



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECÁNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MARMITA CON AGITADOR PARA
PASTEURIZAR 250 LITROS DE LECHE PARA LA COMUNIDAD DE ALASPUNGO,
PARROQUIA DE NONO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: MICHAEL ALEXANDER MORENO ALEMAN

KEVIN DAMIAN PROAÑO AVILA

TUTOR: MILTON SALOMÓN JAMI LEMA

Quito-Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Michael Alexander Moreno Alemán con documento de identificación N° 1721842167 y Kevin Damian Proaño Avila con documento de identificación N° 1718047655; manifestamos que:

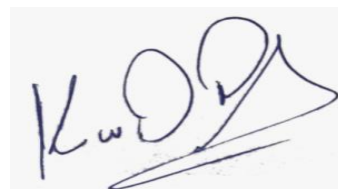
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 14 de marzo del 2022

Atentamente,



Michael Alexander Moreno Alemán
1721842167



Kevin Damian Proaño Avila
1718047655

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Michael Alexander Moreno Alemán con documento de identificación No. 1721842167 y Kevin Damian Proaño Avila con documento de identificación No. 1718047655, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores de la Propuesta Tecnológica: “Diseño y simulación de una marmita con agitador para pasteurizar 250 litros de leche para la comunidad de Alaspungo, parroquia de Nono”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

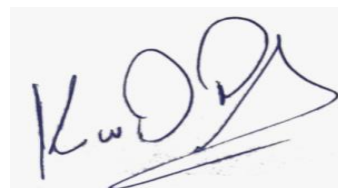
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de marzo del 2022

Atentamente,



Michael Alexander Moreno Alemán
1721842167



Kevin Damian Proaño Avila
1718047655

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Salomón Jami Lema con documento de identificación N° , docente 1707254171 de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MARMITA CON AGITADOR PARA PASTEURIZAR 250 LITROS DE LECHE PARA LA COMUNIDAD DE ALASPUNGO, PARROQUIA DE NONO, realizado por Michael Alexander Moreno Alemán con documento de identificación N° 1721842167 y por Kevin Damian Proaño Avila con documento de identificación N° 1718047655, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuestas Tecnológicas que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de marzo del 2022

Atentamente,



Ing. Milton Salomón Jami Lema, MSc

1707254171

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I.....	7
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
1.1 Comunidad de Alaspungo	7
1.1.1 Transformación de la materia prima en la comunidad.....	7
1.1.2 Recursos de la comunidad	8
1.2 Producción de queso fresco	9
1.3 Conceptualización de queso fresco	9
1.4 Materia prima e ingredientes	10
1.4.1 Leche entera	10
1.4.2 Cuajo	11
1.4.3 Cloruro cálcico.....	11
1.4.4 Sal	12
1.5 Proceso de elaboración	12
1.5.1 Recepción.....	14
1.5.2 Análisis	14
1.5.3 Pasteurización	14
1.5.4 Enfriamiento	15
1.5.5 Adición del cloruro de calcio.....	15
1.5.6 Adición de Cuajo	15
1.5.7 Coagulación	15
1.5.8 Corte.....	16
1.5.9 Desuerado	16
1.5.10 Lavado de la cuajada.....	16
1.5.11 Salado.....	16

1.5.12	Moldeado	16
1.5.13	Empaque	17
1.5.14	Almacenamiento	17
1.6	Marmita	17
1.7	Tipos de marmita.....	18
1.7.1	Marmita a vapor.....	18
1.7.2	Marmita a gas.....	18
1.7.3	Marmita eléctrica	18
1.8	Configuraciones de la marmita.....	18
1.9	Componentes fundamentales de una marmita.....	19
1.10	Recipientes enchaquetados con agitación mecánica	20
1.11	Sistema de agitación.....	21
1.12	Elementos del sistema de agitación.....	21
1.13	Agitador.....	21
1.13.1	Clasificación de los agitadores.....	21
1.14	Motorreductor.....	23
1.14.1	Coaxial	23
1.15.2	Ortogonal sin fin corona	23
1.15	Sistemas de descarga para la marmita	24
1.15.1	Sistema de volteo	24
1.16	Acero Inoxidable	25
1.17	Procesos principales de mecanizado para el acero.....	26
1.17.1	Rolado.....	26
1.17.2	Plegado o doblado.....	27
1.17.3	Corte.....	27
1.18	Soldadura TIG	27

CAPÍTULO II	28
2. CÁLCULOS Y DISEÑO.....	28
2.1 Diseño del equipo.....	28
2.2 Selección del material de la marmita.....	28
2.3 Diseño del tanque	28
2.3.1 Dimensiones del tanque	29
2.3.2 Selección del espesor del tanque.....	30
2.3.3 Camisa del tanque	30
2.3.4 Vertido del fluido	31
2.3.5 Cubierta del tanque	32
2.3.6 Cálculos de esfuerzos en el tanque	32
2.4 Diseño de agitador.....	33
2.4.1 Datos de diseño.....	33
2.4.2 Impulsor	34
2.4.3 Cálculo en la potencia del agitador.....	34
2.4.4 Sistema de control del motor	36
2.5 Diseño del sistema de volteo	37
2.5.1 Cálculo del tornillo sin fin	37
2.5.2 Cálculo de la geometría de la corona tipo A.....	40
2.6 Diseño de la estructura	42
2.6.1 Cálculos de esfuerzos en la estructura	42
2.7 Diseño del sistema de generación de calor.....	49
2.8 Análisis térmico.....	50
2.8.1 Análisis de variación de energía interna	51
2.8.2 Cálculo de transferencia de calor con los alrededores	53
CAPÍTULO III.....	57
3. SIMULACIÓN Y RESULTADOS	57
3.1 Análisis computacional de las fuerzas ejercidas en el tanque	57

3.1.1	Esfuerzos de Von Mises.....	57
3.1.2	Desplazamientos	58
3.1.3	Deformaciones unitarias	59
3.2	Simulación de esfuerzos en la estructura	59
3.2.1	Simulación de tensiones.....	59
3.2.2	Simulación de desplazamientos	60
3.2.3	Simulación del factor de seguridad.....	61
3.3	Simulación térmica de fluidos	61
CAPÍTULO IV		63
4.	ANÁLISIS DE PRESUPUESTO	63
4.1	Costos directos	63
4.1.1	Costo de adquisición de materiales.....	63
4.1.2	Costos de componentes normalizados	64
4.1.3	Costo de mecanizado	66
4.1.4	Costos de instalación.....	66
4.1.5	Total de costos directos.....	66
4.2	Costos indirectos	67
4.2.1	Costos de materiales indirectos.....	67
4.2.2	Transporte de materiales y personal técnico	67
4.2.3	Total de costos indirectos.....	68
4.3	Valor total del equipo	68
CONCLUSIONES		69
RECOMENDACIONES.....		70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elaboración de queso fresco en la comunidad de Alaspungo.....	7
Figura 2. Cuajo Hansen 3 muñecas, verde.....	8
Figura 3. Croquis de la zona de producción.....	8
Figura 4. Proceso de elaboración de queso fresco	13
Figura 5. Marmita semiesférica con sistema de agitación y volteo.	17
Figura 6. Configuraciones de la marmita.....	19
Figura 7. Elementos principales de una marmita.....	20
Figura 8. Partes de un dispositivo enchaquetado.....	20
Figura 9. Clasificación de agitadores según su flujo.....	22
Figura 10. Motorreductor.....	23
Figura 11. Sistema de volteo de una marmita.....	25
Figura 12. Dimensiones del tanque de la marmita [mm].....	32
Figura 13. Dimensiones de la tapa de tanque de la marmita [mm].....	32
Figura 14. Dimensiones agitador tipo ancla [mm].....	34
Figura 15. Dimensiones del tornillo sin fin [mm].....	40
Figura 16. Dimensiones de la rosca del tornillo sin fin.....	40
Figura 17. Dimensiones estructura de la marmita [mm].....	42
Figura 18. Esfuerzos ejercidos en la marmita.....	45
Figura 19. Bosquejo 3D de la marmita	49
Figura 20. Quemador Radial Atmosférico.....	50
Figura 21. Simulación de esfuerzos de Von Mises en el tanque.....	58
Figura 22. Simulación de desplazamientos en el tanque.....	58
Figura 23. Simulación de deformaciones unitarias en el tanque.....	59
Figura 24. Simulación de la estructura por tensiones.....	60
Figura 25. Simulación la estructura por desplazamiento.....	60
Figura 26. Simulación de factor de seguridad en la estructura.....	61
Figura 27. Simulación térmica de fluidos.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos físicos y químicos de la leche entera pasteurizada.	10
Tabla 2. Composición del cuajo HANSEN.	11
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del cloruro cálcico.	12
Tabla 4. Variables de tiempo y temperatura en la pasteurización de leche.	15
Tabla 5. Selección de configuración de la marmita.	19
Tabla 6. Selección del tipo de impulsor.	22
Tabla 7. Selección del motoreductor.	24
Tabla 8. Selección del sistema de volteo.	25
Tabla 9. Propiedades químicas del AISI 304.	26
Tabla 10. Propiedades mecánicas del AISI 304.	26
Tabla 11. Datos iniciales para el diseño del tanque.	28
Tabla 12. Espesores de pared del tanque.	30
Tabla 13. Datos de diseño del agitador	33
Tabla 14. Valor de la constante KT para diferentes tipos de impulsores.	36
Tabla 15. Consideraciones para el análisis térmico.	51
Tabla 16. Valores de los materiales a adquirir.	64
Tabla 17. Costos de componentes normalizados.	65
Tabla 18. Valores de mecanizado.	66
Tabla 19. Costos de instalación.	66
Tabla 20. Total de costos directos.	67
Tabla 21. Costos de materiales indirectos.	67
Tabla 22. Costos de transporte.	68
Tabla 23. Total de costos indirectos.	68
Tabla 24. Total de costos.	68

RESUMEN

La propuesta tecnológica titulada “Diseño y simulación de una marmita con agitador para pasteurizar 250 litros de leche para la comunidad de Alaspungo, parroquia de Nono” surge como una iniciativa para consolidar la producción de queso fresco producido artesanalmente por los habitantes de Alaspungo, por medio del apoyo del gobierno autónomo de Nono se busca desarrollar el proyecto con el fin de proporcionar a los compradores productos de máxima calidad.

La investigación consiste en cuatro partes: el capítulo inicial trata de los fundamentos teóricos donde se aborda la descripción de la comunidad, proceso productivo de queso fresco y revisión de la literatura de los diferentes tipos de marmitas con su correspondiente enchaquetado, sistema de agitación y generación de calor. En el segundo capítulo se inicia el estudio ingenieril enfocado en el análisis de alternativas iniciando por la selección del material, a continuación, con cálculos de diseño de tanque, esfuerzos en el tanque, delineación del sistema de agitación, diseño del sistema volteo, diseño de estructura, cálculos de esfuerzos en la estructura y el análisis térmico del sistema. El tercer capítulo apunta totalmente a la validación de la marmita propuesta por medio de la simulación de los componentes más importantes del equipo como el tanque, estructura y proceso térmico. El cuarto y último capítulo detalla los costos incurridos para la fabricación del equipo y su puesta en marcha.

Palabras claves: acero, agitador, calor, chaqueta, desplazamientos, esfuerzos, leche, marmita, motorreductor, pasteurización, queso.

ABSTRACT

The technological proposal entitled "Design and simulation of a kettle with a stirrer to pasteurize 250 liters of milk for the Alaspungo community, Nono parish" arises as an initiative to consolidate the production of fresh cheese produced by hand by the people of the Alaspungo community. Through the support of the autonomous government of Nono, it seeks to develop the project in order to provide buyers with the highest quality products.

The research consists of four parts: the initial chapter deals with the theoretical foundations where the description of the community, the fabrication process of fresh cheese and the different types of kettles with their corresponding jacketing, stirring system and generation are addressed of heat. Secondly, the engineering study focused on the analysis of alternatives begins, starting with the selection of the material, then with calculations of tank design, efforts in the tank, delineation of the motion system, design of the turning system, design of structure, stress calculations in the structure and thermal analysis of the system. Chapter three aims entirely at the validation of the proposed kettle by simulating components of the equipment such as the tank, structure and thermal process. The fourth chapter details the costs incurred for the manufacture of the equipment and its start-up.

Key Words: agitator, cheese, displacements, heat, gearmotor, jacket, milk, pasteurization, pot steel, stress.

INTRODUCCIÓN

En la parroquia de Nono existe una alta producción lechera, que dentro de la comunidad de Alaspungo es utilizada artesanalmente en la producción de queso fresco, el cual, a pesar de su buen sabor, no tiene un proceso idóneo de fabricación debido a la falta de un equipo de pasteurización, impidiendo en el proceso la destrucción de patógenos, disminuyendo el rendimiento y calidad requerida para la comercialización del producto.

Las marmitas al ser dispositivos que pueden ser utilizados de pequeña a gran escala industrial, son ideales para la implementación en los procesos de pequeños productores. Dadas sus características, permiten desempeñar varias actividades en la elaboración de productos lácteos como la pasteurización, tina de cuajo para queso y fermentadores de yogurt. Son fabricadas en acero inoxidable de grado alimenticio y poseen una chaqueta o camisa de vapor como cámara de calentamiento.

Actualmente las normas de inocuidad alimenticias buscan proporcionar a los consumidores artículos de la más alta calidad. Sin embargo, alcanzar estos estándares dentro de la industria conlleva un alto costo en la adquisición de maquinaria. Además, en el mercado nacional la construcción de estos equipos para cumplir con capacidades volumétricas reducidas es limitada. Teniendo en cuenta estos impedimentos, se evidencia que el diseño y simulación de una marmita bajo especificaciones puntuales satisfarán las necesidades requeridas, cuyo volumen de producción cumpla con los niveles de demanda pretendidos por los productores de la comunidad.

Antecedentes

Problema

La comunidad de Alaspungo, parroquia de Nono está ubicada a 18 kilómetros al Noroccidente de Quito aproximadamente a 45 minutos. El bosque nublado ubicado en Nono cuenta con una extensión de 1.200 hectáreas que pertenecen en su totalidad a la parroquia, localizadas en la zona conocida como “Boca de montaña” a una altitud de 1.650 y 4.500 m s.n.m. Su temperatura varía dependiendo de estos factores y su altitud, donde la temperatura promedio es de 14 a 15 °C [1].

Una de las necesidades de la comunidad, se centra en aumentar la calidad de producción del queso fresco de la parte de los residentes de la región.

En la actualidad los residentes de la comunidad procesan aproximadamente 500 litros de leche cruda al día, destinados en su totalidad a la transformación de esta materia prima de manera artesanal, en la que no poseen un adecuado tratamiento previo de la leche cruda para la fabricación del producto final.

El tratamiento del producto primario según la NTE INEN 9:2008 [2] es un proceso fundamental en fabricación y distribución comercializada de alimentos lácteos. Actualmente, los encargados de la elaboración del queso fresco en Alaspungo no cuentan con el equipo necesario para la pasteurización de leche como lo es una marmita, por lo que el método utilizado se basa en calentar la materia prima en quemadores de cocina a gas en recipientes de aluminio, encareciendo la vida útil del producto, aumentado su putrefacción y afectando a la inocuidad alimentaria. Además, estos factores implican un bajo precio de comercialización a los moradores del sector y a los tipos de establecimientos comerciales de la parroquia.

Importancia y alcance

En la obtención de leche cruda es necesario considerar varios procesos en el ordeño del ganado vacuno, todos estos se ven reflejados en la literatura de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura en el Manual 1 de “Buenas prácticas de ordeño” [3]. Sin embargo, es imposible eliminar totalmente la presencia de bacterias, a pesar de todas las

precauciones con respecto a la extracción de materia prima, de ahí la relevancia de la pasteurización antes del procesamiento.

La pasteurización de la leche posee varias ventajas para la producción de queso fresco como: destruye los microorganismos patógenos existentes, aumenta la vida útil y calidad del producto y no degrada las propiedades nutricionales y organolépticas de la materia prima durante su proceso de fabricación [4].

Para los residentes de la comunidad de Alaspungo el adquirir un equipo de pasteurización en el mercado nacional resulta desfavorable debido a las grandes capacidades comprendidas dentro de los 500 hasta 1.500 litros, resultando en un costo elevado y comúnmente no se los pueden permitir más que a las medianas y grandes compañías lecheras del país. Sin embargo, el diseño de una marmita de 250 litros para pasteurizar leche cruda y la posible fabricación futura por cooperativas del GAD Nono y por parte de la Universidad Politécnica Salesiana pueden representar una solución válida al problema de calidad disminuida, bajo precio de comercialización y falta de inocuidad del producto.

Objetivos

Objetivo General:

- Diseñar y simular una marmita con agitador para pasteurizar 250 litros de leche para la comunidad de Alaspungo, parroquia de Nono.

Objetivos Específicos:

- Identificar el proceso de pasteurización de leche actual en la producción de queso fresco de la comunidad de Alaspungo.
- Seleccionar la alternativa más viable para el equipo de pasteurización.
- Analizar los componentes adecuados para la marmita considerando los recursos energéticos de la comunidad.
- Diseñar los componentes críticos de la marmita con capacidad de 250 litros.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Comunidad de Alaspungo

En la comunidad de Alaspungo, parroquia de Nono, los residentes del sector en su gran mayoría se dedican a la obtención, transformación y comercialización de leche cruda, por lo que un equipo de pasteurización restablecería el proceso de producción, incrementando su rendimiento, calidad, comercialización y precio de venta de los productos [4].

En la actualidad se procesan aproximadamente 500 litros de leche cruda al día, un proceso realizado en dos paradas uno en la mañana y otro en la tarde, destinados totalmente al procesamiento de esta materia en queso fresco.

1.1.1 Transformación de la materia prima en la comunidad

En la comunidad de Alaspungo, se produce queso fresco de manera artesanal el cual posee un sabor y textura única. Para su elaboración los habitantes utilizan 120 litros de leche cruda por cada proceso, esta es calentada en una cocina industrial como se observa en la figura 1.



Figura 1. Elaboración de queso fresco en la comunidad de Alaspungo.
Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

El tiempo actual del proceso empleado por los productores de la comunidad para el calentamiento de leche es de 10 a 15 minutos obteniendo una temperatura promedio de 35 °C. No obstante, a esta temperatura no existe un proceso de pasteurización en la materia prima, por lo que con la marmita se desea incrementar esta variable a 75 °C.

Posterior al proceso de calentamiento los maestros queseros agregan 12 cucharadas de sal junto con dos fundas cuajo Hansen mostrados en la figura 2, el proceso de coagulación toma alrededor de 45 minutos, el remanente de este procedimiento, conocido como suero, es removido para lavar la cuajada, culminando con el moldeado y almacenamiento [5].



Figura 2. Cuajo Hansen 3 muñecas, verde.
Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

En la actualidad los habitantes de la zona obtienen la leche para su transformación en un costo de \$0.4 y a su vez comercializan cada producto de 500 kilogramos a \$1.60. Dentro de la producción uno de los inconvenientes radica en la pasteurización al no contar con un equipo apropiado para el tratamiento térmico requerido, afectando en la calidad del producto final [5].

Para lograr un buen rendimiento quesero se debe maximizar el rendimiento de la leche, cuantos menos litros sean necesarios para producir, mayor será la rentabilidad. En la industria esta producción es de 3.33 litros de leche por un kilogramo de queso. En la parroquia la elaboración de un queso de 2 kilogramos requiere de 8.5 litros de leche, por lo cual la producción quesera no es una actividad económica rentable [6].

1.1.2 Recursos de la comunidad

El diseño de la marmita está contemplando para uno de los habitantes de la comunidad, el que posee un lugar de producción mostrado en la figura 3.

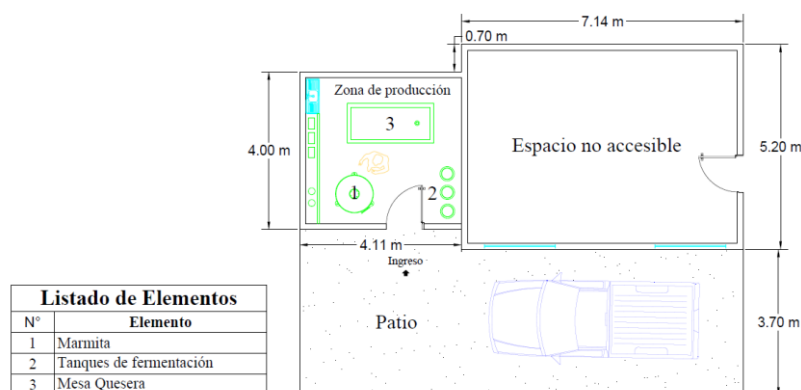


Figura 3. Croquis de la zona de producción.
Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

En cuanto a los recursos energéticos que dispone Alaspungo se encuentran principalmente la red eléctrica pública de 110 voltios que es funcional para el diseño y funcionamiento de equipos eléctricos, optimizando el tiempo y velocidad de trabajo en comparación con métodos manuales tradicionales, su principal desventaja es la tarifa kilovatio hora [7].

El gas licuado de petróleo (GLP) es otro de los recursos usado actualmente para la producción de queso en la zona por su bajo costo, sin embargo, de difícil acceso debido a la ubicación del sector [5].

La energía solar surge como alternativa de tecnología renovable en fuentes de energía en virtud de la ubicación montañosa que ostenta la comunidad, ideal por su gran irradiación solar y bajas temperaturas que permiten que las células fotovoltaicas se desempeñen de manera más eficiente mejorando su potencia de salida [8]. Su principal desventaja es su elevado costo de adquisición y la nubosidad presente en mayores épocas del año en la zona.

1.2 Producción de queso fresco

En el entorno lácteo, es relevante considerar que las soluciones simples a las dificultades relacionadas con calidad e inocuidad no son viables, ya que cada actividad relacionada con el proceso debe ser monitoreada y verificada para reducir la posibilidad de contaminación de la leche, lo que asegura que las propiedades organolépticas ideales del producto final se conservan para el consumo [9].

La elaboración de queso ha cambiado con el pasar los años, transformándose de un proceso empírico a un proceso tecnológico industrial basado en la ciencia. Existen diversos factores que modifican la estructura del queso entre ellos: propiedades fisicoquímicas, condiciones de proceso, formulación, conservación y alteraciones microbiológicas [10]. Según Nolla et al [11] este producto es uno de los mejores alimentos disponibles para el consumo, debido a su elevado valor nutricional derivado de su alto contenido en grasa y proteínas, conformando así, una buena fuente de calcio y fósforo.

1.3 Conceptualización de queso fresco

De acuerdo a la NTE INEN 1528 [12] se conoce por queso al alimento duro, extraduro, semiduro, blando, madurado o inmaduro. Este producto se obtiene de proteínas las de la leche mediante un proceso de coagulación por el efecto del cuajo y por drenaje parcial del suero o

por métodos de preparación que impliquen la coagulación de la proteína sin afectar sus propiedades físicas, químicas y organolépticas.

El queso fresco designado también queso blanco, es un alimento que no ha madurado, ni blanqueado o escaldado, relativamente firme, moldeado, ligeramente granuloso, elaborado con leche entera, semidesnatada, coagulada con ácidos orgánicos, generalmente sin bacterias de ácido láctico [12]. Este producto posee de 20-22% proteína, 1.8-3% de sal, 51-53% de humedad, 19-25% de grasa y tiene un $\text{pH} \leq 5,6$ [13].

1.4 Materia prima e ingredientes

La materia prima y elementos para la preparación del queso fresco comúnmente son: leche entera, cuajo, cloruro cálcico y sal [14].

1.4.1 Leche entera

El ingrediente principal para la producción de quesos es notoriamente la leche. Existen variables físico-químicas y microbiológicas que inciden en el proceso de coagulación de esta materia y se relacionan a su constitución como: el contenido de proteínas, pH, balance salino entre otros componentes [15]. Es denominada leche entera al fluido sin alteraciones del ordeño, regular y completo obtenido de vacas sanas y criadas de forma correcta, sin consistencia inusual de olor, sabor o color [16]. Los requisitos físicos y químicos son detallados en la Tabla 1.

Tabla 1. Requisitos físicos y químicos de la leche entera pasteurizada.

Requisitos	Unidad	MIN.	MAX.
Densidad relativa			
a 15°C	-	1,029	1,033
a 20°C	-	1,028	1,032
Contenido de grasa	% (fracción de masa)	3,0	-
Ácido láctico	% (fracción de masa)	0,13	0,18
Sólidos totales	% (fracción de masa)	11,30	-
Sólidos no grasos	% (fracción de masa)	8,30	-
Proteínas	% (fracción de masa)	2,9	-

Fuente: Servicio Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 10:2012 [17].

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

1.4.2 Cuajo

El cuajo es una sustancia con propiedades de coagulación y se lo encuentra de forma líquida, en polvo o pastillas. En la producción de quesos se requiere de operaciones realizadas en tiempos exactos (coagulación de la leche) y esto sólo se consigue con la presencia del cuajo o fermento de Lab [18]. La composición que presenta este aditivo se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición del cuajo HANSEN.

Composición del cuajo
Coagulantes
Cloruro de sodio
Celulosa

Fuente: CHR HANSEN [19].

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

La coagulación es el proceso de separación del caseinato de calcio, a razón de un desequilibrio entre los componentes de la leche y su precipitación, para obtener una solidificación satisfactoria es menester tomar en consideración las siguientes propiedades [18]:

- Temperatura de la leche. - En la coagulación la temperatura no deberá ser menor de 30°C, ideal para la mayoría de tipos de quesos (fresco, cheddar, holandés, entre otros).
- Cantidad de cuajo. - Entre mayor sea la porción de cuajo agregado, el tiempo de coagulación de la leche será menor, este factor fluctúa desde los 20 minutos a varias horas dependiendo el tipo de queso.

1.4.3 Cloruro cálcico

El calcio en forma de cloruro cálcico interfiere en el desarrollo de coagulación de la leche, actuando como coadyuvante tecnológico y normalizando la formación de la cuajada, restableciendo la pérdida de calcio durante el calentamiento de la leche, elevando la firmeza y el rendimiento del producto. En el proceso de obtención queso fresco se suministra cloruro cálcico entre 0,2 a 0,5 gramos por cada kilogramo de leche, las propiedades físicas y químicas de este coadyuvante se exponen en la Tabla 3 [20].

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del cloruro cálcico.

Propiedades físicas y químicas	
Nombre químico	Cloruro de calcio
Nombre alternativo	Dicloruro de Calcio
Fórmula química	CaCl ₂
pH	7,5 mín.
Apariencia	Líquido higroscópico de aspecto cristalino y traslúcido
Densidad relativa	1,38mín
Solubilidad en agua	100%

Fuente: Brinsa Química [20].

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

1.4.4 Sal

La sal es uno de los aditivos fundamentales en la producción quesera por optimizar la conservación, evitar el crecimiento de patógenos y facilitar el desuerado del queso, el tipo de sal utilizada en la producción de queso fresco es la sal común o también denominada sal yodada. La principal característica de la adición de sal al queso es que contribuye al sabor y calidad del producto, en proporciones apropiadas mejora las propiedades organolépticas del queso fresco [21].

Al mismo tiempo, la adición de este aditivo en la fabricación de quesos incide en la maduración y en la textura característica, forma y corteza superficial del queso, dependiendo de la cantidad añadida y el grado de humedad de la cuajada. La cantidad de este compuesto en el producto oscila entre el 0,6% p/p hasta aproximadamente 7% p/p [21].

1.5 Proceso de elaboración

La elaboración de queso fresco incluye etapas de: recepción de materia prima, evaluaciones y análisis, pasteurización, enfriamiento, agregación de cloruro cálcico, adición del cuajo, coagulación, corte y batido, desuerado, lavado de la cuajada, salado, moldeado y volteado, empacado y conservación [22]. Este proceso es mostrado en la figura 4 con las cantidades necesarias para la elaboración con 250 litros de leche.

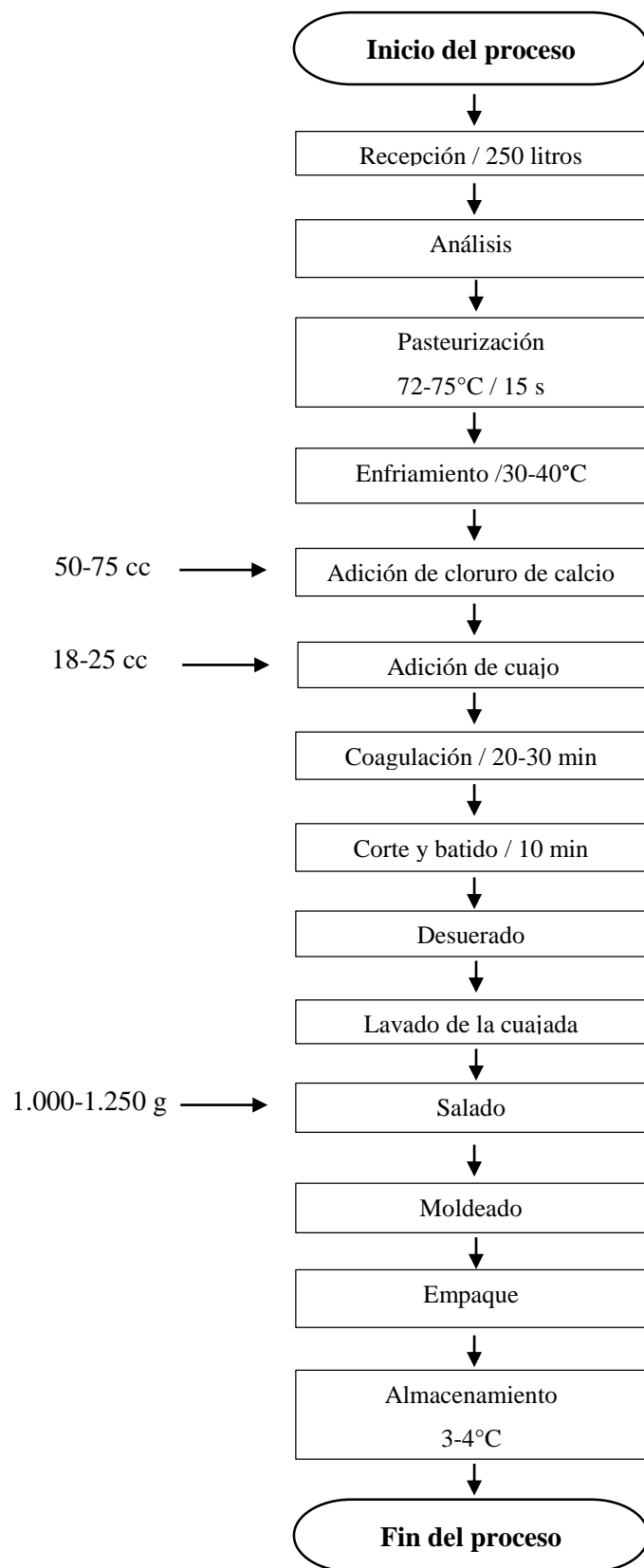


Figura 4. Proceso de elaboración de queso fresco

Fuente: Adaptado de FAO [23].

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

1.5.1 Recepción

Durante y después del ordeño la leche es propensa a contaminación externa, esta materia prima obtenida a 37 °C es un excelente cultivo para todo tipo de bacterias, por lo que, posterior al ordeño y en su recepción su temperatura debe ser disminuida de 4 a 6 °C, para esta etapa se recomienda almacenar la leche en depósitos conformados por AISI 304 durante el transcurso del ordeño y recepción [24].

1.5.2 Análisis

La adulteración de la leche es imposible de reconocer superficialmente o por medio de olfato o gusto. Un producto de mala particularidad podría afectar a la fabricación de un queso, por tanto, es necesario validar su buena calidad, para esto se hace uso de análisis de laboratorio con indicadores que revelan su procedencia, tratamiento y procesamiento [25]. Algunos de estos análisis son:

- Determinación de patógenos
- Determinación de antibióticos
- Análisis de inhibidores
- Análisis de neutralizantes
- Determinación de densidad
- Determinación de pH
- Determinación de sólido totales y no grasos

1.5.3 Pasteurización

Según Tortora et al. [26] la pasteurización se centra en excluir los microorganismos patógenos, reducir la flora asociada y alargar la vida útil del producto sin modificar las propiedades organolépticas y composición química. Además, de acuerdo con Martínez et al. [27] el proceso de pasteurización es un método que involucra temperatura y tiempo como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Variables de tiempo y temperatura en la pasteurización de leche.

Temperatura °C	Tiempo
63	30 minutos
72	15 segundos
89	1,0 segundos
90	0,5 segundos
94	0,1 segundos
96	0,05 segundos
100	0,01 segundos

Fuente: Martínez et al [27].

1.5.4 Enfriamiento

Posteriormente de la pasteurización, se da el enfriamiento del fluido a una temperatura de 37 a 39 °C, a través de un enfriamiento térmico natural o pasando agua fría por el equipo pasteurizador [28].

1.5.5 Adición del cloruro de calcio

La adición de cloruro de calcio en concentraciones del 0,02% compensa el contenido de calcio perdido en la pasteurización por la acción del calor. Este proceso es un factor fundamental que interviene en la coagulación formando la red tridimensional de las proteínas [29].

1.5.6 Adición de Cuajo

El uso del cuajo se emplea para que la leche tenga una buena disposición de coagulación, facilitando una rápida gelificación de la caseína. Durante este proceso, la leche se agita en un periodo de un minuto para diluir la sustancia y posteriormente se considera completo el proceso cuando se constituya la cuajada, lo que lleva de 20 a 30 minutos. La acción ineficaz del cuajo produce una cuajada blanda [30].

1.5.7 Coagulación

La coagulación es la encargada de transformar la leche en queso, en la cual las caseínas se coagulan por el resultado del ácido generado por bacterias del ácido láctico. La cuajada obtenida a partir de este proceso posee características de ser parcialmente desmineralizada, porosa, friable y de poco encogimiento [31].

1.5.8 Corte

El objetivo de cortar la cuajada es expulsar suero, convirtiendo la cuajada en partículas de un tamaño específico. El tamaño de partícula de la cuajada depende del contenido de humedad de suero deseado para el producto, para quesos frescos, la cuajada debe cortarse en granos grandes del tamaño de un guisante 3 a 5 centímetros [32].

1.5.9 Desuerado

Mediante esta operación se obtiene la separación del suero impregnado en el coágulo, con el fin de obtener el soluto sólido constituyente de la cuajada, a través de acciones de tipo mecánico, como el cortado. Se debe expulsar entre el 70 y 80% del suero, comúnmente este remanente destinado para la alimentación de cerdos [33].

1.5.10 Lavado de la cuajada

El proceso de lavado consiste en expeler los residuos de suero de la cuajada y evitar el crecimiento de microorganismos perjudiciales para el queso, obteniendo la fácil expulsión de suero y mayor adhesión de los granos. Durante esta, es conveniente coordinar los parámetros de tiempo, temperatura y forma de agregar el agua [34].

1.5.11 Salado

El proceso de salado moldea y limita las características del queso, afectando el desuerado y a su vez la cantidad de humedad del producto final. Asimismo, influye en la forma, características de la corteza y sabor del queso [35]. El nivel de sal comúnmente se miden en porcentaje peso a peso (%p/p de NaCl), para cada queso hay un rango óptimo de cantidad de sal, en quesos frescos esta medida es de 0,6 a 7,0 % [36].

1.5.12 Moldeado

La finalidad del moldeado es ofrecer al queso la forma deseada en moldes cuadrados o redondos de acero inoxidable o de plástico PVC, donde se emplea una tela o lienzo que son llenados con la cuajada para ser compactados, volteados y luego dejar reposar durante 3 horas el producto para empacarlo y refrigerarlo [37].

1.5.13 Empaque

Este proceso se realiza con un material que no permite el paso de humedad, protege al producto desde el envasado hasta su consumo final, facilitando el transporte y almacenamiento del queso. Generalmente se usa un empaque plástico [38].

1.5.14 Almacenamiento

El queso fresco debe estar sujeto a cadenas de frío en el almacenamiento, despacho y comercialización, la temperatura recomendada de este proceso es de 2 a 4 °C para evitar alteraciones y el deterioro por microorganismos [39].

1.6 Marmita

Según Manrique [40] la marmita es un depósito metálico utilizado en tareas de cocción, pasteurización y esterilización de productos alimenticios que posee un sistema de “enchaquetado” o pared doble por el que circula un fluido térmico que permite calentar el producto de manera indirecta a una determinada temperatura, limitada de 100 a 115 °C, en función del fluido circulante. Generalmente este equipo mostrado en la figura 5, cuenta con sistemas de agitación y volteo para la homogeneización y vaciado del fluido respectivamente.



Figura 5. Marmita semiesférica con sistema de agitación y volteo.
Fuente: SkillTech [41].

1.7 Tipos de marmita

La clasificación de estos equipos se puede definir de acuerdo sus métodos de generación de energía térmica para calentar el fluido o acorde a su forma [42], estos tipos son descritos a continuación:

1.7.1 Marmita a vapor

Esta marmita se compone de una cámara de calentamiento denominada chaqueta o camisa, que envuelve al depósito donde se encuentra el fluido que se desea calentar. Este sistema circula vapor a una presión determinada a través de una cámara de calentamiento, normalmente suministrada por una caldera [42].

1.7.2 Marmita a gas

El tratamiento de calefacción de una marmita a gas se centra en la generación de vapor por medio de un quemador tipo atmosférico, automático o por encendido electrónico, haciendo uso de gas industrial para la creación del fuego del quemador, sin requerir de una caldera [42].

1.7.3 Marmita eléctrica

Este equipo utiliza como medio de calentamiento la energía eléctrica para la generación de su propio vapor, siendo ideales en procesos o instalaciones que no cuentan con líneas de vapor o gas industrial [42].

1.8 Configuraciones de la marmita

Las marmitas de acuerdo a su forma pueden ser cilíndricas o semiesféricas como se aprecia en la figura 6, los equipos de fondo semiesférico son utilizados para evitar los residuos en el tanque y de esta forma facilitar su limpieza [42].



Figura 6. Configuraciones de la marmita.
Fuente: CITRUS [43].

Para la selección de configuración de la marmita se toma en cuenta las variables de evaluación mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5. Selección de configuración de la marmita.

Selección de configuración de la marmita			
Variables de evaluación	Factor Ideal	Semiesférica	Cilíndrica
Costo	9	5	8
Estética	8	8	7
Espacio ocupado	9	6	8
Funcionalidad	10	10	10
Facilidad de mantenimiento	9	9	8
Facilidad de operación	9	9	9
Facilidad de construcción	10	6	9
Valor promedio	9.14	7.57	8.43

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

1.9 Componentes fundamentales de una marmita

De acuerdo con Chacaguasay et al. [44] los componentes primordiales de una marmita mostrados en la figura 7, son los siguientes:

- a) Moto-reductor
- b) Válvula de alivio
- c) Termopozo
- d) Tanque de la marmita
- e) Camisa
- f) Agitador

- g) Válvula de descarga
- h) Entrada de vapor

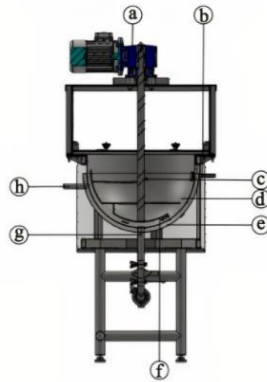


Figura 7. Elementos principales de una marmita.
Fuente: Chacaguasay et al [44].

1.10 Recipientes enchaquetados con agitación mecánica

Según Jiménez [45] un dispositivo con camisa es un contenedor diseñado con la finalidad de controlar la temperatura interior de su contenido, por medio del uso de una camisa o “chaqueta” externa al tanque reactor a través del cual circula un fluido de calentamiento o enfriamiento. Por lo general estos dispositivos tienen un sistema de agitación para incrementar la eficiencia del coeficiente total de transmisión de calor. La chaqueta se modela como un tanque al que ingresa un fluido como vapor, agua o aceite a cierta temperatura y del que sale dicho fluido a una temperatura distinta, el bosquejo de sistema es presentado en la figura 8.

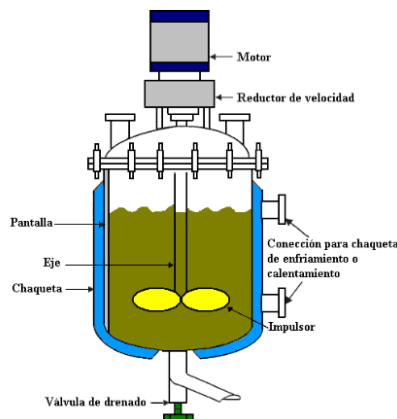


Figura 8. Partes de un dispositivo enchaquetado.
Fuente: Valiente A [46].

Los recipientes enchaquetados se clasifican según su tipo de camisa como:

- Chaquetas convencionales
- Chaquetas de bobina de medio tubo
- Chaquetas de hoyuelo
- Bobinas de placa

1.11 Sistema de agitación

Los sistemas de agitación son requeridos en la preparación de mezclas de ciertos procesos industriales con la finalidad de conseguir distintas condiciones requeridas de uno o varios fluidos de trabajo. La agitación es denominada como el movimiento forzado de un líquido por medios mecánicos, dentro de un recipiente [47]. Este proceso de fabricación de queso fresco ayuda a mantener un calor uniforme de la leche en la etapa de pasteurización, evitando la formación de microorganismos en los puntos fríos del fluido [48].

1.12 Elementos del sistema de agitación

Este sistema consta generalmente de un motorreductor y agitador, los cuales se utilizan para romper el flujo del líquido y para aumentar la turbulencia y la eficiencia de la mezcla [49].

1.13 Agitador

Un agitador consiste en un dispositivo mecánico que se utiliza para agitar o mezclar uno o varios líquidos, estos elementos son ampliamente usados en diversas operaciones en industrias alimenticias, químicas, de pintura, agua, entre otras [49].

1.13.1 Clasificación de los agitadores

Los tipos de agitadores son ilustrados en la figura 9, estos elementos se relacionan con fundamentales modelos de flujo que son [50]:

- Flujo axial
- Flujo radial
- Flujo de paso cerrado

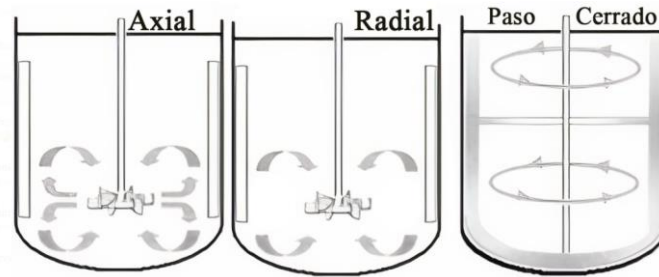


Figura 9. Clasificación de agitadores según su flujo.
Fuente: Castillo V [50].

Del mismo modo estos dispositivos se pueden clasificar según su tipo de impulsor [50]:

- Impulsores de palas con inclinación
- Impulsores tipo ancla
- Impulsores tipo rejilla
- Impulsores de hélice
- Impulsores de turbina

En la selección de tipo de impulsor para el sistema de agitación se toma en cuenta las variables de evaluación mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Selección del tipo de impulsor.

Selección del tipo de impulsor						
Variables de evaluación	Factor Ideal	Palas inclinadas	Tipo ancla	Tipo Rejilla	Tipo Hélice	Tipo turbina
Costo	9	9	6	5	7	7
Estética	8	7	8	8	7	7
Funcionalidad	10	9	9	10	9	9
Facilidad de mantenimiento	9	9	6	6	8	8
Facilidad de construcción	10	10	7	6	6	6
Valor promedio	9.2	8.8	7.2	7.0	7.4	7.4

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

1.14 Motorreductor

El motorreductor es equipo compuesto por un motor eléctrico combinado con un reductor de velocidad como se indica en la figura 10, es un sistema de gran relevancia en la industria moderna en el momento de agitar o mover de manera eficaz la mayoría de las máquinas dependientes de este proceso. De esta manera, la función de un reductor se basa en reducir la velocidad de rotación de los motores entregando altas revoluciones, de manera segura y eficiente sin perjudicar su potencia. Los denominados reductores son diseñados con un sistema de engranajes los cuales permiten que los motores trabajen a diferentes velocidades [51].



Figura 10. Motorreductor.

Fuente: Rossi [52].

Los factores necesarios para la selección de un motorreductor son la velocidad de giro, dirección de sentido de giro, posición de salida del eje y aplicación. Los tipos más utilizados son:

1.14.1 Coaxial

Se caracteriza por que el eje de entrada y de salida se encuentra sobre un mismo eje de rotación, este tipo de motorreductor está diseñado para actuar mediante un sistema de engranajes. Las ventajas de este dispositivo son sus diseños compactos, alto grado de eficacia, densidad de potencia elevada y amplia gama de aplicaciones [52].

1.15.2 Ortogonal sin fin corona

El funcionamiento de este equipo se ejecuta mediante un sinfín ubicado en el eje causando la transmisión de movimiento aplicada a la corona, capaz de reducir la velocidad por etapas lo que hace posible emplearse para múltiples reducciones en engranajes convencionales [52].

Para la selección del motoreductor para el sistema de agitación se debe tener en consideración las variables de evaluación mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Selección del motoreductor.

Selección del motoreductor			
Variables de evaluación	Factor Ideal	Coaxial	Ortogonal
Costo	9	7	8
Estética	8	6	8
Eficiencia energética	9	9	8
Funcionalidad	9	9	9
Facilidad de mantenimiento	10	8	7
Valor promedio	9	7.8	8

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

1.15 Sistemas de descarga para la marmita

La descarga de producto para una marmita radica en vaciar el producto que contiene el tanque, a través de un sistema de volteo manual o mecánico, o por medio de una válvula de fondo que permita la salida del producto por gravedad, para la instalación de estas metodologías es necesario que la marmita se instale a una altura que permita la operación de vaciado en otros recipientes de manera sencilla y cómoda [53].

1.15.1 Sistema de volteo

Existen varios sistemas mecánicos o manuales que son de beneficio al momento de descargar el producto de una marmita como se ilustra en la figura 11, generalmente estos sistemas están compuestos de engranes y ejes que regulan la rotación entre ejes separados, modificando el giro, fuerza de transmisión y velocidad [54].

Estos sistemas pueden ser:

- Tornillo sinfín-corona
- Biela-manivela
- Ruedas de fricción



Figura 11. Sistema de volteo de una marmita.
Fuente: INOXI MEXICO [55].

En la selección del sistema de volteo para la descarga del producto se debe tener en cuenta las variables de evaluación mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8. Selección del sistema de volteo.

Selección del sistema de volteo				
Variables de evaluación	Factor Ideal	Sinfín-corona	Biela-manivela	Ruedas de fricción
Costo	9	7	8	7
Estética	8	8	6	6
Funcionalidad	9	9	8	8
Facilidad de mantenimiento	10	7	8	7
Facilidad de operación	9	8	6	7
Facilidad de construcción	9	7	8	8
Valor promedio	9	7.67	7.34	7.16

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

El sistema del volteo para la marmita requiere la transmisión del movimiento radial ejercido por una manivela para permitir el vaciado del producto terminado en el tanque. El mecanismo seleccionado para el volteado de la máquina es un tornillo sin fin corona, debido que permite la rotación del tanque sin un esfuerzo excesivo por su elevada relación de transmisión además al no permitir el sentido de giro contrario el sistema actúa como freno y la carga no regrese [56].

1.16 Acero Inoxidable

El diseño de una maquina conlleva al estudio del material a ser utilizado para su fabricación, existen en la industria diferentes tipos de metales según la necesidad requerida. Para la industria alimenticia, el diseño y fabricación se centra en escoger el material indicado para resistir altas

temperaturas y corrosión. Además, se requiere de un acero que pueda ser desinfectado fácil y rápidamente [57].

Para la industria alimenticia los aceros inoxidable son utilizados en su totalidad, estos aceros se caracterizan por la adición de cromo el cual reacciona con el oxígeno formando una barrera de protección exterior en el metal protegiéndolo de la corrosión. La mayoría de los productos alimenticios son fabricados en equipos de inox 304 que al contener aleaciones de níquel, carbono y manganeso junto con cromo son extremadamente resistentes y fáciles de mecanizar [58]. Sus propiedades mecánicas y químicas se exponen en la tabla 9 y 10.

Tabla 9. Propiedades químicas del AISI 304.

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0-0,08	0-1	0-2	0-0,045	0-0,03	8-10,5	18-20

Fuente: Dipac [59].

Tabla 10. Propiedades mecánicas del AISI 304.

Resistencia Mecánica N/mm²	Punto de fluencia N/mm²	Elongación % Min	Dureza Rockwell B
520	222	20	249-278

Fuente: Dipac [59].

1.17 Procesos principales de mecanizado para el acero

1.17.1 Rolado

Según Ávila et al. [60] El rolado consiste en un proceso continuo en el que una serie de rodillos someten a presión a una lámina de acero, proporcionando una forma específica al material. El rolado del acero inoxidable da como resultado diferentes tipos de espesor dependiendo el resultado que se requiera para crear tubos, láminas, barras, entre otros. Una vez obtenida la forma deseada los bordes son soldados para crear una sección cerrada, curva o plana.

1.17.2 Plegado o doblado

El plegado o doblado es un proceso de conformado que radica en realizar una deformación plástica del material sin la separación del mismo para dar forma alrededor de un ángulo determinado a una chapa, cambiando la forma de la pieza metálica. Las máquinas más utilizadas en este proceso de manufactura son la plegadora y la prensa hidráulica, que a pesar de que la primera es una prensa lineal, su diferencia reside en que la prensa trabaja en dos dimensiones mientras que la plegadora solo en una [61].

1.17.3 Corte

La finalidad del corte en el metal es obtener una pieza con la forma dimensiones y acabos necesarios para su función [61]. Los principales tipos de corte del metal son:

- Corte con arranque de viruta: aserrado, torneado, fresado y taladrado.
- Corte sin arranque de viruta: cizallado, troquelado, oxicorte y corte por plasma.

1.18 Soldadura TIG

De acuerdo con Cunat [62] el proceso de soldadura por gas inerte de tungsteno es aquel que hace uso de un electrodo no consumible de tungsteno y un gas inerte para protegerlo. La fabricación con este tipo de soldadura presenta considerables mejoras como arco de soldadura estable, zona de calor contenida y una zona de fusión exacta. Esto da como resultado una porción de trabajo limitada lo cual evita salpicaduras simplificando la operación de limpieza final y alcanzando una calidad metalúrgica superior.

La totalidad de equipos de producción de la industria alimenticia están fabricados en acero inoxidable por las características del material. La manufactura de estos equipos se realiza mediante procesos ampliamente disponibles sin sacrificar sus propiedades mecánicas. Mediante, la soldadura TIG se evita complicaciones en el acero austenítico como sensibilización, micro fisura intergranular y oxidación a elevadas temperaturas. Por lo cual, al trabajar con inox 304 es indispensable realizar este tipo de soldadura [63].

CAPÍTULO II

2. CÁLCULOS Y DISEÑO

2.1 Diseño del equipo

El diseño exige principalmente consideraciones técnicas y estéticas, requiere de muchas etapas de análisis previos a la elaboración definitiva del equipo, el bosquejo preliminar permite visualizar el proyecto como un todo para tener de manera clara la capacidad, material, mano de obra y a su vez la evaluación económica requerida [64].

La fase de diseño busca solventar la problemática actual de la comunidad en la pasteurización, que en este caso es la falta de un equipo pasteurizador de leche, adecuándose a los recursos de la parroquia y sus beneficiarios.

2.2 Selección del material de la marmita

Para la estructura principal, tanque y parte de los componentes que posee la marmita se utilizará como material principal al acero AISI 304 debido a su fácil mecanizado, menor costo y mayor campo de aplicación en la industria alimenticia [65]. El procedimiento seleccionado para soldar el acero inoxidable es el proceso TIG, generando cordones de gran calidad, sin escorias, ni proyecciones [66].

2.3 Diseño del tanque

El diseño del tanque además de ser construido con un material de grado alimenticio, debe ser capaz de soportar las fuerzas del sistema de agitación, presión ejercida por el fluido de trabajo y temperatura de operación de la máquina, estos datos iniciales son expuestos en la tabla 11.

Tabla 11. Datos iniciales para el diseño del tanque.

Datos	Parámetros
Volumen del diseño	250 litros
Fluido de trabajo	Leche
Temperatura de operación	72 a 75 °C
Forma del tanque	Cilíndrica

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

2.3.1 Dimensiones del tanque

Para el dimensionamiento del depósito se considera la capacidad volumétrica que este presenta y la altura requerida de diseño, obteniendo el radio interno del tanque. Sin embargo, el realizar este cálculo con el parámetro real de volumen implica que la marmita será llenada al límite, ocasionando el desborde de la materia prima, se propone que el volumen de diseño se multiplique por un factor de seguridad de 0.15 y de esta forma evitar el rebosamiento de la leche.

Datos:

$$V_{real} = 250 \text{ l} = 0.25 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de seguridad de desborde } x = 0.15$$

$$V_{diseño} = V_{real} + (V_{real} * x) \quad (1)$$

$$V_{diseño} = 0.2875 \text{ m}^3 = \mathbf{287.5 \text{ litros}}$$

Tomando en cuenta que la altura del espacio disponible para la instalación de la marmita es de 2.2 metros, se escoge una altura de tanque de 0.90 metros para así reducir riesgos ergonómicos por parte de los habitantes al momento de cargar o descargar la materia prima, a partir de este criterio se obtiene el radio del tanque.

$$h_{tanque} = 0.90 \text{ m}$$

$$V_{diseño} = \pi * r_{tanque}^2 * h_{tanque} \quad (2)$$

$$r_{tanque} = \sqrt{\frac{V_{diseño}}{\pi * h_{tanque}}}$$

$$r_{tanque} = \sqrt{\frac{0.2875 \text{ m}^3}{\pi * 0.90 \text{ m}}}$$

$$r_{tanque} = 0.3189 \text{ m}$$

$$\phi_{tanque} = (2 * 0.3189 \text{ m}) = \mathbf{0.6378 \text{ m}}$$

2.3.2 Selección del espesor del tanque

El espesor de la pared es calculado en base al nivel del líquido y de acuerdo a su densidad relativa. Sin embargo, según Aro [67] para soportar la carga hidrostática el espesor del tanque en relación con su diámetro no será menor a lo mostrado en la tabla 12.

Tabla 12. Espesores de pared del tanque.

Diámetro nominal en metros	Espesor mínimo en milímetros
<15,24	1,5 a 4,76
15,24<36,576	6,35
36.576<60,96	7,93
>60.96	9,52

Fuente: Aro [67].

De esta forma el espesor seleccionado para las paredes del tanque con un diámetro nominal de 0.6378 metros es de 2 milímetros, mientras que para el fondo del tanque se opta por hacer uso de una plancha de 3 milímetros, debido a las cargas hidrostáticas que efectúa la leche en el tanque.

2.3.3 Camisa del tanque

Con el objetivo de que exista un adecuado intercambio de calor entre el tanque y el fluido que circula en él, se hará uso de una camisa instalada como segunda carcasa del recipiente creando un espacio anular para el fluido de calefacción [68].

Se tomará un espacio entre el diámetro interno de la marmita y diámetro externo de la camisa de 2 pulgadas, para el cuál se utilizará una lámina de acero inoxidable 304 de 2.5 milímetros de espesor. Obteniendo un diámetro de camisa de:

$$\emptyset_{camisa} = \emptyset_{tanque} + 2(0.0508m)$$

$$\emptyset_{camisa} = 0.739 m$$

Para el cálculo de la altura de la camisa se tiene en cuenta que este elemento debe cubrir el volumen real de 250 litros del producto y adicionar las 2 pulgadas de separación entre tanque y camisa. Obteniendo:

$$h_{camisa} = h_{vreal} + 0.0508m$$

$$h_{camisa} = \frac{V_{real}}{\pi * r_{tanque}^2} + 0.0508m$$

$$h_{camisa} = \frac{0.25m^3}{\pi * 0.3189^2} + 0.0508m$$

$$h_{camisa} = 0.83m$$

A partir del diámetro y la altura de la camisa se obtiene que el volumen de cantidad de agua que tendrá la camisa es:

$$V = \pi * (r_{ext}^2 - r_{int}^2) * h \quad (3)$$

$$V_{agua\ camisa} = \pi * (r_{camisa}^2 - r_{tanque}^2) * h_{camisa}$$

$$V_{agua\ camisa} = \pi * (0.3695^2 - 0.3189^2) * 0.83m$$

$$V_{agua\ camisa} = 0.090\ m^3 = 90\ litros$$

En la camisa del tanque se debe contemplar una entrada y una salida del fluido de calefacción comandas por válvulas de bola ½ pulgada y neplos del mismo dimensionamiento. Asimismo, es necesario colocar un termómetro bimetálico para observar temperatura interna de la materia prima.

2.3.4 Vertido del fluido

Al momento de descarga del fluido es necesario considerar en el tanque una geometría para facilitar esta operación, para este caso se contempla un canal de vertido obteniendo así un vaciado de fluido puntual.

Las dimensiones del tanque se exponen en el bosquejo 2D de la figura 12.

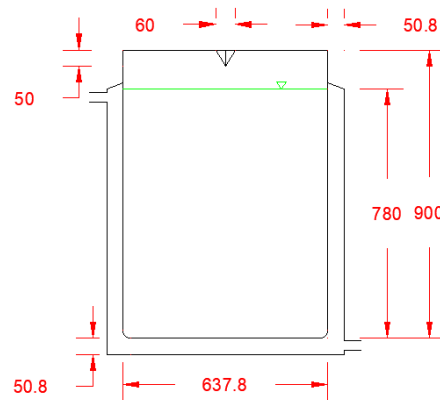


Figura 12. Dimensiones del tanque de la marmita [mm].
Fuente: Moreno A. y Proaño K.

2.3.5 Cubierta del tanque

En la cubierta o tapa del tanque se debe considerar un cuerpo de 2 milímetros de espesor con apertura y cierre de la mitad del elemento removible por la acción de tornillos mariposa asegurando la óptima carga y descarga del fluido, además debe contar con un orificio para el aseguramiento del eje de 1 ½ pulgada del agitador. La dimensión de la tapa del tanque es mostrada en la figura 13.

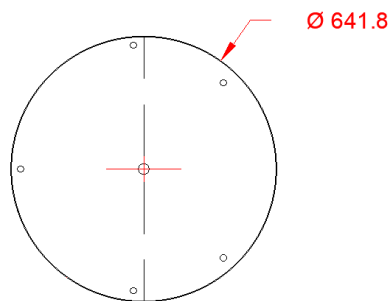


Figura 13. Dimensiones de la tapa de tanque de la marmita [mm].
Fuente: Moreno A. y Proaño K.

2.3.6 Cálculos de esfuerzos en el tanque

En el tanque existirán fuerzas hidrostáticas generadas por el fluido con componentes verticales y horizontales.

La componente del eje vertical tendrá incidencia en el fondo del tanque por lo que la fuerza hidrostática vertical se calcula con la siguiente fórmula:

$$FH_v = P * A_{fondo} \quad (4)$$

$$FH_v = (\rho * g * h) * (\pi * r^2)$$

$$FH_v = 2522.9126 \text{ N}$$

Mientras que la fuerza horizontal actuará sobre las paredes del tanque, considerando una superficie cilíndrica, se calcula:

$$FH_h = P * A_{proy.cil.} \quad (5)$$

$$FH_h = (\rho * g * h) * (2r * h)$$

$$FH_h = 3928.4608 \text{ N}$$

2.4 Diseño de agitador

Con la finalidad de conseguir el equilibrio de gradiente de temperatura entre el fluido circulante en la camisa de la marmita y el fluido del tanque de manera eficaz, se hace uso de un agitador de flujo rotacional que ejerce las fuerzas tangencialmente a la rotación circular definida por el eje impulsor.

Este impulsor deberá estar conectado mediante una brida al motor eléctrico causante del movimiento circular.

2.4.1 Datos de diseño

Para el diseño del agitador en la pasteurización de leche, se debe considerar las variables presentadas en la tabla 13.

Tabla 13. Datos de diseño del agitador

Datos	Descripción
Fluido a agitar	Leche
Densidad del fluido	1032 kg/m ³
Viscosidad del fluido	1.7 a 2.2 centipoise
Diámetro del tanque	0.6378 m
Altura del tanque	0.90 m
Volumen de llenado	250 litros

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

2.4.2 Impulsor

Se define hacer uso de un impulsor tipo palas inclinadas con un ángulo de 10° para romper la inercia de la leche, generando un flujo axial y radial, mejorando la transferencia de calor con las paredes internas del tanque. Las palas de este componente se realizarán con espesor de 5 milímetros sobre un eje de $1\frac{1}{2}$ pulgada, donde la velocidad de giro estimada del proceso para el impulsor es de 90 rpm.

Según Castillo [69] el diámetro del agitador debe ser de 0.35 a 0.65 veces el diámetro del tanque. Obteniendo:

$$\phi_a = \phi_T * 0.65 \quad (6)$$

$$\phi_a = 0.42 \text{ m}$$

Con estas condiciones el dimensionamiento del agitador tipo palas inclinadas se exhiben en la figura 14.

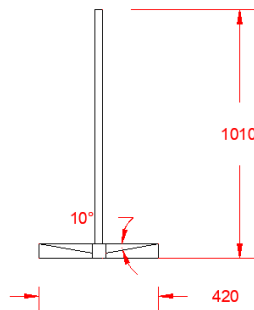


Figura 14. Dimensiones agitador tipo ancla [mm].
Autores: Moreno A. y Proaño K.

2.4.3 Cálculo en la potencia del agitador

Para que la agitación sea efectiva, debe ser capaz de recircular el volumen a las partes más alejadas del recipiente, donde la turbulencia y velocidad de movimiento actúan como factores de relevancia a considerar para determinar la eficacia de esta actividad.

El consumo de potencia de un agitador se puede conocer con números adimensionales, relacionado con Reynolds y el número de potencia [70].

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{n\phi_a^2 \rho}{\mu} \quad (7)$$

$n = \text{Velocidad de Rotación} = 90 \text{ rpm} = 1.5 \text{ rps}$

$\phi_a = \text{Diámetro del agitador} = 0.42 \text{ m}$

$\rho = \text{Densidad del fluido} = 1032 \text{ kg/m}^3$

$\mu = \text{Viscosidad cinemática} = 0.0022 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

Teniendo como resultado:

$$Re = 1.2412 * 10^5$$

Para Reynolds mayores a 10 000 el número de potencia no tiene dependencia con el número de Reynolds y la viscosidad no afecta al cálculo de potencia consumida por lo que:

$$N_p = K_T \quad (8)$$

De la cual,

$$P = K_T n^3 \phi_a^5 \rho \quad (9)$$

Donde:

$P = \text{Potencia requerida [w]}$

$K_T = N_p = \text{Constante del número de potencia para Reynolds mayores a } 1 \times 10^4$

$n = \text{Velocidad de Rotación [rps]} = 1.5 \text{ rps}$

$\phi_a = \text{Diámetro del agitador [m]} = 0.42 \text{ m}$

$\rho = \text{Densidad del fluido [kg/m}^3] = 1032 \text{ [kg/m}^3]$

Los valores de la constante K_T vienen dados para los diferentes tipos de impulsores en la tabla 14.

Tabla 14. Valor de la constante K_T para diferentes tipos de impulsores.

Tipo de Impulsor	K_T
Impulsor, hélice tres palas	
Paso 1.0	0.32
Paso 1.5	0.87
Turbina	
Disco de seis palas	5.75
Seis palas inclinadas	1.63
Cuatro palas inclinadas	1.27
Palas planas, dos palas	4.70
Impulsor HE-3	0.28
Cinta helicoidal	-
Ancla	0.85

Fuente: McCabe et al. [70]

Con las constantes de diseño se consigue una potencia de:

$$P = 213.9428 \text{ w}$$

$$P = 0.2869 \text{ HP}$$

Por lo tanto, se requerirá de un motor con una potencia de 0.5 HP.

2.4.4 Sistema de control del motor

Cualquier motor sin importar su potencia o tamaño, necesita de un sistema de control que proporcione el accionamiento de una variable de salida analizando la variable de entrada. Para la realización del sistema de control se inicia analizando el tipo de tarea que el motor deberá de ejecutar, en tareas más complejas se deberá de tener controles de mayor complejidad [71].

La tarea que llevará a cabo el motor dentro de la marmita es cumplir el proceso de agitación del fluido durante el proceso de pasteurización, es una tarea simple debido a que esta debe ejecutarse a la par de este proceso. Por lo cual, se optó por la conexión de un conmutador al motor para obtener un tipo de control ON/OFF conocido igualmente como todo o nada.

El modelo que se conectará al motor es un conmutador tipo botonera todo o nada de potencia industrial marca Ecoled, el cual tiene su componente eléctrico fabricado en cobre para favorecer la conductividad mientras que el accionamiento en plástico de alta durabilidad, junto con una capacidad de voltaje de 500 voltios y un amperaje de 30 amperios.

2.5 Diseño del sistema de volteo

Los parámetros requeridos para el uso de un tornillo sin fin son: módulo, número de entradas del tornillo y número de dientes de la corona. Existen valores de módulo normalizados para el tipo de uso, para engranajes de transmisión de potencia los valores estandarizados son 3,4,5,6,8,10 mm, mientras que, el número de entradas del tornillo sin fin puede ser de 1 a 8 dependiendo la velocidad de giro de salida de la corona necesaria. Finalmente, el número de dientes de la corona se selecciona de acuerdo con la fuerza de empuje necesaria para la transmisión de movimiento [72].

Según Rodríguez [73] mediante el uso de tornillos de avance pueden existir ocasiones donde la carga sostenida por el tornillo gire sin ninguna acción externa, cuando este no esté actuando. Esto ocurre con tornillos con avances elevados o cuando el coeficiente de rozamiento sea de magnitudes menores. Se utilizan tornillos irreversibles o también conocidos como autobloqueantes para evitar esta situación, la utilización de un tornillo sin fin es favorable debido a que este posee una transmisión irreversible.

Los parámetros de diseño seleccionados para verter 250 litros de leche son:

$$\text{Módulo} = M = 3\text{mm}$$

$$\text{Número de entradas del tornillo} = n = 1 \text{ entrada}$$

$$\text{Número de entradas de dientes de la corona} = N = 32 \text{ dientes}$$

2.5.1 Cálculo del tornillo sin fin

Paso:

$$P = \pi \cdot M \quad (10)$$

$$P = 9.4247 \text{ mm}$$

Altura del diente del tornillo:

$$H = 2.167 \cdot M \quad (11)$$

$$H = 6.201 \text{ mm}$$

Diámetro Primitivo:

$$dp = [8 \text{ a } 12] \cdot M \quad (12)$$

$$dp = 30 \text{ mm}$$

Diámetro Exterior:

$$de = dp + 2 \cdot M \quad (13)$$

$$de = 36 \text{ mm}$$

Diámetro Interior:

$$di = de - 2 \cdot H \quad (14)$$

$$di = 22.998 \text{ mm}$$

Ángulo filete:

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{M \cdot n}{dp} \right] \quad (15)$$

$$\alpha = 5.7105^\circ$$

Espesor:

$$e = \frac{P}{2} \quad (16)$$

$$e = 4.71235 \text{ mm}$$

Espacio entre filetes:

$$c = \frac{P}{2} \quad (17)$$

$$c = 4.71235 \text{ mm}$$

Altura del pie del diente:

$$l = M \quad (18)$$

$$l = 3 \text{ mm}$$

Ángulo beta:

$$\beta = 14.5^{\circ}$$

Ancho fondo filete:

$$T = \left[\left(\frac{P \cdot \cot \beta}{4} \right) - l \right] \cdot (2 \cdot \tan \beta) \quad (19)$$

$$T = 3.1606 \text{ mm}$$

Longitud de la parte roscada:

$$Lr = P \cdot \left[4.5 + \left(\frac{N}{50} \right) \right] \quad (20)$$

$$Lr = 48.4429 \text{ mm}$$

Extremo sin rosca:

$$F = P \quad (21)$$

$$F = 9.4247 \text{ mm}$$

Radio de la cabeza:

$$R = 0.05 \cdot P \quad (22)$$

$$R = 0.4712 \text{ mm}$$

Ángulo beta:

$$\delta = 29^{\circ}$$

Con los cálculos obtenidos se realiza el dimensionamiento del tornillo sin fin mostrado en la figura 15 y dimensiones de la rosca de este componente en la figura 16.

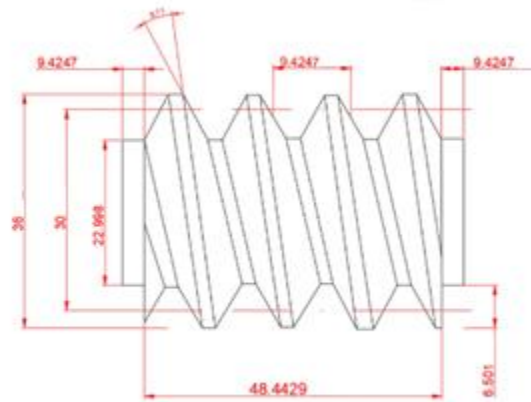


Figura 15. Dimensiones del tornillo sin fin [mm].
Autores: Moreno A. y Proaño K.

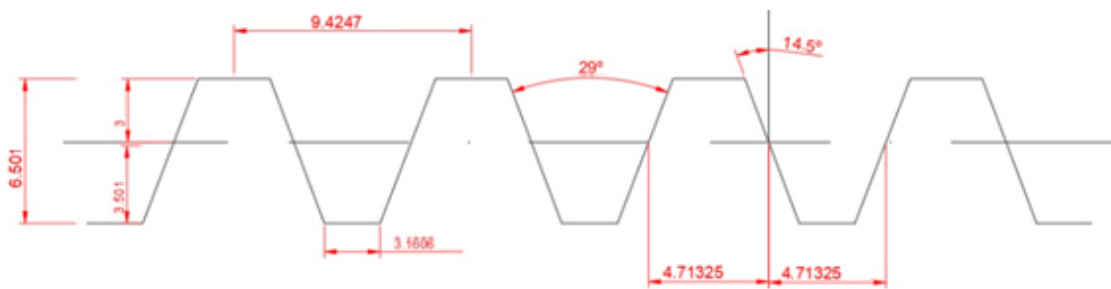


Figura 16. Dimensiones de la rosca del tornillo sin fin.
Autores: Moreno A. y Proaño K.

2.5.2 Cálculo de la geometría de la corona tipo A

Diámetro primitivo de la rueda:

$$dp = M \cdot N \quad (23)$$

$$dp = 96 \text{ mm}$$

Diámetro de la rueda:

$$de = dp + 2 \cdot M \quad (24)$$

$$de = 102 \text{ mm}$$

Paso:

$$P = \pi \cdot M \quad (25)$$

$$P = 9.4247 \text{ mm}$$

Altura del diente:

$$H = 2,167 \cdot M \quad (26)$$

$$H = 6.501 \text{ mm}$$

Diámetro mayor y sobre aristas para tornillo de filete simple:

$$D_1 = de + 0.4775 \cdot P \quad (27)$$

$$D_1 = 106.5 \text{ mm}$$

Ancho de la rueda para tornillo de filete simple:

$$A = 6 + 2.38 \cdot P \quad (28)$$

$$A = 28.4307 \text{ mm}$$

Concavidad periférica:

$$R = 0.5 \cdot dp - M \quad (29)$$

$$R = 12 \text{ mm}$$

Radio de la cabeza:

$$r = 0.25 \cdot P \quad (30)$$

$$r = 2.3561 \text{ mm}$$

Distancia entre centros:

$$E = \frac{dp_{rueda} + dp_{tornillo}}{2} \quad (31)$$

$$E = 63 \text{ mm}$$

2.6 Diseño de la estructura

El objetivo principal de este componente es soportar la fuerza ejercida por el tanque y todos sus componentes, teniendo en cuenta estas consideraciones la estructura debe sobrellevar el peso del fluido y las fuerzas generadas por los componentes de rotación del agitador del tanque. Para elaborar esta disposición se utilizará tubo rectangular de acero inoxidable de 60x40x2 mm que dispondrá de las adecuaciones necesarias para permitir el volteo de la marmita, agitación por parte del motorreductor y espacio necesario para la operación del equipo. El dimensionamiento de la estructura de la marmita es mostrado en la figura 17.

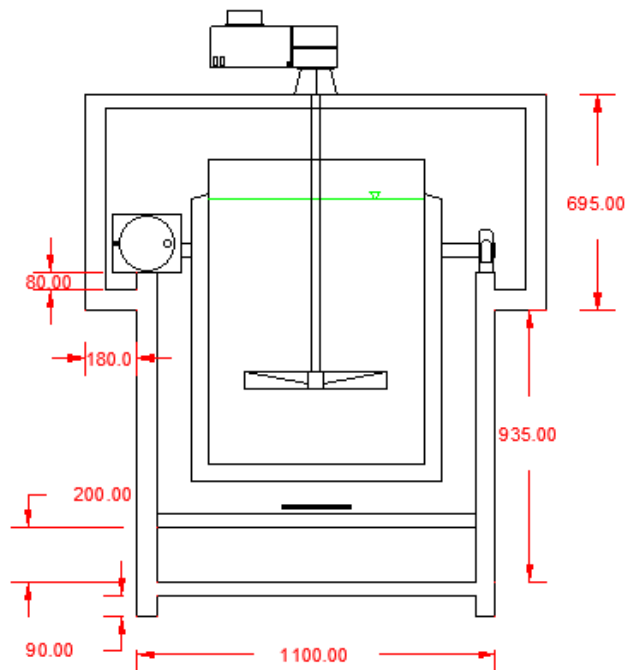


Figura 17. Dimensiones estructura de la marmita [mm].

Autores: Moreno A. y Proaño K.

2.6.1 Cálculos de esfuerzos en la estructura

La estructura diseñada debe soportar los esfuerzos causados por los componentes externos e internos de la marmita como el motorreductor, tanque, camisa, materia prima y el fluido de calentamiento, estas fuerzas se relacionan al peso ocasionado por cada elemento. Para esto es necesario concebir el cálculo de la masa de cada unidad para posteriormente obtener los esfuerzos que debe resistir la estructura.

$$m = \rho * V \quad (32)$$

$$W = m * g \quad (33)$$

Los esfuerzos ocasionados por el cuerpo del tanque, tapa, camisa y fluidos internos con dirección en su centro de gravedad con eje negativo en Y son:

Masa del tanque:

$$m_t = \rho_{inox} * V_{tanque}$$

$$m_t = 28.6910 \text{ kg}$$

Peso del tanque:

$$W_t = m_t * g$$

$$W_t = 281.4587 \text{ N}$$

Masa de la tapa:

$$m_{ta} = \rho_{inox} * V_{tapa}$$

$$m_{ta} = 5.1632 \text{ kg}$$

Peso de la tapa:

$$W_{ta} = m_{ta} * g$$

$$W_{ta} = 50.6513 \text{ N}$$

Masa de la camisa:

$$m_c = \rho_{inox} * V_{camisa}$$

$$m_c = 38.3705 \text{ kg}$$

Peso de la camisa:

$$W_c = m_c * g$$

$$W_c = 376.4149 \text{ N}$$

Masa de la leche:

$$m_l = \rho_{leche} * V_{tanque}$$

$$m_l = 258 \text{ kg}$$

Peso de la leche:

$$W_l = m_l * g$$

$$W_l = 2530.98 \text{ N}$$

Masa del agua:

$$m_a = \rho_{agua} * V_{camisa}$$

$$m_a = 86.2335 \text{ kg}$$

Peso del agua:

$$W_a = m_a * g$$

$$W_a = 845.9507 \text{ N}$$

Peso total del tanque y fluidos internos:

$$W_{Tt} = 4085.4556 \text{ N}$$

Es necesario tomar en cuenta que esta magnitud será soportada por dos elementos de tipo columna.

Por otro lado, los esfuerzos creados por el motor y caja reductora son obtenidos del catálogo del motorreductor elegido [74], de igual forma ubicados en su centro gravedad con un eje negativo en Y:

Masa del motor:

$$m_m = 9.74 \text{ kg}$$

Peso del motor:

$$W_m = m_m * g$$

$$W_m = 95.5494 \text{ N}$$

Masa del reductor:

$$m_r = 15.8 \text{ kg}$$

Peso del reductor:

$$W_r = m_r * g$$

$$W_a = 154.998 \text{ N}$$

Peso total del motorreductor:

$$W_{Tm} = 250.5474 \text{ N}$$

Es necesario tomar en cuenta que esta magnitud será soportada por dos elementos de tipo viga.

A partir de las fuerzas encontradas se debe realizar la solución del D.C.L de la estructura para de esta forma escoger un perfil en base al elemento más crítico. La solución de este sistema se da sobre la base de la figura 18.

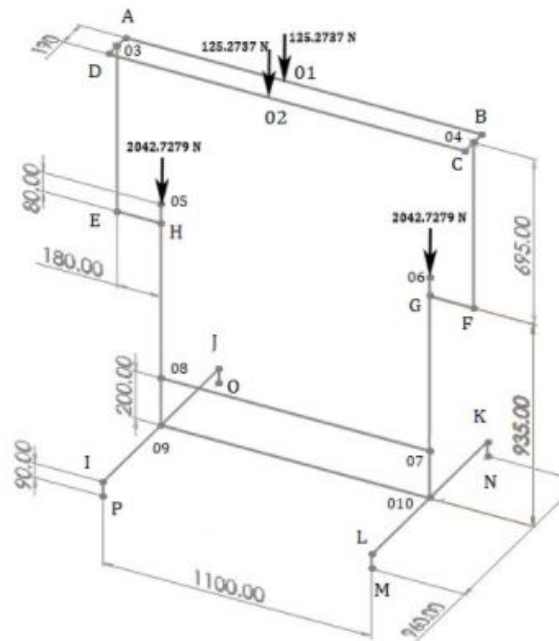


Figura 18. Esfuerzos ejercidos en la marmita.
Autores: Moreno A. y Proaño K.

Para la resolución de los elementos del D.C.L se utiliza las fórmulas estáticas de sumatoria de momentos y sumatoria de fuerzas:

$$\Sigma M = 0 \quad (34)$$

$$\Sigma F = 0 \quad (35)$$

Elemento A-B:

$$\Sigma M_A \curvearrowright = -M_{O1} + M_B = 0$$

$$R_B = \frac{125.2737N(730mm)}{1460mm}$$

$$R_B = 62.6368 N \uparrow$$

$$\Sigma F_y \uparrow = R_A - 125.2737 + R_B = 0$$

$$R_A = 62.6368 N \uparrow$$

Elemento C-D:

$$\Sigma M_D \curvearrowright = -M_{O2} + M_C = 0$$

$$R_C = \frac{125.2737N(730mm)}{1460mm}$$

$$R_C = 62.6368 N \uparrow$$

$$\Sigma F_y \uparrow = R_C - 125.2737 + R_D = 0$$

$$R_D = 62.6368 N \uparrow$$

Elemento A-D:

$$\Sigma F_y \uparrow = R_A - R_{O3} + R_D = 0$$

$$R_{O3} = 125.2737 N \downarrow$$

Elemento B-C:

$$\Sigma F_y \uparrow = R_B - R_{O4} + R_C = 0$$

$$R_{O4} = 125.2737 \text{ N } \downarrow$$

Elemento D-E:

$$R_E = 125.2737 \text{ N } \uparrow$$

Elemento C-F:

$$R_F = 125.2737 \text{ N } \uparrow$$

Elemento E-H:

$$\Sigma F_y \uparrow = -R_E + R_H = 0$$

$$R_H = 125.2737 \text{ N } \downarrow$$

Elemento F-G:

$$\Sigma F_y \uparrow = -R_G + R_F = 0$$

$$R_G = 125.2737 \text{ N } \downarrow$$

Elemento G-O10

$$R_{O10} = R_{O6} + R_G$$

$$R_{O10} = 2168.0016 \text{ N } \uparrow$$

Elemento H-O9

$$R_{O9} = R_{O5} + R_H$$

$$R_{O9} = 2168.0016 \text{ N } \uparrow$$

Elemento I-J

$$\Sigma M_I \curvearrowright = M_{O9} - M_J = 0$$

$$R_J = \frac{2168.0016 \text{ N}(480 \text{ mm})}{960 \text{ mm}}$$

$$R_J = 1084.0008 \text{ N } \downarrow$$

$$\Sigma F_y \uparrow = -R_I + 2168.0016 - R_J = 0$$

$$R_I = 1084.0008 \text{ N} \downarrow$$

Elemento K-L

$$\Sigma M_K \curvearrowright = M_{O_{10}} - M_L = 0$$

$$R_L = \frac{2168.0016 \text{ N}(480 \text{ mm})}{960 \text{ mm}}$$

$$R_L = 1084.0008 \text{ N} \downarrow$$

$$\Sigma F_y \uparrow = -R_K + 2168.0016 - R_L = 0$$

$$R_K = 1084.0008 \text{ N} \downarrow$$

Obteniendo:

$$R_M = R_N = R_O = R_P = 1084.0008 \text{ N} \uparrow$$

A partir de las fuerzas calculadas se obtiene que la mayor fuerza con una magnitud de 2168.0016 N es aplicada en los nodos O9 y O10 siendo estos los puntos críticos de la estructura para los cuales se define una soldadura TIG de filete a ambos lados utilizando un electrodo de tungsteno. Para esto es necesario dimensionar la garganta teórica, altura y longitud de filete aplicando las siguientes fórmulas [75]:

$$GT = \frac{F_{\text{máx}}}{R_t * l} \quad (36)$$

Donde:

$GT = \text{Garganta teórica del filete [mm]}$

$F_{\text{máx}} = \text{Fuerza máxima ejercida} = 2168.0016 \text{ [N]}$

$R_t = \text{Resistencia a tracción del electrodo} = 560 \text{ [Mpa]}$

$l = \text{Longitud del ancho del filete por perfil rectangular } 60 \times 40 \times 2 \text{ mm} = 40 \text{ [mm]}$

Obteniendo:

$$GT = 0.09678 \text{ mm}$$

Posterior al cálculo de la garganta teórica se analiza la altura del filete:

$$W = \frac{GT}{0.05071} \quad (37)$$

$$W = 1.90 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

Una vez diseñados todos los componentes de la marmita se realiza el bosquejo 3D mostrado en la figura 19, en el cual sus cotas, vistas y cortes se muestran en el Anexo 1.

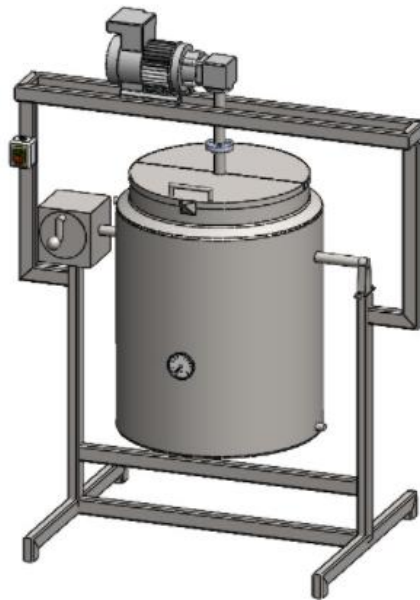


Figura 19. Bosquejo 3D de la marmita
Autores: Moreno A. y Proaño K.

2.7 Diseño del sistema de generación de calor

Existen diferentes fuentes de calor para la generación de energía térmica necesaria para calentar el producto a la temperatura determinada, las principales son: vapor, energía eléctrica o combustibles fósiles (GLP).

Para la fuente de energía el primer factor a considerar en su elección son los recursos energéticos disponibles en la comunidad, al no contar con una caldera junto con el elevado costo del kW/h se

elige al combustible debido a su fácil acceso. Además, el país con una subvención lo cual permite reducir costos maximizando la rentabilidad.

En el sistema de calentamiento para la fabricación de la marmita se seleccionó un quemador radial atmosférico a gas butano, cuyas principales ventajas son su elevado poder calorífico, simple montaje, fácil mantenimiento, estabilidad de combustión y escasez de retrocesos de llama para una combustión de elevado rendimiento, está fabricado en fundición de hierro para soportar elevadas temperaturas de trabajo y venturis de fundición de aluminio y al no requerir la entrada forzada de aire se reduce los costos de fabricación [76]. El quemador seleccionado es mostrado en la figura 20, este será colocado sobre una estructura móvil de tubo cuadrado de 20x20x2 mm con ángulos de 20x20x3 mm, para facilitar su traslado y limpieza.

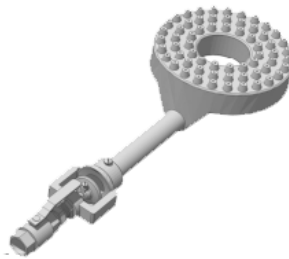


Figura 20. Quemador Radial Atmosférico.

Fuente: American Burners S.A. [77].

2.8 Análisis térmico

El análisis térmico del sistema está compuesto de una región cerrada. El límite del sistema encapsula una cantidad fija de masa conocido también como unidad de control. No existen flujos de masa que crucen la frontera. Por lo tanto, ninguna masa debe ser capaz de ingresar o salir del sistema.

El balance de energía aplicable en cualquier tipo de sistema se puede expresar mediante la siguiente ecuación.

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema} \quad (38)$$

En la obtención de la energía requerida se determinará el cambio de energía total en el sistema, dado que es un sistema cerrado, esta es la adición de todas las energías internas del sistema junto

con la energía cinética y energía potencial que dentro de este caso son omitidas debido a que no existen cambios de velocidad o elevación.

$$\Delta E_{sistema} = \Delta \mu_{sistema}$$

La variación de energía interna del sistema puede ser calculada por medio de la primera ley de la termodinámica.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (39)$$

2.8.1 Análisis de variación de energía interna

Considerando los datos de tabla 15, se realiza el cálculo de la energía interna para la marmita:

Tabla 15. Consideraciones para el análisis térmico.

Datos	Valor
Altura tanque	0.90 m
Diámetro tanque	0.6378 m
Tiempo de pasteurización	15 s
Temperatura agua	10 °C
Temperatura leche	15 °C
Temperatura en la cámara de vapor	150 °C

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

Datos del fluido de trabajo:

$$Volumen = 250 \text{ litros} = 0.25 \text{ m}^3$$

$$C_p = 4.02 \text{ kJ/kgK}$$

$$\rho = 1032 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (40)$$

$$m = 258 \text{ kg}$$

Datos de la chaqueta:

$$Temperatura \text{ en la cámara} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para obtener las propiedades termodinámicas en la camisa, se procede a la a la Tabla A-6 del libro Termodinámica de Çengel, para agua saturada [78].

$$\text{Entalpía del agua a } 75 \text{ }^{\circ}\text{C} = h_v = 632.18 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Entalpía del agua a } 15 \text{ }^{\circ}\text{C} = h_a = 62.982 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Volumen específico del agua} = v = 997 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\text{Volumen de la camisa} = 0.08649 \text{ m}^3$$

De acuerdo a los valores obtenidos, se calcula la masa de agua dentro de la camisa.

$$m_a = 86.2335 \text{ kg}$$

Las propiedades termodinámicas presentadas a continuación se determinan a partir del escrito de Transferencia de Calor y Masa de Çengel.

Cilindro Externo Chaqueta AISI 304, 2.5 mm de espesor:

$$C_p = 0.500 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}$$

$$MCil_{EXT} = 38.3705 \text{ kg}$$

Cilindro Interno Tanque AISI 304, 2 mm de espesor:

$$C_p = 0.500 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}$$

$$MCil_{INT} = 28.6910 \text{ kg}$$

Tapa AISI 304, 2 mm de espesor:

$$C_p = 0.500 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}$$

$$M_{tapa} = 5.1623 \text{ kg}$$

Para obtener la delta de energía interna se realiza la suma de todas las variables del sistema de control siendo:

$$\Delta E_{sistema} = [M \cdot Cp \cdot \Delta T]_{leche} + [M \cdot Cp \cdot \Delta T]_{tapa} + [M \cdot Cp \cdot \Delta T]_{cil.int} + [M \cdot Cp \cdot \Delta T]_{cil.ext} \\ + [M \cdot (h_v - h_a)]_{agua}$$

$$\Delta E_{sistema} = [\Delta T] \{ [M \cdot Cp]_{leche} + [M \cdot Cp]_{tapa} + [M \cdot Cp]_{cil.int} + [M \cdot Cp]_{cil.ext} \} \\ + [M \cdot (h_v - h_a)]_{agua}$$

$$\Delta E_{sistema} = [348 - 288 \text{ }^\circ K] \{ [258 \text{ kg} \cdot 4.02 \text{ kJ/kg}^\circ K]_{leche} \\ + [5.1632 \text{ kg} \cdot 0.500 \text{ kJ/kg}^\circ K]_{tapa} + [28.6910 \text{ kg} \cdot 0.500 \text{ kJ/kg}^\circ K]_{cil.int} \\ + [38.3705 \text{ kg} \cdot 0.500 \text{ kJ/kg}^\circ K]_{cil.ext} \} \\ + [86.2335 \text{ kg} \cdot (632.18 - 62.982 \text{ kJ/kg})]_{agua}$$

$$\Delta E_{sistema} = 113,480.2497 \text{ kJ} = 27,104.2919 \text{ kcal} = 31.5222 \text{ kWh}$$

2.8.2 Cálculo de transferencia de calor con los alrededores

Para cuantificar la energía que sale del sistema, se calcula las pérdidas de calor por medios naturales por parte de la superficie de la marmita y el fluido adyacente a ella.

Transferencia de calor por convección natural:

$$Tf = \frac{Ts + T^\infty}{2} \quad (41)$$

$$Tf = \frac{75 + 15}{2}$$

$$Tf = 45 \text{ }^\circ C$$

Las temperaturas del fluido se analizan con la temperatura de película, obtenidas de las propiedades de Transferencia de calor y masa del texto de Çengel [79].

$$k = 0.02699 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{ }^\circ K}$$

$$v = 1.750 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Cp = 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ K}$$

$$\rho = 1.109 \text{ kg/m}^3$$

$$Pr = 0.7241$$

Se procede a realizar los cálculos correspondientes empezando por el coeficiente de expansión volumétrica, para calcular el número de Rayleigh el cual permite establecer la transferencia de calor del fluido.

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (42)$$

$$\beta = 0.0222 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$Gr_l = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) \cdot L c^3}{\nu^2} \quad (43)$$

$$Gr_l = 1.939 \times 10^5$$

$$Ra_l = Gr_l \cdot Pr \quad (44)$$

$$Ra_l = 1.404 \times 10^5$$

Para determinar la convección natural por el número de Nusselt sobre superficies, un cilindro vertical puede tratarse como una placa siempre que su circunferencia cumpla la siguiente condición,

$$D \geq \frac{35L}{Gr_l^{\frac{1}{4}}} \quad (45)$$

$$0.6378 \geq 1.3$$

Al no cumplirse la relación, se procede a utilizar la ecuación desarrollada por medio del método integral de la correlación de Número de Nusselt para cilindro vertical resuelta por Sparrow, Gregg, Le Fevre y Ede [80].

$$Nu = \frac{4}{3} \left[\frac{7 \cdot Gr_l \cdot Pr}{5(20 + 21 \cdot Pr)} \right] + \frac{4(272 + 315 \cdot Pr)L}{35(64 + 63 \cdot Pr)D} \quad (46)$$

$$Nu = 7444.96$$

De esta manera, el coeficiente promedio de transferencia de calor sobre la superficie h , es:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (47)$$

$$h = 257.6147 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Antes de determinar la emisión de calor por convección natural, se evalúa el área de la sección transversal de la transferencia de calor con el diámetro:

$$A_s = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \quad (48)$$

$$A_s = 1.5628 \text{ m}^2$$

El calor perdido debido a la transferencia de calor con los alrededores del equipo se desarrolla por medio de la pérdida por convección:

$$Q_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (49)$$

$$Q_{conv} = 24156.015 \text{ W}$$

Para determinar las pérdidas de calor totales, se procede a calcular las pérdidas por radiación con los datos del acero inoxidable 304:

$$\varepsilon = 0.17$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m} \cdot \text{K}^4$$

Posteriormente se calcula las afectaciones de calor por radiación, con la siguiente formula:

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot A_s \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (50)$$

$$Q_{rad} = 117.294 \text{ W}$$

Por lo tanto, el calor total es:

$$Q_{total} = Q_{conv} + Q_{rad} \quad (51)$$

$$Q_{total} = 24273.30 \text{ W}$$

Para obtener la energía que sale en unidad de tiempo se multiplica por el tiempo de trabajo que la marmita requiere para el proceso de pasteurización, el cual se estima es 40 minutos.

$$E_{sale} = 24273,30 \frac{J}{s} \times 2400s$$

$$E_{sale} = 58255.92 \text{ kj} = 16.1822 \text{ kWh}$$

Al calcular la variación de energía y las pérdidas de energía que salen del sistema, la energía requerida para la pasteurización de 250 litros de leche es:

$$E_{entra} = 31.5222 \text{ kWh} + 16.1822 \text{ kWh}$$

$$E_{entra} = 47.7044 \text{ kWh}$$

Esta es la energía requerida para la pasteurización de 250 litros de leche dentro de la marmita, por lo que se elige un quemador radial de 2 puntos con una generación de calor de 45000 kcal/h.

CAPÍTULO III

3. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Los elementos a simular como la presión ejercida en el tanque, estructura y análisis térmico de la marmita serán analizados por medio del software especializado SolidWorks, para esto es necesario tener en cuenta las presiones, esfuerzos y cálculos varios obtenidos previamente mediante fórmulas de carácter ingenieril. Las simulaciones tienen como finalidad la verificación y respaldo de que la marmita y sus componentes cumplirán todas las consideraciones previstas.

El análisis por medio de elementos finitos realizado consiste en un método numérico para predecir el comportamiento de un objeto del mundo real, ante un conjunto de acciones tales como fuerzas, campos de temperatura, entre otros. Es basado en la discretización de una región continua, a través de una red de nodos conectados entre sí por medio de formas geométricas, de este modo las características del material junto con sus ecuaciones constitutivas son aplicadas en estos elementos según una serie de cargas y restricciones previamente aplicadas [81].

3.1 Análisis computacional de las fuerzas ejercidas en el tanque

El análisis en el tanque por esfuerzos se da por la presión hidrostática de la leche hacia las paredes del tanque, para esto se realiza un análisis estático examinando los esfuerzos verticales y horizontales de 3928.4608 N y 2522.9126 N aplicados sobre las paredes internas y el fondo del tanque respectivamente, considerando como material AISI 304 de 2 milímetros de espesor para las paredes del tanque y un espesor de 2.5 milímetros para su base.

En la simulación se brinda restricción de movimiento al filo circular del tanque unido a la base en el que se soldará un anillo de cierre, y es realizada por medio de una malla fina basada en curvatura de combinado.

3.1.1 Esfuerzos de Von Mises

En la figura 21 se exhibe la gráfica de tensiones ejercidas en el tanque por las fuerzas hidrostáticas, mostrando que los requerimientos cumplen la magnitud física proporcional a la energía de distorsión, presentando en el tanque un valor máximo de 68.249 MPa, mientras que el límite

elástico S_y del AISI 304 es de 206.807 MPa, es decir, no existirán fallos de tensión durante el funcionamiento del tanque de la marmita.

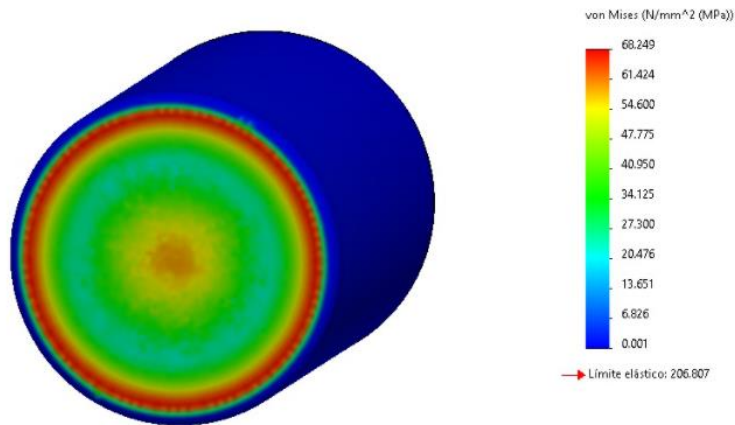


Figura 21. Simulación de esfuerzos de Von Mises en el tanque.
Autores. Moreno A y Proaño K.

3.1.2 Desplazamientos

La figura 22 es el resultado de la simulación de desplazamientos ejercidos por las cargas hidrostáticas, donde la mayor cantidad de magnitud se ejerce en el centro del fondo del tanque obteniendo un valor máximo de 3.7 milímetros, en el cual toda la fuerza de la leche se concentra de forma mayor en el punto central de su base. Considerando que el tanque tiene una altura de 900 y un diámetro de 637.8 milímetros la resultante de desplazamiento es mínima y no afectará a la estructura del depósito.

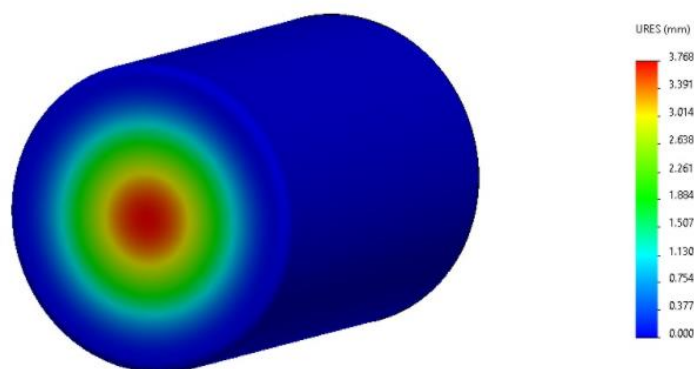


Figura 22. Simulación de desplazamientos en el tanque.
Autores. Moreno A y Proaño K.

3.1.3 Deformaciones unitarias

En cuanto al cambio de dimensión por unidad de longitud que se indica en la figura 23, se muestra que el depósito no tendrá un cambio representativo en cuanto a la longitud inicial del mismo presentando valores inferiores a 0.0001606 en cuanto de su deformación unitaria, representando un cumplimiento de valores por este parámetro.

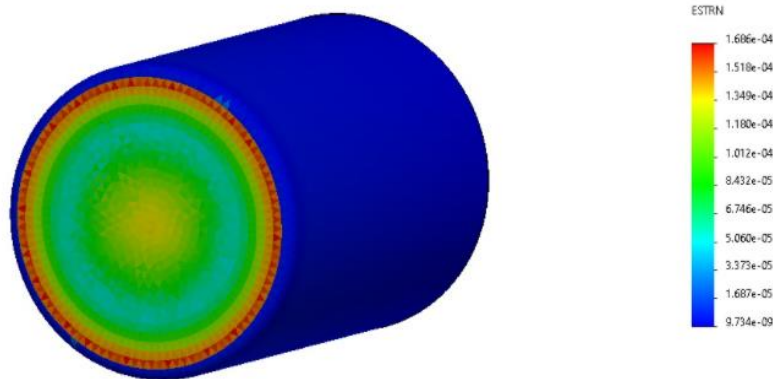


Figura 23. Simulación de deformaciones unitarias en el tanque.
Autores. Moreno A y Proaño K.

3.2 Simulación de esfuerzos en la estructura

Al efectuar esta simulación se realiza un análisis estático con restricción de movimiento en las bases de la estructura y con las fuerzas correspondientes al peso de la marmita y fluidos internos con total de magnitud de 4085.4556 N y los pesos relacionados con el motor y caja reductora con un total de 250.5474 N, estas cargas son distribuidas hacia la estructura de la marmita y se evalúa las tensiones ejercidas, desplazamiento ocasionado y factor de seguridad.

Para este análisis estático se utiliza una malla de 300 nodos y 284 elementos de tipo “beam mesh” para optimizar el recurso computacional.

3.2.1 Simulación de tensiones

La figura 24 demuestra los resultados obtenidos con respecto a la tensión axial y deflexión en límite superior, en el que se observa un valor máximo de 32.92 MPa en las juntas inferiores debido a las cargas colocadas. Sin embargo, esto no afecta de manera gradual a la estructura de la marmita

debido a que el límite elástico S_y del AISI 304 es de 206.81 MPa, indicando que no existirá fallo en la operación del equipo.

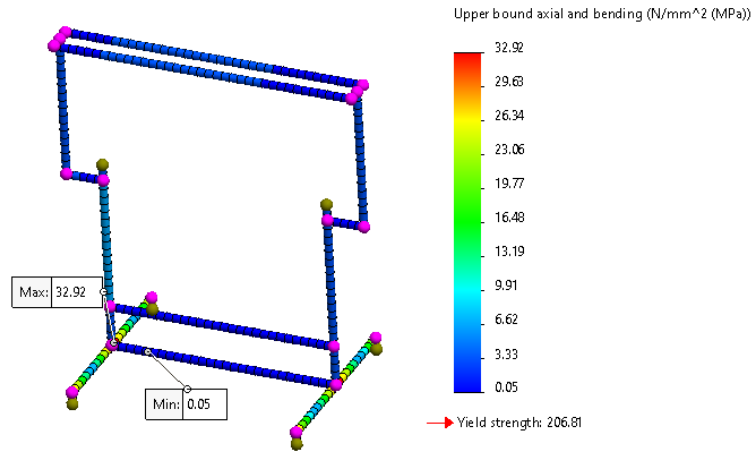


Figura 24. Simulación de la estructura por tensiones.
Autores. Moreno A y Proaño K.

3.2.2 Simulación de desplazamientos

En cuanto a los desplazamientos simulados mostrados en la figura 25 se observa que el desplazamiento máximo ejercido en la estructura es de 0.476 mm, en el lugar donde se coloca el motorreductor. A pesar de esto, el resultado obtenido es mínimo a comparación de la geometría de la viga en lo que se concluye que la estructura no sufrirá desplazamientos representativos para el falló de la misma.

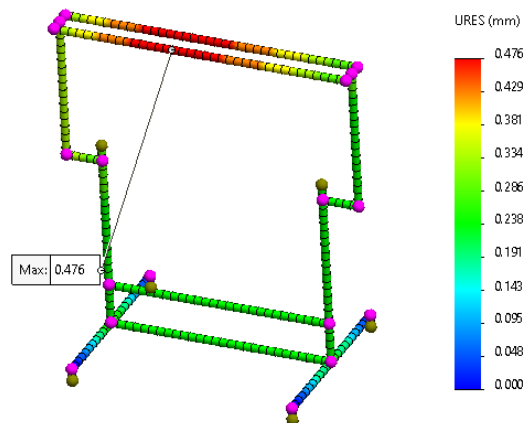


Figura 25. Simulación la estructura por desplazamiento.
Autores. Moreno A y Proaño K.

3.2.3 Simulación del factor de seguridad

La simulación mostrada en la figura 26 indica que la estructura tiene un valor mínimo de 6.28 de factor de seguridad en el lugar que se encuentra la tensión máxima, como es recomendable que el factor sea mayor o igual a 2 se puede concluir que en base a criterio mecánico esta estructura soportaría las cargas aplicadas.

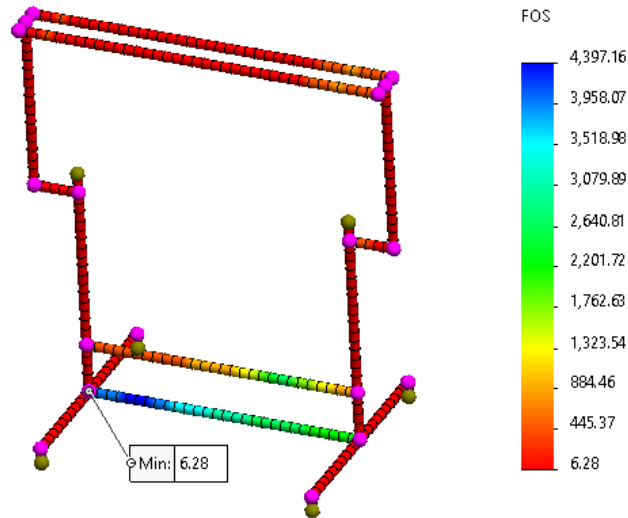


Figura 26. Simulación de factor de seguridad en la estructura.
Autores. Moreno A y Proaño K.

3.3 Simulación térmica de fluidos

Para realizar la simulación térmica de los fluidos internos del tanque (agua y leche) se inicia con una temperatura de 15°C donde se realiza la geometría del depósito con el agitador en su interior, a este elemento se le asigna una región de rotación de 90 rpm actuante en el eje z de coordenadas con una velocidad inicial de 0.1 m/s emulando de esta forma el giro ocasionado por el agitador. Además, se efectúa una generación de calor en un volumen controlado de 52335 W correspondiente al quemador seleccionado con capacidad de 45000 kcal/h. La simulación de la figura 27 es calculada dependiente del tiempo con un valor de 45 min.

El refinamiento de malla utilizado fue de un máximo de 1 generando un número de celdas en el fluido de 7493, número de celdas en el sólido de 6857 con un total de 14350 celdas. Con este tipo de refinamiento no se obtuvieron celdas irregulares ni celdas recortadas.

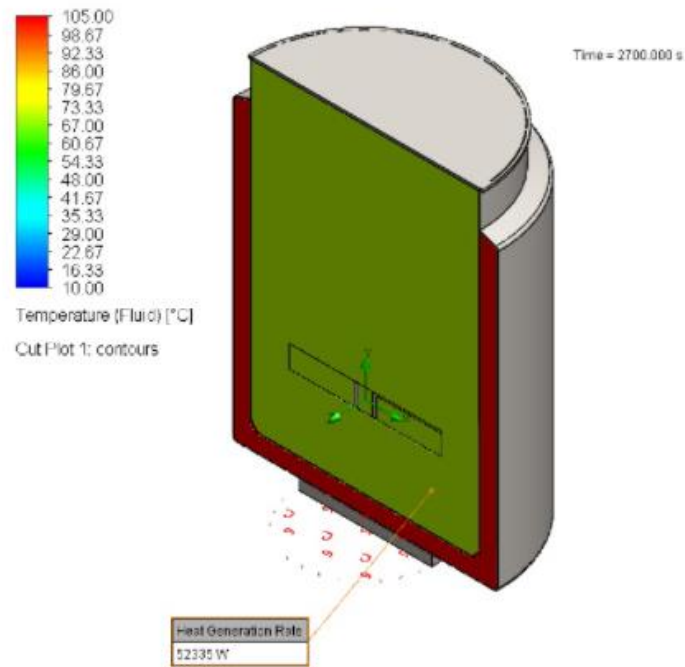


Figura 27. Simulación térmica de fluidos.
Autores. Moreno A y Proaño K.

Los resultados obtenidos muestran que existe una temperatura de 73.33 a 79.57 °C en el interior del tanque con leche, siendo el valor requerido para la pasteurización de 250 litros. Además, se observa que el agitador cumple con la función de mantener un equilibrio térmico entre el agua y la leche, representando un color uniforme en la gráfica.

Junto al calentamiento del fluido interno también se aprecia la función de la camisa de la marmita, donde el agua muestra una temperatura de hasta 105 °C indicando que existe un cambio de fase en este fluido.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE PRESUPUESTO

En el análisis de presupuesto es necesario considerar todos los costos involucrados para la propuesta tecnológica planteada, estos valores son divididos en costos directos e indirectos que llevará a cabo la elaboración de la marmita de 250 litros, en la cual se realizará un análisis de precios unitarios con todos los recursos económicos involucrados.

Los costos directos representados para la propuesta son:

- Costo de adquisición de materiales
- Costo de componentes normalizados
- Costos de mecanizado
- Costos de instalación

Los costos indirectos representados para la propuesta son:

- Materiales indirectos
- Transporte de materiales y personal técnico

4.1 Costos directos

Estos costos son todas las variables relacionadas de manera directa para la construcción de la propuesta.

4.1.1 Costo de adquisición de materiales

Los materiales a adquirir son todos productos primarios requeridos para la elaboración de la marmita, estos elementos son indicados en la tabla 16.

Tabla 16. Valores de los materiales a adquirir.

Ítem	Material	Características	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Plancha de AISI 304-N4	Espesor 2 mm	2.12	m ²	\$90.70	\$192.28
2	Plancha de AISI 304-N4	Espesor 3 mm	0.32	m ²	\$136.05	\$43.54
3	Plancha de AISI 304-N4	Espesor 2.5 mm	2.24	m ²	\$113.37	\$253.94
4	Tubo rectangular AISI 304	Dimensión 60x40x2 mm	11.16	m	\$22	\$245.52
5	Eje AISI 304	Diámetro 1 ½ plg	1.01	m	\$18	\$18.18
6	Plancha de AISI 304-N1	Espesor 5 mm	0.4	m ²	\$226.75	\$90.70
TOTAL						\$844.16

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

4.1.2 Costos de componentes normalizados

Estos componentes son los productos industriales a utilizar en la marmita mostrados en la tabla 17, son aquellos que tienen disponibilidad en el mercado con precios ya establecidos.

Tabla 17. Costos de componentes normalizados.

Ítem	Elemento	Características	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Válvula de bola Inox	Dimensión ½ plg	2	pto	\$40.00	\$80.00
2	Neplo flex SCH 40	½ plg x 200 mm	2	pto	\$14.86	\$29.72
3	Termopar digital	Tipo K 1300 °C	1	pto	\$24.95	\$24.95
4	Quemador industrial GLP	45000 kcal/h	1	pto	\$124.00	\$124.00
5	Centralina reguladora de gas	2 puntos	1	pto	\$90.50	\$90.50
6	Motor Eléctrico	Monofásico 0.5 HP de 110/220v	1	pto	\$114.68	\$114.68
7	Caja reductora	Ortogonal 1/64	1	pto	\$195.20	\$195.20
8	Sistema de volteo	Sinfín-corona	1	pto	\$250.00	\$250.00
9	Tornillos mariposa	66x30x13.2 mm	5	pto	\$6.75	\$33.75
10	Arandela de presión Inox	5/8 plg	21	pto	\$0.25	\$5.25
11	Perno hexagonal	3/8 x 1 ½ - 1 plg	21	pto	\$1.67	\$35.07
12	Tuerca hexagonal	3/8-1plg	21	pto	\$0.35	\$7.35
TOTAL						\$990.47

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

4.1.3 Costo de mecanizado

Los costos de mecanizado son los valores de un servicio de terceros donde implica la mano de obra y el valor de hora máquina con respecto al tiempo de duración de la operación por cada pieza. Estos precios son presentador en la tabla 18.

Tabla 18. Valores de mecanizado.

Ítem	Mecanizado	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Soldadura	55	hrs	\$6.25	\$343.75
2	Corte láser	25	hrs	\$10.00	\$250.00
3	Doblado y barolado	40	hrs	\$8.00	\$320.00
TOTAL					\$913.75

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

4.1.4 Costos de instalación

El montaje e instalación implica el valor de la mano de obra de los involucrados con respecto al tiempo de duración de la instalación y primera puesta en marcha del equipo. Estos valores son mostrados en la tabla 19.

Tabla 19. Costos de instalación.

Ítem	Personal	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Técnico	8	hrs	\$12.50	\$100.00
2	Ayudantes	16	hrs	\$8.00	\$128.00
3	Asesoramiento de carácter ingenieril	8	hrs	\$40.00	\$320.00
TOTAL					\$548.00

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

4.1.5 Total de costos directos

Estos valores son representados por la suma de los costos mostrados anteriormente, estos precios se observan en la tabla 20.

Tabla 20. Total de costos directos.

Ítem	Costo	Cantidad	Costo Total
1	Costo de adquisición de materiales	1	\$844.16
2	Costo de elementos normalizados	1	\$990.47
3	Costo de mecanizado	1	\$913.75
4	Costo de montaje e instalación	1	\$548.00
TOTAL			\$3296.38

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

4.2 Costos indirectos

Los costos indirectos presentados a continuación son los necesarios para ayudar a cumplir la finalidad de la propuesta tecnológica.

4.2.1 Costos de materiales indirectos

El valor representado por los materiales indirectos es mostrado en la tabla 21, siendo aquellos implementos que intervienen de manera indirecta en la producción del equipo.

Tabla 21. Costos de materiales indirectos.

Ítem	Elemento	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Lijas N° 80	5	pto	\$2.50	\$12.50
2	Grata circular trenzada	1	pto	\$6.25	\$6.25
3	Discos de corte 1 mm	5	pto	\$3.00	\$15.00
4	Discos de desbaste	8	pto	\$5.00	\$40.00
5	Gel decapante	1	pto	\$12.00	\$12.00
TOTAL					\$85.75

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

4.2.2 Transporte de materiales y personal técnico

Debido a la ubicación geográfica de la comunidad de Alaspungo y reducido comercio de materiales industriales, se hará uso de transporte para el traslado de los mismos, estos costos son mostrados en la tabla 22.

Tabla 22. Costos de transporte.

Ítem	Elemento	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Transporte de personal	4	pto	\$12.50	\$50.00
2	Transporte de materiales	5	hrs	\$22.00	\$110.00
TOTAL					\$160.00

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

4.2.3 Total de costos indirectos

Estos costos son representados por la suma valores mostrados anteriormente, estos precios se observan en la tabla 23.

Tabla 23. Total de costos indirectos.

Ítem	Costo	Cantidad	Costo Total
1	Costo de materiales indirectos	1	\$85.75
2	Costo de transporte	1	\$160.00
TOTAL			\$245.75

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

4.3 Valor total del equipo

En la tabla 24 se observan los valores correspondientes a las costos directos e indirectos para la marmita de 250 litros.

Tabla 24. Total de costos.

Ítem	Costo	Cantidad	Costo Total
1	Costos directos totales	1	\$3296.38
2	Costos indirectos totales	1	\$245.75
TOTAL			\$3542.13

Elaborado por: Moreno A. y Proaño K.

CONCLUSIONES

Las evaluaciones teóricas realizadas en la comunidad determinaron que los habitantes no cumplen con un proceso eficaz de pasteurización de leche en la producción de queso fresco, a partir de este suceso mediante un volumen conocido real de 250 litros y fórmulas geométricas se dimensiona una marmita con un tanque interno de capacidad de 287.5 litros de leche con un diámetro de 637.8 mm, altura de 900 mm y un espesor de pared de AISI 304 de 2 mm, junto con una chaqueta con capacidad de 90 litros para el fluido de calentamiento (agua) con diámetro de 739 mm, altura de 830 mm y un espesor de pared de AISI 304 de 2.5 mm.

La investigación de alternativas dio a conocer que la opción más viable para el equipo de pasteurización es una marmita cilíndrica con agitación de impulsor con palas planas inclinadas 10° accionado por un motorreductor ortogonal de ½ HP además, de un sistema de volteo de tornillo sin fin con módulo 3 mm.

Considerando los recursos energéticos de la comunidad se logró seleccionar la fuente de generación de calor para la pasteurización de 250 litros de leche otorgada por un quemador de GLP de 45.000 kcal/h con un diámetro de 370 mm. Asimismo, se tomó en cuenta para la selección del motorreductor un equipo monofásico de 110 voltios, que es la energía entregada por la red eléctrica pública.

A través de la simulación del tanque se logró determinar que las fuerzas hidrostáticas generadas por el fluido calculadas teóricamente, no afectan a los criterios de fallo. En la simulación estructural se verifica el punto crítico de las reacciones analizadas en el D.C.L de la estructura y se muestra que el perfil rectangular 60x40x2 es el adecuado para soportar las cargas establecidas. Asimismo, en la simulación de los termofluidos se comprobó que la leche llega alcanzar la temperatura deseada para la pasteurización de 75°C y el uso del agitador logra una distribución uniforme del calor.

RECOMENDACIONES

Al realizar las simulaciones computacionales de transferencia de calor, estudios de cargas estructurales o en su defecto cualquier análisis en SolidWorks, es recomendable asignar todos los valores de diseño cercano a los parámetros reales de operación, asegurando un estudio de respaldo del proceso deseado.

Para evitar el desborde de leche en el proceso de pasteurización y agitación, se sugiere el dimensionamiento del tanque con un factor de 0.15 al volumen de diseño real.

La utilización de AISI 304 en la gran mayoría del equipo y sus componentes son de gran relevancia para garantizar la inocuidad alimenticia y fácil mantenimiento y limpieza, a pesar de su costo elevado de adquisición.

Para mejorar la eficiencia térmica entre el fluido de la camisa y el fluido de tanque interno se recomienda un agitador de tipo palas inclinadas.

Se debe de considerar que en el tanque interno las pérdidas de calor deben tener valores mínimos, para esto se recomienda realizar el proceso con la tapa de la marmita completamente cerrada, respaldando una eficiente pasteurización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Canencia, «Plan estratégico de desarrollo turístico sostenible para la parroquia San Miguel de Nono, cantón Quito, provincia de Pichincha 2015-2020,» Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, 2015.
- [2] INEN, «Servicio Ecuatoriano de Normalización,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/9.pdf>. [Último acceso: 02 12 2021].
- [3] FAO, «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/bo952s/bo952s.pdf>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [4] E. C. Guaraca Pino y L. A. Guaraca Sigüencia, Guía técnica para la pasteurización de la leche, Tambo: VIGLAC, 2019.
- [5] S. Ramos, Interviewee, *Elaboración de queso fresco en la comunidad de Alaspungo*. [Entrevista]. 22 08 2021.
- [6] A. Cordón Orero, «Estudio del rendimiento quesero en una industria quesera comercial,» Universidad Politécnica de Valencia , Valencia, 2013.
- [7] E. Rodriguez Garcia, «Fundamentos de operación, mantenimiento y pruebas de equipos eléctricos en la industria,» Universidad Autónoma de Nuevo León , Nuevo León, 1996.
- [8] S. R. Phanindra Chitturi, E. Sharma y W. Elmenreich, «Efficiency of Photovoltaic Systems in Mountainous Areas,» *ENERGYCON*, pp. 1-5, 2018.
- [9] A. E. Sánchez Zumba, «Elaboración de un manual de operaciones para el proceso de fabricación de queso fresco de calidad en la empresa de AYCHAPICHO AGRO'S S.A.,» Escuela Politécnica Nacional , Quito , 2015.

- [10] C. Ramírez López y J. F. Vélez Ruiz, «Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad,» *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* , vol. 6, n° 2, pp. 131-148, 2012.
- [11] S. Nolla Ramírez y J. F. Vélez Ruiz , «Queso Oaxaca: panorama del proceso de elaboración, características fisicoquímicas y estudios recientes de un típico mexicano,» *Temas de Selectos de Ingeniería de Alimentos* , vol. 6, n° 1, pp. 1-12, 2012.
- [12] Servicio Ecuatoriano de Normalización, *Norma general para quesos frescos no madurados. Requisitos.*, Quito: NTE INEN 1528:2012, 2012.
- [13] N. Y. Farkye , B. B. Prasad, R. Rossi y O. R. Noyes, «Sensory and textural properties of queso blanco type chesse influenced by acid type,» *Journal of dairy science* , vol. 78, n° 8, pp. 1649-1656, 1995.
- [14] S. F. De Pedro, «Planta de elaboración de quesos frescos, madurados y fundidos,» Universidad Pública de Navarra , Pamplona, 2011.
- [15] FEDEGAN, «Federación Colombiana de Ganaderos,» [En línea]. Available: <https://www.fedegan.org.co/elaboracion-del-queso-industrial>. [Último acceso: 30 05 2017].
- [16] J. M. Zavala Pope , «ASPECTOS NUTRICIONALES Y TÉCNOLOGICOS DE LA LECHE,» Ministerio de Agricultura del Perú, Lima, 2005.
- [17] Servicio Ecuatoriano de Normalización , *Leche pasteurizada. Requisitos.*, Quito: NTE INEN 10:2012, 2012.
- [18] C. A. Ramírez S, «El Cuajo,» *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 5, n° 18, pp. 406-414, 1942.
- [19] NATUREN , «Chr. Hansen Holding A/S,» 07 2019. [En línea]. Available: <https://www.chr-hansen.com/es/food-cultures-and-enzymes/cheese/cards/product-cards/naturen>. [Último acceso: 11 06 2021].

- [20] Brinsa Química, «CLORURO DE CALCIO,» Bogotá, 2018.
- [21] J. S. Ramírez Navas, J. Aguirre Londoño, V. A. Aristizabal Ferreira y S. Castro Narváez, «La sal en el queso: diversas interacciones,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 28, n° 1, pp. 303-317, 2017.
- [22] FAO-PRODAR, «Procesado de lácteos,» Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Roma, 2014.
- [23] FAO-PRODAR, «Procesados de lácteos,» Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Roma, 2014.
- [24] I. Cenzano, Los quesos, Madrid: A. Madrid Vicente, 1992.
- [25] A. Revilla, Tecnología de la leche: Procesamiento, manufactura y análisis, México, D.F.: CIDIA , 1982.
- [26] G. J. Tortora , B. R. Funke y C. L. Case, Introducción a la microbiología, Madrid : Médica Panamericana , 2007.
- [27] A. M. Martínez y M. R. Rosenberger, «MODELADO NUMÉRICO DE PASTEURIZACIÓN ARTESANAL DE LECHE Y JUGOS NATURALES,» *Asociación Argentina de Mecánica Computacional* , vol. 32, pp. 2485-2501, 2013.
- [28] FAO, «Procesos para la elbaoración de productos lácteos,» Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Guatemala, C.A, 2011.
- [29] P. Walstra , T. J. Geurts, A. Noomen, A. Jellema y M. J. Van Boekel, Dairy Technology, New York : Marcel Dekker, 1999.
- [30] J. E. Guzmán Pérez, Elaboración de Quesos. Principios técnicos, Caracas: Espasande, 2006.
- [31] J. Amiot y R. O. Almudí, Ciencia y tecnología de la leche: principios y aplicaciones, Zaragoza: Acribia S.A., 1991.

- [32] P. Llangarí, «Tecnología para la elaboración de productos lácteos,» INIAP , Quito, 1991.
- [33] R. M. Fernandez Medina , Principios básicos para la fabricación de quesos, Madrid : Rivadeneyra S.A., 2002.
- [34] Gobierno de Chile , «PROGRAMA DE FORMACION PARA LA INNOVACION AGRARIA,» Tamel Aike, Coyhaique, 2002.
- [35] M. Jonson y K. Paulus, «La Operación del Salado del Queso,» *Mundo Lácteo y Cárnico* , pp. 14-16, 2005.
- [36] B. J. Sutherland, «Cheese: salting of cheese,» de *Encyclopedia of dairy sciences*, Oxford, Elsevier, 2002, pp. 293-300.
- [37] C. Alais, Ciencia de la leche, México, D.F.: Continental S.A., 1988.
- [38] I. J. Balseca Escudero y A. C. Perez Amores, «Proyecto para la producción y comercialización de producto lácteos en Alluriquín,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2008.
- [39] E. M. Arévalo Arévalo, «DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA Y pH Y SU RELACIÓN EN LA ACTIVIDAD MICROBIOLÓGICA DE QUESO QUE SE EXPENDE EN EL MERCADO CENTRAL DE MACHALA,» Universidad Técnica de Machala , Machala, 2014.
- [40] V. J. Manrique Moreno, «Desarrollo tecnológico e innovación en marmitas autogeneradoras de vapor como alternativa para promover sistemas de calentamiento descentralizado en aplicaciones de procesamiento de alimentos,» *Met&Flu*, pp. 50-59, 2015.
- [41] SkillTech, «SkillTech Inventa Transforma Emprende,» 2021. [En línea]. Available: <https://skilltech.mx/inicio/catalogo-de-productos/ciencias-fisico-matematicas/laboratorio/product/591-marmita-a-vapor>. [Último acceso: 13 09 2021].

- [42] A. E. Márquez Donis, «DISEÑO DE UNA MARMITA PARA LA FABRICACIÓN DE UNA EMULSIÓN ACEITE EN AGUA CON EXTRACTOS DE NEEM (*Azadirachta Indica*) Y ALOE VERA (*Aloe barbadensis*) PARA PROBLEMAS EN LA PIEL,» Universidad San Carlos de Guatemala , Guatemala, 2015.
- [43] CITRUS, «Citrus,» 2020. [En línea]. Available: <https://citrus.mx/producto/marmitas-a-vapor>. [Último acceso: 13 09 2021].
- [44] E. M. Chacaguasay Lobato y C. E. Picho Barrionuevo, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MARMITA CILÍNDRICA CON AGITADOR Y FONDO ESFÉRICO CON RANGO DE TEMPERATURA DE 70°C A 80°C PARA PRODUCCIÓN DE 50 LITROS DE ADEREZOS,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2016.
- [45] R. Jiménez Borgues , «Eficiencia energética en el uso del vapor para la cocción de alimentos,» *El Hombre y la Máquina* , n° 48, pp. 2-36, 2016.
- [46] A. Valiente Barderas , Ingeniería del calor, Ciudad de México: UNAM, 2013.
- [47] A. M. Heras Neri, «Diseño de Tanque de Agitación,» Fundación Universidad de las Américas Puebla, Puebla.
- [48] T. Kurniawan, «THE EFFECTS OF AGITATION ON THE PASTEURISATION PROCESS OF COW'S MILK AS ASSESSED ON THE CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ASPECTS,» Unika Soegijapranata Semarang, Semarang, 2019.
- [49] F. Kars-Jordan y P. Hiltunen , «Agitation Handbook,» KTH Industrial Engineering and Management, Stockholm, 2007.
- [50] V. Castillo Uribe , «DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS,» Universidad del Bío-Bío, Concepción, 2013.
- [51] E. D. García Larrea, «DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CAJA REDUCTORA DE VELOCIDAD 1,» Universidad Internacional SEK, Quito, 2016.

- [52] Rossi , «Reductores y motorreductores de sinfín,» Habasit Group , Reinach, 2017.
- [53] A. Romero y A. Jiménez, Guía de equipos básicos para el procesamiento agroindustrial rural, Bogotá: Convenio Andrés Bello, 2004.
- [54] J. E. Shigley y J. J. Uicker, Teoría de Mecanismos, México, D.F.: McGRAW-Hill, 1988.
- [55] INOXI MEXICO, «Inoxi México,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.inoximexico.com/producto/320/marmita-de-volteo-de-500-litros->. [Último acceso: 18 09 2021].
- [56] J. F. Arroyave Londoño, C. A. Romero Piedrahita y C. A. Montilla Montaña, «Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sinfín-corona,» *Scientia et Technica*, n° 52, pp. 204-210, 2012.
- [57] P. Chhabra and B. Van Hecke, "Nickel Institute," 06 05 2020. [Online]. Available: <https://nickelinstitute.org/blog/2020/may/food-safety-why-stainless-steel-is-a-vital-ingredient/>. [Accessed 06 11 2021].
- [58] B. Done, «Manufacturing Net,» 14 04 2016. [En línea]. Available: <https://www.manufacturing.net/operations/article/13163098/stainless-steel-in-food-manufacturing-grade-selection-and-care>. [Último acceso: 06 11 2021].
- [59] Dipac S.A., «Dipac Productos de Acero,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi>. [Último acceso: 06 11 2021].
- [60] K. Ávila Balaguera, R. Rodríguez Baracaldo y É. Espejo Mora, «Análisis del rolado en planchas de acero estructural de alta resistencia (S690QL),» *Ingenierías Universidad Medellín* , vol. 15, n° 28, pp. 71-82, 2015.
- [61] T. Kosa y R. P. Ney, Machining of Stainless Steels, Russell Township: ASM HANDBOOK , 1989.
- [62] P. J. Cunat, The welding of Stainless Steels, Luxembourg: Euro Inox, 2007.

- [63] P. K. Baghel y D. S. Nagesh, «Pulse TIG welding: Process, Automation and Control,» *Journal of Welding and Joining*, vol. 35, nº 1, pp. 43-48, 2016.
- [64] G. García P, «Un proceso general de diseño en Ingeniería Mecánica,» *Ingeniería e Investigación*, pp. 35-43, 1984.
- [65] ITEA, Acero Inoxidable, San Sebastián : Instituto Técnico de la Estructura del Acero, 2007.
- [66] D. A. Gamarra Yopez, «Determinación de los parámetro óptimos de la soldadura TIG, para tuberías de diámetro estándar de 1" y 4" con especificación técnica ASTM 270-TIPO 304 y evaluación por ensayos no destructivos,» Universidad Politécnica Salesiana , Quito , 2020.
- [67] A. Aro, «Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento,» Inglesa , 2011.
- [68] P. A. Godoy Lemus, «Evaluación de alternativas para la recuperación de calor en un reactor de surfactante en la industria de agroquímicos,» Universidad de San Carlos de Guatemala , Guatemala, 2003.
- [69] V. Castillo Uribe , «DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS,» Universidad del Bío-Bío, Concepción, 2013.
- [70] W. L. McCabe, J. C. Smith y P. Harriot, Operaciones unitarias en ingeniería química, México, D.F: McGraw-Hill, 2007.
- [71] P. O'shea, «Power Electronics,» 17 04 2017. [En línea]. Available: <https://www.powerelectronicsnews.com/motor-control-and-drivers-from-the-most-basic-to-highly-complex/>. [Último acceso: 28 11 2021].
- [72] R. Valenzuela, «Manufacturing Tomorrow,» As technology advances, we have seen a shift into using much finer pitch gearing., 09 2019. [En línea]. Available: <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2019/09/choosing-gears-best-suited-for-your-application/13954/>. [Último acceso: 10 2021].

- [73] H. Rodríguez Galbarro, «Inge. Mecánica,» 04 2020. [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>. [Último acceso: 21 01 2022].
- [74] PRODUCTOS METALÚRGICOS DEL ECUADOR S.A., «PROMESA,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.promesa.com.ec/producto/motor-trifasico-1800-rpm-weg-1-2-hp>. [Último acceso: 09 12 2021].
- [75] American Welding Society , Código de soldadura estructural-acero AWS D1.1-D1.1, Miami : AWS, 2015.
- [76] D. A. Espin Landivar y R. O. Méndez Lara, «Diseño de un quemador industrial de gas licuado de petróleo (GLP) para secado de maíz a razón de 8,5 toneladas por día instalado en el cantón Ventanas,» Universidad Politécnica Nacional, Quito , 2013.
- [77] American Burners S.A., «Quemadores Radiales Automáticos,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.rubcar-borghi.com.ar/assets/catradiales.pdf>. [Último acceso: 10 2021].
- [78] Y. A. Çengel y M. A. Boles, «Tablas de propiedades figuras y diagramas,» de *Termodinámica*, México D.F, McGraw-Hill, 2015, pp. 807-946.
- [79] Y. A. Çengel y A. J. Ghajar, «Tablas y diagramas de propiedades (Sistema Internacional),» de *Transferencia de calor y masa*, México D.F., McGraw-Hill, 2011, pp. 865-891.
- [80] S. S. Goodrich y W. R. Marcum, «Natural convection heat transfer and boundary layer transition for vertical heated cylinders,» *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 105, pp. 367-380, 2019.
- [81] A. Jiménez Ramírez , «Diseño y construcción de un chasis tipo carcass mediante el método de elementos finitos,» Universidad Carlos III de Madrid , Leganés, 2010.