



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PILOTO DE QUESO
DE LECHE DE VACA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Industrial

AUTOR: ALFONSO PATRICIO RUIZ TONATO

TUTOR: AUGUSTO VINICIO COQUE PAUCARIMA

Quito-Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Alfonso Patricio Ruiz Tonato con documento de identificación N° 1729044204; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 29 de enero de 2024

Atentamente,



Alfonso Patricio Ruiz Tonato

1729044204

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

Yo, Alfonso Patricio Ruiz Tonato con documento de identificación N.º 1729044204, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Diseño y simulación de una línea de producción piloto de queso de leche de vaca", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 29 de enero de 2024

Atentamente,



Alfonso Patricio Ruiz Tonato

1729044204

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Augusto Vinicio Coque Paucarima con documento de identificación N.° 1718688516, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PILOTO DE QUESO DE LECHE DE VACA, realizado por Alfonso Patricio Ruiz Tonato con documento de identificación N.° 1729044204, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de enero de 2024

Atentamente,



Ing. Augusto Vinicio Coque Paucarima, M.Sc.

Tutor de tesis

Dedicatoria

El presente Trabajo de Titulación lo dedico con gran amor a mi Virgen del Quinche a Dios que con sus bendiciones diaria llegue a lograr el éxito, y me guiaron por el camino de la excelencia desde mis tempranas edades para alcanzar mi mayor objetivo y mi sueño.

Abuelito Papi Mesías que desde el cielo me guías cumplimos este gran objetivo juntos y con sentimiento te lo entrego, en tus manos dejo mi vida profesional.

Dedico todo mi esfuerzo a mis Padres que, con sus palabras sabias, amor, paciencia que me dedicaron toda la vida, mediante su esfuerzo y trabajo duro consiguieron formarme como una gran persona, impulsándome siempre a conseguir mis objetivos, dándome la mano en momentos difíciles, y sobre todo dándome la mayor alegría de mi vida. Hermano todo mi esfuerzo y dedicación es gracias a ti, sin ti nada de esto fuera posible desde que llegaste a nuestras vidas me diste el impulso que me faltaba para lograr grandes cosas y ahora que logre mi más anhelado y esperado objetivo de vida te lo dedico a ti y a toda mi familia que con su granito de arena me formaron como gran persona y profesional.

Agradecimientos

Gracias, mi Universidad Politécnica Salesiana, por darme los mejores momentos de mi etapa estudiantil que abarcaron risas, lagrimas, alegrías, decepciones, éxitos, metas cumplidas, grandes amigos, gracias por entregarme una educación de primera con profesionales sumamente bien preparados. El nombre de la Universidad lo llevare siempre en mi corazón y prometo representar de la mejor manera como profesional a la grandísima Universidad Politécnica Salesiana y sacar su nombre en alto.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Industrial, especialmente al Ingeniero Vinicio Coque que, con su paciencia, tiempo, y conocimientos me supo ayudar y guiarme de la mejor manera en la gestión del Proyecto de Titulación.

Muchas gracias, Virgen del Quinche, Dios por darme la vida para lograr este sueño, Padres, hermano y familia viviré toda la vida agradecidos con ustedes por darme la oportunidad y el amor que necesito para ser un gran profesional.

Indicé de contenido

Introducción	1
Antecedentes	1
Problema	1
Justificación	2
Objetivos	2
Objetivo general	2
Metodología	2
Capítulo I. Marco Teórico	3
1.1. Definición de leche	3
1.2. Producción de leche en Ecuador	3
1.3. Producción de productos lácteos en Pichincha	5
1.4. Queso fresco a base de leche de vaca	6
1.5. Normativa INEN 1528 (2012) elaboración de queso fresco	6
1.6. Producción de queso a base de leche de vaca	7
1.7. Diseño de equipos	10
1.7.1. Tanque de almacenamiento	10
1.7.1.1. Normativa CPE INEN 007:1983 diseño de tanque de almacenamiento	11
1.7.1.2. Ecuaciones longitudinales internas del tanque de almacenamiento.....	12
1.7.1.3. Ecuaciones longitudinales externas del tanque de almacenamiento.....	14
1.7.1.4. Bosquejo del tanque de almacenamiento y sus partes	16
1.7.2. Equipo de pasteurización tipo VAT	17
1.7.2.1. Diseño de equipo de pasteurización	17
1.7.2.2. Normativa ASME VIII diseño de equipo de pasteurización	17
1.7.2.3. Ecuaciones longitudinales internas del equipo de pasteurización	18
1.7.2.4. Ecuaciones longitudinales externas del equipo de pasteurización	20
1.7.2.5. Bosquejo de equipo de pasteurización	22
1.7.2.6. Componentes adicionales para el equipo de pasteurización	23
1.7.3. Equipo para corte de cuajada y desuerado	25
1.7.3.1. Ecuaciones longitudinales internas del equipo de corte de cuajada y	
desuerado.....	25

1.7.3.2. Ecuaciones longitudinales externas del equipo de corte de cuajada y desuerado.....	28
1.7.3.3. Bosquejo de equipo de corte de cuajada y desuerado	30
1.7.3.4. Bosquejo de lira para corte de cuajada	30
1.7.3.5. Ecuaciones longitudinales para la lira de corte de cuajada	31
1.8. Acero inoxidable austenítico 304	32
1.9. Software de simulación de procesos	33
Capítulo II. Modelo experimental	34
2.1. Diseño del tanque de almacenamiento de leche	34
2.1.1. Parámetros basados en la normativa CPE INEN 007:1983	34
2.1.2. Cálculos para el diseño interno del tanque de almacenamiento	35
2.1.3. Aislante térmico para el tanque de almacenamiento	37
2.1.4. Cálculos para el diseño externo del tanque de almacenamiento	38
2.1.5. Diseño final del tanque de almacenamiento	40
2.1.6. Parámetros basados en la normativa CPE INEN 007:1983 para tuberías.....	41
2.2. Diseño del equipo de pasteurización	42
2.2.1. Cálculos para el diseño interno del equipo de pasteurización	42
2.2.2. Cálculos para el diseño externo del equipo de pasteurización	45
2.2.3. Diseño final del equipo de pasteurización	47
2.2.4. Parámetros basados en la normativa CPE INEN 007:1983 para tuberías	49
2.2.5. Parámetros de manómetro y válvula de alivio de presión	49
2.3. Diseño del equipo de corte de cuajada y desuerado	50
2.3.1. Cálculos para el diseño interno del equipo de corte de cuajada y desuerado ...	50
2.3.2. Cálculos para el diseño externo del equipo de corte de cuajada y desuerado ...	53
2.3.3. Diseño final del equipo de corte de cuajada y desuerado	55
2.3.4. Diseño de liras para el corte de cuajada	56
2.3.5. Cálculos para el diseño de lira para el corte de cuajada	57
2.3.6. Diseño final de la lira para el corte de cuajada	58
Capítulo III. Resultados.....	59
3.1. Distribución de la línea de producción de quesos	59
3.2. Simulación de la línea de producción	61
3.2.1. Proceso de almacenamiento de leche en el simulador	61

3.2.2. Cálculo de tiempo del sistema de tubería del tanque de almacenamiento	61
3.2.3. Proceso de pasteurización de leche en el simulador	62
3.2.4. Cálculo de tiempo del sistema de tubería del equipo de pasteurización	62
3.2.5. Proceso de corte de cuajada y desuerado en el simulador	62
3.2.6. Cálculo de tiempo del sistema de tubería del equipo de corte de cuajada y desuerado.....	63
3.2.7. Proceso de moldeado en el simulador	63
3.2.8. Proceso de reposo del moldeado en el simulador	63
3.2.9. Proceso de desmolde y empaque del queso en el simulador	64
3.2.10. Almacenamiento del producto terminado en el simulador	64
3.3. Análisis de los resultados obtenidos en la simulación de la línea de producción	65
3.4. Diseño final de la simulación de la línea de producción de quesos	69
Conclusiones	70
Recomendaciones	72
Referencias Bibliográficas	73
Anexos	76

Indicé de tablas

Tabla 1. <i>Provincias con mayor producción de litros d leche en Ecuador</i>	4
Tabla 2. <i>Análisis de calidad de la leche de vaca</i>	6
Tabla 3. <i>Requisitos para la humedad de queso fresco</i>	7
Tabla 4. <i>Requisitos para la grasa en el extracto seco</i>	7
Tabla 5. <i>Códigos para modelos de manómetros y sus rangos de presión</i>	24
Tabla 6. <i>Rangos de temperatura para equipos de fabricación de queso</i>	32
Tabla 7. <i>Parámetros dimensionales CPE INEN 007:1983 tanque de almacenamiento..</i>	34
Tabla 8. <i>Parámetros para diseñar las tuberías</i>	41
Tabla 9. <i>Parámetros específicos para el diseño de equipo de pasteurización</i>	42
Tabla10. <i>Parámetros para conexiones de tuberías de cobre</i>	49

Tabla 11. <i>Especificaciones para los componentes del equipo de pasteurización</i>	49
Tabla 12. <i>Especificaciones para el diseño del equipo de corte de cuajada y desuerado.</i>	50
Tabla 13. <i>Parámetros establecidos para el diseño de lira</i>	56
Tabla 14. <i>Tipos y representación del diagrama de relaciones</i>	59
Tabla 15. <i>Tipos y representación del diagrama de relaciones</i>	59
Tabla 16. <i>Valorización de interacciones de la línea de producción</i>	60

Indicé de figuras

Figura 1. <i>Evolución de precios de litro de leche en Ecuador del 2018 al 2022</i>	1
Figura 2. <i>Porcentajes de distribución de leche en Ecuador</i>	2
Figura 3. <i>Principios para la producción de queso artesanal a base de leche de vaca ...</i>	8
Figura 4. <i>Flujograma de los principios para la producción de queso artesanal a base de leche de vaca</i>	9
Figura 5. <i>Definición de los tipos de tanques de almacenamiento</i>	10
Figura 6. <i>Definición de las clases de tanques de almacenamiento</i>	11
Figura 7. <i>Bosquejo de tanque de almacenamiento</i>	16
Figura 8. <i>Bosquejo de equipo de pasteurización</i>	22
Figura 9. <i>Manómetro de glicerina</i>	23
Figura 10. <i>Válvula de alivio de precisión</i>	24
Figura 11. <i>Bosquejo de equipo de desuerado</i>	30
Figura 12. <i>Bosquejo de lira para corte de cuajada.....</i>	30
Figura 13. <i>Dimensiones de las tapas y área internas del tanque</i>	37
Figura 14. <i>Poliuretano como aislante térmico entre las paredes del tanque de almacenamiento</i>	37
Figura 15. <i>Dimensiones de las tapas y área externa del tanque</i>	39
Figura 16. <i>Diseño final del tanque de almacenamiento</i>	40
Figura 17. <i>Diseño final del tanque de almacenamiento</i>	41
Figura 18. <i>Dimensiones de las tapas y área internas del tanque</i>	44
Figura 19. <i>Dimensiones de las tapas y área externa del tanque</i>	46

Figura 20. <i>Diseño de equipo de pasteurización</i>	47
Figura 21. <i>Diseño de equipo de pasteurización</i>	48
Figura 22. <i>Diseño de equipo de pasteurización</i>	48
Figura 23. <i>Dimensiones de las tapas y área internas del tanque</i>	52
Figura 24. <i>Dimensiones de las tapas y área externa del tanque</i>	54
Figura 25. <i>Diseño de equipo de corte de cuajada y desuerado</i>	55
Figura 26. <i>Diseño de equipo de corte de cuajada y desuerado</i>	56
Figura 27. <i>Diseño de lira para corte de cuajada</i>	58
Figura 28. <i>Diagrama de relaciones de la línea de producción de quesos</i>	60
Figura 29. <i>Relación entre procesos dentro de la línea de producción</i>	61
Figura 30. <i>Contenido mínimo y máximo de equipos por producción</i>	65
Figura 31. <i>Tiempo de funcionamiento diario de los equipos</i>	66
Figura 32. <i>Tiempo de funcionamiento diario de los equipos</i>	66
Figura 33. <i>Cursograma de tiempos dentro de la línea de producción</i>	67
Figura 34. <i>Cronometraje de tiempos del lote 1 y 2 de producción</i>	68
Figura 35. <i>Cronometraje de tiempos del lote 3 y 4 de producción</i>	68
Figura 36. <i>Simulación de línea de producción de quesos</i>	69
Figura 37. <i>Simulación de línea de producción de quesos</i>	69

Resumen

En los últimos años a nivel nacional la producción de leche incremento por la alta demanda de sus derivados como: yogurt, leche en polvo, leche de cartón, queso, entre otros, de tal manera que productores artesanales optan por la industrialización y automatización de sus procesos para generar una mayor productividad con mayores ganancias y entrando al mercado nacional e internacional.

Con el presente proyecto se investigó de manera exhaustiva el comportamiento de la producción de leche y sus derivados, determinando la factibilidad de emplear una línea de producción en la Sierra Ecuatoriana, adoptando normativas que establecen parámetros longitudinales específicos para el correcto diseño de los equipos necesarios para la producción de quesos.

Se diseño cada uno de los equipos de la línea de producción abarcando parámetros establecidos por la normativa y cumpliendo con la capacidad de producción diaria. Con la ayuda de un software de simulación se simulo cada uno de los equipos y el comportamiento de la línea de producción en general, obteniendo un análisis de resultados de tiempos verificando la factibilidad de producción deseada diaria, detallando un horario de tiempos establecidos dentro de la línea de producción y los operadores necesarios para efectuar el trabajo diario, llevando un control adecuado de tiempos de producción y de cantidad de producto a elaborar.

Abstract

In recent years at the national level, milk production has increased due to the high demand for its derivatives such as: yogurt, powdered milk, cardboard milk, cheese, among others, in such a way that artisanal producers opt for the industrialization and automation of their processes to generate greater productivity with greater profits and entering the national market and international.

With this project, the behavior of the production of milk and its derivatives was thoroughly investigated, determining the feasibility of using a production line in the Ecuadorian Sierra, adopting regulations that establish specific longitudinal parameters for the correct design of the equipment necessary for the production of cheeses.

Each of the equipment of the production line was designed covering parameters established by the regulations and complying with the daily production capacity. With the help of a simulation software, each of the equipment and the behavior of the production line in general was simulated, obtaining an analysis of time results verifying the feasibility of desired daily production, detailing a schedule of times established within the production line and the operators necessary to carry out the daily work, taking an adequate control of production times and the quantity of product to be elaborated.

Introducción

Antecedentes

Las estadísticas sobre el nivel de producción de leche indica que el 17 % de leche cruda extraída de las ganaderas del país son utilizadas para la elaboración de queso artesanal, siendo el queso una actividad importante en la industria alimentaria de Ecuador, el país cuenta con una variedad de quesos regionales, como queso fresco, queso duro, queso rallado, queso de hoja, queso de cabeza, queso ahumado, entre otros. La leche utilizada para producir quesos en Ecuador proviene principalmente de vacas, pero también se utiliza la leche obtenida de oveja y cabra en algunas regiones. La mayoría de producción de queso en Ecuador es efectuada en pequeñas y medianas empresas que se dedican a la producción artesanal de queso [1].

En el Ecuador el consumo de queso anual por persona se estima en valores de 5,2 kg los cuales se dividen en valores de 4,5 kg de queso fresco y 0,7 kg de queso tipo maduro, estimando que el ecuatoriano consume 14 gr de queso diarios, una familia promedio en Ecuador conformada por 5 miembros consumirá 70 gr diarios de queso un aproximado de 500 gr semanales. Lo que significa que una familia promedio en Ecuador consume 500 gr netos de queso semanal [1].

Problema

La elaboración y producción de queso hoy en día es muy común, en sectores ganaderos ya que se genera una gran demanda y de esta manera también crece el mercado, teniendo en cuenta que muchos productores no implementan métodos automatizados en procesos, es decir utilizan utensilios caseros. Al no utilizar métodos mecanizados en las etapas iniciales dentro de una línea de producción los fabricantes no generan un orden y un control de tiempo de cada uno de los procesos, de esta manera es difícil encontrar formas que impulsen al negocio, orientarse hacia la mejora continua y su crecimiento a largo plazo.

En la actualidad al trabajar en producción de alimentos como el queso también se debe cuidar el factor de la higiene del producto para lo cual es indispensable tener un sistema de pasteurización para el control de dichos factores de salubridad.

Justificación

La implementación de métodos automatizados en etapas iniciales del proceso de elaboración de queso puede llevar a cabo un mejor manejo de la materia prima.

Poniendo en marcha una línea de producción que conste de procesos iniciales automatizados, se tendrá un mayor número de producción y de esta manera ser una competencia en el mercado, además, se podrá conocer valores exactos de cuantos quesos se producirán diarios, de esta manera el negocio podrá generar una administración y financiamiento adecuado.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar y simular una línea de producción piloto de queso de leche de vaca.

Objetivos específicos

- Recopilar información relacionada con la elaboración de queso mediante investigación bibliografía que sustente teóricamente la investigación.
- Diseñar y simular de una línea de producción de queso, mediante la aplicación de un software para determinar la eficacia y eficiencia de la implementación de procesos automatizados.
- Analizar los resultados obtenidos mediante la aplicación de análisis industriales para garantizar la sostenibilidad de una línea de producción de quesos.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto es necesario aplicar la metodología diseño y simulación de los procesos iniciales de una línea de producción automatizada de quesos. Este es un diseño experimental que permite monitorear las variables de entrada y salida relevantes, además de aplicar metodología de análisis industriales para determinar si los procesos se enfocan en la eficacia y eficiencia para la producción de queso.

CAPÍTULO I

Marco Teórico

1.1 Definición de leche

La leche de vaca hoy en día es un alimento que prefieren muchas familias en el hogar, representa una gran demanda ya que contiene componentes nutricionales y es un alimento indispensable en la dieta de ancianos, niños, enfermos y de toda la población mundial. Los humanos en sus etapas iniciales de vida dependen indispensablemente de la leche y el hombre lo ha integrado en su dieta diaria, de esta manera obteniendo diferentes derivados como el queso, mantequillas y yogurt entre otros siendo estos los más reconocidos y con mayor demanda. La industrialización ahora crece para obtener diferentes derivados de la leche ideales para la nutrición diaria de las personas. La leche por su valor nutricional y por ser un alimento completo puede desatar el crecimiento de diferentes macroorganismos que si son ingeridos por el ser humano puede representar un gran riesgo para su salud. La leche, como puede ser un alimento nutricional, puede ser portador de enfermedades que pueden afectar a quien consuma el producto, si no se llevan controles de calidad en los procesos de industrialización que parten en granjas y culminan en el consumidor final [2].

1.2 Producción de leche en Ecuador

“La industria lechera ecuatoriana en los últimos años ha crecido significativamente, ya que enfocándonos en las cifras de la Asociación de Ganaderos de la Sierra y Oriente (AGSO), la producción del país diariamente es de 5,5 millones de litros de leche los cuales 77 % proviene de la sierra. De 4,5 millones de cabezas de ganado existentes, de las que 960.000 son productoras de leche. Además, se considera que hay 298.000 productores de leche, lo que representa el 70 % a nivel nacional entre campesinos grandes y medianos, el 75 % están en la sierra centro. Según con la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) en el 2016, efectuadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, indica que la provincia de Pichincha representa el 15,90 % de la producción de leche nacional destinada a ser comercializada” [3].

En la Tabla 1 se presenta las provincias con mayor producción de litros de leche a nivel nacional en Ecuador y su producción en el año 2021-2022.

Tabla 1: Provincias con mayor producción de litros d leche en Ecuador [4].

Año	Provincia	No. De vacas ordeñadas	Producción de litros de leche.
2021-2022	Pichincha	90.971	1.025.458
	Azuay	102.777	777,142
	Manabí	159.063	617.624
	Cotopaxi	70.916	599.506
	Chimborazo	79.316	533.810
	Otras Provincias	343.671	2.145.507

En la Figura 1 se presenta el precio al productor por cada litro de leche a nivel nacional en Ecuador en el año 2022

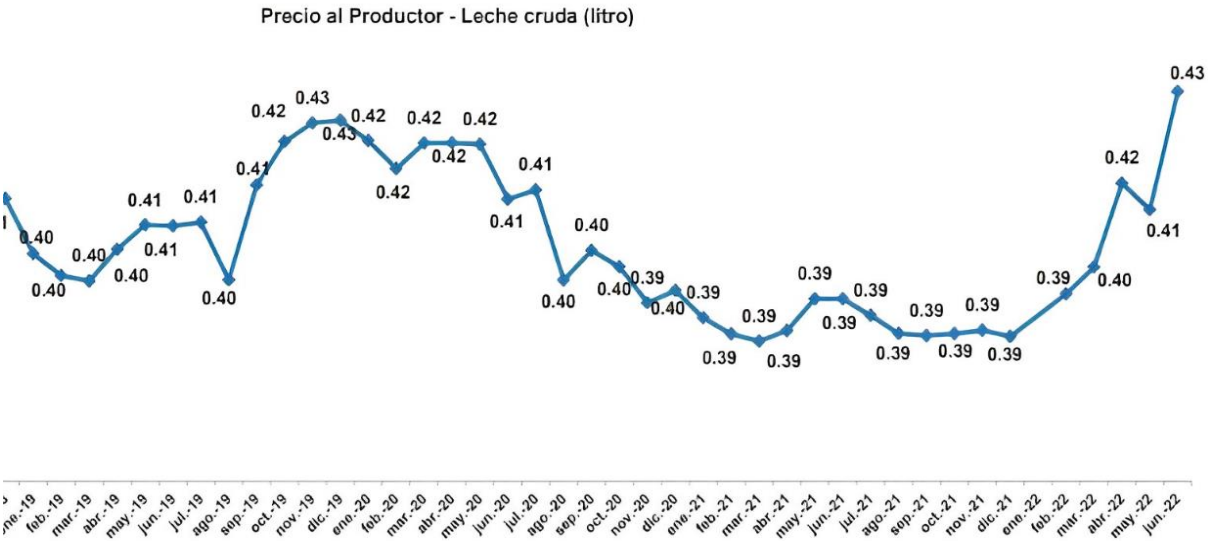


Figura 1: Evolución de precios de litro de leche en Ecuador del 2018 al 2022 [4].

Las estadísticas del Centro de Industrias Lácteas corroboran que con el 31 % de distribución de leche a nivel de Ecuador es destinada para la producción de queso seguida con el 27 % el procesamiento de leche en funda, el 20 % elaboración de leche en cartón, 11 % transformar leche en polvo, el 10 % para fabricar yogurt y con el 1 % producción de otros productos lácteos [5].

En la Figura 2 se indica la distribución de leche en Ecuador para la producción de distintos productos:

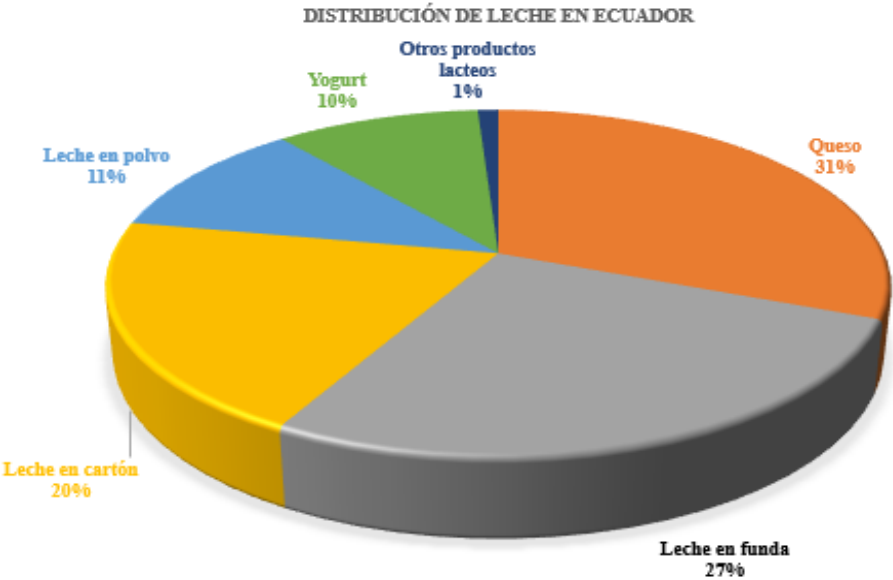


Figura 2: Porcentajes de distribución de leche en Ecuador [5].

1.3. Producción de productos lácteos en Pichincha

Se considera que en la región Sierra es la principal provincia a nivel nacional que produce derivados a partir de la leche de vaca, representando el 90% de las industrias de este tipo abarcando un porcentaje más grande la zona centro norte. La provincia de Pichincha contiene 8 cantones en los que todos son productores de leche, siendo así los sectores con más producción en Ecuador. Considerando el tercer Censo Nacional Agropecuario indica que Cayambe domina en la producción de floricultura y ganadería. El Cantón Cayambe tiene la capacidad abastecer

con suficiente leche para la producción de manjar, yogurt y queso. Hay 106 fincas que abarcan unos 8 mil 212 animales, esta cantidad varia continuamente [6].

1.4 Queso fresco a base de leche de vaca

La palabra queso indica la elaboración de un producto madurado o fresco que se adquiere mediante un proceso de separar el suero de la leche con la parte solida de la misma denominada cuajo el cual es indispensable para la elaboración del queso, esto se consigue mediante el proceso de coagulación de la leche que consiste en colocar enzimas específicas, bacterias adecuadas, ácidos orgánicos, todos estos componentes específicos deben ser aptos para el consumo humano, adicional agregando sustancias alimenticias, especias, condimentos, aditivos, colorantes vegetales y sustancias aromatizadas [7].

1.5 Normativa INEN 1528 (2012) elaboración de queso fresco

La normativa 1528 (2012) nos indica que el queso fresco o queso blanco se caracteriza de otros tipos de queso ya que este no tiene que someterse a un proceso de maduración, escaldado, considerando que la leche es el componente principal la misma debe pasar por un proceso de coagulación mediante ácidos orgánicos o enzimas, sin cultivos lácticos [8].

En la Tabla 2, Tabla3 y Tabla 4 se presenta el respectivo análisis de calidad para la leche de vaca antes de su almacenamiento:

Tabla 2: Análisis de calidad de la leche de vaca [8].

Detalle	Medida
Acidez	16 ° – 18 ° D
Densidad	1,028-1.033 g/ml
Grasas	3-4 %
Solidos Totales	11-13 %

Tabla 3: Requisitos para la humedad de queso fresco [8].

Requisitos	N.º	Tipo de queso	Min [%]	Max [%]	Método de ensayo
Humedad	1	Queso fresco común	--	65	INEN 63
	2	Queso fresco extra-húmedo	>65	80	INEN 63

Tabla 4: Requisitos para la grasa en el extracto seco [8].

Requisitos	N.º	Tipos de queso	Min [%]	Max [%]	Método de ensayo
Grasas en el extracto seco	1	Ricos en grasa	>60		INEN 64
	2	Grasos	>45	60	INEN 64
	3	Semi grasos	>25	45	INEN 64
	4	Pobres en grasas	>10	25	INEN 64
	5	Desnatados	--	10	INEN 64

1.6 Producción de queso a base de leche de vaca

Durante siglos la producción de queso se ha elaborado de forma artesanal tanto en países desarrollados como subdesarrollados estos procedimientos artesanales se los lleva elaborando hasta la actualidad cumpliendo una respectiva inocuidad esto mediante normativas y regulaciones basadas en seguridad alimentaria y el empleo de maquinaria o equipos que faciliten su cumplimiento.

El queso debido a su alta demanda a nivel mundial ha producido un gran impacto en las industrias que se dedican a su producción por ello han implementado tecnología moderna en el

cual contiene procesos muy mecanizados, automatizados todo esto para garantizar el cumplimiento de la demanda y un procesamiento higiénico [9].

A continuación, en la Figura 3 se describe las áreas principales e iniciales que se llevan a cabo en la fabricación de queso tanto artesanal como industrial siendo de esta manera principios y definiciones esenciales para un correcto conocimiento sobre producción de quesos y su secuencia en dentro de una línea de producción:

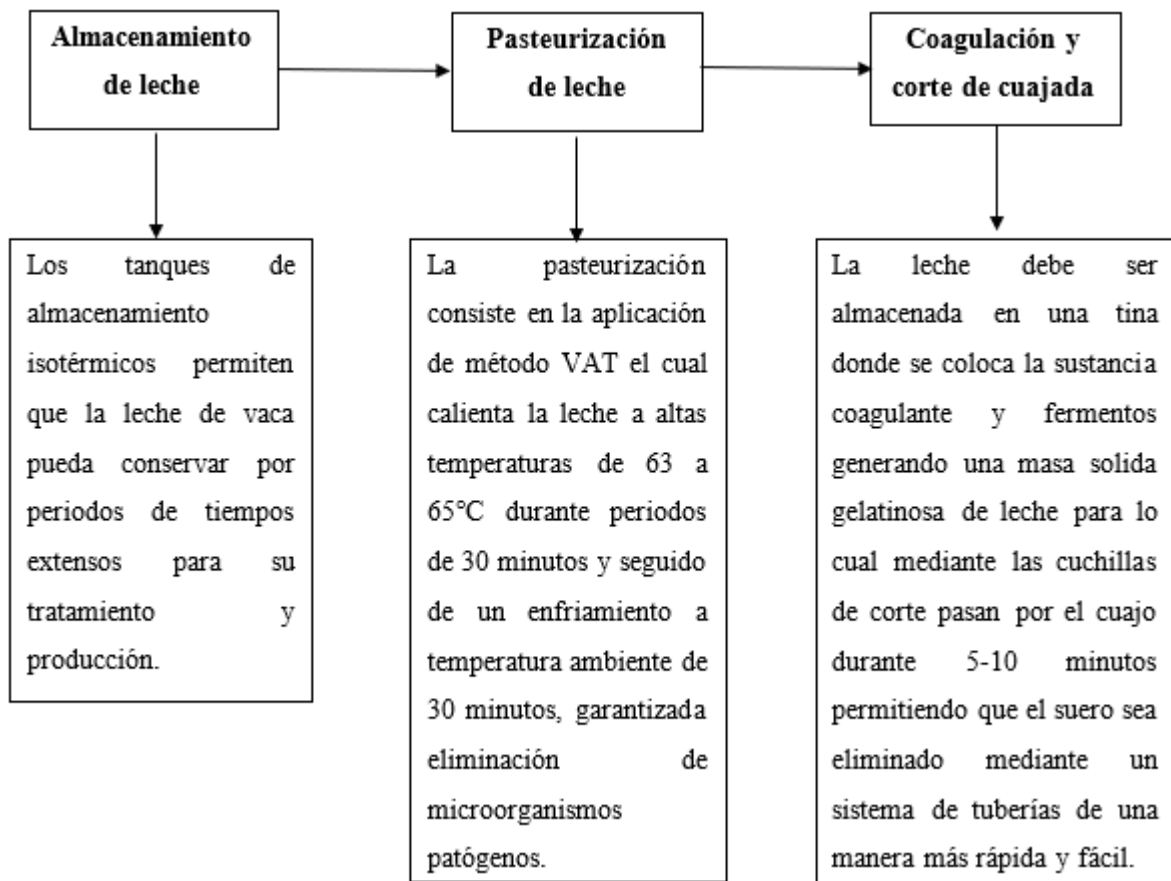


Figura 3: Principios para la producción de queso artesanal a base de leche de vaca.

A continuación, en la Figura 4 se detalla de manera grafica un flujograma con las principales e iniciales áreas dentro de una línea de producción de quesos abarcando sus respectivos procesos y tiempos que se llevan a cabo dentro de la misma:

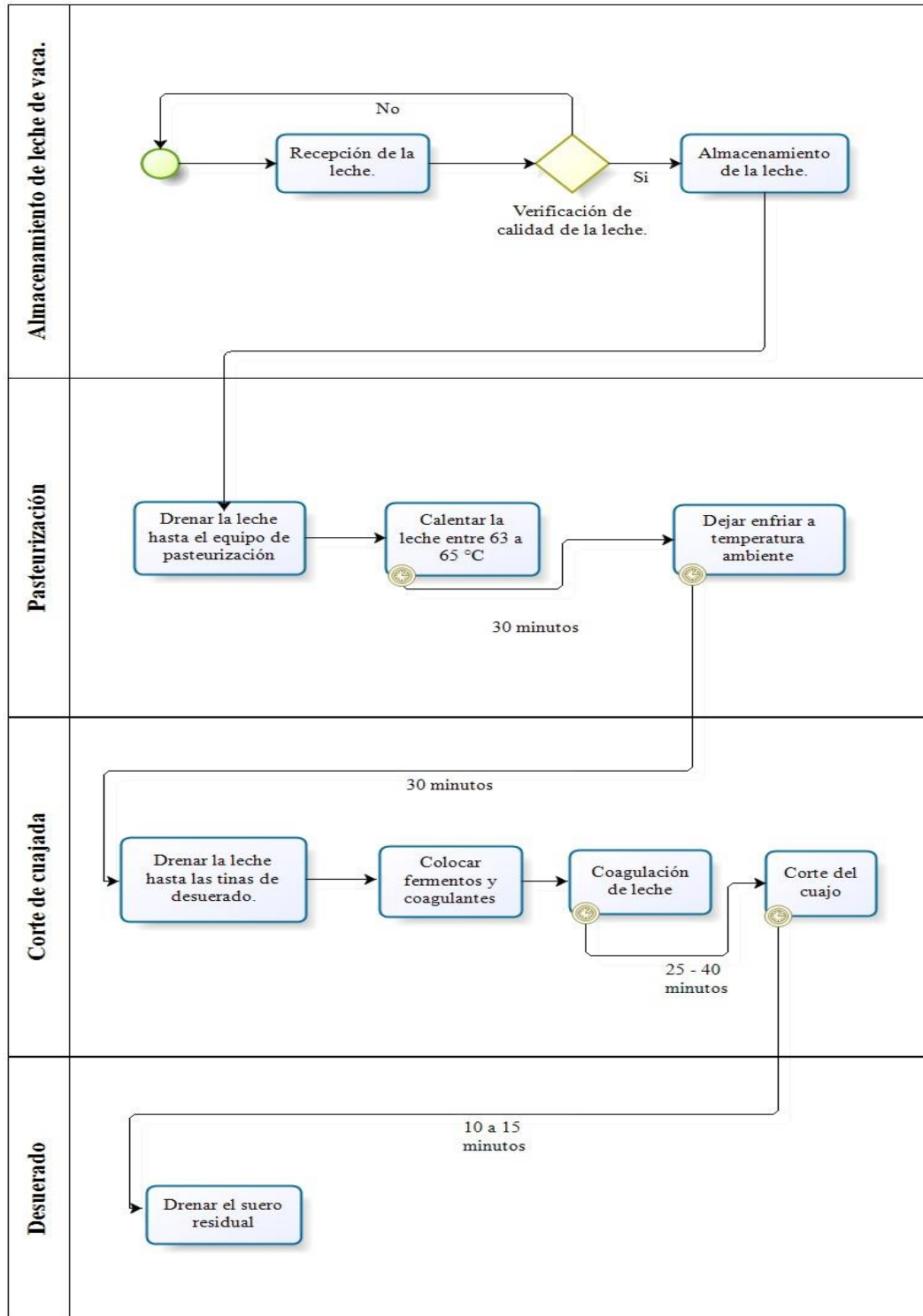


Figura 4: Flujograma de los principios para la producción de queso artesanal a base de leche de vaca.

1.7 Diseño de equipos

Tomando en cuenta todos los procesos descritos de manera teórica se tiene que considerar ciertas características que me permitan el diseño de los equipos que conforman la línea de producción piloto de la fabricación de quesos de leche de vaca, para lo cual se tendrá en cuenta normativas que brindaran soporte y especificaciones importantes para el diseño de los siguientes equipos:

- Tanque de almacenamiento.
- Higienización.
- Pasteurización.
- Corte de cuajada.
- Sistema de desuerado.

1.7.1 Tanque de almacenamiento

Basándonos en la norma CPE INEN 007:1983, esta normativa indica especificaciones que se puede adoptar para la elaborar tanques de almacenamiento, esta normativa me permite cumplir con la correcta conservación de la leche y cumplir con sus condiciones higiénicas correspondientes. A continuación, en la Figura 5 y Figura 6 se detallan los tipos y clases de tanques de almacenamiento que nos indica la norma CPE INEN 007:1983[10].

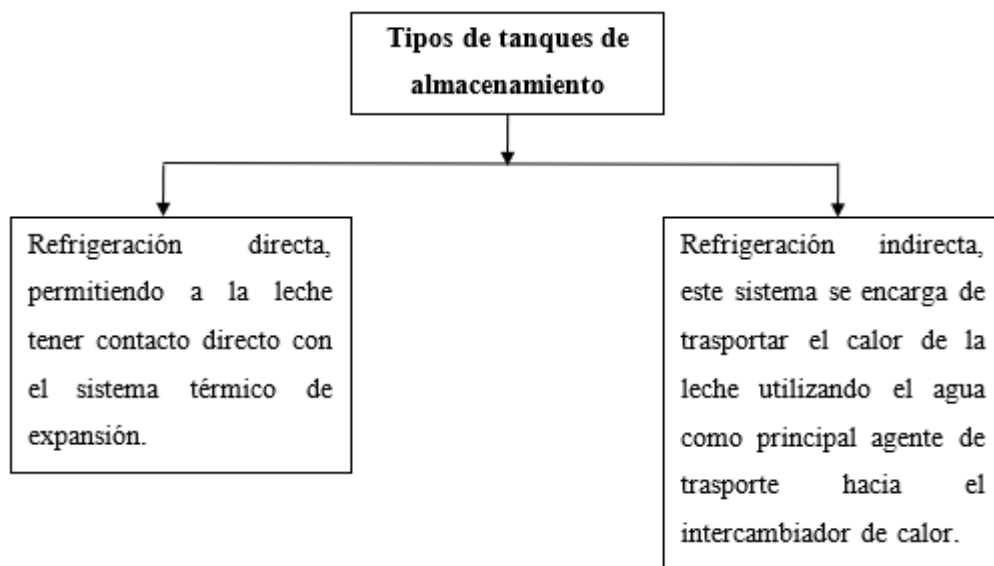


Figura 5: Definición de los tipos de tanques de almacenamiento [10].

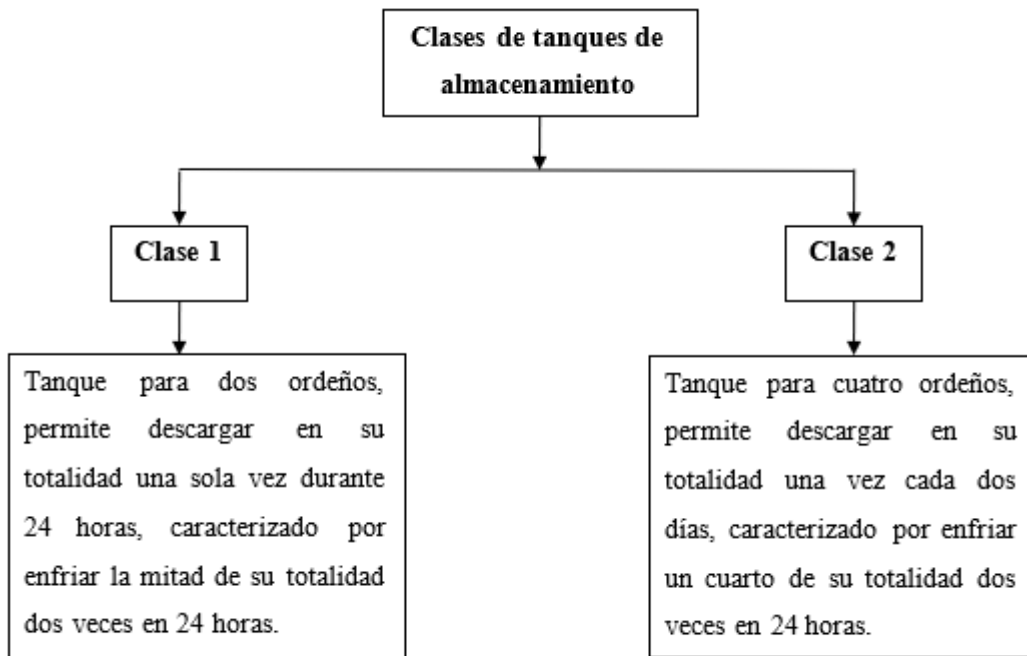


Figura 6: Definición de las clases de tanques de almacenamiento [10].

1.1.1.1. Normativa CPE INEN 007:1983 diseño de tanque de almacenamiento

Esta normativa permitirá adoptar recomendaciones y estándares obligatorios establecidos para el respectivo diseño, construcción e instalación para que se puedan implementar en granjas o industrias nacionales, que necesiten almacenar leche, para involucrarse diferentes requisitos para los equipos y materiales para cada parte. La norma CPE INEN 007:1983 recomienda usar el acero inoxidable austenítico 304 en toda la superficie en contacto directo con la leche permitiendo cumplir con estándares de seguridad, calidad e higiene, entregando un producto final de excelencia nacional en el Ecuador, manteniendo buenas prácticas de manufactura dentro de la línea de producción [10].

1.7.1.2 Ecuaciones longitudinales internas del tanque de almacenamiento.

La Ecuación 1 permitirá designar un valor específico para el ancho interno del tanque, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del tanque de almacenamiento.

- Ancho interno de tanque (mm) W_{int}

$$W_{int} \leq 1800 \text{ mm (1)}$$

La Ecuación 2 permitirá designar un valor específico para la altura entre el nivel máximo de la leche y el borde del tanque, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del tanque de almacenamiento.

- Altura entre el nivel máximo de leche y el borde del tanque (mm) h_{mint}

$$h_{mint} \geq 65 \text{ mm (2)}$$

La Ecuación 3 permitirá designar un valor específico para la altura máxima entre el nivel del piso y el borde superior del tanque, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del tanque de almacenamiento.

- Altura máxima entre el nivel del piso y el borde superior del tanque (mm) h_{maxint}

$$h_{maxint} \leq 1400 \text{ mm (3)}$$

La Ecuación 4 permitirá designar un valor específico para la altura entre el nivel del piso y el borde interno mínimo, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del tanque de almacenamiento.

- Altura entre el nivel del piso y el borde interno mínimo (mm) h_{minint}

$$h_{minint} \geq 150 \text{ mm (4)}$$

La Ecuación 5 permitirá calcular el valor específico de la altura interna del tanque de almacenamiento, mediante la diferencia de la altura máxima interna, altura mínima interna y altura entre el nivel máximo de leche y borde del tanque.

- Altura interna del tanque (mm) h_{int}

$$h_{int} = h_{\max int} - h_{\min int} - h_{m int} \quad (5)$$

La Ecuación 6 permitirá calcular el valor específico del volumen interno referencial del tanque de almacenamiento, añadiendo un 10% de la capacidad inicial considerada para el diseño.

- Volumen interno referencial del tanque (L) $V_{int-ref}$

$$V_{int-ref} = (V + V_{\%})L \quad (6)$$

La Ecuación 7 permitirá calcular el valor específico de la profundidad interna del tanque de almacenamiento, mediante la división del volumen interno referencial del tanque con el producto de la multiplicación de la altura interna del tanque y el ancho interno del tanque.

- Profundidad interna del tanque (mm) P_{int}

$$P_{int} = \frac{V_{int-ref}}{h_{int} \cdot W_{int}} \quad (7)$$

La Ecuación 8 permitirá calcular el valor específico del área total de las tapas internas del tanque de almacenamiento, mediante la sumatoria de las cinco tapas que conforman cada cara del tanque.

- Área total de las tapas internas del tanque (mm^2) A_{int}

$$A_{int} = A_{1i} + A_{2i} + A_{3i} + A_{4i} + A_{5i} \quad (8)$$

La Ecuación 9 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas internas A1 y A2 se multiplica la profundidad interna del tanque, altura interna del tanque.

- Área total de las tapas internas A1 y A2 (mm^2) $A_{1i} = A_{2i}$

$$A_{1i} = A_{2i} = P_{int} \cdot h_{int} \quad (9)$$

La Ecuación 10 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas internas A3 y A4 se multiplica el ancho interno del tanque, altura interna del tanque.

- Área total de las tapas internas A3 y A4 (mm^2) $A_{3i} = A_{4i}$

$$A_{3i} = A_{4i} = W_{int} \cdot h_{int} \quad (10)$$

La Ecuación 11 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas internas A5 se multiplica el ancho interno del tanque y la profundidad interna del tanque.

- Área total de las tapas internas A5 (mm^2) A_{5i}

$$A_{5i} = W_{int} \cdot P_{int} \quad (11)$$

La Ecuación 12 permitirá calcular el valor específico del volumen real interno del tanque de almacenamiento, mediante la multiplicación de los cálculos ya antes obtenidos de la profundidad interna del tanque, altura interna del tanque y ancho interno del tanque.

- Volumen real interno $V_{int-real}$

$$V_{int-real} = (P_{int} \cdot h_{int} \cdot W_{int}) \quad (12)$$

1.7.1.3 Ecuaciones longitudinales externas del tanque de almacenamiento.

La Ecuación 13 permitirá calcular el valor específico del ancho externo del tanque de almacenamiento, mediante la suma del ancho interno del tanque más el producto de la multiplicación de los dos anchos del espesor del poliuretano de las dos paredes del tanque.

Se debe tomar en cuenta que el espesor del poliuretano es de: 60 mm.

- Ancho externo del tanque (mm) W_{ext}

$$W_{ext} = W_{int} + 2 \cdot X_{poliur} \quad (13)$$

La Ecuación 14 permitirá calcular el valor específico de la profundidad externa del tanque de almacenamiento, mediante la suma de la profundidad interna del tanque más el producto de la multiplicación de los dos anchos del espesor del poliuretano de las dos paredes del tanque.

- Profundidad externa del tanque (mm) P_{ext}

$$P_{ext} = P_{int} + 2 \cdot X_{poliur} \quad (14)$$

La Ecuación 15 permitirá calcular el valor específico de la altura externa del tanque de almacenamiento, mediante la suma de la altura interna del tanque más el ancho del espesor del poliuretano del piso del tanque.

- Altura externa del tanque (mm) h_{ext}

$$h_{ext} = h_{int} + X_{poliur} \quad (15)$$

La Ecuación 16 permitirá calcular el valor específico del área total de las tapas externas del tanque de almacenamiento, mediante la sumatoria de las cinco tapas que conforman cada cara del tanque.

- Área total de las tapas externas del tanque (mm^2) A_{ext}

$$A_{ext} = A_{1e} + A_{2e} + A_{3e} + A_{4e} + A_{5e} \quad (16)$$

La Ecuación 17 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas externas A1 y A2 se multiplica la profundidad externa del tanque y la altura externa del tanque.

- Área total de las tapas externas A1 y A2 (mm^2) $A_{1e} = A_{2e}$

$$A_{1e} = A_{2e} = P_{ext} \cdot h_{ext} \quad (17)$$

La Ecuación 18 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas externas A3 y A4 se multiplica el ancho externo del tanque y la altura externa del tanque.

- Área total de las tapas externas A3 y A4 (mm^2) $A_{3e} = A_{4e}$

$$A_{3e} = A_{4e} = W_{ext} \cdot h_{ext} \quad (18)$$

La Ecuación 19 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas externa A5 se multiplica el ancho externo del tanque y la profundidad externa del tanque.

- Área total de las tapas externas A5 (mm²)

$$A_{5e} = W_{ext} \cdot P_{ext} \text{ (19)}$$

La Ecuación 20 permitirá calcular el valor específico del volumen real externo del tanque de almacenamiento, mediante la multiplicación de los cálculos ya antes obtenidos de la profundidad externa del tanque, altura externa del tanque y ancho externo del tanque.

- Volumen real externo $V_{ext-real}$

$$V_{ext-real} = (P_{ext} \cdot h_{ext} \cdot W_{ext}) \text{ (20)}$$

1.7.1.4 Bosquejo del tanque de almacenamiento y sus partes

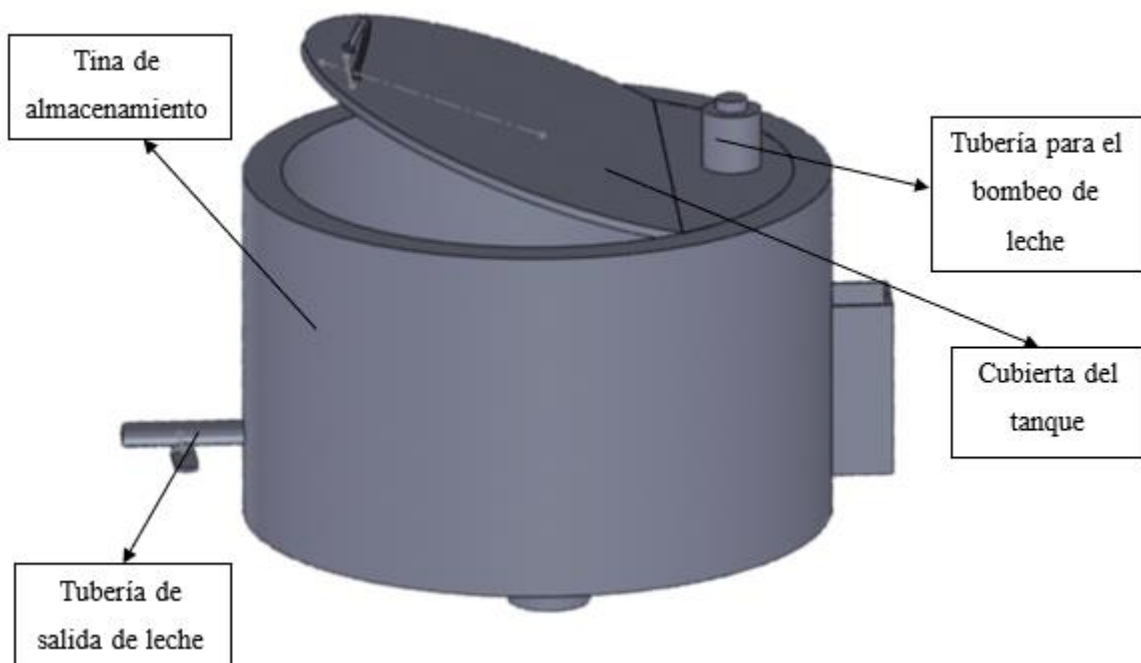


Figura 7: Bosquejo de tanque de almacenamiento [11].

1.7.2. Equipo de pasteurización tipo VAT

La pasteurización lenta en tina (VAT) es un método de pasteurización tradicional por lotes de leche que consiste en calentar entre 200 a 300 litros de esta durante periodos de tiempo de 30 minutos a una temperatura de 63 °C hasta 65 °C seguido de un proceso de enfriamiento a temperatura ambiente durante periodos de tiempo que van desde 30 minutos a 60 minutos hasta alcanzar una temperatura de 40 °C a 20 °C [12].

1.7.2.1. Diseño de equipo de pasteurización

Para un correcto proceso de pasteurización se considerarán las magnitudes del proyecto y se adoptó la pasteurización tipo VAT con 200 litros de leche, la cantidad que se considerará para el proceso de pasteurización y para el diseño de los equipos se tendrá especificaciones según la norma ASME VIII que recomienda usar el acero inoxidable austenítico 304 [12].

1.7.2.2. Normativa ASME VIII diseño de equipos de pasteurización

“La normativa ASME VIII es un código de construcción desarrollado por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) que establece los requisitos para el diseño, fabricación, inspección y pruebas de equipos a presión, incluidos los equipos pasteurizadores. Este código es ampliamente utilizado en la industria de alimentos y bebidas para garantizar la seguridad y fiabilidad de los equipos que se utilizan en el proceso de pasteurización. Los equipos como los tanques de pasteurización tipo VAT, están diseñados de acuerdo con los estándares establecidos en la normativa ASME VIII para asegurar que cumplan con los requisitos de resistencia mecánica, integridad estructural y seguridad en su operación” [13].

1.7.2.3. Ecuaciones longitudinales internas del equipo de pasteurización

La Ecuación 21 permitirá designar un valor específico para el ancho interno del tanque, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del equipo de pasteurización.

- Ancho interno de tanque (mm) W_{int}

$$W_{int} \leq 1800 \text{ mm (21)}$$

La Ecuación 22 designará un valor específico para la altura entre el nivel máximo de la leche y el borde del tanque, según el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo despejar y obtener resultados de los demás parámetros del equipo de pasteurización.

- Altura entre el nivel máximo de leche y el borde del tanque (mm) $h_{m \text{ int}}$

$$h_{m \text{ int}} \geq 65 \text{ mm (22)}$$

La Ecuación 23 permitirá designar un valor específico para la altura máxima entre el nivel del piso y el borde superior del tanque, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del equipo de pasteurización.

- Altura máxima entre el nivel del piso y el borde superior del tanque (mm) $h_{\max \text{ int}}$

$$h_{\max \text{ int}} \leq 1400 \text{ mm (23)}$$

La Ecuación 24 permitirá designar un valor específico para la altura entre el nivel del piso y el borde interno mínimo, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del equipo de pasteurización.

- Altura entre el nivel del piso y el borde interno mínimo (mm) $h_{\min \text{ int}}$

$$h_{\min \text{ int}} \geq 150 \text{ mm (24)}$$

La Ecuación 25 permitirá calcular el valor específico de la altura interna del tanque de la pasteurizadora, mediante la diferencia de la altura máxima interna, altura mínima interna y altura entre el nivel máximo de leche y borde del tanque.

- Altura interna del tanque (mm) h_{int}

$$h_{int} = h_{\max int} - h_{\min int} - h_{m int} \quad (25)$$

La Ecuación 26 permitirá calcular el valor específico del volumen interno referencial del tanque de la pasteurizadora, añadiendo un 10% de la capacidad inicial considerada para el diseño.

- Volumen interno referencial del tanque (L) $V_{int-ref}$

$$V_{int-ref} = (V + V_{\%})L \quad (26)$$

La Ecuación 27 permitirá calcular el valor específico de la profundidad interna del tanque de la pasteurizadora, mediante la división del volumen interno referencial del tanque con el producto de la multiplicación de la altura interna del tanque y el ancho interno del tanque.

- Profundidad interna del tanque (mm) P_{int}

$$P_{int} = \frac{V_{int-ref}}{h_{int} \cdot W_{int}} \quad (27)$$

La Ecuación 28 permitirá calcular el valor específico del área total de las tapas internas del tanque de la pasteurizadora, mediante la sumatoria de las cinco tapas que conforman cada cara del tanque.

- Área total de las tapas internas del tanque (mm^2) A_{int}

$$A_{int} = A_{1i} + A_{2i} + A_{3i} + A_{4i} + A_{5i} \quad (28)$$

La Ecuación 29 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas internas A1 y A2 se multiplica la profundidad interna del tanque, altura interna del tanque.

- Área total de las tapas internas A1 y A2 (mm^2) $A_{1i} = A_{2i}$

$$A_{1i} = A_{2i} = P_{int} \cdot h_{int} \quad (29)$$

La Ecuación 30 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas internas A3 y A4 se multiplica el ancho interno del tanque, altura interna del tanque.

- Área total de las tapas internas A3 y A4 (mm^2) $A_{3i} = A_{4i}$

$$A_{3i} = A_{4i} = W_{int} \cdot h_{int} \quad (30)$$

La Ecuación 31 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas internas A5 se multiplica el ancho interno del tanque y la profundidad interna del tanque.

- Área total de las tapas internas A5 (mm^2) A_{5i}

$$A_{5i} = W_{int} \cdot P_{int} \quad (31)$$

La Ecuación 32 permitirá calcular el valor específico del volumen real interno del tanque de la pasteurizadora, mediante la multiplicación de los cálculos ya antes obtenidos de la profundidad interna del tanque, altura interna del tanque y ancho interno del tanque.

- Volumen real interno $V_{int-real}$

$$V_{int-real} = (P_{int} \cdot h_{int} \cdot W_{int}) \quad (32)$$

1.7.2.4. Ecuaciones longitudinales externas del equipo de pasteurización

La Ecuación 33 permitirá calcular el valor específico del ancho externo del tanque de la pasteurizadora, mediante la suma del ancho interno del tanque más el producto de la multiplicación de los dos anchos del espesor del encamisado extra de las dos paredes del tanque.

- Ancho externo del tanque (mm) W_{ext}

$$W_{ext} = W_{int} + 2 \cdot X_{encam} \quad (33)$$

La Ecuación 34 permitirá calcular el valor específico de la profundidad externa del tanque de la pasteurizadora, mediante la suma de la profundidad interna del tanque más el producto de la multiplicación de los dos anchos del encamisado extra de las dos paredes del tanque.

- Profundidad externa del tanque (mm) P_{ext}

$$P_{ext} = P_{int} + 2 \cdot X_{encam} \quad (34)$$

La Ecuación 35 permitirá calcular el valor específico de la altura externa del tanque de la pasteurizadora, mediante la suma de la altura interna del tanque más el ancho del espesor del encamisado extra del piso del tanque.

- Altura externa del tanque (mm) h_{ext}

$$h_{ext} = h_{int} + X_{poliur} \quad (35)$$

La Ecuación 36 permitirá calcular el valor específico del área total de las tapas externas del tanque la pasteurizadora, mediante la sumatoria de las cinco tapas que conforman cada cara del tanque.

- Área total de las tapas externas del tanque (mm^2) A_{ext}

$$A_{ext} = A_{1e} + A_{2e} + A_{3e} + A_{4e} + A_{5e} \quad (36)$$

La Ecuación 37 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas externas A1 y A2 se multiplica la profundidad externa del tanque y la altura externa del tanque.

- Área total de las tapas externas A1 y A2 (mm^2) $A_{1e} = A_{2e}$

$$A_{1e} = A_{2e} = P_{ext} \cdot h_{ext} \quad (37)$$

La Ecuación 38 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas externas A3 y A4 se multiplica el ancho externo del tanque y la altura externa del tanque.

- Área total de las tapas externas A3 y A4 (mm^2) $A_{3e} = A_{4e}$

$$A_{3e} = A_{4e} = W_{ext} \cdot h_{ext} \quad (38)$$

La Ecuación 39 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas externa A5 se multiplica el ancho externo del tanque y la profundidad externa del tanque.

- Área total de las tapas externas A5 (mm^2) A_{5e}

$$A_{5e} = W_{ext} \cdot P_{ext} \quad (39)$$

La Ecuación 40 permitirá calcular el valor específico del volumen real externo del tanque de la pasteurizadora, mediante la multiplicación de los cálculos ya antes obtenidos de la profundidad externa del tanque, altura externa del tanque y ancho externo del tanque.

- Volumen real externo $V_{ext-real}$

$$V_{ext-real} = (P_{ext} \cdot h_{ext} \cdot W_{ext}) \quad (40)$$

1.7.2.5. Bosquejo de equipo de pasteurización

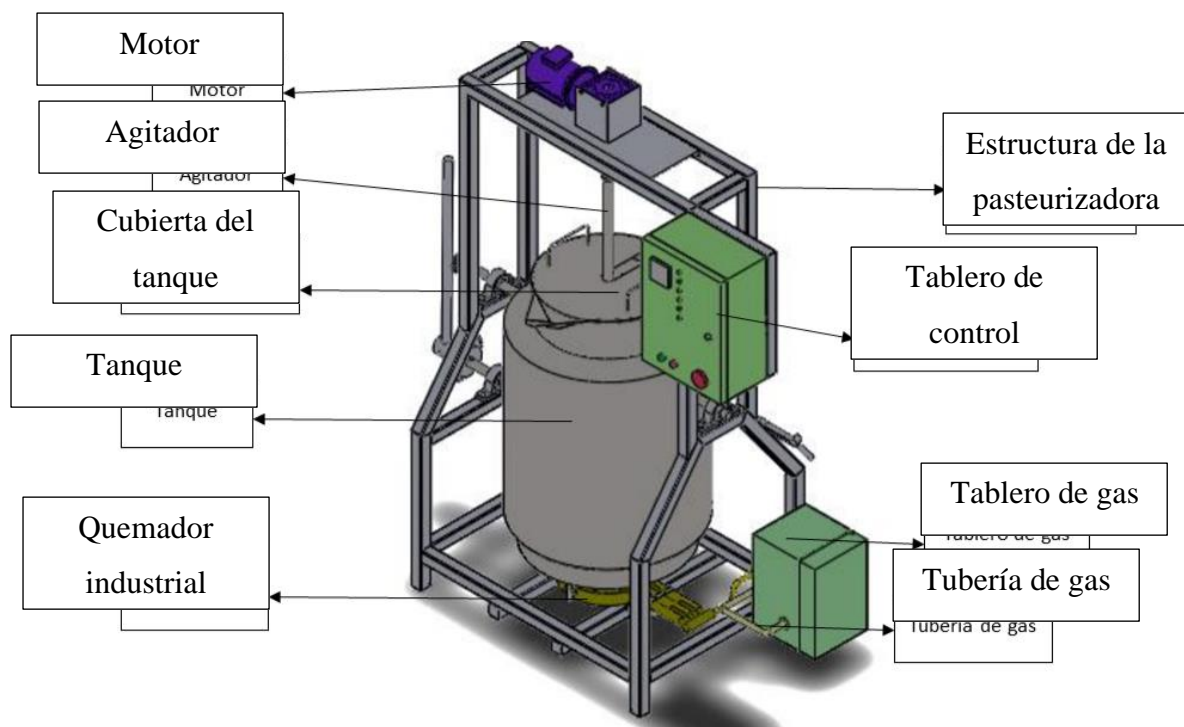


Figura 8: Bosquejo de equipo de pasteurización [14].

1.7.2.6. Componentes adicionales para el equipo de pasteurización

- Manómetro integrado

El manómetro es indispensable para equipos de presión, permitiendo identificar bajo que presión está trabajando el equipo y de esta manera no sobre pasar los límites establecidos en el diseño del equipo.

Según Mery Lucero y Diego Flores [14] se puede utilizar para este tipo de equipos de pasteurización manómetros de glicerina. La función del manómetro de glicerina es el amortiguamiento de los movimientos de la aguja la cual indica nivel de presión que está sometido el equipo de pasteurización.

En la Figura 8 se indica el manómetro de glicerina:



Figura 9: Manómetro de glicerina [15].

En la Tabla 5 se indica el condigo del modelo y el rango de presión:

Tabla 5: Códigos para modelos de manómetros y sus rangos de presión [15].

Código del modelo	Rango
M-300	0-300 PSI
M-1000	0-1000 PSI
M-2000	0-2000 PSI
M-3000	0-3000 PSI
M-5000	0-5000 PSI
M-10000	0-10000 PSI

- Válvula de alivio de presión

Según Mery Lucero y Diego Flores [14] se puede utilizar para este tipo de equipos de pasteurización válvulas de alivio de presión $\frac{3}{4}$. La válvula de alivio es indispensable para equipos de pasteurización ya que permite aliviar la presión contenida en dichos equipos de esta manera prevenir rupturas o explosiones del taque.

En la Figura 9 se indica la válvula de alivio de presión:



Figura 10: Válvula de alivio de precisión [16].

1.7.3. Equipo para corte de cuajada y desuerado

Se llevará a cabo el diseño de una tina de corte de cuajada basada en la normativa CPE INEN 007:1983 que establece recomendaciones específicas para el diseño de tanques o tinas utilizadas en el corte de cuajada en la industria láctea. La tina para el corte de cuajada es un equipo esencial en la producción de queso, donde se corta la cuajada formada durante el proceso de coagulación de la leche. Tomando en cuenta las especificaciones de la norma CPE INEN 007:1983 se recomienda la utilización del acero inoxidable austenítico 304 para el diseño de la tina donde se efectuará los procesos de coagulación, corte de cuajo y desuerado [10].

1.7.3.1. Ecuaciones longitudinales internas del equipo de corte de cuajada y desuerado

La Ecuación 41 permitirá designar un valor específico para el ancho interno del equipo de corte de cuajada y desuerado basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del equipo de corte de cuajada y desuerado.

- Ancho interno de tanque (mm) W_{int}

$$W_{int} \leq 1800 \text{ mm (41)}$$

La Ecuación 42 permitirá designar un valor específico para la altura entre el nivel máximo de la leche y el borde del tanque, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del equipo de corte de cuajada y desuerado.

- Altura entre el nivel máximo de leche y el borde del tanque (mm) $h_{m \text{ int}}$

$$h_{m \text{ int}} \geq 65 \text{ mm (42)}$$

La Ecuación 43 permitirá designar un valor específico para la altura máxima entre el nivel del piso y el borde superior del tanque, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del equipo de corte de cuajada y desuerado.

- Altura máxima entre el nivel del piso y el borde superior del tanque (mm) $h_{max\ int}$

$$h_{max\ int} \leq 1400\ mm\ (43)$$

La Ecuación 44 permitirá designar un valor específico para la altura entre el nivel del piso y el borde interno mínimo, basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983, permitiendo con dicho valor despejar y obtener resultados de los demás parámetros del equipo de corte de cuajada y desuerado.

- Altura entre el nivel del piso y el borde interno mínimo (mm) $h_{min\ int}$

$$h_{min\ int} \geq 150\ mm\ (44)$$

La Ecuación 45 permitirá calcular el valor específico de la altura interna del equipo de corte de cuajada y desuerado, mediante la diferencia de la altura máxima interna, altura mínima interna y altura entre el nivel máximo de leche y borde del tanque.

- Altura interna del tanque (mm) h_{int}

$$h_{int} = h_{max\ int} - h_{min\ int} - h_{m\ int}\ (45)$$

La Ecuación 46 permitirá calcular el valor específico del volumen interno referencial del equipo de corte de cuajada y desuerado, añadiendo un 10% de la capacidad inicial considerada para el diseño.

- Volumen interno referencial del tanque (L) $V_{int-ref}$

$$V_{int-ref} = (V + V_{\%})L\ (46)$$

La Ecuación 47 permitirá calcular el valor específico de la profundidad interna del equipo de corte de cuajada y desuerado, mediante la división del volumen interno referencial del tanque con el producto de la multiplicación de la altura interna del tanque y el ancho interno del tanque.

- Profundidad interna del tanque (mm) P_{int}

$$P_{int} = \frac{V_{int-ref}}{h_{int} \cdot W_{int}} \quad (47)$$

La Ecuación 48 permitirá calcular el valor específico del área total de las tapas internas de la tina del equipo de corte de cuajada y desuerado, mediante la sumatoria de las cinco tapas que conforman cada cara del tanque.

- Área total de las tapas internas del tanque (mm^2) A_{int}

$$A_{int} = A_{1i} + A_{2i} + A_{3i} + A_{4i} + A_{5i} \quad (48)$$

La Ecuación 49 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas internas A1 y A2 se multiplica la profundidad interna del tanque, altura interna del tanque.

- Área total de las tapas internas A1 y A2 (mm^2) $A_{1i} = A_{2i}$

$$A_{1i} = A_{2i} = P_{int} \cdot h_{int} \quad (49)$$

La Ecuación 50 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas internas A3 y A4 se multiplica el ancho interno del tanque, altura interna del tanque.

- Área total de las tapas internas A3 y A4 (mm^2) $A_{3i} = A_{4i}$

$$A_{3i} = A_{4i} = W_{int} \cdot h_{int} \quad (50)$$

La Ecuación 51 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas internas A5 se multiplica el ancho interno del tanque y la profundidad interna del tanque.

- Área total de las tapas internas A5 (mm^2) A_{5i}

$$A_{5i} = W_{int} \cdot P_{int} \quad (51)$$

La Ecuación 52 permitirá calcular el valor específico del volumen real interno del equipo de corte de cuajada y desuerado, mediante la multiplicación de los cálculos ya antes obtenidos de la profundidad interna del tanque, altura interna del tanque y ancho interno del tanque.

- Volumen real interno $V_{int-real}$

$$V_{int-real} = (P_{int} \cdot h_{int} \cdot W_{int}) \quad (52)$$

1.7.3.2. Ecuaciones longitudinales externas del equipo de corte de cuajada y desuerado

La Ecuación 53 permitirá calcular el valor específico del ancho externo del equipo de corte de cuajada y desuerado, mediante la suma del ancho interno del tanque más el producto de la multiplicación de los dos anchos del espesor del encamisado de las dos paredes del tanque.

- Ancho externo del tanque (mm) W_{ext}

$$W_{ext} = W_{int} + 2 \cdot X_{encam} \quad (53)$$

La Ecuación 54 permitirá calcular el valor específico de la profundidad externa del equipo de corte de cuajada y desuerado, mediante la suma de la profundidad interna del tanque más el producto de la multiplicación de los dos anchos del espesor del encamisado de las dos paredes del tanque.

- Profundidad externa del tanque (mm) P_{ext}

$$P_{ext} = P_{int} + 2 \cdot X_{encam} \quad (54)$$

La Ecuación 55 permitirá calcular el valor específico de la altura externa del equipo de corte de cuajada y desuerado, mediante la suma de la altura interna del tanque más el ancho del espesor del encamisado del piso del tanque.

- Altura externa del tanque (mm) h_{ext}

$$h_{ext} = h_{int} + X_{poliur} \quad (55)$$

La Ecuación 56 permitirá calcular el valor específico del área total de las tapas externas del equipo de corte de cuajada y desuerado, mediante la sumatoria de las cinco tapas que conforman cada cara del tanque.

- Área total de las tapas externas del tanque (mm^2) A_{ext}

$$A_{ext} = A_{1e} + A_{2e} + A_{3e} + A_{4e} + A_{5e} \quad (56)$$

La Ecuación 57 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas externas A1 y A2 se multiplica la profundidad externa del tanque y la altura externa del tanque.

- Área total de las tapas externas A1 y A2 (mm^2) $A_{1e} = A_{2e}$

$$A_{1e} = A_{2e} = P_{ext} \cdot h_{ext} \quad (57)$$

La Ecuación 58 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas externas A3 y A4 se multiplica el ancho externo del tanque y la altura externa del tanque.

- Área total de las tapas externas A3 y A4 (mm^2) $A_{3e} = A_{4e}$

$$A_{3e} = A_{4e} = W_{ext} \cdot h_{ext} \quad (58)$$

La Ecuación 59 permitirá calcular el valor específico del área de las tapas externa A5 se multiplica el ancho externo del tanque y la profundidad externa del tanque.

- Área total de las tapas externas A5 (mm^2) A_{5e}

$$A_{5e} = W_{ext} \cdot P_{ext} \quad (59)$$

La Ecuación 60 permitirá calcular el valor específico del volumen real externo del equipo de corte de cuajada y desuerado, mediante la multiplicación de los cálculos ya antes obtenidos de la profundidad externa del tanque, altura externa del tanque y ancho externo del tanque.

- Volumen real externo $V_{ext-real}$

$$V_{ext-real} = (P_{ext} \cdot h_{ext} \cdot W_{ext}) \quad (60)$$

1.7.3.3. Bosquejo de equipo de corte de cuajada y desuerado

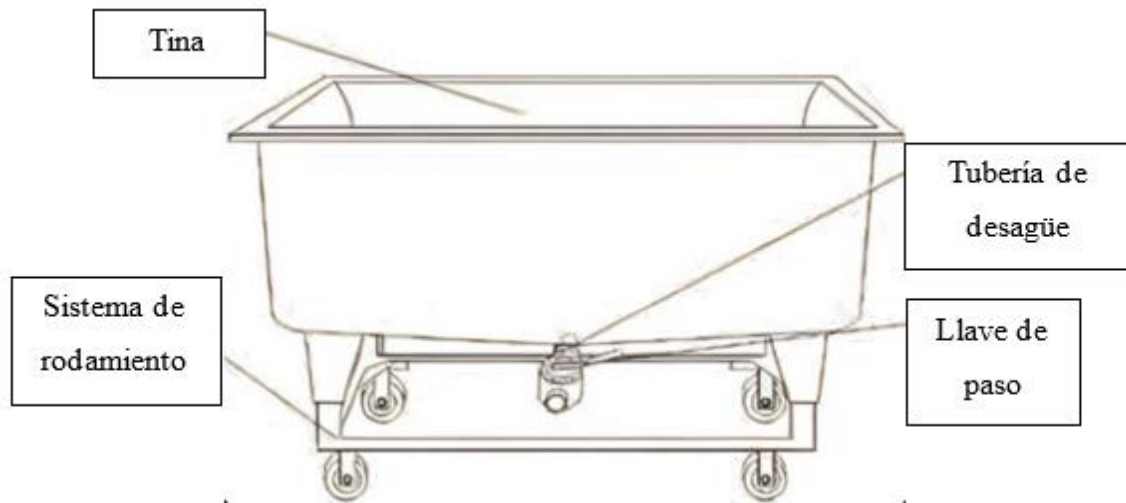


Figura 11: Bosquejo de equipo de desuerado [17]

1.7.3.4. Bosquejo de lira para corte de cuajada

Según Jaime Medina Borja [18], los aceros inoxidable martensíticos AISI 440 de alto contenido en carbono son empleados para el diseño y fabricación de cuchillería, utensilios para industrias alimenticias siendo apto para el contacto con cualquier tipo de alimento líquido o sólido. Teniendo en cuenta que las liras para el corte de cuajada son consideradas cuchillas se puede adoptar dicho tipo de acero para su diseño



Figura 12: Bosquejo de lira para corte de cuajada [19].

1.7.3.5. Ecuaciones longitudinales para la lira de corte de cuajada

Según Vicente Alejandro Galindo Proaño [19], establece análisis y cálculos recomendados para el dimensionamiento de liras de corte de cuajada adoptando parámetros específicos para un correcto diseño.

La Ecuación 61 permitirá calcular el valor específico del diámetro del brazo de la lira, mediante la multiplicación de un veinteavo por la longitud de la paleta de la lira.

- Diámetro del brazo de la lira ϕ_l

$$\phi_l = \frac{1}{20} \cdot L_l \quad (61)$$

La Ecuación 62 permitirá calcular el valor específico del alto del brazo de la lira, mediante la multiplicación de un quinto por la longitud de la paleta de la lira.

- Alto del brazo de la lira h_{bl}

$$h_{bl} = \frac{1}{5} \cdot L_l \quad (62)$$

La Ecuación 63 permitirá calcular el valor específico del alto del brazo de la lira, mediante la multiplicación de un quinto por la longitud de la paleta de la lira.

- Altura de la lira total h_{tl}

$$h_{tl} = L_l + h_{bl} \quad (63)$$

La Ecuación 64 permitirá calcular el valor específico de la distancia entre hilo e hilo de la lira, mediante la división del largo de paleta de la lira sobre el número de hilos.

- Distancia entre hilo e hilo de la lira D_h

$$D_h = \frac{L_{pl}}{\# \text{ de hilos}} \quad (64)$$

1.8. Acero inoxidable austenítico 304

Se utilizará para el diseño de los equipos del proyecto el acero inoxidable austenítico 304, cuya estructura está formada por elementos de la austenita, estos elementos pueden ser níquel, manganeso y nitrógeno. En su estructura destacamos el cromo de grandes proporciones así proporcionando gran resistencia frente al oxido. Se distinguen de los demás aceros por su resistencia a la corrosión es muy superior en relación con otros aceros inoxidables, debido a su gran resistencia a temperaturas extremas son muy utilizados en equipos de producción de quesos, se los pueden encontrar en tanques de almacenamiento de leche, equipos de pasteurización, equipos de desuerado, etc. Basándose en sus características físicas por ser un acero con superficie lisa es muy sencilla su limpieza y se puede utilizar en la producción de queso.

Según Jorge Rodrigo Medrano Carvajal [27], en la Tabla 6 se indica los rangos de temperatura en función del acero inoxidable austenítico 304 que se utilizara en el diseño de los equipos dentro de la línea de producción de quesos. Tomando en cuenta que los equipos que se diseñarán son del mismo material sus rangos de temperatura serán iguales:

Tabla 6: Rangos de temperatura para equipos de fabricación de queso

Equipo	Tipo de material	Rango de temperatura [°C]
Tanque de almacenamiento	Acero inoxidable austenítico 304	1010-1120
Pasteurizadora	Acero inoxidable austenítico 304	1010-1120
Tina de corte de cuajo y desuerado	Acero inoxidable austenítico 304	1010-1120

1.9. Software de simulación de procesos

“El software permite efectuar eventos discretos, que permite modelar, analizar, visualizar y optimizar flujos de procesos empresariales, industriales, etc. Desarrollando un sin número de procesos manufactureros y cadenas de suministro. Además, permitiendo efectuar el diseño y construcción de modelos desarrollados mediante una simulación en 3D desde el comienzo del proceso hasta obtener el producto final o fin del proceso. Actualmente, industrias líderes a nivel nacional y mundial utilizan el software de simulación para simular sus procesos productivos antes de llevarlo a ejecución real” [20].

“Un diseño o modelo el cual fue desarrollado con por medio del software contiene entidades, procesos, transporte y colas. El modelo consiste en efectuar la simulación de procesos en el cual puede intervenir actividades realizadas por medio de una máquina, transporte es el medio por el cual permite el movimiento de las entidades de un recurso a otro, y las colas son la acumulación de las entidades tipo FIFO al comienzo del proceso hasta el inicio del proceso de la línea de producción” [20].

CAPITULO II

Modelo experimental

2.1 Diseño del tanque de almacenamiento de leche

Para elaborar el tanque de almacenamiento se debe considerar parámetros de técnicas y estética que se empleará adoptando la normativa CPE INEN 007:1983 considerando medidas específicas analizando varias etapas antes de su diseño, para hacer un correcto diseño del equipo, considerando la capacidad de producción. Con el diseño del equipo se busca el correcto almacenamiento de leche dentro de la línea de producción cumpliendo todos los estándares tanto del mecanizado y de calidad. La capacidad de la producción se estima en generar 80 quesos al día de esta manera teniendo que almacenar 800 L de leche.

2.1.1. Parámetros basados en la normativa CPE INEN 007:1983

En la Tabla 7 se indica parámetros dimensionales para el correcto diseño de un tanque de almacenamiento basados en la normativa CPE INEN: 007:1983:

Tabla 7: Parámetros dimensionales CPE INEN 007:1983 tanque de almacenamiento [10].

Detalle del tanque de almacenamiento	Parámetros dimensionales
Espesor de lámina de acero inoxidable	1,5mm
Altura del tanque (Nivel del piso hasta la parte superior del cuerpo)	$\leq 1400\text{mm}$
Altura entre el nivel del piso y el punto más bajo del tanque, para tanques de anchura $\leq 1800\text{mm}$	$\geq 150\text{ mm}$
Espacio entre el reborde de la abertura y el borde de la tapa	2 mm
Esquinas interiores del recipiente	Mínimo de 12 mm
Orificio de salida para la leche	$\text{Ø } 38\text{ mm}$
Altura entre nivel máximo de la leche y el borde superior del tanque.	Mínimo 65 mm

Además del diseño del tanque de almacenamiento se debe considerar que la sección horizontal debe ser circular o rectangular, los accesorios o elementos que integren al tanque deben desmontarse para una mejor limpieza y profunda y mantener la higiene.

2.1.2 Cálculos para el diseño interno del tanque de almacenamiento

Con la Ecuación 1 según el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor del ancho del tanque de almacenamiento no debe superar los 1800 mm, para lo que se estableció un valor que está dentro del rango y dando estilo estético al tanque de almacenamiento.

$$W_{int} = 740 \text{ mm (1)}$$

Mediante la Ecuación 2 basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor para la altura entre el nivel máximo de la leche y el borde del tanque debe ser superior a 65 mm, para lo cual se estableció un valor que se encuentra dentro del rango y dando un buen margen de seguridad al tanque de almacenamiento.

$$h_{m \text{ int}} = 100 \text{ mm (2)}$$

Mediante la Ecuación 3 basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor la altura máxima entre el nivel del piso y el borde superior del tanque no debe superar los 1400 mm, para lo cual se estableció dicho valor como referencia límite de la altura para el tanque de almacenamiento.

$$h_{\max \text{ int}} = 1400 \text{ mm (3)}$$

Con la Ecuación 4 según el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor para la altura entre el nivel del piso y el borde interno mínimo debe ser superior a 150 mm, para lo que se estableció un valor que está dentro del rango y dando estilo estético al tanque de almacenamiento.

$$h_{\min \text{ int}} = 160 \text{ mm (4)}$$

Mediante la Ecuación 5 reemplazando los valores antes definidos de las alturas se puede obtener el valor de valor específico de la altura interna del tanque de almacenamiento.

$$h_{int} = (1400 - 160 - 100) = 1140 \text{ mm (5)}$$

Mediante la Ecuación 6 se determinará el valor específico del volumen interno referencial del tanque de almacenamiento agregando un 10% extra de la capacidad inicial.

$$V_{int-ref} = (800 + 80)L = 880L \text{ (6)}$$

Mediante la Ecuación 7 reemplazando los valores antes obtenidos del volumen, altura y anchura se determinará el valor específico de la profundidad interna del tanque de almacenamiento.

$$P_{int} = \frac{8,8 \cdot 10^8 \text{ mm}^3}{(1140 \cdot 740) \text{ mm}^2}$$
$$P_{int} = 1043.14 \approx 1044 \text{ mm (7)}$$

Mediante la Ecuación 8 se determinará el valor específico del área de las tapas internas A1 y A2, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{1i} = A_{2i} = (1044 \cdot 1140) \text{ mm}^2 = 1,190 \text{ m}^2 \text{ (8)}$$

Mediante la Ecuación 9 se determinará el valor específico del área de las tapas internas A3 y A4, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{3i} = A_{4i} = (740 \cdot 1140) \text{ mm}^2 = 0,843 \text{ m}^2 \text{ (9)}$$

Mediante la Ecuación 10 se determinará el valor específico del área de la tapa interna A5.

$$A_{5i} = (740 \cdot 1044) \text{ mm}^2 = 0,773 \text{ m}^2 \text{ (10)}$$

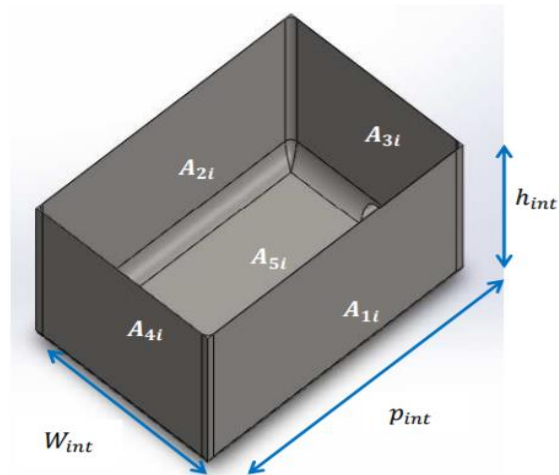


Figura 13: Dimensiones de las tapas y área internas del tanque [21].

Mediante la Ecuación 11 reemplazando los valores antes obtenidos de las áreas se determinará valor específico del área total de las tapas internas del tanque de almacenamiento.

$$A_{int} = (1,190 + 1,190 + 0,834 + 0,834 + 0,773)m^2 \quad (11)$$

$$A_{int} = 4,84m^2$$

Mediante la Ecuación 12 reemplazando los valores antes obtenidos de profundidad, altura y ancho se determinará valor específico del volumen real interno del tanque de almacenamiento.

$$V_{int-real} = (1044 \cdot 1140 \cdot 740)mm^3 = 880,718L \approx 881L \quad (12)$$

2.1.3. Aislante térmico para el tanque de almacenamiento

Para un correcto almacenamiento y correcta conservación de la leche esta deberá mantener su temperatura, esto se conseguirá aplicando al tanque de almacenamiento una capa de un aislante térmico para lo cual se utilizará el poliuretano.



Figura 14: Poliuretano como aislante térmico entre las paredes del tanque de almacenamiento [21].

Según la normativa ISO (CEN) 5708 recomienda que, al integrar una capa de espuma de poliuretano a un tanque de almacenamiento de leche, esta deberá mantener un espesor de 50 a 70 mm, para mantener la temperatura del producto.

2.1.4. Cálculos para el diseño externo del tanque de almacenamiento

Mediante la Ecuación 13 se determinará el valor específico del ancho externo del tanque de almacenamiento integrando el espesor del aislante.

$$W_{ext} = [740 + (2 \cdot 60)]mm = 860mm \text{ (13)}$$

Mediante la Ecuación 14 se determinará el valor específico de la profundidad externa del tanque de almacenamiento integrando el espesor del aislante.

$$P_{ext} = [1044 + (2 \cdot 60)]mm = 1164mm \text{ (14)}$$

Mediante la Ecuación 15 se determinará el valor específico de la altura externa del tanque de almacenamiento integrando el espesor del aislante.

$$h_{ext} = (1140 + 60mm) = 1200mm \text{ (15)}$$

Mediante la Ecuación 16 se determinará el valor específico del área de las tapas externas A1 y A2, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{1e} = A_{2e} = (1164 \cdot 1200)mm^2 = 1,40m^2 \text{ (16)}$$

Mediante la Ecuación 17 se determinará el valor específico del área de las tapas externas A3 y A4, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{3e} = A_{4e} = (860 \cdot 1200)mm^2 = 1,032m^2 \text{ (17)}$$

Mediante la Ecuación 18 se determinará el valor específico del área de la tapa externa A5.

$$A_{5e} = (860 \cdot 1164)mm^2 = 1m^2 \quad (18)$$

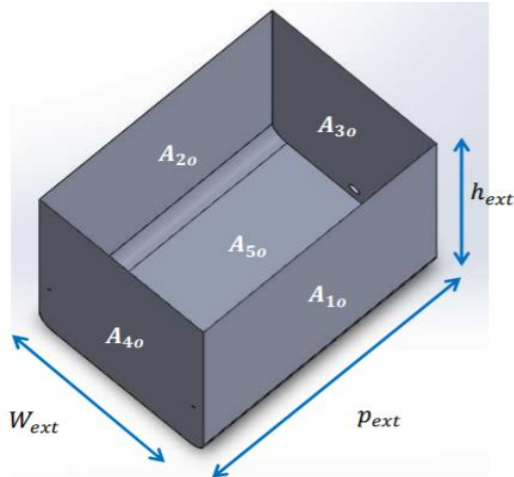


Figura 15: Dimensiones de las tapas y área externa del tanque [21].

Mediante la Ecuación 19 reemplazando los valores antes obtenidos de las áreas se determinará valor específico del área total de las tapas externas del tanque de almacenamiento.

$$A_{ext} = (1,40 + 1,40 + 1,032 + 1,032 + 1)m^2 \quad (19)$$

$$A_{ext} = 5,86m^2$$

Mediante la Ecuación 20 reemplazando los valores antes obtenidos de profundidad, altura y ancho se determinará valor específico del volumen real externo del tanque de almacenamiento.

$$V_{ext} = (1164 \cdot 860 \cdot 1200)mm^3 \quad (20)$$

$$V_{ext} = 1201,25 mm^3$$

2.1.5. Diseño final del tanque de almacenamiento

A través de los cálculos antes mencionados y realizados se obtendrá valores específicos que se rigen a parámetros establecidos por la normativa CPE INEN: 007:1983 que establece medidas longitudinales para el diseño del tanque de almacenamiento, con dichos resultados se utilizara el software (CAD), para realizar el modelo mecánico en 3D de cada una de las partes y accesorios que integran el tanque de almacenamiento como se muestra en la Figura 16 y Figura 17:

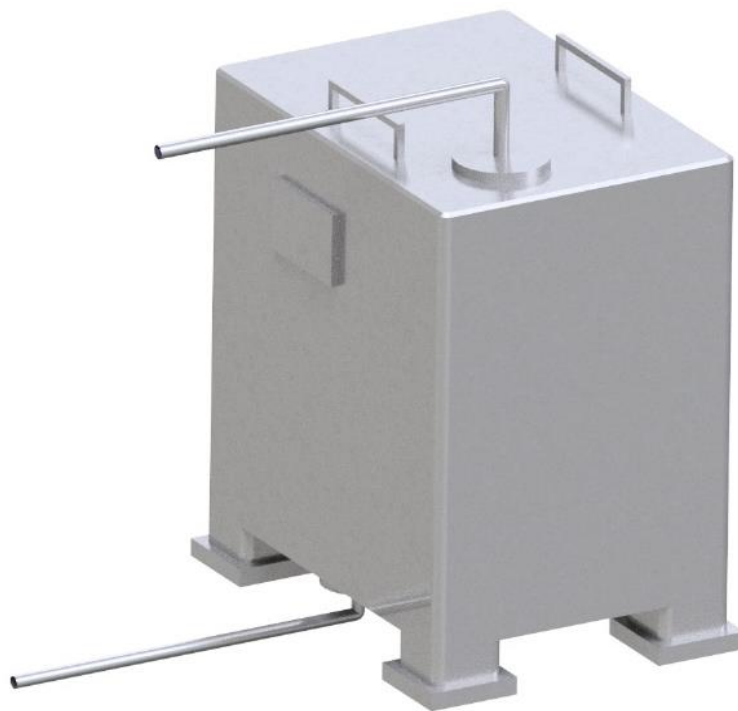


Figura16: Diseño final del tanque de almacenamiento.



Figura17: Diseño final del tanque de almacenamiento.

2.1.6. Parámetros basados en la normativa CPE INEN 007:1983 para tuberías

En la Tabla 8 indica parámetros dimensionales para el correcto diseño del sistema de tuberías para el tanque de almacenamiento.

Tabla 8: Parámetros para diseñar las tuberías [10].

Tamaño nominal espesor (mm)	Diámetro exterior nominal (mm)
1	25
1-1/2	38
2	50
2-1/2	64
3	76

2.2. Diseño del equipo de pasteurización

Para elaborar el equipo de pasteurización se considerarán los mismos parámetros de técnicas y estética que se empleará para el tanque de almacenamiento adoptando la normativa CPE INEN 007:1983 considerando medidas específicas calculando los parámetros para el equipo y su correcto diseño.

Con el diseño del equipo se busca un correcto proceso de pasteurización dentro de la línea de producción cumpliendo todos los estándares tanto del mecanizado y de calidad.

Además, se integrará la normativa ASME VIII que nos recomienda para equipos de pasteurización utilizar el acero inoxidable austenítico 304 para toda la superficie, integrando un doble encamisado en el tanque de pasteurización dando un factor de seguridad de $\eta=2$ que según la normativa es correcta cuando se tiene un espesor de lámina de 3mm, teniendo una presión de diseño de 30-40 PSI [13].

En la Tabla 7 y Tabla 9 se detallan ciertas especificaciones para el diseño del equipo de pasteurización:

Tabla 9: Parámetros específicos para el diseño de equipo de pasteurización

Detalle	Especificación
Capacidad	200 L
Presión de diseño	35 PSI
Cuerpo	Rectangular
Fluido	Leche

2.2.1. Cálculos para el diseño interno del equipo de pasteurización

Mediante la Ecuación 21 basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor del ancho del equipo de pasteurización no debe superar los 1800 mm, para lo cual se estableció un valor que se encuentra dentro del rango y dando un estilo estético del equipo de pasteurización.

$$W_{int} = 450 \text{ mm (21)}$$

Mediante la Ecuación 22 basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor para la altura entre el nivel máximo de la leche y el borde del tanque debe ser superior a 65 mm, para lo cual se estableció un valor que se encuentra dentro del rango y dando un buen margen de seguridad del equipo de pasteurización.

$$h_{mint} = 100 \text{ mm (22)}$$

Con la Ecuación 23 basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor la altura máxima entre el nivel del piso y el borde superior del tanque no debe superar los 1.400 mm, por lo que se estableció el valor límite de la altura para el equipo de pasteurización.

$$h_{maxint} = 1400 \text{ mm (23)}$$

Con la Ecuación 24 según el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor para la altura entre el nivel del piso y el borde interno mínimo debe superar 150 mm, para lo que se estableció un valor que está dentro del rango y dando un estilo estético del equipo de pasteurización.

$$h_{minint} = 160 \text{ mm (24)}$$

Mediante la Ecuación 25 reemplazando los valores antes definidos de las alturas se puede obtener el valor específico de la altura interna del equipo de pasteurización.

$$h_{int} = (1400 - 160 - 100) = 1140 \text{ mm (25)}$$

Mediante la Ecuación 26 se determinará el valor específico del volumen interno referencial del equipo de pasteurización agregando un 10% extra de la capacidad inicial.

$$V_{int-ref} = (200 + 20)L = 220L \text{ (26)}$$

Mediante la Ecuación 27 reemplazando los valores antes obtenidos del volumen, altura y anchura se determinará el valor específico de la profundidad interna del equipo de pasteurización

$$P_{int} = \frac{2,2 \cdot 10^8 mm^3}{(1140 \cdot 450) mm^2}$$

$$P_{int} = 428.849 \approx 429 \text{ mm (27)}$$

Mediante la Ecuación 28 se determinará el valor específico del área de las tapas internas A1 y A2, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{1i} = A_{2i} = (429 \cdot 1140) mm^2 = 0,489 m^2 \text{ (28)}$$

Mediante la Ecuación 29 se determinará el valor específico del área de las tapas internas A3 y A4, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{3i} = A_{4i} = (450 \cdot 1140) mm^2 = 0,513 m^2 \text{ (29)}$$

Mediante la Ecuación 30 se determinará el valor específico del área de la tapa interna A5.

$$A_{5i} = (450 \cdot 429) mm^2 = 0,193 m^2 \text{ (30)}$$

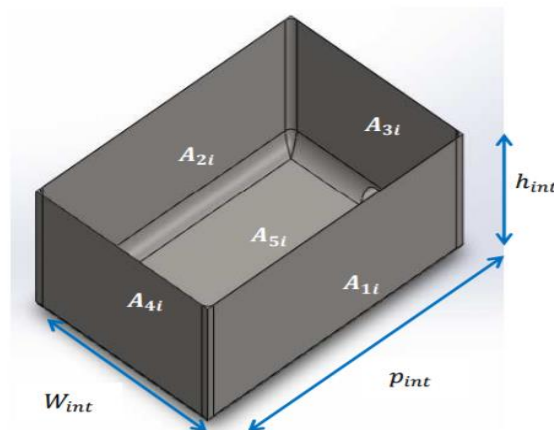


Figura 18: Dimensiones de las tapas y área internas del tanque [21].

Mediante la Ecuación 31 reemplazando los valores antes obtenidos de las áreas se determinará valor específico del área total de las tapas internas del equipo de pasteurización.

$$A_{int} = (0,489 + 0,489 + 0,513 + 0,513 + 0,193)m^2 \quad (31)$$
$$A_{int} = 2,197m^2 \approx 2,20m^2$$

Mediante la Ecuación 32 reemplazando los valores antes obtenidos de profundidad, altura y ancho se determinará valor específico del volumen real interno del equipo de pasteurización.

$$V_{int-real} = (429 \cdot 1140 \cdot 450)mm^3 = 220L \quad (32)$$

2.2.2. Cálculos para el diseño externo del equipo de pasteurización

Mediante la Ecuación 33 se determinará el valor específico del ancho externo del equipo de pasteurización integrando el espesor del encamisado extra.

$$W_{ext} = [450 + (2 \cdot 3)]mm = 456mm \quad (33)$$

Mediante la Ecuación 34 se determinará el valor específico de la profundidad externa del equipo de pasteurización integrando el encamisado extra.

$$P_{ext} = [429 + (2 \cdot 3)]mm = 435mm \quad (34)$$

Mediante la Ecuación 35 se determinará el valor específico de la altura externa del equipo de pasteurización integrando el encamisado extra.

$$h_{ext} = (1140 + 3mm) = 1143mm \quad (35)$$

Mediante la Ecuación 36 se determinará el valor específico del área de las tapas externas A1 y A2, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{1e} = A_{2e} = (435 \cdot 1143)mm^2 = 0,497m^2 \quad (36)$$

Mediante la Ecuación 37 se determinará el valor específico del área de las tapas externas A3 y A4, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{3e} = A_{4e} = (456 \cdot 1143)mm^2 = 0,521m^2 \quad (37)$$

Mediante la Ecuación 38 se determinará el valor específico del área de la tapa externa A5.

$$A_{5e} = (456 \cdot 435)mm^2 = 0,198m^2 \quad (38)$$

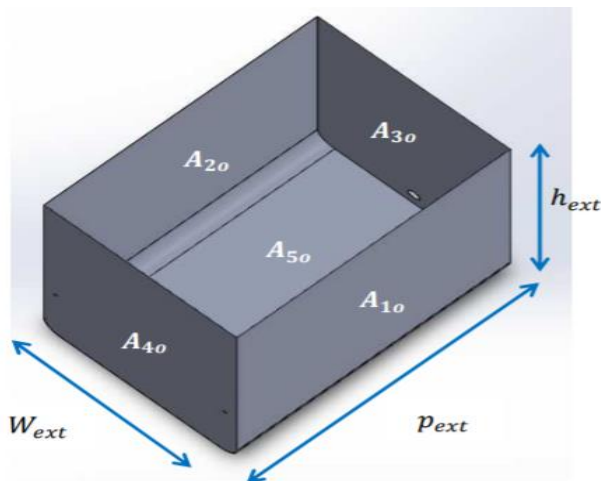


Figura 19: Dimensiones de las tapas y área externa del tanque [21].

Mediante la Ecuación 39 reemplazando los valores antes obtenidos de las áreas se determinará valor específico del área total de las tapas externas del equipo de pasteurización.

$$A_{ext} = (0,497 + 0,497 + 0,521 + 0,521 + 0,198)m^2 \quad (39)$$

$$A_{ext} = 2,23m^2$$

Mediante la Ecuación 40 reemplazando los valores antes obtenidos de profundidad, altura y ancho se determinará valor específico del volumen real externo del equipo de pasteurización.

$$V_{ext} = (435 \cdot 1143 \cdot 456)mm^3 \quad (40)$$

$$V_{ext} = 226,73 mm^3$$

2.2.3. Diseño final del equipo de pasteurización

Mediante los cálculos antes obtenidos tenemos como resultados valores específicos que se rigen a parámetros establecidos por la normativa CPE INEN: 007:1983 y ASME VIII, mediante dichos valores y resultados longitudinales para el diseño del equipo de pasteurización se utilizó un software que permite efectuar diseños asistidos por computadoras (CAD), realizando el modelo mecánico en 3D de cada una de las partes y accesorios que conforman el equipo de pasteurización como se muestra en la Figura 20, Figura 21 y Figura 22:

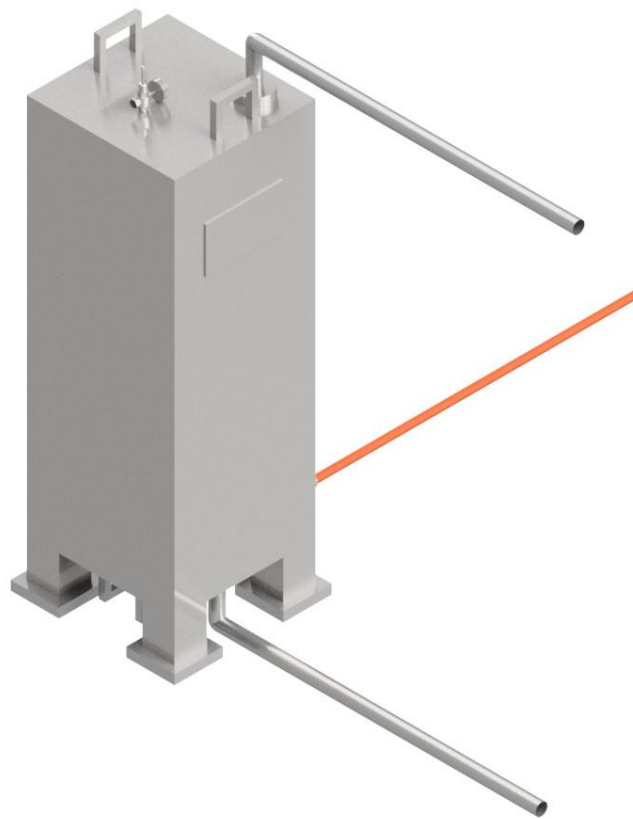


Figura 20: Diseño de equipo de pasteurización.

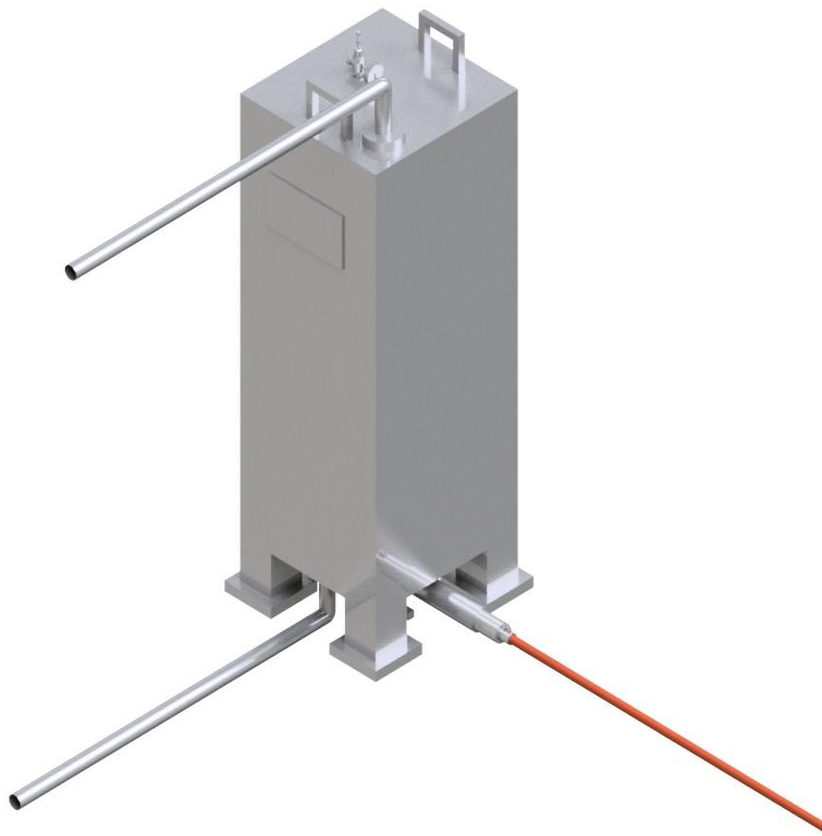


Figura 21: Diseño de equipo de pasteurización.

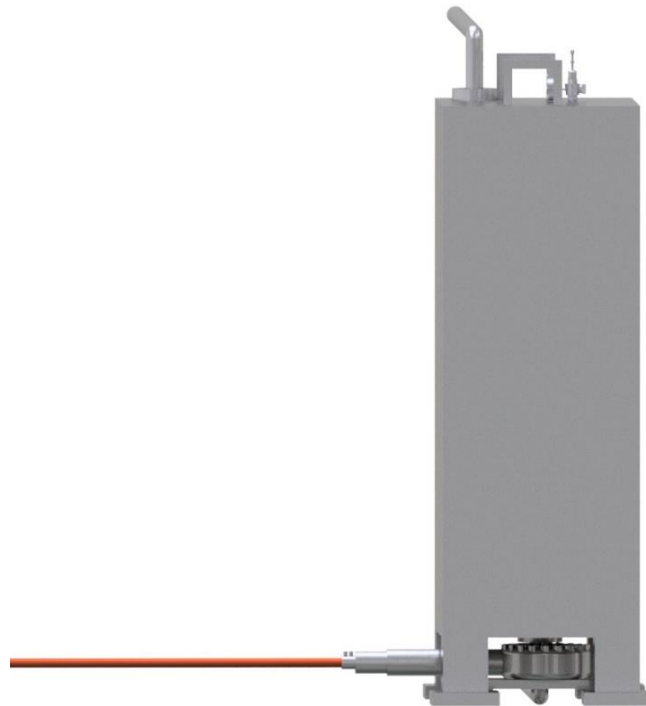


Figura 22: Diseño de equipo de pasteurización.

2.2.4. Parámetros basados en la normativa CPE INEN 007:1983 para tuberías

La Tabla 10 indica los parámetros dimensionales para tuberías de cobre de temple flexible tipo “L” para el correcto diseño del sistema de tuberías para el tanque del equipo de pasteurización.

Tabla10: Parámetros para conexiones de tuberías de cobre [22].

Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor de Pared (mm)
9,525	8,001	0,762
12,700	10,922	0,889
15,875	13,843	1,016
19,050	16,916	1,067
22,225	19,939	1,143
28,575	26,035	1,270

2.2.5. Parámetros de manómetro y válvula de alivio de presión

En la Tabla 11 se muestra las especificaciones del tipo de manómetro y válvula de alivio de presión que serán los componentes adiciones para el equipo de pasteurización en función de la capacidad para el cual fue diseñado el equipo:

Tabla 11: Especificaciones para los componentes del equipo de pasteurización.

Componentes	Especificación
Manómetro	M-300 / 0-300 PSI
Válvula de alivio de presión	¾ pulgadas

2.3 Diseño del equipo de corte de cuajada y desuerado.

Para efectuar el diseño del equipo de corte de cuajada se tendrá en cuenta los parámetros establecidos por la normativa CPE INEN 007:1983 que nos indica medidas específicas y cálculos que permitan el diseño de la tina para el corte de cuajada teniendo un correcto y adecuado equipo, que cumplirá todos los estándares tanto mecánicos y de calidad.

Realizando un adecuado diseño se busca un correcto proceso de corte de cuajada y desuerado dentro de la línea de producción, permitiendo contener 200 L de leche que es la cantidad que emite el equipo de pasteurización con un total de 800L diarios.

En la Tabla 7 y Tabla 12 se detallan ciertas especificaciones para el diseño de la tina para el corte de cuajada.

Tabla 12: Especificaciones para el diseño del equipo de corte de cuajada y desuerado.

Detalle	Especificación
Capacidad	200 L
Cuerpo	Rectangular
Fluido	Leche

2.3.1. Cálculos para el diseño interno del equipo de corte de cuajada y desuerado

Mediante la Ecuación 41 basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor del ancho del equipo de corte de cuajada y desuerado no debe superar los 1800 mm, para lo cual se estableció un valor que se encuentra dentro del rango y dando un estilo estético del equipo de pasteurización.

$$W_{int} = 450 \text{ mm (41)}$$

Mediante la Ecuación 42 basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor para la altura entre el nivel máximo de la leche y el borde del tanque debe ser superior a 65 mm, para lo cual se estableció un valor que se encuentra dentro del rango y dando un buen margen de seguridad del equipo de corte de cuajada y desuerado.

$$h_{m\ int} = 100\ mm\ (42)$$

Mediante la Ecuación 43 basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor la altura máxima entre el nivel del piso y el borde superior del tanque no debe superar los 1400 mm, para lo cual se estableció dicho valor como referencia límite de la altura para el equipo de corte de cuajada y desuerado.

$$h_{max\ int} = 1400\ mm\ (43)$$

Mediante la Ecuación 44 basándonos en el parámetro establecido por la normativa CPE INEN: 007:1983 el valor para la altura entre el nivel del piso y el borde interno mínimo debe ser superior a 150 mm, para lo cual se estableció un valor que se encuentra dentro del rango y dando un estilo estético del equipo de corte de cuajada y desuerado.

$$h_{min\ int} = 700\ mm\ (44)$$

Mediante la Ecuación 45 reemplazando los valores antes definidos de las alturas se puede obtener el valor específico de la altura interna del equipo de corte de cuajada y desuerado.

$$h_{int} = 1400 - 700 - 100\ (45)$$

$$h_{int} = 600\ mm$$

Mediante la Ecuación 46 se determinará el valor específico del volumen interno referencial del equipo de corte de cuajada y desuerado agregando un 10% extra de la capacidad inicial.

$$V_{int-ref} = (200 + 20)L = 220L\ (46)$$

Mediante la Ecuación 47 reemplazando los valores antes obtenidos del volumen, altura y anchura se determinará el valor específico de la profundidad interna del equipo de corte de cuajada y desuerado.

$$P_{int} = \frac{2,2 \cdot 10^8 mm^3}{(600 \cdot 450) mm^2}$$

$$P_{int} = 814,814 \approx 815 \text{ mm (47)}$$

Mediante la Ecuación 48 se determinará el valor específico del área de las tapas internas A1 y A2, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{1i} = A_{2i} = (815 \cdot 600) mm^2 = 0,489 m^2 \text{ (48)}$$

Mediante la Ecuación 49 se determinará el valor específico del área de las tapas internas A3 y A4, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{3i} = A_{4i} = (450 \cdot 600) mm^2 = 0,270 m^2 \text{ (49)}$$

Mediante la Ecuación 50 se determinará el valor específico del área de la tapa interna A5.

$$A_{5i} = (450 \cdot 815) mm^2 = 0,367 m^2 \text{ (50)}$$

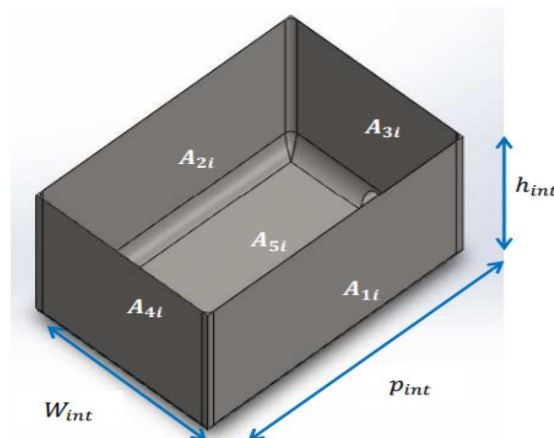


Figura 23: Dimensiones de las tapas y área internas del tanque [21].

Mediante la Ecuación 51 reemplazando los valores antes obtenidos de las áreas se determinará valor específico del área total de las tapas internas del equipo de corte de cuajada y desuerado.

$$A_{int} = (0,489 + 0,489 + 0,270 + 0,270 + 0,367)m^2 \text{ (51)}$$
$$A_{int} = 1.885m^2$$

Mediante la Ecuación 52 reemplazando los valores antes obtenidos de profundidad, altura y ancho se determinará valor específico del volumen real interno del equipo de corte de cuajada y desuerado.

$$V_{int-real} = (815 \cdot 600 \cdot 450)mm^3 \text{ (52)}$$
$$V_{int-real} = 220 L$$

2.3.2. Cálculos para el diseño externo del equipo de corte de cuajada y desuerado.

Mediante la Ecuación 53 se determinará el valor específico del ancho externo del equipo de corte de cuajada y desuerado integrando el espesor del encamisado.

$$W_{ext} = [450 + (2 \cdot 1,5)]mm = 453mm \text{ (53)}$$

Mediante la Ecuación 54 se determinará el valor específico de la profundidad externa del equipo de corte de cuajada y desuerado integrando el encamisado.

$$P_{ext} = [815 + (2 \cdot 1,5)]mm = 818 mm \text{ (54)}$$

Mediante la Ecuación 55 se determinará el valor específico de la altura externa del equipo de corte de cuajada y desuerado integrando el encamisado.

$$h_{ext} = (600 + 1,5mm) = 601,5 mm \text{ (55)}$$

Mediante la Ecuación 56 se determinará el valor específico del área de las tapas externas A1 y A2, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{1e} = A_{2e} = (818 \cdot 601,5)mm^2 = 0,492 m^2 \text{ (56)}$$

Mediante la Ecuación 57 se determinará el valor específico del área de las tapas externas A3 y A4, teniendo en cuenta que las dos tapas son paralelas mantienen la misma área.

$$A_{3e} = A_{4e} = (453 \cdot 601,5)mm^2 = 0,273 m^2 \text{ (57)}$$

Mediante la Ecuación 58 se determinará el valor específico del área de la tapa externa A5.

$$A_{5e} = (453 \cdot 818)mm^2 = 0,371 m^2 \text{ (58)}$$

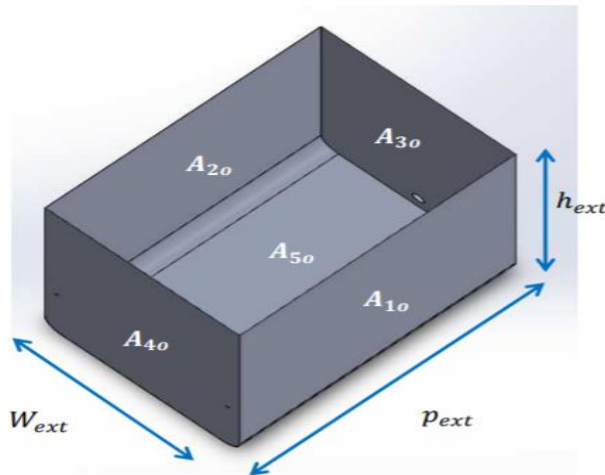


Figura 24: Dimensiones de las tapas y área externa del tanque [21].

Mediante la Ecuación 59 reemplazando los valores antes obtenidos de las áreas se determinará valor específico del área total de las tapas externas del equipo de corte de cuajada y desuerado.

$$A_{ext} = (0,492 + 0,492 + 0,273 + 0,273 + 0,371)m^2 \text{ (59)}$$

$$A_{ext} = 1,901 m^2$$

Mediante la Ecuación 60 reemplazando los valores antes obtenidos de profundidad, altura y ancho se determinará valor específico del volumen real externo del equipo de corte de cuajada y desuerado.

$$V_{ext} = (453 \cdot 818 \cdot 601,5)mm^3 \text{ (60)}$$

$$V_{ext} = 222,888 \approx 223 \text{ mm}^3$$

2.3.3. Diseño final del equipo de corte de cuajada y desuerado

Con ayuda de los cálculos previamente realizados tenemos como resultados valores específicos que cumplen con parámetros establecidos por la normativa CPE INEN: 007:1983, utilizando estos resultados longitudinales para el diseño del equipo de corte de cuajada y desuerado se empleó un software que permite efectuar diseños asistidos por computadoras (CAD), creando el modelo mecánico en 3D de cada una de los componentes y accesorios que conforman el equipo corte de cuajada y desuerado como se muestra en la Figura 25 y Figura 26:

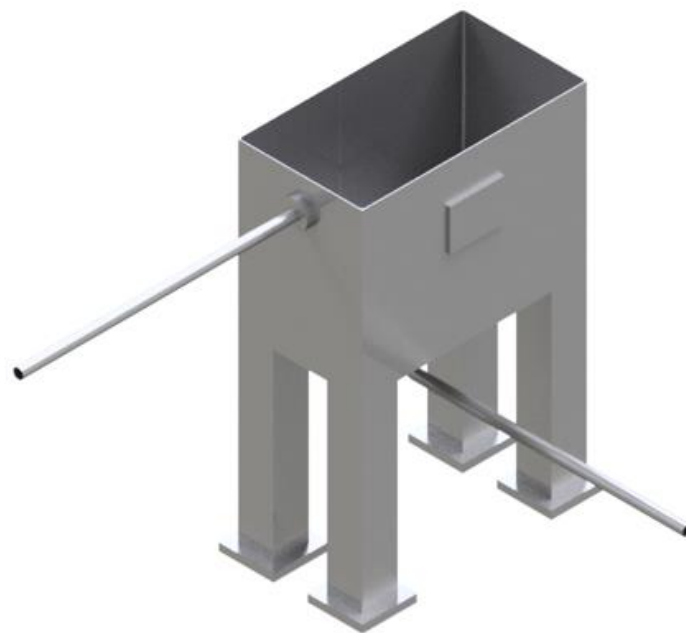


Figura 25: Diseño de equipo de corte de cuajada y desuerado

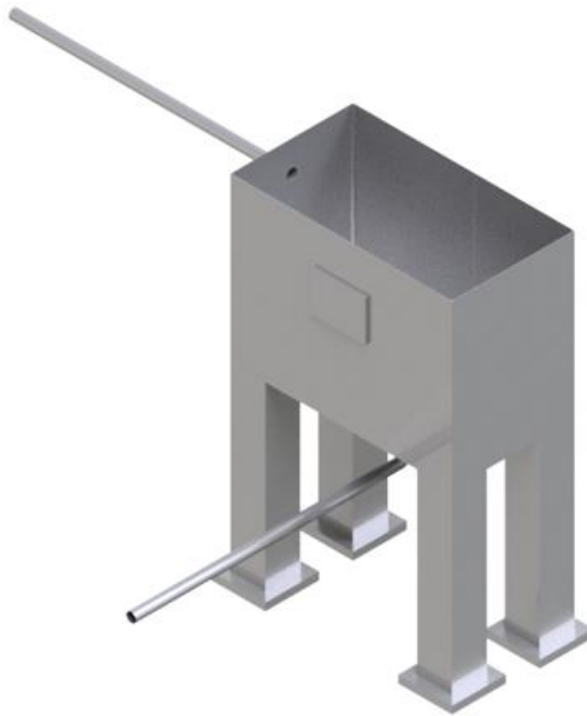


Figura 26: Diseño de equipo de corte de cuajada y desuerado

2.3.4. Diseño de liras para el corte de cuajada

Según Jaime Medina Borja [18], para el correcto diseño de utensilios utilizados en industrias alimenticias como cuchillería dentro del cual entran las liras para el corte de cuajada se debe emplear los aceros inoxidable martensíticos AISI 440 permitiendo de esta manera mantener un correcto diseño mecánico y conservando la calidad del producto final.

Según Vicente Alejandro Galindo Proaño [19], en la siguiente Tabla 13 se establece ciertos parámetros para efectuar el correcto diseño de liras para el corte de cuajada:

Tabla 13: Parámetros establecidos para el diseño de lira [19].

Detalle de lira	Parámetros dimensionales
Paleta de la lira	1,3 m
Diámetro del brazo de la lira	1/20 de la longitud de la paleta
Largo de la lira	0,34 m
Alto del brazo de la lira	1/5 de la longitud de la paleta
Ancho de la lira	0,09 m

2.3.5. Cálculos para el diseño de lira para el corte de cuajada

Mediante la Ecuación 61 se determinará el valor específico del diámetro del brazo de la lira.

$$\begin{aligned}\phi_l &= \frac{1}{20} \cdot 1,30 \text{ (61)} \\ \phi_l &= 0,065 \text{ m}\end{aligned}$$

Mediante la Ecuación 62 se determinará el valor específico del alto del brazo de la lira.

$$\begin{aligned}h_{bl} &= \frac{1}{5} \cdot 1,3 \text{ (62)} \\ h_{bl} &= 0,26 \text{ m}\end{aligned}$$

Mediante la Ecuación 63 se determinará el valor específico del alto del brazo de la lira.

$$\begin{aligned}h_{tl} &= (1,3 + 0,26)m \text{ (63)} \\ h_{tl} &= 1,56 \text{ m}\end{aligned}$$

Mediante la Ecuación 64 se determinará el valor específico de la distancia entre hilo e hilo de la lira.

$$\begin{aligned}D_h &= \frac{(0,34 - 0,065)m}{10} \\ D_h &= 0,027 \text{ m (64)}\end{aligned}$$

2.3.6. Diseño final de la lira para el corte de cuajada

Basándonos en los cálculos previamente realizados anteriormente obtenemos valores específicos, con los parámetros y resultados obtenidos se empleó un software que permite efectuar diseños asistidos por computadoras (CAD), creando el modelo mecánico en 3D de la lira para el corte de cuajada como se muestra en la Figura 27:

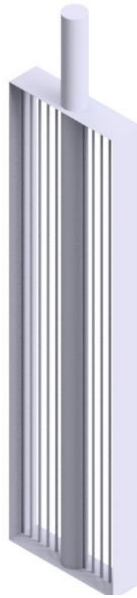


Figura 27: Diseño de lira para corte de cuajada.

CAPÍTULO III

Resultados

3.1. Distribución de la línea de producción de quesos

Con los cálculos del Capítulo II, se obtuvieron las dimensiones exactas para el diseño de cada equipo en la línea de producción de quesos. Mediante la información obtenida en el Capítulo I del proceso para la elaboración de quesos, se determinará la distribución de la misma integrando un diagrama de interacción dentro de los procesos de la línea de producción.

En la Tabla 14 se muestra los tipos y representación de las interacciones para elaborar el diagrama de relaciones:

Tabla 14: Tipos y representación del diagrama de relaciones [26].

N.º	Código	Representación	Valor
1	A	4 líneas	10
2	E	3 líneas	5
3	I	2 líneas	2
4	O	1 línea	1
5	U	Sin línea	0
6	X	Línea entrecortada	-10

En la siguiente Tabla 15 se indica la definición de las interacciones dentro del diagrama de relaciones:

Tabla 15: Tipos y representación del diagrama de relaciones [26].

N.º	Código	Valor	Definición
1	A	10	Absolutamente necesaria
2	E	5	Especialmente importante
3	I	2	Importante
4	O	1	Ordinaria
5	U	0	No importante
6	X	-10	Indeseable

En la siguiente Tabla 16 se demuestra la valorización de interacciones de la línea de producción de quesos.

Tabla 16: Valorización de interacciones de la línea de producción.

Centro de trabajo	Almacenamiento de leche	Pasteurización	Corte de cuajada y desuerado	Total
Almacenamiento de leche	-	10	2	12
Pasteurización	10	-	10	20
Corte de cuajada y desuerado	2	10	-	12

Mediante la Figura 28 y Figura 29 se demuestra el diagrama de relaciones que mediante la valorización realizada de interacciones se designara al área de pasteurización como el proceso central dentro de la línea de producción de quesos ya que interviene y mantiene una relación absolutamente necesaria tanto con el área de almacenamiento de leche y corte de cuajada y desuerado, de esta manera estas dos áreas restantes mantienen una relación importante pero no son procesos que deben ser centralizados ya que no mantienen una relación constante con todos los procesos de la línea de producción.

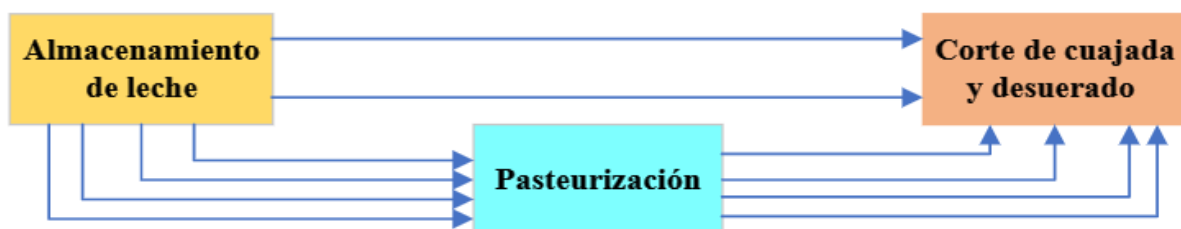


Figura 28: Diagrama de relaciones de la línea de producción de quesos.

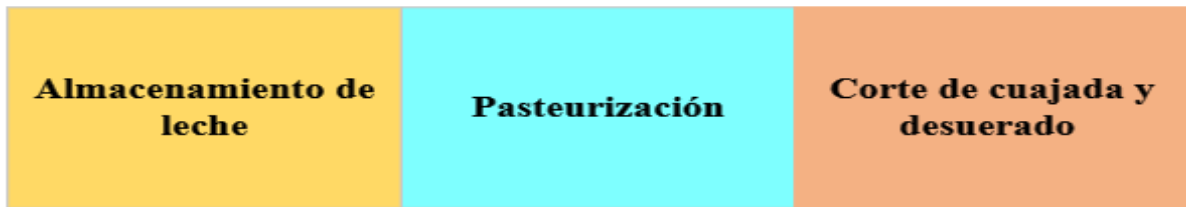


Figura 29: Relación entre procesos dentro de la línea de producción.

3.2. Simulación de la línea de producción

Mediante los resultados obtenidos anteriormente de la capacidad de cada equipo que integra la línea de producción se implementó un software de simulación de procesos que desarrolle un prototipo de forma gráfica que permite determinar el comportamiento de cada proceso dentro de la línea de producción de quesos, además de demostrar de forma digitalizada y en tiempo real el funcionamiento de la línea de producción desde que la materia prima llega hasta obtener el producto final.

3.2.1. Proceso de almacenamiento de leche en el simulador

El proceso de simulación empieza con la recepción de la materia prima en este caso la leche siendo el producto principal para la elaboración del queso, el llenado del tanque de almacenamiento empieza a las 5:30 am, manteniendo el valor de caudal por default de las tuberías del simulador para llenar el tanque de 800 L se necesita un tiempo de 13 minutos con 20 segundos, se deberá tomar en cuenta que el tanque se llena una sola vez en el día y se producirá 160 quesos diarios que pesaran 5000 gr o 5000 ml.

3.2.2. Cálculo de tiempo del sistema de tubería del tanque de almacenamiento

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$Q = 1 \frac{L}{s}$$

$$V = (1044 \cdot 1140 \cdot 740) = 881L$$

$$t = \frac{881 L}{1 \frac{L}{s}} 881 s \approx 13 \text{ minutos con } 20 \text{ segundos}$$

3.2.3. Proceso de pasteurización de leche en el simulador

Tras el almacenamiento de leche, se procederá a la pasteurización, manteniendo el valor de caudal por default de las tuberías del simulador para llenar el tanque del equipo de pasteurización de 200 L, se necesita un tiempo de 3 minutos con 20 segundos, y el proceso de pasteurización de la leche se estima una duración de 30 minutos seguido del enfriamiento al ambiente durante 30 minutos, teniendo 4 fases para completar los 800 L durante la jornada de funcionamiento de la línea de producción.

3.2.4. Cálculo de tiempo del sistema de tubería del equipo de pasteurización

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$Q = 1 \frac{L}{s}$$

$$V = (429 \cdot 1140 \cdot 450) mm^3 = 220L$$

$$t = \frac{220 L}{1 \frac{L}{s}} 220 s \approx 3 \text{ minutos con } 20 \text{ segundos}$$

3.2.5. Proceso de corte de cuajada y desuerado en el simulador

Culminada la pasteurización se procederá al proceso de corte de cuajada y desuerado, manteniendo el valor de caudal por default de las tuberías del simulador para llenar el tanque del equipo de corte de cuajada y desuerado de 200 L se necesita un tiempo de 3 minutos con 20 segundos, adicional se integra a la leche las sustancias coagulantes y fermentos dejando reposar la mezcla durante 25 minutos hasta que haga efecto las sustancias, dejando pasar el tiempo determinado se procederá a realizar el corte de cuajada que por default de la velocidad del operador tardara 8 segundos, seguido de drenar el suero que no se coagulo teniendo en cuenta que el 90% es suero eliminado y el 10 % es el cuajo para la elaboración del queso, manteniendo el valor de caudal por default de las tuberías del simulador para drenar todo el suero restante se necesita de un tiempo de 2 minutos con 40 segundos.

3.2.6. Cálculo de tiempo del sistema de tubería del equipo de corte de cuajada y desuerado

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$Q = 1 \frac{L}{s}$$

$$V = (815 \cdot 600 \cdot 450)mm^3 = 220L$$

$$t = \frac{220 L}{1 \frac{L}{s}} 220 s \approx 3 \text{ min } u \text{ tos con } 20 \text{ segundos}$$

3.2.7. Proceso de moldeado en el simulador

Finalizado el proceso de corte de cuajada y desuerado se efectuará de forma manual el moldeado de tal manera que se procederá a colocar el cuajo en los respectivos moldes, se debe tener en cuenta que los moldes tienen la misma capacidad para todos los quesos que serán elaborados.

Según Rubén Gabriel Benites Cunalata [23] el proceso de moldeado de queso manualmente estima un tiempo de 3 minutos y 1 segundo por cada 100 quesos. Considerando que los tiempos establecidos de moldeado para la producción del proyecto se estiman 160 quesos diarios distribuidos en 4 lotes de 40 quesos, según un cálculo realizado, se necesita un tiempo de 1 minuto con 13 segundos por lote de quesos para el proyecto. Además, considerando que el operador llevará 1 recipiente de cuajo por lote de quesos que pesa entre 40 L o 40 kg al equipo de moldeado el operador tardará 1 segundo en llevar el cuajo.

3.2.8. Proceso de reposo del moldeado en el simulador

Una vez culminado el moldeado de los quesos, se procede con el proceso de reposo de los mismos, mediante el almacenamiento en estanterías permitiendo su respectivo orden según la hora en la que fue almacenado ya que se debe llevar una correcta trazabilidad de los tiempos en los que se colocó a reposar el queso.

Según Andrea Elizabeth Sánchez Zumba [24], el periodo de reposo del queso una vez culminado el proceso de colocación del cuajo en el molde (moldeado) se estima entre 3 horas de almacenamiento o reposo del molde. Además, considerando que el operador puede llevar 2 quesos por viaje a la estantería de almacenamiento de reposo el operador tardara 1 minuto con 20 segundos en llevar cada lote de quesos lugar designado.

3.2.9. Proceso de desmolde y empaque del queso en el simulador

Finalizado el reposo de los moldes de queso, se efectuará el proceso desmolde el cual necesita un tiempo de 1 minuto con 13 segundos al igual que el proceso de moldeado, seguido del proceso empaque el cual se desarrollará de manera automatizada mediante un equipo de empaque, se debe tener en cuenta que por el equipo empacará 40 quesos.

Para el proceso se utilizará una máquina de empaque al vacío polar 2-85, que dentro de sus características genera ciclos de 10 segundos, de esta manera empacará el queso permitiendo la conservación del producto y su protección a factores externos conservando su estructura física y sin afectar su composición [25].

Con la información detallada sobre el tipo de equipo que se utilizara para el empaque del producto, se analizó que se necesitara para el empaque 10 segundos por queso y 40 segundos por lote.

3.2.10. Almacenamiento del producto terminado en el simulador

Una vez finalizado el empaquetado del queso se trasportará por una banda trasportadora que manteniendo el valor por default del simulador se necesita un tiempo de 5 segundos por queso y 3 minutos con 20 segundos por lote, de esta manera permitiendo al operador almacenar correctamente los quesos en la estantería designada, se debe tener en cuenta que el tiempo de transporte del queso desde las bandas trasportadoras hasta las estanterías de almacenamiento entre ir y volver es de 2 segundos y 1 minuto con 20 segundos por lote.

Al describir los procesos del proyecto se identificaron los tiempos establecidos para operaciones, transporte, espera y almacenamiento considerando la capacidad de cada equipo dentro de la línea de producción.

3.3. Análisis de los resultados obtenidos en la simulación de la línea de producción

En la Figura 30 se detallan los resultados del contenido mínimo y máximo alcanzado por áreas dentro de la línea de producción, estos datos permitirán llevar una trazabilidad desde la llegada de la materia primera la leche que entran a la línea de producción hasta el número estimado de quesos obtenidos diariamente, así se determinara que las áreas de trabajo generen su rango de contenido mínimo o máximo estimado diariamente, permitiendo alcanzar la producción sin sobreproducción o faltantes:

CONTENIDO DE EQUIPOS (POR PRODUCCIÓN)

Objeto	Actual	Min	Max
Almacenamiento de leche	0	1	1
Pasteurizadora	0	4	4
Desuerado y corte de cuajada	0	4	4
Moldeado	0	160	160
Reposo del moldeado	0	160	160
Desmolde	0	160	160
Empaque	0	160	160
Bandas transportadoras	0	160	160
Producto terminado	160	160	160

Figura 30: Contenido mínimo y máximo de equipos por producción.

En la Figura 31 se detallan los resultados de los tiempos mínimos y máximos de las funciones o estancias de los equipos dentro de la línea de producción, estos datos permitieran determinar los tiempos en unidades de segundos que el equipo tarda en hacer sus funciones diarias, así llevar una trazabilidad de la funcionalidad de estos y se tendrá un control de programación de la producción diaria:

TIEMPO DE ESTANCIA DE EQUIPOS (POR PRODUCCIÓN)

Objeto	Tiempo min de estancia	Tiempo max de estancia
Almacenamiento de leche	800	800
Pasteurizadora	14400	14400
Desuerado y corte de cuajada	6640	6640
Moldeado	292	292
Reposo del moldeado	43200	43200
Desmolde	292	292
Empaque	160	160
Bandas transportadoras	800	800
Operador 1	996	996
Tuberia 1	200	200
Tuberia 2	800	800

Figura 31: Tiempo de funcionamiento diario de los equipos.

En la Figura 32 se detallan los resultados del tiempo de espera máximo por cada equipo o área de trabajo dentro de la línea de producción, con los datos obtenidos se determinará el tiempo en unidad de segundos que deberá esperar cada equipo hasta efectuar su función, así se llevará un control de tiempos para notar y prevenir posibles demoras no previstas durante la producción diaria y tener una programación específica de tiempos de producción:

TIEMPO DE ESPERA DE EQUIPOS (POR LOTE)

Objeto	Max
Almacenamiento de leche	800
Pasteurizadora	1000
Desuerado y corte de cuajada	4800
Moldeado	6469
Reposo del moldeado	6622
Desmolde	17502
Empaque	17575
Bandas transportadoras	17615
Producto terminado	17695

Figura 32: Tiempo de funcionamiento diario de los equipos.

En la Figura 33 se muestra un cursograma que nos muestra de manera resumida el análisis de los resultados obtenidos en la simulación de la línea de producción:

Cursograma analítico del proceso de producción de queso fresco								
Diagrama N.º	Hoja N.º 1		Actividades			N.º		
Producto	Producción de quesos		Operación	○		6		
Actividad	Proceso de producción		Transporte	➡		7		
Lugar	Pichincha-Quito		Espera	D		4		
Operarios	1 en jornadas de 8 horas diaria		Almacenamiento	▽		3		
Distancia (metros)			21 m	Símbolo		N.º de lotes	4 Lotes de queso	
Tiempo (minutos)			298 minutos y 15 segundos			Cantidad por lote	40 quesos	
Descripción	Cantidad	Distancia (m)	Tiempo (min)	○	➡	D	▽	Especificación
Almacenamiento de leche	800 L		13 minutos y 20 segundos				●	Tubería
Transporte de leche a la pasteurizadora	200 L	1m	3 minutos y 20 segundos		●			Tubería
Proceso de pasteurización	200 L		30 minutos	●				Equipo
Enfriamiento de la leche	200 L		30 minutos				●	Equipo
Transporte de leche al equipo de corte de cuajada y desuerado	200 L	1 m	3 minutos y 20 segundos		●			Tubería
Colocar sustancias y reposo de la mezcla	200 L		25 minutos	●		●		Manual
Corte de cuajo	200 L		8 segundos	●				Manual con herramienta
Drenar suero	180 L	1 m	2 minutos con 40 segundos				●	Tubería
Transporte de cuajo	40 kg o 40 L	2 m	1 segundo		●			Manual
Moldeado de queso	40 unidades		1 minuto con 13 segundos	●				Manual
Transporte de los moldes a estantería	40 unidades	2 m	1 minuto con 20 segundos		●			Manual
Reposo de los moldes de queso	40 unidades		180 minutos				●	Manual
Transporte de los moldes a empaque	40 unidades	2 m	1 minuto con 20 segundos		●			Manual
Desmolde del queso	40 unidades		1 minuto con 13 segundos	●				Manual
Empaque del queso	40 unidades		40 segundos	●				Equipo
Transporte del queso empacado por banda transportadora	40 unidades	10 m	3 minutos y 20 segundos				●	Equipo
Transporte del queso empacado a estantería de almacenamiento	40 unidades	2 m	1 minuto con 20 segundos		●		●	Manual

Figura 33: Cursograma de tiempos dentro de la línea de producción.

En la Figura 34 y Figura 35 se muestra un horario o cronometraje de los tiempos establecidos por el análisis de los resultados anteriormente determinados en la Figura 29, Figura 30 y Figura 31, que nos muestra de manera resumida y ordenada el tiempo específico que tardara cada lote de producción de quesos en producir el producto final, de tal manera que se llevara una trazabilidad determinada de tiempos, consiguiendo de esta manera una programación exacta de cantidad de producto:

TIEMPOS EN LA JORNADA LABORAL POR CADA LOTE DE PRODUCCIÓN DENTRO DE LOS PROCESO DE ELABORACIÓN DE QUESOS				
PROCESOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN	LOTE 1		LOTE 2	
	TIEMPO INICIO	TIEMPO FINAL	TIEMPO INICIO	TIEMPO FINAL
Almacenamiento de leche	6:00:00	6:13:20		
Transporte de leche a la pasteurizadora	6:13:20	6:16:40	7:20:00	7:23:20
Proceso de pasteurización	6:16:40	7:16:40	7:23:20	8:23:20
Transporte de leche al equipo de corte de cuajada y desuerado	7:16:40	7:20:00	8:23:20	8:26:40
Colocar sustancias y reposo de la mezcla	7:20:00	7:45:00	8:26:40	8:51:40
Corte de cuajo	7:45:00	7:45:08	8:51:40	8:51:48
Drenar suero	7:45:08	7:47:48	8:51:48	8:54:28
Transporte de cuajo	7:47:48	7:47:49	8:54:28	8:54:29
Moldeado de queso	7:47:49	7:49:02	8:54:29	8:55:42
Transporte de los moldes a estantería	7:49:02	7:50:22	8:55:42	8:57:02
Reposo de los moldes de queso	7:50:22	10:50:22	8:57:02	11:57:02
Transporte de los moldes a empaque	10:50:22	10:51:42	11:57:02	11:58:22
Desmolde del queso	10:51:42	10:52:55	11:58:22	11:59:35
Empaque del queso	10:52:55	10:53:35	11:59:35	12:00:15
Transporte del queso empacado por banda transportadora	10:53:35	10:56:55	12:00:15	12:03:35
Transporte del queso empacado a estantería de almacenamiento	10:56:55	10:58:15	12:03:35	12:04:55

Figura 34: Cronometraje de tiempos del lote 1 y 2 de producción.

TIEMPOS EN LA JORNADA LABORAL POR CADA LOTE DE PRODUCCIÓN DENTRO DE LOS PROCESO DE ELABORACIÓN DE QUESOS				
PROCESOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN	LOTE 3		LOTE 4	
	TIEMPO INICIO	TIEMPO FINAL	TIEMPO INICIO	TIEMPO FINAL
Almacenamiento de leche				
Transporte de leche a la pasteurizadora	8:26:40	8:30:00	9:33:20	9:36:40
Proceso de pasteurización	8:30:00	9:30:00	9:36:40	10:36:40
Transporte de leche al equipo de corte de cuajada y desuerado	9:30:00	9:33:20	10:36:40	10:40:00
Colocar sustancias y reposo de la mezcla	9:33:20	9:58:20	10:40:00	11:05:00
Corte de cuajo	9:58:20	9:58:28	11:05:00	11:05:08
Drenar suero	9:58:28	10:01:08	11:05:08	11:07:48
Transporte de cuajo	10:01:08	10:01:09	11:07:48	11:07:49
Moldeado de queso	10:01:09	10:02:22	11:07:49	11:09:02
Transporte de los moldes a estantería	10:02:22	10:03:42	11:09:02	11:10:22
Reposo de los moldes de queso	10:03:42	13:03:42	11:10:22	14:10:22
Transporte de los moldes a empaque	13:03:42	13:05:02	14:10:22	14:11:42
Desmolde del queso	13:05:02	13:06:15	14:11:42	14:12:55
Empaque del queso	13:06:15	13:06:55	14:12:55	14:13:35
Transporte del queso empacado por banda transportadora	13:06:55	13:10:15	14:13:35	14:16:55
Transporte del queso empacado a estantería de almacenamiento	13:10:15	13:11:35	14:16:55	14:18:15

Figura 35: Cronometraje de tiempos del lote 3 y 4 de producción.

3.4. Diseño final de la simulación de la línea de producción de quesos

En la Figura 36 y Figura 37 se muestra la simulación de la línea de producción mediante el software implementado:

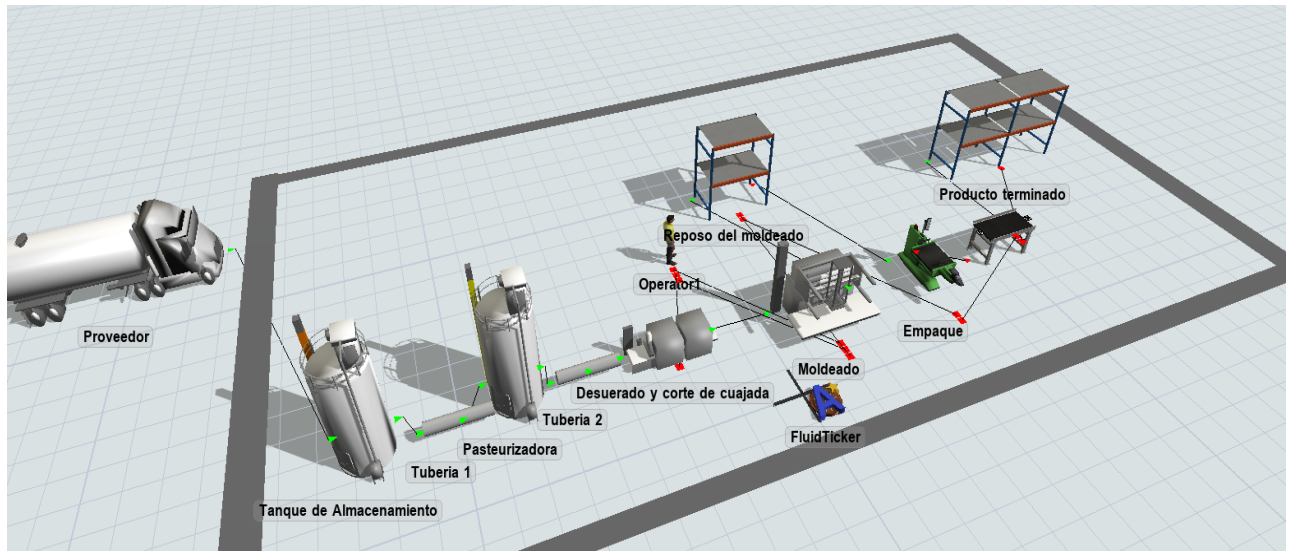


Figura 36: Simulación de línea de producción de quesos.

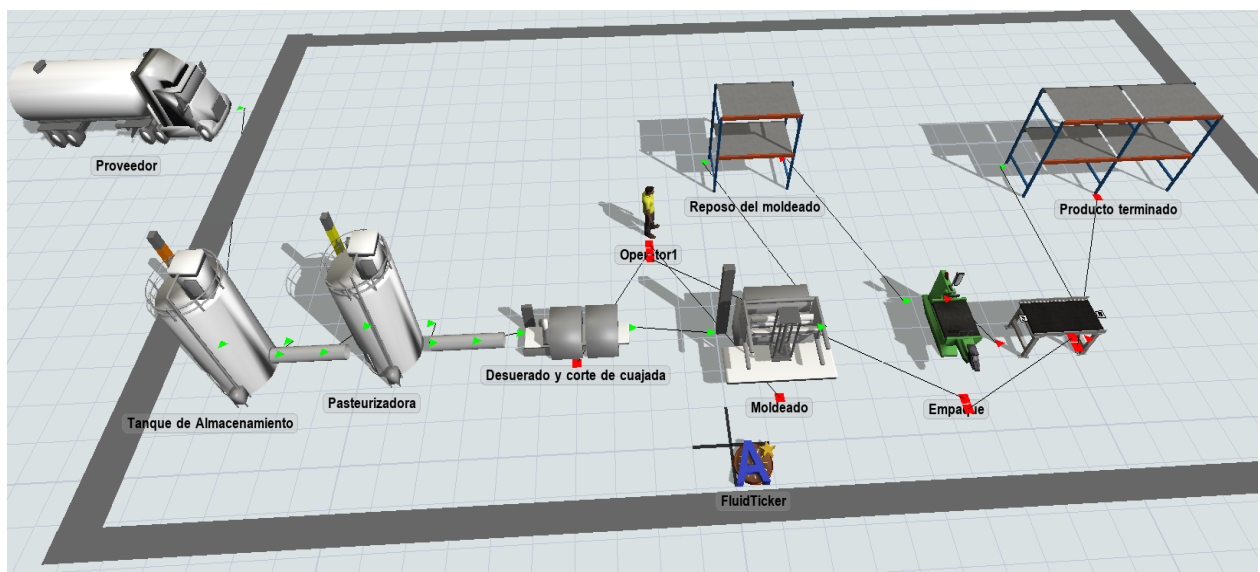


Figura 37: Simulación de línea de producción de quesos.

Conclusiones

- Se recopiló que la leche de vaca y sus derivados son unos de los alimentos más consumidos e indispensables dentro de la dieta diaria de las personas a nivel nacional y mundial. En Ecuador se producen 5,5 millones de litros de leche diarios, 77 % proviene de la Sierra Ecuatoriana, se analizó que el 31% de la leche distribuida por las industrias lácteas a nivel nacional es destinada para la producción de queso, posicionándose el queso como uno de los derivados de la leche de vaca más comunes y con gran número de producción. Se investigó cada proceso dentro de la línea producción y se adoptó normativas el uso correcto de equipos y estándares de producción y calidad específicos para su elaboración.
- Se diseñó equipos para que puedan producir 160 quesos diarios a partir de 800 litros de leche de vaca divididos por 4 lotes diarios de producción, los equipos que conforman la línea de producción de quesos fueron diseñados mediante la implementación de normativas específicas que permitieron calcular cada uno de los parámetros y longitudes que corresponden al diseño de los equipos de almacenamiento, pasteurización y corte de cuajada y desuerado, de esta manera diseñándolos con sus componentes que los conforman mediante un software (CAD).
- Se simuló el proceso de manufactura de quesos, que permitió la elaboración de 160 unidades de queso a partir de 800 litros de leche de vaca divididos por 4 lotes de producción, Se programó datos y rangos antes calculados para cada uno de los equipos que conforman la línea de producción, de tal manera que se cumplan con el estimado diario de producto a elaborar. La simulación mediante el uso del software de simulación en 3D permitió determinar la factibilidad de los estándares de los equipos y el estimado de producción diaria, determinando factores importantes como: recursos, residuos, tiempo, operadores y procesos.
- Se analizó los datos obtenidos mediante la simulación del proceso de manufactura de quesos, determinado que para la elaboración de 160 unidades de queso a partir de 800 litros de leche de vaca divididos por 4 lotes de producción, es totalmente factible para

un diseño a escala real, determinado que los 800 litros de leche establecidos son adecuados para generar la producción deseada diariamente, obtenido tiempos adecuados para la funcionalidad de cada uno de los equipos dentro de la línea de producción manteniendo un horario o jornada laboral de 8 horas diarias, generando empleo a un operador que desempeñara sus funciones específicas dentro de la producción de quesos, llevando un control adecuado tanto de tiempos de producción como de cantidad de producto a elaborar.

Recomendaciones

- Desarrollar un estudio investigativo sobre el impacto de la leche y sus derivados en la sociedad y adentrarse en el mercado que tiene el queso de leche de vaca en Ecuador permitiendo desarrollar valores estimados de producción diaria y verificar de manera analítica si es factible implementar una línea de producción de quesos real en base a factores importantes como la ubicación donde se desarrollara la planta de producción.
- El diseño y simulación de una línea de producción es fundamental en la actualidad, antes de la construcción real de la misma, ya que permite determinar factores financieros y de tiempo, permitiendo al titular verificar su viabilidad en periodos prologados de tiempo, su desarrollo paso a paso y la toma de decisiones al momento de implementar un proyecto a futuro.
- Analizar los datos obtenidos mediante un estudio estadístico permitirá al titular llevar una trazabilidad a profundidad del comportamiento diario de cada equipo dentro de la línea de producción, de esta manera permitiendo controlar de manera correcta la demanda y el número de producto generado por producción diaria, sin generar sobre producción o faltantes que puedan ocasionar perdidas a la empresa o proyecto implementado o a implementar.

Referencias bibliográficas

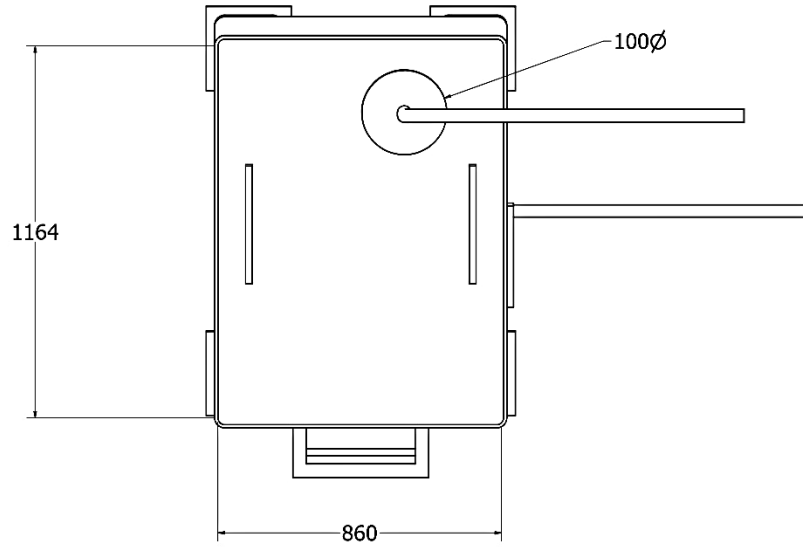
- [1] M. R. Medina, A. Erick, and J. A. Giler, "Determinación de los costos de calidad en el proceso productivo del queso," Repositorio Digital Escuela Superior Politécnica del Litoral Facultad de Ciencias Humanísticas y Económicas, Guayaquil, Ecuador, 2007.
- [2] A. Colombia, A. Gomez, and O. Bedoya Mejía, "Composición nutricional de la leche de ganado vacuno," Revista Lasallista de Investigación vol. 2, no. 1, pp. 38–42, 2005.
- [3] E. Félix, "Análisis de la cadena de abastecimiento de la leche y su impacto en el índice de precios al consumidor en la ciudad de Quito en el período 2016 al 2017," Repositorio Digital Universidad Internacional SEK Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas, Quito, Ecuador, 2017.
- [4] Subgerencia de Análisis de Productos y Servicios, "Producción de leche cruda de vaca; Elaboración de productos lácteos." Corporación Financiera Nacional B.P; Quito, Ecuador, 2022.
- [5] R. Alvarado, "Estudio de Mercado Sector de la leche en el Ecuador." Superintendencia de Control el Poder de Mercado, Portoviejo, Ecuador, 2016.
- [6] X. Torres, "Estudio de la producción de la industria láctea del cantón Cayambe en el período 2009-2015." Repositorio Digital Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, Ecuador, 2009.
- [7] Laboratorio de Investigación en Productos Agroindustriales, "Introducción a la elaboración de quesos." Repositorio Digital Universidad Nacional de la Plata Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Buenos Aires, Argentina, 2020.
- [8] M. Ajila, "Control de calidad en la elaboración de queso fresco mediante diagrama de flujo." Repositorio Digital Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud, Machala, Ecuador, 2017.
- [9] A. Cerezo, "Proyecto para la industrialización del queso Manabita Chone para consumo interno" Repositorio Digital Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2004.

- [10] INEN, “Instalación y servicio de tanques refrigerados para leche.” Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador, 1983.
- [11] C. Martínez, “Implementación y diseño de un tanque de refrigeración de leche en hacienda el Belén.” Repositorio Digital Facultad de Ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Mecatrónica, Quito, Ecuador, 2014.
- [12] H. Randall, M. Jimenez, “Diseño de un pasteurizador de leche utilizando corrientes de FOUCAULT para la empresa derivados lácteos Barreto S.R.L.” Repositorio Digital Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior, Pimentel, Perú, 2019.
- [13] ASME, “Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión.” Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión, New York, Estados Unidos, 2013.
- [14] M. Tipán, D. Flores “Diseño y construcción de un prototipo de pasteurizadora para el procesamiento de 50 litros de leche/hora.” Repositorio Digital Universidad Politécnica Salesiana sede Quito Carrera Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador, 2018.
- [15] Catalogo El mundo hidráulico, “Manómetro con glicerina.” Hydromecanica del Ecuador S.A, Quito, EC.
- [16] Catalogo MS-01-141, “Válvulas de alivio de presión proporcional Serie R (MS-01-141).” Swagelok, Quito, Ec.
- [17] Gobierno Federal, “Pasteurización de la leche y elaboración de productos lácteos.” Secretaría del trabajo y previsión social, Ciudad de México, México, 2010.
- [18] J. Medina, “Análisis de aceros inoxidables austeníticos.” Repositorio Digital Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial, Zaragoza, España, 2014.
- [19] V. Galindo, “Rediseño del proceso para elaboración del queso fresco y mozzarella en la planta láctea JB ubicada en la parroquia Cebadas - Cantón Riobamba.” Repositorio Digital Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química, Riobamba, Ecuador, 2019.
- [20] Máster Oficial en Automática y Robótica, “Simulación de un proceso industrial mediante el software FlexSim.” Repositorio Digital Universidad de Alicante, Alicante, España, 2012.

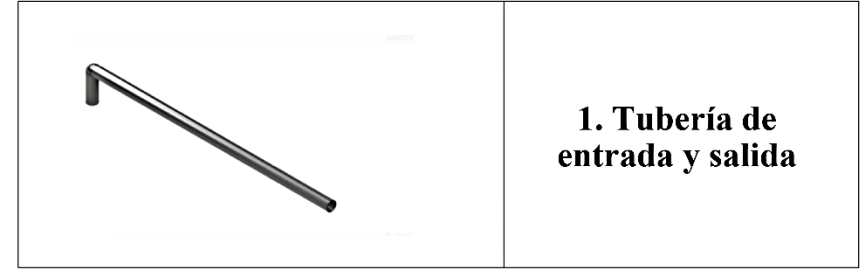
- [21] P. Álvarez, W. Aguilera, “Diseño y construcción de un tanque de 800 litros de capacidad con sistema automático de refrigeración para almacenamiento de leche cruda en la hacienda la Alborada ubicada en la Provincia del Carchi.” Repositorio Digital Universidad de las fuerzas armadas, Sangolquí, Ecuador, 2014.
- [22] nacobre, “Manual técnico nacobre.” elementia, Ciudad de México, Mx.
- [23] R. Benites, “Lean manufacturing para el control de la producción de quesos, en la empresa productos lácteos Benites PROLACBEN de la ciudad de Ambato.” Repositorio Digital Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2019.
- [24] A. Sánchez, “Elaboración de un manual de operaciones para el proceso de fabricación de queso fresco de calidad en la empresa AYCHAPICHO AGRO’S S.A.” Repositorio Digital Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2015.
- [25] Catalogo Máquina de envasado al vacío Polar-2-85, “Máquina de envasado al vacío Polar 2-85 – especificaciones” HENKELMAN, Ámsterdam, NLD.
- [26] F. Meyers, M. Stephens, “Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales Tercera edición.” PEARSON EDUCACIÓN, Ciudad de México, México, 2006.
- [27] J. Medrano, “Mejoramiento de las propiedades mecánicas de las juntas soldadas de aceros inoxidable austeníticos mediante los tratamientos térmicos.” Repositorio Digital Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2006.

ANEXOS

VISTA SUPERIOR

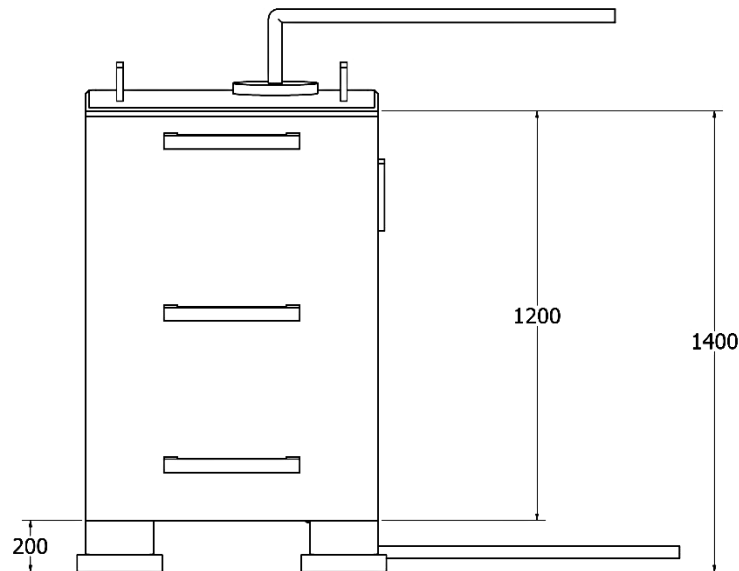


ACCESORIOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO



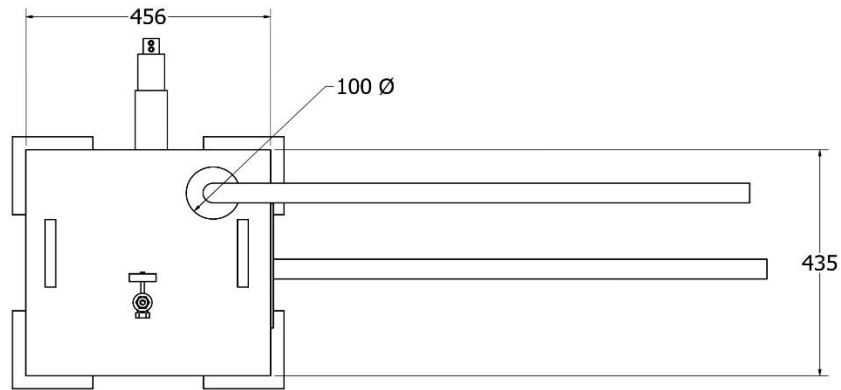
1. Tubería de entrada y salida

VISTA FRONTAL

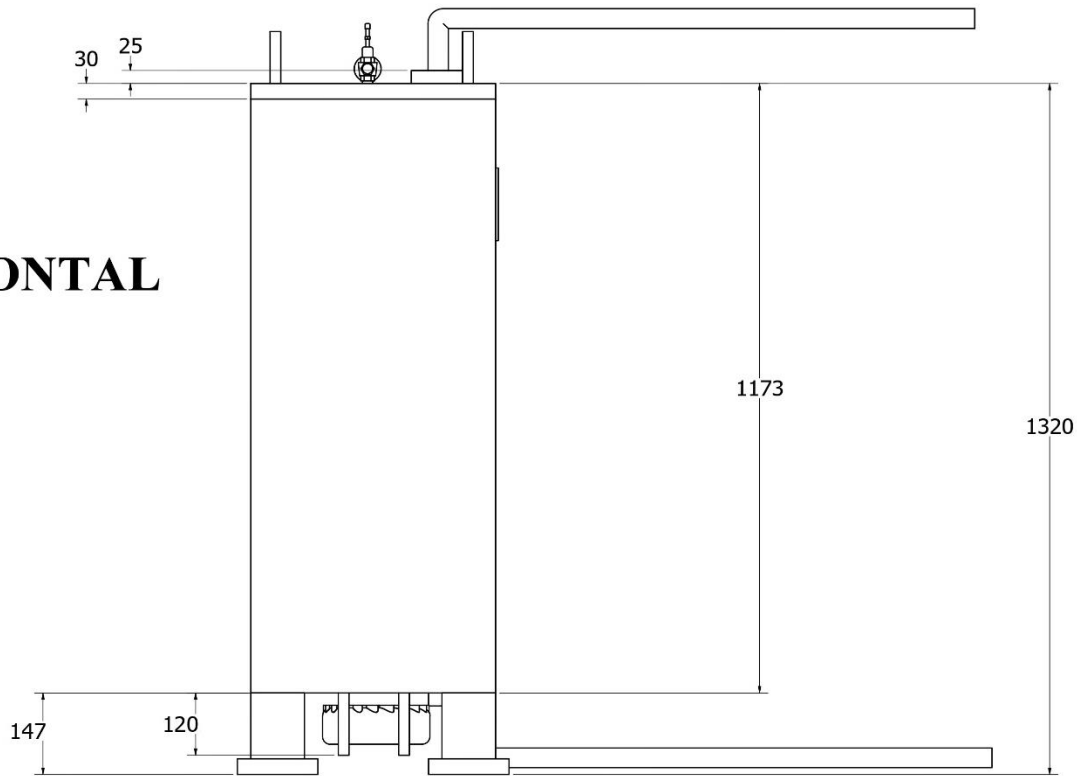


NOMBRE: ALFONSO RUIZ	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
FECHA: 2023-11-26	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL		
MATERIA: INTEGRACIÓN CURRICULAR	ESCALA: 0,005	
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO 304		
NORMATIVA: CPE INEN:007:1983		
UNIDAD DE LONGITUD: mm		

VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



ACCESORIOS DE PASTEURIZADORA

	<p>1. Quemador industrial</p>
	<p>2. Tubería de cobre</p>
	<p>3. Tubería de entrada y salida</p>
	<p>1. Válvula de alivio con manómetro</p>

NOMBRE: ALFONSO RUIZ
 FECHA: 2023-11-26
 CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL
 MATERIA: INTEGRACIÓN CURRICULAR
 MATERIAL: ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO 304
 NORMATIVA: CPE
 INEN 007:1983-ASME VIII
 UNIDAD DE LONGITUD: mm

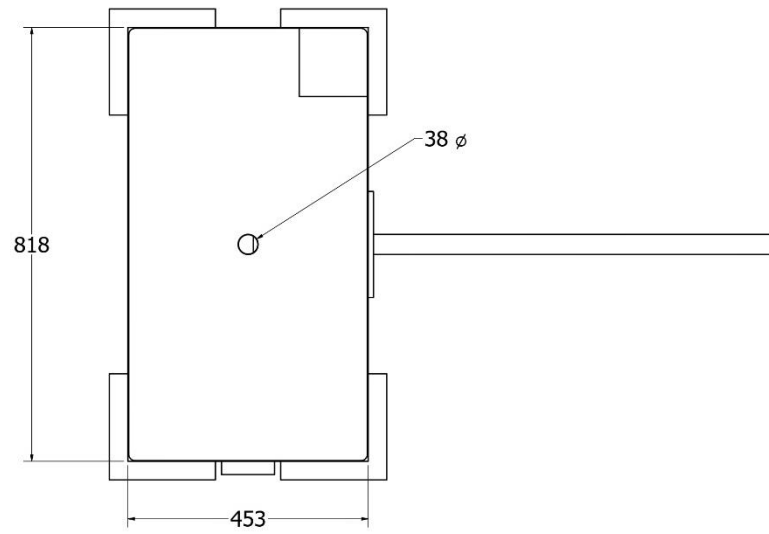
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

EQUIPO DE PASTEURIZACIÓN

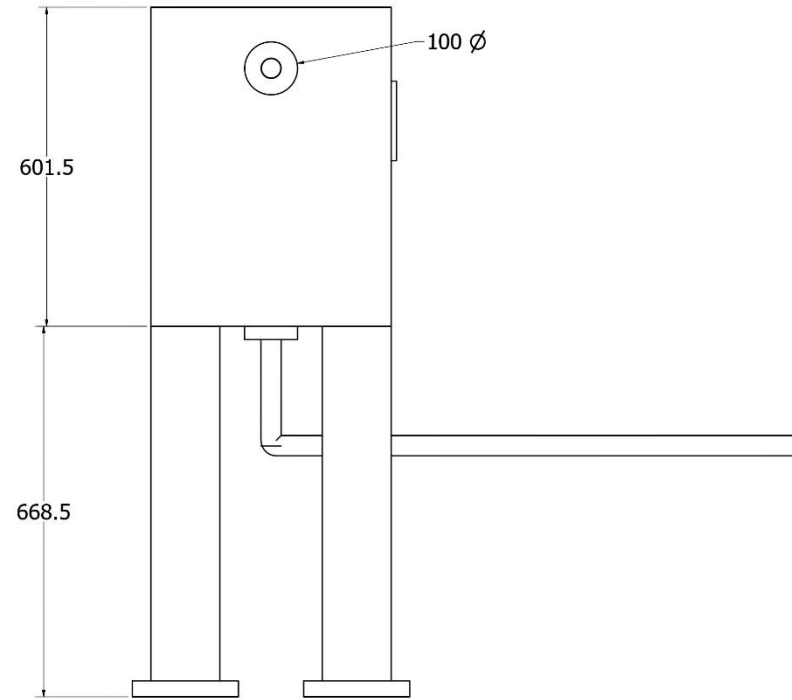
ESCALA: 0.005





VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



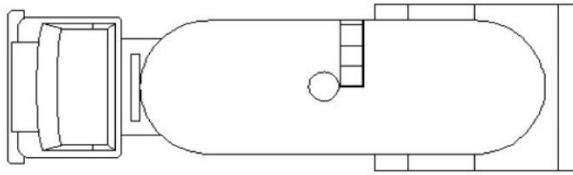
ACCESORIOS DE EQUIPO DE CORTE DE CUAJADA Y DESUERADO

	<p>1. Tubería de drenaje de suero</p>
	<p>2. Tubería de entrada</p>

NOMBRE: ALFONSO RUIZ	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
FECHA: 2023-11-26	
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL	EQUIPO DE CORTE DE CUAJADA Y DESUERADO
MATERIA: INTEGRACIÓN CURRICULAR	
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO 304	
NORMATIVA: CPE INEN-007:1983	
UNIDAD DE LONGITUD: mm	ESCALA: 0.005

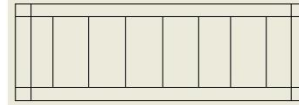


Recepción de leche de vaca

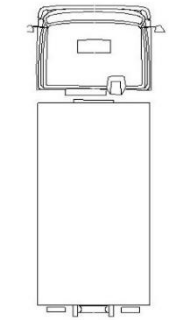


PLANTA DE PRODUCCIÓN DE QUESOS

Reposo del Moldeado



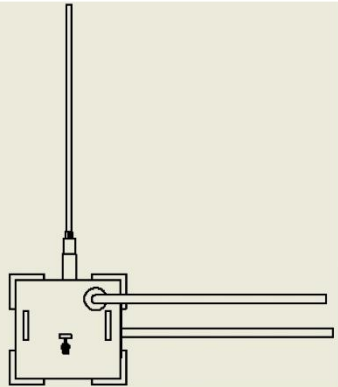
Producto terminado



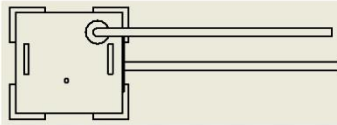
Carga de producto terminado

LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE QUESOS

Tanque de almacenamiento



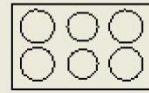
Pasteurizadora



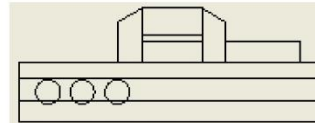
Equipo de corte de cuajada y desuerado



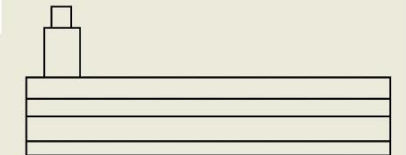
Moldeado



Empaque



Banda transportadora



NOMBRE: ALFONSO RUJIZ	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
FECHA: 2023-11-26	Planta de producción de quesos
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL	
MATERIA: INTEGRACIÓN CURRICULAR	
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO 304	ESCALA: 0.005
