



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO EN INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA
EL PROCESO DE COAGULACIÓN DE LECHE Y CORTE DE CUAJADA
PARA LA INDUSTRIA ARTESANAL.**

AUTOR: JHADIRA ANALID LÓPEZ ROSERO

DIRECTOR: ING. DIEGO ORTIZ

IBARRA – ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento depongo mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	1003323035
Apellidos y Nombres	Jhadira Analid López Rosero
Email	jhadyana16@hotmail.com
Teléfono Fijo	062 642 207
Teléfono móvil	0992882362

DATOS DE LA OBRA	
Título	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE COAGULACION DE LECHE Y CORTE DE CUAJADA PARA LA INDUSTRIA ARTESANAL.
Autor	Jhadira Analid López Rosero
Fecha	25 de Septiembre del 2016
Programa	Pregrado
Título por el que se aspira	Ingeniería en Mecatrónica

2. AUTORIZACIÓN USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Jhadira Analid López Rosero, con cédula de identidad N°. 1003323035, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y

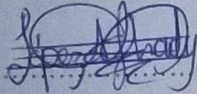
3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular del derecho patrimonial, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de Septiembre del 2016

EL AUTOR:

(Firma).....



Nombre: Jhadira Analid López Rosero

C.I.: 100332303-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Jhadira Analid López Rosero, con cédula de identidad °N. 1003323035, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTMÁTICO PARA EL PROCESO DE COAGULACIÓN DE LECHE Y CORTE DE CUAJADA PARA LA INDSTURIA ARTESANAL" que ha sido desarrollado para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, quedando la universidad concedida para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi calidad de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento y la entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jhadira Analid López Rosero', is written over a horizontal line.

Nombre: Jhadira Analid López Rosero

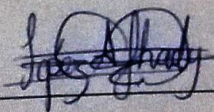
Cedula: 1003323035

Ibarra, 25 de septiembre del 2016

DECLARACIÓN.

Yo Jhadira Analid López Rosero, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que éste no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

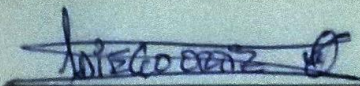
A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normativas vigente de la Universidad Técnica del Norte.



Jhadira Analid López Rosero

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Jhadira Analid López Rosero, bajo mi supervisión.



Ing. Diego Ortiz

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiar mi camino, darme fortaleza, paciencia, perseverancia y sabiduría lo que me ha permitido culminar con éxito este trabajo.

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional, su amor y comprensión durante el transcurso de mi vida. Gracias por ser tan sabios al enseñarme todo lo que soy, porque con su sencillez e inocencia han sabido instruirme como ningún maestro lo podría hacer, todo lo que soy es por ustedes.

A mis hermanos Marco, Lenin, Jherman y Elizabeth que han estado de una u otra forma apoyándome para que pueda continuar mi carrera y culminarla con éxito, en especial a mi hermana que ha estado presente en todo momento.

A mis amigos: Vane, Renato, Héctor y Diego que han sabido dedicarme su afecto, apoyo y comprensión a lo largo de mi vida en todo aspecto.

A cada uno de los profesores que han sabido impartirme sus conocimientos, en especial al Ing. Diego Ortiz que me ha guiado para tomar las mejores decisiones con lo pertinente a este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar y por haberme permitido llegar hasta aquí permitiéndome lograr mis objetivos

En segundo lugar a mis padres, Anselmo López y Benilda Rosero quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento y han sabido formarme con buenos hábitos y valores humanos, lo cual me han permitido salir adelante por un camino de bien.

INDICE DE CONTENIDOS

1. Capítulo 1	I
Problemática del proyecto	1
1.1 Tema	1
1.2 Problema.....	1
1.3 Justificación	2
1.4 Alcance	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos.	5
2. Capítulo 2	7
Proceso de elaboración de quesos a partir de cuajada de forma artesanal	7
2.1 Descripción general del proceso artesanal.....	7
3. Capítulo 3	11
Ingeniería del proyecto	11
3.1 Descripción general del proceso automatizado	11
3.1.1 Equipos de agitación y mezcla.	14
3.1.2 Fenómeno de agitación.	14
3.1.2.1 Impulsores de flujo axial.	16

3.1.2.2	Impulsores de flujo radial.	16
3.1.3	Sistemas de agitación.	17
3.1.3.1	Agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas.	18
3.1.4	Tipos de tinas de cuajar industriales.	20
3.1.4.1	Material para la fabricación y selección de los elementos que constituyen la máquina.	21
3.1.4.2	Capacidad de la tina quesera.	21
3.2	Diseño de la máquina de elaboración de cuajada.	22
3.2.1	Diseño de la marmita.	23
3.2.1.1	Dimensionamiento de la camisa interna contenedora de leche.	24
3.2.1.1.1	Boceto del contenedor de leche.	31
3.2.1.1.2	Diagrama de cuerpo libre del contenedor.	32
3.2.1.1.3	Restricciones.	32
3.2.1.1.4	Análisis del contenedor mediante simulación en SolidWorks.	33
3.2.1.1.4.1	Deformación del contenedor.	33
3.2.1.1.4.2	Factor de seguridad.	34
3.2.1.2	Sistema de calentamiento.	35
3.2.1.2.1	Dimensionamiento de energía necesaria para el sistema de calentamiento.	35
3.2.1.2.2	Selección de niquelinas eléctricas.	44
3.2.1.3	Cálculo de espesor de la camisa externa contenedora de agua.	45

3.2.2	Sistema de agitación.....	49
3.2.2.1	Dimensionamiento del agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas.....	49
3.2.2.1.1	Dimensionamiento de la longitud del eje.....	50
3.2.2.1.2	Ancho de la rejilla.....	51
3.2.2.1.3	Dimensionamiento del diámetro del agitador.....	51
3.2.2.1.4	Dimensionamiento de la distancia entre el fondo del recipiente contenedor y el agitador.....	52
3.2.2.1.5	Dimensionamiento de la altura del agitador.....	53
3.2.2.1.6	Dimensionamiento de la distancia entre rejillas.....	54
3.2.2.2	Dimensionamiento la lira.....	54
3.2.2.2.1	Dimensionamiento del ancho de la lira.....	55
3.2.2.2.2	Dimensionamiento del diámetro de la lira.....	56
3.2.2.2.3	Dimensionamiento de la altura de la lira.....	56
3.2.2.2.4	Dimensionamiento de la distancia entre el fondo del contenedor y la lira.....	57
3.2.2.2.4.1	Dimensionamiento de la altura total de la lira.....	57
3.2.2.2.4.2	Dimensionamiento de la distancia entre el fondo del recipiente y la lira.....	58
3.2.2.2.5	Dimensionamiento de la distancia entre hilo e hilo de la lira.....	59
3.2.3	Sistema de accionamiento.....	61

3.2.3.1	Motorreductor.....	61
3.2.3.1.1	Cálculo de la Potencia del motor.....	62
3.2.3.1.2	Cálculo de la Potencia de consumo del agitador.....	62
3.2.3.2	Eje del sistema de agitación.....	66
3.2.3.2.1	Dimensionamiento del diámetro del eje de sujeción.....	67
3.2.3.2.2	Análisis estático del eje mediante SolidWorks.....	72
3.2.3.2.2.1	Tensión de Von Mises en el eje.....	72
3.2.3.2.2.2	Desplazamiento del eje.....	73
3.2.3.2.2.3	Factor de seguridad.....	74
3.2.4	Sistema estructural.....	74
3.2.4.1	Diagrama de cuerpo libre de la estructura.....	75
3.2.4.2	Análisis de la tensión de Von Mises para la estructura en SolidWorks.....	76
3.2.4.2.1	Factor de seguridad.....	77
3.2.4.2.2	Desplazamiento de la estructura.....	77
3.2.5	Sistema de automatización.....	78
3.2.5.1	Tablero de control.....	78
3.2.5.1.1	Dispositivo lógico programable.....	79
3.2.5.1.2	Fuente de alimentación Logo 24V.....	80
3.2.5.1.3	Módulo de expansión DM8 12/24R.....	80
3.2.5.1.4	Módulo AM2 PT100.....	81

3.2.5.2	Entradas y Salidas.	82
3.2.5.2.1	Entradas.	82
3.2.5.2.2	Salidas.	82
3.2.5.3	Activación y protección de los elementos críticos y del sistema.	82
3.2.5.3.1	Protección del sistema de control.	82
3.2.5.3.2	Contactador del motorreductor y las niquelinas.	83
3.2.5.3.2.1	Contactador para las niquelinas.	84
3.2.5.3.2.2	Contactador y relé térmico para el motorreductor.	84
3.3	Implementación y pruebas.	84
3.3.1	Montaje de la máquina para elaborar cuajada.	84
3.3.1.1	Contenedor de leche.	85
3.3.1.2	Contenedor de agua.	87
3.3.1.3	Paleta mezcladora.	89
3.3.1.4	Paleta cortadora.	90
3.3.1.5	Contenedor de cuajo.	91
3.3.1.6	Estructura.	92
3.3.2	Montaje y sincronización de actuadores.	93
3.3.2.1	Motorreductor.	94
3.3.2.1.1	Colocación del motorreductor.	94
3.3.2.2	Niquelinas.	95
3.3.2.2.1	Colocación de las niquelinas.	96

3.3.2.3	Electroválvula.....	97
3.3.2.4	Sensor de temperatura.....	98
3.3.3	Pruebas.....	99
3.3.4	Análisis de resultados.....	100
Capítulo 4	Costo de la máquina	103
Capítulo 5	107
5.1	Conclusiones	107
5.2	Recomendaciones.....	108
Bibliografía	109

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso de elaboración de quesos frescos.....	8
Figura 3.1 Diagrama del sistema automático para el proceso de coagulación de leche y corte de cuajada.....	12
Figura 3.2 Tipos de flujos.....	15
Figura 3.3 Formas de eliminar remolinos.....	15
Figura 3.4 Clasificación de los agitadores.....	16
Figura 3.5 Tipos de agitadores para líquidos.....	17
Figura 3.6 Máquina procesadora de leche para la producción de cuajada	22
Figura 3.7 Camisa de doble fondo.....	23
Figura 3.8 Máxima eficiencia permitida para juntas soldadas con arco y gas	28
Figura 3.9 Boceto del contenedor de leche.....	32
Figura 3.10 Diagrama de cuerpo libre del contenedor de leche	32
Figura 3.11 Restricciones del contenedor de leche	33
Figura 3.12 Deformación del contenedor de leche.....	34
Figura 3.13 Deformación del contenedor de leche.....	34
Figura 3.14 Flujos de calor para el proceso de elaboración de cuajada	35
Figura 3.15 Capas externas del cilindro	37
Figura 3.16 Esquema electro-térmico del calor que se disipa	37
Figura 3.17 Esquema interno de las capas para la elevación de temperatura.....	39
Figura 3.18 Circuito electro-térmico interno desde la sección de elevación de temperatura	39
Figura 3.19 Quemador Niquelinas eléctricas tubulares de inmersión.....	45
Figura 3.20 Contenedor de agua.....	45

Figura 3.21 Agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas	50
Figura 3.22 Esquema de la lira.....	55
Figura 3.23 Potencia respecto al número de Reynolds y el tipo de agitador	63
Figura 3.24 Inercia de la paleta	64
Figura 3.25 Partes que conforman el eje de las paletas.....	67
Figura 3.26 Diagrama de cuerpo libre del eje	68
Figura 3.27 Tensión de Von Mises en el eje.....	73
Figura 3.28 Desplazamiento del eje	73
Figura 3.29 Factor de seguridad del eje	74
Figura 3.30 Sistema estructural.....	75
Figura 3.31 Sistema estructural.....	76
Figura 3.32 Tensión de Von Mises en la estructura.....	76
Figura 3.33 Factor de seguridad en la estructura	77
Figura 3.34 Desplazamiento de la estructura	77
Figura 3.35 Diagrama de control	78
Figura 3.36 Tablero de control.....	79
Figura 3.37 Proceso de manufacturación del contenedor de leche	85
Figura 3.38 Contenedor de leche	86
Figura 3.39 Orificio para acondicionamiento de una bomba.....	87
Figura 3.40 Contenedor de agua	88
Figura 3.41 Recubierta de lana de vidrio	89
Figura 3.42 Paleta mezcladora	90
Figura 3.43 Paleta cortadora	91
Figura 3.44 Contenedor de cuajo	91

Figura 3.45 Estructura recubierta con tol galvanizado.....	93
Figura 3.46 Motorreductor ortogonal	94
Figura 3.47 Vista de la cavidad que contiene al motorreductor	95
Figura 3.48 Niquelinas tubulares de inmersión.....	96
Figura 3.49 Colocación de las niquelinas.....	96
Figura 3.50 Electroválvula	97
Figura 3.51 Colocación del sensor de temperatura	98

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Requisitos fisicoquímicos de la leche cruda	9
Tabla 3.1 Agitador tipo rejilla con palas planas inclinadas	18
Tabla 3.2 Tipos de tinas queseras	20
Tabla 3.3 Producción diaria de leche	21
Tabla 3.4 Propiedades Mecánicas del acero inoxidable AISI 304.....	29
Tabla 3.5 Datos técnicos Logo 12/24 RC	80
Tabla 3.6 Datos técnicos Logo Power 24V	80
Tabla 3.7 Datos técnicos Módulo de expansión Logo DM8 12/24R.....	81
Tabla 3.8 Datos técnicos Logo AM2 PT100.....	81
Tabla 3.9 Consumo de corriente del sistema	83
Tabla 3.10 Características del motorreductor ortogonal LAFERT	94
Tabla 3.11 Características de las niquelinas tubulares de inmersión.....	95
Tabla 3.12 Características técnicas de la electroválvula.....	97
Tabla 3.13 Pruebas de ensayo de temperatura del agua y la leche	99
Tabla 3.14 Pruebas con diferentes tiempos de mezcla y corte.....	99
Tabla 5.1 Costo de la materia prima directa	103
Tabla 5.2 Costo de los materiales y elementos directos.....	103
Tabla 5.3 Costo de mano de obra directa.....	104
Tabla 5.4 Costo de los gastos generales de fabricación.....	104
Tabla 5.5 Costo total de la máquina.....	104
Tabla 5.6 Tiempo para la recuperación de la inversión en la máquina.....	105

INTRODUCCIÓN

En la industria artesanal del Sr. Anselmo López se elabora quesos frescos. Para la elaboración de este producto se debe cumplir con los procesos de coagulación de leche, corte de la cuajada, moldeo y prensado antes de sacar al mercado. Actualmente estos procesos se realizan de forma manual lo que produce pérdidas en la producción.

El objetivo de este proyecto es disminuir las pérdidas en la producción mediante el control de temperatura y tiempo además reduciendo la manipulación de las materias primas.

Con esto se obtendrá mayor competitividad de las industrias artesanales con grandes industrias debido a que se obtendrá un queso de buena calidad.

RESUMEN

El presente documento muestra el diseño e implementación de un sistema automático del proceso de coagulación de leche y corte de cuajada que permite disminuir las pérdidas en la producción de la industria artesanal mediante el control de tiempo, temperatura y la contaminación microbiana por manipulación directa del operario con la leche.

El capítulo uno detalla el objetivo general y los objetivos específicos, el problema, justificación y alcance del proyecto.

El capítulo dos es la extracción del fundamento teórico necesario para proceder a diseñar la máquina, tal como: proceso de elaboración de quesos frescos de forma artesanal, características de la materia prima, material para la fabricación y selección de los elementos que constituyen la máquina

En el tercer capítulo se diseña cada elemento de los sistemas en la máquina los cuales son: la camisa de doble fondo, sistema de mezcla y corte, sistema motriz, sistema estructural y sistema automático, además muestra el montaje de la máquina, las pruebas de funcionamiento realizadas y el análisis de los resultados obtenidos luego de poner en marcha la máquina.

El capítulo cuatro muestra el costo de realización de la máquina en base a la materia prima directa y mano de obra directa.

Finalmente, se presentan las conclusiones a las que se llegó después de diseñada e implementada la máquina y se expone las recomendaciones a seguir en el presente trabajo.

ABSTRACT

This document shows the design and implementation of an automated system that process milk clotting and the cutting curd, which allows to reduce the losses in the production of the handicraft industry by controlling time, temperature and microbial contamination due to direct manipulation of the operator with the milk.

The chapter one explains the general objective and specific objectives, the problem, justification and scope of this project

Chapter two explains the theoretical foundation which is necessary for the design of the machine, this foundation shows the process of making fresh cheese by hand and the characteristics of the raw material, as well as the material for the fabrication and the selection of the elements that constitute the machine.

In the third chapter will be designed each element of the systems of the machine the which are: the double bottom container, mixing and cutting system, drive system, structural system and automatic system, also shows the machine assembly, performance testing and analysis of the results obtained after starting the machine.

The chapter Four shows the cost of making the machine based on direct raw material and direct labor

Finally, is presented the conclusions to be reached after of designed and assembled the machine and show the recommendations to follow in the present work.

CAPÍTULO 1

Problemática del proyecto

1.1 Tema

Diseño e implementación de un sistema automático para el proceso de coagulación de leche y corte de cuajada para la industria artesanal.

1.2 Problema

En el Ecuador gran parte de la población se ha dedicado a la elaboración y venta de manera artesanal de productos derivados de la leche. El queso fresco es un producto alimenticio altamente demandado entre los consumidores. Existen muchas industrias artesanales dedicadas a elaborar variedad de quesos.

En la elaboración de quesos, es de suma importancia el proceso de cuajada de leche, esto depende de factores como: contaminación microbiana, contaminación química, contaminación física, acidez y PH de la leche, además de la temperatura y el tiempo.

En la actualidad, en pequeñas industrias, la falta de recursos económicos hace que sus procesos sean manuales, lo que provoca pérdidas en la producción, por lo cual estos requieren ser automatizados.

Al controlar los parámetros de tiempo y temperatura además la contaminación microbiana por manipulación directa del operario con la leche, se estima disminuir las pérdidas en la producción.

Por lo tanto, este trabajo se enfocará en controlar la temperatura de la leche para la adición del cuajo así como del tiempo requerido para la correcta coagulación, sin la manipulación directa del operario, con el fin de mejorar la producción quesera al reducir las pérdidas masivas en los quesos, mediante la utilización de un sistema automático más económico y con menos contaminación microbiológica.

1.3 Justificación

En la región norte del país es de gran necesidad conservar los principales elementos nutritivos de la leche, debido a que la mayoría de lugares de producción están ubicadas en zonas rurales y no hay compradores de esta materia prima, al no poder venderla diariamente ésta se dañaría ocasionando grandes pérdidas económicas en los productores, por eso surge la necesidad de procesarla para poder conservarla por más tiempo hasta ser llevada a la venta.

Según el INEC en Imbabura 546 industrias se dedican a la producción de leche de las cuales aproximadamente 126 se dedican a la elaboración de quesos, de los mismos que el 0,1% están registrados como artesanos, dejando a este sector fuera del registro ya que para el INEC son inexistentes (Fuente: INEC) por no cumplir

con ciertos estándares tanto de manipulación como de infraestructura que este exige.

Una de las razones más importantes por lo cual es necesario la automatización de los procesos de corte y coagulación de la leche orientada a la producción artesanal, es para cumplir con estándares mínimos aun siendo la cantidad de leche a procesar muy pequeña en comparación con la capacidad de industrias a gran escala.

Con la automatización se eliminará pérdidas en la producción, al evitar una manipulación directa de la materia prima con operario y con el control de temperatura por medio del sistema planteado.

1.4 Alcance

El sistema estará diseñado para ser manejado fácilmente por el operario desde el tablero de control. Esto se realizará a través de un controlador lógico programable el cual supervisará los sistemas electrónicos y mecánicos utilizados para el corte y coagulación correcta de la leche.

Las condiciones para que el proceso inicie será, que el operario haya colocado la leche en la tina quesera de capacidad máxima 100 litros y el cuajo preparado en el reservorio contenedor.

El control de temperatura se realizará mediante un sensor, que verificará que la leche haya alcanzado los 33 °C y enviará una señal al dispositivo lógico programable para que el calentador eléctrico se apague y pueda proceder a la adición del cuajo.

En el eje del motor estará adaptado un sistema de paletas de acero inoxidable de doble función que agitarán y cortarán a la vez. La agitación se realizará para mantener una temperatura uniforme en toda la tina quesera, requisito necesario para añadir el cuajo y mezclarlo, así continuará agitándose hasta obtener una mezcla homogénea. Transcurrido un tiempo de 45 minutos de reposo cuando la leche se haya coagulado, el sistema volverá a activar el motor con una inversión de giro para proceder al corte de la cuajada.

La adición del cuajo preparado será mediante la apertura de una válvula en un reservorio, la cual se activará al recibir la señal del dispositivo lógico programable.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General.

Implementar un sistema automático para el proceso de coagulación de leche y corte de cuajada

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Determinar los parámetros para el corte y coagulación de la leche.
- Acoplar el sistema mecánico bifuncional de agitación y corte de la mezcla.
- Diseñar el sistema de control automático de temperatura necesario antes del proceso de coagulación.
- Hacer pruebas de trabajo del proceso de cuajada de leche.
- Desarrollar el manual de usuario y manual de mantenimiento de la máquina.

CAPÍTULO 2

Proceso de elaboración de quesos a partir de cuajada de forma artesanal

2.1 Descripción general del proceso artesanal

En la actualidad el 6,9% de la población ecuatoriana se dedica a la elaboración de productos lácteos (Carrillo, 2009, pág. 2). El queso fresco es uno de los derivados de leche, el cual es altamente demandado por los consumidores por ser un producto de sabor muy agradable que ofrece grandes propiedades alimenticias para el ser humano. La falta de recursos económicos hace que sus procesos sean completamente manuales por lo que no pueden competir con grandes industrias, lo que provoca pérdidas económicas por lo cual estos requieren ser automatizados.

La industria artesanal del señor Anselmo López se dedica a la producción de quesos frescos, está ubicada en una zona rural de la provincia, conocida con el nombre de Sigsipamba, parroquia perteneciente al cantón Pimampiro, debido a la inexistencia de compradores de ésta materia prima, la industria se ve obligada a procesarla para poder conservar sus principales elementos nutritivos, hasta poder sacar el producto al mercado, que se realiza de forma semanal, evitando así que la producción se dañe y ocasione pérdidas económicas en la pequeña industria.

Los quesos frescos no tienen período de maduración, son blandos, con alto contenido de humedad y grasa y se fabrican a partir de leche cruda (que no ha sido procesada térmicamente) y entera (que conserva toda su porcentaje de grasa).El

proceso de elaboración de quesos de ésta industria se grafica a continuación en la

Figura 2.1

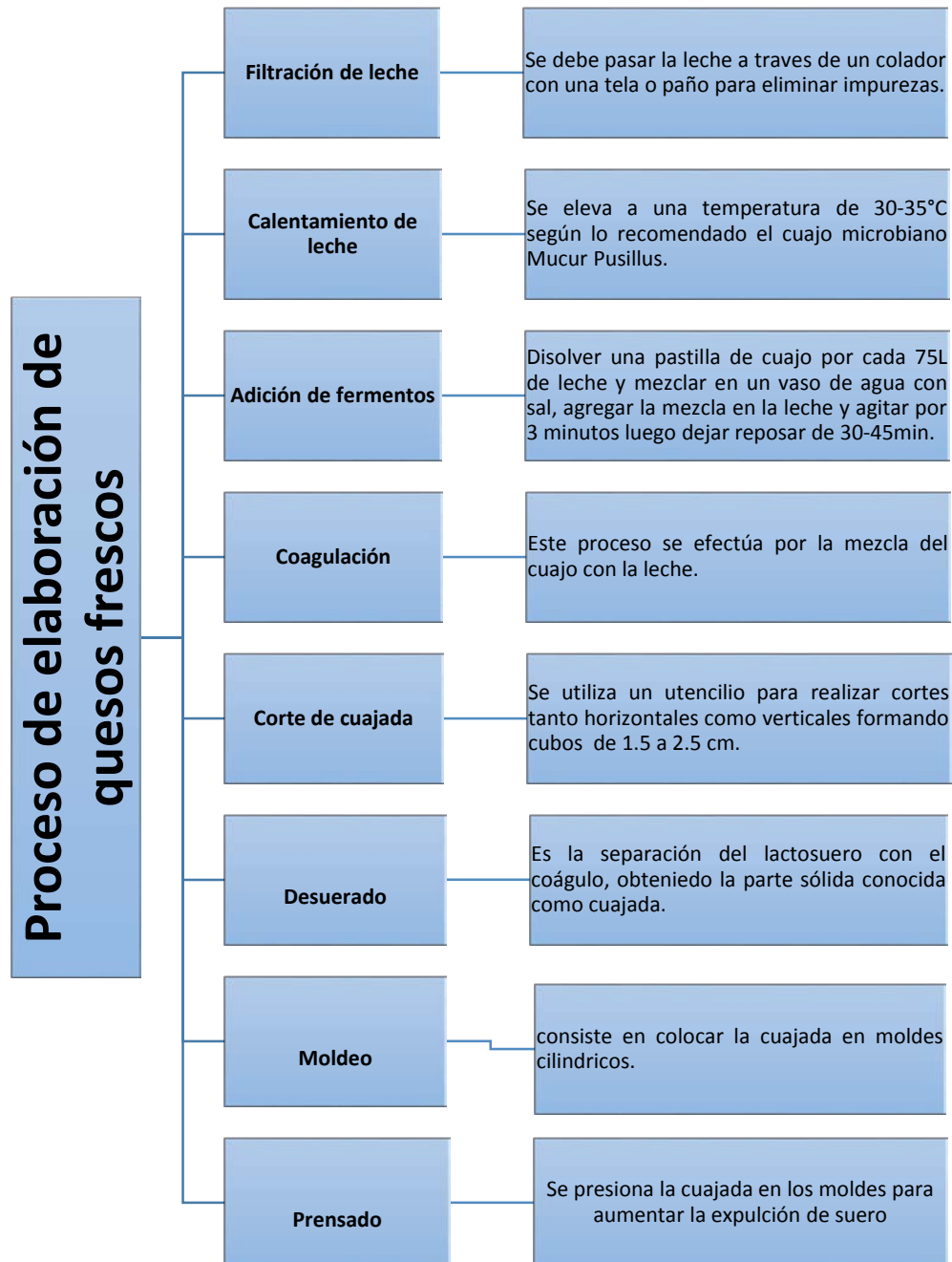


Figura 2.1 Proceso de elaboración de quesos frescos

En la elaboración de queso fresco, la leche es la materia prima más crítica, es por ello que debe cumplir con determinados requisitos fisicoquímicos tal como se muestra en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Requisitos fisicoquímicos de la leche cruda

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Densidad				NTE INEN 11
relativa:	-	1,029	1,033	
15°C		1,028	1,032	
20°C				
Materia grasa	%(fracción de masa)	3,0	-	NTE INEN 12
Acidez titulable como ácido láctico	%(fracción de masa)	0,13	0,17	NTE INEN 13
Sólidos totales	%(fracción de masa)	11,2	-	NTE INEN 14
Sólidos no grasos	%(fracción de masa)	8,2	-	
Cenizas	%(fracción de masa)	0,65	-	NTE INEN 14
Punto de congelación	°C	-0,536	-0,512	NTE INEN 15
	°H	-0,555	-0,530	
Proteínas	%(fracción de masa)	2,9	-	NTE INEN 16

Recuperado de: Instituto ecuatoriano de normalización NTE INEN 9, 2012, pág. 5

Este proyecto implementará un sistema automático en el proceso de elaboración de cuajada para la producción de quesos. Al controlar los parámetros de tiempo y temperatura, además reduciendo la contaminación microbiana por manipulación directa del operario con la leche, se disminuirá pérdidas en la producción de la industria artesanal, permitiéndole competir con grandes industrias.

CAPÍTULO 3

Ingeniería del proyecto

3.1 Descripción general del proceso automatizado

Actualmente, en la industria artesanal, todos los procesos para la obtención de cuajada se realizan de forma manual, sin preservar la inocuidad de la producción ni el control de parámetros críticos como la temperatura y tiempo, provocando la pérdida total de la producción en la industria. Por esta razón el proceso de obtención de cuajada requiere la implementación de un sistema automático el cual mejorará el proceso de elaboración de cuajada, permitiendo a la industria cumplir con los requerimientos que establece el CODEX alimentarius.

El sistema automático para el proceso de coagulación de leche y corte de la cuajada que se diseñó e implementó dispone de: un controlador lógico programable que supervisa los sistemas electrónicos y mecánicos tal como se muestra en la Figura 3.1. Además dispone de una camisa de doble fondo que contiene leche y agua, un motor de accionamiento para el sistema de paletas de mezcla y corte, una electroválvula de apertura para el paso de cuajo, un sensor de temperatura, un sistema de niquelinas eléctricas para el calentamiento de la leche.

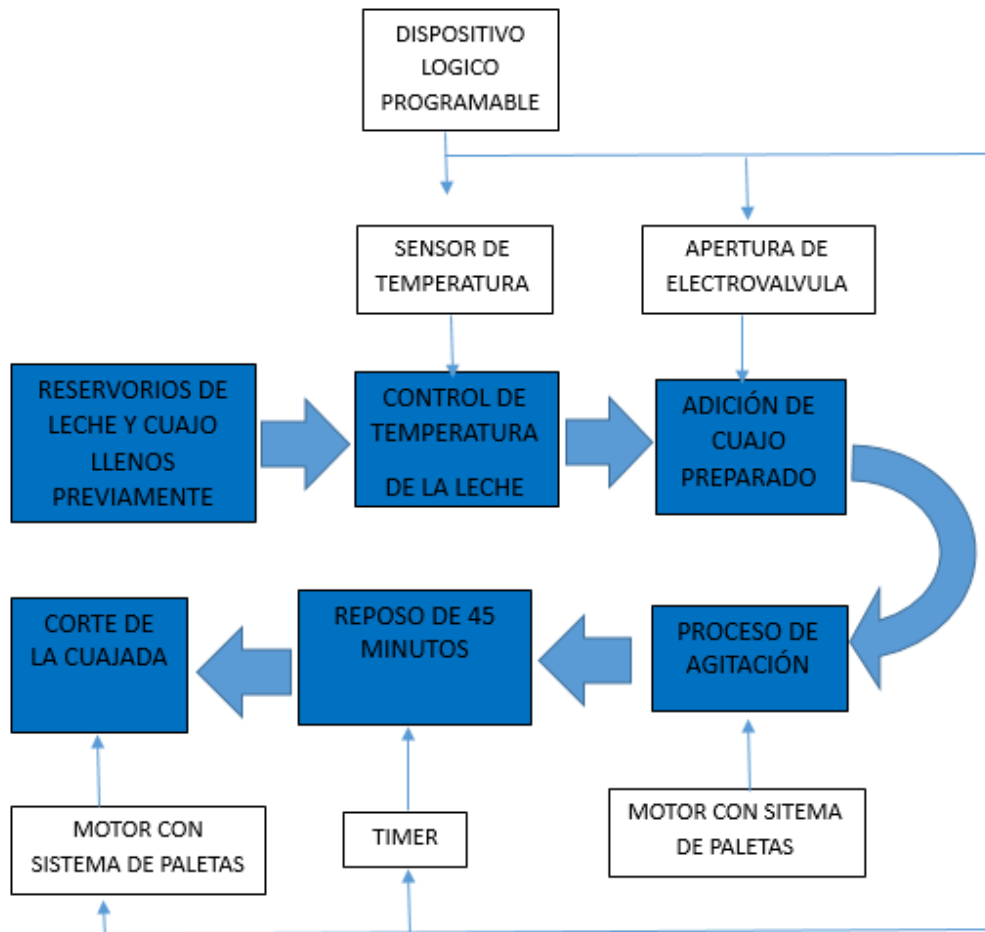


Figura 3.1 Diagrama del sistema automático para el proceso de coagulación de leche y corte de cuajada

Las condiciones para que el proceso inicie será, que el operario coloque la leche en la tina quesera y el cuajo preparado (pastilla + sal + agua) en el reservorio contenedor.

El controlador lógico programable supervisará los sistemas electrónicos y mecánicos utilizados para la obtención de cuajada mediante los procesos de coagulación de leche y corte de la cuajada.

El control de temperatura se realizará mediante un sensor en acero inoxidable, que verificará que la leche haya alcanzado los 35 °C y enviará una señal al dispositivo lógico programable para que el calentador eléctrico se apague y pueda proceder a la adición del cuajo.

En el eje del motor estará adaptado un sistema de paletas de acero inoxidable que agitarán y cortarán. La agitación se realizará para mantener una temperatura uniforme en toda la tina quesera, requisito necesario para añadir el cuajo y mezclarlo, obteniendo así una mezcla homogénea,

Transcurrido un tiempo de 45 minutos de reposo cuando la leche se haya coagulado por la acción del cuajo agregado en la leche, el dispositivo lógico programable volverá a enviar una señal de activación al motor con una inversión de giro para proceder al corte de la cuajada mediante el sistema de paletas sujetas en el eje del motor.

La adición del cuajo preparado será mediante la apertura de una electroválvula en un reservorio, la cual se activará al recibir la señal del dispositivo lógico programable.

3.1.1 Equipos de agitación y mezcla.

El equipo de agitación está conformado por la tina de cuajar junto a un sistema de paletas acopladas en un eje que suspende desde la parte superior, que es accionado por un motorreductor.

Los objetivos de la mezcla de leche y corte de la cuajada serán:

- Homogenizar la mezcla de leche con el cuajo.
- Homogenizar la temperatura en toda la tina quesera.
- Permitir la expulsión del suero del grano de la masa.
- Dar firmeza al grano.
- Acelerar la salida del suero.
- Dar firmeza y cohesión a la cuajada.

3.1.2 Fenómeno de agitación.

En las aplicaciones de mezcla y corte de la cuajada se debe considerar: las proporciones de la tina cilíndrica, las aspas de agitación, las características del líquido, y la velocidad angular. Para no afectar al flujo del fluido pudiendo ocasionar un movimiento circular alrededor del eje como una especie de vórtice, que obstruye el flujo debido a que el componente radial afecta la mezcla, tal como se observa en la Figura 3.3

Los vórtices se pueden eliminar mediante dos técnicas sencillas: colocar placas deflectoras alrededor de la tina o ubicar los ejes no centrados tal como se observa en la Figura 3.3 (Harriott, 1991, pág. 246)

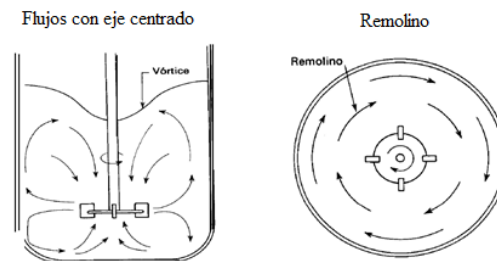


Figura 3.2 Tipos de flujos

Fuente: Libro de operaciones unitarias en Ingeniería química (Harriott, 1991)

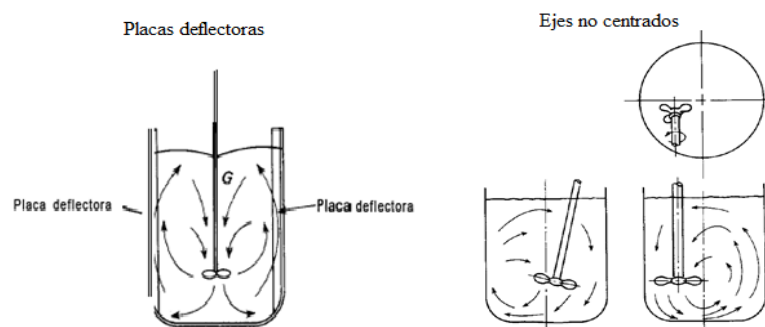


Figura 3.3 Formas de eliminar remolinos

Fuente: Libro de operaciones unitarias en Ingeniería química (Harriott, 1991)

Mediante pruebas de ensayo realizadas en la industria de la mezcla de la leche con el cuajo y de el corte de la cuajada mediante el sistema de paletas sujetos al eje, se determinó un aproximado de la velocidad que se necesita en el eje accionado por el motor, el cual varía entre 50 y 60 Rpm aproximadamente, lo que implica que no es necesario implementar una técnica para evitar vórtices, debido a que la velocidad angular es muy pequeña y los vórtices se producen a grandes velocidades angulares.

Los agitadores se clasifican según el tipo de flujo que producen, existen dos tipos de agitadores, enumerados a continuación:

3.1.21. Impulsores de flujo axial.

Son los agitadores que generan corrientes paralelas al eje del impulsor. Figura 2.5 a) Los agitadores para este tipo de flujo son todos los que tienen palas que forman un ángulo menor de 90° con el plano perpendicular al eje. Las hélices y turbinas de palas o aspas inclinadas son las más representativas de este tipo de agitadores.

3.1.2.2 Impulsores de flujo radial.

Son aquellos que generan corrientes en dirección radial tangencial tal como se observa en la Figura 3.2. Los agitadores más representativos son los de palas planas, tienen aspas paralelas al eje del motor y producen un flujo radial.

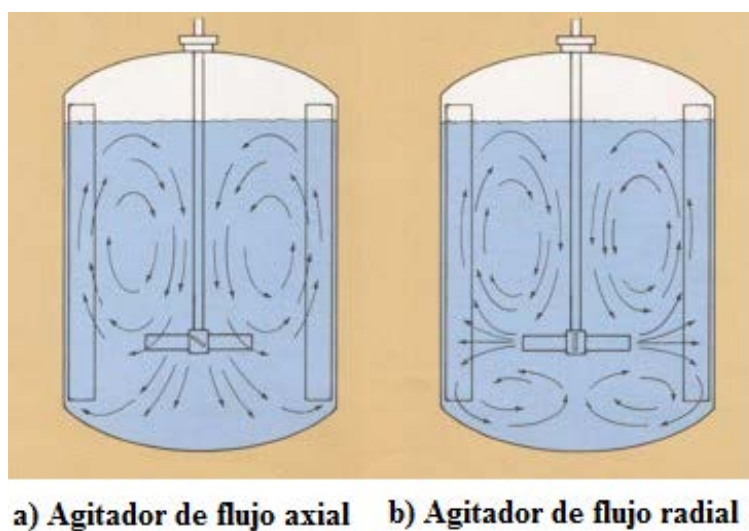


Figura 3.4 Clasificación de los agitadores

Fuente: Tanques agitadores (PM Maquinarias, s.f.) Recuperado de: <http://pm-maquinarias.yolasite.com/tanque-agitador.php>

3.1.3 Sistemas de agitación.

Existen numerosos sistemas de agitación que producen un determinado flujo en los líquidos, entre los principales están los que se muestran a continuación en la Figura 3.5

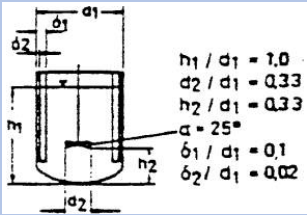

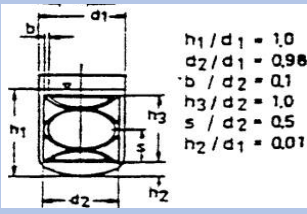

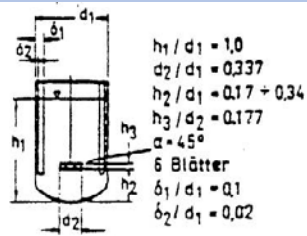

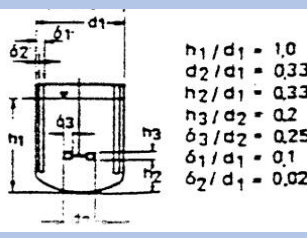

Tipo de aspa	Dimensionamiento	Simbología
Agitador de Hélice	 <p> $h_1 / d_1 = 1,0$ $d_2 / d_1 = 0,33$ $h_2 / d_1 = 0,33$ $\alpha = 25^\circ$ $\delta_1 / d_1 = 0,1$ $\delta_2 / d_1 = 0,02$ </p>	
Agitador Helicoidal	 <p> $h_1 / d_1 = 1,0$ $d_2 / d_1 = 0,98$ $b / d_2 = 0,1$ $h_3 / d_2 = 1,0$ $s / d_2 = 0,5$ $h_2 / d_1 = 0,01$ </p>	
Agitador con palas planas inclinadas	 <p> $h_1 / d_1 = 1,0$ $d_2 / d_1 = 0,337$ $h_2 / d_1 = 0,17 + 0,34$ $h_3 / d_2 = 0,177$ $\alpha = 45^\circ$ 6 Blätter $\delta_1 / d_1 = 0,1$ $\delta_2 / d_1 = 0,02$ </p>	
Agitador de palas planas	 <p> $h_1 / d_1 = 1,0$ $d_2 / d_1 = 0,33$ $h_2 / d_1 = 0,33$ $h_3 / d_2 = 0,2$ $\delta_3 / d_2 = 0,25$ $\delta_1 / d_1 = 0,1$ $\delta_2 / d_1 = 0,02$ </p>	

Figura 3.5 Tipos de agitadores para líquidos

Fuente: Equipos de mezcla (Sonia Ansó Gimeno, 2003 - 2004) Recuperado de:

<http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTagitacion/index.htm>

En base a la a la figura anterior el sistema de agitación que cumplirá con éstas características geométricas para el sistema de agitación será el de palas planas inclinadas.

3.1.3.1 Agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas.

Existen varios tipos de agitadores de palas, entre la gran variedad existente está el agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas, siendo el más favorable para realizar el proceso de mezcla de la leche con el cuajo. Para uniformizar el tamaño del grano de cuajada en toda su masa el agitador que más se acopla es el de tipo rejilla, al cual se le realizara modificaciones para el proceso propuesto.

Los parámetros de diseño que debe considerar en cada uno de los tipos de agitadores de paletas se muestra en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 Agitador tipo rejilla con palas planas inclinadas

Descripción	- 4-6 palas rectas - estructura tipo malla - ángulo de inclinación = 45°
Campo de flujo generado	axial / radial
Régimen alcanzado	de transición – turbulento
Velocidad tangencial	3 - 15 m/s

Viscosidad	del hasta 20 Pa.s
medio	
Posición	del 0,2 – 0,5 (alejado de la pared)
rodete (d_2 / d_1)	
Aplicaciones	Homogeneizar

*Fuente: Equipos de mezcla. (Sonia Ansó Gimeno, 2003 - 2004) Recuperado de:
<http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>*

Aparte de la velocidad angular que se determinó, otro parámetro muy importante que se debe considerar para la selección del agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas es la viscosidad tanto de la leche como la cuajada.

Definiendo a la viscosidad como la oposición que presentan los líquidos para fluir, en la viscosidad de la leche es la resistencia que presenta al aumento de los glóbulos grasos para formar la cuajada.

Los valores de viscosidad en la leche de la industria es de 5.49 cP (0.00549 Pa.s) y para la cuajada es 1602 cP (1.602 Pa.s), los cuales estarían dentro del rango de viscosidad para este tipo de agitador, el valor se determinó mediante análisis realizados en la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Alimentos adjuntados en el anexo 1.

3.1.4 Tipos de tinas de cuajar industriales.

Existen tres tipos de tinas queseras que se las clasifican de acuerdo a la forma que adquieren, cada una tiene características en común las cuales se describen en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Tipos de tinas queseras

Características	Elíptica	Rectangular	Circular
Elementos constitutivos	Entrada y drenado para agua, respiradero, niveles de agua.	Liras de corte vertical, horizontal y agitador. Camisa de agua (doble fondo) para calentamiento de la leche y la cuajada a baño María. Válvulas de llenado de la camisa y vaciado de la cuba por rebosadero. Soportes regulables.	Paletas de corte Formadas por finas cuchillas de doble sentido de giro Variador de velocidad. Señal de temperatura digital. Interruptor de emergencia. Sistema de inclinación neumático. Circuito de lavado en versión cerrada.
Material	Acero inoxidable 304 y acabado sanitario.	Acero Inoxidable AISI 304.	Acero inoxidable
Calentamiento	quemador	Mediante resistencia eléctrica 3.6 kW	Incorporan circuito de calentamiento cerrado en doble cámara preparado para vapor y agua caliente admitiendo presiones de hasta 5 bares.

Fuente: Tinas de cuajar Recuperado de: <http://elgrantavo26.blogspot.com/>,
<http://www.eurociencia.com/ext/pdf/lacteos.pdf>,
<http://www.tanquesdeleche.com/es/redondas>

De los diferentes tipos de tinas queseras que se sintetizó anteriormente se selecciona una cuba cilíndrica por brindar mayor facilidad en la implementación el sistema de paletas junto con el sistema de accionamiento.

3.1.4.1 Material para la fabricación y selección de los elementos que constituyen la máquina.

El material para la fabricación y selección de los componentes en una maquinaria dedicada a la industria alimenticia debe ser un material higiénico, resistente a la herrumbre y a temperaturas de al menos 130°C. El material que cumple con estos parámetros es el acero inoxidable AISI 304 (Viñoly)

3.1.4.2 Capacidad de la tina quesera.

La capacidad de la tina se determina de acuerdo a los requerimientos de la producción máxima en la industria que es de 0.072 m³ según se detalla en la Tabla 3.3 de acuerdo a un muestreo semanal realizado en la industria

Tabla 3.3 Producción diaria de leche

Producción/día	Día 1	Día 3	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
m³	0.071	0.066	0.071	0.072	0.068	0.065	0.070

No se deberá colocar un volumen mayor al indicado anteriormente debido a que sistema de accionamiento dejaría de funcionar eficientemente junto al sistema de paletas de agitación y corte.

3.2 Diseño de la máquina de elaboración de cuajada

En el diseño se considera los elementos que conforman la máquina, en cada sistema se realizará la selección y el diseño de los elementos. En la Figura 3.6 se representa los elementos que constituyen la máquina.

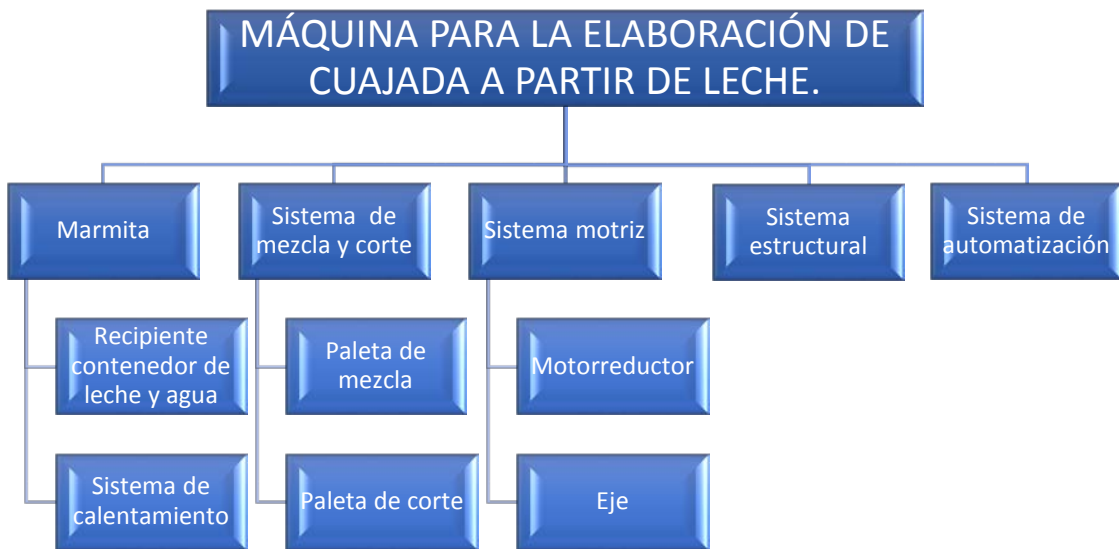


Figura 3.6 Máquina procesadora de leche para la producción de cuajada

La máquina debe desempeñar los siguientes requerimientos:

- Conservar la velocidad de giro de motor constante para obtener una cuajada de buena calidad sin producir pérdidas en la materia prima.
- Tener el sistema de control automático de fácil manipulación por el operador.

3.2.1Diseño de la marmita.

La marmita se empleará para el procesamiento de la leche mediante transferencia de calor y se conforma básicamente por una camisa que rodea a un recipiente interno que contiene el material a calentarse, la camisa externa contendrá agua utilizando un sistema de transferencia de calor indirecto muy común que se conoce como Baño María, en cuyo caso el calor que se suministra al agua será mediante una resistencia eléctrica de inmersión. Además tendrá una entrada y un desfogue para la circulación de agua en la camisa de calentamiento.

Para evitar pérdidas de calor en las camisas se colocará una capa de aislante de lana de vidrio alrededor de la camisa externa, que a su vez servirá de aislante térmico impidiendo que el operario pueda sufrir quemaduras al estar en contacto directo.

La marmita se fabricará en acero inoxidable AISI 304, la cual será de forma cilíndrica, completamente ergonómica y de fácil evacuación.



Figura 3.7 Camisa de doble fondo

3.2.1.1 Dimensionamiento de la camisa interna contenedora de leche.

En el dimensionamiento del espesor de la lámina que se usará para la fabricación del contenedor de leche es necesario conocer el volumen máximo que se determinó anteriormente de 0.072m^3 .

Para garantizar que se mezcle la leche con el cuajo y se corte la cuajada apropiadamente, el volumen que ocupará el nivel del líquido se debe sobredimensionar en un 40% del total.

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{máx}} + 40\%$$

Dónde:

V_{tot} = Volumen total que ocupa el contenedor de leche

$V_{\text{máx}}$ = Volúmen máximo de leche en un día de producción

Resolviendo se tiene:

$$V_{\text{tot}} = 0,108 \text{ [m}^3\text{]}$$

Para dimensionar el cilindro se le da al radio un valor de 0.25 m. Y se procederá con el cálculo de la altura:

$$h = \frac{v}{\pi r^2}$$

Ecuación 3.1

Dónde:

h = Altura del cilindro.

v = volumen del cilindro 0,10 [m³]

r = Radio del cilindro 0.25 [m]

Resolviendo se tiene que:

$$h = \frac{v}{\pi r^2} = \frac{0,10}{\pi 0.25^2} = 0,509\text{m}$$

La longitud del cilindro necesario para contener el volumen será de 0.51m de largo y un diámetro de 0,50m.

Las paredes del cilindro estarán sometidas a presión hidrostática debido al líquido sumergido en el contenedor para lo que se emplea el siguiente modelo matemático:

$$P = \delta gh$$

Ecuación 3.2

Fuente: Física 2 (Nuñez)

Dónde:

P = presión hidrostática que ejerce la leche.

δ = densidad de la leche.

g = gravedad $9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

h = longitud de la tina quesera 0,51m.

Para el cálculo de la fuerza es necesario determinar la masa del líquido contenido en el cilindro y despejaremos a partir del siguiente modelo matemático:

$$D = \frac{m[\text{kg}]}{v[\text{m}^3]} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Fuente: Química para el nuevo milenio (Hill, 1999)

Despejando m se tiene:

$$M = v[\text{m}^3] * D[\text{kg}/\text{m}^3]$$

Dónde:

M= Masa de la leche

V= Volumen del cilindro 0,10 [m³]

D= Densidad de la leche de 1032 [kg/m³]

Resolviendo se tiene:

$$M = 0,10[\text{m}^3] * 1032[\text{kg}/\text{m}^3] = 103,2 \text{ kilogramos}$$

Ahora se determina la presión hidrostática mediante el siguiente modelo matemático:

$$P = Dgh \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Fuente: Estática de fluidos (James L. Meriam, 1999, pág. 253)

Dónde:

P= Presión hidrostática debido a la leche

D= Densidad de la leche de 1032 [kg/m³]

g= aceleración de gravedad, $9.8 \frac{m}{s^2}$

h= altura del cilindro 0,51 [m]

Resolviendo se tiene:

$$P = 1032 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.51m = 5157.93 \frac{N}{m^2}$$

$$P = 5157.93 \frac{N}{m^2}$$

El cilindro operará a una presión de 5157.93 N/m². Para calcular la presión de diseño se debe seleccionar un factor de seguridad y multiplicarlo por la presión calculada anteriormente.

En la selección del factor de seguridad se debe considerar los riesgos que podría ocasionar si el cilindro fallara por sobrecarga, se considera un factor de diseño de 2, resumiéndose en una presión de diseño de 10301,62 N/m².

Para encontrar el espesor se utiliza el siguiente modelo matemático:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Fuente: Cálculo de recipientes a presión (Lozano, 2012), recuperado de: <http://es.slideshare.net/UlisesLozanoMagarinho/canculo-de-recipientes-a-presion>

Dónde:

t = Espesor del cilindro.

P = Presión de diseño, 10301,62 [N/m²]

R = Radio del cilindro, 0,25 [m].

S = Esfuerzo permisible.

E = Eficiencia de la junta o soldadura.

A continuación se mostrará la eficiencia de las juntas en la Figura 3.8

Fig. 6-138	Descripción de la junta	Grado de examen		
		Radio-grafla completa	Examen por puntos	No examinada por puntos
<i>a,b</i>	Juntas por ensamble con soldadura doble o con medios que permitan obtener la misma calidad de metal soldado a ambos lados de la junta	1.00	0.85	0.70
<i>b</i>	Junta por ensamble de soldadura simple, con banda de respaldo en su lugar	0.90	0.80	0.65
<i>c</i>	Junta por ensamble de soldadura simple, sin banda de respaldo. Sólo se permite para algunas juntas perimetrales.			0.60

Figura 3.8 Máxima eficiencia permitida para juntas soldadas con arco y gas

Fuente: Cálculo de recipientes a presión (Estrucplan, 2012), Recuperado de: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=3063>

Para garantizar una mejor soldadura, con excelente adhesión, se realizará por los dos lados, así garantizará que el líquido contenido en el cilindro no se derrame. Como se indica en la Figura 3.8 el valor de eficiencia que se debe emplear es el de 0,7 debido a que no se realizó ningún examen por puntos de las juntas soldadas.

En la Tabla 3.4 se muestra el esfuerzo máximo permisible del acero inoxidable AISI 304:

Tabla 3.4 Propiedades Mecánicas del acero inoxidable AISI 304

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación	PRUEBAS DE DUREZA (MÁX)	
Kg/mm ²	Psi	Kg/mm ²	Psi	% Mín.	ROCKWELL	VICKERS
49	69	18	25	40	90	200
	500		500			

Fuente: Planchas de acero inoxidable (Dipac, 2012, pág. 8)

Se proseguirá con los cálculos, pero antes se debe transformar el esfuerzo permisible para el acero AISI 304 de 18Kg/mm² a N/m² de la siguiente forma:

$$18 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} = 176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Regresamos a la Ecuación 3.5 y se resuelve:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} = \frac{\frac{10301,62 \text{ N}}{\text{m}^2} \cdot 0,25\text{m}}{176519700 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0,7 - 0,6 * 10301,62 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$t = 0,00002084\text{m}$$

Se considera el desgaste de corrosión por año mínimo 8 años que es de 1mm por lo tanto el espesor quedaría de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$t' = t + CA \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Fuente: Manual de recipientes a presión (Megyesy, 1992)

Dónde:

t' = Espesor del cilindro considerando el desgaste por corrosión

t = Espesor del cilindro, 0,00002084 [m].

CA = corrosión mínima para 8 años, 0.001[m].

Resolviendo se tiene:

$$t' = 0.00102[m]$$

Por último el espesor disponible en el mercado más cercano es de 0.0012 [m] por lo que se seleccionará para la fabricación de la marmita

Se regresa a la Ecuación 3.5 y se despeja la presión P , resultando el siguiente modelo matemático:

$$P = \frac{tSE}{R + 0.6t}$$

Se le da un espesor de 0.0012m según lo que se seleccionó anteriormente y se reemplaza los con los datos anteriores.

$$P = \frac{tSE}{R+0.6t} = \frac{(0.0012[m]) \cdot (480\,525\,849,99 \frac{N}{m^2}) \cdot 0,85}{0.25[m] + (0,6 \cdot 0.001[m])} = 1954915.31 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Por último se procede a determinar el factor de seguridad que estará sometido la lámina de acero y está dada mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{P}{P_{\text{diseño}}} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Dónde:

n: factor de seguridad sometido a sobrecarga

P: Presión que soporta la lámina de espesor 0.0012 m

$P_{\text{diseño}}$: Presión hidrostática debida al fluido

Resolviendo se tiene que:

$$n = 189.76$$

Por lo que se concluye que la lámina de 0.0012m no sufrirá fallas por sobrecarga debido a que el factor de seguridad es sumamente elevado, por lo tanto es apropiado para la construcción de la marmita. Tal como se muestra en el Anexo 4.

3.2.1.1.1. Boceto del contenedor de leche.

A continuación en la Figura 3.9 se puede visualizar el esquema del contenedor de leche, que es de menor tamaño y está fabricado de acero inoxidable AISI 304, con un espesor de 0.0012m según los cálculos que se determinó anteriormente.



Figura 3.9 Boceto del contenedor de leche

3.2.1.1.2. Diagrama de cuerpo libre del contenedor.

En el diagrama de cuerpo libre de la Figura 3.10 se puede observar la presión hidrostática que ejerce la leche alrededor de las paredes del contenedor.

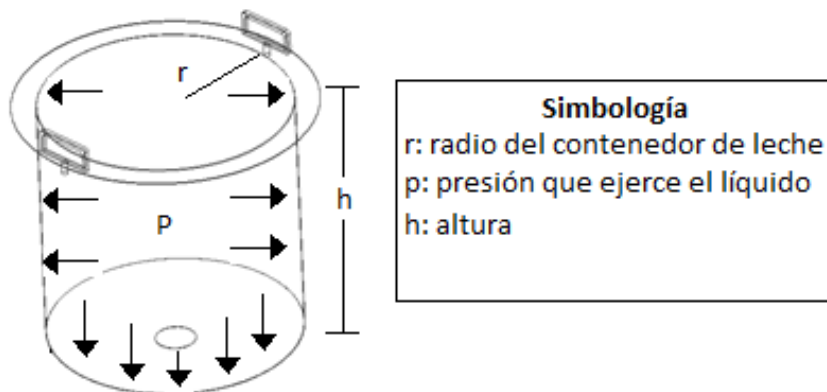


Figura 3.10 Diagrama de cuerpo libre del contenedor de leche

3.2.1.1.3. Restricciones.

Como se observa en la Figura 3.11 el líquido ejercerá una presión hidrostática sobre las paredes lo que implica que va a sufrir una deformación en la lámina del contenedor es por eso que requiere realizar una simulación para verificar éste valor.

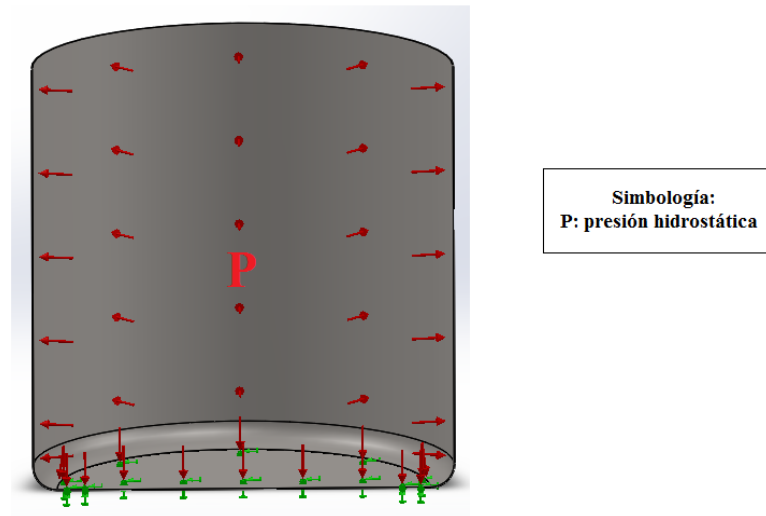


Figura 3.11 Restricciones del contenedor de leche

3.2.1.1.4. Análisis del contenedor mediante simulación en SolidWorks.

Una vez definido las restricciones de la cargas a la que está sometido el contenedor y realizado los cálculos del espesor se procede a comprobar los resultados mediante un análisis estático en el simulador.

3.2.1.1.4.1. Deformación del contenedor.

El contenedor sufrirá una deformación de 0.0000533mm debido a la presión que ejerce la leche sobre las paredes del recipiente, lo cual significa que no afectará en el rendimiento tal como se puede observar en la Figura 3.12

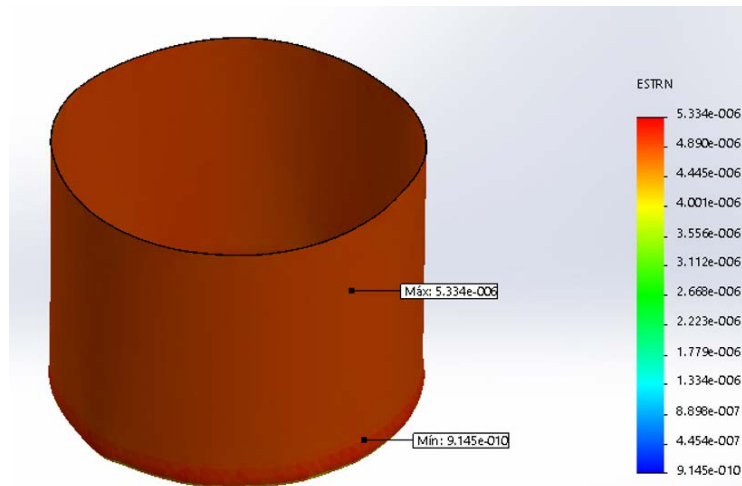


Figura 3.12 Deformación del contenedor de leche

3.2.1.1.4.2. Factor de seguridad.

El espesor de 0.0012m del contenedor tendrá un factor de confiabilidad mínimo de 160 y máximo de 335000 lo que comprueba que el factor que se calculó anteriormente 189.76 está dentro de este rango, tal como se observa en la Figura 3.13

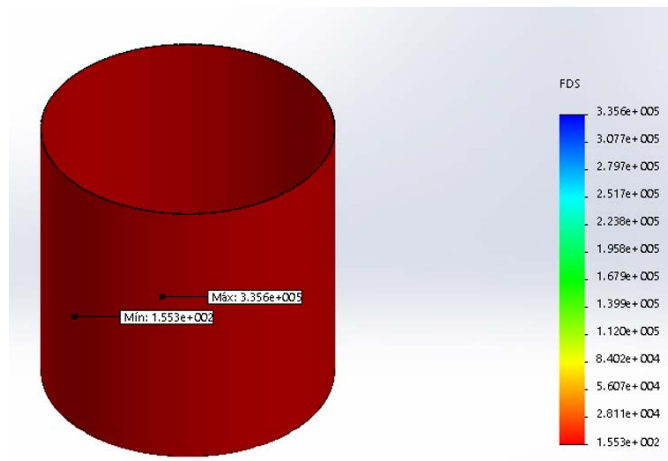


Figura 3.13 Deformación del contenedor de leche

3.2.1.2 Sistema de calentamiento.

El sistema de calentamiento se encargará de proporcionar la energía necesaria para elevar la temperatura de la leche mediante la transferencia del calor existente en el agua. El aumento de temperatura será dar de la temperatura ambiente que en Imbabura es 18 °C a 35 °C, temperatura necesaria para permitir la coagulación de leche.

3.2.1.2.1. Dimensionamiento de energía necesaria para el sistema de calentamiento.

Para determinar las temperaturas superficiales se utilizará los fundamentos de transferencia de calor por conducción.

Los flujos de calor que intervienen en la sección de elevación de temperatura es el calor que se aprovecha y el que se disipa, ubicados en sentidos opuestos. El calor que se aprovecha es el que se encuentra internamente de la sección coagulación mientras que el calor que se disipa es el que intenta salir al ambiente.

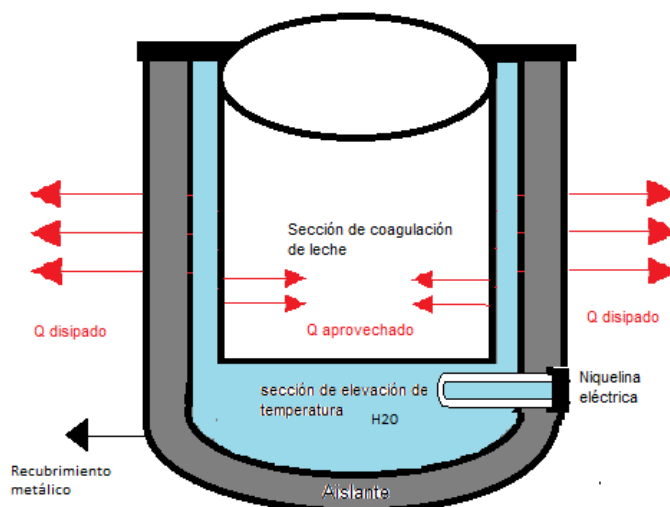


Figura 3.14 Flujos de calor para el proceso de elaboración de cuajada

Para determinar el flujo de calor que se aprovecha y el que se disipa por el sistema se emplea el modelo matemático de resistencia térmica para convección y conducción, así:

$$R_{t,conv} = \frac{1}{h \cdot A} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Fuente: Transferencia de calor (Holman, 1999, pág. 23)

Dónde:

$R_{t,conv}$ = Resistencia térmica de convección, [°C/W]

h = Coeficiente de convección, [W/m² °C]

A = Área transversal al flujo de calor [m²]

Resistencia térmica mediante conducción para contenedores cilíndricos:

$$R_{t,cond} = \frac{\ln \frac{r_{ext}}{r_{int}}}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Fuente: Transferencia de calor (Holman, 1999, pág. 20)

Dónde:

$R_{t,cond}$ = Resistencia térmica por conducción [1C/W]

r_{ext} = Radio externo del cilindro, 0.026 [m].

r_{int} = Radio interno del cilindro, 0.025 [m].

L = Longitud del cilindro, 0.51 [m].

K = Conductividad térmica del material [W/m°C].

En la Figura 3.15 se grafica los componentes que inciden en el flujo de calor que se pierde a los alrededores.

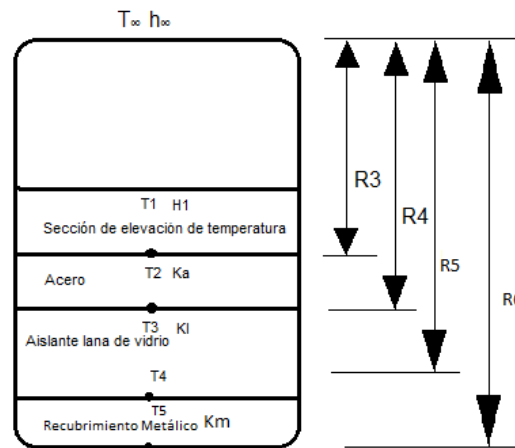


Figura 3.15 Capas externas del cilindro

Para comprender la transferencia del flujo de calor hacia la parte exterior del cilindro contenedor de leche se realiza un gráfico de un circuito térmico, como se simboliza en la Figura 3.16

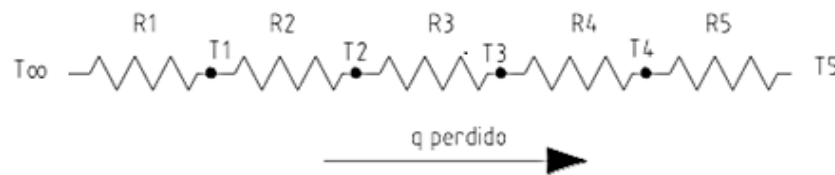


Figura 3.16 Esquema electro-térmico del calor que se disipa

Con las ecuaciones de resistencia térmica se obtiene la resistencia térmica de las pérdidas de calor:

$$R_{T,1} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 \quad \text{Ecuación 3.10}$$

$$R_{T,1} = \frac{1}{(h_{\infty} + h_r) \cdot A_2} + \frac{1}{h_1 + A_1} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi \cdot k_a \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_5}{r_4}}{2\pi \cdot k_l \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_6}{r_5}}{2\pi \cdot k_m \cdot L}$$

Dónde:

A_1 = Área transversal al flujo de calor a la entrada del aislante, $0.83 \text{ [m}^2\text{]}$.

A_2 = Área transversal al flujo de calor externo al recubrimiento metálico, 1.06 [m²].

h_1 = Coeficiente de convección del agua en la sección de elevación de temperatura, 5 [W/m²°C].⁴⁵

h_∞ = Coeficiente de convección del aire a la temperatura ambiente, 5 [W/m²°C].

h_r = Coeficiente de radiación para la temperatura ambiente, 11[W/m²°C].

k_a = Conductividad térmica para acero inoxidable, 14,9 [W/m²°C].

k_l = Conductividad térmica de la lana de vidrio, 0,046 [W/m²°C].

k_m = Conductividad térmica del recubrimiento metálico, 60,5 [W/m²°C].

r_3 = Radio interior lámina de acero inoxidable, 0,25 [m].

r_4 = Radio exterior lámina de acero inoxidable, 0,26 [m]

r_5 = Radio interno del recubrimiento metálico, 0,331 [m]

r_6 = Radio externo del recubrimiento metálico, 0,332 [m]

L = Longitud de la cámara de combustión, 0,51[m]

Fuente: Fundamentos de transferencia de calor (Incropera, 1999, págs. 824,827)

Con estos valores se resuelve la Ecuación 3.10 para obtener la resistencia $R_{T,1}$:

$$R_{T1} = 1,8692 \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right]$$

La Figura 3.17 indica el flujo de calor que se aprovecha y los compuestos de la máquina.

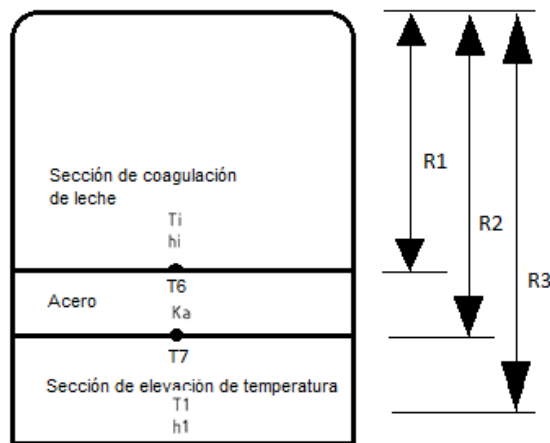


Figura 3.17 Esquema interno de las capas para la elevación de temperatura

Para comprender la transferencia de flujo de calor en la sección de coagulación de leche se grafica el circuito térmico, tal como se representa la Figura 3.18



Figura 3.18 Circuito electro-térmico interno desde la sección de elevación de temperatura

Con las ecuaciones de resistencia térmica se obtiene la resistencia térmica de calor que se aprovecha:

$$R_{T_2} = R_6 + R_7 + R_8 \quad \text{Ecuación 3.11}$$

$$R_{T_2} = \frac{1}{h_i * A_3} + \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi * k_a * L} + \frac{1}{(h_1) * A_4}$$

Dónde:

A_3 = Área transversal al flujo de calor a la pared interna de la sección de coagulación de leche, 0,801 [m²].

A_4 = Área transversal al flujo de calor a la pared externa de la sección de coagulación de leche, 0,82 [m²].

h_i = Coeficiente de convección en la sección de coagulación de leche, 18 [W/m²°C].

h_1 = Coeficiente de convección en la sección de elevación de temperatura, 5 [W/m²°C].

k_a = Conductividad térmica del acero inoxidable, 14,9 [W/m²°C].

r_1 = Radio interno de la lámina de acero inoxidable, 0,25 [m]

r_2 = Radio externo de la lámina de acero inoxidable, 0,26 [m]

Con estos valores se resuelve la Ecuación 3.11 y se obtiene la resistencia

$$R_{T,2} = 0.2403 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right]$$

Utilizando la Ecuación 3.12 se encuentra la cantidad de flujo calor necesario para el proceso.

$$q = \frac{\Delta T}{R_{\text{ter}}} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

Fuente: Transferencia de calor (Holman, 1999, pág. 18)

Dónde:

q = Flujo de calor, [w]

ΔT = Variación de temperaturas, [°C]

R_{ter} =Resistencia térmica, [°C/W]

Para encontrar el calor que se aprovecha y el calor que se disipa se debe determinar las temperaturas, para ello se requiere calcular el flujo másico de la leche en el cilindro de contención mediante la siguiente expresión matemática

$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 3.13}$$

Dónde:

\dot{m} = Flujo másico de la leche, [kg/s].

m = Masa de la leche a calentar en cierto tiempo, 103,2 [kg].

Δt = Variación de tiempo que tarda la leche en alcanzar 35°C, 2700 [s].

Con los datos anteriores se procede a reemplazar en la Ecuación 3.13, obteniendo el flujo másico.

$$\dot{m} = 0,038 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Se sabe que el calor específico de la leche es 0.94 [cal/g°C].

Una vez que se obtiene la cantidad de flujo másico de la leche y el calor específico a presión constante, se determinará la energía que se emplea para conseguir que la leche alcance la temperatura de 35 °C a partir de la temperatura ambiente en Imbabura.

$$q_{\text{aprov}} = \dot{m} * C_p * (T_i - T_{\text{amb}}) \quad \text{Ecuación 3.14}$$

Fuente: Mundo Física II (De la Torre Zermeño, 2003, pág. 31)

Dónde:

q_{aprov} = Calor necesario para calentar la leche, [W]

\dot{m} = Flujo másico de la leche en el cilindro de contención, 0.038 [kg/s]

C_p = Calor específico de la leche con presión constante, $0.94 \left[\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$

T_i = Temperatura de elevación dentro de la sección de coagulación, 35 [°C]

T_{amb} = Temperatura ambiente de la provincia de Imbabura, 18 [°C].

Con estos datos se procede a reemplazar en la Ecuación 3.14

$$q_{\text{aprov}} = \dot{m} * C_p * (T_i - T_{\text{amb}}) = 0.038 * 0.94 * (35 - 18) = 0.6 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right] = 36 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]$$

Obteniendo que el calor necesario para calentar la leche es:

$$q_{\text{aprov}} = 600W$$

El calor aprovechado de 380 W corresponde a la cantidad de energía que requiere proporcionar a la leche para elevar la temperatura desde 18 °C hasta 35°C para poder proceder a la adición de cuajo que permitirá el proceso de coagulación, manteniendo la temperatura constante.

Mediante los datos de resistencia térmica al flujo de calor en la sección de coagulación y con la cantidad de energía necesaria para calentar la leche, se procede a determinar la temperatura a la que estar el agua sumergida en el cilindro de menor tamaño para el método baño maría en la sección de elevación de temperatura mediante la Ecuación 3.15 de flujo de calor.

$$q_{\text{aprov}} = \frac{(T_1 - T_i)}{R_{T,2}} \quad \text{Ecuación 3.15}$$

Dónde:

q_{aprov} = Calor necesario para calentar la leche, 380 [W]

T_1 = Temperatura de la sección de elevación de temperatura.

T_i = Temperatura de la sección de coagulación de leche, 35 [°C]

$R_{T,2}$ = Resistencia térmica hacia la sección de coagulación de leche, 0.2403 $\left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}\right]$

Con los datos anteriores se procede a despejar la temperatura de la sección de elevación de temperatura, obteniendo el siguiente resultado:

$T_1 = 126.31$ [°C]

El dato de 126.31 °C es la temperatura de la sección de elevación de temperatura que permite determinar el flujo de calor que se disipa en los alrededores mediante la Ecuación 3.16

$$q_{\text{dis}} = \frac{(T_1 - T_\infty)}{R_{T,1}} \quad \text{Ecuación 3.16}$$

Fuente: Transferencia de calor (Holman, 1999, pág. 18)

Dónde:

q_{dis} = Calor que se disipa en los alrededores, [W]

T_1 = Temperatura de la sección de elevación de temperatura, 126.31 [°C]

T_{∞} = Temperatura ambiente, 18 [°C]

$R_{T,1}$ = Resistencia térmica hacia el exterior, 1.8692 $\left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right]$

Mediante estos datos se determina la cantidad de energía que se disipa:

$$q_{\text{dis}} = 57.94 \text{ [W]}$$

Con los valores de calor que se aprovecha y el calor que se disipa se puede determinar la cantidad de energía que deben proporcionar las niquelinas eléctricas sin considerar su eficiencia.

$$q_{\text{total}} = q_{\text{aprov}} + q_{\text{dis}} \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Fuente: Transferencia de calor (Holman, 1999)

Reemplazando los valores se tiene que:

$$q_{\text{total}} = 600 + 57.94$$

$$q_{\text{total}} = 657.94 \text{ [W]}$$

3.2.1.2.2. Selección de niquelinas eléctricas.

Para seleccionar la niquelina eléctrica debe suministrar la potencia que se determinó anteriormente que es de $q_{\text{total}} = 657.94 \text{ [W]}$, además deberá ser

sumergible en agua por lo que se implementará una niquelinas eléctrica tipo tubular de inmersión en agua que tiene diámetro 1-1/4" según lo que se especifica en la Figura 3.19 será un modelo OV003 la que cumpla con las características que requiere el calentamiento a baño María.

Modelo	L en mm	Rosca tapón pulgadas Gas	Wattios	W/cm ²	Material tubo
OV001	140	1-1/4"	600	7,1	Inox
OV003	170	1-1/4"	800	7	Inox
OV003C	170	1-1/4"	800	7	Cu
OV105	235	1-1/4"	400	2,2	Inox
OV005	235	1-1/4"	1200	6,7	Inox
OV005C	235	1-1/4"	1200	6,7	Cu
OV107	345	1-1/4"	900	3,1	Inox
OV007	345	1-1/4"	1800	6,3	Inox
OV007C	345	1-1/4"	1800	6,3	Cu
OV009	445	1-1/4"	2400	6,2	Inox
OV009C	445	1-1/4"	2400	6,2	Cu
OV111	505	1-1/4"	1000	2,2	Inox
OV211	505	1-1/4"	1500	3,4	Inox
OV011	505	1-1/4"	3000	6,7	Inox
OV011C	505	1-1/4"	3000	6,7	Cu



Figura 3.19 Quemador Niquelinas eléctricas tubulares de inmersión

Fuente: Calentadores (Backer Alpe S de RL de CV, 2010) Recuperado de: <http://www.backeralpe.com/pdfs/calentadores.pdf>

3.2.1.3. Cálculo de espesor de la camisa externa contenedora de agua.

La camisa externa contendrá el volumen de agua, mediante el cual realizará la transferencia de calor a la leche del contenedor de menor tamaño que está dentro de éste recipiente, como se puede observar el la Figura 3.20



Figura 3.20 Contenedor de agua

Es necesario determinar la cantidad de energía que se necesita para elevar la temperatura de la leche a 35 °C, la cual se despejara de la Ecuación 3.14, resultando la siguiente expresión:

$$Q = mCp\Delta T$$

Dónde:

Q: cantidad de calor, [Cal]

m: masa de leche, 103200 [g].

Cp: calor específico de la leche, $0.94 \left[\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$ ⁶⁰

ΔT : Variación de temperatura desde la temperatura ambiente a 35 °C, sería 17 [°C].

Se reemplaza valores y se obtiene:

$$Q = 1649136 \text{ [Cal]}$$

Ahora se calculara la masa que ocupara el agua, la cual se despejara de la Ecuación 3.14, resultando la siguiente expresión:

$$m = \frac{Q}{Cp\Delta T}$$

Dónde:

m: masa de agua, [g]

Q: cantidad de calor para elevar la temperatura de leche, 1649136 [Cal]

Cp: calor específico del agua, $1 \left[\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$

ΔT : Variación de temperatura desde 15[°C] a 70[°C], que sería 55 [°C]

Se reemplaza valores y se obtiene:

$$m = 29984.29[\text{g}] \text{) Equivalente a } 30 [\text{Kg}]$$

Para el cálculo del volumen se utiliza la Ecuación 3.3, despejando el volumen se obtiene el siguiente modelo matemático:

$$v = \frac{m[\text{kg}]}{D[\text{kg}/\text{m}^3]}$$

Dónde:

v: volumen que ocupa el agua, [m³]

m: masa del agua, 418.68[kg].

D: densidad del agua, 1000 $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

Resolviendo se tiene:

$$v = 0.03 [\text{m}^3]$$

El volumen total que ocupará el recipiente de agua vendrá dado por el volumen que ocupa la leche que se determinó anteriormente y es de 0.1 [m³] más el volumen que ocupará el agua de 0.03 [m³], por lo tanto:

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{leche}} + V_{\text{agua}} \qquad \text{Ecuación 3.18}$$

Dónde:

V_{tot}: Volumen que ocupará el contenedor de mayor tamaño con agua.

V_{leche}: Volumen que ocupa la leche, 0.1 [m³]

V_{agua}: Volumen de agua para calentamiento a baño maría 0.03 [m³].

Reemplazando los valores se tiene que:

$$V_{tot} = 0.130 \text{ [m}^3\text{]}$$

Una vez que se determinó el volumen que ocupa el agua se determinará el radio del cilindro despejando r de la ecuación 3.1 del cilindro mediante la altura propuesta de 56 cm y considerando el diámetro que ocupa la resistencia eléctrica que es de 1-1/4" según las características que se especificó anteriormente en la sección del sistema de calentamiento.

$$r = \sqrt{\frac{v}{\pi h}}$$

Dónde:

r= Radio del cilindro.

v= volumen del cilindro, 0.130 [m³].

h = Altura del cilindro, 0.56 [m].

Resolviendo se tiene que:

$$r = 0,271 \text{ [m]}$$

El diámetro del cilindro necesario para contener el volumen de agua será de 0.55m y la altura de 0,56m.

El espesor que se seleccionará para el diseño de este contenedor será el mismo que para el recipiente de leche, es decir 0.0012 m de espesor tal como se puede observar en el Anexo 4.

3.2.2. Sistema de agitación.

La agitación consiste en forzar a un líquido por medios mecánicos a producir movimiento circular en el recipiente contenedor de leche.

El sistema de agitación se compone principalmente de dos elementos, uno de homogenización y otra de corte (realiza pequeños cubos de cuajada facilitando la expulsión de suero).

- Dimensionamiento del agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas 45°
- Dimensionamiento de la lira

3.2.2.1. Dimensionamiento del agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas.

Este agitador va a permitir que las enzimas se homogenicen con la leche, que contiene el recipiente, para permitir el proceso de coagulación.

El dimensionamiento se fundamentará en el estudio de sistemas de agitación para los de tipo rejilla de palas planas inclinadas que se estudió en el capítulo anterior.

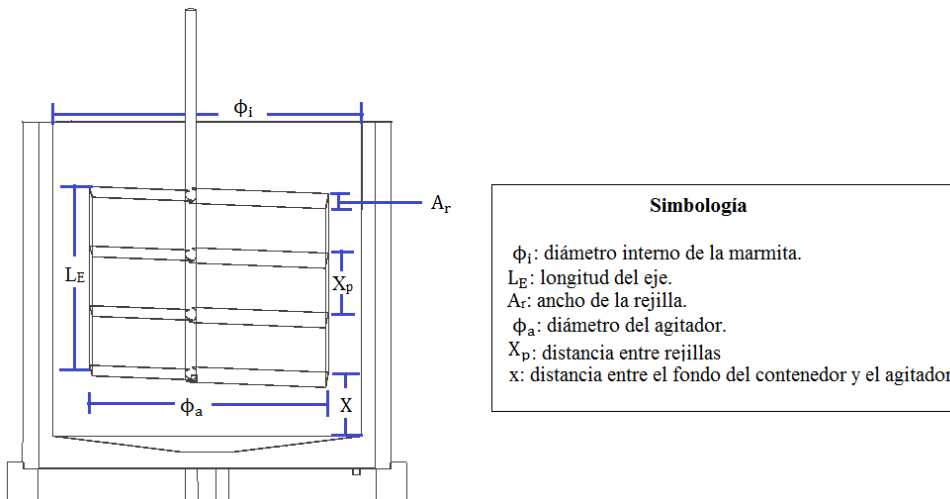


Figura 3.21 Agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas

3.2.2.1.1. Dimensionamiento de la longitud del eje.

La longitud del eje del agitador se determinará de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$L_E = \frac{5}{8} \phi_i \quad \text{Ecuación 3.19}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 44)

Dónde:

L_E : Longitud del eje, [m]

ϕ_i : Diámetro interno de la marmita, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$L_E = \frac{5}{8} * 0.5$$

$$L_E = 0.31[m]$$

3.2.2.1.2. Ancho de la rejilla.

El ancho de la rejilla oscila entre un sexto y un décimo de la longitud del eje, para este caso se considera un décimo por ser la relación más aproximada según

Geankoplis:

$$A_r = \frac{1}{10} L_E$$

Ecuación 3.20

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 45)

Dónde:

A_r : ancho de la rejilla, [m]

L_E : Longitud del eje, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$A_r = \frac{1}{10} 0.31$$

$$A_r = 0.03[m]$$

3.2.2.1.3. Dimensionamiento del diámetro del agitador.

Para el dimensionamiento del diámetro del agitador se utiliza el siguiente modelo matemático:

$$\phi_a = \frac{3}{4} \phi_i \quad \text{Ecuación 3.21}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 45)

Dónde:

ϕ_a : Diámetro del agitador, [m]

ϕ_i : Diámetro interno de la marmita, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$\phi_a = \frac{3}{4} * 0.5$$

$$\phi_a = 0.37[m]$$

3.2.2.1.4. Dimensionamiento de la distancia entre el fondo del recipiente contenedor y el agitador.

El objetivo del dimensionamiento entre el fondo del recipiente contenedor y el agitador es para que la mezcla se realice de forma eficaz al existir el espacio apropiado entre el fondo de la tina y el agitador, de esta manera las corrientes producidas por la agitación homogenizarán toda la leche y cuajo para el proceso de elaboración de cuajada. Se empleará el siguiente modelo matemático

$$X = h - L_E \quad \text{Ecuación 3.22}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 46)

Dónde:

X: Distancia entre el fondo del contenedor y el agitador, [m]

h: Altura del líquido, [m]

L_E : Longitud del eje, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$X = 0.41 - 0.31$$

$$X = 0.1 \text{ [m]}$$

3.2.2.1.5. Dimensionamiento de la altura del agitador.

Para dimensionar el alto del agitador se utiliza el siguiente modelo matemático:

$$A_a = \frac{1}{5} L_E \quad \text{Ecuación 3.23}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 46)

Dónde:

A_a : Alto del agitador, [m]

L_E : Longitud del eje, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$A_p = \frac{1}{5} * 0.31$$

$$A_p = 0.062 \text{ aproximadamente } 0.1 \text{ [m]}$$

3.2.2.1.6. Dimensionamiento de la distancia entre rejillas.

Para dimensionar la distancia entre las se utiliza el siguiente modelo matemático:

$$X_p = \frac{L_E}{4} \quad \text{Ecuación 3.24}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 47)

Dónde:

X_p : Distancia entre las rejillas, [m]

4: Número de palas planas que tiene el agitador.

L_E : Longitud del eje, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$X_p = \frac{0.31}{4}$$

$$X_p = 0.077 \text{ [m]}$$

3.2.2.2. Dimensionamiento la lira.

La lira es un elemento que se empleará para cortar la cuajada una vez que transcurre el proceso de coagulación de leche Una lira de excelente calidad está hecha de un marco de acero inoxidable con hilos horizontales y verticales de nylon. Tal como se observa en la Figura 3.22

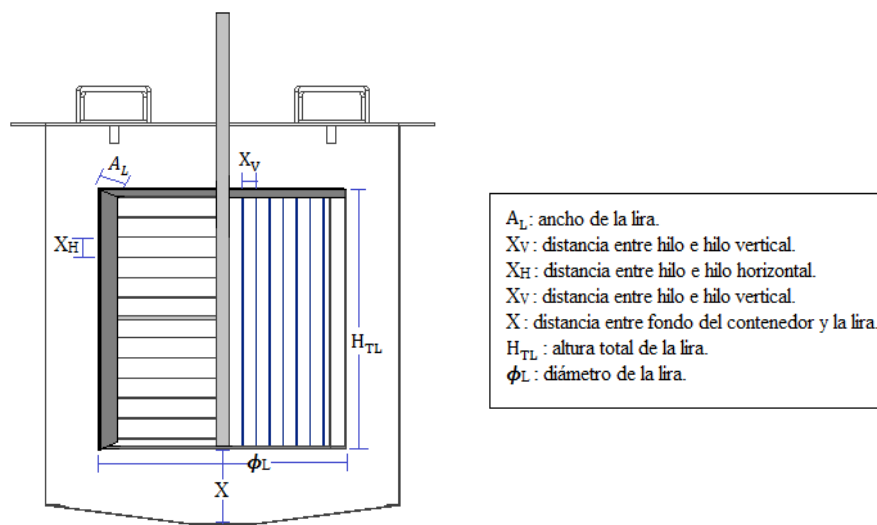


Figura 3.22 Esquema de la lira

3.2.2.2.1. Dimensionamiento del ancho de la lira.

Para determinar el ancho de la lira se establece el valor de la longitud de eje (L_{EL}) y se calcula con la siguiente expresión:

$$A_L = \frac{1}{10} L_{EL} \quad \text{Ecuación 3.25}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 47)

Dónde:

A_L : Ancho de la lira, [m]

L_{EL} : Longitud del eje de la lira, 0.35 [m]

Resolviendo se tiene que:

$$A_L = \frac{1}{10} 0.35$$

$$A_L = 0.03[m]$$

3.2.2.2.2. Dimensionamiento del diámetro de la lira.

Para realizar el corte de la cuajada, se necesita que el diámetro de la lira sea aproximadamente el diámetro de la marmita, para evitar rozamiento con las paredes del recipiente además para ejecutar el corte de toda la cuajada, sin dejar porciones sin cortar, por lo tanto la distancia entre la lira y el recipiente será de 0.02 m por cada lado. Por consiguiente se utilizará la siguiente ecuación para calcular el diámetro de la lira:

$$\phi_L = \phi_i - 0.04 \qquad \text{Ecuación 3.26}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 48)

Dónde:

ϕ_L : Diámetro de la lira, [m]

ϕ_i : Diámetro interno de la marmita, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$\phi_L = 0.5 - 0.04$$

$$\phi_L = 0.46[m]$$

3.2.2.2.3. Dimensionamiento de la altura de la lira.

Para dimensionar la altura de la lira se utiliza la siguiente expresión:

$$H_L = \frac{1}{5} L_{EL}$$

Ecuación 3.27

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 48)

Dónde:

H_L : Alto de la paleta de la lira, [m]

L_{EL} : Longitud del brazo de la lira, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$H_L = \frac{1}{5} * 0.35$$

$$H_L = 0.07 \text{ [m]}$$

3.2.2.2.4. Dimensionamiento de la distancia entre el fondo del contenedor y la lira.

3.2.2.2.4.1. Dimensionamiento de la altura total de la lira.

La altura total de la lira se puede dimensionar mediante el siguiente modelo matemático:

$$H_{TL} = (L_{EL} + H_L)$$

Ecuación 3.28

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 49)

Dónde:

H_{TL} : Altura total de la lira, [m]

L_{EL} : Longitud del eje de la lira, [m]

H_L : Alto de la lira, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$H_{TL} = (0.35 + 0.07)$$

$$H_{TL} = 0.42 \text{ [m]}$$

3.2.2.2.4.2. Dimensionamiento de la distancia entre el fondo del recipiente y la lira.

La expresión que permite determinar la distancia entre el fondo del recipiente y la lira es:

$$X = (h_i - h_{TL}) \quad \text{Ecuación 3.29}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 49)

Dónde:

X: distancia entre el fondo del recipiente y la lira, [m]

h_i : Altura interna de la marmita, [m]

H_{TL} : Altura total de la lira, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$X = (0.51 - 0.49)$$

$$X = 0.02 \text{ [m]}$$

3.2.2.2.5. Dimensionamiento de la distancia entre hilo e hilo de la lira.

Las tinas de cuajar circular y rectangular admiten el corte de la cuajada con liras horizontales y verticales siendo más eficiente al ser más uniforme los granos. Por lo tanto la lira se dividirá en dos parte: la una parte de liras horizontales y la otra de liras verticales para efectuar los cortes en las dos direcciones simultáneamente.

$$R_L = \frac{\phi_L}{2} \quad \text{Ecuación 3.30}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 50)

Dónde:

R_L : radio de la lira, [m]

ϕ_L : diámetro de la lira, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$R_L = \frac{0.46}{2}$$

$$R_L = 0.23 \text{ [m]}$$

Para dimensionar la distancia entre hilo e hilo horizontal se usa el siguiente modelo matemático:

$$X_H = \frac{L_{EL}}{\# \text{ de hilos}} \quad \text{Ecuación 3.31}$$

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 50)

Dónde:

X_H : distancia entre hilo e hilo de forma horizontal

L_{EL} : Longitud del eje de la lira, 0.35 [m]

Resolviendo se tiene que:

$$X_H = \frac{0.35}{13}$$

$$X_H = 0.0269 \text{ [m]}$$

Para dimensionar la distancia entre hilo e hilo vertical se usa el siguiente modelo matemático:

$$X_V = \frac{R_L}{\# \text{ de hilos}}$$

Ecuación 3.32

Fuente: Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso (Susana Erazo, 2012, pág. 50)

Dónde:

X_V : distancia entre hilo e hilo de forma vertical.

R_L : radio de la lira, [m]

Resolviendo se tiene que:

$$X_V = \frac{0.23}{8}$$

$$X_V = 0.0287 \text{ [m]}$$

Todo el dimensionamiento del sistema de agitación que se calculó, se puede observar en el ANEXO 4.

3.2.3. Sistema de accionamiento.

El sistema de accionamiento es el que permite girar al eje que soporta las paletas de agitación y corte a una velocidad constante. El movimiento circular del eje acciona al sistema de paletas para que la leche se mezcle con el cuajo y para el corte de la cuajada.

El sistema de accionamiento está constituido por:

- Motorreductor
- Eje de sujeción para paletas

3.2.3.1. Motorreductor.

Es el encargado de proporcionar movimiento circular al eje a una velocidad constante que permitirá mezclar la leche con cuajo y así conseguir una cuajada de buena calidad.

El motor del sistema de accionamiento operará de acuerdo a los parámetros siguientes:

- Tiempo de operación: 30 minutos diarios aproximadamente.
- Temperatura de trabajo: 15° C.

Para determinar la potencia que consume el motor se requiere determinar el número de Reynolds en números adimensionales el cual relaciona las propiedades físicas del fluido, el diámetro del rodete y la velocidad de rotación.

3.2.3.1.1. Cálculo de la Potencia del motor.

La potencia del motor se determinará de acuerdo al número de Reynolds según la ecuación de Mc Cabe-Smith, Pp. 275 que relaciona la viscosidad y densidad del fluido, además la velocidad de rotación, se calcula:

$$NR_e = \frac{\phi r^2 * N * \rho}{\mu} \quad \text{Ecuación 3.33}$$

Fuente: Operaciones unitarias en ingeniería química (Julian C. Smith, 2007, pág. 274)

Dónde:

ϕr^2 : Diámetro del agitador, 0.37 [m²]

N: Velocidad de rotación, 0.91 [rps]

ρ : Densidad del fluido, 1032 [Kg/m³]

μ : Viscosidad del fluido, 0.00549 [Kg/ms]

Resolviendo se tiene que:

$$NR_e = \frac{(0.37)^2 * 0.91 * 1032}{0.00549}$$

$$NR_e = 2 \times 10^4$$

3.2.3.1.2. Cálculo de la Potencia de consumo del agitador.

El cálculo de consumo de potencia del agitador relaciona las propiedades físicas del fluido, la velocidad de rotación, el diámetro del agitador, además la potencia obtenida en función del número de Reynolds como se muestra en la Figura 3.23

El número de potencia N_p es análogo a un factor de fricción o a un coeficiente de rozamiento. Es proporcional a la relación entre la fuerza de rozamiento que actúa sobre una unidad de área del agitador y la fuerza inercial. La fuerza inercial a su vez está relacionada con el flujo de cantidad de movimiento correspondiente al movimiento global del fluido.

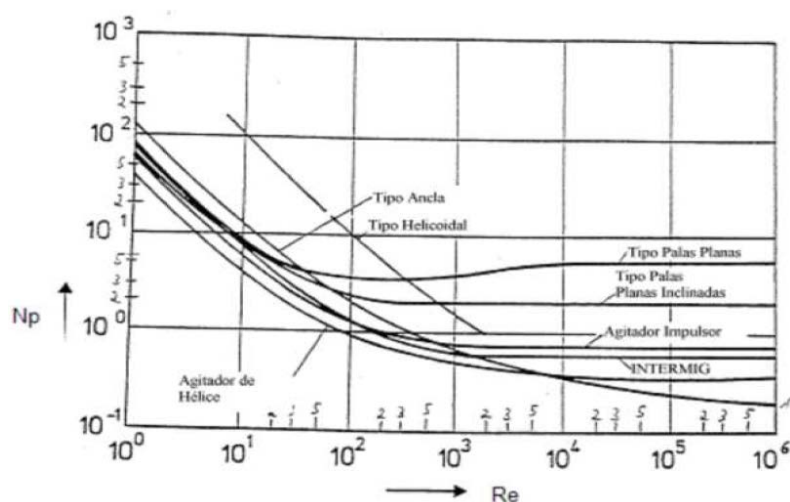


Figura 3.23 Potencia respecto al número de Reynolds y el tipo de agitador

Fuente: Operaciones unitarias en ingeniería química (Julian C. Smith, 2007, pág. 275)

Mediante la gráfica de la Figura 3.23 se determina el número de potencia en relación al número de Reynolds que para este caso será 22, y se calcula mediante el siguiente modelo matemático:

$$P = \frac{N_p}{g_o} (p * N^3 * \phi r^5) \quad \text{Ecuación 3.34}$$

Fuente: Operaciones unitarias en ingeniería química (Julian C. Smith, 2007, pág. 273)

Dónde:

N_p : Número de potencia seleccionada, 22

g_c : Factor gravitacional de conservación, valor estándar de 1 [kgm.m/Ns²]

p : Densidad del fluido, 1032 [Kg/m³]

N : Velocidad de rotación promedio, 0.91 [rps]

ϕr^5 : Diámetro del agitador, 0.37 [m⁵]

Resolviendo se tiene que:

$$P = \frac{22}{1} (1032 * (0.91)^3 * (0.37)^5)$$

$$P = \frac{N_{po}}{g_o} (p * N^3 * \phi r^5)$$

$$P = 118.64 \text{ [W]}$$

Ahora se debe considerar la inercia que se presenta la paleta, la cual se determinó mediante inventor, que tiene un valor de $103685,746 \frac{kg}{mm^2}$ que en unidades del sistema internacional es $0,10 \frac{kg}{m^2}$ tal como se muestra en la Figura 3.24.

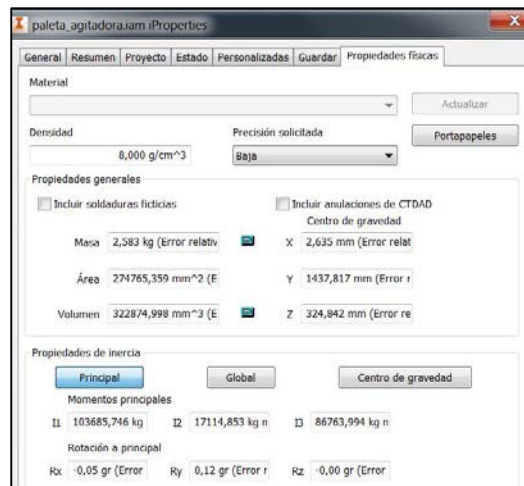


Figura 3.24 Inercia de la paleta

El momento del eje se determina mediante el siguiente modelo matemático:

$$M = \sum I * \alpha \quad \text{Ecuación 3.35}$$

Fuente: Estática (Meriam, 1980, pág. 443)

Dónde:

M= Momento, [N*m]

I= Inercia de la paleta, $0,10 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$

α = Aceleración angular(a una velocidad de 56 RPM= 5.86 rad/s), 4.8 [rad/ s²]

Resolviendo la ecuación 3.31 se obtiene que:

$$M_T = 0.48 \text{ [N*m]}$$

Para hallar la potencia que requiere el motorreductor debido a la inercia de la paleta se utiliza el siguiente modelo matemático:

$$P_{\text{pal}} = M_T * \omega \quad \text{Ecuación 3.36}$$

Fuente: Estática (Meriam, 1980, pág. 443)

Dónde:

P_{pot}= Potencia que se necesita para vencer la inercia de la paleta. [W]

M_T = Momento de torsión, 0.48 [N*m], 0.48 [J]

ω = Velocidad angular a la que gira el cilindro, 56 rpm, 5.86 [rad/ s]

Reemplazando valores se obtiene:

$$P_{\text{pal}} = 2.81 \text{ [W]}$$

Ahora la potencia del motorreductor se obtiene sumando la potencia obtenida más la potencia debido a la inercia de la paleta

$$P_{\text{tot}} = P + P_{\text{pal}} \quad \text{Ecuación 3.37}$$

Reemplazando los valores se obtiene que:

$$P_{\text{tot}} = 121.45 \text{ [W]}$$

Transformando la potencia a Hp resulta:

$$P = 121.45 \text{ [W]} * \frac{1[\text{HP}]}{746[\text{W}]}$$

$$P = 0.1628 \text{ [HP]}$$

Sabiendo que la potencia que consume el motor es de 0.1628 [HP] se escoge un motor de 0.5 HP para la implementación en el sistema de accionamiento, por razones de disponibilidad en el mercado.

3.2.3.2. Eje del sistema de agitación.

El eje será un elemento cilíndrico sólido sometido a torsión y transmisión de potencia el cual operara 10 minutos diarios aproximadamente.

El sistema de agitación y corte se compone de dos paletas y cada una tendrá incorporada un eje, que serán exactamente iguales, es por ello que se realizará el análisis de uno solo en el caso más crítico, que sería el eje de la paleta de mezcla y se aplicará las mismas dimensiones al eje de la lira.

Los ejes se fijarán a cada una de las paletas tanto de mezcla como de corte y se acoplarán en al eje del motorreductor para recibir el torque y así producir el movimiento giratorio de las paletas que permitirá efectúa los procesos de coagulación de leche y corte de la cuajada.

3.2.3.2.1. Dimensionamiento del diámetro del eje de sujeción.

En el transcurso del proceso de coagulación de leche y corte de cuajada, el eje debe resistir el torque que se le aplica sin que existan fallas es por ello que se realizará el diseño del eje mediante análisis de fallas.

Antes de proceder al análisis del eje se realiza un esquema de las partes que están relacionadas al eje de sujeción tal como se muestra en la Figura 3.25

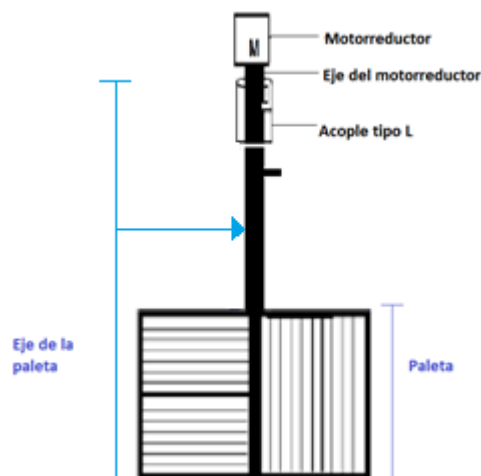


Figura 3.25 Partes que conforman el eje de las paletas

Para el diseño se considera un eje sometido a torsión debido al torque que proporciona el motorreductor y se analizará en el caso más crítico que será cuando el eje soporte el torque máximo proporcionado por el motorreductor. Considerando el peso del motorreductor y el de la paleta despreciables.



Figura 3.26 Diagrama de cuerpo libre del eje

Dónde:

W_M = Peso del motor, [kg]

W_P = Peso de la paleta, [kg]

T = Torque del motorreductor, [N-m]

Ahora se determina el valor del torque T proporcionado por el motorreductor, mediante el siguiente modelo matemático:

$$T = \frac{P_M}{W_R} \quad \text{Ecuación 3.38}$$

Fuente: Potencia electrónica (Potencia electrónica, 2013), Recuperado de: <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor/>

Dónde:

T = Torque del motorreductor, [kg.m]

P_M = Potencia suministrada por el motor, 0.5 [HP]

W_R = Velocidad angular del reductor, 50 [rpm]

Resolviendo se tiene que:

$$T = \frac{P_M}{W_R} = \frac{0.5\text{HP} \times 716}{50 \text{ rpm}} = 7.16 \text{ Kg. m} = 70.21 [\text{N} * \text{m}]$$

Utilizando el torque T que se determinó se procede a diseñar dinámicamente el diámetro del eje según la Teoría fallas para materiales dúctiles, mediante la Ecuación 3.39

“Se usará N=2 en diseños típicos de ejes, donde hay una confianza promedio en los datos de resistencia al material y de las cargas” (Mott, 2006)

$$d = \left[\frac{32 * N}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right] \quad \text{Ecuación 3.39}$$

Fuente: Diseño de elementos de máquinas (Mott, 2006, pág. 546)

Dónde:

d=Diámetro del eje, [m]

N= factor de seguridad adimensional, 2

S_y= resistencia a la fluencia del acero inoxidable AISI 304, 276 [MPa]

T= torque del motorreductor, 70.21 [N.m]

Sustituyendo estos valores en la ecuación Ec. (3.39) se obtiene:

$$d = 0.0164 \text{ [m]}$$

En el mercado el diámetro del eje que se aproxima al valor calculado es el de 0.019 [m] por lo tanto se selecciona este diámetro de eje para la implementación de las paletas.

Ahora se procede a determinar el esfuerzo cortante máximo mediante la siguiente ecuación:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{Tr}{J} \quad \text{Ecuación 3.40}$$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Nisbett, pág. 31)

Dónde:

$\tau_{\text{máx}}$ = esfuerzo cortante máximo

T= torque del motorreductor, 70.21 [N.m]

r = radio del eje seleccionado, 0.0095[m]

J = momento polar de inercia

Sustituyendo estos valores en la Ecuación 3.40 se obtiene:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{70.21 * 0.0095}{\frac{\pi(0.019)^4}{32}}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 52,13 \text{ [MPa]}$$

Una vez que se determinó la la tensión cortante máxima se procede a calcular el esfuerzo máximo de von Mises mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma'_{\text{máx}} = [(\sigma_m + \sigma_a)^2 + 3(\tau_m + \tau_a)^2]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 3.41}$$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Nisbett, pág. 358)

En este caso por ser un eje a torsión pura la Ecuación 3.41 será así:

$$\sigma'_{\text{máx}} = [3(\tau_{\text{máx}})^2]^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

$\sigma'_{\text{máx}}$ = esfuerzo máximo de von Mises, [MPa]

$\tau_{\text{máx}}$ = esfuerzo cortante máximo, 52,13 [MPa]

Sustituyendo estos valores en la ecuación Ec. (3.39) se obtiene:

$$\sigma'_{\text{máx}} = 90.29 \text{ [MPa]}$$

Por último se determina el factor de seguridad mediante el siguiente modelo matemático:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'_{\text{máx}}} \quad \text{Ecuación 3.42}$$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Nisbett, pág. 356)

Dónde:

n=factor de seguridad

S_y = resistencia a la fluencia del acero inoxidable AISI 304, 276 [MPa]

$\sigma'_{\text{máx}}$ = esfuerzo máximo de von Mises, 90,29 [MPa]

Sustituyendo estos valores en la Ecuación 3.42 se obtiene:

$$n = \frac{276}{90,29} = 3$$

El factor de seguridad que se encontró muestra que el diámetro del eje de 19 mm que se utilizó para el análisis por fatiga es adecuado por ser mayor que 2.

3.2.3.2.2. Análisis estático del eje mediante SolidWorks.

Una vez realizado los cálculos se realizará la comprobación mediante un simulador que para este caso se usará SolidWorks.

3.2.3.2.2.1. Tensión de Von Mises en el eje.

La Figura 3.27 muestra la tensión máxima obtenida por el simulador resultando un valor de 93.3 [MPa] valor aproximadamente igual al obtenido en los cálculos de la ecuación 3.41 de la tensión de Von Mises de un valor de 90.29 [MPa]

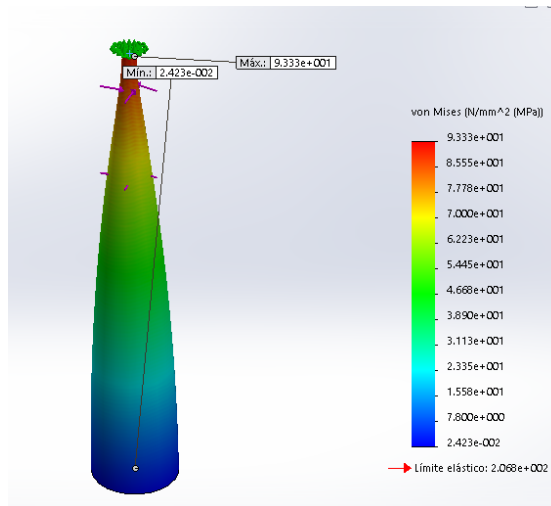


Figura 3.27 Tensión de Von Mises en el eje

3.2.3.2.2.2.Desplazamiento del eje.

Como se puede apreciar en la Figura 3.28 la estructura sufrirá un desplazamiento máximo de 0.272 mm, según (Grupo carman, 2014), los desplazamientos provocados son suficientemente pequeños para que no se tenga en cuenta la rigidez causada por la carga.

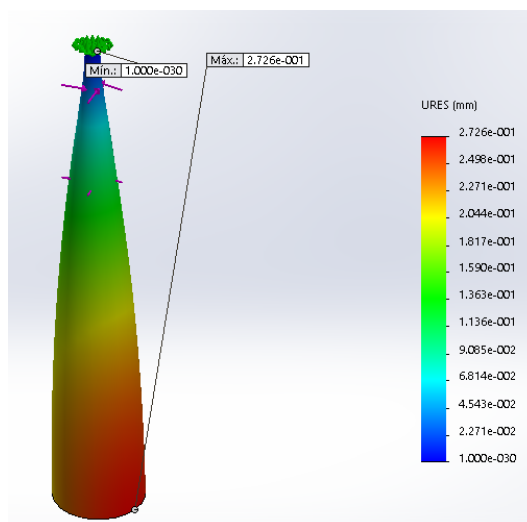


Figura 3.28 Desplazamiento del eje

3.2.3.2.3. Factor de seguridad.

En la Figura 3.29 se puede apreciar que el factor de seguridad mínimo es de 2.2, lo que demuestra que el eje tolerará sin dificultad el torque de 70.21 [N.m] que está sometido. Además mediante el análisis estático del simulador se pudo comprobar que el factor de seguridad n que se calculó en la ecuación 3.40 se asemeja al valor de 3 que se obtuvo en el simulador.

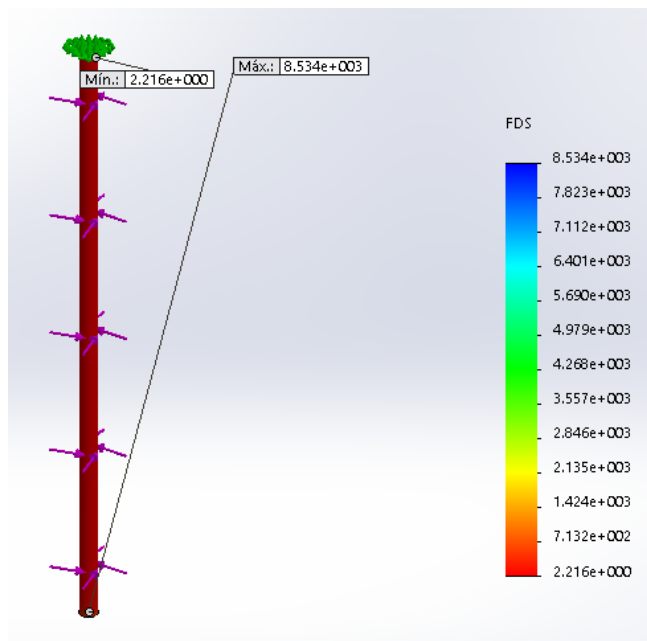


Figura 3.29 Factor de seguridad del eje

3.2.4. Sistema estructural.

La estructura está conformada por un tubo cedula 40 de acero inoxidable AISI 304 como pedestal que tiene una longitud de 1m de altura, el cual deberá soportar el peso del motorreductor y la tolva de entrada de cuajo brindando estabilidad y robustez a toda la máquina, para mayor estabilidad del pedestal se soldó 4 soportes de platina de acero inoxidable AISI 304 y un espesor de 0.00635m.

De la misma forma se construyó un soporte removible tipo escuadra que se coloca sobre el pedestal, está fabricada con una platina de acero inoxidable AISI 304 de 0.00635 m, la cual tiene por objetivo brindar estabilidad a la base que contiene el sistema de accionamiento y el contenedor de cuajo. Tal como se muestra en la Figura 3.30.

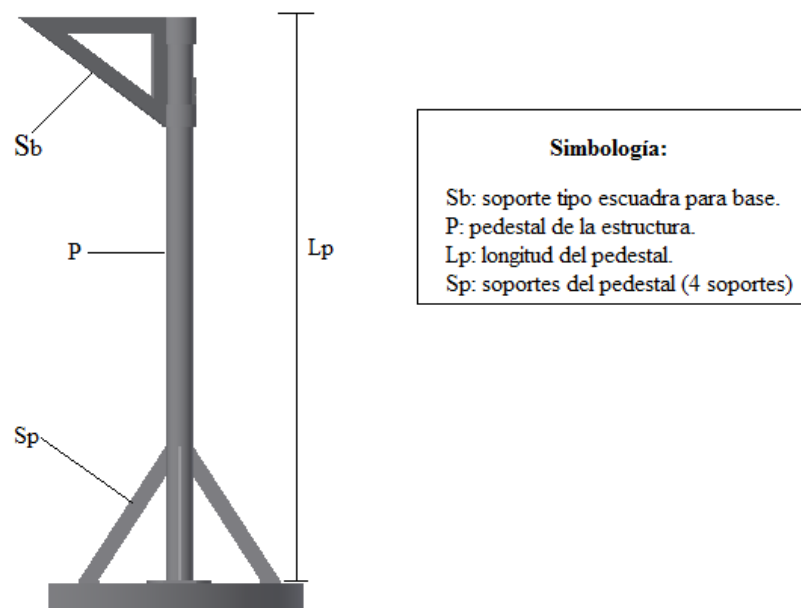


Figura 3.30 Sistema estructural

3.2.4.1. Diagrama de cuerpo libre de la estructura.

Como se mencionó anteriormente, el tubo que se empleó como pedestal deberá soportar el peso que ejerce el motorreductor y el contenedor de cuajo equivalente a una fuerza $F=147\text{N}$ tal como se observa en la Figura 3.31, lo que se deberá comprobar mediante la simulación en el simulador.

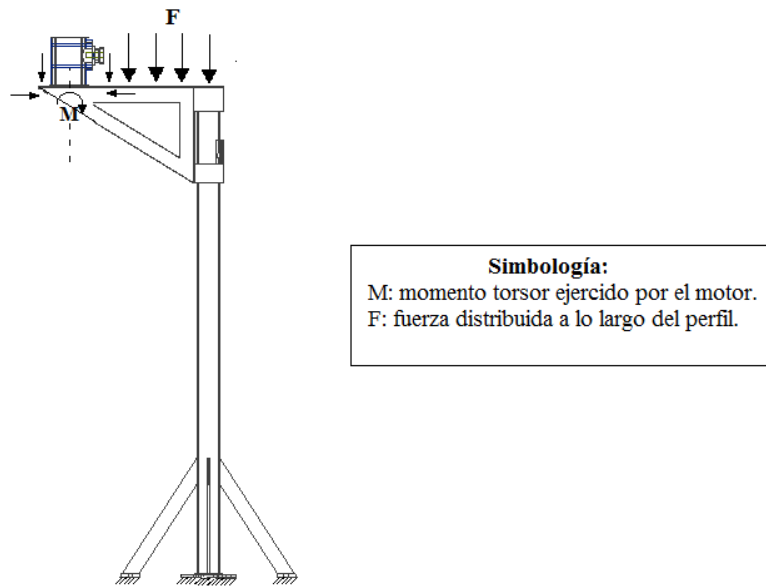


Figura 3.31 Sistema estructural

3.2.4.2. Análisis de la tensión de Von Mises para la estructura en SolidWorks.

La Figura 3.32 muestra la tensión máxima obtenida, dando un valor de 3 198151

$\left[\frac{N}{m^2}\right]$ valor menor que el de la resistencia del material de la estructura de acero

inoxidable AISI 304 que es de 276 000 000 $\left[\frac{N}{m^2}\right]$

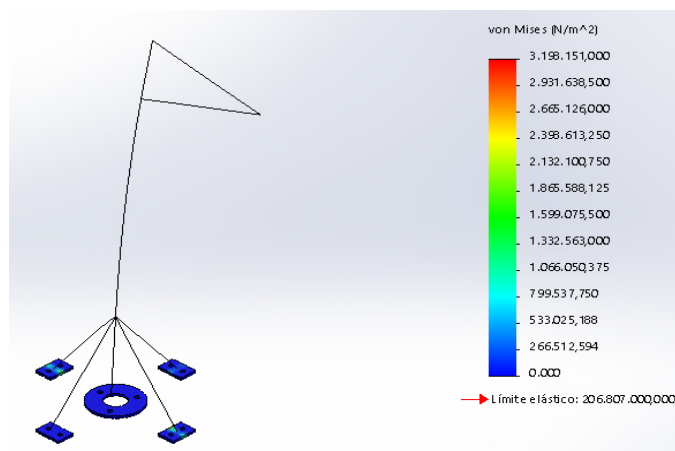


Figura 3.32 Tensión de Von Mises en la estructura

3.2.4.2.1. Factor de seguridad.

En la Figura 3.33 se puede apreciar que el factor de seguridad mínimo es de 17.914, lo que demuestra que la estructura tolerará sin dificultad las cargas a las que está sujeta.

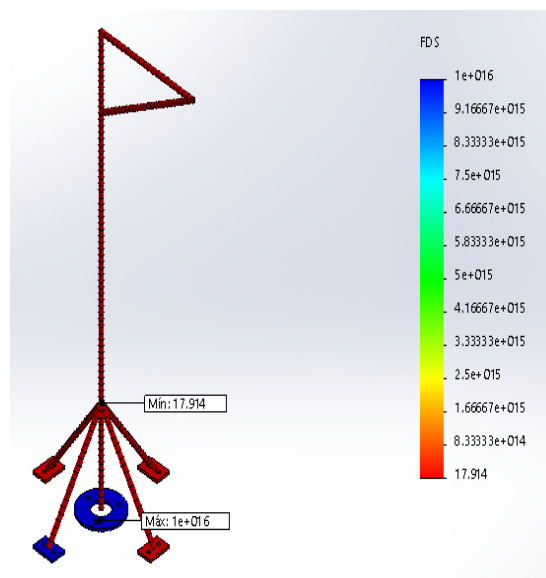


Figura 3.33 Factor de seguridad en la estructura

3.2.4.2.2. Desplazamiento de la estructura.

Como se puede apreciar en la Figura 3.34. La estructura sufrirá un desplazamiento máximo de 0.519 mm.

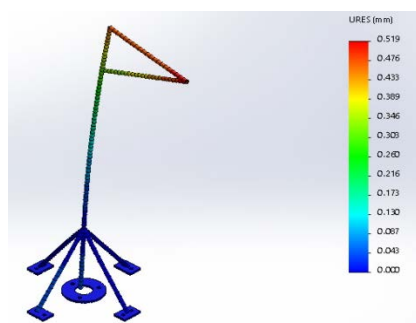


Figura 3.34 Desplazamiento de la estructura

3.2.5. Sistema de automatización.

El sistema de automatización estará supervisado mediante un dispositivo lógico programable de la marca Siemens, el cual controlará tanto las entradas como las salidas del sistema, tal como se muestra en la Figura 3.35 mediante un tablero de control.

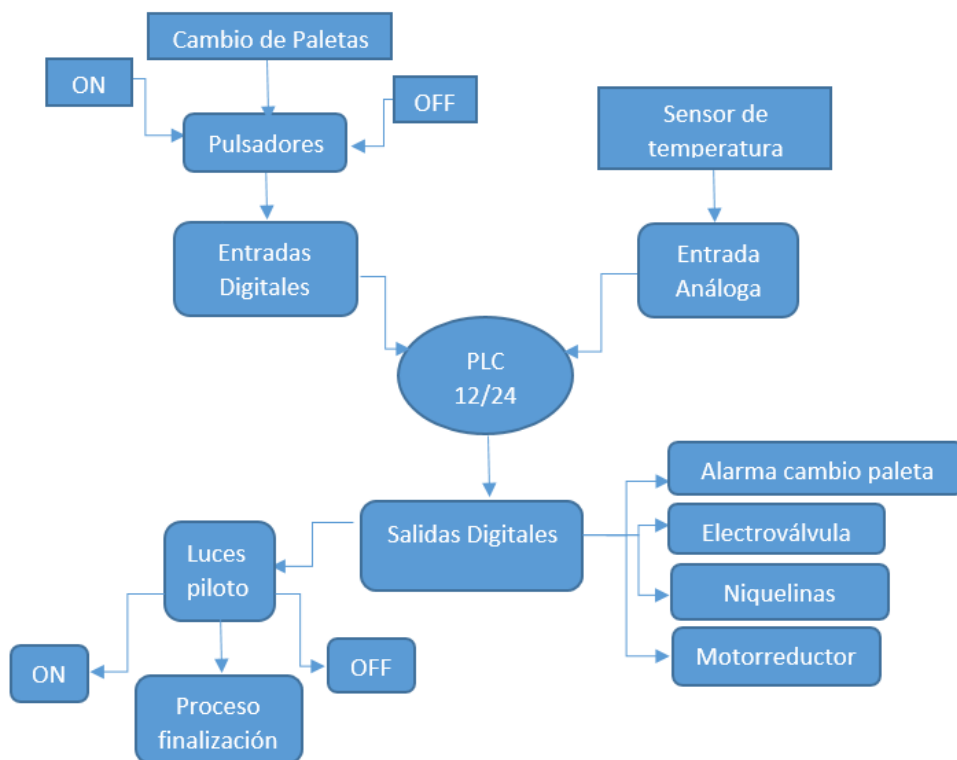


Figura 3.35 Diagrama de control

3.2.5.1. Tablero de control.

El operario manejará fácilmente la máquina mediante el tablero de control, el cual estará conformado por un PLC logo 12/24 RC, fuente de alimentación, módulo de expansión DM8, módulo AM2 PT100, entradas, salidas y además tendrá protecciones en los elementos más críticos para evitar posibles daños. En la

Figura 3.36 se puede observar el tablero de control visto desde la parte exterior e interior.

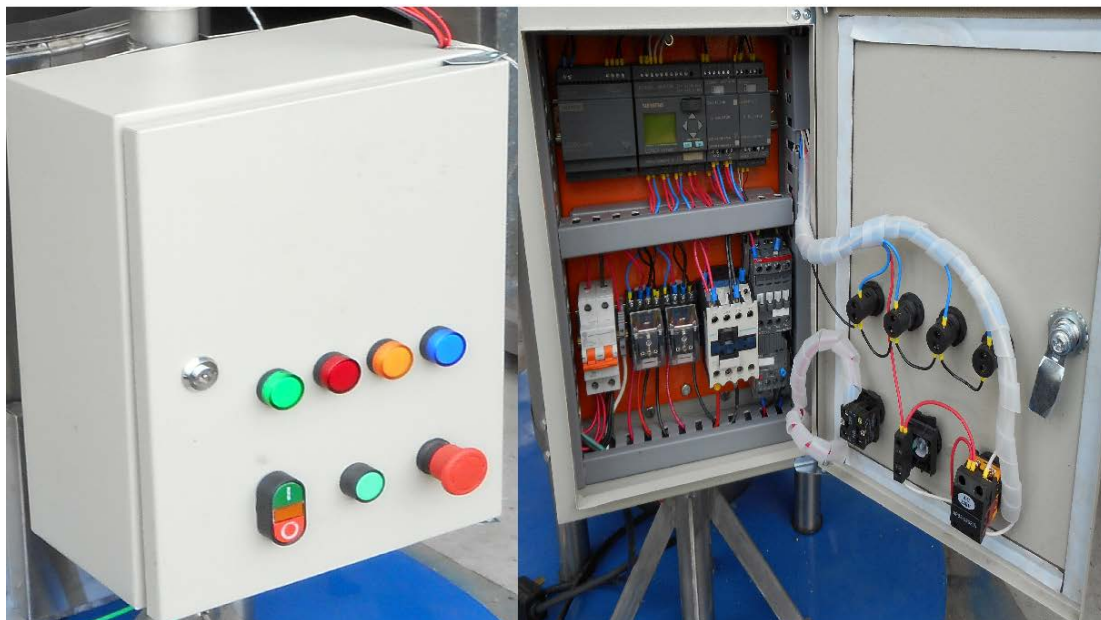


Figura 3.36 Tablero de control

3.2.5.1.1. Dispositivo lógico programable.

El dispositivo lógico programable que se emplea es un PLC logo 12/24Rc de marca Siemens, éste dispositivo será el encargado de controlar tanto entradas como salidas. En la Tabla 3.5 se muestra los datos técnicos del PLC que se emplea.

Tabla 3.5 Datos técnicos Logo 12/24 RC

Tensión de entrada	12/24 Vcc.
Consumo de corriente:	
<ul style="list-style-type: none"> • 24 Vcc. 	20 ...75 mA
Entradas digitales	8
Entradas analógicas	2 (I7,I8)
Salidas digitales	4
Tipos de las salidas	Salidas tipo relé

3.2.5.1.2. Fuente de alimentación Logo 24V.

Se utiliza una fuente de voltaje de 24 V para la alimentación del PLC Logo 12/24 RC. En Tabla 3.6 se muestra los datos técnicos de la fuente que se emplea.

Tabla 3.6 Datos técnicos Logo Power 24V

Tensión de entrada	120...230 Vca.
Tensión de salida	24 Vcc.
Intensidad de salida	2.5 A

3.2.5.1.3. Módulo de expansión DM8 12/24R.

Se utiliza un módulo de expansión debido a que las salidas del PLC son insuficientes para la activación de todos los elementos de salida. La Tabla 3.7 se muestra los datos técnicos

Tabla 3.7 Datos técnicos Módulo de expansión Logo DM8 12/24R

Tensión de entrada	12/24 Vcc.
Consumo de corriente:	
<ul style="list-style-type: none"> • 24 Vcc. 	20 ...75 mA
Entradas digitales	4
Salidas digitales	4
Tipos de las salidas	Salidas tipo relé

3.2.5.1.4. Módulo AM2 PT100.

Se utiliza un AM2 PT100 para acoplar el sensor de temperatura Pt100 de tres hilos. En la Tabla 3.8 se muestra los datos técnicos del Logo AM2PT100 que se emplea.

Tabla 3.8 Datos técnicos Logo AM2 PT100

Tensión de entrada	12/24 Vcc.
Entradas de sensor	2
Tipo de sensor	Termopar PT100
Conexión de los sensores:	
<ul style="list-style-type: none"> • A 2 hilos 	Sí
<ul style="list-style-type: none"> • A 3 hilos 	sí
Longitud del cable (apantallado)	10 m

3.2.5.2. Entradas y Salidas.

3.2.5.2.1. Entradas.

El PLC logo 12/23Rc controlará entradas digitales y una entrada análoga, entre las entradas digitales se tiene: los pulsadores de ON, OFF y de confirmación de cambio de paleta que son activadas directamente con 24V desde el PLC mediante un pulso.

Al igual que se controlará una señal de entrada análoga, que es la del sensor de temperatura PT100 DE 3 Hilos.

3.2.5.2.2. Salidas.

Entre las salidas que comandará el PLC se encuentran las luces piloto de: ON, OFF, y Proceso de finalización así como también una alarma que indica que el operario debe cambiar de paleta, la electroválvula que permite el paso de cuajo, las niquelinas para el calentamiento indirecto de la leche y el motorreductor.

3.2.5.3. Activación y protección de los elementos críticos y del sistema.

3.2.5.3.1. Protección del sistema de control.

Se usará un interruptor termo magnético más conocido como braker para protección de los componentes del sistema de control el cual se seleccionará

mediante una suma del consumo de corriente de sistema de los siguientes elementos:

Tabla 3.9 Consumo de corriente del sistema

Componente	Consumo máximo de corriente
Fuente Logo 24V	2.5 A
Contactador NC1 2510	500 mA
Motor Lafert AMD 71Z CA4	3.2 A
Niquelinas	13.63 A
Consumo total de corriente	19.83 A

El que se usará es el DG62 C20-2X20A el cual protegerá a todo el sistema en caso de existir un cortocircuito o una sobrecarga, además su función es la de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito en caso de que éstos sobrepasen el valores máximo recomendados por el fabricante que para este caso es de 20 A. El braker será un elemento de gran utilidad para proteger los componentes del sistema de control empleados en la máquina en especial del PLC. (General Electric, s.f.)

3.2.5.3.2. Contactor del motorreductor y las niquelinas.

El contactor es un dispositivo controlado a través de un electroimán que tiene la función de permitir o interrumpir el paso de corriente, en cuanto exista tensión a la bobina.

3.2.5.3.2.1. Contactor para las niquelinas.

El contactor NC1 que se implementará para las niquelinas es de marca CHINT, el voltaje al que opera es de 220 Vac. Debida a ésta razón se utiliza un relé de 24 Vcc para la conexión al PLC (CHINT, s.f.)

3.2.5.3.2.2. Contactor y relé térmico para el motorreductor.

En este caso se usa un contactor ABB AF09 de 7.2 A junto con un relé térmico ABB TF42, los cuales protegerán al motorreductor en el caso que exista sobrecarga o corrientes débiles y prolongadas que pudieran afectar el rendimiento del motorreductor.

3.3. Implementación y pruebas

3.3.1. Montaje de la máquina para elaborar cuajada.

Después de realizar los cálculos de cada uno de los sistemas de los que está constituida la máquina se construye y acopla cada uno de los elementos, los cuales se enumeran a continuación:

1. Construcción y montaje del contenedor de leche
2. Construcción y montaje del contenedor de agua
3. Construcción y montaje de la paleta mezcladora de leche
4. Construcción y montaje de la paleta cortadora de cuajada
5. Construcción y montaje del recipiente contenedor de cuajo

6. Construcción y montaje de la estructura y sus soportes

3.3.1.1. Contenedor de leche.

El proceso de manufacturación del contenedor de leche cumplió los siguientes procesos y se muestra en la Figura 3.37

1. Medir el perímetro que ocupa el recipiente y trazar sobre la plancha de acero inoxidable.
2. Recortar el trazo que se realizó en la plancha.
3. Someter la el recorte de la plancha al proceso de rolado.
4. Soldar la lámina cilíndrica utilizando el procedimiento de soldadura TIG y electrodo de tungsteno con varilla de aporte.
5. Realizar pruebas de estanqueidad con agua en los contenedores para verificar que no exista fugas.
6. Realizar limpieza y pulido del contenedor.



Figura 3.37 Proceso de manufacturación del contenedor de leche

El contenedor se compone por varias partes como se muestra en la Figura 3.38, los cuales se detallan a continuación:

1. Contenedor de leche: tiene forma cilíndrica, fabricado en acero inoxidable AISI 304 de 1.2mm de espesor con las siguientes dimensiones: altura de 51 cm y diámetro de 50 cm.
2. Anillo de soporte: tiene por objetivo colocar el contenedor de leche sobre el contenedor de agua y está fabricado en acero inoxidable de 2mm de espesor, 5cm de ancho y 55cm de diámetro.
3. Manijas: las dos manijas permiten levantar el contenedor para poder ser movilizado y están fabricadas de eje de acero inoxidable AISI 304, tiene 12cm de largo, 5cm de alto y diámetro de ½”
4. Centraores: cada centrador está remachado en la mitad de cada manija y su función es la de fijar el contenedor de leche sobre el contenedor de agua, están fabricados de eje de acero inoxidable AISI 304, ½” de diámetro y 2,5cm de altura.



Figura 3.38 Contenedor de leche

Adicionalmente la parte posterior del contenedor posee un desfogue para dejar la apertura a una posible instalación de bomba para la extracción automática de la

cuajada, por ahora la extracción será manual debido a ello se colocará un tapón roscado de acero inoxidable AISI 304, diámetro 2 ½” y altura 5cm.



Figura 3.39 Orificio para acondicionamiento de una bomba

3.3.1.2. Contenedor de agua.

El proceso de manufacturación del contenedor de agua es exactamente igual que el del contenedor de leche que se mencionó anteriormente.

El contenedor está conformado de varias partes los cuales se detallan a continuación:

1. Contenedor de agua: tiene forma cilíndrica y está fabricado de acero inoxidable AISI 304 de 1.2mm de espesor con las siguientes dimensiones: altura de 57 cm y diámetro de 54 cm.
2. Anillo de soporte: la finalidad de este anillo es soportar el contenedor de leche en de agua y está fabricado en acero inoxidable AISI 304 de 1.2mm de espesor, 55cm de diámetro exterior y 53cm de diámetro interior.

3. Orificios de los centradores: aquí se introducirán los centradores del contenedor de leche, tienen un diámetro de ½”.
4. Entrada de agua: en la entrada de agua esta soldado un tubo de acero inoxidable de diámetro ½” y de longitud 11cm.
5. Desfogue de agua: en orificio de desfogue se soldó un tubo de acero inoxidable de ½” acoplado a un codo y una llave de paso.
6. Tapón roscado: el tapón es de acero inoxidable AISI 304, tiene un diámetro de 2 ½” y una altura de 5cm.
7. Soportes del contenedor: los soportes tienen la finalidad de brindar estabilidad al contenedor y están sujetos mediante pernos y roscas fijadas con soldadura, se fabricaron de tubo de acero inoxidable con un diámetro de 2 ½” y una altura de 30cm.



Figura 3.40 Contenedor de agua

Además el contenedor de agua está recubierto de lana de vidrio con forro de aluminio lo que le permitirá conservar la temperatura del agua y la leche y a su vez cumple la función de aislante tal como se muestra a la Figura 3.41



Figura 3.41 Recubierta de lana de vidrio

3.3.1.3. Paleta mezcladora.

Esta paleta tiene la función realizar una mezcla homogénea de la leche con el cuajo. Está soldada a un eje de acero inoxidable AISI 304 de $\frac{3}{4}$ " , las láminas que conforman la paleta son de acero inoxidable AISI 304, con un espesor de 1.2 mm e inclinación de 45° cada una de sus láminas, tal como se muestra en la Figura 3.42



Figura 3.42 Paleta mezcladora

3.3.1.4. Paleta cortadora.

Esta paleta más conocida como lira tiene la función de realizar cortes en pequeños cubos a la cuajada para permitir la expulsión de suero.

Consta de un marco de acero inoxidable AISI 304 con pequeñas perforaciones por donde atraviesan 13 hilos horizontales y 8 hilos verticales, el cual está soldado a un eje de acero inoxidable AISI 304 de diámetro $\frac{3}{4}$ " , tal como se muestra en la Figura 3.43



Figura 3.43 Paleta cortadora

3.3.1.5. Contenedor de cuajo.

Se ubica en la parte superior de la máquina y contiene la mezcla de cuajo con agua y sal, agentes bacterianos que permitirán la coagulación de la leche. Está hecho en acero inoxidable AISI 304, tiene una forma cilíndrica (como se muestra en la figura 4.8), se conecta a una electroválvula de 1" con reducción a $\frac{3}{4}$ " mediante un tubo que transportará el cuajo hacia la leche.



Figura 3.44 Contenedor de cuajo

3.3.1.6.Estructura.

La estructura tiene por objetivo brindar estabilidad a la máquina, soportar el peso del sistema motriz y del contenedor de cuajo además permitir la extracción de los recipientes de leche y agua mediante el giro de la caja protectora.

Las partes que constituyen la estructura se mencionan a continuación:

1. Base: es en forma de “U” para permitir la apertura de colocación de una bomba en el caso de que así se requiera, brinda estabilidad a la máquina y consiste de dos platinas en “U” soldadas mediante una platina de 3/16 de espesor por 2” de ancho.
2. Tubo redondo: servirá de eje para el movimiento de la caja protectora y a su vez es quien soporta el peso del motor y del contenedor de cuajo, se une a la base mediante pernos de 3/4” los cuales para mayor facilidad de colocación se ah soldado las tuercas en la base, es de acero inoxidable AISI 304, tiene 1m de altura, 2” de diámetro.
3. Soportes del tubo: brindarán mayor estabilidad al eje del movimiento y consiste en 4 platinas de acero inoxidable AISI 304, distribuidas uniformemente alrededor del tubo y tiene un espesor de 1/4” x 3cm de ancho.
4. Caja de protección para el motor y el contenedor de cuajo: es una caja con tapa desmontable que se divide en dos secciones, la primera donde se encuentra el motorreductor con orificios para permitir la ventilación de motor y la segunda sección por donde ingresa el cuajo preparado en el contenedor.

5. Soporte de la caja de protección: consiste en una escuadra fabricada con una platina de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ " y 3cm de ancho, que está soldada en la parte inferior de la caja, proporcionándole de esta forma mayor estabilidad.

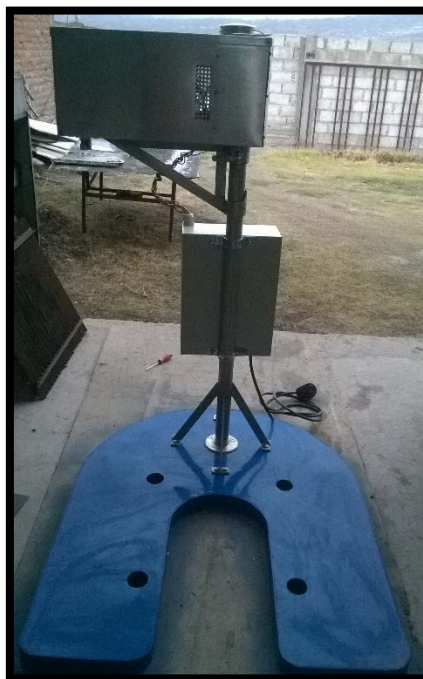


Figura 3.45 Estructura recubierta con tol galvanizado

3.3.2. Montaje y sincronización de actuadores.

Después de montar la estructura física de la máquina se procedió a colocar los actuadores. A continuación se enumeran que se llevó a cabo para el montaje y sincronización de los actuadores:

1. Colocación y conexión del motorreductor.
2. Colocación y conexión de las niquelinas.
3. Colocación y conexión de la electroválvula.
4. Colocación y conexión del sensor de temperatura.

3.3.2.1. Motorreductor.

Para la construcción del sistema motriz de la máquina se utilizó un motorreductor ortogonal de 0.5 hp y 56 rpm como se determinó en el capítulo III, a continuación se detalla sus características:

Tabla 3.10 Características del motorreductor ortogonal LAFERT

MOTORREDUCTOR LAFERT AMD 71Z CA4 IEC60034

HP(KW)	0.5(0.37)	Hz	60
V	110/220	RPM	56
A	6.5/3.2	IP	55



Figura 3.46 Motorreductor ortogonal

3.3.2.1.1. Colocación del motorreductor.

El motorreductor está colocado en la parte superior de la máquina, es decir, sobre el contenedor de leche. La cavidad que contiene al motor está separada de la cavidad que contiene el recipiente de cuajo y del contenedor de leche, asegurando que la leche no tenga contacto con el motorreductor.

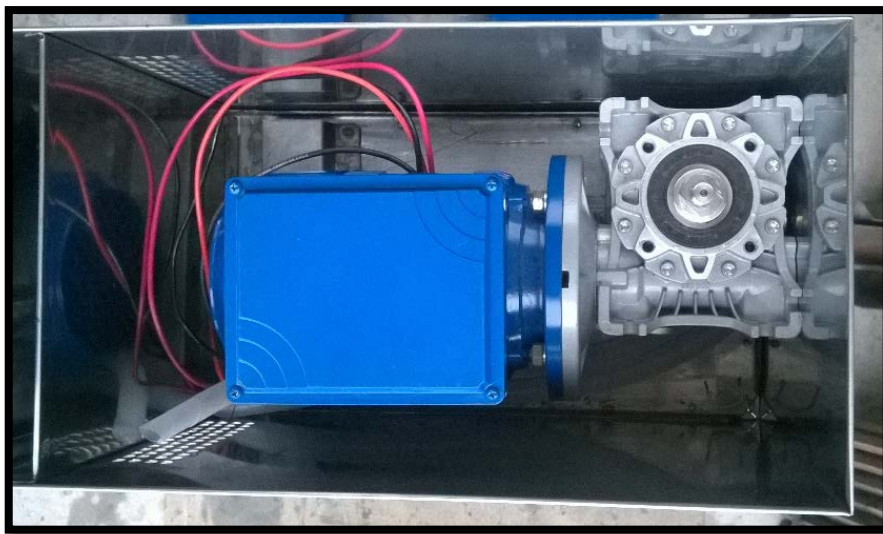


Figura 3.47 Vista de la cavidad que contiene al motorreductor

3.3.2.2. Niquelinas.

Para el sistema de calentamiento se utilizó 3 niquelinas tubulares de inmersión las cuales proporcionan las siguientes características:

Tabla 3.11 Características de las niquelinas tubulares de inmersión

NIQUELINAS TUBULARES DE INMERSION EN AGUA

POTENCIA(W)	5000
VOLTAJE(V)	240
CORRIENTE(A)	22
LONGITUD(cm)	19



Figura 3.48 Niquelinas tubulares de inmersión

3.3.2.2.1. Colocación de las niquelinas.

Para mayor eficiencia se colocó 3 niquelinas en paralelo, las cuales se encuentran distribuidas uniformemente en fondo del contenedor de agua. Cada una de ellas posee una caja desmontable, sujeta mediante pernos, lo cual nos permitirá dar mantenimiento cuando así lo requiera.



Figura 3.49 Colocación de las niquelinas

3.3.2.3. Electroválvula.

La electroválvula está ubicada debajo del contenedor de cuajo en la cavidad superior de la máquina, de forma que por gravedad el cuajo caiga al contenedor de leche mediante la apertura de la electroválvula, que permitirá el proceso de coagulación de la leche.



Figura 3.50 Electroválvula

Se colocó una electroválvula de membrana normalmente cerrada con las siguientes características:

Tabla 3.12 Características técnicas de la electroválvula

Voltaje	24 VDC
Vías	2/2
Diámetro de salida	3/4"

3.3.2.4.Sensor de temperatura.

El sensor de temperatura es el encargado de enviar la señal de temperatura al PCL, se encuentra ubicado en el contenedor de agua de forma vertical mediante un anillo.



Figura 3.51 Colocación del sensor de temperatura

Las características son las siguientes:

Es un sensor PT100 de 3 hilos, el bulbo es de acero inoxidable, sumergible en agua, el rango de temperatura es de $-50-200^{\circ}\text{C}$.

Por motivos de implementación no es posible colocar el sensor directamente en la leche por lo que se realizó pruebas de ensayo para determinar la diferencia de temperatura entre el agua y la leche, obteniendo una diferencia de 3°C como promedio, tal como se esquematiza en la Tabla 3.13

Tabla 3.13 Pruebas de ensayo de temperatura del agua y la leche

<i>Tiempo (Horas/minutos)</i>	<i>Temperatura del agua (°C)</i>	<i>Temperatura de la leche (°C)</i>	<i>Diferencia de temperatura (°C)</i>
18h00	26	23	3
18h03	33	29	4
18h08	35	32	3
18h12	38	35	3

3.3.3. Pruebas.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en Pimampiro donde funcionará la máquina. Para realizar cada prueba se tomó 75 litros de leche para el proceso de coagulación de leche y corte de cuajada. En cada prueba se puso en marcha la máquina estableciendo varios tiempos para la mezcla y el corte que permitió determinar el tiempo adecuado para permitir que la cuajada obtenga una buena contextura mediante la separación de suero.

En la Tabla 3.14 se detallan las pruebas realizadas:

Tabla 3.14 Pruebas con diferentes tiempos de mezcla y corte

Prueba Nro.	Cantidad de leche [ltr]	Temperatura [°C]	Tiempo de mezcla [min]	Tiempo de corte [min]	Calidad de la cuajada medida en porcentaje [%]
1	75	33	2	2	70
2	75	33	2.5	2.5	80

3	75	33	3	3	98
4	75	33	3.5	3.5	95
5	75	33	4	4	85

3.3.4. Análisis de resultados.

- Al realizar las pruebas, con varios tiempos para el proceso de mezcla de leche y corte de la cuajada, se pudo observar que la cuajada se separa totalmente del suero.
- Se pudo constatar que la temperatura tanto de la leche como el agua permanece relativamente constante existiendo una reducción mínima de apenas 3°C lo que permite que el proceso de coagulación de leche se de en menor tiempo haciendo que la máquina sea mucho más eficiente.
- Los cubos de cuajada sufren menos maltrato entre menos tiempo pasen sometidos al proceso de corte de la cuajada, es decir no debe exceder el tiempo pero tampoco ser muy pequeño ya que no se separa totalmente el suero de la cuajada.
- La prueba más satisfactoria es la Nro. 3, en la que se obtuvo el 95% de separación de suero con la cuajada en con tiempos de mezcla y corte de 3.5 minutos

- La viscosidad de la leche que es de 5.49 cP, que es relativamente baja, por lo tanto permitió seleccionar un agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas 45°.

CAPÍTULO 4

Costo de la máquina

Materia prima directa

Tabla 5.1 Costo de la materia prima directa

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo parcial
1	Plancha acero inoxidable varios	173,17	173,17
1	Plancha de tool negro ASTM A36	91,64	91,64
1	Eje de acero inoxidable varios	62,7	62,7
1	Platina de acero inoxidable	25	25
1	Platina A36	12,85	12,85
1	Tubos varios	100	100
	Subtotal		465,36

Material directo

Tabla 5.2 Costo de los materiales y elementos directos

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo parcial
1	Pernos varios	20	20
1	Llave de paso	11	11
1	Pulsadores	18	18
1	Luces piloto	12	12
1	Buzzer	8	8
1	PLC	100	100
1	Fuente	40	40
1	Módulo DM8	40	40
1	Nylon	2,15	2,15
6	Empaques	1,5	9
1	Motorreductor	450	450
2	Lana de vidrio	9	18
1	Relé térmico	51,12	51,12
3	Relés	2	6
15	Electrodos de acero inoxidable	0,4	6
2	Contactador	25	50
1	Electroválvula	105	105
3	Niquelinas	10	30
1	Pintura	18	18
1	Tablero	38	38

1	Canaleta	13,8	13,8
1	Módulo Am2 PT100	130	130
1	Sensor de temperatura	70	70
1	Terminales varios	15	15
1	Cables varios	50	50
1	Braker	10	10
2	Tomacorrientes 220V	18	36
		Subtotal	1357,07

Mano de obra directa

Tabla 5.3 Costo de mano de obra directa

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo parcial
1	Mano de obra	580	580

Gastos generales de fabricación

Tabla 5.4 Costo de los gastos generales de fabricación

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo parcial
1	Transporte	150	150
1	Papelería	100	100
1	Imprevistos	100	100
		Subtotal	350

Para determinar el costo de la máquina se debe sumar todos los costos de los ítems mencionado en las tablas anteriores, tal como se muestra en la Tabla 5.5:

Tabla 5.5 Costo total de la máquina

Materia Prima Directa	465,36
Material Directo	1357,07
Mano de obra Directa	580
Gastos generales d fabricación	350
total	2752,43

Mediante la máquina se reduce las pérdidas ocasionadas debido a la inexistencia de un control para los parámetros de tiempo y temperatura en la producción de quesos frescos.

Según un estudio realizado en la industria artesanal del Sr. Anselmo López, se determinó que al menos 1 vez a la semana la producción se perdía lo que significaría una pérdida de \$ 62,50 semanal debido a que el costo unitario de un queso es \$ 2,50. Mediante la implementación de la máquina se reducen las pérdidas, por lo tanto el dinero que se invirtió en la fabricación de la máquina se recuperara en 11, 09 meses, que se obtiene dividiendo el costo total de la máquina de la Tabla 5.5 para la pérdida mensual.

Tabla 5.6 Tiempo para la recuperación de la inversión en la máquina

Costo por unidad (\$)	Producción diaria	# Semanas	Pérdida semanal (\$)	Pérdida mensual (\$)	Recuperación en meses
2,5	25	4	62,5	250	11,00972

CAPÍTULO 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Después de haber realizado el estudio del arte se logró determinar los parámetros que inciden en el proceso, para la elaboración de cuajada que son: tiempo de coagulación de 30-40 minutos, temperatura de la leche 35° C y velocidad angular de 56 rpm.
- Una vez diseñado mecánicamente el sistema de agitación y corte se implementó en la máquina las paletas lo que permitió obtener una cuajada con cubos de 1cm³.
- El sistema automático que se implementó, permitió reducir las pérdidas en la producción debido a la inexistencia de un control de los parámetros de temperatura y tiempo de coagulación de leche.
- En las pruebas realizadas se obtuvo la separación de los cubos de cuajada con el suero en un 95% con una viscosidad de 1602 cP, lo que indica que la cuajada tiene una consistencia apta para la producción de quesos frescos.
- Una vez terminado el montaje total de la máquina se realizó un manual de usuario de la máquina y un manual de mantenimiento que permite el adecuado trabajo y mantenimiento del equipo.

5.2. Recomendaciones


- Es importante tener un control de tiempo y temperatura en la leche, requisito necesario para que se efectúe el proceso de coagulación correctamente, la temperatura a la que se debe calentar la leche es la que recomienda el proveedor de cuajo la cual puede variar entre 33 y 37°C en un tiempo que varía de 30 a 40 minutos según la efectividad del cuajo.
- La separación de los hilos horizontales y verticales de la paleta de corte tipo lira debe estar en un rango de 1.5cm a 2.5 cm para permitir la expulsión de suero de forma correcta permitiendo buena consistencia de los granos de cuajada.
- En el montaje del tablero de control del sistema de automatización es importante que el operario pueda visualizar la temperatura sin la manipulación del gabinete.
- El valor de viscosidad de la cuajada debe ser de 1606 cP lo cual garantizará la calidad de los quesos frescos.
- Antes de encender la máquina se recomienda, leer el manual de usuario que se adjunta en el presente trabajo en la parte de Anexos.

Bibliografía

- Backer Alpe S de RL de CV. (3 de 11 de 2010). *Backer Alpe S de RL de CV*.
Obtenido de <http://www.backeralpe.com/pdfs/calentadores.pdf>
- Carrillo, D. (2009). La industria de alimentos y bebidas del Ecuador. 14.
- CHINT. (s.f.). *Catálogo de Contactores, Relés y arrancadores*. Obtenido de
<http://www.chint.net/uploads/files/2011060216082124.pdf>
- De la Torre Zermeño, F. J. (2003). *Mundo Física II*. México: Progreso S.A.
- Dipac. (2012). Planchas . *Dipac productos de acero*, 28.
- Estrucplan. (30 de 11 de 2012). *Estrucplan*. Obtenido de
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=3063>.
- General Electric. (s.f.). *Catálogo Interruptores Termomagnéticos*. Obtenido de
http://www.incoresa.com.pe/descargas/catalogos/general_electric.pdf
- Grupo carman. (13 de febrero de 2014). *Blog de noticias, novedades y promociones del grupo de empresas carman*. Obtenido de
<http://grupocarman.com/blog/solidworks-analisis-estatico/>
- Harriott, W. L.-J.-P. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química*.
España: Mc Graw Hill.
- Hill, J. W. (1999). *Química para el nuevo milenio* . México: Progreso, S, A. de C.
V.
- Holman, J. P. (1999). *Transferencia de calor*. España: Mc Graw Hill.
- Incropera, F. y. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*.
- James L. Meriam, L. G. (1999). *Estática de fluidos*. Reverté, S.A.
- Julian C. Smith, P. H. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*.
McGraw-Hill.

- Lozano, U. (26 de Noviembre de 2012). *Slide Share*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/UlisesLozanoMagarinho/canculo-de-recipientes-a-presion>
- Megyesy, E. F. (1992). *Manual de recipientes a presión Diseño y cálculo*. México: Grupo Noriega.
- Meriam, J. (1980). *Estática*. Caracas: Reverté.
- Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas . En R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas* (pág. 944). México: Pearson Educación.
- Nisbett, R. G. (s.f.). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill.
- Núñez, M. (s.f.). *Física 2*. Limusa Noriega.
- PM Maquinarias. (s.f.). *PM Maquinarias*. Obtenido de <http://pm-maquinarias.yolasite.com/tanque-agitador.php>
- Potencia electrónica. (18 de Junio de 2013). *Potencia electrónica SA. de C.V.* Obtenido de <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor/>
- Sonia Ansó Gimeno, E. B. (2003 - 2004). *Estudio teórico experimental de la agitación*. España.
- Susana Erazo, M. L. (2012). Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso.
- Viñoly, F. E. (s.f.). *Portal lechero*. Obtenido de Portal lechero: <http://www.portalechero.com/innovaportal/v/640/1/innova.front/el-acero-inoxidable-en-la-industria-alimenticia.html?page=2>

ANEXO I: PRUEBAS DE VISCOCIDAD DE LECHE Y CUAJADA



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS


LABORATORIO DE ALIMENTOS
INFORME DE RESULTADOS

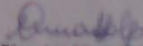
INF-LAB-AL-23423
ORDEN DE TRABAJO No 45235

SOLICITADO POR	LOPEZ IHADIRA
DIRECCION DEL CLIENTE	IBARRA AV ELOY ALFARO 130 Y ZALDUMBIDE
MUESTRA	LECHE
DESCRIPCION	LECHE
LOTE	---
FECHA DE ELABORACION	---
FECHA DE VENCIMIENTO	---
FECHA DE RECEPCION	11/06/2014
HORA DE RECEPCION	10:50
FECHA DE ANALISIS	11/06/2014
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	11/06/2014
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	
COLOR:	Característico
OLOR:	Característico
ESTADO	LIQUIDO
Contenido declarado : 500ml.	Contenido encontrado: 500ml.
OBSERVACIONES	
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.	
MUESTREADO POR:	Cliente

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
* Viscosidad spindle 61 RPM 100	cP	5.49	MEAL-67 Brookfield





Bisq. Ana María Hidalgo
JEFE ÁREA DE ALIMENTOS



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE ALIMENTOS
INFORME DE RESULTADOS

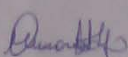
INF-LAB-AL-22423
ORDEN DE TRABAJO No 45235

SOLICITADO POR:	LOPEZ IHADIRA
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	IBARRA AV ELOY ALFARO 330 Y ZALDUMBIDE
MUESTRA:	CUAJADA
DESCRIPCIÓN:	CUAJADA
LOTE:	---
FECHA DE ELABORACIÓN:	---
FECHA DE VENCIMIENTO:	---
FECHA DE RECEPCIÓN:	11/06/2014
HORA DE RECEPCIÓN:	10:50
FECHA DE ANÁLISIS:	11/06/2014
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:	11/06/2014
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	
COLOR:	Característico
OLOR:	Característico
ESTADO:	LIQUIDO
Contenido declarado : 500mL	Contenido encontrado: 500mL
OBSERVACIONES:	
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.	
MUESTREADO POR:	Cliente

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
* Viscosidad spindle 64 RPM 100	cP	1602.00	MAL-67 Brookfield




BIOQ. Ana María Hidalgo
JEFE ÁREA DE ALIMENTOS

ANEXO II: MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN DE

LECHE Y CORTE DE LA CUAJADA.

1. INTRODUCCION

El diseño de la máquina se fundamenta en equipos similares experimentados en el mundo y en las normas de higiene para manejo de alimentos, los cuales permiten producir una cuajada de muy buena calidad, resaltando la alta confiabilidad de los materiales y elementos empleados además de fácil operación y mantenimiento.

2. REVISIÓN ANTES DE ENCENDER LA MÁQUINA

Antes de encender la máquina se debe revisar los sistemas tanto mecánico como eléctrico para prevenir que ocurra algún accidente ya sea con el operario o en la máquina y que pueda afectar a su rendimiento.

2.1.1 REVISIÓN DE LOS SISTEMAS MECANICO Y ELÉCTRICO

1. Revisar que todos los sistemas estén ajustados correctamente, entre los cuales se tiene: Sistema de calentamiento, sistema de agitación y sistema motriz, sistema estructural y marmita.
2. Chequear que las empotraciones mediante pernos en el sistema estructural estén ajustadas correctamente.
3. Verificar que el contenedor de agua este con un volumen de 20-30 litros.

4. Verificar que el contenedor de leche este en la marmita sin que sobrepase los 100 litros.
5. Observar que las paleta pertinente este alineado correctamente en el centro de la marmita mediante la palanca de giro ubicada en el tubo de la estructura.
6. Verificar que el contenedor de cuajo este lleno
7. Verificar que el sensor de temperatura este colocado en la marmita.
8. Revisar la fuente de corriente eléctrica es de 220 volt.

2.1.2 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

1. Colocar la paleta de palas planas inclinadas para agitación.
2. Llenar los contenedores de agua, leche y cuajo previamente.
3. Conectar el cable de alimentación a un tomacorriente de 220V.
4. Activar el sistema de control mediante el Braker en el tablero de control.
5. Verificar que el pulsador de paro de emergencia no este presionado.
6. Verificar en el display del PLC que se encuentre en modo RUN.
7. Encender el botón de inicio ON para que los actuadores tales como: las niquelinas, el motorreductor y el sensor se activen
8. Una vez que suene la alarma de cambio de paleta el operario debe cambiar la paleta de palas planas inclinadas por la paleta tipo para corte de la cuajada.
9. Cuando ya se cambie la paleta el operario deberá presionar el botón de confirmación de cambio de paleta para que la alarma deje de sonar.
10. Transcurrido un tiempo de alrededor de los 45 minutos la luz azul de finalización de color azul que se encuentra en el tablero de

control se encenderá automáticamente indicándonos que la cuajada puede ser retirada para seguir con el siguiente proceso.

3. MANTENIMIENTO

Se debe realizar la limpieza de los elementos de la maquina después de cada producción, tales como: contenedor de cuajo, contenedor de agua, contenedor de leche, paleta de agitación, paleta tipo lira para corte. Para ello es aconsejable usar de agua hirviendo.

3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO

Descripción	Diario	Mensual	Semanal	Trimestral	Anual
Motorreductor					x
Niquelinas					x
Electroválvula			x		
Sensor de temperatura			x		
Conexiones	X				
Pernos		x			
Limpieza de los elementos	X				

4. PRECAUCIÓN:

- Asegúrese que la corriente eléctrica esté desconectada antes de realizar cualquier desensamble de los componentes de la máquina

- No introduzca objetos dentro de la cavidad que aloja el sistema motriz.
- No introduzca la mano en los contenedores mientras el motorreductor esté funcionando
- Para la limpieza use únicamente agua hervida no utilice elementos solventes como gasolina, jabón, detergente o sustancias corrosivas.
- Una vez concluida la limpieza seque todos los elementos constitutivos de la máquina y vuelva a armar.
- Si existe alguna variación en el funcionamiento de la máquina, apáguela y llame al técnico de mantenimiento.

ANEXO III: PLANOS ELECTRICOS

ANEXO IV: PLANOS MECÁNICOS