



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

***REDISEÑO DE SISTEMA DE ADICIÓN DE ACEITE SOYA PARA EL
PROCESO DE FABRICACIÓN DE CONCENTRADO AVICOLA***

Luis Alberto Tello Agustín

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, junio de 13

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO DE SISTEMA DE ADICIÓN DE ACEITE SOYA PARA EL
PROCESO DE FABRICACIÓN DE CONCENTRADO AVICOLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS ALBERTO TELLO AGUSTÍN

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy OlympoPaiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy OlympoPaiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Arrivillaga Ramazini
EXAMINADOR	Ing. Mynor Roderico Figueroa Fuentes
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

REDISEÑO DE SISTEMA DE ADICIÓN DE ACEITE DE SOYA PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CONCENTRADO AVICOLA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 17 de abril de 2012


Luis Alberto Tello Agustín

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 09 de abril de 2013
REF.EPS.DOC.462.04.13.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León De de León
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León De de León.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Luis Alberto Tello Agustín** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200614969, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"REDISEÑO DE SISTEMA DE ADICIÓN DE ACEITE DE SOYA PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CONCENTRADO AVÍCOLA"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

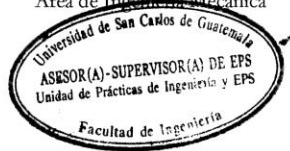
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
EESZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 09 de abril de 2013
REF.EPS.D.277.04.13

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

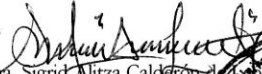

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"REDISEÑO DE SISTEMA DE ADICIÓN DE ACEITE DE SOYA PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CONCENTRADO AVÍCOLA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Luis Alberto Tello Agustín** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Sigrid Julitza Calderón de
Directora Unidad de EPS


SACde LDdL/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria al Trabajo de Graduación titulado REDISEÑO DE SISTEMA DE ADICIÓN DE ACEITE DE SOYA PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CONCENTRADO AVÍCOLA, del estudiante **Luis Alberto Tello Agustín**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Pantoja
DIRECTOR



Guatemala, mayo de 2013

JCCP/behdei

ESCUELAS: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria, Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

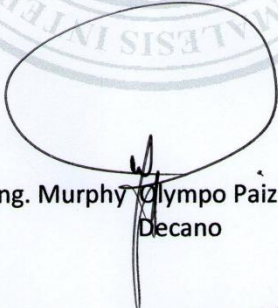


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 443 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **REDISEÑO DE SISTEMA DE ADICIÓN DE ACEITE DE SOYA PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CONCENTRADO AVICOLA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Alberto Tello Agustín**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 24 de junio de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** *Ente divino que me dio la vida, gracias por regalarme este momento.*
- Mis padres** *Por ser mis dos pilares a lo largo de mi carrera, gracias por apoyarme en todo momento. Y como un pequeño gesto de agradecimiento, mis triunfos son sus triunfos.*
- Mi familia** *Por su amabilidad y cariño.*
- Mis compañeros** *Por compartir gratos momentos a lo largo de la carrera. Gracias por enseñarme el significado de la palabra amistad.*

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala *Escuela de Ingeniería Mecánica, por acogerme y realizar mis estudios en tan prestigioso recinto.*

SEGRASA S.A. *Por brindarme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado (EPS). Y aprender de los procesos en la industria.*

Sr. René Orozco *Por el apoyo dentro de la planta, y compartir sus conocimientos.*

Ing. Edwin Sarceño *Por su paciencia y enseñanzas, gracias por ser mi guía, con su ayuda fue posible realizar este trabajo de graduación.*

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Identificación de la empresa	1
1.1.2. Reseña histórica	1
1.1.3. Ubicación.....	2
1.2. Generalidades del proceso de producción del concentrado avícola	3
1.2.1. Elementos que componen el concentrado.....	3
1.2.1.1. Elemento de adición de proteínas	4
1.2.1.2. Elemento de adición de vitaminas	4
1.2.1.3. Elemento de adición de calorías.....	4
1.2.2. Proceso de mezclado de concentrado.....	4
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL. REDISEÑO DEL SISTEMA.....	7
2.1. Diagnóstico situación actual	7
2.1.1. Análisis FODA	7
2.1.2. Definición del problema	7

2.1.3.	<i>Diagrama causa y efecto.....</i>	9
2.2.	<i>Plan estratégico</i>	10
2.2.1.	<i>Análisis problemas que presenta la instalación.....</i>	10
2.2.1.1.	<i>Aislamiento térmico del sistema de calefacción</i>	10
2.2.1.2.	<i>El diseño del sistema de calefacción.....</i>	11
2.2.1.3.	<i>Manejo del fluido</i>	15
2.2.2.	<i>Análisis de requerimientos que necesita la instalación para utilizar otros sustitutos.....</i>	15
2.3.	<i>Nueva infraestructura para la utilización de otros sustitutos ...</i>	16
2.3.1.	<i>Conceptos generales para la instalación.....</i>	16
2.3.1.1.	<i>Transferencia de calor.....</i>	16
2.3.1.2.	<i>Teorías del calor.....</i>	17
2.3.1.3.	<i>Mecanismo de transferencia de calor.....</i>	18
2.3.1.4.	<i>Temperatura.....</i>	21
2.3.1.5.	<i>Análisis de fluidos.....</i>	32
2.3.1.6.	<i>Viscosidad.....</i>	36
2.3.1.7.	<i>Resistencias eléctricas para calentadores de agua.....</i>	52
2.3.2.	<i>Análisis de ubicación.....</i>	53
2.3.3.	<i>Análisis del equipo a utilizar</i>	53
2.3.3.1.	<i>Bombas de impulsión de agua para calefacción</i>	54
2.3.3.2.	<i>Tanque de almacenamiento.....</i>	61
2.3.3.3.	<i>Tanque de trabajo</i>	66
2.4.	<i>Análisis de costos.....</i>	70
2.4.1.	<i>Análisis de costo del uso a corto mediano y largo plazo de elementos sustitutos contra el aceite de soya.....</i>	71

2.4.2.	<i>Análisis de costo de inversión para montar el equipo.....</i>	<i>74</i>
3.	<i>FASE DE INVESTIGACIÓN. PROPUESTA DE AHORRO ENERGÉTICO.....</i>	<i>77</i>
3.1.	<i>Análisis de consumo energético del equipo utilizado en el proceso.....</i>	<i>77</i>
3.2.	<i>Análisis de consumo de agua en el proceso de dosificación de aceite.....</i>	<i>79</i>
3.2.1.	<i>Índice de calidad del agua para reabastecimiento del sistema.....</i>	<i>79</i>
3.3.	<i>Análisis de costos.....</i>	<i>80</i>
3.4.	<i>Consumo de agua.....</i>	<i>81</i>
3.4.1.	<i>Índices de calidad del agua.....</i>	<i>81</i>
3.4.2.	<i>Manejo del agua desechada del sistema de dosificación.....</i>	<i>82</i>
4.	<i>FASE DE DOCENCIA. PROGRAMA DE CAPACITACIÓN.....</i>	<i>83</i>
4.1.	<i>Planificación de capacitaciones.....</i>	<i>83</i>
4.1.1.	<i>Recolección de información.....</i>	<i>83</i>
4.2.	<i>Programas de capacitación.....</i>	<i>84</i>
4.2.1.	<i>Determinar la cantidad de horas necesarias.....</i>	<i>85</i>
4.2.2.	<i>Detección de necesidades.....</i>	<i>85</i>
4.3.	<i>Metodología.....</i>	<i>87</i>
4.3.1.	<i>Solicitud a un experto para exponer el tema.....</i>	<i>87</i>
4.4.	<i>Resultados de la capacitación.....</i>	<i>88</i>
4.4.1.	<i>Evaluación del desempeño.....</i>	<i>88</i>

<i>CONCLUSIONES</i>	91
<i>RECOMENDACIONES</i>	93
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	95
<i>APÉNDICES</i>	97
<i>ANEXO</i>	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	<i>Imagen satelital del molino SEGRASA.....</i>	<i>2</i>
2.	<i>Mapa de orientación para llegar a la empresa</i>	<i>3</i>
3.	<i>Árbol causa y efecto.....</i>	<i>9</i>
4.	<i>Tanque de almacenamiento de agua para el sistema de calefacción ..</i>	<i>12</i>
5.	<i>Resistencia eléctrica para el calentamiento del agua.....</i>	<i>12</i>
6.	<i>Tubería de conexión de agua entre los tanques de almacenamiento de aceite.....</i>	<i>13</i>
7.	<i>Serpentín de calefacción dentro del tanque de almacenamiento de aceite... ..</i>	<i>14</i>
8.	<i>Conectores del circuito de calefacción de la tubería de transporte</i>	<i>14</i>
9.	<i>Tubería de transporte de aceite</i>	<i>15</i>
10.	<i>Flujo de calor a través de una pared</i>	<i>19</i>
11.	<i>Análisis temperatura Vs longitud flujo a contracorriente y paralelo</i>	<i>23</i>
12.	<i>Comportamiento del calor desarrollado por un fluido en tubería</i>	<i>32</i>
13.	<i>Crecimiento de la capa límite en la entrada a una tubería</i>	<i>43</i>
14.	<i>Datos de Nikurdase correspondientes a flujos en tuberías con rugosidad artificial</i>	<i>47</i>
15.	<i>Sistema de fluido en una tubería.....</i>	<i>48</i>
16.	<i>Diagrama de Moody para perdidas por fricción.....</i>	<i>51</i>
17.	<i>Gráfica de comportamiento de precios de aceite de soya septiembre del 2002 a septiembre de 2012</i>	<i>72</i>
18.	<i>Gráfica comparativa aceite de soya con el aceite de palma septiembre del 2002 a septiembre de 2012</i>	<i>72</i>

19.	<i>Gráfica de comportamiento de diferencia de aceite de soya y aceite de palma</i>	<i>73</i>
20.	<i>Gráfica costo de consumo energético al mes</i>	<i>78</i>
21.	<i>Gráfica costo de consumo energético trimestral</i>	<i>78</i>
22.	<i>Gráfica de punto de equilibrio Inversión equipo</i>	<i>81</i>

TABLAS

<i>I.</i>	<i>Análisis FODA.....</i>	<i>8</i>
<i>II.</i>	<i>Factores de conversión para viscosidad</i>	<i>36</i>
<i>III.</i>	<i>Algunos tipos de materiales con sus rugosidades</i>	<i>52</i>
<i>IV.</i>	<i>Datos técnicos de las bombas</i>	<i>55</i>
<i>V.</i>	<i>Diferencia de precio entre aceite de soya con el aceite de palma</i>	<i>73</i>
<i>VI.</i>	<i>Listado de equipo necesario para el rediseño del sistema de calefacción</i>	<i>75</i>
<i>VII.</i>	<i>Consumo energético por circuito.....</i>	<i>78</i>
<i>VIII.</i>	<i>Rango de calificación para evaluación de capacitación</i>	<i>89</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>
<i>c.a.</i>	<i>Corriente Alterna</i>
<i>c.c.</i>	<i>Corriente continúa</i>
ϕ	<i>Diámetro</i>
<i>Kw</i>	<i>Kilovatio</i>
<i>Kwh</i>	<i>Kilovatio hora</i>
<i>Psi</i>	<i>Libra-fuerza por pulgada cuadrada</i>
<i>mm</i>	<i>Milímetro</i>
<i>NPT</i>	<i>National Pipe Thread</i>
<i>“</i>	<i>Pulgada</i>
<i>%</i>	<i>Porcentaje</i>

GLOSARIO

Análogo	<i>A la señal analógica, aquella cuya magnitud se representa mediante variables continuas.</i>
Bachada	<i>Se trata de procesos en los que se opera sobre una cantidad de material transformándola en sucesivas operaciones hasta obtener el producto final.</i>
Chapa	<i>Lámina delgada de metal que se utiliza para construcciones mecánicas.</i>
Cilindro	<i>Son actuadores mecánicos que son usados para dar una fuerza a través de un recorrido lineal.</i>
Cola corona	<i>Herramientas manuales que se utilizan para apretar elementos atornillados mediante tornillos o tuercas con cabezas hexagonales principalmente.</i>
Digital	<i>A las señales digitales, es decir aquellas que son discretas y cuantizadas, basados en el procesamiento de niveles de contacto.</i>
Hidrostática	<i>Es la rama de la mecánica de fluidos que estudia los fluidos en estado de reposo; es decir, sin que existan fuerzas que alteren su movimiento o posición.</i>

Llave inglesa	<i>Herramienta manual utilizada para aflojar o ajustar tuercas y tornillos. La abertura de la llave inglesa es ajustable (posee una cabeza móvil).</i>
Mantenimiento	<i>Conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal y la eficiencia en la maquinaria.</i>
Mezclador	<i>Equipo que mediante el movimiento de paletas permite la distribución homogénea de todos los insumos de la formulación del alimento.</i>
Termopar	<i>Es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje que es en función de la diferencia de temperatura.</i>
Sensor	<i>Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas</i>

RESUMEN

Como primer paso se realizará una investigación de campo en el molino, para conocer el proceso de obtención de concentrado, dando énfasis en el sistema de adición de aceite donde se llevará a cabo el presente proyecto, para dicho efecto se estudiará registros, programas, equipo, subequipo, proceso y función que realiza para proceder a la redistribución de los equipos para aumentar la eficiencia al controlar la adición de aceite u otro agente que brinde las calorías necesarias al concentrado avícola.

Se procederá a crear e ingresar la información que previamente fue investigada a las base de datos y crear un índice de excedencia en el proceso de adición de aceite, asimismo se creará la base de datos de los equipos instalados en el proceso de adición que de igual manera serán claves para, establecer los puntos clave de dicho sistema, también se creará un historial de mantenimientos correctivos del proceso de los equipos instalados.

Se capacitará al equipo de trabajo, supervisores, mecánicos etc., para que puedan ser capaces de realizar las reparaciones necesarias y dar los datos técnicos para la fabricación de repuestos, debido a que los supervisores serán los encargados de manejar dichos historiales, para las labores de gestión de mantenimientos preventivos, correctivos y en reparación por lo cual deberán de entender y manejar conceptos generales, para optimizar tiempos y costos.

OBJETIVOS

General

Establecer un sistema de manejo y control efectivo para la sustancia de adición de contenido calorífico del concentrado.

Específicos

- 1. Reducir las pérdidas del 20% a un 5% en el consumo del aceite o grasa.*
- 2. Reducir los costos de producción a base de sistemas eficientes de operación.*
- 3. Preparar el sistema para la ampliación de la capacidad de producción del proceso de fabricación de concentrado.*

INTRODUCCIÓN

En Guatemala las empresas que se dedican a la producción avícola se someten a grandes demandas debido a la competencia nacional y extranjera, las fluctuaciones de mercado y los problemas que trae el cuidado de las mismas obliga a la empresa a incorporarse a las nuevas metodologías de control de calidad, mantenimiento de equipos y control de calidad de vida de las aves.

Esta fábrica se fundó en 1950, y el molino inicio sus operaciones totalmente en 1992 con una capacidad de 50 quintales diarios. Actualmente el molino tiene una capacidad de 100 quintales diarios de concentrado.

La avícola SEGRASA S.A., al realizar los estudios debidos, decidió crear el molino de fabricación de concentrados que fabrica el alimento de un estimado de veinte mil aves (gallinas productoras de huevos), dicho consumo debe abastecer a las galeras de las gallinas diariamente debido a los requerimientos de las gallinas para la producción de huevos.

En la actualidad esta empresa no cuenta con asesoría técnica para el mantenimiento, control y rediseño de cualquier proceso en el funcionamiento de la empresa, solo existe un encargado del mantenimiento correctivo de los equipos y el resto se realiza por servicios externos de mantenimiento.

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

1.1. Descripción de la empresa

La empresa SEGRASA es una granja avícola que abarca en su total tres fincas, las cuales son la finca Santa Ana, La Joya y Las Mercedes. Esta empresa se caracteriza por brindar una alta calidad en su producto al mercado en búsqueda de competir con calidad y a un buen precio. La producción de la empresa es de aproximado 15,000 huevos diariamente para cubrir la demanda que presenta el mercado avícola.

1.1.1. Identificación de la empresa

La empresa SEGRASA se identifica como una de las más grandes avícolas de la ciudad capital con una gran producción, busca consolidarse como avícola, abasteciendo a: hoteles de renombre, restaurantes y tener gran un gran sector para distribuir el producto avícola.

Esta empresa se identifica como una entidad comprometida con los altos estándares de calidad, a un buen precio y una gran tradición, creyendo que la superación viene de una evaluación y mejora continua de los procesos de producción para alcanzar el éxito.

1.1.2. Reseña histórica

La empresa SEGRASA dio inicios en 1950 con los fundadores repartiendo el producto avícola en un vehículo en varios sectores de la capital, a través de

un gran esfuerzo y una buena administración se adquirieron las finca Las Delicias donde se encuentra la sala de ventas, finca La Joya , la finca Santa Ana y finca Las Mercedes.

En las cuales a la fecha la avícola ha ido implementando nuevas galeras; el 1995 la empresa inicio operaciones con el molino de la finca Las Delicias, con el cual abastece a todos los molinos con gallinas para posturas de crecimiento y postura de gallina ponedora. Por lo cual, la empresa tiene una base sólida para seguir creciendo su capital interno lo cual ha hecho de SEGRASA una de las avícolas más fuertes de la ciudad capital.

1.1.3. Ubicación

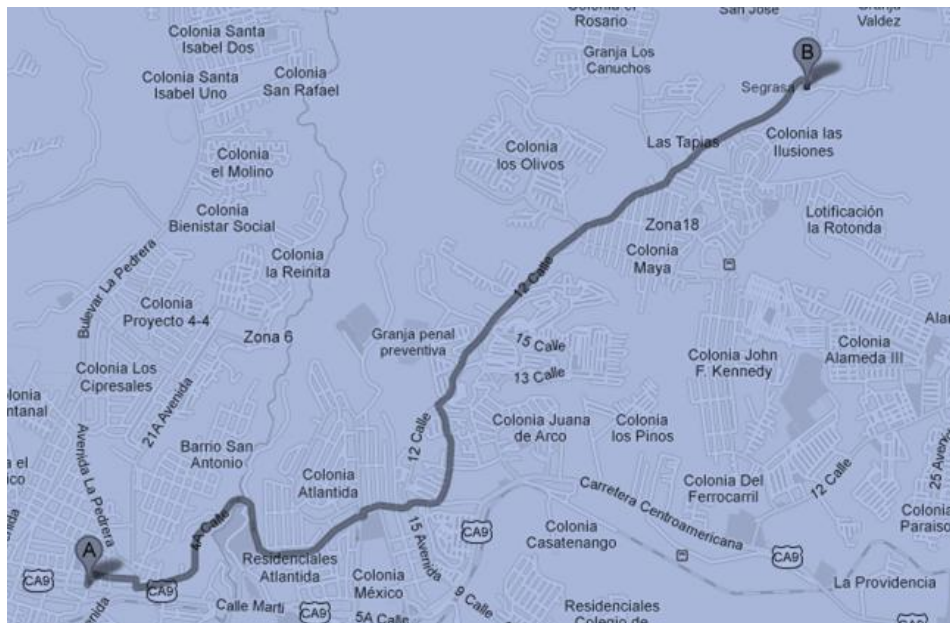
La dirección del molino SEGRASA S.A. es 20 avenida calle real carretera Canaán aldea Las Tapias zona 18, en la ciudad capital.

Figura 1. Imagen satelital del molino SEGRASA



Fuente: <http://maps.google.com.gt>. Consulta: 4 de diciembre de 2012

Figura 2. Mapa de orientación para llegar a la empresa



Fuente: <http://maps.google.com.gt>. Consulta: 4 de diciembre de 2012

1.2. Generalidades del proceso de producción del concentrado avícola

El proceso de fabricación de concentrado avícola consiste de la adición de diferentes elementos ordenados en una secuencia determinada para lograr la mejor homogeneidad de la mezcla, los cuales se explican su función a continuación.

1.2.1. Elementos que componen el concentrado

Los elementos que componen el concentrado avícola generalmente se separan en los grupos siguientes; los proteicos, caloríficos, y suplemento de vitaminas y minerales los cuales son reformulados de acuerdo al crecimiento del ave y a la disponibilidad del mismo.

1.2.1.1. Elemento de adición de proteínas

Estos elementos van destinados al desarrollo del ave en su etapa de crecimiento, donde el ave alcanzará su tamaño ideal, desarrollará sus defensas; y en la etapa de postura brindará los elementos para la generación de huevos. En este caso es la harina de soya.

1.2.1.2. Elemento de adición de vitaminas

Estos elementos también tienen función en la etapa de crecimiento, para el desarrollo de las aves y en la etapa de postura los minerales influyen directamente en la consistencia de la cascara de huevo, además las vitaminas se depositan en la clara del huevo. Este compuesto es: la mezcla de varios elementos como harina de pescado y los medicamentos que son dictaminados por nutricionistas que asesoran la granja.

1.2.1.3. Elemento de adición de calorías

Este elemento brinda la energía necesaria en la etapa de crecimiento, y en la etapa de postura deposita las calorías en la yema del huevo, así como acentúa el color de la yema. El elemento que se utiliza actualmente como adicinante de calorías es el aceite de soya.

1.2.2. Proceso de mezclado de concentrado

En la etapa de mezclado se realizan los siguientes pasos: primero se introduce la harina de soya a través de los elevadores por una tolva ubicada en la parte superior del molino con un volumen establecido por bachada, después

se vierte la premezcla de harina de pescado con los demás componentes durante un tiempo de 5 minutos y de último se vierte el aceite de soya, el cual se mezcla durante unos 5 minutos más, lo cual da un tiempo total de 15 minutos desde que se vierte la harina hasta que se extrae la mezcla del concentrado del molino.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL. REDISEÑO DEL SISTEMA

2.1. Diagnóstico situación actual

La situación actual de la empresa SEGRASA es prometedora debido a las demanda de producción lo que permite invertir en mejoras para la producción, y una de las mejoras notables es el utilizar otros elementos para adicionar calorías.

2.1.1. Análisis FODA

Se realizará un análisis foda del rediseño del sistema de adición de aceite para entender todas las posibilidades que este presenta.

2.1.2. Definición del problema

El problema del sistema actual de manejo de aceite como agente de aporte de calorías muestra, un incremento en el precio anual el cual reduce la rentabilidad de la fabricación de concentrado. Y debido a la disposición del equipo es ineficaz al momento de tratar de utilizar otros elementos como el cebo, debido a que este se solidifica a los 40°C y otro elemento llamado grasa amarilla es de 60°C, lo cual hace necesario tener el control de temperatura exacto y eficiente para evitar la mayor pérdida de energía para su funcionamiento.

Tabla I. Análisis FODA

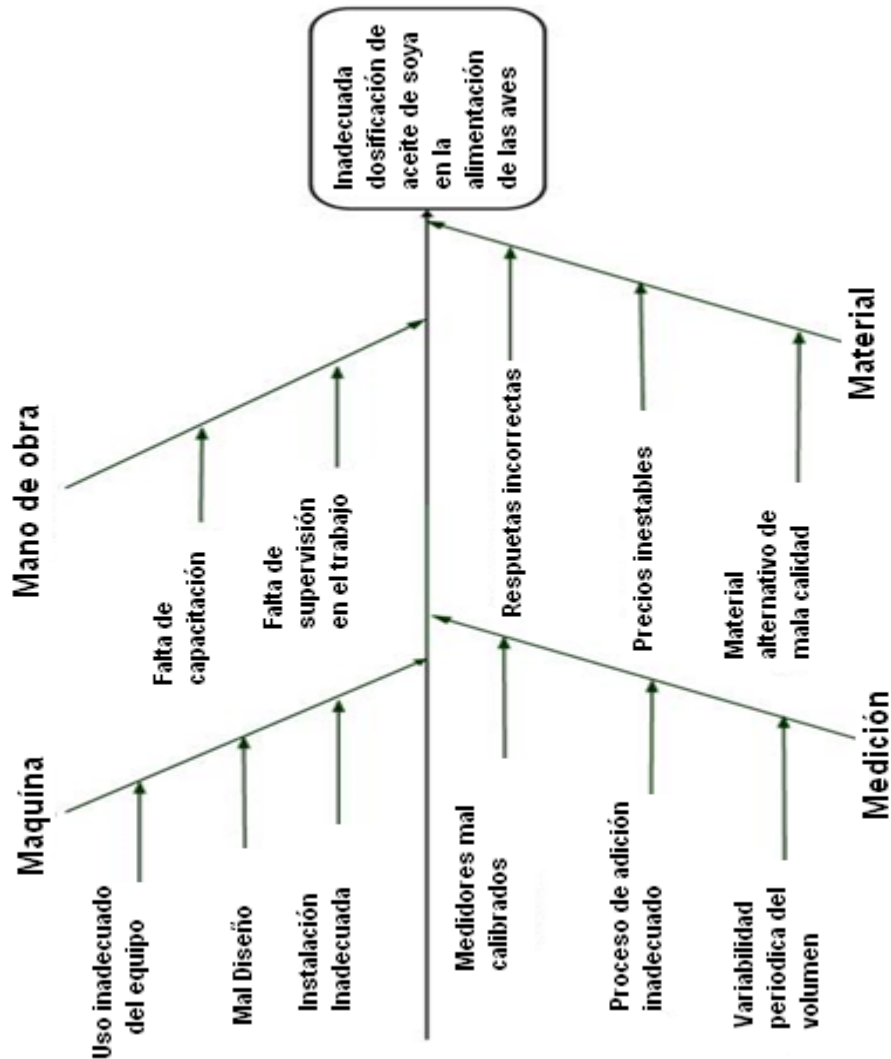
<i>Fortalezas</i>	<i>Oportunidades</i>	<i>Debilidades</i>	<i>Amenazas</i>
<i>Se pueden utilizar otros sustitutos del aceite de soya</i>	<i>Amplia Gama de sustitutos</i>	<i>La inestabilidad del mercado en las variaciones.</i>	<i>Las condiciones climáticas pueden afectar la producción de los sustitutos adecuados</i>
<i>Se reducen costos de producción debido a precio de los otros sustitutos</i>	<i>Gran oferta de sustitutos a buen precio</i>	<i>El mal mantenimiento del equipo puede afectar la rentabilidad</i>	<i>El precio de los elementos para producir energía térmica pueden afectar el precio de producción del alimento avícola</i>
		<i>Ante condiciones ambientales muy frías aumenta el costo de producción</i>	

Fuente: elaboración propia

2.1.3. Diagrama causa y efecto

Con el diagrama que se presenta se observa los cuatro aspectos diferentes de análisis del problema y las diferentes causas que conllevan al resultado negativo.

Figura 3. **Árbol causa y efecto**



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

2.2. Plan estratégico

En este plan se presentarán los pasos adecuados, para realizar el correcto rediseño del sistema de adición de una manera clara y eficaz.

2.2.1. Análisis problemas que presenta la instalación

Cabe mencionar que al momento de la instalación del sistema no se contaba con la asesoría correcta en lo que concierne a este tipo de procesos de producción; se explica de manera detallada cada una de las fallas del montaje.

2.2.1.1. Aislamiento térmico del sistema de calefacción

El sistema de transporte del elemento de adición de calorías está dividida en dos secciones: la primera esta asistida con calefacción; la segunda donde se encuentra la bomba y los medidores carecen de cualquier forma de calefacción. En la parte de transporte el sistema de calefacción carece de aislamiento térmico, lo cual reduce su efectividad debido a que la energía utilizada para acondicionar a la grasa se disipa en el ambiente, además de ser de tubería de acero su conductividad térmica es elevada.

La parte más vulnerable del sistema de calefacción, es en la sección de entrada a la bomba a la salida de la tubería en el molino debido a que esta carece de sistema de calefacción y es la parte de mayor importancia, debido a que en esta se encuentran la bomba y los medidores, el mayor problema se debe que al momento de dejar de trabajar los elementos como el cebo y la grasa amarilla al solidificarse darían problemas en los medidores, para poder

extraerlas de ahí al momento del arranque al día siguiente de operación y esta dificultad aumentaría en épocas del año donde la temperatura desciende considerablemente.

Además en los tanques de almacenamiento se carece de algún tipo de aislamiento térmico lo cual precipita la solidificación del material en esta parte, lo que al final significa una baja eficiencia del equipo.

2.2.1.2. El diseño del sistema de calefacción

El sistema de calefacción está compuesto de un tanque de almacenamiento de agua, en el cual se encuentran las resistencias para el calentamiento del agua están ubicadas al lado opuesto de la salida de agua del estanque sin ningún tipo de agitador, para aumentar la velocidad para elevar la temperatura. Y dos bombas para impulsar el agua a través de la tubería de los circuitos de agua.

El tanque de almacenamiento de agua es de forma de paralelepípedo, lo cual presenta el problema de ser plano en el fondo no permite la acumulación de sedimento y otros materiales en un punto específico para la purga y limpieza del mismo, también no permite la ubicación adecuada de las resistencias para una mejor distribución de calor.

La forma de las resistencias no permite una mejor distribución del calor porque para el tamaño del tanque están muy cerca una de la otra, considerando también el tamaño de cada una en relación al líquido y al desgaste de la misma son sobredimensionadas también influyendo en la eficiencia respecto al consumo energético de las mismas.

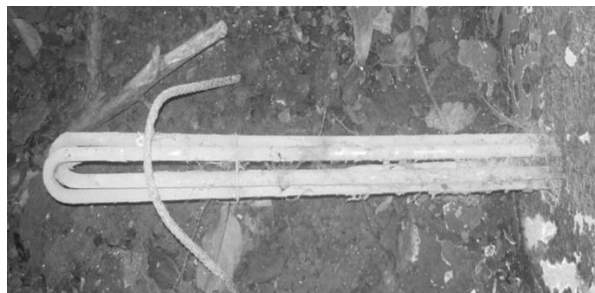
Figura 4. Tanque de almacenamiento de agua para el sistema de calefacción



Fuente: SEGRASA S.A.

Otro factor a tomar es que el aislamiento de las resistencias con respecto al tanque no cumple con las normas de seguridad porque puede dar lugar a una descarga eléctrica o un corto, debido al contacto de los cables con el estanque por lo mal aislado que se encuentra.

Figura 5. Resistencia eléctrica para el calentamiento del agua



Fuente: SEGRASA S.A.

Las bombas están ubicadas una para el retorno del agua de la entrada de la bomba de grasa, el cual presenta una ubicación adecuada con las limitantes del diseño, el problema se ubica en la otra bomba por la falta de un sistema de control direccional del agua en el circuito de los estanques, debido a que al encender el sistema el agua circula por los dos tanques de almacenamiento en lugar de poder seleccionar el tanque que se ha de trabajar.

Figura 6. Tubería de conexión de agua entre los tanques de almacenamiento de aceite



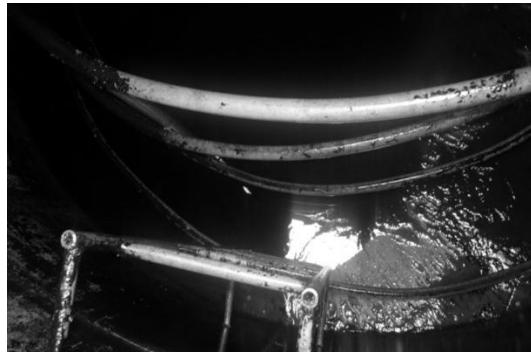
Fuente: SEGRASA S.A.

Existen dos circuitos de agua para calentar la tubería de grasa, el primero recorre el interior del depósito en forma de espiral y regresa al tanque de almacenamiento. El segundo circula entre un tubo que envuelve a la tubería de grasa a la salida del tanque de almacenamiento hasta la entrada de la bomba y retorna a través de un bomba debido al desnivel de la tubería, para su regreso al tanque.

El mayor problema del segundo circuito de agua, es en las uniones de la tubería de grasa debido a que estas no tienen un sistema eficaz de conexión, para lograr calentar estos puntos en donde se solidifica la grasa y ha tenido que auxiliarse de métodos como calentar con soldadura oxiacetilénica para lograr

calentar la grasa; dando el inconveniente de que queman la misma y así contaminan el alimento por las toxinas que se crean en este momento.

Figura 7. Serpentín de calefacción dentro del tanque de almacenamiento de aceite



Fuente: SEGRASA S.A.

Figura 8. Conectores del circuito de calefacción de la tubería de transporte



Fuente: SEGRASA S.A.

Figura 9. Tubería de transporte de aceite



Fuente: SEGRASA S.A.

2.2.1.3. Manejo del fluido

El sistema de calefacción carece de algún tipo de cambio de fluido del sistema, tampoco de un tanque de tratamiento para evitar la sedimentación de materiales que puedan evitar la transferencia de calor; así mismo como la corrosión del tubo y la proliferación de bacterias y microorganismos.

2.2.2. Análisis de requerimientos que necesita la instalación para utilizar otros sustitutos.

En el caso de la utilización de otro sustituto como la grasa amarilla y el aceite de palma indica que se requerirá más que una nueva infraestructura, es una readecuación de los elementos debido a la búsqueda de bajar los costos para la utilización del sistema. Debido a que la idea del sistema no está lejos de cumplir con los requerimientos, sinoque más es la ubicación de cada elemento que y su disposición lo que hace que sea ineficiente.

No se deja afuera de las opciones en la elección de sustitutos, así de acuerdo al desarrollo de nuevos elementos como sustitutos, como puede mencionarse a productos solubles en agua lo cual crea la necesidad de tanques de mezclado y suministros de agua para el tanque y todo el sistema automatizado de control de temperatura para evitar la solidificación de los elementos como la grasa.

2.3. Nueva infraestructura para la utilización de otros sustitutos

Al reducir costos en el rediseño del sistema se determinó que solo es necesario hacer ciertas modificaciones del equipo para mejorar su eficiencia.

2.3.1. Conceptos generales para la instalación

Se presenta la base teórica necesaria para fundamentar cada una de las modificaciones del equipo en base a consulta de libros de texto referentes a transferencia de calor.

2.3.1.1. Transferencia de calor

La ciencia de la termodinámica trata de las transiciones cuantitativas y reacomodos de energía como calor en los cuerpos de materia. La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Cuando se vaporiza una libra de agua o se condensa una libra de vapor, el cambio de energía en los dos procesos es idéntico. La velocidad a la que cualquiera de estos procesos puede hacerse progresar con una fuente o receptor independiente es, sin embargo, inherentemente muy diferente. Generalmente, la vaporización es un fenómeno mucho más rápido que la condensación.

2.3.1.2. Teorías del calor

El estudio de la transferencia de calor se facilitará grandemente mediante una cabal comprensión de la naturaleza del calor. Sin embargo, esta es una ventaja que no está fácilmente disponible para estudiantes de transferencia de calor o tensión dinámica, ya que se han descubierto muchas manifestaciones del calor, lo que ha impedido que una teoría simple las cubra a todas ellas. Las leyes que pueden aplicarse a transiciones de masa pueden ser inaplicables a transiciones moleculares o atómicas, y aquéllas que son aplicables a las bajas temperaturas pueden no serlo a las temperaturas altas. Para propósitos de ingeniería es necesario comenzar el estudio con información básica acerca de unos cuantos fenómenos.

Las fases de una sustancia simple, sólida, líquida y gaseosa, están asociadas con su contenido de energía. En la fase sólida, las moléculas o átomos están muy cercanos, dando esto rigidez. En la fase líquida existe suficiente energía térmica para extender la distancia de las moléculas adyacentes, de manera que se pierde la rigidez. En la fase de gas, la presencia de energía térmica adicional resulta en una separación relativamente completa de los átomos o moléculas, de manera que pueden permanecer en cualquier lugar de un espacio cerrado. También se ha establecido que, dondequiera que ocurra un cambio de fase fuera de la región crítica, se involucra una gran cantidad de energía en esa transición.

Para una misma sustancia en sus diferentes fases, sus varias propiedades térmicas tienen diferente orden de magnitud. Porejemplo, el calor específico por unidad de masa es muy bajo para los sólidos, alto para los líquidos y, usualmente, de valores intermedios para los gases. Asimismo, en cualquier cuerpo que absorba o pierda calor, deben guardarse especiales

consideraciones respecto a si el cambio es de calor latente, o sensible, o de ambos.

Más aún, se conoce también que una fuente caliente es capaz de grandes excitaciones subatómicas, a tal grado que emite energía sin ningún contacto directo con el receptor, y éste es el principio fundamental de la radiación. Cada tipo de intercambio exhibe sus propias peculiaridades.

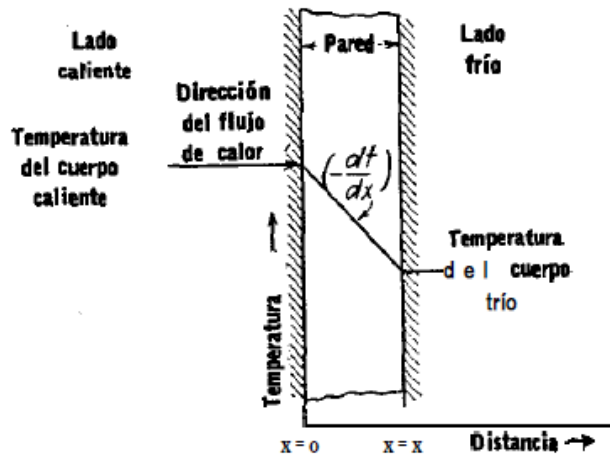
2.3.1.3. Mecanismo de transferencia de calor

Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, aún cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres. Estas son, conducción, convección y radiación.

- **Conducción**

Es la transferencia de calor a través de un material fijo tal como la pared estacionaria mostrada en la figura 10. La dirección del flujo de calor será a ángulos rectos a la pared, si las superficies de las paredes son isotérmicas y el cuerpo es homogéneo e isotrópico. Supóngase que una fuente de calor existe a la izquierda de la pared y que existe un receptor de calor en la superficie derecha. Es conocido y después se confirmará por una derivación, que el flujo de calor por hora es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y al área de la pared A . Si t es la temperatura en cualquier punto de la pared y x es el grueso de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de flujo de calor dQ es dada por Btu/hr o $Watt$ (KJ/seg). El término $-dt/dx$ se llama gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supuso una temperatura mayor en la cara de la pared en donde $x = 0$ y menor en la cara donde $x = X$.

Figura 10. *Flujo de calor a través de una pared*



Fuente: KERN, Donald Q. *Procesos de Transferencia de Calor*.p. 60

En otras palabras, la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura dt que impulsa el calor a través de la pared de espesor ak . La constante de proporcionalidad k es peculiar a la conducción de calor por conductividad y se le conoce por conductividad térmica. Esta conductividad se evalúa experimentalmente y está básicamente definida por la ecuación.

$$dQ = kA \left(- \frac{dt}{dx} \right)$$

La conductividad térmica de los sólidos tiene un amplio rango de valores numéricos dependiendo de si el sólido es relativamente un buen conductor del calor, tal como un metal, o un mal conductor como el asbesto. Estos últimos sirven como aislantes. Aún cuando la conducción de calor se asocia usualmente con la transferencia de calor a través de los sólidos, también es aplicable a gases y líquidos, con sus limitaciones.

- *Convección*

Es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. Supóngase que un recipiente con un líquido se coloca sobre una llama caliente. El líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso que antes, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende.

La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto, es convección natural o convección libre. Si se produce cualquiera otra agitación, tal como la provocada por un agitador, el proceso es de convección forzada. Este tipo de transferencia de calor puede ser descrito en una ecuación que imita la forma de la ecuación de conducción y es dada por

$$dQ = hAdt$$

La constante de proporcionalidad h es un término sobre el cual tiene influencia la naturaleza del fluido y la forma de agitación, y debe ser evaluado experimentalmente. Se llama coeficiente de transferencia de calor. Cuando la ecuación anterior se escribe en su forma integrada, $Q = kA\Delta t$, se le conoce como la ley del enfriamiento de Newton.

- *Radiación*

Esta involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. Basándose

en la segunda ley de la termodinámica, Boltzmann estableció que la velocidad a la cual una fuente da calor es

$$dQ = \delta \epsilon dA T^4$$

Esto se conoce como la ley de la cuarta potencia, T es la temperatura absoluta. δ es una constante dimensional, pero ϵ es un factor peculiar a la radiación y se llama emisividad. La emisividad, igual que la conductividad térmica k o el coeficiente de transferencia de calor h , debe también determinarse experimentalmente.

2.3.1.4. Temperatura

- *Diferencia de temperatura*

Una diferencia de temperatura es la fuerza motriz, mediante la cual el calor se transfiere desde la fuente al receptor. Su influencia sobre sistemas de transferencia de calor, que incluyen tanto a la fuente como al receptor, es el sujeto inmediato para estudio, la temperatura de la pared interior del tubo t_p , se calculó del valor reportado para la temperatura de la pared exterior del tubo t_s . El medio logarítmico de las diferencias $t_p - t_1$ y $t_p - t_2$ se usó para calcular Δt_i .

La temperatura reportada para la tubería fue el promedio de un cierto número de termo coplas, que en realidad no ofrecían valores constantes a lo largo del tubo. Ordinariamente, no es posible en el equipo industrial medir estos promedios de temperatura en las tuberías. Únicamente las temperaturas de entrada y salida de los fluidos calientes y fríos se conocen o pueden ser medidos, y se hace referencia como las temperaturas de proceso.

La gráfica de la temperatura VS. Longitud de tubo, t VS. L , para un sistema de dos tubos concéntricos en el cual el fluido del ánulo se enfría sensiblemente y el fluido en el tubo se calienta también sensiblemente, se muestra en las figuras 10.1 y 10.2. Cuando los dos flujos viajan en direcciones opuestas a lo largo del tubo como en la figura 10.1, están a contracorriente. La figura 10.1 puede ser comparada con la gráfica de t VS. L y la otra es una gráfica de t VS. Q , el calor transferido. Cuando los fluidos viajan en la misma dirección como en la figura 10.2, están en flujo paralelo.

La temperatura del fluido en el tubo interior, en ambos casos varía de acuerdo con una curva a medida que se desplaza a lo largo de la longitud del tubo, y la temperatura del fluido del anulo varía de acuerdo con otra curva. La diferencia de temperatura a cualquier distancia del origen donde $L = 0$, es la distancia vertical entre las dos curvas

- *Coeficientes totales de transferencia de calor*

Los tubos concéntricos de las figuras 11.1 y 11.2 llevan juntas dos corrientes, cada una teniendo un coeficiente de película particular y cuyas temperaturas varían de la entrada a la salida. Por conveniencia, el método para calcular la diferencia de temperatura entre los dos, deberá emplear únicamente las temperaturas de proceso, ya que generalmente son las únicas conocidas.

Para establecer las diferencias de temperaturas en esta forma entre una temperatura general T del fluido caliente y alguna otra temperatura t del fluido frío, es necesario hacer estimaciones también para todas las resistencias entre las dos temperaturas. En el caso de dos tubos concéntricos, siendo el interior muy delgado, las resistencias encontradas son la resistencia de la película del

fluido en el tubo, la resistencia de la pared del tubo, L_m/k_m y la resistencia de la película del fluido en el ánulo. Puesto que Q es igual a $\Delta t/\Sigma R$ como antes,

Figura 11. Análisis temperatura Vs longitud flujo a contracorriente y paralelo

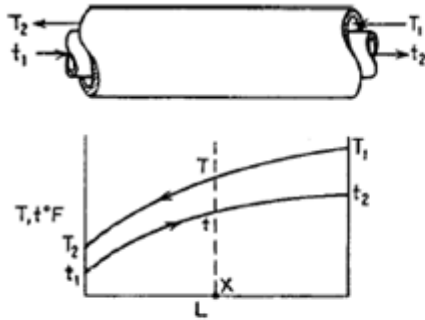


Fig. 11.1 contracorriente

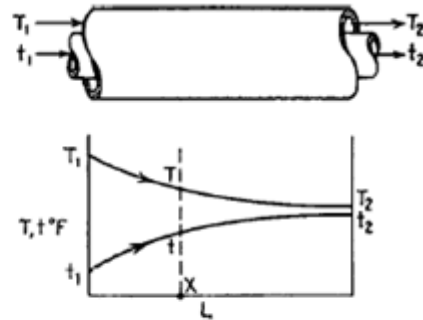


Fig. 11.2 paralelo

Fuente: KERN, Donald Q. *Procesos de Transferencia de Calor*. p. 67.

$$\Sigma R = \frac{1}{h_i} + \frac{L_m}{K_m} + \frac{1}{h_o}$$

Donde ΣR es la resistencia total. Es costumbre sustituir $1/U$ por L/R donde U se llama el coeficiente total de transferencia de calor. Ya que un tubo real tiene diferentes áreas por pie lineal tanto en su interior como en su exterior, h_i y h_o deben referirse a la misma área de flujo de calor o en otra forma no coincidirán por unidad de longitud. Si se usa el área exterior A del tubo interno, entonces h_i debe multiplicarse por A_i/A para dar el valor que tendría h_i si se calculara originalmente en base al área mayor A en lugar de A_i . Para una tubería con pared gruesa la ecuación se transforma en

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i(A_i/A)} + \frac{2.3D_o}{2K_m} \log \frac{D_o}{D_1} + \frac{1}{h_o}$$

La forma integrada de la ecuación general de Fourier para el estado estable puede escribirse donde Δt es la diferencia de temperatura entre las dos corrientes para la superficie total A . Usando la simplificación de que la resistencia de la pared del tubo delgado es despreciable, la ecuación pasa a ser.

$$Q = UA \Delta t$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i(A_i/A)} + \frac{1}{h_o}$$

En lo sucesivo la ecuación anterior se referirá simplemente como ecuación de Fourier. Justamente como h_i se obtuvo de $h_i = Q/A \Delta t$, usando termopilas, así U puede ser obtenida de $U = Q/A \Delta t$ usando temperaturas de proceso solamente. En experimentos que involucran transferencia de calor sensible entre dos fluidos, se pueden obtener cualquiera de los coeficientes individuales de película, a partir del coeficiente total U , únicamente si se dispone de medios suplementarios para computar el otro coeficiente de película.

Afortunadamente, la condensación de vapor puede proporcionar una resistencia despreciable, de manera que h_i o h_o usualmente pueden determinarse ínidamente, con una precisión adecuada mediante un experimento usando cualquiera de los fluidos y vapor.

U puede ser resuelto de acuerdo con ellos. Entonces se usa para computar el área total o longitud de trayectoria requerida, cuando se da Q y Δt se calcula a partir de las temperaturas de proceso. Cuando se especifican las

temperaturas de proceso el calor total transferido Q en Btu/h, o watts. También se especifica, siendo computado de $Q=wc(t_2-t_1) =WC(T_1-T_2)$.

- *Coeficiente de película controlante*

Cuando la resistencia del tubo metálico es pequeña en comparación con la suma de las resistencias de ambos coeficientes de película, como usualmente sucede, puede despreciarse. Si un coeficiente de película es pequeño y otro muy grande, el coeficiente menor proporciona la mayor resistencia y el coeficiente total de transferencia de calor para el aparato es muy cercanamente el recíproco de la resistencia mayor. Cuando existe una diferencia significativa, el coeficiente menor es el coeficiente de película controlante.

- *Promedio logarítmico de la diferencia de temperatura a contracorriente*

Generalmente ambos fluidos experimentan variaciones de temperatura, que no son líneas rectas cuando las temperaturas se grafican contra longitudes como en las figuras 11.1 y 11.2. A cualquier punto t entre las dos corrientes difieren.

Aún así conducirán al mismo resultado de la, en la cual el promedio logarítmico de la diferencia de temperaturas se obtuvo de un estudio de $T - t$ VS. Q . Sin embargo, hay una ventaja en la derivación basada en $T - t$ VS. L , puesto que ella permite la identificación de la diferencia de temperatura en cualquier punto a lo largo de la longitud del tubo.

Después, cuando se encuentran trayectorias de flujo más complejas, esta información será esencial. Aún cuando dos fluidos pueden transferir calor en un aparato de tubos concéntricos, ya sea en contracorriente o flujo paralelo, la

velocidad relativa de los dos fluidos influye en el valor de la diferencia de temperatura.

Este punto no podrá ser suficientemente puntualizado: Cualquier trayectoria de flujos formados por dos fluidos debe identificarse con sus diferencias de temperatura. Para la derivación de la diferencia de temperatura entre dos fluidos de la figura 11.1 en contracorriente, se deben hacer las siguientes suposiciones:

- *El coeficiente total de transferencia de calor U es constante en toda la trayectoria.*
- *Las libras por hora de fluido que fluye son constantes, obedeciendo los requerimientos del estado estable.*
- *El calor específico es constante sobre toda la trayectoria*
- *No hay cambios parciales de fase en el sistema, por ejemplo, vaporización o condensación. La derivación es aplicable para cambios en el calor sensible y cuando la vaporización o condensación es isotérmica en toda la trayectoria.*
- *Las pérdidas de calor son despreciables*

Aplicando la forma diferencial de la ecuación del estado estable, donde a son los pies cuadrados de superficie por pie de longitud de tubo o.

$$dQ = U(T - t)a \, dL$$

Donde a son los pies cuadrados de superficie por pie de longitud de tubo

$$a'' dL = dA$$

De un balance diferencial de calor.

$$dQ = WC dT = wcdt$$

Donde Q es el límite cuando dQ varía de 0 a Q. En cualquier punto en el tubo de izquierda a derecha, el calor ganado por el fluido frío es igual al cedido por el fluido caliente. Tomando un balance de L=0 a L=X.

$$WC(T - T_2) = wc(t - t_1)$$

De lo que

$$T = T_2 + \frac{wc}{WC}(t - t_1)$$

De las ecuaciones sustituyendo por T,

$$dQ = wcdt = U \left[T_2 + \frac{wc}{WC}(t - t_1) \right] a'' dL$$

Donde t y L son los únicos variables. Colectando términos de t y L

$$\int \frac{Ua'' dl}{wc} = \int \frac{dt}{T_2 \frac{wc}{WC} t_1 + \left(\frac{wc}{WC} - 1 \right) t}$$

El miembro derecho es de la forma

$$\int \frac{dt}{a_1 + b_1 t} = \frac{1}{b_1} \log(a_1 + b_1 t)$$

Integrando dl entre 0 y L y dt entre t_1 y t_2 ,

$$\frac{UA}{wc} = \frac{1}{\left(\frac{wc}{WC} - 1\right)} \ln \frac{T_2 - \frac{wc}{WC} t_1 + \left(\frac{wc}{WC} - 1\right) t_2}{T_2 - \frac{wc}{WC} t_1 + \left(\frac{wc}{WC} - 1\right) t_1}$$

Para simplificar esta expresión sustituya para T , en el numerador la expresión, desarrolle el denominador, y cancele términos

$$\frac{UA}{WC} = \frac{1}{(WC, -, -1)} \ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}$$

Sustituya para wc/WC la expresión de la ecuación.

$$\frac{UA}{WC} = \frac{t_2 - t_1}{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)} \ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}$$

Puesto que $wc(t_2 - t_1) = Q$ y sustituyendo Δt_2 y Δt_1 para todas temperaturas terminales caliente y fría $T_1 - t_2$ y $T_2 - t_1$

$$Q = UA \left(\frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \Delta t_2 / \Delta t_1} \right)$$

Si la diferencia entre las dos terminales $\Delta t_2 - \Delta t_1$ se escribe de manera que sea positiva, entonces la razón de las dos terminales tomadas en el mismo orden es numéricamente mayor que uno, eliminándose cualquier confusión debido a signos negativos. La expresión entre paréntesis es de nuevo el medio logarítmico o la media logarítmica de la diferencia de temperaturas y se abrevia MLDT. La ecuación para flujos a contracorriente puede ser escrita

$$Q = UA \Delta t = UA \times MLDT$$

Y

$$\Delta t = MLDT = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln (T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \Delta t_2/\Delta t_1}$$

- *Flujo paralelo*

Refiriéndose a la figura 11.2., para el caso en que ambos fluidos fluyen en la misma dirección, las ecuaciones básicas son esencialmente las mismas. Para el estado estable,

$$dQ = U(T - t)a'' dL$$

Pero

$$dQ = WC dT = -wcdt$$

Puesto que t disminuye en dirección de los incrementos de valores de T. Tomando el balance de calor entre X y el lado izquierdo,

$$WC(T - T_2) = wc(t_2 - t)$$

Considerando de nuevo la diferencia terminal caliente $\Delta t_2 = T_1 - t_1$, como la diferencia de temperatura mayor flujo paralelo y $\Delta t_1 = T_2 - t_2$ la diferencia de temperatura menor, el resultado es

$$Q = UA \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \Delta t_2/\Delta t_1}$$

Relación entre el flujo paralelo y a contracorriente. Puede parecer de la forma final de las dos derivaciones para los dos flujos, que hay poca diferencia entre los dos. Los ejemplos que siguen demuestran, que excepto donde un fluido es isotérmico (tal como vapor condensante), hay una desventaja térmica distintiva en el uso de flujo paralelo.

- *Temperatura Promedio del fluido*

De las cuatro suposiciones usadas en la derivación de la diferencia de temperatura para la MLDT, la que está sujeta a mayor desviación es la que establece un coeficiente total de transferencia de calor U constante.

En el intercambio de calor fluido-fluido, el fluido caliente posee una viscosidad a la entrada que aumenta a medida que el fluido se enfría. El flujo frío a contracorriente entra con una viscosidad que disminuye a medida que se calienta. Hay una terminal caliente $T_1 - t_2$ y una terminal fría $T_2 - t_1$, y los valores de h_o y h_i (AJA) varían a lo largo del tubo para producir una U mayor en la terminal caliente que en la fría.

Como un ejemplo simple, tómese el caso de un coeficiente individual de transferencia a la entrada y a la salida, obtenido de los datos de Morris y Whitman, usando la ecuación de pérdida de calor por conducción en la tubería. De lo anterior se puede ver que bajo condiciones actuales la variación de U puede ser aún mayor que h_i sola, puesto que el coeficiente exterior h_o , variará al mismo tiempo y en la misma dirección que h_i . Las variaciones de U pueden tomarse en cuenta.

Por integración numérica de dQ , el calor transferido sobre longitudes diferenciales de tubería a $dL = dA$, y usando valores promedios de U de punto a

punto en la ecuación diferencial $dQ = U_{av} dA \Delta t$. La sumade punto a punto da entonces $Q = UA At$ con poco error. Este es un método muy tardado, y el aumento en exactitud de los resultados no compensa el esfuerzo. Colburn - ha emprendido la solución de problemas con valores variables de ZJ suponiendo que U varía linealmente con la temperatura, derivando una expresión de acuerdo con esto para la diferencia real de temperaturas. La razón de MLDT para U constante y la diferencia de temperatura verdadera variando U , se usa entonces como la base para establecer un coeficiente total que es el medio verdadero en lugar del medio aritmético.

Suponga:

- Flujo constante de peso
 - Calor específico constante
 - No hay cambios parciales de fase
-
- Representación isotérmica del calentamiento y enfriamiento

En el flujo laminar cuando el fluido fluye isotérmicamente, se supone que la distribución de la velocidad es parabólica. Cuando una cantidad dada de líquido se calienta a medida que se desplaza por el tubo, la viscosidad cerca de la pared de éste es menor que en la parte media. El fluido cerca de la pared se desplaza a mayor velocidad que como lo haría en flujo isotérmico y modifica la distribución parabólica de la velocidad, como se indica en la curva de calentamiento de la figura 11.1. Si el líquido se enfría, ocurre lo contrario: el fluido cerca de la pared fluye a menor velocidad que en flujo isotérmico, produciendo la distribución de velocidad indicada para enfriamiento.

Para el líquido que fluye más rápidamente en la partecaliente el calentamiento, algo del líquido cerca del eje central del tubo debe fluir hacia fuera en dirección a la pared para mantener el incremento de velocidad. Este es el componente radial de la velocidad que realmente modifica la naturaleza del flujo laminar. Si los datos para calentar un aceite en un rango de temperatura dada se grafican junto con los datos para enfriar el aceite en el mismo rango de temperatura, se obtienen dos familias de puntos.

Figura 12. **Comportamiento del calor desarrollado por un fluido en tubería**

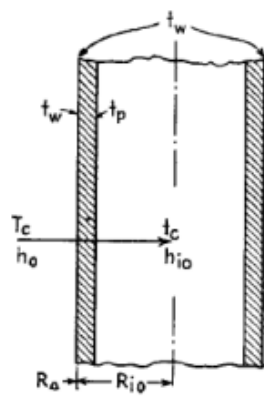


Fig. 12.1 temperatura de la pared del tubo

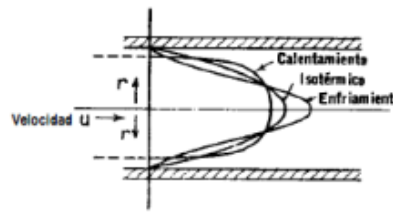


Fig. 5.4 calentamiento, enfriamiento y flujo laminar isotérmico

Fuente: KERN, Donald Q., *Procesos de Transferencia de Calor*, p. 70.

2.3.1.5. Análisis de fluidos

- Naturaleza de los fluidos

Un fluido es una sustancia que no resiste permanentemente la distorsión. Si se intenta variar la forma de una masa de fluido se produce un deslizamiento

de unas capas de fluido sobre otras hasta que alcanza una nueva forma. Durante la variación de la forma, se producen esfuerzos cortantes cuya magnitud depende de la viscosidad de fluido y de la velocidad de deslizamiento, pero cuando se alcanza la forma final, desaparecen todos los esfuerzos cortantes. El fluido en equilibrio carece pues de esfuerzos cortantes.

A una determinada temperatura y presión, un fluido posee una densidad definida, que en la práctica de la ingeniería se mide generalmente en kilogramos por metro cúbico. Aunque la densidad de un fluido depende de la temperatura y de la presión, la variación de la densidad al modificar estas variables puede ser grande o pequeña. Si la densidad varía poco por cambios moderados de temperatura y presión, el fluido se denomina no compresible, y si la densidad varía considerablemente con respecto a estas variables, el fluido recibe el nombre de compresible; se considera que los líquidos son no compresibles y los gases son compresibles.

Sin embargo, estos términos son relativos, y la densidad de un líquido puede variar considerablemente para grandes variaciones de la temperatura y la presión. Por otra parte, los gases sometidos a pequeñas variaciones relativas de presión y temperatura se comportan como fluidos no compresibles, y las variaciones de la densidad en estas condiciones pueden despreciarse sin gran error.

- *Comportamiento de un fluido*

El comportamiento de un fluido depende mucho de que el fluido esté o no bajo la influencia de superficies sólidas. En la región donde la influencia de la pared es pequeña el esfuerzo cortante puede ser despreciable, y el comportamiento del fluido acercarse al de un fluido ideal, es decir, no

compresible y con viscosidad cero. El flujo de un tal fluido ideal recibe el nombre de flujo potencial y está completamente descrito por la mecánica newtoniana y la conservación de la materia. La teoría matemática del flujo potencial está altamente desarrollada. El flujo potencial tiene dos importantes características:

- o No existen circulaciones ni remolinos dentro de la corriente, de forma que el flujo potencial se denomina también flujo no rotacional.*
- o No existe fricción y, por tanto, no hay disipación de energía mecánica en calor.*

No lejos de una superficie sólida puede existir flujo potencial. Un principio fundamental de la mecánica de fluidos, establecido inicialmente por Prandtl en 1904, es que, excepto, para fluidos que circulan con bajas velocidades o poseen viscosidades elevadas, el efecto de una superficie sólida sobre el flujo se limita a una capa de fluido inmediatamente adyacente a la pared.

Esta capa recibe el nombre de capa límite y tanto el esfuerzo cortante como las fuerzas de cizalla existen solamente en esta parte del fluido. Fuera de la capa límite prevalece el flujo potencial. La mayor parte de los procesos técnicos se estudian mejor considerando la corriente de fluido formada por dos partes: la capa límite y el resto del fluido. En algunas situaciones, como es el caso del flujo en una boquilla convergente, puede despreciarse el flujo de capa límite, mientras que en otros, como ocurre en el flujo en tuberías, la capa límite ocupa toda la conducción y no hay flujo potencial.

En el interior de la corriente de un fluido no compresible, que se encuentra bajo la influencia de límites sólidos existen cuatro efectos importantes:

- o El acoplamiento de los campos de gradientes de velocidad y de esfuerzo cortante.*
- o La iniciación de la turbulencia.*
- o La formación y crecimiento de capas límite.*
- o La separación de la capa límite del contacto con la superficie sólida.*

En el flujo de fluidos compresibles junto a superficies sólidas aparecen efectos adicionales que se deben a variaciones significativas de la densidad que son características de los fluidos compresibles. Estos efectos se consideran en el al estudiar el flujo de fluidos compresibles.

- *Campo de velocidad*

Cuando una corriente de fluido se mueve en bloque sobre una pared sólida, el fluido se adhiere al sólido en la interface real existente entre el sólido y el fluido. La adherencia es el resultado de los campos de fuerza en el límite, que son también la causa de la tensión interfacial entre el sólido y el fluido. Por consiguiente, si la pared está en reposo, con respecto a los ejes coordenados de referencia elegidos para el sistema sólido-fluido, la velocidad del fluido en la interface es cero. Como a distancias mayores del sólido la velocidad es finita puede existir variaciones de velocidad de un punto a otro dentro de la corriente en movimiento.

La velocidad en un punto cualquiera es, por tanto, función de las coordenadas espaciales de ese punto, y existe un campo de velocidad en

el espacio ocupado por el fluido. En un punto determinado, la velocidad puede variar también con el tiempo. Cuando la velocidad es constante en cada punto, el campo no varía con el tiempo, y el flujo se denomina estacionario.

- *Flujo laminar*

A velocidades bajas los fluidos tienden a moverse sin mezcla lateral, y las capas contiguas se deslizan una sobre otra, como las cartas de una baraja. No existen corrientes laterales ni torbellinos. Este tipo de régimen se llama flujo laminar. A velocidades superiores aparece la turbulencia, formándose torbellinos, que dan lugar a mezcla lateral.

2.3.1.6. Viscosidad

- *Viscosidad y densidad de flujo de cantidad de movimiento*

En un fluido newtoniano el esfuerzo cortante es proporcional al gradiente de velocidad y la constante de proporcionalidad recibe el nombre de viscosidad

$$\tau_v = \mu \frac{du}{dy}$$

Tabla II. **Factores de conversión para viscosidad**

Pa-s	P	cP	Lb/pies-s	Lb/pies-h
1	10	1000	0,672	2420
0,1	1	100	0,0672	242
10 ⁻³	0,01	1	6,72 x 10 ⁻⁴	2,42

Fuente: MACABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería Química. p. 78.

En unidades SI ζ se mide en Newton por metro cuadrado y p en kilogramos por metro-segundo o Pascal-segundo. En el sistema CGS la viscosidad se expresa en gramos por centímetro-segundo y esta unidad recibe el nombre de poise (P). Los datos de viscosidad se expresan generalmente en centipoise ($cP = 0.01$ poise) debido a que la mayoría de los fluidos tienen viscosidad menores a 1 poise.

En unidades inglesas la viscosidad se define utilizando el factor de conversión de la ley de Newton g_c , y las unidades de p son libras por pie-segundo o libras por pie-hora. La ecuación de definición es

$$\tau_v = \frac{\mu}{g_c} \frac{du}{dy}$$

- *Viscosidad cinemática*

Con frecuencia resulta útil la relación entre la viscosidad absoluta y la densidad de un fluido, p/ρ . Esta propiedad se denomina viscosidad cinemática y se representa por ν . Para distinguir μ de ν , a la primera se le llama viscosidad dinámica. Las unidades de ν en el sistema SI son metros cuadrados por segundo. En el sistema CGS la viscosidad cinemática se denomina Stokes (St) y corresponde a $1 \text{ cm}^2/\text{s}$. La unidad fps es pies cuadrados por segundo. Los factores de conversión son:

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 107639 \text{ pie}^2/\text{s}$$

Las viscosidades cinemáticas varían menos con la temperatura que las viscosidades absolutas.

- *Turbulencia*

Desde hace mucho tiempo se sabe que un fluido puede circular por una tubería u otra conducción de dos formas diferentes. A bajas velocidades de flujo la caída de presión en el fluido es directamente proporcional a la velocidad del fluido, mientras que a velocidades elevadas dicha caída de presión aumenta mucho más rápidamente y, de forma aproximada, es proporcional al cuadrado de la velocidad.

La distinción entre estos dos tipos de flujo fue inicialmente demostrada en un experimento clásico realizado por Osborne Reynolds en 1883. Sumergió un tubo horizontal de vidrio en un tanque de vidrio lleno de agua; el flujo de agua a través del tubo se podía controlar mediante una válvula. La entrada del tubo estaba acampanada y, mediante un dispositivo adecuado, se introducía un fino filamento de agua coloreada en la corriente de entrada del tubo. Reynolds encontró que, para bajas velocidades de flujo, el chorro de agua coloreada circulaba inalterado a lo largo de la corriente principal sin que se produjera mezcla lateral.

El comportamiento de la vena coloreada mostraba claramente que el agua circulaba según líneas rectas paralelas y que el flujo era laminar. Al aumentar la velocidad del flujo se alcanzaba una cierta velocidad crítica, para la cual se difumina la vena coloreada y el color se distribuye uniformemente a través de toda la sección de la corriente de agua. Este hecho pone de manifiesto que el agua ya no circula con movimiento laminar, sino que se desplaza al azar, dando lugar a corrientes transversales y remolinos. Este tipo de movimiento corresponde al flujo turbulento.

- *Numero de Reynolds y transferencia entre flujo laminar y turbulento*

Reynolds estudio las condiciones para las que se produce el cambio de un tipo de movimiento a otro y encontró que la velocidad crítica, para la que el flujo pasa de laminar a turbulento, depende de cuatro variables: el diámetro del tubo, así como la viscosidad, la densidad y la velocidad lineal media del líquido. Además, encontró que estos cuatro factores pueden combinarse formando un grupo y que el cambio del tipo de flujo ocurre para un valor definido del mismo. La citada agrupación de variables era

$$N_{Re} = \frac{D \nabla \rho}{\mu} = \frac{D \nabla}{\nu}$$

Donde:

D = diámetro del tubo

V = velocidad media del líquido

n = viscosidad del líquido

p = densidad del líquido

v = viscosidad cinemática del líquido

La agrupación a dimensional de variables definidas por la Ecuación recibe el nombre de número de Reynolds, N_{Re} , y es uno de los grupos adimensionales que se relacionan. Su valor es independiente de las unidades utilizadas con tal de que sean consistentes.

Observaciones adicionales han puesto de manifiesto que la transición de flujo laminar a turbulento ocurre en realidad para un amplio intervalo de números de Reynolds para números de Reynolds inferiores a 2100 se encuentra siempre flujo laminar, pero éste puede persistir hasta números de Reynolds de varios

millares para condiciones especiales de entrada del tubo bien acampanada y líquido completamente en reposo en el tanque. En condiciones ordinarias de flujo, el flujo turbulento para números de Reynolds superiores a aproximadamente 4000. Entre 2100 y 4000 existe una región de transición, donde el tipo de flujo puede ser tanto laminar o turbulento, dependiendo de las condiciones de entrada del tubo y de la distancia a dicha entrada.

- *Naturaleza de la turbulencia*

Debido a la importancia del flujo turbulento en muchas ramas de la ingeniería, se ha estudiado intensamente en los últimos años y se dispone de abundante bibliografía sobre este tema'. Se han empleado métodos refinados de medida para estudiar con detalle las fluctuaciones reales de velocidad de los torbellinos que tienen lugar en el flujo turbulento, y los resultados de las medidas han proporcionado mucha información cualitativa y cuantitativamente, sobre la naturaleza de la turbulencia.

La turbulencia puede originarse por métodos distintos del flujo a través de una tubería. En general, puede originarse bien por contacto de la corriente de fluido con límites sólidos, o bien por contacto entre dos capas de fluido que se mueven con velocidades diferentes. El primer tipo de turbulencia se denomina turbulencia de pared y el segundo turbulencia libre. La turbulencia de pared aparece cuando el fluido se mueve a través de canales cerrados o abiertos, o bien alrededor de formas sólidas sumergidas en la corriente.

La turbulencia libre se presenta en el flujo de un chorro dentro de la masa de un fluido estancado, cuando una capa límite se separa de una pared sólida y se mueve a través de la masa global del fluido. La turbulencia libre es

especialmente importante en la operación de mezcla que se estudia más adelante.

El flujo turbulento consiste en un conjunto de torbellinos de diferentes tamaños que coexisten en la corriente de fluido. Continuamente se forman torbellinos grandes que se rompen en otros más pequeños, que a su vez se transforman en otros todavía menores, los cuales finalmente desaparecen. En un tiempo y volumen determinado existe una amplia gama de tamaños de torbellinos.

El tamaño de torbellino máximo es del mismo orden que la dimensión mínima de la corriente turbulenta; el diámetro de los torbellinos más pequeños es aproximadamente de 1 mm. Los torbellinos menores que éstos se destruyen rápidamente por las fuerzas viscosas. El flujo dentro de un torbellino es laminar. Puesto que aun los torbellinos más pequeños contienen del orden de 10^{16} moléculas, todos ellos son de tamaño macroscópico y el flujo turbulento no es un fenómeno molecular.

Un torbellino cualquiera posee una cantidad definida de energía mecánica, como si se tratase de una pequeña peonza. La energía de los torbellinos mayores procede de la energía potencial del flujo global del fluido. Desde un punto de vista energético, la turbulencia es un proceso de transferencia, en el cual los torbellinos grandes, formados a partir del flujo global, transportan la energía de rotación a lo largo de una serie continua de torbellinos más pequeños.

Durante la ruptura de torbellinos grandes en otros cada vez más pequeños, no hay transformación apreciable de la energía mecánica en calor, a pesar de lo cual esta energía no es utilizable, sin embargo, para mantener la presión o

vencer la resistencia al flujo, y no es aprovechable en la práctica. Finalmente esta energía mecánica se convierte en calor, cuando los torbellinos más pequeños se destruyen por la acción viscosa.

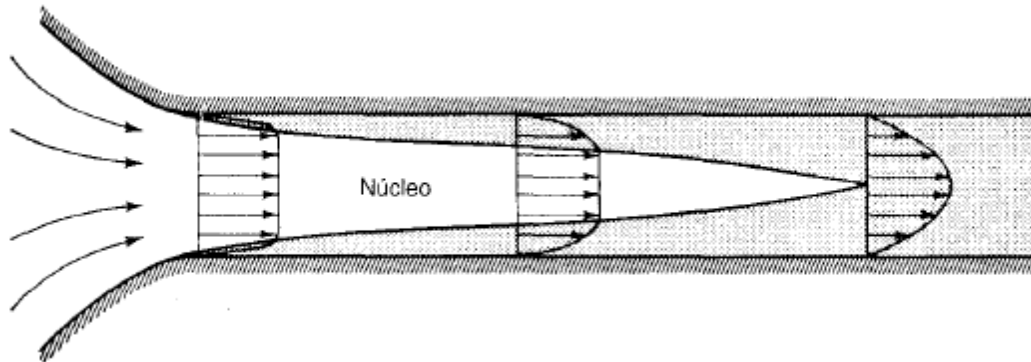
- *Condiciones de entrada a la tubería*

En el estudio anterior sobre flujo de tuberías, la atención se centró en un flujo laminar completamente desarrollado ($Re, > 2,300$), una condición que se alcanza cuando la acción viscosa prevalece en toda la sección transversal del flujo y da como resultado un perfil de velocidad no variable en la dirección del flujo, y líneas de corriente rectas y paralelas. Inmediatamente después de la entrada a la tubería, estas condiciones no están presentes, como se puede ver en una entrada bien redondeada. Nótese que en principio el flujo es casi uniforme. Más adelante esta región de perfil uniforme, algunas veces conocida como núcleo, se encoge a medida que los efectos viscosos se extienden más adentro del flujo. Por último, se establece un flujo laminar completamente desarrollado suponiendo que $Re, > 2,300$ para el cual las ecuaciones de pérdida por fricción son válidas. Un punto de vista conveniente es considerar que se forma una capa límite laminar o turbulenta a la entrada y crece aguas abajo hasta que ocupa toda la sección transversal. Esto se ilustra en la figura, donde la parte oscura es la capa límite laminar.

La distancia L' desde la entrada hasta la posición en la tubería en la cual se tiene un flujo laminar completamente desarrollado se ha determinado y puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$L' = 0.058Re_D D$$

Figura 13. **Crecimiento de la capa límite en la entrada a una tubería**



Fuente: MACAB, Warren L. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. p. 125.

Para flujo turbulento ($Re, > 2,300$) se tiene el siguiente resultado aproximado de L' :

$$L' = 4.4Re_D^{1/6}D$$

La región de entrada no es de flujo paralelo en un sentido estricto, puesto que las líneas de corriente tendrán una curvatura a lo largo de la superficie entre el núcleo uniforme y la capa límite. Por consiguiente, no pueden aplicarse en forma apropiada los resultados obtenidos a partir de la restricción del flujo paralelo. Sin embargo, en la mayor parte de los problemas esta región es corta en comparación con las distancias de tubería donde se presenta el flujo completamente desarrollado. En consecuencia, cantidades como la pérdida de altura para la tubería se calculan con base en que en toda la longitud de la tubería se ha establecido un flujo completamente desarrollado, ya sea laminar o turbulento. También se utiliza una pérdida menor a la entrada. Esto se considerará más adelante.

- *Pérdidas de altura en tuberías*

Los siguientes resultados estarán restringidos al flujo permanente, completamente desarrollado y turbulento en el cual las variaciones hidrostáticas no se tienen en cuenta.

Además, todas las cantidades se entenderán como promedios temporales. Más adelante demostrará que los promedios temporales de los parámetros y las propiedades del flujo turbulento se comportan como si el flujo fuera laminar, excepto por la presencia de esfuerzos adicionales, conocidos como esfuerzos aparentes, los cuales incluyen los efectos de la turbulencia. Los esfuerzos aparentes de flujo turbulento exceden de manera considerable los esfuerzos viscosos ordinarios presentes, de manera que estos últimos no se tienen en cuenta en flujos turbulentos, excepto cerca de la frontera porque en ésta predominan los esfuerzos viscosos.

Los esfuerzos aparentes no limitan la extensión de las conclusiones generales de flujo paralelo, analizado anteriormente las cantidades medias temporales en flujo permanente, paralelo y turbulento, de manera que seguirá considerándose que el perfil promedio temporal permanece fijo en la dirección del flujo y continuará utilizándose la presión uniforme media temporal en las secciones de la tubería.

Se sabe que los cambios Δp en la presión a lo largo de una tubería con flujo turbulento dependen de las cantidades siguientes:

D, diámetro de la tubería

L, longitud de la tubería en la que se determina el cambio en la presión

μ , coeficiente de viscosidad

V , promedio sobre una sección transversal de la velocidad media temporal que es equivalente a q/A

ρ , densidad

e , variación promedio del radio de la tubería, es decir, una medida de la rugosidad de la tubería

En notación funcional esto se convierte en

$$\Delta p = f(D, L, \mu, V, \rho, e)$$

Llevando a cabo el análisis dimensional para las variables anteriores. El resultado está dado por la siguiente relación que involucra cuatro grupos adimensionales:

$$\frac{\Delta p}{\rho V^2} = G\left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{L}{D}, \frac{e}{D}\right)$$

Intuitivamente resulta claro que el cambio Δp en la presión es directamente proporcional a la longitud L de la tubería. Por consiguiente, puede simplificarse la ecuación anterior para incluir esta relación en la siguiente forma:

$$\frac{\Delta p}{\rho V^2} = \frac{L}{D} H\left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{e}{D}\right)$$

La función desconocida G de tres K se ha remplazado por una función desconocida H de solamente dos π . Al remplazar Δp por h y p debido a que se tiene un flujo horizontal, paralelo y promedio temporal, y al ordenar términos, se obtiene:

$$h_f = \frac{V^2 L}{2 D} \left[k \left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{e}{D} \right) \right]$$

Para formar el término familiar de energía cinética se ha dividido por 2. Esto se permite debido a que aún existe una función indeterminada en la ecuación. Finalmente, en la práctica la función desconocida $K(\rho V D / \mu, e / D)$ se conoce como factor de fricción. Utilizando la notación f para este término, la forma final de las consideraciones dimensionales se convierte en la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2}$$

El término f se determina experimentalmente de manera que satisfaga la ecuación de Bernoulli modificada, al utilizar promedios temporales. En la figura 13 se muestra una gráfica de f en función de Re , para diferentes condiciones de rugosidad; se utilizan los datos obtenidos por Nikuradse. Las tuberías en estos experimentos obtuvieron una rugosidad artificial pegando arenas de diferentes granulometrías y variando el grado de separación sobre las paredes internas de la tubería. Nótese que los datos cubren los intervalos laminar y turbulento.

Para los números de Reynolds por debajo de 2,300 existe una relación simple entre el factor de fricción y el número de Reynolds, que es completamente independiente de la rugosidad. Es fácil calcular la relación entre f y Re , utilizando el trabajo teórico de las secciones anteriores para el intervalo de flujo laminar y de esta manera verificar la teoría con el experimento. Para llevar a cabo esta prueba, se sustituye la expresión teórica para la pérdida de altura del flujo laminar en la ecuación. Haciendo esto, se obtiene:

$$\frac{128q\mu L}{\pi D^4 \rho} \frac{V^2 L}{2 D} f$$

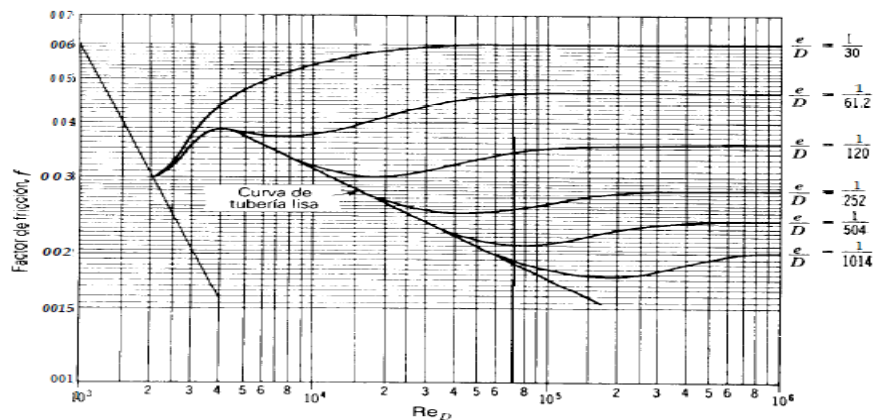
Al remplazar q por $V(A D^*/4)$ y despejar f , se obtiene:

$$f = \frac{64}{\rho V D / \mu} = \frac{64}{Re_D}$$

La teoría indica que f en función de Re , forma una hipérbola rectangular. En un papel logarítmico, como el de la figura, la hipérbola se convierte en una línea recta. La coincidencia excelente entre los resultados experimentales y la curva teórica se comprueba al verificar un par de puntos.

Fácilmente, puede relacionarse f con el esfuerzo cortante en la pared z_p considerando como sistema un bloque de fluido que conforme un cilindro de longitud L y diámetro D dentro de la tubería en el instante t (véase la figura).

Figura 14. Datos de Nikurdase correspondientes a flujos en tuberías con rugosidad artificial



Fuente: MACAB, Warren L. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. p. 96.

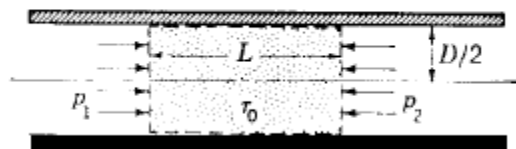
Debido a que la velocidad promedio temporal para todos los elementos de fluido de este sistema es constante, puede concluirse que las fuerzas en la dirección del flujo causadas por los esfuerzos aparentes se encuentran en equilibrio. Igualando estas fuerzas, se obtiene:

$$\Delta p \frac{\pi V^2}{4} = \tau_p \pi D L$$

Al utilizar la definición de pérdida de altura, puede remplazarse 4 por h_{lp} , y además, al emplear el factor de fricción puede remplazarse h_{lp} por $f (L/D)^* (V^2/2)\rho$. Al utilizar este resultado en la ecuación anterior y despejar f , se obtiene:

$$f = \frac{8\tau_p}{\rho V^2}$$

Figura 15. **Sistema de fluido en una tubería**



Fuente: MACAB, Warren L., Operaciones unitarias en Ingeniería Química, p. 98.

Al prestar atención a la región turbulenta de la gráfica, se nota que directamente después del número de Reynolds crítico todas las curvas de rugosidad coinciden con las curvas de tubo liso. Más adelante, cada curva se aparta de la curva de tubo liso en una secuencia que a mayor rugosidad más rápidamente ocurre la separación. La parte de cualquier curva que coincide con

la curva de tubo liso se conoce como zona de flujo de tubería lisa. Además, nótese que después de pasar por la zona de tubo liso, cada curva eventualmente se aplana y tiende a una línea recta paralela a la abscisa.

Esto indica que el factor de fricción f es independiente del número de Reynolds. Para cada curva esta región se conoce como zona de flujo de tubería rugosa, mientras que la región entre los dos extremos se conoce como zona de transición fricción nula. Luego, cada una de las curvas, excepto la correspondiente a tuberías lisas, pasa a través de tres zonas de flujo cuyas posiciones y extensión dependen de la rugosidad de la tubería.

El comportamiento de las curvas de fricción en las tres zonas de flujo puede explicarse de una forma cualitativa. Desde un punto de vista físico, es necesario que las fluctuaciones macroscópicas del flujo turbulento se amortigüen de manera considerable a medida que se acercan a la superficie sólida.

Por consiguiente, existe una capa de flujo delgada adyacente a cada superficie sólida, conocida como subcapa viscosa, donde los efectos viscosos predominan sobre los efectos turbulentos. En el caso de una tubería, a mayor número de Reynolds más delgada es la subcapa debido a que números de Reynolds elevados inducen fluctuaciones de velocidad más fuertes y, en consecuencia, una mayor penetración de la turbulencia hacia la frontera. En la zona de tubería lisa de cualquier curva del diagrama anterior, el espesor de su capa es lo suficientemente grande para exceder a la altura promedio de la arena. Ya se había observado que la rugosidad no tenía ningún efecto sobre la pérdida de altura para flujo laminar.

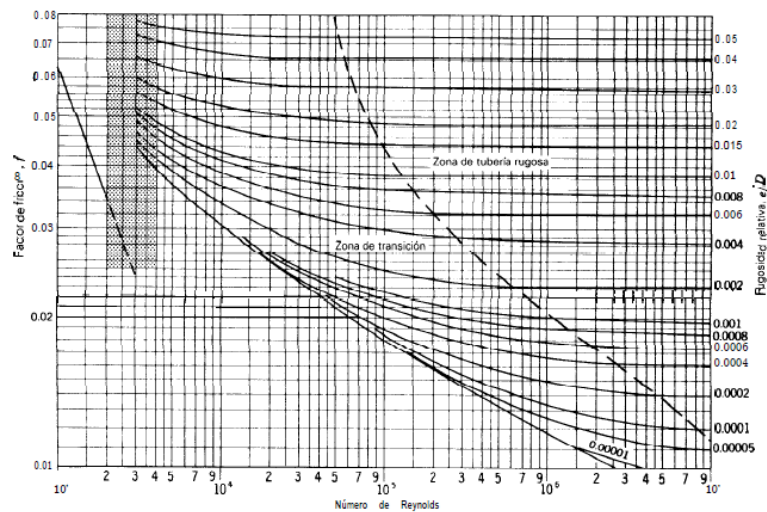
Debido a que la región del flujo para la cual se encuentran expuestas las partículas de arena es viscosa en lugar de turbulenta, es claro que todas las curvas de fricción de la zona de tubería lisa deben coincidir. Para números de Reynolds más elevados, el espesor de la subcapa disminuye hasta exponer los granos de arena al flujo turbulento por fuera de la subcapa viscosa. Naturalmente, las tuberías con mayor rugosidad alcanzan esta situación con números de Reynolds menores. Una vez que se ha alcanzado la zona de tubería rugosa, una gran parte de la superficie rugosa se encuentra expuesta al flujo turbulento por encima de la subcapa.

En esta región predominan velocidades mayores. Para estas velocidades la resistencia al flujo se debe a un arrastre de onda. Este tipo de resistencia se debe principalmente a esfuerzos normales distribuidos a lo largo de la frontera de manera tal que se genera una resistencia al flujo, mientras que en el flujo de tuberías lisas la resistencia primordialmente es un resultado de esfuerzos cortantes. Se sabe que el arrastre de onda para velocidades como las encontradas en flujos en tuberías es proporcional al cuadrado de la velocidad promedio v . Por consiguiente, la caída en la presión es proporcional al cuadrado de la velocidad. Debido a que la ecuación de pérdida de altura está expresada en una forma proporcional al cuadrado de esta velocidad, es evidente que el factor de fricción debe ser una constante. Por último, la zona de transición se explica como aquella sometida a efectos viscosos y de arrastre de onda en diferentes grados.

Debe recordarse que los datos de Nikurdase se desarrollaron para condiciones de rugosidad artificiales. Existe la pregunta de qué tan bien se aproxima este tipo de rugosidad a las condiciones de rugosidad encontradas en situaciones reales. Moody hizo un estudio extenso sobre datos en tuberías comerciales para modificar la gráfica anterior con el fin de que sea útil en

problemas prácticos. En la figura 15 se muestra la nueva gráfica junto con la tabla 2, en la cual pueden encontrarse los valores pertinentes del coeficiente de rugosidad e para numerosas superficies. Más adelante se demostrará el uso de estos cuadros. Nótese en este momento que para números de Reynolds entre 2,000 y 4,000 las curvas se encuentran punteadas, lo cual significa que para estos números los datos correspondientes a f no son precisos. Además, esto se recalca mediante el área sombreada que se muestra en los datos de Moody.

Figura 16. Diagrama de Moody para pérdidas por fricción



Fuente: material de apoyo curso de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla III. Algunos tipos de materiales con sus rugosidades

Material (nuevo)	e		Material (nuevo)	e	
	pies	mm		pies	Mm
Vidrio	0.000001	0.0003	Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Tubería estirada	0.000005	0.0015	Hierro fundido	0.00085	0.26
Acero, hierro forjado	0.00015	0.046	Madera cepillada	0.0006 - 0.003	0.18 - 0.9
Hierro fundido asfaltado	0.0004	0.12	Concreto	0.001 - 0.01	0.3 - 3.0

Fuente: material de apoyo curso de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.3.1.7. Resistencias eléctricas para calentadores de agua

Las resistencias eléctricas utilizadas en este sistema de calefacción son las de tipo RT, R por racor roscado, y T por termostato son más que todo para uso sanitario y de poca capacidad con una orientación meramente doméstica.

Consiste en un haz de tubos calefactores de cobre, compuesto por un elemento de conexión monofásica en forma de U simple y soldado en un tapón roscado de latón GAS 1" 1/4 preparado para su fijación en la pared del calentador; este tipo de resistencias van instaladas en el interior de las calderas en posición vertical. Se recomienda que para la instalación de estas resistencias se lo haga junto con termostatos unipolares con bulbo de varilla rígida.

2.3.2. Análisis de ubicación

Anteriormente se analizó la problemática que presenta la instalación, y sin encontrar problema en la ubicación de todo el equipo del sistema de dosificación, los cuales nos permiten reutilizar un porcentaje del 80% de la instalación.

En el sistema de control de dosificación actual los mandos de control no existen, sino, solo el interruptor que controla únicamente el estado del motor de la bomba de dosificación; por ende ha de crearse un tablero de control y ubicarse a un costado del molino con forma de botonera y su sistema de corte de seguridad.

En el sistema de control de temperatura del tanque de almacenamiento de agua no hay indicador de exceso de temperatura desde las oficinas de mantenimiento, así como un sistema de paro de emergencia; igual que el sistema de control de dosificación; dichos equipos por el momento solo contarán con los indicadores en la oficina para que el jefe de mantenimiento monitoree constantemente las actividades del operador.

2.3.3. Análisis del equipo a utilizar

La elección del equipo a utilizar viene establecida por los requerimientos de operación del equipo sin sobredimensionar la capacidad de cada uno para disminuir costos.

2.3.3.1. Bombas de impulsión de agua para calefacción

Se utilizaran tres bombas de agua para la impulsión de agua de todo el sistema, una en el circuito de los tanques de almacenamiento, la otra en el circuito de transporte y una última de menor capacidad seria en el tanque de trabajo para que esta mantenga circulando un caudal pequeño durante más tiempo.

Anteriormente se mencionó que se utilizarán tres bombas una con una potencia de 1/3 HP y un caudal de 50 litros/minuto para el tanque de trabajo, la segunda con una potencia de 1 ½ HP para la tubería de transporte y la tercera es de 1HP con un caudal de 70 litros/minuto que será utilizada en el circuito de calefacción del tanque de trabajo.

Convirtiendo la potencia de HP a KW, el caudal en litros/ minuto a metros cúbicos/segundo y multiplicándolos por la densidad obtenemos el flujo másico que nos servirá más adelante; para saber que temperatura utilizaremos para buscar en tablas la densidad utilizaremos la temperatura media que está comprendida entre la temperatura ambiente promedio en clima frio que es de 10°C y la temperatura que trabajara el sistema que corresponde en este caso al aceite de palma con temperatura de fusión de 55°C.

Se tomó en cuenta este sustituto debido al gran parecido entre sus características químicas, los otros sustitutos son de menor costo en comparación pero para nivelar su efectividad es necesario invertir en muchos elementos correctivos lo cual hace la elección de estos muy poco rentable.

$$T_{\text{promedio}} = \frac{T_{\text{Fusión}} + T_{\text{Ambiente}}}{2} = \frac{55^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}}{2} = 32.5^{\circ}\text{C}$$

Con una temperatura promedio de 32.5°C e interpolando de las tablas de las propiedades del agua saturada en la fracción líquida (apéndice 1) obtenemos que la densidad del agua es de 995 kilogramo/metro cúbico.

Tabla IV. Datos técnicos de las bombas

Caudal (lt/min)	Potencia (HP)	Caudal (m3/seg)	Potencia (Kw)	Densidad agua (kg/m3)	Flujo másico (kg/seg)
50	1/3	0.000833333	0.248566664	995	0.829166667
70	1	0.001166667	0.745699921	995	1.160833333
90	1 1/2	0.0015	1.118549882	995	1.4925

Fuente: elaboración propia.

- *Tubería de transporte*

La tubería de transporte deberá estar aislada térmicamente para evitar pérdidas de calor al ambiente, además en la unión de cada tubo se tiene actualmente una unión simple de codos como se había descrito anteriormente, pero para una mejor transferencia de calor se deberá poner una tubería de cobre en forma de serpentín, que envuelva cada unión debido a que otro sistema de conexión de tubería sería muy costoso y su mantenimiento más difícil; por lo tanto la opción más viable en este momento es la tubería de cobre y esta tubería tendrá diámetro de una pulgada para que reduzca la velocidad de paso así también se aumentara el coeficiente de transferencia térmica. A continuación se muestran las figuras de la forma de conexión que se realizará.

El dato que necesitamos de esta tubería es la pérdida de calor hacia el ambiente lo cual nos representará el costo energético que esta trae consigo además, analizaremos el comportamiento de la tubería respecto con la condición anterior sin aislante.

Los datos necesarios para el cálculo fueron tomados de forma aproximada debido a la falta de existencia de tablas interpolando, para los datos del aceite de palma se comparo con otros aceites que tuvieran una densidad similar y así interpolando a la temperatura media calculada anteriormente que es de 32.5 °C; se obtuvieron los datos que a continuación se muestran:

- Radio interno del tubo de 2" es 0.0265 metros*
- Radio externo del tubo de 2" es 0.031625 metros*
- Radio externo del aislante que recubre el tubo de 2" es 0.057025 metros.*
- El coeficiente de transferencia por convección del agua es de 352 W/m²* °C, se tomo el valor mínimo de el rango dado en la tabla del anexo 1.*
- El coeficiente de conductividad térmica para el acero dulce es 45.3 W/m*K; tomado del anexo tabla a-3.*
- El coeficiente de conductividad térmica para el aislante que en este caso es fibra de vidrio es de 0.038 W/m*K.*
- El coeficiente de transferencia de calor por convección del aire es 5W/m²* °C, se toma el mínimo debido a la falta de convección forzada.*
- Longitud de la tubería es 24 metros*

Nótese que la elección del grosor de la capa de aislante térmico basado en la analogía del libro de Transferencia de Calor y Masa, fundamentos y aplicaciones, de YunusA.Cengel y Afshin J. Ghajar, cuarta edición. En la página 161 donde explica por medio de la ecuación de radio crítico, pero en este caso se recurrió a investigación de campo y el grosor promedio en la utilización de tuberías es de 1 pulgada (0.0254 metros).

$$r_{cr} = \frac{k_{\text{máx,aislamiento}}}{h_{\text{min}}} = \frac{0.039 \text{ W/m}^2}{5 \text{ W/m}} = 0.0078\text{m} \approx 0.001\text{m}$$

La omisión de los grados Kelvin o Rankine se debe a que en cuestión de temperaturas son equivalentes al momento de la operación en la ecuación de flujo de calor, como estos se toman en cualquiera de las dos escalas al hacer la resta se cancela la conversión.

El cálculo de pérdidas de calor en la tubería de cobre que rodeará las uniones de los tubos será despreciable debido a que es muy pequeño el tramo que recorre y además en estas partes se utilizará una abrazadera con fibra de vidrio para evitar fugas al ambiente.

Calculando la R equivalente que es la suma de cada una de las resistencias térmicas. La primera será por convección del agua como primera frontera, la siguiente será por conducción del acero, a continuación por conducción del material aislante (fibra de vidrio) y por último por convección del aire; en ese orden tenemos.

$$R_{\text{conv,agua}} = \frac{1}{\left(\frac{352\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (2\pi * 0.02625\text{m} * 24\text{m})} = 7.1769 * 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln\left(\frac{0.031625}{0.02625}\right)}{2\pi\left(\frac{45.3\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (24\text{m})} = 1.7636 * 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{aislante}} = \frac{\ln\left(\frac{0.057025}{0.031625}\right)}{2\pi\left(\frac{0.038\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (24\text{m})} = 0.1029 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{conv,aire}} = \frac{1}{\left(\frac{5W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right) * (2\pi * 0.057025m * 24m)} = 2.326 * 10^{-2} \text{ } ^\circ C/W$$

$$\begin{aligned} R_{\text{equiv}} &= R_{\text{conv,agua}} + R_{\text{tubo}} + R_{\text{aislante}} + R_{\text{conv,aire}} \\ &= 7.1769 * 10^{-4} + 1.7636 * 10^{-4} + 0.1029 + 2.326 * 10^{-2} \\ &= 0.1270 \text{ } ^\circ C/W \end{aligned}$$

$$Q = \frac{T_{\text{interna}} - T_{\text{ambiente}}}{R_{\text{equivalente}}} = \frac{55^\circ C - 10^\circ C}{0.1270 \text{ } ^\circ C/W} = 354.23 \text{ W}$$

El flujo calor hacia el ambiente sin aislante térmico es:

$$\begin{aligned} R_{\text{equiv}} &= R_{\text{conv,agua}} + R_{\text{tubo}} + R_{\text{conv,aire}} \\ &= 7.1769 * 10^{-4} + 1.7636 * 10^{-4} + 2.326 * 10^{-2} = 0.02415 \text{ } ^\circ C/W \end{aligned}$$

$$Q = \frac{T_{\text{interna}} - T_{\text{ambiente}}}{R_{\text{equivalente}}} = \frac{55^\circ C - 10^\circ C}{0.02415 \text{ } ^\circ C/W} = 2433.748 \text{ W}$$

$$\%_{\text{reducción}} = 1 - \frac{354.23 \text{ W}}{1863.04 \text{ W}} = 80.99\%$$

Con el uso de un aislante se reduce la pérdida de calor en 80.99% teóricamente, en la práctica se usa un estimado del 80%, esto muestra que se esta en el rango de operación debido a que estos cálculos se basan en un estado estable.

El análisis anterior refiere a la interacción del agua con el ambiente, ahora confiere la interacción del agua con el aceite que estará en estado sólido y requerirá una cantidad determinada de energía para poder llegar a su estado líquido; se analiza el flujo de calor de igual manera. Ahora se tiene:

- *Diámetro interno del tubo de 1" es 0.0133225 metros*
- *Diámetro externo del tubo de 1" es 0.0167005 metros*
- *El coeficiente de transferencia por convección del agua es de 352 W/m² * °C, se tomo el valor mínimo de el rango dado en la tabla del anexo 1.*
- *El coeficiente de conductividad térmica para el acero dulce es 45.3 W/m*K.*
- *El coeficiente de transferencia de calor por convección del aceite de palma se obtiene extrapolando entre los únicos dos datos conseguidos por consulta en internet y son es de 70W/m² * °C, se.*
- *Longitud de la tubería es 24 metros*
- *Asumimos la temperatura del aceite a una promedio de 20°C en estado sólido.*

$$R_{\text{conv,agua}} = \frac{1}{\left(\frac{352\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}\right) * (2\pi * 0.0133225\text{m} * 24\text{m})} = 1.414 * 10^{-3} \text{°C/W}$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln\left(\frac{0.0167005}{0.0133225}\right)}{2\pi \left(\frac{45.3\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}\right) (24\text{m})} = 3.3082 * 10^{-5} \text{°C/W}$$

$$R_{\text{conv,aceite}} = \frac{1}{\left(\frac{70\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}\right) * (2\pi * 0.0167005\text{m} * 24\text{m})} = 5.673 * 10^{-3} \text{°C/W}$$

$$R_{\text{equiv}} = R_{\text{conv,agua}} + R_{\text{tubo}} + R_{\text{conv,aceite}}$$

$$= 1.414 * 10^{-3} + 3.3082 * 10^{-5} + 5.673 * 10^{-3} = 7.12 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$Q = \frac{T_{\text{interna}} - T_{\text{aceite}}}{R_{\text{equivalente}}} = \frac{55^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}{7.12 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}} = 6320.42 \text{ W}$$

Este es el flujo en el momento de inicio de operaciones del equipo,

Para un estado estable en el proceso de operación se limita el intercambio a una diferencia de temperatura máxima de 5°C

$$Q = \frac{\Delta T_{\text{operación}}}{R_{\text{equivalente}}} = \frac{5^\circ\text{C}}{7.12 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}} = 702.27 \text{ W}$$

Ahora se calcula el trabajo que nos requiere elevar la temperatura del agua a 55°C, que toma como un fluido energético, para esto solo se necesita el caudal, la densidad para obtener el flujo másico; y la entalpía que es la energía consumida en el proceso.

Anteriormente se obtuvo que el flujo másico sea de 1.4925 Kg/seg y la entalpía del líquido a 55 °C es de 230.26 Kj/Kg (datos obtenidos tablas de agua saturada pagina 154 Termodinámica de Cengel).

$$Q = \dot{m}\Delta h = 1.4925 \text{ KG/seg} * 230.26 \text{ KJ/KG} = 343.66 \text{ W}$$

Y sumando todas los consumos de calor obtenemos

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{perdidas al ambiente}} + Q_{\text{Transferencia al liquido interno}} + Q_{\text{agua}}$$

$$= 354.23 + 702.27 + 343.66 = 1400.16 \text{ W}$$

Y esto indica el consumo energético de la resistencia que se establece con un factor de seguridad del 20%.

$$\text{Potencia} = Q_{\text{total}} * 1.2 = 1400.16 * 1.2 = 1680.192 \text{ W} \cong 2\text{KW}$$

El consumo de energía es de 1.7 KW aproximadamente, pero en el mercado actual no existen estas resistencias de fábrica, la escala próxima es de 2KW que cumple con los requisitos y se controla su accionamiento mediante controladores eléctricos.

El flujo de calor en el momento del encendido se toma despreciable, debido a que por ser muy pocos residuos de aceite no consumirán mucho tiempo del proceso del calentamiento, y no mucho más que el del calentamiento del tubo.

La pérdida de calor en la tubería de retorno se tomará despreciable debido a que la disminución de temperatura que sufra el líquido en esta tubería, beneficiara a la bomba centrífuga ya que esta es una de selección común con una tolerancia de 50°C.

2.3.3.2. Tanque de almacenamiento

Este tanque es donde se almacenará el aceite o grasa sustituta, para que cada día de producción se extraiga en promedio un volumen de 300 galones; se han de considerar las pérdidas al ambiente pero debido que no se calentará todo su contenido para evitar la degradación del mismo, se asumirá que calentara a 0.161 metros de altura.

$$R_{\text{conv,aceite}} = \frac{1}{\left(\frac{70\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (2\pi * 1.5\text{m} * 0.161\text{m})} = 9.415 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{tanque}} = \frac{\ln\left(\frac{1.505}{1.5}\right)}{2\pi \left(\frac{45.3\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (0.161\text{m})} = 7.262 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{aislante}} = \frac{\ln\left(\frac{1.5304}{1.505}\right)}{2\pi \left(\frac{0.038\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (0.161\text{m})} = 0.4354 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{conv,aire}} = \frac{1}{\left(\frac{5\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (2\pi * 1.5304\text{m} * 0.161\text{m})} = 0.1292 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{equiv}} = 9.415 * 10^{-3} + 7.262 * 10^{-5} + 0.4354 + 0.1292 = 0.574 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$Q = \frac{T_{\text{interna}} - T_{\text{ambiente}}}{R_{\text{equivalente}}} = \frac{55^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}{0.574 \text{ } ^\circ\text{C/W}} = 78.38 \text{ W}$$

Esta es la pérdida de calor que representa al ambiente que se añadirá como una carga total de calor.

La superficie de la base, se analizó como una pared plana y su material base donde se colocó es de concreto; para este caso se desprecia la convección.

$$\text{Area}_{\text{base}} = 2\pi r^2 = 2\pi(1.5)^2 = 14.14\text{m}^2$$

$$R_{\text{conv,aceite}} = \frac{1}{\left(\frac{70\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (14.14\text{m}^2)} = 1.01 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{kA} = \frac{0.005}{\left(\frac{45.3\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}\right) (14.14\text{m}^2)} = 7.81 * 10^{-6}\text{C/W}$$

$$R_{\text{caucho}} = \frac{L}{kA} = \frac{0.005}{\left(\frac{0.032\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}\right) (14.14\text{m}^2)} = 1.1 * 10^{-2}\text{C/W}$$

$$R_{\text{concreto}} = \frac{L}{kA} = \frac{0.21}{\left(\frac{1.1\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}\right) (14.14\text{m}^2)} = 0.014\text{C/W}$$

$$Q = \frac{55^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}}{2.5569 * 10^{-2} \text{C/W}} = 1759.89 \text{ W}$$

Para la parte superior será obviada debido a que no se calentara toda la grasa, solo una parte y el calor no llegara hasta la tapa.

Las pérdidas de calor en la tubería son las que interesan para el dimensionamiento de la resistencia en base a su potencia, para este cálculo se utilizaran los coeficientes ya establecidos para la operación y se tomará que la longitud total es de 87.1 metros; que es la longitud total de todos los tubos de 6 metros por el número que es de 14.5 tubos.

$$R_{\text{conv,agua}} = \frac{1}{\left(\frac{352\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}\right) * (2\pi * 0.0133225\text{m} * 87.1\text{m})} = 3.896 * 10^{-4}\text{C/W}$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln\left(\frac{0.0167005}{0.0133225}\right)}{2\pi\left(\frac{45.3\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}\right) (87.1\text{m})} = 9.116 * 10^{-6}\text{C/W}$$

$$R_{\text{conv,aceite}} = \frac{1}{\left(\frac{70\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}\right) * (2\pi * 0.0167005\text{m} * 87.1\text{m})} = 1.563 * 10^{-3} \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{equiv}} = R_{\text{conv,agua}} + R_{\text{tubo}} + R_{\text{conv,aceite}} = 1.962 * 10^{-3} \text{ °C/W}$$

$$Q = \frac{T_{\text{interna}} - T_{\text{aceite}}}{R_{\text{equivalente}}} = \frac{55\text{°C} - 50\text{°C}}{3.974 * 10^{-3} \text{ °C/W}} = 2548.65 \text{ W}$$

Y sumando todos los consumos de calor se obtiene

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_{\text{perdidas al ambiente}} + Q_{\text{Transferencia al liquido interno}} + Q_{\text{agua}} \\ &= 78.38 + 2548.65 + 343.66 = 2970.69 \text{ W} \end{aligned}$$

Y esto indica el consumo energético de la resistencia que se establece con un factor de seguridad del 20%.

$$\text{Potencia} = Q_{\text{total}} * 1.2 = 2970.69 * 1.2 = 3564.828 \text{ W} \cong 4\text{KW}$$

En esta sección se analizó el tanque de almacenamiento de agua para calefacción. Este tanque es el de mayor capacidad, dado que alimenta al circuito de calefacción de la tubería de transporte y al circuito del tanque de almacenamiento.

La disposición de este arreglo es debido a que: los dos circuitos mencionados antes solo funcionarían juntos en el inicio de operaciones, para llevar al punto de fusión la grasa ubicada en el tanque de almacenamiento y los remanentes que puedan estar en la tubería de transporte y conducir la cantidad requerida para la operación llenándolo.

La opción de la fibra de vidrio, es aplicable debido a que es necesario evitar la disipación de calor hacia el ambiente con el objetivo de aumentar la eficiencia del sistema.

Ambos tanques tendrán sistema de purga para sólidos, ya que con eso se lograra mejor homogeneidad en el sistema debido a que se eliminarán partículas que puedan adherirse a las paredes de la tubería de transporte que puedan evitar la transferencia de calor. El tanque también tendrá filtros de maya a la salida de cada tubería de retorno, así como antes de la resistencia para que no contaminen ni se peguen al momento de calentar el agua(ver apéndice 3).

El volumen de agua para el tanque es de 171.18 galones de volumen útil, se denomina útil por ser el volumen contenido dentro de los puntos de operación que es la tubería de extracción y la boquilla de retorno.

La determinación de este volumen del tanque de agua se debe alaprovechamiento de recursos con lo cual solo se le hará una leve modificación al tanque antiguo, la cual consiste en el cambio de la base de una forma piramidal invertida para que se acumulen los residuos en su interior y así puedan concentrarse los sólidos a la hora de la purga; el volumen comprendido en la base piramidal es de 2.28 galones y se le añadirá 0.1 metros de altura por factor de seguridad y poder montar los equipos. Este 0.1 metro equivale a 19 galones de agua lo que proporciona un volumen total de 192.46 galones.

Para el cálculo del tiempo necesario para calentar los 300 galones de aceite de palma utilizamos las ecuaciones:

$$Q = mc_p\Delta T = \left(300 \text{ gal} * \frac{1\text{m}^3}{264.17\text{gal}}\right) \left(881 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) \left(\frac{1.895\text{KJ}}{\text{Kg} - ^\circ\text{C}}\right) (37.5^\circ\text{C}) = 71098 \text{ KJ}$$

$$\dot{Q} = \frac{Q_{\text{Aceite}}}{Q_{\text{Tuberia}}} = \frac{71098\text{KW}}{18.39\text{ KW}} = 3867\text{ s}$$

$$\Delta T = \frac{3860\text{s}}{3600\text{s}} = 1.074\text{horas}$$

2.3.3.3. Tanque de trabajo

El tanque de trabajo para su utilización y que no tenga un vasto consumo de energía, deberá constar de un serpentín que rodee toda la pared internamente, y en el centro llevará una paleta agitadora para permitir una mejor transferencia de calor, además para facilitar la homogenización de la grasa(ver apéndice figura b).

El cálculo de pérdida de calor para este recipiente, se tomará como un tubo similar al caso anterior de la tubería de transporte y la parte inferior se tomará como una pared plana. Entonces procedemos con los siguientes datos:

- *Diámetro interno del tanque es de 1.202 metros*
- *Diámetro externo del tanque es de 1.212 metros*
- *El coeficiente de transferencia por convección del agua es de 352 W/m²* °C.*
- *El coeficiente de conductividad térmica para el acero dulce es 45.3 W/m*K; tomado del anexo 1.*
- *El coeficiente de conductividad térmica para el aislante que en este caso es fibra de vidrio es de 0.038 W/m*K.*
- *El coeficiente de transferencia de calor por convección del aire es 5W/m²* °C, se toma el mínimo debido a la falta de convección forzada; dato consultado de la tabla del anexo 1.*

- Longitud de la tubería es de 0.6008 metros.
- La energía necesaria para aumentar la temperatura del agua de una temperatura ambiente a 55°C es de 343.66 W.

Para el cilindro o pared lateral.

$$R_{\text{conv,aceite}} = \frac{1}{\left(\frac{70\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (2\pi * 1.201\text{m} * 1.70\text{m})} = 1.114 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln\left(\frac{1.211}{1.201}\right)}{2\pi \left(\frac{45.3\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (1.7\text{m})} = 1.7137 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{aislante}} = \frac{\ln\left(\frac{1.236}{1.211}\right)}{2\pi \left(\frac{0.038\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (1.7\text{m})} = 5.0343 * 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{conv,aire}} = \frac{1}{\left(\frac{5\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (2\pi * 1.201\text{m} * 1.7\text{m})} = 1.5590 * 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{equiv}} = 2.2146 * 10^{-4} + 1.7137 * 10^{-5} + 5.0343 * 10^{-2} + 1.5590 * 10^{-2}$$

$$= 6.706 * 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$Q = \frac{T_{\text{interna}} - T_{\text{ambiente}}}{R_{\text{equivalente}}} = \frac{55^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}{6.706 * 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C/W}} = 671 \text{ W}$$

Esta es la pérdida de calor que representa al ambiente que se añadirá como una carga total de calor la superficie del cono que es el fondo del tanque lo analizaremos como una pared plana al igual parte superior del tanque.

$$\text{Area}_{\text{base}} = 2\pi r * \left(\sqrt{(r^2 + h^2)}\right) = 2\pi * 0.6008 * \left(\sqrt{(0.6008^2 + 0.1^2)}\right) = 2.299\text{m}^2$$

$$R_{\text{conv,aceite}} = \frac{1}{\left(\frac{70\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (2.299\text{m}^2)} = 6.214 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{kA} = \frac{0.005}{\left(\frac{45.3\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (2.299\text{m}^2)} = 4.801 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{aislante}} = \frac{0.0254}{\left(\frac{0.038\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (2.299\text{m}^2)} = 0.2907 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{conv,aire}} = \frac{1}{\left(\frac{5\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (2.299\text{m}^2)} = 8.699 * 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$Q = \frac{55^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}{0.384 \text{ } ^\circ\text{C/W}} = 117 \text{ W}$$

Para la parte superior suponemos que es una tapa redonda plana.

$$\text{Area}_{\text{Tapa}} = 2\pi r^2 = 2\pi * 0.6008^2 = 2.268\text{m}^2$$

$$R_{\text{conv,aceite}} = \frac{1}{\left(\frac{70\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (2.268\text{m}^2)} = 6.299 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{kA} = \frac{0.005}{\left(\frac{45.3\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (2.268\text{m}^2)} = 4.867 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{aislante}} = \frac{0.0254}{\left(\frac{0.038\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (2.268\text{m}^2)} = 0.2947 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{conv,aire}} = \frac{1}{\left(\frac{5\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) * (2.268\text{m}^2)} = 8.818 * 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$Q = \frac{55^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}}{0.389^{\circ}\text{C}/\text{W}} = 116 \text{ W}$$

Se despreció la conducción del aire, compensándolo con el contacto directo del aceite a la pared, debido a que exista convección forzada debido al agitador en el tanque.

Ahora calcularemos la transferencia de calor para un tubo de 1" de diámetro y 6 metros de largo.

$$R_{\text{conv,agua}} = \frac{1}{\left(\frac{352\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}\right) * (2\pi * 0.026645\text{m} * 6 \text{ m})} = 2.828 * 10^{-3}^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln\left(\frac{0.033401}{0.026645}\right)}{2\pi \left(\frac{45.3\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}\right) (6\text{m})} = 1.323 * 10^{-4}^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{conv,aceite}} = \frac{1}{\left(\frac{70\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}\right) * (2\pi * 0.033401\text{m} * 6\text{m})} = 1.1345 * 10^{-2}^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$Q = \frac{55^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}}{4.15257 * 10^{-3}^{\circ}\text{C}/\text{W}} = 3145.6 \text{ W}$$

$$Q = \frac{55^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}}{4.15257 * 10^{-3}^{\circ}\text{C}/\text{W}} = 349.51 \text{ W}$$

Al momento de inicio de operaciones la transferencia de calor puede ser mucho más alta como la barrera de película o convección es muy baja por la diferencia de energía; por ende utilizaremos la transferencia de calor en el estado estable.

La pérdida generada por la tubería de conducción de la bomba al tanque y el retorno se adiciona también al cálculo general del consumo energético, con una longitud total de 6 metros; los datos de convección del agua y conducción en la tubería ya están calculados. Solo se calcula la pérdida en el aislante y en el aire por convección.

$$R_{\text{aislante}} = \frac{\ln\left(\frac{0.058801}{0.033401}\right)}{2\pi\left(\frac{0.038\text{W}}{\text{m}\cdot\text{°C}}\right)(6\text{m})} = 0.3948 \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{conv,aire}} = \frac{1}{\left(\frac{5\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{°C}}\right) * (2\pi * 0.058801\text{m} * 6\text{m})} = 9.0222 * 10^{-2} \text{ °C/W}$$

$$R_{\text{equiv}} = 2.828 * 10^{-3} + 1.323 * 10^{-4} + 0.3948 + 9.0222 * 10^{-2} = 0.488 \text{ °C/W}$$

$$Q = \frac{55\text{°C} - 10\text{°C}}{0.488 \text{ °C/W}} = 92.21 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_{\text{perdidas al ambiente}} + Q_{\text{Transferencia al liquido interno}} + Q_{\text{agua}} \\ &= 117 + 116 + 349.51 + 92.21 + 343.66 = 1018.38 \text{ W} \end{aligned}$$

Y esto indica el consumo energético de la resistencia que se establece con un factor de seguridad del 20%.

$$\text{Potencia} = Q_{\text{total}} * 1.2 = 1018.38 * 1.2 = 1222.056 \text{ W} \cong 2\text{KW}$$

Debido a que en el mercado solo existen resistencias de 2KW como medida mínima se utilizará una de estas con el equipo de control adecuado.

2.4. Análisis de costos

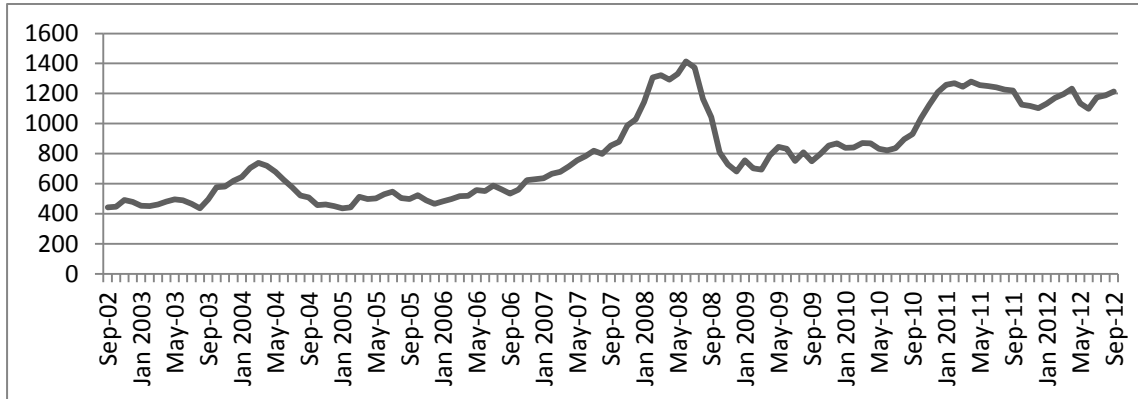
Es de vital importancia conocer las tendencias de los insumos sustitutos para verificar si las mejoras al sistema serán rentables y establecer un tiempo aproximado de recuperación de la inversión.

2.4.1. Análisis de costo del uso a corto mediano y largo plazo de elementos sustitutos contra el aceite de soya

La búsqueda de otros sustitutos del aceite de soya viene de la necesidad de la empresa de ahorrar costos para aumentar la productividad de la granja, pero esto debe pasar sin bajar la calidad del concentrado y mejor si se mejora debido a que las nuevas tecnologías permiten la fabricación de alimentos más completos y a un mejor precio lo cual los hace más rentables.

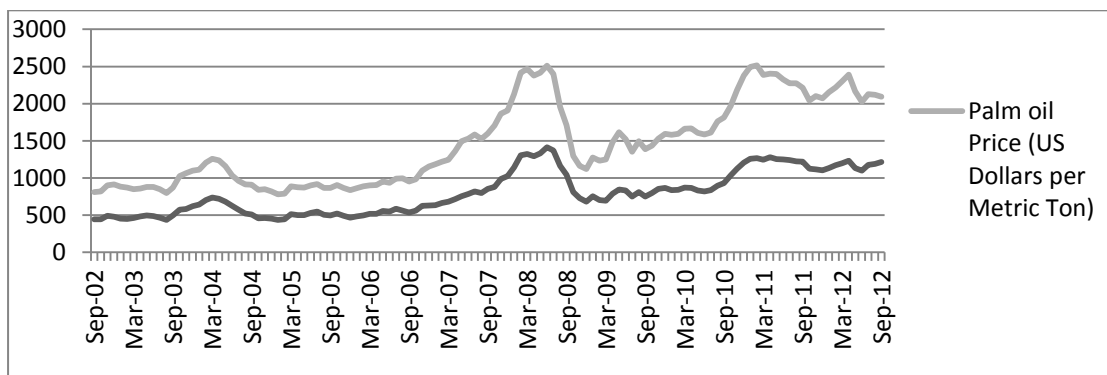
Otro factor que influye en la búsqueda de estos sustitutos es la inestabilidad del precio de aceite de soya, debido a que este presenta una tendencia a la alza y a superar el precio más alto registrado que es de 64 dólares en el mes de junio de 2008 (como se observa en la tabla V); en comparación con el aceite de palma que su precio más alto fue de 57 dólares en febrero de 2011. Esto da una diferencia de 7 dólares por quintal de producto. Pero el consumo se nota en más de 30 quintales al mes de aceite de soya eso indica un consumo de 210 dólares mensuales (precios establecidos en el año 2012).

**Figura 17. Gráfica de comportamiento de precios de aceite de soya
septiembre del 2002 a septiembre de 2012**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 18. Gráfica comparativa aceite de soya con el aceite de palma
septiembre del 2002 a septiembre de 2012**



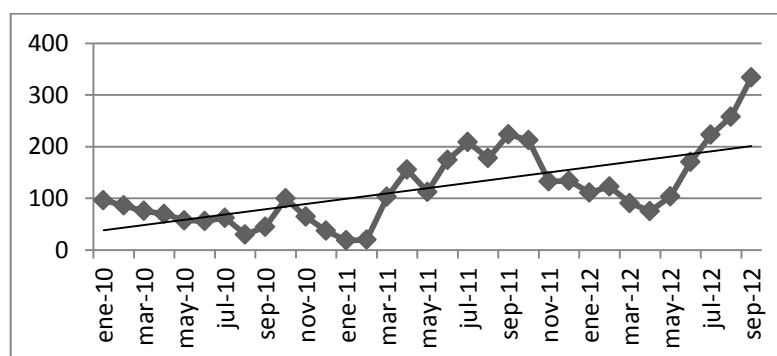
Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Diferencia de precio entre aceite de soya con el aceite de palma**

MES/AÑO	DIFERENCIA	MES/AÑO	DIFERENCIA	MES/AÑO	DIFERENCIA
Ene 2010	96.22	Ene 2011	18.57	Ene 2012	111.23
Feb-10	86.1	Feb-11	19.8	Feb-12	122.53
Mar-10	75.49	Mar-11	102.87	Mar-12	90.79
Abr 2010	69.57	Abr 2011	155.35	Abr 2012	75.13
May-10	57.11	May-11	112.23	May-12	103.46
Jun-10	56.08	Jun-11	174.15	Jun-12	170.17
Jul-10	62.24	Jul-11	208.53	Jul-12	222.73
Ago 2010	30.05	Ago 2011	177.76	Ago 2012	257.9
Sep-10	44.76	Sep-11	223.68	Sep-12	333.77
Oct-10	99.63	Oct-11	212.33		
Nov-10	64.29	Nov-11	132.55		
Dic 2010	37.11	Dic 2011	133.97		

Fuente: <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=soybean-oil&months=60&commodity=palm-oil>. Consulta: 1 de noviembre de 2012

Figura 19. **Gráfica de comportamiento de diferencia de aceite de soya y aceite de palma**



Fuente: elaboración propia.

En promedio, el precio del aceite de palma contra el aceite de soya es de 1.23456 esto nos da un en este momento un ahorro del 19%, al tomar este valor nos da un ahorro promedio de 134 dólares; pero eso es muy tentativo porque según el análisis de los últimos tres años demuestran que, el mes donde la diferencia de precios es más notable es el mes de septiembre según tabla V. Para un ejemplo en el 2012 el ahorro si estuviera reacondicionado el sistema sería de \$333.77 por tonelada métrica, mientras el más bajo del mismo año fue de \$75.13 en el mes de abril; pero en los años anteriores se presenta inestable en los primeros cuatro meses del año, estabilizándose en los meses de mayo y junio.

Pero donde existe el mejor aprovechamiento del equipo sería en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre siendo su punto más alto en el mes de septiembre lo cual se puede ver en la figura 17 y volviendo a su comportamiento inestable en los meses de noviembre y diciembre. Pero el problema del aceite de palma como elemento de adición sustituto es que hay una tendencia al incremento de este aceite debido a las pérdidas de cultivos en el mundo, debido al cambio climático demuestra una reducción del porcentaje de ahorro del 12.3% por tonelada métrica.

2.4.2. Análisis de costo de inversión para montar el equipo

En este apartado analizaremos los precios de los insumos necesarios para la complementación del equipo de calefacción, así como el consumo del equipo para realizar un balance del costo de inversión y en cuanto tiempo se pagará esta inversión. En la inversión inicial se toma los costos de todo el equipo necesario, y el costo del montaje del equipo.

A continuación la tabla VI muestra el costo de mantenimiento por circuito para tener una idea general.

Tabla VI. Listado de equipo necesario para el rediseño del sistema de calefacción

INSUMO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Bombas centrifugas	3.00	Q 300.00	Q 900.00
Resistencias 2KW	4.00	Q 246.00	Q 984.00
Controlador Logo	1.00	Q 1,300.00	Q 1,300.00
Termo coplas	6.00	Q 20.00	Q 120.00
Guarda motor	3.00	Q 100.00	Q 300.00
Acoples entrada analógica	2.00	Q 600.00	Q 1,200.00
Botonera	1.00	Q 125.00	Q 125.00
Puente análogo	1.00	Q 600.00	Q 600.00
Transformador 220-24	1.00	Q 500.00	Q 500.00
Control central	1.00	Q 150.00	Q 150.00
Alambre Calibre 12	100.00	Q 3.50	Q 350.00
Tubos 1"	19.00	Q 138.00	Q 2,622.00
Fibra de Vidrio 1"	8.20	Q 43.00	Q 352.69
Fibra de vidrio 2"	26.25	Q 59.00	Q 1,548.56
Fibra de vidrio Bloque 1 pie	203.47	Q 7.00	Q 1,424.30
			12476.54792

Fuente: elaboración propia.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN. PROPUESTA DE AHORRO ENERGÉTICO

3.1. Análisis de consumo energético del equipo utilizado en el proceso

El consumo energético por elemento se hará con base en el consumo inmediato, para el circuito del tanque de almacenamiento esta resistencia es de un consumo de 4KW y el consumo de la bomba de ½ Hp es de 0.372KW y da un total de 4.372KW. Para el circuito de transporte es la misma potencia de la bomba, más la potencia de la resistencia de 2KW da un consumo de 2.372KW; el consumo de estos dos circuitos se calcula durante 1.10 horas diarias durante 6 días por 4 semanas en 1 mes.

En el circuito del tanque de trabajo, es el consumo de la resistencia de 2KW y 1/3hp que es equivalente de 0.249KW que da un total de 2.249KW; y el consumo se toma durante 6 horas diarias por 6 días a la semana y 4 semanas al mes promedio, usando la tarifa de consumo al mes de febrero de 2013 es 1.8278 Q/KWh.

Horas de trabajo = horas diarias * días a la semana * semanas al mes * tarifa al mes

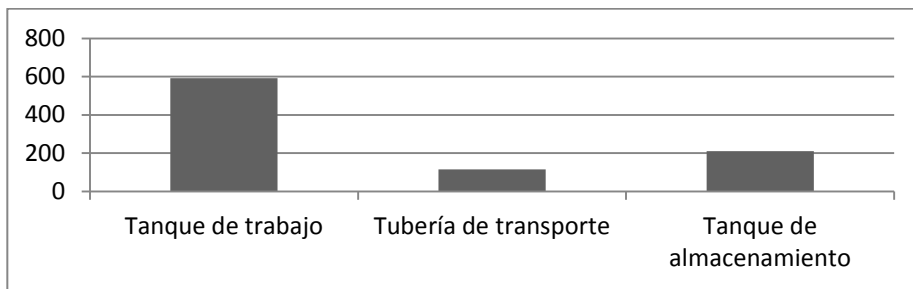
Costo = horas de trabajo * precio taza empresa eléctrica

Tabla VII. Consumo energético por circuito

Circuito	Potencia	Horas de trabajo	Precio En Q/KWh	Costo
Tanque de trabajo	2.249kw	144	1.8278	591.94
Tubería de transporte	2.372kw	26.4	1.8278	114.46
Tanque de almacenamiento	4.372kw	26.4	1.8278	211.00

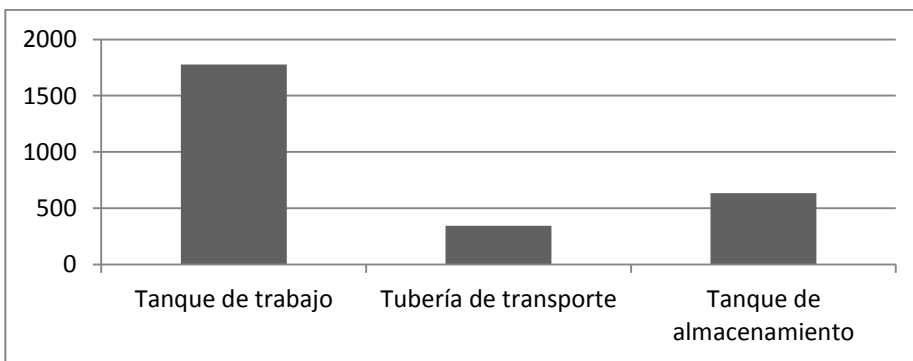
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Gráfica costo de consumo energético al mes



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Gráfica costo de consumo energético trimestral



Fuente: elaboración propia.

Según el análisis el circuito del tanque de trabajo es incluso mayor al del tanque de almacenamiento, que usa el doble de potencia; pero la diferencia se basa en el tiempo de encendido de los circuitos; en promedio el circuito del tanque de trabajo representa el 64.52% total de la energía, el circuito de transporte un 12.48% y el del tanque de trabajo 23%.

3.2. Análisis de consumo de agua en el proceso de dosificación de aceite

En el proceso de rediseñar los equipos, es de vital importancia analizar los diferentes factores que intervienen en uso de este recurso para evitar su mal aprovechamiento.

3.2.1. Índice de calidad del agua para reabastecimiento del sistema

El agua de abastecimiento del sistema de calefacción en conjunto se tomará con menor consideración debido a que el agua no se llevará a temperatura de ebullición en promedio lo cual no quiere decir que no se cree incrustaciones por sedimentación en un proceso de tiempo determinado.

Se define como sedimentación al proceso natural, por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad. Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son:

- *Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm.*
- *Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.*
- *Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm.*

Estos tres estados de dispersión dan igual lugar a tres procedimientos distintos para eliminar las impurezas: El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de 10^{-4} cm. constituye la sedimentación simple, el segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un floc que pueda sedimentar y finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el floc y permitir así la sedimentación.

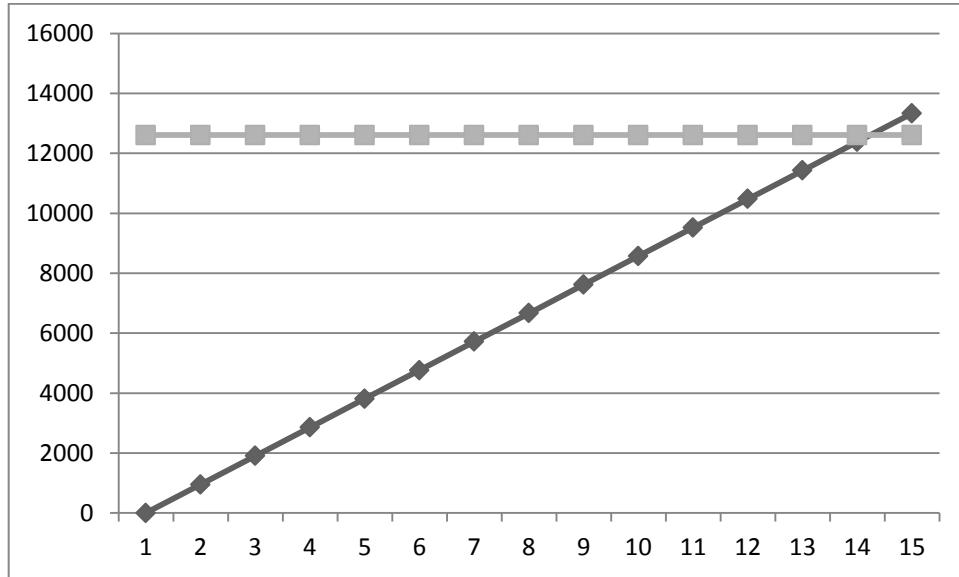
Es decir que en muchos casos, las impurezas pueden ser, al menos en teoría removidas mediante el proceso de sedimentación y esto puede tratarse en el tanque de almacenamiento de agua para los circuitos.

3.3. Análisis de costos

El análisis se refiere a la cantidad de tiempo que tardará en recuperarse la inversión total del equipo, el cual es: el costo del montaje, de los equipos, de su uso y de mantenimiento se engloba un tiempo de mantenimiento de 1 año para las tuberías y trimestral para el equipo eléctrico debido a limpiezas de conexiones eléctricas y revisión de contactares.

Los costos de mantenimiento se reducen debido a que la granja cuenta con el personal calificado, para brindar estos servicios de manera fija y los tiempos perdidos por mantenimiento se reducirán al máximo hacer limpieza del sistema a través de acciones manuales que permitan su limpieza, sin retrasar la producción para una inversión con un retorno cíclico en 13 meses se reintegra la inversión. Tomando en cuenta que el mercado del aceite de palma disminuirá su precio pudiendo utilizarse en los 13 meses seguidos. Como se puede ver en la gráfica.

Figura 22. **Gráfica de punto de equilibrio Inversión equipo**



Fuente: elaboración propia.

3.4. Consumo de agua

Es de vital importancia el análisis del consumo de agua con respecto a la calidad para utilización que se le dará y así evitar problemas en el equipo.

3.4.1. Índices de calidad del agua

Los índices de calidad del agua que se considerarán en el, no son iguales que en las calderas, debido a que no se lleva al estado de ebullición, lo cual no crea arrastre de partículas, y concentraciones en partes de la tubería; incluso en las calderas las tuberías de transporte no presentan incrustaciones y cambios en un tiempo debido a que en este caso solo existe condensación.

El lugar más peligroso es en la resistencia debido a que en las fronteras donde se tocan el cobre y el agua se crean desprendimientos de impurezas del agua; pero esto se soluciona con una limpieza manual.

Además por lo antes mencionado la reducción de capacidad del equipo se verá muy poco afectada debido a que se cumple con una forma de evitar las incrustaciones por la velocidad que es mayor a 1 metro por segundo.

3.4.2. Manejo del agua desechada del sistema de dosificación

El agua que se desechará del sistema de calefacción, es la que arrastre los sólidos por medio de un balde de descarga en el cual se dejará la estabilización de los sólidos, en el fondo del balde y el agua libre de sólidos será reutilizada en el sistema.

4. FASE DE DOCENCIA. PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

4.1. Planificación de capacitaciones

El personal encargado del equipo debe recibir la información necesaria para que pueda monitorear y calibrar el equipo para obtener la eficiencia óptima, y esto es a través de varios métodos los cuales son:

4.1.1. Recolección de información

El operario del molino al igual que el personal de mantenimiento, deben de tener los conocimientos necesarios sobre los términos y procedimientos que se utilizan en cualquier tipo de falla del proceso. Así como el seguimiento de pasos que han de darse para realizar cualquier reparación en busca de un tiempo efectivo.

Por ende el encargado de la capacitación ha de lograr una recolección de información, para estudiar el alcance de visualización del personal y enfrentar esta problemática.

El objetivo de la capacitación es que los operarios comprendan los siguientes términos:

- *Jefe de mantenimiento: encargado de la planificación del mantenimiento.*
- *Puesto de trabajo: puesto de trabajo responsable del mantenimiento.*
- *Ubicación técnica: lugar donde se encuentran los equipos.*

- *Lista de materiales: materiales que componen el equipo y son intercambiables en el mantenimiento de un equipo.*
- *Aviso de avería: avisos de que en un equipo no está funcionando bien o está presentando una falla.*
- *Notificación: es reportar las horas reales que duró el trabajo.*
- *Ordenes de mantenimiento: contiene lo que se le hará a un equipo a detalle, también incluye quien lo hará y que materiales utilizará.*
- *Cierre: luego de las notificaciones se procede a cerrar la orden, éste es el último paso de la orden.*
- *Hoja de ruta: listado de actividades a hacer, se puede incluir en ésta la duración y quien hará el trabajo.*
- *Paquete de mantenimiento: es la frecuencia o ciclos en los que se dará mantenimiento a un equipo.*
- *Estrategia de mantenimiento: es la organización de los paquetes de mantenimiento.*
- *Posiciones de mantenimiento: son las medidas de mantenimiento que deberían efectuarse regularmente en un objeto técnico (equipo) o en un grupo de objetos técnicos (equipos).*
- *Plan de mantenimiento: denominación de las tareas de mantenimiento e inspección a realizar en objetos de mantenimiento. Las fechas y el alcance de las tareas también se definen aquí.*

4.2. Programas de capacitación

Se debe de programar de manera correcta los métodos y procesos para llevar a cabo una capacitación exitosa.

4.2.1. Determinar la cantidad de horas necesarias

El plan anual de capacitación del Departamento de Mantenimiento, debe de estar dirigido a todo tanto al jefe de mantenimiento como al supervisor, jefes de área y los técnicos. La capacitación para las jefaturas se basa en los estándares de trabajo, planeación, así como las técnicas para mejorar la productividad del mantenimiento, reforzando la administración de proyectos y las habilidades de supervisión del personal.

La capacitación de los técnicos, va enfocada a mejorar las habilidades de mantenimiento preventivo y correctivo, se debe de establecer un programa de capacitación para cada técnico de acuerdo a su área. El Plan de capacitación se conforma de los siguientes aspectos:

- *Tema a desarrollar en la capacitación*
- *Fecha*
- *Cuántas personas participarán*
- *Persona quien la impartirá*
- *Lugar donde se efectuará la capacitación*

4.2.2. Detección de necesidades

Como es de esperar, el Departamento de Mantenimiento deberá disponer de un stock razonable de materiales consumibles que permitan ejecutar sin problemas el mantenimiento preventivo y la mayor parte del correctivo. A continuación se describe una lista de materiales genéricos.

- *Fusibles en sus distintas tipologías y características y otros pequeños materiales para las instalaciones generales de agua, gases y electricidad.*

- *Material electrónico de uso frecuente*
- *Materiales diversos, tales como bridas, grapas, cintas, tornillería, siliconas, y otros de uso frecuente.*
- *Materiales de oficina y de consumo informático.*
- *Materiales fungibles o consumibles*

Para el buen funcionamiento de los equipos e instalaciones, es totalmente necesario que cada sección que compone el departamento disponga de un stock de consumibles necesarios para su uso y funcionamiento y por tanto, para garantizar la asistencia a los mismos:

- *Equipo, marca y modelo al que va destinado.*
- *Descripción técnica del equipo o sistema.*
- *Cantidad necesaria en stock*
- *Referencia de catálogo de productos o comercial*
- *Último precio cotizado*
- *Normalización de materiales e instalaciones*

Siempre se debe procurar la utilización de materiales de recambio originales, en tanto no se hayan demostrado deficientes o apropiados, ya que de no ser así, al cabo de unos años es fácil que se produzca la aparición de materiales de repuesto ya colocados y diferentes a los iniciales, como también que se hayan realizado instalaciones que estén fuera de las normas.

En el supuesto que el mercado no disponga del repuesto o de un cierto tipo de material que se tiene instalado en el hospital debemos adoptar otro de igual calidad como mínimo, que cumpla la normativa correspondiente y estandarizarlo, para que transcurrido el tiempo el hospital no sea un escaparate

de marcas y modelos, que obligaría a disponer de un número elevado de recambios sin ninguna justificación y con el costo elevado que esto supone.

Tanto el Departamento de Compras como el Departamento de Mantenimiento, en conjunto con el Jefe de Mantenimiento de la empresa de servicios de mantenimiento cumplirán con el procedimiento interno para la compra de materiales, considerando para ello la capacidad y disponibilidad económica así como las normativas de rango superior que le sean de aplicación. En general, se deberán prever determinados parámetros:

- *Costo máximo, a partir del cual se requerirá autorización específica para proceder a la compra.*
- *Inclusión o exclusión del repuesto o insumo como parte de los servicios que proveerán las empresas de servicios de mantenimiento y que forma parte de las especificaciones técnicas del pliego de condiciones de licitación para dicho proceso.*
- *Fijar niveles superiores de gasto y sus correspondientes niveles jerárquicos de autorización.*

4.3. Metodología

El método que se establece para la capacitación del personal se realizará de manera práctica para ejecución efectiva.

4.3.1. Solicitud a un experto para exponer el tema

Las capacitaciones tienen que ser realizadas por una persona con las aptitudes necesarias para exponer y transmitir la información, ya que de esta persona depende que todo el personal aplique lo enseñado.

La persona encargada de las capacitaciones tiene que tener una gran experiencia con el fin de brindar a los miembros del equipo de operarios la mayor información y que el personal pueda entender de forma concreta y sencilla el funcionamiento de todos los equipos eléctricos a los que tengan acceso en la empresa y así colaborar para poder ahorrar energía. El experto tiene que capacitar a los colaboradores sobre la importancia de ahorrar energía y los beneficios que conllevan el poder ahorrar energía.

4.4. Resultados de la capacitación

Los resultados de las capacitaciones son muy importantes ya que con los buenos resultados de esta y la ayuda de todos los colaboradores que se conducen por la planta se estaría ahorrando un 10% de la energía que se consume, ya que mucha energía es desperdiciada sin tener ningún beneficio alguno

4.4.1. Evaluación del desempeño

Una manera de saber si el personal asimiló la mayoría de conocimientos que se le impartieron en la capacitación, es mediante una breve evaluación que se le debe de realizar a todos los integrantes. Las evaluaciones son indicadores del rendimiento de toda la capacitación.

Con el fin de que el evaluador y el evaluado puedan interpretar adecuadamente los resultados e identificar las fortalezas y debilidades del desempeño demostrado durante el período evaluado, en el cuadro siguiente, se indican y definen los diferentes niveles del desempeño equiparados con las correspondientes categorías cualitativas.

Tabla VIII. Rango de calificación para evaluación de capacitación

NIVEL	DEFINICION	CATEGORIA
1	Desempeño muy por debajo del esperado*	DEFICIENTE
2	Desempeño ligeramente por debajo del esperado	REGULAR
3	Desempeño conforme con el mínimo esperado	BUENO
4	Desempeño por encima del esperado	MUY BUENO
5	Desempeño Excepcional **	EXCELENTE

* El desempeño esperado será determinado por el jefe inmediato con fundamento en el potencial laboral del empleado, los recursos disponibles y la complejidad o dificultad de las tareas.

** Se refiere al desempeño que supera extraordinariamente al esperado.

Fuente: elaboración propia.

El objetivo de la evaluación es para que el personal ponga la mayor atención posible y poder comprobar que se pudo llegar al objetivo de las capacitaciones. Para la evaluación se reunirá un número determinado de preguntas destinadas a los aspectos de conciencia de ahorro energético, la necesidad de controlar el funcionamiento de los equipos eléctricos, el consumo de agua y su contaminación.

El seguimiento en una capacitación se refiere al proceso realizado después de la capacitación el cual tiene como objetivo asegurar que se pongan en práctica correctamente los conocimientos y habilidades adquiridos en la capacitación, y no solo ponerlos en práctica, también detectar deficiencias que existan todavía y a su vez tomar medidas para solucionarlas.

Al realizar el seguimiento del plan de capacitación se tienen que tomar en cuenta factores como: los problemas o deficiencias que se pretendan resolver con la capacitación, contar con el programa de la capacitación, y asegurar los conocimientos y habilidades a enseñar a los técnico.

En el seguimiento se debe de tratar de determinar si el personal capacitado tiene el apoyo suficiente y los recursos necesarios para aplicar sus nuevas habilidades y conocimientos, también se debe de proveer una capacitación adicional en el desarrollo del trabajo para fortalecer las habilidades aprendidas, y velar que el personal supere cualquier resistencia al cambio que impida aplicar las nuevas habilidades

CONCLUSIONES

1. *El sistema de control de temperatura que se debe establecer en el proceso de adición de aceite, es el de trazado eléctrico que permite un control más riguroso de las temperaturas de operación.*
2. *Se establece al aceite de palma como el mejor sustituto de aceite de soya por tener similares propiedades a un menor costo.*
3. *Para que el rediseño del sistema de adición de aceite de soya genere grandes ganancias, la producción de concentrado debe aumentarse el doble.*
4. *El mantenimiento del equipo debido a las condiciones de operación no requerirá mantenimientos continuos.*
5. *Con la utilización de aislantes térmicos para la mejora del sistema reducimos las pérdidas de energía del proceso en un 80%.*

RECOMENDACIONES

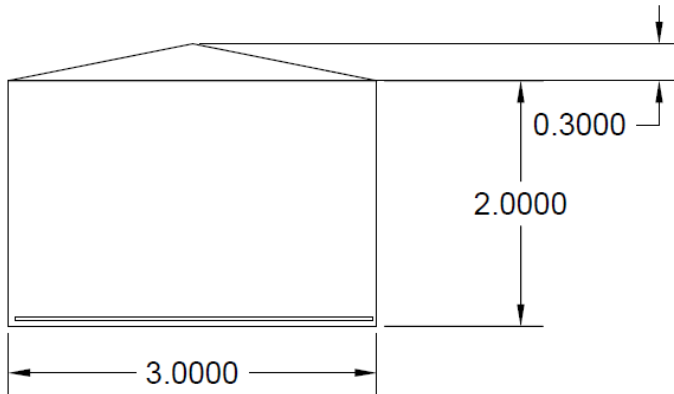
1. *Se debe realizar un extenso programa de prueba al momento de operar el equipo por las incertezas que representan los cálculos experimentales debido a la falta de información técnica.*
2. *Mantener una gama amplia de equipo para los procedimientos de mantenimiento, ya que actualmente cuentan con un número limitado de unidades para realizar estos procedimientos.*
3. *Realizar una mejora al sistema de inyección de aceite o grasa, para que este no presente problemas en la fase de mezclado y así mejorar la homogeneidad de la mezcla.*
4. *Realizar un seguimiento y reafianzamiento de las responsabilidades que tiene el equipo de manejo del molino con respecto a su funcionamiento y al papel que ocupa el operario en el mismo, en base a charlas de concientización de forma consciente y precisa.*
5. *Crear un sistema de monitoreo del comportamiento de los precios del aceite de soya y otros substitutos del mismo para poder elegir de manera correcta los períodos de utilización de cada una de estas opciones de agente aportador de grasa.*

BIBLIOGRAFÍA

1. CENGEL, YunusA.;GHAJAR,Afshin J. *Transferencia de calor y masa:Fundamentos y aplicaciones.4a ed. México: McGraw Hill, 2011. 944 p.*
2. KERN, Donald Q. *Procesos de transferencia de Calor. Trigésima primera reimpresión México: Continental. 1999. 979 p.*
3. MCCABE, Warren L.; SMITH Julian C.; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química. 4a ed. España: McGraw-Hill/Interamericana de España. 1114 p.*
4. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa. 2aed. México: McGraw-Hill, 1986. 862 p.*

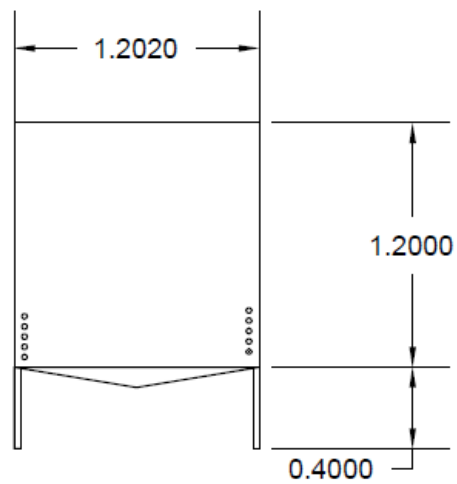
APÉNDICES

Figura A. Plano tanque de almacenamiento aceite de soya



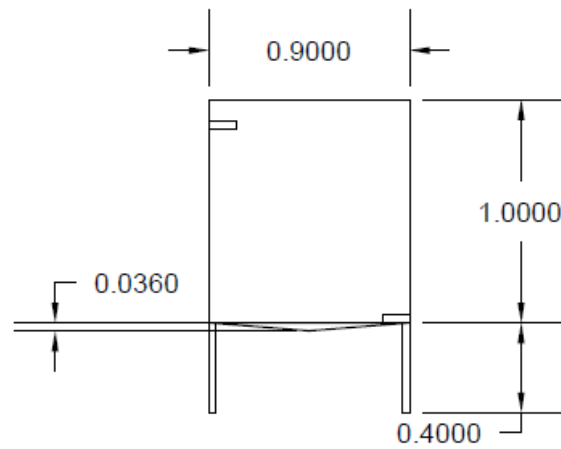
Fuente: elaboración propia.

Figura B. Plano tanque de trabajo aceite de soya



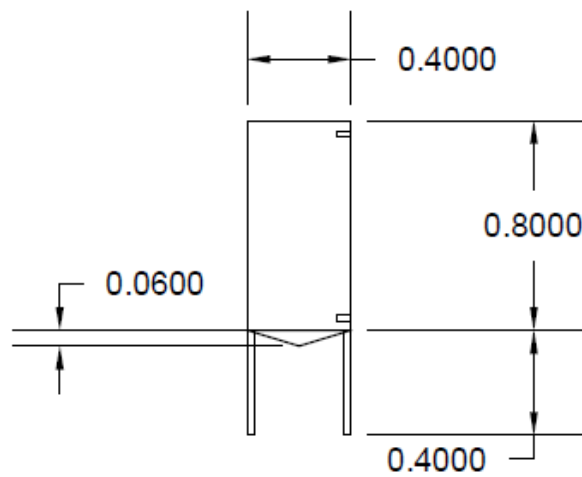
Fuente: elaboración propia.

Figura C. Plano tanque de almacenamiento de agua para calefacción circuitos de tubería de transporte y tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura D. Plano tanque de almacenamiento de agua sistema de calefacción tanque de trabajo



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Tabla A-3 Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(W/m \cdot K)/c_p(J/kg \cdot K)$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^5$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042		
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	112	120	127			
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	203	99.3	94.7			
Cobre:						198	222	242			
Puro	1 358	8 933	385	401	117	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14	192	384	484	542	581	616
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17	236	379	450	503	550	628
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
Oro	1 336	19 300	129	317	127	190	290	337	348	357	375
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	109	124	131	135	140	145
Hierro:						172	153	144	138	132	126
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	90	122	133	138	144	153
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
Aceros al carbono:						216	384	490	574	680	975
Simple al carbono (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0
AIISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			48.7	55.9	68.5	1 169
Al carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			58.7	48.8	39.2	31.3
								48.7	55.9	68.5	1 168
								49.8	44.0	37.4	29.3
								50.1	58.2	69.9	97.1

Fuente: CENGEL YUNUS A., GhajarAfshin J. *Transferencia de Calor y Masa.*

4a ed. México: McGraw Hill, p.844.

Tabla A-5 propiedades de los materiales de construcción

Material	Espesor, <i>L</i> mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, <i>k</i> W/m · K	Calor específico, <i>c_p</i> kJ/kg · K	Valor <i>R</i> (para los espesores de la lista, <i>L/k</i>), K · m ² /W
Tableros de construcción					
Tablero de asbesto-cemento	6 mm	1 922	—	1.00	0.011
Tablero de yeso de revoque	10 mm	800	—	1.09	0.057
	13 mm	800	—	—	0.078
Madera contrachapada (abeto Douglas)	—	545	0.12	1.21	—
	6 mm	545	—	1.21	0.055
	10 mm	545	—	1.21	0.083
	13 mm	545	—	1.21	0.110
	20 mm	545	—	1.21	0.165
Tablero y entablado aislados (densidad común)	13 mm	288	—	1.30	0.232
	20 mm	288	—	1.30	0.359
Tablero duro (de alta densidad, amasado estándar)	—	1 010	0.14	1.34	—
Tablero aglutinado: Densidad media	—	800	0.14	1.30	—
Contrapiso	16 mm	640	—	1.21	0.144
Contrapiso de madera	20 mm	—	—	1.38	0.166
Membrana de construcción					
Fieltro permeable al vapor	—	—	—	—	0.011
Sello de vapor (2 capas de fieltro de 0.73 kg/m ² estropajado)	—	—	—	—	0.021
Materiales para piso					
Alfombra y carpeta fibrosa	—	—	—	1.42	0.367
Alfombra y carpeta de caucho	—	—	—	1.38	0.217
Loseta (asfalto, linóleo, vinilo)	—	—	—	1.26	0.009
Materiales para mampostería					
<i>Unidades de mampostería:</i>					
Ladrillo común	—	1 922	0.72	—	—
Ladrillo para fachada	—	2 082	1.30	—	—
Ladrillo de arcilla refractaria	—	2 400	1.34	—	—
	—	1 920	0.90	0.79	—
	—	1 120	0.41	—	—
Bloques de concreto (3 núcleos ovales, agregado de arena y grava)	100 mm	—	0.77	—	0.13
	200 mm	—	1.0	—	0.20
	300 mm	—	1.30	—	0.23
<i>Concretos:</i>					
Agregados ligeros (incluyendo esquisto, arcilla o pizarra expandidos; escorias de alto horno expandidas; cenizas de alto horno; piedra pómez y escoria)	—	1 920	1.1	—	—
	—	1 600	0.79	0.84	—
	—	1 280	0.54	0.84	—
	—	960	0.33	—	—
	—	940	0.18	—	—
Cemento/cal, mortero y estuco	—	1 920	1.40	—	—
	—	1 280	0.65	—	—
Estuco	—	1 857	0.72	—	—

Continuación de la tabla A-5

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Material para techos					
Tejas de asbesto-cemento		1 900	—	1.00	0.037
Asfalto en rollos		1 100	—	1.51	0.026
Tejas de asfalto		1 100	—	1.26	0.077
Techado incorporado	10 mm	1 100	—	1.46	0.058
Pizarra	13 mm	—	—	1.26	0.009
Tejas de madera (simples o con cara de plástico/película)		—	—	1.30	0.166
Materiales para revoque					
Revoque de cemento, agregado de arena	19 mm	1 860	0.72	0.84	0.026
Revoque de yeso: Agregado ligero	13 mm	720	—	—	0.055
Agregado de arena	13 mm	1 680	0.81	0.84	0.016
Agregado de perlita	—	720	0.22	1.34	—
Material para forro exterior (sobre superficies planas)					
Tejas de asbesto-cemento	—	1 900	—	—	0.037
Forro de tablero duro	11 mm	—	—	1.17	0.12
Forro de madera (rebajada)	25 mm	—	—	1.30	0.139
Forro de madera (contrachapada, traslapada)	10 mm	—	—	1.21	0.111
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	10 mm	—	—	1.22	0.11
Con respaldo de tablero aislante	10 mm	—	—	1.34	0.32
Vidrio arquitectónico	—	2 530	1.0	0.84	0.018
Maderas					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	721	0.159	1.26	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	513	0.115	1.38	—
Metales					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	15.6	0.456	—

Fuente: Las tablas A-5 y A-6 se adaptaron tomándolas del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1993), Cap. 22, tabla 4. Usadas con autorización.

Fuente: CENGEL YUNUS A., GhajarAfshin J. *Transferencia de Calor y Masa*.
4a ed. México: McGraw Hill, p.848 y 849.

Tabla A-8. Propiedades de diversos materiales.

Material	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k , W/m · K	Calor específico, c_p , J/kg · K	Material	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k , W/m · K	Calor específico, c_p , J/kg · K
Asfalto	2 115	0.062	920	Hielo			
Baquelita	1 300	1.4	1 465	273 K	920	1.88	2 040
Ladrillo refractario				253 K	922	2.03	1 945
Ladrillo de cromita				173 K	928	3.49	1 460
473 K	3 010	2.3	835	Cuero para suela	998	0.159	—
823 K	—	2.5	—	Linóleo	535	0.081	—
1173 K	—	2.0	—		1 180	0.186	—
Arcilla refractaria cocida				Mica	2 900	0.523	—
1600 K				Papel	930	0.180	1 340
773 K	2 050	1.0	960	Plásticos			
1073 K	—	1.1	—	Plexiglas	1 190	0.19	1 465
1373 K	—	1.1	—	Teflón			
Arcilla refractaria cocida				300 K	2 200	0.35	1 050
1725 K				400 K	—	0.45	—
773 K	2 325	1.3	960	Lexan	1 200	0.19	1 260
1073 K	—	1.4	—	Nylon	1 145	0.29	—
1373 K	—	1.4	—	Polipropileno	910	0.12	1 925
Ladrillo de arcilla refractaria				Poliéster	1 395	0.15	1 170
478 K	2 645	1.0	960	PVC, vinilo	1 470	0.1	840
922 K	—	1.5	—	Porcelana	2 300	1.5	—
1478 K	—	1.8	—	Caucho natural	1 150	0.28	—
Magnesita				Caucho vulcanizado			
478 K	—	3.8	1 130	Blando	1 100	0.13	2 010
922 K	—	2.8	—	Duro	1 190	0.16	—
1478 K	—	1.9	—	Arena	1 515	0.2-1.0	800
Carne de pollo blanca (74.4% de contenido de agua)				Nieve reciente	100	0.60	—
198 K	—	1.60	—	Nieve, 273 K	500	2.2	—
233 K	—	1.49	—	Suelo seco	1 500	1.0	1 900
253 K	—	1.35	—	Suelo mojado	1 900	2.0	2 200
273 K	—	0.48	—	Azúcar	1 600	0.58	—
293 K	—	0.49	—	Tejido humano			
Arcilla seca	1 550	0.930	—	Piel	—	0.37	—
Arcilla mojada	1 495	1.675	—	Capa de grasa	—	0.2	—
Carbón mineral, antracita	1 350	0.26	1 260	Músculo	—	0.41	—
Concreto (mezcla con piedra)	2 300	1.4	880	Vaselina	—	0.17	—
Corcho	86	0.048	2 030	Madera, perpendicular a la fibra			
Algodón	80	0.06	1 300	De balsa	140	0.055	—
Grasa	—	0.17	—	Abeto	415	0.11	2 720
Vidrio				Roble	545	0.17	2 385
De ventana	2 800	0.7	750	Pino blanco	435	0.11	—
Pyrex	2 225	1-1.4	835	Pino amarillo	640	0.15	2 805
Crown	2 500	1.05	—	Madera, radial			
Al plomo	3 400	0.85	—	Roble	545	0.19	2 385
				Abeto	420	0.14	2 720
				Madera para barcos	145	0.05	—

Fuente: Los datos se recopilaron de diversas fuentes.

Fuente: CENGEL YUNUS A., GhajarAfshin J. Transferencia de Calor y Masa. 4a ed. México: McGraw Hill, p.853.

Tabla a-9. Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _g kJ/kg	Calor específico, c _p J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K. Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), págs. 291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

Fuente: CENGEL YUNUS A., GhajarAfshin J. *Transferencia de Calor y Masa. 4a ed. México: McGraw Hill, p.854.*