



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN
DE QUESO MOZZARELLA PARA EL LABORATORIO DE
PROCESOS INDUSTRIALES, FACULTAD DE CIENCIAS,
ESPOCH**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A QUÍMICO/A

AUTORES:

LUIS MARIO GALARZA ARBOLEDA
LIZBETH CRISTINA ÑAÑAY FLORES

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN
DE QUESO MOZZARELLA PARA EL LABORATORIO DE
PROCESOS INDUSTRIALES, FACULTAD DE CIENCIAS,
ESPOCH**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A QUÍMICO/A

AUTORES: LUIS MARIO GALARZA ARBOLEDA
LIZBETH CRISTINA ÑAÑAY FLORES
DIRECTORA: ING. MÓNICA LILIÁN ANDRADE AVALOS

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Luis Mario Galarza Arboleda & Lizbeth Cristina Ñauñay Flores

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Luis Mario Galarza Arboleda & Lizbeth Cristina Ñauñay Flores, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de junio de 2023



Luis Mario Galarza Arboleda
2200420152



Lizbeth Cristina Ñauñay Flores
0604879775

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE QUESO MOZZARELLA PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES, FACULTAD DE CIENCIAS, ESPOCH**, realizado por los señores: **LUIS MARIO GALARZA ARBOLEDA & LIZBETH CRISTINA ÑAÑAY FLORES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristina Alejandra Muñoz Shuguli PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-12
Ing. Mónica Lilián Andrade Avalos DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-12
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-12

DEDICATORIA

A Mario, Sonia, Daniela, Jessica y Abigail

Mario

Un agradecimiento especial a mi familia y a mi pareja, quienes me apoyaron y me ayudaron en las buenas y en las malas. Gracias por enseñarme a afrontar los retos sin desanimarme ni desistir de intentarlo.

Lizbeth

AGRADECIMIENTO

A mis docentes, que supieron compartir sus conocimientos y sus enseñanzas, y de manera especial a los ingenieros Mónica Andrade y Marco Chuiza, que con paciencia y dedicación supieron guiarme en la elaboración de este trabajo. A la ESPOCH, por abrirme sus puertas y permitirme ser parte de esta gran familia, por brindarme sus valores, por darme el lujo de conocer gente, experiencias y sentimientos. Gracias.

Mario & Lizbeth

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Beneficiarios directos e indirectos.....	3
1.3.1. <i>Beneficiarios directos</i>	3
1.3.2. <i>Beneficiarios indirectos</i>	3
1.4. Localización geográfica del trabajo de integración curricular	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Referencias Teóricas	6
2.2.1. <i>Industria láctea</i>	6
2.2.2. <i>Derivados de la leche</i>	7
2.2.2.1. <i>Leche</i>	7
2.2.2.2. <i>Leche pasteurizada</i>	8
2.2.2.3. <i>Queso</i>	8
2.2.3. <i>Proceso para la obtención de queso mozzarella</i>	9
2.2.3.1. <i>Tratamientos térmicos aplicados a la leche</i>	10

2.2.3.2. <i>Aditivos empleados en la industria quesera</i>	11
2.2.4. <i>Equipos industriales para la producción de queso mozzarella</i>	12
2.2.4.1. <i>Cuba de queso</i>	12
2.2.5. <i>Hiladora de queso</i>	14

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	15
3.1. Tipo de estudio	15
3.2. Método experimental	15
3.3. Método deductivo	15
3.4. Determinación de las variables del proceso	15
3.4.1. <i>Temperatura</i>	15
3.4.2. <i>Tiempo</i>	16
3.4.3. <i>pH</i>	16
3.5. Diseño del proceso de la línea de producción de queso mozzarella	17
3.5.1. <i>Selección de la materia prima</i>	17
3.5.2. <i>Caracterización de la materia prima</i>	17
3.5.3. <i>Etapas del proceso</i>	19
3.5.3.1. <i>Preparación de la materia prima</i>	19
3.5.3.2. <i>Tratamiento térmico de la leche</i>	19
3.5.3.3. <i>Acidificación de la leche</i>	19
3.5.3.4. <i>Coagulación</i>	19
3.5.3.5. <i>Separación de la cuajada</i>	19
3.5.3.6. <i>Hilado del queso</i>	19
3.5.3.7. <i>Moldeado del queso</i>	20
3.5.4. Selección de materiales	20
3.5.5. Balance de masa	21
3.5.5.1. <i>Balance de masa en la elaboración de queso mozzarella</i>	21
3.5.5.2. <i>Balance de masa en la cuba de cuajado</i>	22
3.5.5.3. <i>Cálculo de la composición de los flujos en la cuba de cuajado</i>	26
3.5.5.4. <i>Balance de masa en la hiladora</i>	29
3.5.6. Diseño de la cuba de cuajado	32
3.5.6.1. <i>Cálculo del dimensionamiento de la cuba</i>	32
3.5.6.2. <i>Cálculo del dimensionamiento de la chaqueta de la cuba</i>	35
3.5.6.3. <i>Dimensiones de la cuba de cuajado</i>	37
3.5.6.4. <i>Balance de energía para la cuba</i>	39

3.5.7. Hiladora de queso	44
3.5.7.1. Cálculo del dimensionamiento de la hiladora	44
3.5.7.2. Cálculo del dimensionamiento de la chaqueta de la hiladora	47
3.5.7.3. Diseño obtenido para la hiladora	50
3.5.7.4. Selección del motor de la hiladora	52
3.5.8. Balance de energía para la hiladora	52
3.6. Análisis de costos	55
3.7. Cronograma de actividades del trabajo de integración curricular	58

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	60
4.1. Resultados obtenidos en las pruebas de caracterización fisicoquímica y microbiológica de la materia prima	60
4.2. Resultados de los balances de masa	61
4.3. Resultados del diseño de la cuba de cuajado	61
4.4. Resultados del diseño de la hiladora	62
4.5. Resultados obtenidos en las pruebas de caracterización fisicoquímica y microbiológica del producto terminado	63
4.6. Validación económica	64
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5.1. Conclusiones	65
5.2. Recomendaciones	65

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Localización geográfica del laboratorio de Procesos Industriales, Facultad de Ciencias, ESPOCH	4
Tabla 2-1: Porcentajes de los componentes de la leche de origen vacuno	8
Tabla 2-2: Clasificación de los quesos de acuerdo con su contenido de humedad	9
Tabla 3-1: Variables y parámetros en el proceso de elaboración de queso mozzarella	17
Tabla 3-2: Requisitos fisicoquímicos para la leche cruda	17
Tabla 3-3: Requisitos microbiológicos para la leche cruda	18
Tabla 3-4: Propiedades físicas del acero AISI 304	20
Tabla 3-5: Composición en el flujo de alimentación a la cuba	28
Tabla 3-6: Composición en el flujo de residuos de la cuba	29
Tabla 3-7: Composición en el flujo 1 a la hiladora	29
Tabla 3-8: Composición en el flujo de alimentación 2 a la hiladora	31
Tabla 3-9: Composición en el flujo de residuos de la hiladora	31
Tabla 3-10: Composición en el flujo de queso mozzarella obtenido en la hiladora	32
Tabla 3-11: Dimensiones obtenidas para el diseño y construcción de la cuba de cuajado	37
Tabla 3-12: Resultados del balance de energía en la cuba de cuajado	44
Tabla 3-13: Dimensiones obtenidas en el diseño de la hiladora	50
Tabla 3-14: Resultados obtenidos en el balance de energía en la hiladora	55
Tabla 3-15: Costos fijos y tipo de financiamiento del trabajo de integración curricular	55
Tabla 3-16: Costos de los equipos y accesorios a precio de mercado	56
Tabla 3-17: Costo de producción de queso por lote	57
Tabla 3-18: Cronograma de actividades para desarrollar el proyecto de integración curricular	58
Tabla 4-1: Resultados de las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas de la leche	60
Tabla 4-2: Análisis sensorial de la leche	61
Tabla 4-3: Resultados del balance de masa en la elaboración de queso mozzarella	61
Tabla 4-4: Resultados del diseño de la cuba de cuajado	62
Tabla 4-5: Resultados del diseño de la hiladora de queso	62
Tabla 4-6: Resultados del análisis fisicoquímico del queso mozzarella	63
Tabla 4-7: Resultados del análisis microbiológico del queso mozzarella	64
Tabla 4-8: Resultados del análisis sensorial del queso mozzarella	64

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Localización satelital del proyecto.....	4
Ilustración 2-1: Cuba holandesa.....	13
Ilustración 2-2: Cuba circular abierta.....	14
Ilustración 2-3: Hiladora de queso.....	14
Ilustración 3-1: Etapas en la elaboración de queso mozzarella.....	20
Ilustración 3-2: Balance de masa global en la preparación de queso mozzarella.....	22
Ilustración 3-3: Balance de masa en la cuba de cuajado.....	22
Ilustración 3-4: Balance de masa resuelto en la cuba de cuajado.....	28
Ilustración 3-5: Balance de masa en la hiladora de queso.....	30
Ilustración 3-6: Vista frontal de cuba de cuajado obtenida.....	38
Ilustración 3-7: Vista superior de la cuba de cuajado obtenida.....	38
Ilustración 3-8: Vista isométrica SO de la cuba de cuajado obtenida.....	39
Ilustración 3-9: Vista frontal de la hiladora diseñada.....	50
Ilustración 3-10: Vista lateral de la hiladora diseñada.....	51
Ilustración 3-11: Vista isométrica de la hiladora diseñada.....	51

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PRUEBAS A LA LECHE CRUDA, LABORATORIO AGROLAB'S

ANEXO B: PRUEBAS A LA LECHE CRUDA, LABORATORIO SAQMIC

ANEXO C: PRUEBAS AL QUESO MOZZARELLA, LABORATORIO AGROLAB'S

ANEXO D: PRUEBAS AL QUESO MOZZARELLA, LABORATORIO SAQMIC

ABREVIATURAS

h = Altura

A = área

b = base

Q = calor

C_p = calor específico a presión constante

U = coeficiente global de transferencia de calor

ρ = densidad

\varnothing = diámetro

E = energía

H = entalpía

l = largo

m = masa

r = radio

T = temperatura

W = trabajo

Δ = variación

v = volumen

RESUMEN

El propósito del presente trabajo de titulación fue diseñar y construir una línea de producción de queso mozzarella para el laboratorio de Procesos Industriales, Facultad de Ciencias, ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), para llevar a cabo el proceso se inició con la selección y caracterización de la materia prima con base a la norma NTE INEN 9:2015 (Leche cruda. Requisitos). Se realizaron pruebas a nivel de laboratorio para determinar el proceso productivo de la elaboración de queso mozzarella. En el proceso de elaboración de queso mozzarella a partir de 60 litros de leche cruda se llevó a cabo un tratamiento térmico de semi pasteurización a la leche cruda por un tiempo de 30 minutos a una temperatura de 65 grados Celsius, se diseñaron y construyeron los siguientes equipos: una cuba de cuajado de 0,06 metros cúbicos de volumen y una hiladora con capacidad para hilar 14 kilogramos de queso, adicional se construyó un agitador manual, una lira vertical y moldes. Se utilizó como base la norma NTE INEN 82:2011 (Queso mozzarella. Requisitos) para validar el diseño del proceso de elaboración del queso. Requisitos cuyos resultados demostraron que el producto obtenido es apto para el consumo y, por tanto, para la comercialización. Se recomendó aplicar buenas prácticas de manufactura para asegurar la inocuidad del producto una vez que se determinó a través del estudio de análisis financiero que el proyecto es económicamente viable y aceptable.

Palabras clave: <DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN>, <INDUSTRIA LÁCTEA>, <QUESO MOZZARELLA>, <DIMENSIONAMIENTO>, <CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA>.

1630-DBRA-UPT-2024

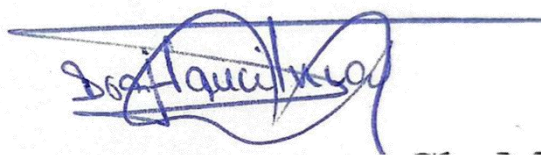


ABSTRACT

The aim of this degree work was to design and build a mozzarella cheese production line for the Industrial Processes laboratory, Faculty of Sciences, ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), to carry out the process began with the selection and characterization of the raw material based on the NTE INEN 9:2015 standard (Raw milk. Requirements). Laboratory tests were conducted to determine the production process for making mozzarella cheese. In the process of making mozzarella cheese from 60 liters of raw milk, the raw milk was subjected to a semi-pasteurization heat treatment for 30 minutes at a temperature of 65 degrees Celsius. The following equipment was designed and built: a curdling vat with a volume of 0.06 cubic meters and a spinning machine with a capacity to spin 14 kilograms of cheese; in addition, a manual agitator, a vertical lyre and molds were built. NTE INEN 82:2011 (Mozzarella cheese. Requirements) was used as a basis for validating the design of the cheese production process. Requirements whose results demonstrated that the product obtained is suitable for consumption and, therefore, for marketing. It was recommended that good manufacturing practices be applied to ensure the safety of the product once it was determined through the financial analysis study that the project is economically viable and acceptable.

Keywords: <DESIGN AND CONSTRUCTION>, <MILK INDUSTRY>, <MOZZARELLA CHEESE>, <DIMENSIONING>, <PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION>.

1630-DBRA-UPT-2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dra. Nanci M. Inca Ch. Mgs', is written over a horizontal line.

Dra. Nanci M. Inca Ch. Mgs

06029267

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, la industria láctea tiene registro durante siglos, debido a su zona interandina, aunque genera un alto porcentaje de ingresos, la economía local históricamente ha sido impulsada por el desarrollo de los derivados de porcinos y lácteos, siendo este último el de mayor influencia tanto a nivel local como regional, a pesar de ello, el 55% de la producción local todavía se hace de manera artesanal debido a la falta de instalaciones que permiten una producción semiespecializada (Centro de la industria láctea del Ecuador 2015, p. 150).

En el siguiente documento se elabora un análisis técnico y económico para llevar a cabo el diseño y construcción de una línea de producción de queso mozzarella para el laboratorio de Procesos Industriales, Facultad de Ciencias, ESPOCH. El diseño y construcción de la línea de producción involucra etapas como, preparación de la materia prima (leche) para separarla de cualquier cuerpo extraño, un tratamiento térmico con el fin de reducir el riesgo microbiológico que puede estar presente en esta, la preparación del cuajo coagulando las proteínas de esta y por último un hilado, que le dará la consistencia característica al producto terminado. Todos estos procesos requieren ingeniería precisa para garantizar que se cumplan todos los estándares de seguridad y que se produzca queso mozzarella de alta calidad.

La importancia de este trabajo radica en la problemática de la carencia de equipos de producción de lácteos (dentro de ellos equipos para la producción de queso mozzarella) en el laboratorio de Procesos Industriales de la ESPOCH, la cual, facilitará el medio para desarrollar un ambiente de trabajo complementario a la teoría desarrollada en las diferentes asignaturas dictadas en la carrera de Ingeniería Química.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En el transcurso de la carrera de ingeniería química, se estudian una gran variedad de procesos productivos que constituyen parte de las ramas de aplicación de la carrera, con ello, también han sido incluidas prácticas de laboratorio para lograr un aprendizaje integral, al poder poner en práctica los conocimientos adquiridos, sin embargo, el estudio de los derivados de la leche, que son de los alimentos más consumidos a nivel mundial (Durán Meléndez 2016, p. 443), ha quedado en el olvido a la hora de aplicar nuestros conocimientos, debido a que el laboratorio no dispone de equipos dedicados a este sector tan importante.

Por lo tanto, se ha observado que, el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH cuenta con diversos equipos que se utilizan para actividades como desarrollo de prácticas, proyectos técnicos e investigaciones. El laboratorio ha carecido de una línea de producción de queso mozzarella desde el día de su apertura, siendo este, una de las variedades más consumidas a nivel mundial, además de poseer un nivel elevado de complejidad en su elaboración, lo que permitirá desarrollar nuevas técnicas y conocimientos, por lo que es necesario implementar el presente proyecto que conforma la línea de producción de queso mozzarella. Esto facilitará el aprendizaje, investigación y desarrollo de nuevos productos lácteos.

La línea de producción estará conformada por 2 equipos, que realizan los procesos fundamentales para la obtención del queso mozzarella, que al final del proceso productivo, deberá ser apto para el consumo humano, siendo estos, una cuba y una hiladora queso.

1.2. Justificación

La leche y sus derivados son alimentos esenciales en la alimentación humana ya que contienen vitaminas y minerales que complementan a los aportados diariamente por los demás alimentos. Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) “en 2020 la producción de leche en Ecuador fue de 6.152.841 litros cada día”. Entre los productos que se obtienen a partir de la leche tenemos leche pasteurizada, leche evaporada, quesos, mantequillas, cremas de leche, entre otros.

Como ingenieros químicos una de las áreas de mayor aplicación es el campo en producción de alimentos, en especial los lácteos, por lo que se ha visto la necesidad de transformar la leche en queso mozzarella que es una de sus variedades más consumidas por la población a nivel nacional.

El laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH no dispone de equipos con la capacidad de elaborar queso mozzarella a nivel industrial, perdiendo de esta manera la posibilidad de realizar prácticas enfocadas a la transformación de lácteos. Por lo que el diseño y construcción de una línea de producción de queso mozzarella permitirá realizar prácticas orientadas a esta parte de la industria, así como también se podrá realizar estudios en balances de materia y energía de los procesos involucrados en la elaboración de queso mozzarella.

1.3. Beneficiarios directos e indirectos

1.3.1. Beneficiarios directos

Estudiantes, docentes, técnicos de laboratorio y personal que posean convenios con la institución, que llegue a hacer uso de la línea de producción de queso mozzarella que se encuentra en el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ya sea para llevar a cabo prácticas de laboratorio, proyectos, investigaciones o actividades, todo con el fin de poder aplicar cada uno de los conocimientos que se han adquirido a lo largo de su formación, dentro de las asignaturas de balance de masa y balance de energía.

1.3.2. Beneficiarios indirectos

Productores locales y empresas que brinden la materia prima e insumos necesarios para poner en funcionamiento la línea de producción de queso mozzarella, además, de los proveedores de los materiales necesarios para poder brindar un adecuado mantenimiento a la cuba e hiladora de queso, que son los equipos que hacen parte de esta línea de producción.

1.4. Localización geográfica del trabajo de integración curricular

El trabajo de integración curricular de tipo técnico será realizado en el laboratorio de Procesos Industriales, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo localizada en la panamericana sur km 1 ½.

Tabla 1-1: Localización geográfica del laboratorio de Procesos Industriales, Facultad de Ciencias, ESPOCH

Latitud	1°39'28.57" S
Longitud	78°40'34.83" W
Altitud	(2730m. s. n. m.)
Limites	Norte: limita con el barrio 24 de mayo y la Av. Canónigo Ramos. Sur: limita con la Av. Pedro Vicente Maldonado y el Barrio de los Maestros. Este: limita con la Av. 11 de noviembre. Oeste: limita con la Av. ByPass.
Temperatura	Oscila 8 °C a 19 °C

Realizado por: Galarza y Ñauñay, 2023.

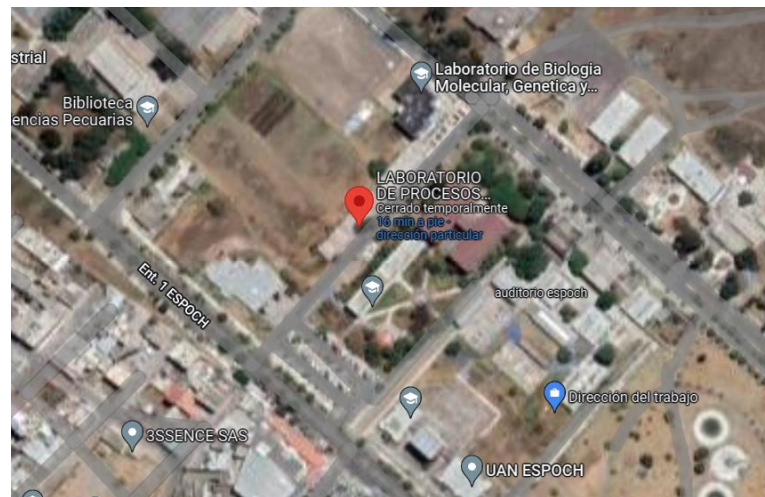


Ilustración 1-1: Localización satelital del proyecto

Fuente: Google Maps, 2023.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar y construir una línea de producción de queso mozzarella para el laboratorio de procesos industriales en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la leche mediante la norma NTE INEN 9:2015.
- Determinar las variables, parámetros y operaciones del diseño y construcción de la línea de producción de queso mozzarella.
- Emplear cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del proceso productivo.
- Llevar a cabo la validación técnica y económica de la línea de producción con la caracterización fisicoquímica y microbiológica del queso mediante la norma NTE INEN 82:2011.
- Realizar la documentación respectiva que contenga el funcionamiento de la línea de producción y guía de prácticas de laboratorio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En Bogotá, López Botia (2018, pp. 12-13), desarrolló una línea de queso tipo mozzarella, con sabores para la empresa “Alimentos GAMAR S.A.S”, en donde se describe el procedimiento para obtener queso mozzarella, agregando especias a su formulación, se inicia el proceso con la recepción de la materia prima y su preparación, para luego ser transportada hasta los tanques de cuajada, en donde después de 5 a 8 minutos de dejar actuar el cuajo se obtuvo la cuajada, que fue llevada hasta la hiladora, una vez dentro de la hiladora se adicionó sal y especias, y como paso final, se moldeó y almacenó el queso producido, dando como resultado final un queso que cumplía con todas los parámetros establecidos por la normativa correspondiente, además de obtener un producto con un 100% de aceptación por parte de su público objetivo.

Según Borja Mayorga et al. (2022, p. 147), se analizó un proceso para obtener queso mozzarella en el cantón Colta de la provincia de Chimborazo, Ecuador, en el cual afirman que, industrializar un proceso nos permite obtener un producto en tiempo menor, además, de lograr asegurar la calidad del producto obtenido, según dicta la norma NTE INEN 82:2011, obteniendo como resultado que dos equipos son fundamentales para elaborar este producto siendo estos: una marmita con sistema de agitación, donde se realiza el cuajo y el corte del mismo, y una tanque de hilado, donde el queso se hila y obtenida sus particulares características, por último el proceso pudo ser validado ya que la caracterización fisicoquímica, bromatológica, y microbiológica del queso mozzarella cumple con los parámetros establecidos por la norma NTE INEN 82:2011, dando así un producto apto para el consumo.

2.2. Referencias Teóricas

2.2.1. *Industria láctea*

Es la parte de la industria, en la cual se toma la leche como materia prima para todas sus elaboraciones. Según, Cortez Latorre (2018, pp. 22-23), la industria láctea en el periodo 2014, 2016, destinó la producción de leche para dividirla en los siguientes sectores, 37% se destinó a la producción de quesos, alrededor del 23% en leche desnatada en polvo, 20% en manteca, el 10,5% en leche entera en polvo y el 8,5% en productos lácteos frescos, por otro lado, en los países en vías de desarrollo la leche se divide en estos sectores, el 85% se emplea para la elaboración de

productos lácteos frescos, el 7% en manteca, el 4% en leche entera en polvo, el 3% se destinará a quesos y el 0,6% en leche desnatada en polvo.

2.2.2. Derivados de la leche

2.2.2.1. Leche

Es un líquido opaco de color frecuentemente blanco, con ligeras tendencias al amarillo pálido, que se origina en las glándulas mamarias de las hembras mamíferas. La leche naturalmente es un líquido que tiene un pH cercano a la neutralidad. También presenta un sabor dulce. La función natural de la leche es proporcionar la única fuente de nutrición del mamífero joven durante un período decisivo de su existencia, inmediatamente después del desarrollo natal, cuando no puede ser reemplazada por otros alimentos. Esta necesidad se satisface con la enorme complejidad nutricional de la composición de la leche (Alais 2018, pp. 4-5). Esto es posible ya que, la leche es uno de los alimentos de mayor nivel nutritivo que existen, no solo aporta proteínas de alta calidad las cuales incluyen los aminoácidos esenciales, también aporta ácidos grasos esenciales, inmunoglobulinas y otros micronutrientes, entre los que se encuentran las vitaminas y minerales (Hernández et al. 2006, p. 369). Una vez se ha seleccionado la leche bajo estrictos parámetros de calidad, con el objetivo de alargar su vida útil, es sometida a un proceso de pasteurización, que permite su conservación con la importante condición de mantener propiedades semejantes al producto natural (Hernández et al. 2006, p. 370).

- **Composición de la leche**

La leche está compuesta principalmente por agua, además de tener componentes disueltos, suspendidos o dispersos formando una emulsión, con lo que se puede decir que la leche es una sustancia coloidal, además se puede afirmar que los componentes principales de la leche se pueden dividir en agua y sólidos totales, y a su vez los sólidos totales se pueden dividir en sólidos grasos y sólidos no grasos (Rodríguez Andrade et al. 2020, pp. 24-25).

En la **Tabla 2-1** se puede observar los porcentajes de los diferentes componentes de la leche de origen vacuno.

Tabla 2-1: Porcentajes de los componentes de la leche de origen vacuno

Sustancia	Cantidad (%)
Agua	87,3
Sólidos totales	12,7
Materia grasa	3,7
Lactosa	4,8
Proteínas	3,3
Materia mineral	0,7

Fuente: Acosta, 2012; citado en Rodríguez Andrade et al. 2020.

2.2.2.2. *Leche pasteurizada*

La leche cruda a la cual se sometió a un proceso térmico, con condiciones tales que, logra la destrucción de casi la totalidad de los microorganismos presentes que resultan nocivos para el ser humano, esto, sin alterar las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la leche, sin embargo, aún se pueden encontrar agentes patógenos cuando existe alguna falla en el proceso térmico, cuando la materia prima tiene una población exagerada de microorganismos o también producto de una contaminación post pasteurización (Luigi, Rojas, Valbuena 2013, p. 25).

A diferencia de la leche cruda, en la leche pasteurizada es inaceptable la presencia de coliformes, ya que son destruidas en la presencia de las temperaturas aplicadas al tratamiento térmico, por lo que, una prueba de coliformes realizada en productos lácteos pasteurizados con un resultado positivo denota un mal proceso de pasteurización o una contaminación post pasteurización y el producto debe descartarse (Valbuena et al. 2004).

2.2.2.3. *Queso*

En el clima cálido los valles del mar Mediterráneo oriental entre los años 8000 y 3000 a.C., surgió la producción de queso que estaba íntimamente ligada a la explotación del ganado lechero.

Es un producto que puede obtenerse por coagulación total o parcial de proteína de leche, descremado de leche, leche parcialmente descremada, crema u otros productos elaborados a base de leche por la acción de un cuajo u otros coagulantes adecuados.

En general, el contenido de calcio del queso es alto y aumenta a medida que el queso madura porque la concentración de otros nutrientes aumenta a medida que se pierde agua por la

eliminación de la humedad o por el proceso de maduración. La cantidad de vitaminas liposolubles (A, D, E y K) aumenta mientras que la cantidad de vitaminas hidrosolubles (vitaminas B) disminuye a medida que aumenta el contenido de grasa del queso. Además, debido a que la lactosa es soluble en agua, está menos presente en los quesos de los que se extrae el azúcar durante el proceso de fabricación (CANILEC 2011a, p. 35).

Tabla 2-2: Clasificación de los quesos de acuerdo con su contenido de humedad

Tipo	Humedad (%)	Grasa (%)	Textura	Conserva
Suave	45 a 75	Hasta 40	Suave	Días
Semiduro	35 a 45	Hasta 35	Desmenuzable	Meses
Duro	30 a 40	Hasta 30	Muy firme, denso	Años

Fuente: CANILEC 2011

- Tipos de queso

Existen 18 tipos diferentes de queso, pero se pueden dividir en dos grupos generales: los duros y los blandos. Los quesos duros se pueden dividir en dos categorías: los que han sido madurados por bacterias y hongos y los que no, así como los quesos muy duros que se distinguen por la presencia o ausencia de ojos. Además, se pueden clasificar de diversas formas, incluyendo el tipo de leche que contienen (vaca, oveja, cabra, etc.), el tipo de coagulación que experimentan (cuajo, acidez y mixto), la cantidad de agua que contienen 38% para duros, 40% para semiduros y 50% de humedad para blandos, y en grasos, semigrasos y magros esto de acuerdo con el porcentaje de grasa (ITDG 1998, p. 7).

- Queso mozzarella

El queso mozzarella se originó en Italia y desde allí se extendió por el resto del mundo. Es un queso de pasta hilada que antiguamente se elaboraba con leche búfala, pero como hoy en día es difícil de encontrar, se utiliza leche de vaca en su lugar. Ocupa una posición importante en el mercado de la pizza y la industria del queso. Proteínas, grasas, vitaminas y minerales como calcio, hierro y fósforo son algunos de los componentes nutricionales que aporta este producto, permitiendo así el correcto funcionamiento del organismo (Borja Mayorga, Chuiza Rojas, Andrade Avalos 2022, p. 149).

2.2.3. Proceso para la obtención de queso mozzarella

2.2.3.1. Tratamientos térmicos aplicados a la leche

Son tratamientos que aplican determinadas cantidades de calor en determinados tiempos de aplicación. Esta combinación es fundamental, ya que no es suficiente con aplicar calor para conseguir la destrucción microbiana, sino que, también es necesario que la temperatura se mantenga por un tiempo específico para lograr la destrucción de los microorganismos (Rosado Hoyo, Rosado Hoyo 2013a, p. 143).

Por otro lado, tampoco se puede aplicar temperaturas demasiado altas con el fin de conseguir la muerte de los microorganismos, porque con esas temperaturas la leche sufre cambios no deseados, por ello, el tratamiento debe ser aplicado con criterio, para lograr la eliminación de los microorganismos sin la degradación de la leche (Rosado Hoyo, Rosado Hoyo 2013a, p. 144).

Los tratamientos térmicos pueden clasificarse en función de la intensidad de este, ya que los efectos son variables de tratamiento en tratamiento y estos se aplican según el proceso o el momento lo necesite, estos tratamientos se clasifican según la relación tiempo/temperatura (Rosado Hoyo, Rosado Hoyo 2013a, p. 145).

- Termización

Este es considerado un tratamiento térmico suave, ya que se aplican temperaturas consideradas bajas, durante periodos cortos de tiempo (60-70 °C/10-15 segundos) este tratamiento se emplea únicamente cuando la leche no puede ser procesada de forma inmediata y deber ser almacenada hasta que puede recibir el proceso correspondiente. Es necesario realizar un tratamiento posterior, debido a que este no cumple con los parámetros que exigen las normas con respecto a los microorganismos e higiene de la leche (Rosado Hoyo, Rosado Hoyo 2013a, pp. 145-146)

- Pasteurización

La pasteurización logra la destrucción de los microorganismos asociados a los productos lácteos aplicando temperaturas altas, que generalmente suelen rondar los 60 °C, además de mantener estas temperaturas por periodos de tiempo suficientes para destruir las bacterias dañinas, sin cambiar la composición, sabor y valor nutritivo de estos (Patiño, Espinoza, Velásquez 2001, p. 20)
Dependiendo del tratamiento aplicado (temperatura-tiempo), existen diferentes tipos de pasteurización, pudiendo clasificarse en baja, media y alta

- Pasteurización baja

Este tipo de pasteurización también se reconoce como LTLT (Low Temperatura – Long Time), que significa “baja temperatura – largo tiempo” por sus siglas en inglés, esta pasteurización aplica tratamiento con temperaturas de 63-65 °C en periodos de 30 minutos, por tener un tiempo de retención tan elevados, esta pasteurización solo se puede aplicar en procesos discontinuos, este tipo de pasteurización se aplica principalmente para la elaboración de algunos tipos de quesos y se aplica directamente en la cuba (Rosado Hoyo y Rosado Hoyo 2013^a)

- Pasteurización media

Conocida como HTST (High temperatura – Short Time) que significa “alta temperatura – corto tiempo” por sus siglas en inglés, este tratamiento aplica temperaturas de 72-75 °C durante periodos de 15 segundos, se usa principalmente para productos como leche líquida pasteurizada, algunos tipos de quesos, natas, mantequillas, esta pasteurización es conocida también como “pasteurización estándar” y debido a su corto tiempo de retención se puede aplicar de forma continua (Rosado Hoyo y Rosado Hoyo 2013^a, p. 148)

- Pasteurización alta

Más agresiva que la pasteurización baja y media, sin llegar a ser considerada como una esterilización, empleada con el fin de modificar las proteínas de la leche con los que se puede mejorar algunas de sus propiedades como: textura, retención de agua, etc., que son importantes para algunos productos que se producen posteriormente, este tratamiento usa temperaturas de 90-95 °C por periodos de 1-5 minutos, lo que lo hace muy usado en la industria del yogurt y muchos quesos del tipo láctico, por su tiempo de retención es aplicado de forma continua (Rosado Hoyo y Rosado Hoyo 2013^a, p. 148)

2.2.3.2. Aditivos empleados en la industria quesera

- Ácido cítrico

La producción de ácido cítrico se puede realizar recuperando ingredientes como jugo de limón o fermentando soluciones de carbohidratos con *Candida spp* (Arciniega Castillo 2010, p. 6).

Es un ácido orgánico tricarbóxico que coincide con la fórmula estructural C₆H₈O₇. El ácido cítrico se utiliza como conservante, antioxidante, regulador de la acidez y secuestrante. Su acidez es causada por tres grupos carboxílicos que, al dispersarse en agua, producen un ion citrato que se une a varios metales. Según la normativa (NTE INEN 2074), pág. 3, literal d), es utilizado con

finés tecnológicos para regular la acidez especialmente en la producción de lácteos (Bravo 2018, p. 3).

- **Cuajo**

Sustancia que está presente en el abomaso (uno de los cuatro estómagos) de los mamíferos rumiantes y contiene principalmente las enzimas renina y quimosina. El cuajo vegetal se obtiene a partir de la flor de cardo (CANILEC 2011a, p. 152).

Es un insumo utilizado en la producción de alimentos el cual está conformado por un conjunto de enzimas utilizadas para la fabricación de quesos, mediante la quimosina se separa la principal proteína de la leche es decir la casina que se encuentra en la fase líquida o suero (compuesto por agua, proteínas del lactosuero y carbohidratos), se elimina esta enzima para que el proceso de coagulación inicie mediante la formación de grumos de caseína que serán separados del suero para que a posterior inicie el proceso de maduración (Bravo 2018, p. 3).

- **Cloruro de calcio**

Este aditivo aumenta la capacidad de coagulación de la leche y asegura una coagulación firme, lo que conduce a la producción de queso de alta calidad con buen rendimiento. El proceso de cuajado de esta leche dará como resultado una muy mala coagulación, una cuajada muy fina y, en consecuencia, un queso de mala calidad y bajo rendimiento. Para compensar el calcio que se ha perdido durante la pasteurización, es esencial agregar calcio a la leche en forma de cloruro de calcio durante la elaboración del queso (Statsenko, Guharay 2015, p. 49).

2.2.4. Equipos industriales para la producción de queso mozzarella

2.2.4.1. Cuba de queso

La cuba es un equipo fabricado en acero inoxidable, este equipo es indispensable en la industria quesera, ya que en este equipo se va a realizar gran parte de los tratamientos térmicos correspondientes a la elaboración del queso, en este equipo se puede realizar la pasteurización de la leche, así como, mantener la temperatura durante el proceso de coagulación y corte de la cuajada. Este equipo cuenta con una chaqueta donde circula vapor, es que ayuda a elevar la temperatura hasta las condiciones necesarias de operación, además, de contar con un motor que permite agitar gracias a unas paletas, o cortar la cuajada gracias a una lira, que pueden ser intercambiadas según se necesite (López Ruíz, Pedregosa Cabrero 2020, p. 27).

- Tipos de cubas.

López Ruíz & Pedregosa Cabrero, (2020, p. 27), afirma que las cubas, pueden clasificarse en distintos modelos, esto, según su geometría.

- Cubas Holandesas

Este tipo de cuba destaca por la forma elíptica de su planta y su reducida profundidad, permitiendo el moldeo en la misma. Este tipo de cuba, al ser abierta, presenta una baja eficiencia energética con respecto a los demás modelos.



Ilustración 2-1: Cuba holandesa

Fuente: Lactomilk 2021

- Cuba circular

De forma circular, este tipo de cuba puede ser abierta o cerrada, además de que puede ser manual o mecanizada, logrando ser muy versátil, ya que la mecanización se puede dejar de lado, reduciendo sus costos de elaboración. Este tipo de cuba es recomendable para volúmenes no superiores a 300 litros.



Ilustración 2-2: Cuba circular abierta

Fuente: La casa del chef, 2021.

2.2.4.2. Hiladora de queso

Es el equipo que cumple con la función de hilar la cuajada, con el fin de darle la elasticidad característica al queso mozzarella, este consta de un recipiente horizontal con chaqueta con forma de u, fabricado en acero inoxidable, donde se calentara la cuajada hasta la temperatura de hilado, que, gracias a una serie de paletas al interior de esta que, amasada la cuajada caliente, se logra las fibras características del queso (Sémper Bravo 2016).



Ilustración 2-3: Hiladora de queso

Fuente: Sémper Bravo, 2016.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

El diseño y construcción de una línea de producción de queso mozzarella para el laboratorio de Procesos Industriales, Facultad de Ciencias, ESPOCH, es un proyecto de tipo técnico sistemático, que consisten en un procedimiento de transformación de la materia prima (leche) que al seguir una serie de pasos ordenados nos lleva a un producto terminado (queso mozzarella).

3.2. Método experimental

Para llevar a cabo el diseño y construcción de la línea de producción de queso mozzarella se utilizó el método experimental aplicado al laboratorio para obtener las características del producto terminado, manipulando las variables del proceso, técnica, equipo para la obtención del producto de alta calidad y apto para el consumo humano.

3.3. Método deductivo

Se caracterizó la materia prima como es la leche, se determinaron las variables a nivel de laboratorio con esta información se aplicaron los cálculos de ingeniería para obtener el dimensionamiento de la línea de producción y con el producto obtenido se verifica el cumplimiento de los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 82:2011.

3.4. Determinación de las variables del proceso

Durante el proceso para la obtención de queso mozzarella desde la recepción de la materia prima, hasta su moldeo, se identificaron las siguientes variables a considerar que son: temperatura, tiempo y pH.

3.4.1. *Temperatura*

La temperatura se encuentra inmersa en las etapas de: tratamiento térmico de la leche, enfriamiento post tratamiento térmico, acidificación de la leche, cuajado e hilado de queso. El control de esta variable es indispensable en las etapas antes mencionadas, debido a que un exceso de temperatura causa la desnaturalización de las proteínas que forman el queso mientras una

temperatura muy baja no logra el debido control de patógenos presentes en la leche en la etapa de tratamiento térmico, además, su control garantiza condiciones óptimas para la formación de masa cuajada, la textura y consistencia de la masa hilada. Para la etapa del tratamiento térmico se trabaja a una temperatura de 65 °C, luego una disminución de temperatura para la etapa de acidificación de la leche a una temperatura de 35 °C, para el cuajado del queso una temperatura de 45°C y para el hilado del queso una temperatura de 80 °C.

3.4.2. *Tiempo*

El tiempo se considera en las siguientes etapas: tratamiento térmico, acidificación, coagulación e hilado. La etapa de tratamiento térmico se realiza con un tiempo de residencia de 30 minutos a la temperatura correspondiente, para lograr el mayor control de patógenos, para la acidificación 10 minutos para ayudar en el proceso de coagulación, la coagulación durante 30 minutos para garantizar la reducción de pH hasta los niveles deseados y con ello una óptima formación de masa cuajada y 20 minutos para la etapa del hilado para garantizar la textura y consistencia del queso.

3.4.3. *pH*

El controlar el valor de pH permite obtener la textura y sabor característico del queso mozzarella, ya que pH muy ácidos obtienen quesos de texturas muy blandas. El pH se controla en la etapa de coagulación mismo que debe estar en un rango de 5,2 a 5,5.

En el cuadro **Tabla 3-1** se puede observar las diferentes variables del proceso, junto a las etapas y los parámetros en los que intervienen durante el proceso de elaboración de queso mozzarella.

Tabla 3-1: Variables y parámetros en el proceso de elaboración de queso mozzarella

Variable	Descripción	Método de medición	Etapa durante el proceso	Parámetro
Temperatura	Unidad de medida del calor presente un cuerpo	Termómetro	Tratamiento térmico	65 °C
			Enfriamiento postratamiento térmico	30 °C
			Acidificación	30 °C
			Coagulación	35 °C
			Hilado	80 °C
Tiempo	Duración de las diferentes etapas involucradas en el proceso	Cronometro	Tratamiento térmico	30 minutos
			Acidificación	10 minutos
			Coagulación	30 minutos
pH	Nivel de acidez	pH metro	Coagulación	5,2-5,5

Realizo por: Galarza y Ñañañay, 2023.

3.5. Diseño del proceso de la línea de producción de queso mozzarella

3.5.1. Selección de la materia prima

La materia prima para la elaboración de queso mozzarella es leche, en este caso leche de origen bovino (vaca), la leche cruda deberá cumplir con normas de calidad (NTE INEN 9: 2015) referidas para características organolépticas físicas, químicas y microbiológicas.

3.5.2. Caracterización de la materia prima

La caracterización de la materia prima se realizó con base a la norma NTE INEN 9: 2015 en los cuales se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que nos ayudaron a determinar la calidad de la materia prima con la cual se va a trabajar.

Tabla 3-2: Requisitos fisicoquímicos para la leche cruda

Requisitos	Unidad	mín.	máx.	Método de ensayo
Densidad relativa: a 15 °C a 20 °C	g/mL	1,029	1,032	NTE INEN 11
		1,028	1,033	
Materia grasa	% ¹	3	-	NTE INEN-ISO 2446
Acidez titulable como ácido láctico	%	0,13	0,17	NTE INEN 13

Sólidos totales	%	11,2	-	NTE INEN 14
Sólidos no grasos	%	8,2	-	*
Cenizas	%	0,65	-	NTE INEN 14
Punto de congelación (punto crioscópico)	°C	-0,536	-0,512	NTE INEN-ISO 5764
Proteínas (N*6,38)	%	2,9	-	NTE INEN 16
Ensayo de reductasa(azul de metileno)**	h	4	-	NTE INEN 18
Reacción de estabilidad proteica (prueba de alcohol)	Para leche destinada a pasteurización, no se coagulará por la adición de un volumen igual de alcohol neutro de 68 % en masa o 75 % en volumen. Para la leche destinada a ultra pasteurización, no se coagulará por la adición de un volumen igual de alcohol neutro de 71 % en masa o 78 % en volumen.			NTE INEN 1500
Presencia de conservantes ²	-	Negativo		NTE INEN 1500
Presencia de neutralizantes ³	-	Negativo		NTE INEN 1500
Presencia de adulterantes ⁴	-	Negativo		NTE INEN 1500 NTE INEN 2401
* Diferencia entre el contenido de sólidos totales y el contenido de grasa.				
** Aplicable a la leche cruda antes de ser sometida a enfriamiento				
¹ Corresponde a fracción de masa expresada en porcentaje				
² Conservantes: formaldehído, peróxido de hidrógeno, cloro, hipocloritos, cloraminas, dicromato de potasio y dióxido de cloro.				
³ Neutralizantes: orina bovina, carbonatos, hidróxido de sodio, jabones.				
⁴ Adulterantes: Harina y almidones, soluciones azucaradas o soluciones salinas, colorantes, suero de leche, grasas vegetales.				

Fuente: NTE INEN 9:2015

Tabla 3-3: Requisitos microbiológicos para la leche cruda

Microorganismo	Caso	n	c	M	M	Método de ensayo
Recuento de colonias aerobias	2 ^a	5	2	2x10 ⁴	5x10 ⁴	NTE INEN 1529-5
Enterobacteriaceae (UFC/g)	6b	5	1	10	10 ²	NTE INEN-ISO 21528-2
S. aureus	7c	5	2	10	10 ²	NTE INEN 1529-14
Recuento de células somáticas/mL	< 5 x 10 ⁵					ISO 13366-1
n número de muestras a analizar m límite de aceptación M límite superando el cual se rechaza c número máximo de muestras admisibles con resultados entre m y M. a Caso 2. Utilidad: contaminación general, vida útil reducida en percha, deterioro incipiente. b Caso 6. Indicador: riesgo bajo e indirecto. c Caso 7. Riesgo moderado: directo, propagación limitada						

3.5.3. Etapas del proceso

Para la elaboración de queso mozzarella se cumplió de forma ordenada con las siguientes etapas.

3.5.3.1. Preparación de la materia prima

Se filtra la leche con ayuda de una tela para leche y de esta manera eliminar impurezas. Posterior a esto se procede a medir el volumen de leche con el cual se va a trabajar y se toma una muestra para realizar pruebas de densidad y pH para asegurar la calidad de la leche.

3.5.3.2. Tratamiento térmico de la leche

El tratamiento térmico se lo realiza con el fin de eliminar microorganismos patógenos que llegan a ocasionar enfermedades en los consumidores, el tratamiento se lo lleva a cabo a una temperatura de 65°C por un tiempo de 30 minutos, una vez alcanzada esta temperatura se debe realizar un enfriamiento hasta los 35 °C.

3.5.3.3. Acidificación de la leche

La acidificación de la leche se realiza con la adición de ácido cítrico a temperatura de 35 °C con una ligera agitación para garantizar la correcta incorporación del ácido a la leche.

3.5.3.4. Coagulación

El proceso de coagulación en el cual la leche líquida se convierte en semisólida se lleva a cabo con la adición de cuajo a una temperatura de 45°C con un tiempo de residencia de 30 minutos, o hasta que se haya alcanzado el pH y la consistencia deseada.

3.5.3.5. Separación de la cuajada

Una vez que la masa haya adquirido la consistencia deseada se corta la masa y se separa del suero para la etapa siguiente.

3.5.3.6. Hilado del queso

Para hilar primero se realiza una prueba tomando una pequeña muestra de masa cuajada y sumergiéndola en agua caliente a una temperatura de 80°C y se verifica si ya presenta elasticidad. Posterior se saca la cuajada para que se escurra una cantidad de suero y proceder a hilar.

3.5.3.7. Moldeado del queso

El moldeado se realiza posterior al hilado del queso, cuando este aún está caliente, se deposita en los moldes, se corta el exceso y se deja enfriar hasta que haya adquirido la forma del molde.

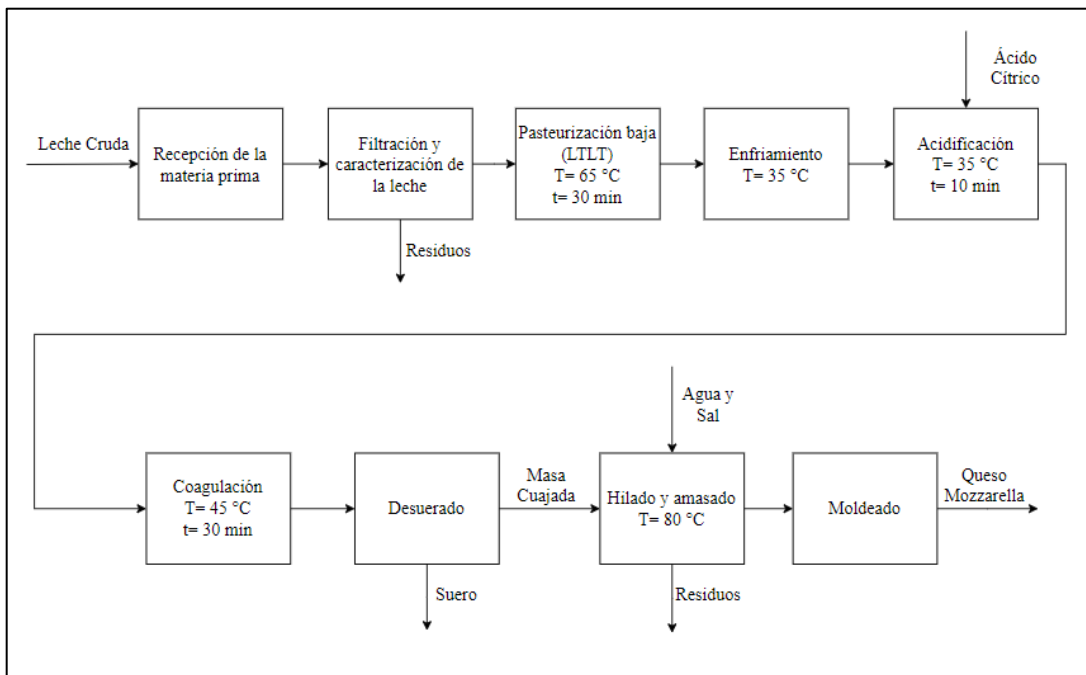


Ilustración 3-1: Etapas en la elaboración de queso mozzarella

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

3.5.4. Selección de materiales

La construcción de los equipos se realiza con el acero AISI 304 debido a que este acero es recomendado para la construcción de equipos alimenticios especialmente lácteos, este material presenta resistencia a varias condiciones de oxidación.

El material presenta las siguientes propiedades físicas:

Tabla 3-4: Propiedades físicas del acero AISI 304

Densidad (libra/ pulg ²) a RT		0.29
Módulo de elasticidad en tensión (psi x 10 ⁶)		28.0

Calor específico (BTU/o F/libra)	32 a 212 °F (0 a 100 °C)	0.12
Conductividad térmica (BTU/h/pies^2/pies)	212 °F	9.4
	932 °F (500 °C)	12.4
Coeficiente promedio de expansión térmica (pulg. x 10^-6 por o F)	32 a 212 °F (0 a 100 °C)	9.2
	32 a 600 °F (0 a 316 °C)	9.9
	32 a 1000 °F (0 a 538 °C)	10.2
	32 a 1200 °F (0 a 649 °C)	10.4
Resistencia eléctrica (microhomios por cm)	a 70 °F (21 °C)	72
Rango de punto de fusión (°F)		2550 a 2650
Resistencia a la oxidación: Servicio continuo (°F)		1,650
Resistencia a la oxidación: Servicio intermitente (°F)		1,500

Realizo por: Galarza y Ñañañay, 2023.

3.5.5. Balance de masa

Los balances de masa se realizan con el fin de determinar el rendimiento del proceso, es decir, que no haya perdidas en ninguna etapa, y mayor parte de la materia prima se transforme en el producto terminado.

3.5.5.1. Balance de masa en la elaboración de queso mozzarella

Para la determinación de los balances se parte de la ecuación general del balance de masa

$$E - S + G - C = A$$

Donde:

E= entrada de masa al sistema

S= salida de masa del sistema

G= generación de masa del sistema

C= consumo de masa en el sistema

A= acumulación de masa en el sistema

El queso mozzarella se hace en un sistema en régimen estacionario sin reacción química, por lo que se tiene que:

$$E - S + G - C = A$$

$$E - S + G - C = A$$

$$E = S$$

Donde:

E= entrada de masa al sistema

S= salida de masa del sistema

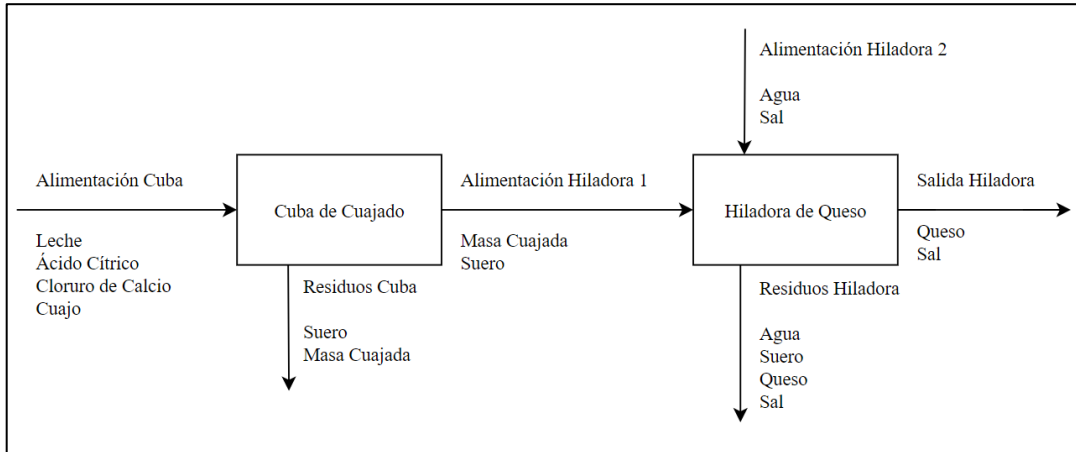


Ilustración 3-2: Balance de masa global en la preparación de queso mozzarella

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

3.5.5.2. Balance de masa en la cuba de cuajado

Para facilidad de cálculo se realizará las operaciones separadas por cada equipo.

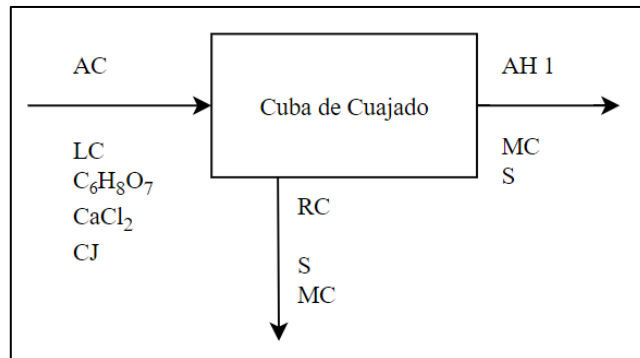


Ilustración 3-3: Balance de masa en la cuba de cuajado

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Con la ecuación obtenida anteriormente se tiene que:

$$E = S$$

$$AC = RC + AH1$$

$$AC = LC + C_6H_8O_7 + CaCl_2 + CJ$$

$$RC = MC_1 + S_1$$

$$AH_1 = MC_2 + S_2$$

$$LC + C_6H_8O_7 + CaCl_2 + CJ = MC_1 + S_1 + AH_1$$

Donde:

AC= alimentación de la Cuba

LC= leche cruda

C₆H₈O₇= ácido cítrico

CaCl₂= cloruro de calcio

CJ= cuajo

RC= residuos de la cuba

CU= cuajada

MC₁= masa cuajada en los residuos de la cuba

MC₂= masa cuajada en la alimentación de la hiladora

S₁= suero en los residuos de la cuba

S₂= suero en la alimentación de la hiladora

Para los valores en la entrada el proceso inicia con la adición de leche cruda y aditivos en función de la cantidad de leche agredada según la formulación usada teniendo así:

$$LC = 60 \text{ lt}$$

$$C_6H_8O_7 = 1,8 \frac{g \text{ Ac}}{lt \text{ leche}}$$

$$C_6H_8O_7 = 1,8g * lt \text{ leche}$$

$$C_6H_8O_7 = 1,8g * 60 \text{ lt leche}$$

$$C_6H_8O_7 = 108 \text{ g de ácido cítrico}$$

$$C_6H_8O_7 = 0,108 \text{ kg de ácido cítrico}$$

$$CaCl_2 = 0,25 \frac{ml \text{ CaCl}_2}{lt \text{ leche}}$$

$$CaCl_2 = 0,25ml * lt \text{ leche}$$

$$CaCl_2 = 0,25ml * 60 \text{ lt leche}$$

$$CaCl_2 = 15 \text{ ml de cloruro de calcio}$$

$$CJ = 0,1 \frac{ml \text{ Cj}}{lt \text{ leche}}$$

$$CJ = 0,1ml * lt \text{ leche}$$

$$CJ = 0,1ml * 60 \text{ lt leche}$$

$$CJ = 6 \text{ ml de cuajo}$$

Para los valores en la salida se midieron las cantidades obtenidas al terminar el proceso en el equipo teniendo así lo siguiente:

$$RC = MC_1 + S_1$$

$$S_1 = 52,14 \text{ lt de suero}$$

$$MC_2 = 8,13 \text{ g de masa cuajada}$$

Para facilidad de cálculos se transforma todas las unidades a unidades de masa

- Cálculo de masa de la leche

Para el cálculo de la masa de leche se parte de 60 litros de leche que es la capacidad máxima en volumen con la que fue diseñado el proceso, con la ecuación de la densidad tenemos:

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

Reemplazando m tenemos los siguiente

$$m = v * \rho$$

$$v = 60 \text{ l} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$v = 60 \text{ l} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$v = 0,06 \text{ m}^3$$

$$m = 0,06 \text{ m}^3 * \left(1029,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$m = 61,788 \text{ kg}$$

Donde:

m = masa de leche

v = volumen de leche

ρ = densidad de la leche

- Masa de cloruro de calcio

La masa de cloruro de calcio se establece mediante el producto de la densidad obtenida en el laboratorio que es de 2150 kg/m³.

$$CaCl_2 = \rho_{CaCl_2} * V_{CaCl_2}$$

Donde:

CaCl₂ = Masa de cloruro de calcio (kg)

ρ_c = Densidad del cloruro de calcio (kg/m^3)

V_c = Volumen de cloruro de calcio (m^3)

$$CaCl_2 = 2150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,000015 \text{ m}^3$$

$$CaCl_2 = 0,0322 \text{ kg}$$

- Masa de cuajo

Para desarrollar el cálculo de la masa de cuajo su densidad fue determinada experimentalmente en el laboratorio por el método del picnómetro es 1013 kg/m^3 .

El volumen necesario de cuajo se lo determina a través de la relación calculada en el laboratorio que es de $0,1 \text{ ml}$ de cuajo por cada litro de leche.

$$CJ = \rho_c * V_c$$

Donde

Cj = Masa de cuajo (kg)

ρ_c = Densidad del cuajo (kg/m^3)

V_c = Volumen de cuajo (m^3)

$$CJ = 1013 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,000006 \text{ m}^3$$

$$CJ = 0,0061 \text{ kg}$$

- Masa de suero

Para desarrollar el cálculo de la masa de suero su densidad fue determinada experimentalmente en el laboratorio por el método del picnómetro es 1027 kg/m^3 .

$$S = \rho_c * V_c$$

Donde

S = Masa de suero (kg)

P_s = Densidad del suero (kg/m^3)

V_s = Volumen de suero (m^3)

$$S = 1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,05214 \text{ m}^3$$

$$S_1 = 53,5478 \text{ kg}$$

Con los valores obtenidos reemplazamos en la ecuación inicial y despejamos CU que es el valor faltante teniendo así:

$$AH_1 = LC + C_6H_8O_7 + CaCl_2 + CJ - RC$$

$$AH_1 = LC + C_6H_8O_7 + CaCl_2 + CJ - (MC_1 + S_1)$$

$$AH_1 = 61,788 \text{ kg} + 0,108 \text{ kg} + 0,0322 \text{ kg} + 0,0061 \text{ kg} - (0,00813 + 53,5478) \text{ kg}$$

$$AH_1 = 8,3784 \text{ kg}$$

3.5.5.3. Cálculo de la composición de los flujos en la cuba de cuajado

Para determinar la composición en el flujo se aplica la siguiente expresión

$$\%x = \frac{mx}{F} * 100$$

Donde

%x= porcentaje de x en el flujo

mx= masa del componente x en el flujo

F= masa total del flujo

- Flujo de alimentación

$$AC = LC + C_6H_8O_7 + CaCl_2 + CJ$$

$$AC = 61,788 \text{ kg} + 0,108 \text{ kg} + 0,0322 \text{ kg} + 0,0061 \text{ kg}$$

$$AC = 61,9343 \text{ kg}$$

- Porcentaje en masa de la leche en la alimentación

$$\%LC = \frac{mLC}{AC} * 100$$

$$\%LC = \frac{61,788}{61,9343} * 100$$

$$\%LC = 99,76$$

- Porcentaje en masa del ácido cítrico en la alimentación

$$\%C_6H_8O_7 = \frac{mC_6H_8O_7}{AC} * 100$$

$$\%C_6H_8O_7 = \frac{0,108}{61,9343} * 100$$

$$\%C_6H_8O_7 = 0,174$$

- Porcentaje en masa de cloruro de calcio en la alimentación

$$\%CaCl_2 = \frac{mCaCl_2}{AC} * 100$$

$$\%CaCl_2 = \frac{0,0322}{61,9343} * 100$$

$$\%CaCl_2 = 0,519$$

- Porcentaje en masa de cuajo en la alimentación

$$\%CJ = \frac{mCJ}{AC} * 100$$

$$\%CJ = \frac{0,0061}{61,9343} * 100$$

$$\%CJ = 0,0098$$

- Flujo de residuos de la cuba (RC)

$$RC = MC_1 + S_1$$

$$RC = 0,00813 \text{ kg} + 53,5478 \text{ kg}$$

$$RC = 53,556 \text{ kg}$$

- Porcentaje en masa de la masa cuajada en los residuos de la cuba

$$\%MC_1 = \frac{mMC_1}{RC} * 100$$

$$\%MC_1 = \frac{0,00813}{53,556} * 100$$

$$\%MC_1 = 0,015$$

- Porcentaje en masa del suero en los residuos de la cuba

$$\%S_1 = \frac{mS_1}{RC} * 100$$

$$\%S_1 = \frac{53,5478}{53,556} * 100$$

$$\%S_1 = 99,985$$

Para la corriente SC no es posible determinar su composición aún

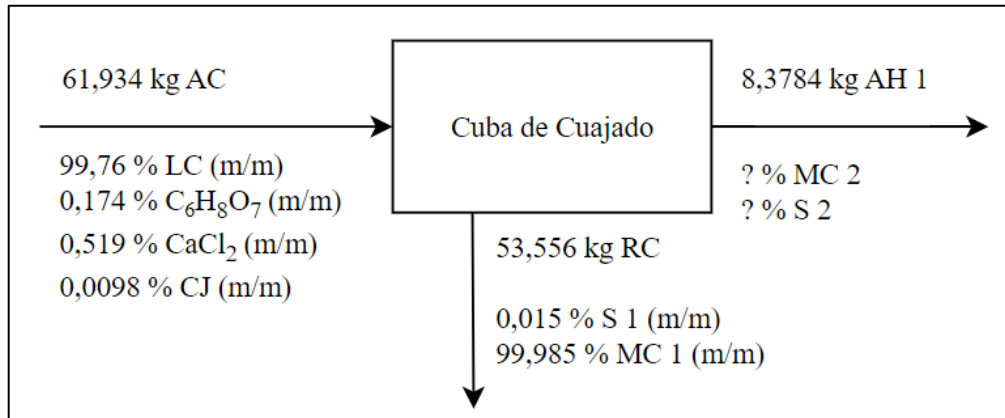


Ilustración 3-4: Balance de masa resuelto en la cuba de cuajado

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

- Rendimiento de la cuba de cuajado

$$Rendimiento\ Cuba = \frac{MC\ 2}{LC} * 100$$

$$Rendimiento\ Cuba = \frac{5,831}{61,788} * 100$$

$$Rendimiento\ Cuba = 9,437\ %$$

$$61,934\ kg = 61,934\ kg$$

Tabla 3-5: Composición en el flujo de alimentación a la cuba

Alimentación a la cuba (AC)		
Componente	Valor en masa (kg)	Composición (%) (m/m)
Leche cruda (LC)	61,788	99,76
Ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	0,108	0,174
Cloruro de calcio (CaCl ₂)	0,0322	0,519
Cuajo (CJ)	0,0061	0,0098
Total	61,934	100

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Tabla 3-6: Composición en el flujo de residuos de la cuba

Residuos de la cuba (RC)		
Componente	Valor en masa (kg)	Composición (%) (m/m)
Suero en los residuos de la cuba (S 1)	53,5478	99,985
Masa cuajada en los residuos de la cuba (MC 1)	0,00831	0,015
Total	53,5561	100

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Tabla 3-7: Composición en el flujo 1 a la hiladora

Alimentación 1 a la hiladora (AH 1)		
Componente	Valor en masa (kg)	Composición (%) (m/m)
Suero 1 en la alimentación a la hiladora (S 2)	1,5474	20,972
Masa cuajada 1 en la alimentación a la hiladora (MC 2)	5,831	79,028
Total	7,3784	100

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

3.5.5.4. Balance de masa en la hiladora

Para continuar con los cálculos del balance de masa del proceso, se continua con los balances de masa en la hiladora de queso.

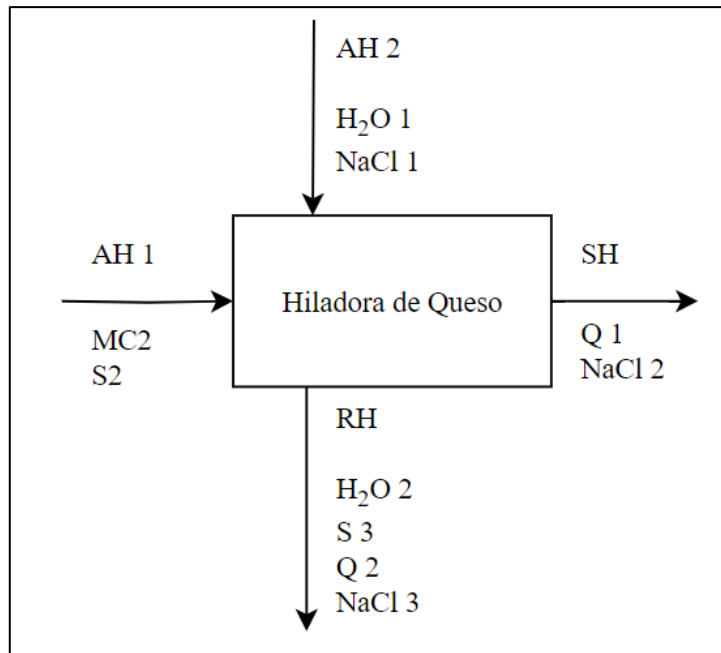


Ilustración 3-5: Balance de masa en la hiladora de queso.

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

$$E = S$$

$$AH_1 + AH_2 = RH + SH$$

- Calculo para la alimentación 2 de la hiladora

$$AH2 = H_2O\ 1 + NaCl$$

Para el proceso de hilado se ingresan 2 litros de agua a la hiladora y 80 gr de sal por litro de agua por lo que tenemos:

$$H_2O\ 1 = 2\ \text{litros}$$

$$H_2O\ 1 = 2\ l * \frac{1m^3}{1000\ l}$$

$$H_2O\ 1 = 0,002\ m^3$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 997 \frac{kg}{m^3} * 0,002\ m^3$$

$$m = 1,994\ kg$$

$$H_2O = 1,994\ kg$$

$$NaCl = 2 * 80\ g\ de\ sal$$

$$NaCl = 0,160\ kg$$

$$AH2 = 1,994 \text{ kg} + 0,16 \text{ kg}$$

$$AH2 = 2,154 \text{ kg}$$

- Porcentaje en masa de agua en el flujo AH 2

$$\% H_2O = \frac{1,994 \text{ kg}}{2,154 \text{ kg}} * 100$$

$$\% H_2O = 92,572$$

- Porcentaje en masa de sal en el flujo AH 2

$$\% NaCl = \frac{0,160 \text{ kg}}{2,154 \text{ kg}} * 100$$

$$\% NaCl = 7,428$$

Tabla 3-8: Composición en el flujo de alimentación 2 a la hiladora

Alimentación 2 a la hiladora (AH 2)		
Componente	Valor en masa (kg)	Composición (%) (m/m)
Agua en la alimentación 2 a la hiladora (H2O 1)	1,994	92,572
Sal en la alimentación 2 a la hiladora (MC 2)	0,160	7,428
Total	2,154	100

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Tabla 3-9: Composición en el flujo de residuos de la hiladora

Residuos de la hiladora (RH)		
Componente	Valor en masa (kg)	Composición (%) (m/m)
Agua en los residuos de la hiladora (H2O 2)	1,994	54,954
Sal en los residuos de la hiladora (NaCl 2)	0,0821	2,263
Masa hilada en los residuos de la hiladora (MH 1)	0,005	0,138
Suero en los residuos de la hiladora (S 3)	1,5474	42,646
Total	3,6285	100

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Tabla 3-10: Composición en el flujo de queso mozzarella obtenido en la hiladora

Queso Mozzarella (QM)		
Componente	Valor en masa (kg)	Composición (%) (m/m)
Masa hilada (MH 2)	5,826	98,68
Sal (NaCl 3)	0,078	1,32
Total	5,904	100

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

- Rendimiento de la cuba de cuajado

$$\text{Rendimiento Hiladora} = \frac{MH\ 2}{MC\ 2} * 100$$

$$\text{Rendimiento Hiladora} = \frac{5,826}{5,831} * 100$$

$$\text{Rendimiento Hiladora} = 99,914 \%$$

$$\text{Rendimiento del Proceso} = \frac{QM}{LC} * 100$$

$$\text{Rendimiento del Proceso} = \frac{5,904}{61,788} * 100$$

$$\text{Rendimiento del Proceso} = 9,56 \%$$

3.5.6. Diseño de la cuba de cuajado

Una vez definidos los datos y variables en los balances de masa planteados para los equipos, el dimensionamiento des el primer paso para el diseño.

3.5.6.1. Cálculo del dimensionamiento de la cuba

Para dimensionar correctamente la cuba, se parte por el volumen de producción máximo que se ha establecido.

- Volumen de la cuba

El volumen de producción establecido para la cuba es de 60 litros, para obtener el volumen total del equipo se multiplicará por un factor de seguridad, teniendo así:

$$v_c = v_p + v_s$$

$$v_s = v_p * \text{factor de seguridad}$$

$$\text{factor de seguridad} = 0,075$$

$$v_s = 60 \text{ l} * 0,075$$

$$v_s = 4,5 \text{ l}$$

$$v_c = 60 \text{ l} + 4,5 \text{ l}$$

$$v_c = 64,5 \text{ lt}$$

$$v_c = 64,5 \text{ lt} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}}$$

$$v_c = 64,5 \text{ lt} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}}$$

$$v_c = 0,0645 \text{ m}^3$$

Donde:

v_c = volumen de la cuba

v_p = volumen propuesto

v_s = volumen de seguridad

- Diámetro de la cuba

Considerando el espacio disponible en el laboratorio se trabajará con un diámetro de 39 cm teniendo así:

$$\emptyset = 39 \text{ cm}$$

$$\emptyset = 39 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\emptyset = 39 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\emptyset = 0,39 \text{ m}$$

Donde:

\emptyset = diámetro de la cuba

- Radio de la cuba

Para obtener el radio de la cuba, se usará la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\emptyset_c}{2}$$

$$r = \frac{0,39 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,195 \text{ m}$$

Donde:

\emptyset = diámetro de la cuba

r= radio de la cuba

- Altura de la cuba

Para la determinación de la altura de la cuba se usará la ecuación para la determinación del volumen de un cilindro:

$$v = \pi * r^2 * h$$

Despejando h de la ecuación se tiene:

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

$$h = \frac{0,0645 \text{ m}^3}{\pi * (0,195 \text{ m})^2}$$

$$h = \frac{0,0645 \text{ m}^3}{\pi * 0,195^2 \text{ m}^2}$$

$$h = \frac{0,0645 \text{ m}^1}{\pi * 0,195^2 \text{ m}^2}$$

$$h = 0,54 \text{ m}$$

Donde:

v= volumen de la cuba

r= radio de la cuba

h= Altura de la cuba

- Área de transferencia de calor de la cuba

Esta área servirá para cálculos posterior, en el balance de energía del equipo, se usará la fórmula del área lateral de un cilindro y el área de una circunferencia para su determinación, teniendo así:

$$A_t = A_l + A_b$$

$$A_t = (2\pi * r * h) + (\pi * r^2)$$

$$A_t = (2\pi * 0,195 \text{ m} * 0,54 \text{ m}) + (\pi * (0,195 \text{ m})^2)$$

$$A_t = (0,66162 \text{ m}^2) + (0,11946 \text{ m}^2)$$

$$A_t = 0,78108 \text{ m}^2$$

Donde:

At= área total de la cuba

Al= área lateral de la cuba

Ab= área de base de la cuba

r= radio de la cuba

h= altura de la cuba

3.5.6.2. Cálculo del dimensionamiento de la chaqueta de la cuba

El equipo contará con una chaqueta como parte de su sistema de transferencia de que calor, esta chaqueta evitará el gasto innecesario de energía en el proceso, por lo que está también deberá ser dimensionada.

- Cálculo del radio de la chaqueta de la cuba

Para la chaqueta se adicionará 2,25 cm de radio, al radio de la cuba, por lo que:

$$r = r_c + r_{ac}$$

$$r = 19,5 \text{ cm} + 2,25 \text{ cm}$$

$$r_{tc} = 21,75 \text{ cm}$$

$$r = 21,75 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$r = 21,75 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$r = 0,2175 \text{ m}$$

Donde:

r= radio de la chaqueta de la cuba

r_c= radio de la cuba

r_{ac}= radio adicional para la chaqueta de la cuba

- Cálculo de la altura de la chaqueta de la cuba

Para la altura de la chaqueta de la cuba, a la altura de la cuba antes calculada, se le agregaran 4 cm adicionales para la chaqueta teniendo:

$$\begin{aligned}h &= h_c + h_{ac} \\h &= 54 \text{ cm} + 4 \text{ cm} \\h &= 58 \text{ cm} \\h &= 58 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \\h &= 58 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \\h &= 0,58 \text{ m}\end{aligned}$$

Donde:

h = altura de la chaqueta

h_c = altura de la cuba

h_{ac} = altura adicional para la chaqueta

- Cálculo del volumen de la chaqueta de la cuba

Para determinar el volumen de la chaqueta de la cuba se usará la ecuación del volumen de un cilindro teniendo así:

$$\begin{aligned}v &= \pi * r^2 * h \\v &= \pi * (0,2175 \text{ m})^2 * 0,58 \text{ m} \\v &= \pi * 0,2175^2 \text{ m}^2 * 0,58 \text{ m} \\v &= 0,0862 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Donde:

v = volumen total de la chaqueta

r = radio de la chaqueta

h = altura de la chaqueta

- Cálculo del volumen disponible dentro de la chaqueta de la cuba

Este volumen se debe calcular para obtener la cantidad de masa de agua con la que va a contar para la transferencia de calor en las diferentes etapas, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$v_{ach} = v_{ch} - v_c$$

$$v_{dch} = 0,0862 \text{ m}^3 - 0,0645 \text{ m}^3$$

$$v_{dch} = 0,0217 \text{ m}^3$$

Donde:

v_{dch} = volumen disponible en el interior de la chaqueta

v_{Ch} = volumen de la chaqueta

v_c = volumen de la cuba

3.5.6.3. Dimensiones de la cuba de cuajado

Con los cálculos anteriores obtenemos las dimensiones que se encuentran detalladas en la tabla

Tabla 3-11: Dimensiones obtenidas para el diseño y construcción de la cuba de cuajado

Diámetro interno (m)	0,39
Diámetro Externo (m)	0,435
Altura interna (m)	0,54
Altura externa (m)	0,58
Volumen de la cuba (l)	64,5
Volumen de la chaqueta de la cuba (l)	21,7
Altura total (m)	0,91

Realizo por: Galarza y Ñañay, 2023.

Con las dimensiones detalladas anteriormente se obtiene el siguiente diseño detallado en las ilustraciones

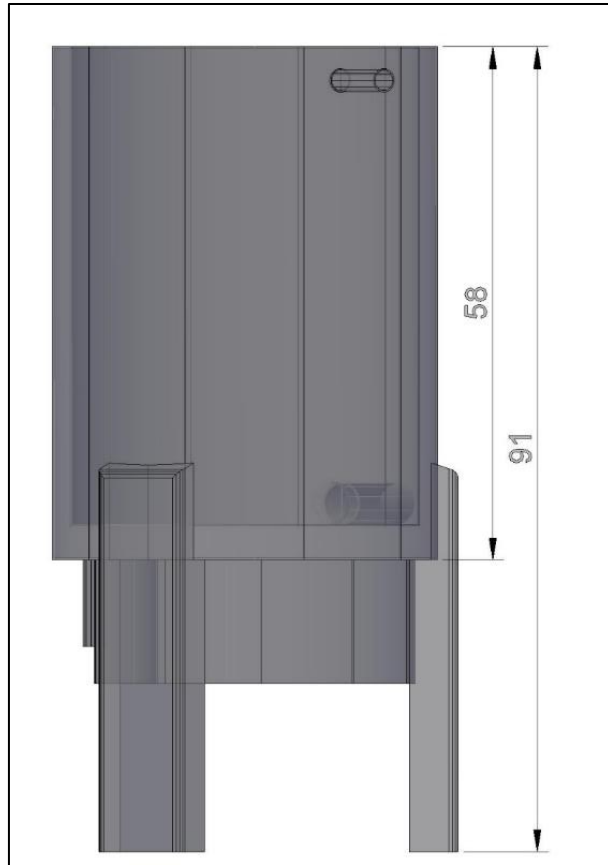


Ilustración 3-6: Vista frontal de cuba de cuajado obtenida

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

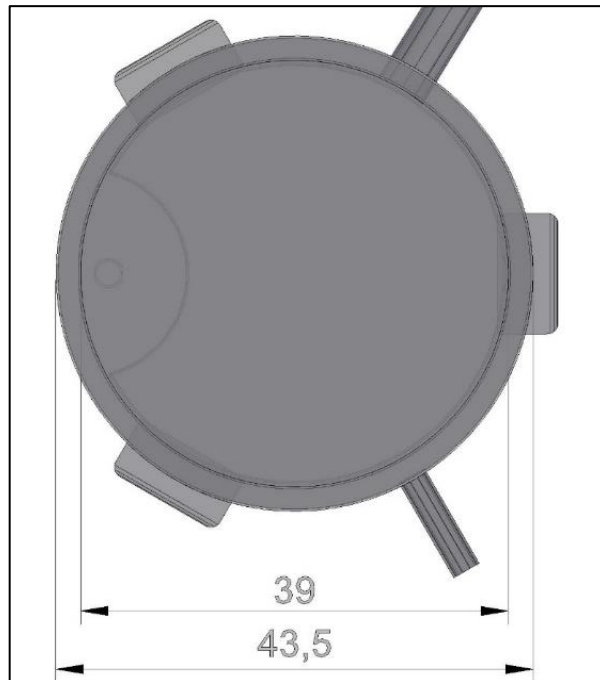


Ilustración 3-7: Vista superior de la cuba de cuajado obtenida

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

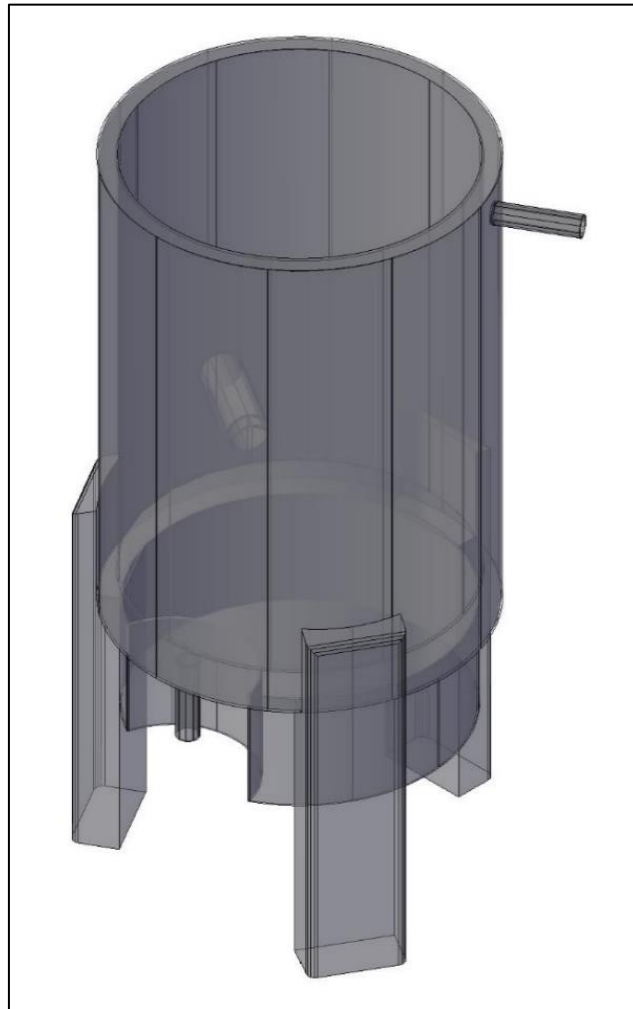


Ilustración 3-8: Vista isométrica SO de la cuba de cuajado obtenida

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

3.5.6.4. Balance de energía para la cuba

Para el balance de energía, se parte de la ecuación de la conservación de la energía:

$$\Delta E = \text{Energía de entrada} - \text{Energía de salida}$$
$$\Delta E = Q_e - Q_s + W_e - W_s + H_e - H_s + E_{pe} - E_{ps} + E_{ke} - E_{ks} + U_e - U_s$$

Donde:

ΔE = variación de energía del sistema

Q = calor del sistema

W = trabajo del sistema

H = entalpia

E_p = energía potencial

E_k = energía cinética

U = energía interna

El sistema no cuenta con energía cinética, potencial ni energía interna, no se realiza ni se consume algún trabajo, ni se genera calor en el sistema teniendo así:

$$\Delta E = Q_e - Q_s + W_e - W_s + H_e - H_s + E_{pe} - E_{ps} + E_{ke} - E_{ks} + U_e - U_s$$

$$-Q_e = H_e - H_s$$

$$Q_e = -H_e + H_s$$

$$Q = \Delta H$$

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

Donde:

Q = calor del sistema

ΔH = variación de entalpia

C_p = calor especifico a presión constante

ΔT = gradiente de temperatura

- Balance de energía en la etapa del tratamiento térmico

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

$$Q_{ced} = Q_{ads}$$

$$Q_{ced} = Q_{H2O} + Q_{Metal}$$

Para la etapa de tratamiento térmico se estableció un intervalo de temperatura para la leche de 27 a 65°C que se usara para los cálculos en la etapa.

- Calor producido por el agua en la etapa de tratamiento térmico

Para calcular el calor producido en esta etapa se hará uso de la ecuación del calor del sistema obtenida anteriormente, teniendo así:

$$\Delta T = T_f - T_i$$

$$T_f = 65^\circ C + 273,15$$

$$T_f = 338,15 K$$

$$T_f = 27^\circ C + 273,15$$

$$T_f = 300,15 K$$

$$\Delta T = 338,15 - 300,15$$

$$\Delta T = 38 K$$

$$Q = 21,635 kg * 4,184 kJ/kg * K \frac{kJ}{kg * K} * 38 K$$

$$Q = 3439,792 kJ$$

Donde:

Q = al calor consumido en la etapa del tratamiento térmico

m = masa del agua usada en la etapa del tratamiento térmico

c_p = Capacidad calorífica del agua a presión constante

ΔT = intervalo de temperatura en la etapa del tratamiento térmico

T_f = temperatura final en la etapa del tratamiento térmico

T_i = temperatura inicial en la etapa del tratamiento térmico

- Calor producido por el metal en la etapa de tratamiento térmico

Para calcular el calor producido en esta etapa se hará uso de la ecuación del calor del sistema obtenida anteriormente, teniendo así:

$$Q_M = K * A * \Delta T$$

$$\Delta T = 38 K$$

$$Q = 20 \frac{W}{m^2 * K} * 0,78 m^2 * 38 K$$

$$Q = 592,8 W$$

$$Q_{ced} = Q_{H2O} + Q_{Metal}$$

$$Q_{ced} = 3439,792 kJ + (592,8 W * 1800 s)/1000$$

$$Q_{ced} = 4506,83 kJ$$

- Coeficiente global de transferencia de calor en el tratamiento térmico

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$U = \frac{Q}{A * \Delta T}$$

$$U = \frac{4506,83 \text{ kJ} * 1000}{1800 \text{ s} * 0,78 \text{ m}^2 * 38 \text{ K}}$$

$$U = 84,473 \frac{W}{\text{m}^2 * K}$$

Donde:

U = coeficiente global de transferencia de calor

- Calor consumido en la etapa de coagulación

La etapa de coagulación se lleva a cabo en un intervalo de temperatura de 35 a 45°C, para su cálculo se usa el mismo análisis que en el tratamiento térmico, debido a que se hace uso del mismo equipo, solo cambian los parámetros de operación, teniendo así:

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

$$Q_{ced} = Q_{ads}$$

$$Q_{ced} = Q_{H2O} + Q_{Metal}$$

Para la etapa de coagulación se estableció un intervalo de temperatura para la leche de 35 a 45°C que se usara para los cálculos en la etapa.

- Calor producido por el agua en la etapa de coagulación

Para calcular el calor producido en esta etapa se hará uso de la ecuación del calor del sistema obtenida anteriormente, teniendo así:

$$\Delta T = T_f - T_i$$

$$\Delta T = 10 \text{ K}$$

$$Q = 21,635 \text{ kg} * 4,184 \text{ kJ/kg} * K \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * K} * 10 \text{ K}$$

$$Q = 905,208 \text{ kJ}$$

Donde:

Q = al calor consumido en la etapa de coagulación

m = masa del agua usada en la etapa de coagulación

c_p = Capacidad calorífica del agua a presión constante

ΔT = intervalo de temperatura en la etapa de coagulación

T_f = temperatura final en la etapa de coagulación

T_i = temperatura inicial en la etapa de coagulación

- Calor producido por el metal en la etapa de coagulación

Para calcular el calor producido en esta etapa se hará uso de la ecuación del calor del sistema obtenida anteriormente, teniendo así:

$$Q_M = K * A * \Delta T$$
$$\Delta T = 10 K$$
$$Q = 20 \frac{W}{m^2 * K} * 0,78 m^2 * 10 K$$
$$Q = 156 W$$

$$Q_{ced} = Q_{H_2O} + Q_{Metal}$$
$$Q_{ced} = 905,208 kJ + (156 W * 1800 s)/1000$$
$$Q_{ced} = 1186,01 kJ$$

- Coeficiente global de transferencia de coagulación

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * \Delta T$$
$$U = \frac{Q}{A * \Delta T}$$
$$U = \frac{1186,01 kJ * 1000}{1800 s * 0,78 m^2 * 10 K}$$
$$U = 0,78 \frac{W}{m^2 * K}$$

Donde:

U = coeficiente global de transferencia de calor

Tabla 3-12: Resultados del balance de energía en la cuba de cuajado

Etapa Medida	Tratamiento térmico	Coagulación
Calor cedido por el agua (kJ)	3439,792	905,208
Calor cedido por el metal (kJ)	1067,04	280,8
Coefficiente de transferencia global (W/m ² *K)	84,473	0,78

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

3.5.7. Hiladora de queso

3.5.7.1. Cálculo del dimensionamiento de la hiladora

- Volumen de la hiladora

$$\begin{aligned}v_h &= 17564,4054 \text{ cm}^3 \\v_h &= 17564,4054 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ m}^3}{1 * 10^6 \text{ cm}^3} \\v_h &= 17564,4054 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ m}^3}{1 * 10^6 \text{ cm}^3} \\v_h &= 0.017564 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Largo de la hiladora

El cuerpo de la hiladora está constituido por dos formas geométricas, un semi cilindro y un prisma rectangular, por lo ello, el largo del prisma va a ser igual al diámetro del semi cilindro. Considerando el espacio disponible en el laboratorio se trabajará con un diámetro de 21,5 cm tomando en cuenta estará diseñada para rotarse teniendo así:

$$\begin{aligned}l &= 21,5 \text{ cm} \\l &= 21,5 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \\l &= 21,5 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \\l &= 0,215 \text{ m}\end{aligned}$$

Donde:

l = largo de la hiladora

- Radio de la hiladora

$$\begin{aligned}\phi &= l \\ r &= \frac{\phi}{2} \\ r &= \frac{0,215 \text{ m}}{2} \\ r &= 0,1075 \text{ m}\end{aligned}$$

Donde:

l = largo de la hiladora

ϕ = diámetro de la hiladora

r = radio de la hiladora

- Base de la hiladora

La base seleccionada fue de 36 cm que, a su vez es la altura del semi cilindro que hace parte de la composición de la forma de la hiladora, teniendo así:

$$\begin{aligned}b &= 36 \text{ cm} \\ b &= 36 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \\ b &= 36 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \\ b &= 0,36 \text{ m}\end{aligned}$$

- Altura de la hiladora

Para calcular la altura de la hiladora, se debe sumar la altura del prisma y el radio del semi cilindro que forman la estructura del equipo, por ello se calculará la altura del prisma para completar el cálculo, para despejar la altura del prisma de la hiladora se empleará la siguiente ecuación:

$$v = b * l * h + \frac{\pi * r_{sc}^2 * h_{sc}}{2}$$

Despejando h de la ecuación tenemos:

$$h = \frac{v - \frac{\pi * r_{sc}^2 * h_{sc}}{2}}{b * l}$$

$$h_{sc} = b$$

$$h = \frac{0,017564 \text{ m}^3 - \frac{\pi * (0,1075 \text{ m})^2 * 0,36 \text{ m}}{2}}{0,36 \text{ m} * 0,215 \text{ m}}$$

$$h = \frac{0,017564 \text{ m}^3 - \frac{\pi * 0,1075^2 \text{ m}^2 * 0,36 \text{ m}}{2}}{0,36 \text{ m} * 0,215 \text{ m}}$$

$$h = 0,1425 \text{ m}$$

$$h_h = h + r_{sc}$$

$$h_h = 0,1425 \text{ m} + 0,1075 \text{ m}$$

$$h_h = 0,25 \text{ m}$$

Donde:

v = volumen de la cuba

r = radio de la cuba

h = Altura del prisma la cuba

r_{sc} = radio del semi cilindro

h_{sc} = altura del semi cilindro

h_h = altura de la hiladora

- Área de transferencia de calor de la hiladora

Esta área la calculamos teniendo en cuentas las formas geométricas que constituyen el equipo, donde tenemos un semi cilindro que forma la parte inferior y 4 rectángulos que forman las paredes, teniendo así:

$$A_h = A_{pr} + A_{sc}$$

$$A_h = 2(b * h + h * l) + ((A_l + A_b)/2)$$

$$A_h = 2(b * h + h * l) + ((2\pi * r * h) + (\pi * r^2))/2)$$

$$A_h = 2(0,36\text{m} * 0,1425\text{m} + 0,1425\text{m} * 0,215\text{m}) + ((2\pi * 0,1075\text{m} * 0,1425\text{m}) + (\pi * (0,1075\text{m}^2))/2)$$

$$A_h = 2(0,0513 \text{ m}^2 + 0,03064 \text{ m}^2) + \left(\frac{(0,0963 \text{ m}^2 + 0,0363 \text{ m}^2)}{2} \right)$$

$$A_h = 0,16388 \text{ m}^2 + 0,0663 \text{ m}^2$$

$$A_h = 0,230 \text{ m}^2$$

Donde:

A_h = área de transferencia de la hiladora

A_{pr} = área de las paredes

A_{sc} = área del semi cilindro

b = base de la hiladora

h = altura del prisma de la hiladora

l = lado de la hiladora

A_l = área lateral del semi cilindro

A_b = área de la base del semi cilindro

3.5.7.2. Cálculo del dimensionamiento de la chaqueta de la hiladora

Para dimensionar la chaqueta de la hiladora se considera un grosor adicional de 3,5 cm adicionales a los calculados con anterioridad

- Largo de la chaqueta de la hiladora

Al valor del largo de hiladora se debe adicionar 2 veces el grosor adicional, teniendo así:

$$l_{ch} = l_h + 2 * ga$$

$$l_{ch} = 21,5 \text{ cm} + 2 * 3,5 \text{ cm}$$

$$l_{ch} = 28,5 \text{ cm}$$

$$l_{ch} = 28,5 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$l_{ch} = 28,5 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$l_{ch} = 0,285 \text{ m}$$

Donde:

l_{ch} = largo de la chaqueta de la hiladora

l_h = largo de la hiladora

ga = grosor adicional para la chaqueta

- Radio de la chaqueta de la hiladora

-

$$\varnothing = l$$

$$r = \frac{\varnothing}{2}$$

$$r = \frac{0,285 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,1425 \text{ m}$$

Donde:

l= largo de chaqueta de la hiladora

\varnothing = diámetro de la chaqueta de la hiladora

r = radio de la chaqueta de la hiladora

- Base de la chaqueta de la hiladora

La base para la hiladora de conserva ya que estas paredes no cuentan con chaqueta teniendo así:

$$b = 0,36 \text{ m}$$

Donde:

b = base de la chaqueta de la hiladora

- Altura de la chaqueta de la hiladora

La altura del prisma de la hiladora se conserva, por lo que, para determinar la altura de la chaqueta, sumamos su radio teniendo:

$$h_{ch} = h + r$$

$$h_{ch} = 0,1425 \text{ m} + 0,1425 \text{ m}$$

$$h_{ch} = 0,285 \text{ m}$$

Donde:

hch = Altura de la chaqueta

h = altura del prisma de la hiladora

r = radio de la chaqueta de la hiladora

- Volumen de la chaqueta

Para despejar el volumen de la chaqueta usaremos la siguiente expresión:

$$v = b * l * h + \frac{\pi * (r_{sc})^2 * h_{sc}}{2}$$
$$h_{sc} = b$$

Teniendo así:

$$v = 0,36 \text{ m} * 0,285 \text{ m} * 0,1425 \text{ m} + \frac{\pi * (0,1425 \text{ m})^2 * 0,36 \text{ m}}{2}$$
$$v = 0,0261 \text{ m}^3$$

Donde:

v = volumen total del equipo con la chaqueta

b= base de la chaqueta

l = largo de la chaqueta

h = altura del prisma de la chaqueta

r_{sc} = radio del semi cilindro

h_{sc} = altura del semi cilindro

- Volumen disponible dentro de la chaqueta

Para determinar el volumen que hay disponible al interior de la chaqueta, deberemos hacer la diferencia entre el volumen total del equipo con la chaqueta y el volumen disponible dentro de la hiladora teniendo así:

$$v_{dch} = v_{ch} - v_h$$
$$v_{dch} = 0,0261 \text{ m}^3 - 0,017564 \text{ m}^3$$
$$v_{dch} = 0,00854 \text{ m}^3$$

Donde:

v_{dch} = volumen disponible al interior de la chaqueta

v_{ch} = volumen de la chaqueta

v_h = volumen de la hiladora

3.5.7.3. Diseño obtenido para la hiladora

Con los cálculos anteriores se obtuvieron las dimensiones detalladas en la **Tabla 3-13** con las cuales se diseñó el equipo.

Tabla 3-13: Dimensiones obtenidas en el diseño de la hiladora

Base de la hiladora y chaqueta (m)	0,36
Largo de la hiladora (m)	0,215
Largo de la chaqueta (m)	0,285
Altura de la hiladora con chaqueta (m)	0,285
Volumen de la hiladora (m ³)	0.017564
Volumen de la chaqueta (m ³)	0,00854
Altura del equipo (m)	0,755
Largo del equipo (m)	0,93

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Con los resultados obtenidos se consiguió el diseño de hiladora que se puede observar en las ilustraciones mostradas a continuación.

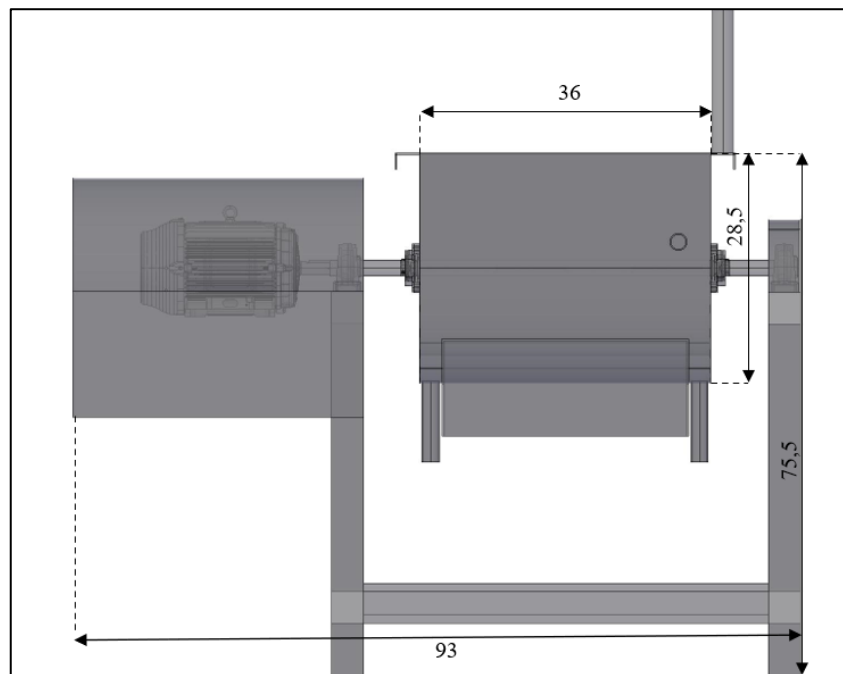


Ilustración 3-9: Vista frontal de la hiladora diseñada

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

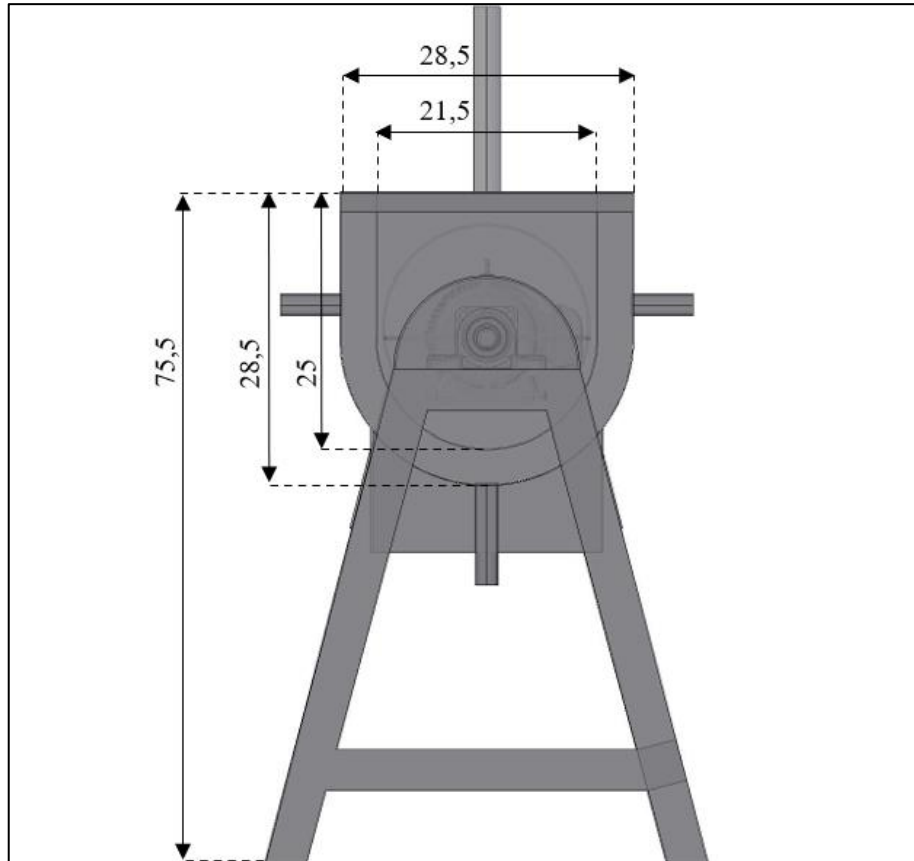


Ilustración 3-10: Vista lateral de la hiladora diseñada

Realizo por: Galarza y Ñañay, 2023.

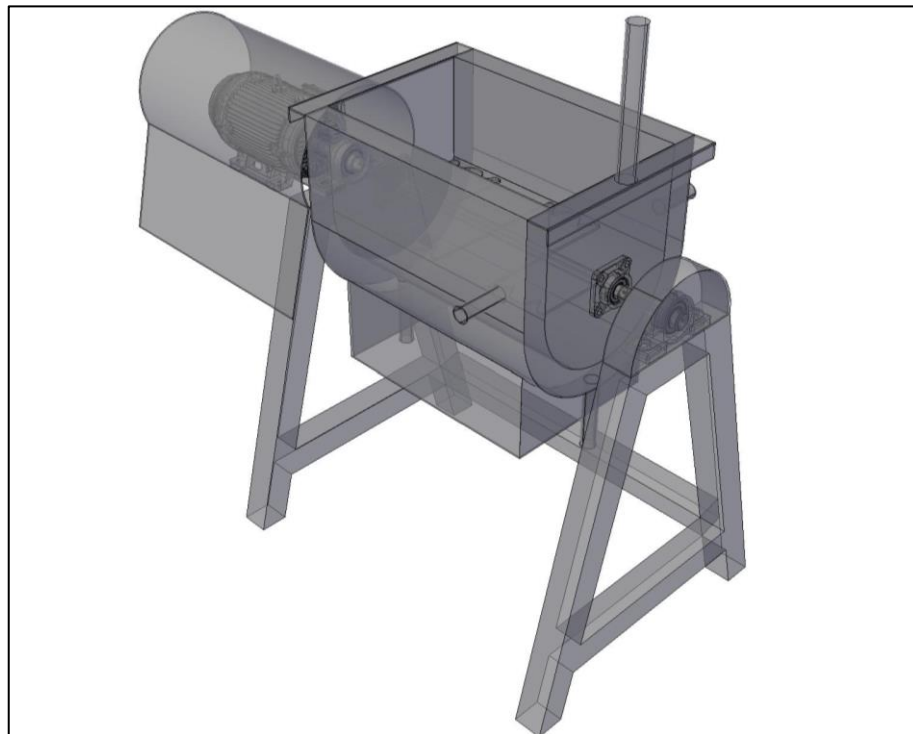


Ilustración 3-11: Vista isométrica de la hiladora diseñada

Realizo por: Galarza y Ñañay, 2023.

3.5.7.4. Selección del motor de la hiladora

Para la selección del motor se partió del máximo hipotético de queso que debía producir la línea, siendo este 7 kg, y una velocidad de giro de 18 RPM para evitar que la masa se rompa, con lo que se partió de la siguiente ecuación para el cálculo de la potencia del motor:

$$\begin{aligned}P &= \tau * V \\ \tau &= F * d \\ F &= m * g \\ F &= 7 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 \\ F &= 68,67 \text{ N} \\ V &= \frac{2 * \pi * r * RPM}{60} \\ RPM &= 18 \\ V &= \frac{2 * \pi * 0,105 * 18}{60} \\ V &= 0,2 \text{ m/s} \\ \tau &= F * d \\ \tau &= 68,67 \text{ N} * 0,105 \text{ m} \\ \tau &= 7,21 \text{ Nm} \\ P &= 144 \text{ W}\end{aligned}$$

Donde:

P = potencia del motor

τ = torque

V = velocidad de giro del motor

La potencia del motor obtenida fue de 144 W por lo que se optó por un motor con la potencia inmediata superior disponible en el mercado, seleccionando así un motor de 200 W de potencia.

3.5.8. Balance de energía para la hiladora

Para el balance del equipo partiremos de la ecuación de la conservación de la energía, teniendo así que:

$$\Delta H = m * c_p * \Delta T$$

Donde:

ΔH = variación de entalpia

C_p = calor específico a presión constante

ΔT = gradiente de temperatura

- Calor consumido en la etapa de hilado

-

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

$$Q_{ced} = Q_{ads}$$

$$Q_{ced} = Q_{H_2O} + Q_{Metal}$$

Para la etapa de hilado se estableció un intervalo de temperatura de 20 a 80°C que se usara para los cálculos en la etapa.

- Calor producido por el agua en la etapa de hilado

Para calcular el calor producido en esta etapa se hará uso de la ecuación del calor del sistema obtenida anteriormente, teniendo así:

$$\Delta T = T_f - T_i$$

$$\Delta T = 60 K$$

$$\Delta H = 4,985 \text{ kg} * 4,184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 60 K$$

$$\Delta H = 4,985 \text{ kg} * 4,184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 60 \text{ K}$$

$$\Delta H = 1251,4344 \text{ kJ}$$

Donde:

ΔH = energía necesaria para calentar el agua de la hiladora

m = masa de agua en la hiladora

c_p = Capacidad calorífica del agua

ΔT = intervalo de temperatura

T_f = temperatura final del agua en la hiladora

T_i = temperatura inicial del agua en la hiladora

- Calor producido por el metal en la etapa de hilado

Para calcular el calor producido en esta etapa se hará uso de la ecuación del calor del sistema obtenida anteriormente, teniendo así:

$$Q_M = K * A * \Delta T$$
$$\Delta T = 60 K$$
$$Q = 20 \frac{W}{m^2 * K} * 0,23 m^2 * 60 K$$
$$Q = 276 W$$

- Calor absorbido por la hiladora de queso

$$Q_{ced} = Q_{H_2O} + Q_{Metal}$$
$$Q_{ced} = 1251,4344 kJ + (276 W * 1800 s)/1000$$
$$Q_{ced} = 1747,8 kJ$$

- Coeficiente global de transferencia del hilado

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * \Delta T$$
$$U = \frac{Q}{A * \Delta T}$$
$$U = \frac{\frac{1747,8 kJ * 1000}{1800 s}}{0,23 m^2 * 60 K}$$
$$U = 70,36 \frac{W}{m^2 * K}$$

Donde:

U = coeficiente global de transferencia de calor

Con los cálculos anteriores se pudo obtener los resultados que se encuentran en la tabla que se encuentra a continuación.

Tabla 3-14: Resultados obtenidos en el balance de energía en la hiladora

Medida	Valor
Calor cedido al agua de la hiladora (kJ)	1251,4344
Calor cedido por el metal (kJ)	496,8
Coeficiente de transferencia global (W/m ² *K)	70,36

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

3.6. Análisis de costos

Los costos totales del trabajo de integración fueron de fuente interna y se encuentran detallados a continuación.

Tabla 3-15: Costos fijos y tipo de financiamiento del trabajo de integración curricular

PRESUPUESTO			
CONSTRUCCIÓN			
ACTIVIDAD	MONTO	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	
		INTERNO	EXTERNA
Cuba de cuajado	\$ 650	X	
Hiladora	\$ 1800	X	
Lira	\$ 30	X	
Agitador	\$ 30	X	
Quemador	\$ 40	X	
Moldes (14)	\$ 98	X	
Subtotal			\$ 2648
ARTÍCULOS DE OFICINA			
Impresiones	\$ 40	X	
Internet	\$ 15	X	
Empastado	\$ 50	X	
Anillados	\$ 12	X	
Subtotal			\$ 117
LOGÍSTICA			
Transporte	\$ 20	X	
Alimento	\$ 20	X	

Pruebas fisicoquímicas y microbiológicas a la leche	\$80	X	
Pruebas fisicoquímicas y microbiológicas al queso	\$80	X	
Subtotal			\$ 200
Imprevistos			\$ 306,92
TOTAL			\$ 3376,07

Realizo por: Galarza y Ñañañay, 2023.

Tabla 3-16: Costos de los equipos y accesorios a precio de mercado

Equipo o accesorio	Precio en el mercado
Cuba de cuajado	1500
Hiladora de queso	2500
Lira de corte	300
Agitador manual	90
Molde	10 c/u*14 = 140
Total	4530

Realizo por: Galarza y Ñañañay, 2023.

Tabla 3-17: Costo de producción de queso por lote

Gastos	Cantidad usada por lote	Precio	Costo por lote (\$)
Leche	60 l	0,7 \$/l	42
Ácido crítico	108 g	2 \$/kg	0,108
Cloruro de calcio	15 ml	3 \$/l	0,045
Cuajo	6 ml	10,25 \$/0,5 l	0,123
Sal	200 g	0,8 \$/kg	0,16
Agua	5 l	2 \$/20 l	0,5
Gas	-	3\$	0,04
Electricidad	0,05 kW/h	9,2 \$/kW/h	0,46
Cofia	1 unidad	0,15\$/unidad	0,3
Guantes	1 par	0,30 \$/par	0,15
Subtotal (\$)			43,89
Imprevisto (10 %)			4,39
Costo total por lote (\$)			48,28

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

3.7. Cronograma de actividades del trabajo de integración curricular

Las actividades que se desarrollaron para llevar a cabo el proyecto se desarrollaron siguiendo el siguiente cronograma.

Tabla 3-18: Cronograma de actividades para desarrollar el proyecto de integración curricular

Actividad	Tiempo																							
	1er mes				2do mes				3er mes				4to mes				5to mes				6to mes			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliografía	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Elaboración del anteproyecto					x	x	x	x																
Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la materia prima									x	x														
Determinación de variables de diseño del equipo									x	x														
Diseño del proceso									x	x	x	x												
Construcción de los equipos													x	x	x	x	x	x	x	x				
Validación de la línea de producción con las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas del queso mozzarella																					x	x		
Elaboración de los manuales de funcionamiento, mantenimiento y prácticas de la línea de producción																			x	x	x	x		

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados obtenidos en las pruebas de caracterización fisicoquímica y microbiológica de la materia prima

Los análisis se realizaron con base a la norma NTE INEN 9:2015 “Leche cruda. Requisitos”, obteniendo los resultados expuestos en las tablas siguientes.

Tabla 4-1: Resultados de las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas de la leche

Requisitos	Unidad	Valor mín. Establecido por la norma	Valor máx. Establecido por la norma	Valor obtenido de las pruebas de la materia prima
Densidad relativa: a 15 °C a 20 °C	g/mL	1,029 1,028	1,032 1,033	1,03
Materia grasa	% ¹	3	-	3,1
Acidez titulable como ácido láctico	%	0,13	0,17	0,134
Sólidos totales	%	11,2	-	11,77
Sólidos no grasos	%	8,2	-	8,1
Cenizas	%	0,65	-	0,69
Proteínas (N*6,38)	%	2,9	-	3,50
Ensayo de reductasa (azul de metileno) **	h	4	-	8
Presencia de conservantes ²	-	Negativo		Negativo
Presencia de neutralizantes ³	-	Negativo		Negativo
Presencia de adulterantes ⁴	-	Negativo		Negativo

Porcentaje de agua añadida	%	-	-	0,00
----------------------------	---	---	---	------

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Tabla 4-2: Análisis sensorial de la leche

Color	Blanquecino
Olor	Característico agradable
Sabor	Característico agradable
Textura	Homogéneo libre de materiales extraños

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Los resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma, haciendo que la leche sea segura para su uso en la elaboración de queso mozzarella, la leche no cuenta con un agua agregada, lo que asegura que se trabaja con leche sin alteraciones y un alto porcentaje de proteínas lo que favorece al rendimiento en el proceso.

4.2. Resultados de los balances de masa

Los resultados de los balances de masa se encuentran resumidos en la detallada a continuación.

Tabla 4-3: Resultados del balance de masa en la elaboración de queso mozzarella

Masa de queso obtenida (kg)	5,904
Rendimiento del proceso	9,56

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Con los balances de masa para cada etapa que forma parte del proceso, se determinó un rendimiento de 9,56 % (m/m) es decir que, por cada 10,16 litros de leche (10,4648 kg) obtenemos 1 kg de queso mozzarella. Comparado con resultados obtenidos en procesos similares, donde se obtienen rendimientos entre 9,28 y 9,95 % (García Quispe 2020, p. 72), se estableció que el proceso tiene un rendimiento aceptable al ser superior a los mínimos encontrados, pero, aun se podría optimizar con el fin de mejorar su productividad.

4.3. Resultados del diseño de la cuba de cuajado

Los resultados del diseño de la cuba de cuajado se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 4-4: Resultados del diseño de la cuba de cuajado

Medida	Valor
Diámetro interno (m)	0,39
Diámetro externo (m)	0,435
Altura interna (m)	0,54
Altura externa (m)	0,58
Volumen interno (m ³)	0,0645
Volumen de la chaqueta (m ³)	0,0217
Altura total del equipo (m)	0,91
Área de transferencia de calor (m ²)	0,78108
Coefficiente global de transferencia de calor (W/m ² *K) del tratamiento térmico	84,473
Coefficiente global de transferencia de calor (W/m ² *K) de la coagulación	0,78

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Las dimensiones obtenidas para la construcción del equipo se realizan con base a un volumen establecido de 60 litros de capacidad, se tomó en cuenta parámetros como el espacio disponible dentro del laboratorio y normas de construcción de equipos de grado alimenticio para su dimensionamiento. Para el balance de energía se obtuvo un valor de 84,47 W/m²*K para la etapa del tratamiento térmico y 0,78 W/m²*K para la etapa de coagulación en el coeficiente global de transferencia de calor, esto indica que la transferencia de calor es más eficiente en el tratamiento térmico, que, en la coagulación, al usar temperaturas mayores para la transferencia, por lo que sería recomendable usar vapor como fluido de transporte de energía antes de agua, para mejorar la transferencia de calor.

4.4. Resultados del diseño de la hiladora

Los resultados obtenidos en el diseño de la hiladora se encuentran detallados a continuación

Tabla 4-5: Resultados del diseño de la hiladora de queso

Medida	Valor
Base (m)	0,36
Largo interno (m)	0,215

Medida	Valor
Largo externo (m)	0,285
Volumen interno (m ³)	0,0175
Volumen de la chaqueta (m ³)	0,0085
Altura total del equipo (m)	0,75
Largo total del equipo (m)	0,93
Área de transferencia de calor (m ²)	0,230
Coefficiente global de transferencia de calor (W/m ² *K) del tratamiento térmico	70,36

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Estas dimensiones se obtuvieron tomando en cuenta la capacidad de producción de masa cuajada de la cuba, espacio disponible en el laboratorio y normas de construcción de equipos de grado alimenticio. En el balance energético se obtuvo un valor de 70,36 W/m²*K para el coeficiente global de transferencia de calor, indicando que esta etapa del proceso tiene una mejor transferencia de calor que las anteriores.

4.5. Resultados obtenidos en las pruebas de caracterización fisicoquímica y microbiológica del producto terminado

Las pruebas para la caracterización del producto terminado fueron realizadas con base en la norma NTE INEN 82:2011 “Queso mozzarella. Requisitos” que indica los parámetros para el queso mozzarella, los resultados se encuentran expuestos en las siguientes tablas.

Tabla 4-6: Resultados del análisis fisicoquímico del queso mozzarella

Requisitos	Unidad	Valor mín. Establecido por la norma	Valor máx. Establecido por la norma	Valor obtenido de las pruebas del producto terminado
Extracto seco	%	18	50	45,43
Materia grasa	%	18	-	27,41

Realizo por: Galarza y Ñauñay, 2023.

Tabla 4-7: Resultados del análisis microbiológico del queso mozzarella

Requisitos	Unidad	Valor mín. Establecido por la norma	Valor máx. Establecido por la norma	Valor obtenido de las pruebas de la materia prima
Salmonella	UFC/25g	Ausencia		Ausencia
Listeria monocitosis	UFC/25g	Ausencia	-	Ausencia
Staphylococcus aureus	UFC/g	10	10 ²	20
Enterobacteriaceas	UFC/g	2x10 ²	10 ³	57
Escherichia coli	UFC/g	<10	10	7

Realizo por: Galarza y Ñañañay, 2023.

Tabla 4-8: Resultados del análisis sensorial del queso mozzarella

Color	Blanco amarillento
Olor	Láctico poco perceptible
Sabor	Láctico característico
Textura	Fibrosa, elástica cerrada.

Realizo por: Galarza y Ñañañay, 2023.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del producto terminado (queso mozzarella) se encuentran dentro de los estándares de la norma, asegurando que se tiene un producto de calidad. Los resultados sensoriales, por otro lado, aseguran que se tiene las características deseadas en el producto, ante todo su textura representativa.

4.6. Validación económica

La construcción de la línea de producción tuvo un costo de 2648 \$, la línea incluye una cuba de cuajado de 60 litros de capacidad, una hiladora con capacidad de procesar hasta 7 kg de queso, una lira, un agitador manual y 14 moldes de medio kilogramo, todo fabricado en acero AISI 304.

Equipos con características similares, se encuentran en el mercado con un precio total de 4530 \$, obteniendo que el diseño y construcción resultó 1,71 veces más barato que la adquisición a precios de mercado.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la leche mediante la norma NTE INEN 9:2015, como se puede observar en las **Tabla 4-1** y **Tabla 4-2**, cumpliendo con los rangos establecidos por la norma y un porcentaje de proteínas de 3,5% que nos garantiza obtener un alto rendimiento en la elaboración de queso.
- Se determinó las variables, parámetros y operaciones del diseño y construcción de la línea de producción de queso mozzarella, como temperatura y tiempo, además de 3 operaciones principales que forman parte del proceso, las cuales son, el tratamiento térmico a 65 °C por 30min, la cuajada a 45 °C por 30 min y el hilado a 80 °C por 20 min, con las cuales se pudo obtener el producto terminado.
- Con la aplicación de cálculos de ingeniería se obtuvo el dimensionamiento de los equipos en los que se lleva a cabo el proceso, como se puede observar en la **Tabla 4-4** y la **Tabla 4-5**, los cuales dieron como resultado una cuba de cuajado con una altura total de 0,91 m, un volumen interno de 64,5 l, un volumen de chaqueta de 21,7 l y un área de transferencia de calor de 0,781 m², además, una hiladora con una altura total de 0,75 m y un largo total de 0,93 m, un volumen interno de 17,5 l, un volumen de chaqueta de 8,5 l y un área de transferencia de calor de 0,23 m².
- Se llevó a cabo la validación técnica y económica de la línea de producción con la caracterización fisicoquímica y microbiológica del queso mediante la norma NTE INEN 82:2011, resultados que se muestran en la **Tabla 4-6**, **Tabla 4-7** y **Tabla 4-8**, presentan al producto como seguro para su consumo al encontrarse dentro de lo establecido por la norma y contar con textura fibrosa elástica característica del producto. El proceso reportó un rendimiento de 9,56% que es aceptable al compararlo con procesos de condiciones similares. El costo total de construcción de los equipos fue de \$ 2648, siendo 1,71 veces menor en comparación con la adquisición de equipos con las mismas características a precio de mercado, lo que permite una recuperación de la inversión en 40 días.
- Se realizó la documentación respectiva que contiene el funcionamiento de la línea de producción y guía de prácticas de laboratorio, las cuales se encuentran detalladas en los anexos.

5.2. Recomendaciones

- Verificar que la materia prima sea lo más fresca posible, que no presente materia extraña, olores ni colores no característicos de la misma, ya que usar una materia prima en mal estado provocaría alteraciones al proceso y no se tendría un producto apto para el consumo humano.
- Utilizar el equipo de protección personal correctamente, además, de hacer el correcto uso de implementos de higiene, como lo puede la cofia en todo momento de la elaboración del producto, desde la recepción de la materia prima, hasta su empaque, con lo cual lograr garantizar la inocuidad del producto terminado.
- Leer detenidamente el manual de uso de los equipos ya que un uso no adecuado de los mismos podría llegar a suponer un riesgo para las personas que hagan uso de estos o se encuentren cerca al momento de una mala manipulación de estos.
- Seguir correctamente los pasos establecidos por las guías de laboratorio entregadas, para la correcta obtención del producto.

BIBLIOGRAFÍA

ALAIS, Charles. *Ciencia de la leche: principios de técnica lechera* [en línea], 2008, 4. Barcelona: Editorial Reverté. ISBN 978-84-291-9004-5. Recuperado a partir de: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/111364> [accedido 14 octubre 2022].

ARCINIEGA CASTILLO, Ana Cristina. *Evaluación de ácido cítrico y láctico en la elaboración de queso Zamorella*, 2010, Trabajo de titulación. Francisco Morazan: Zamorano.

BORJA MAYORGA, Danielita Fernanda, CHUIZA ROJAS, Marco Raúl y ANDRADE AVALOS, Mónica Lilián. Obtención de queso mozzarella, mediante el diseño de un proceso industrial, en la provincia de Chimborazo, cantón Colta. *AlfaPublicaciones*. Vol. 4, número 2.2, 2022, pp. 146-169. DOI <https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.2.228>.

BRAVO, Elizabeth. *Cuajo transgénico y el control empresarial en la producción quesera*, 2018, Quito.

CANILEC. *El libro blanco de la leche y productos lácteos*. 1, 2011, México, D.F.: Cámara Nacional de Industriales de la Leche.

CENTRO DE LA INDUSTRIA LÁCTEA DEL ECUADOR. *La leche del Ecuador: Historia de la lechería ecuatoriana*, 2015, Quito.

CORTEZ LATORRE, Juan Diego. *Lechería e industria quesera en la república del Ecuador* [En línea]. (Trabajo de titulación), 2018, Santa Fe: Universidad nacional del litoral. Recuperado a partir de: <http://hdl.handle.net/11185/1162> [accedido 12 octubre 2022].

DURÁN MELÉNDEZ, Enrique. Estudio del consumo de leche y sus derivados en el municipio de Oaxaca de Juarez, 2016, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Vol. 39, pp. 441-450.

GARCÍA QUISPE, Demetrio Honorato. *Optimización de parámetros de hilado y rendimiento de queso mozzarella en una marmita semiautomática*. (Trabajo de titulación), 2016, Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

HERNÁNDEZ, Maigualida et al. Concentraciones totales de calcio, hierro, magnesio, potasio y sodio en leches pasteurizadas expandidas en la ciudad de Maracaibo (Venezuela) determinadas

espectrométricamente. *Revistas Científicas y Humanístas* [en línea] 2006, Vol. 14, número 3, pp. 368-377. Recuperado a partir de: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/16565>

ITDG. *Procesamiento de lácteos*, 1998, 1, Lima: UNIFEM.

LA CASA DEL CHEF. Cuba de cuajar queso. *Maquinaria para elaborar queso* [en línea]. 2021. Recuperado a partir de: <https://lacasadelchef.net/quesos-y-derivados-lacteos/cubas-de-cuajar-queso/hervidores-de-queso-mini-skm-50150-l.html> [accedido 23 julio 2022].

LACTOMILK. Cuba de cuajar Holandesa, *Tanques de leche* [en línea]. 2021, Recuperado a partir de: <https://tanquesdeleche.com/producto/cuba-de-cuajar-holandesa/> [accedido 23 julio 2022].

LÓPEZ BOTIA, María Mónica. *Desarrollo de una línea de queso tipo mozzarella con sabores para la empresa Alimentos Gamar S.A.S* [en línea]. (Trabajo de titulación). 2018, Bogotá: Universidad de La Salle. Recuperado a partir de: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/169/ [accedido 8 octubre 2022].

LÓPEZ RUÍZ, Ángel Luis y PEDREGOSA CABRERO, Álvaro. *Instalaciones y maquinarias en la industria láctea* [en línea], 2020, Sevilla, Recuperado a partir de: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/bb5b94e6-fdd1-4c06-8585-1ca55e4117d5> [accedido 13 octubre 2022].

LUIGI, Teresita, ROJAS, Legna y VALBUENA, Oscar. Evaluación de la calidad higiéno-sanitaria de leche cruda y pasteurizada expendida en el estado Carabobo, 2013, Venezuela. *Salus*. Vol. 17, número 1, pp. 25-33.

PATIÑO, L. A., ESPINOZA, H. y VELÁSQUEZ, O. Estudio numérico de la transferencia de calor en la cerveza en el proceso de pasteurización. *Revista Ciencia e Ingeniería*. Vol. 22, número 3, 2001, pp. 19-25.

RODRÍGUEZ ANDRADE, Ruth et al. *Producción de derivados lácteos*. 1, 2020, Bogotá, D. C. : Universidad de La Salle. ISBN 978-958-5136-04-5.

ROSADO HOYO, Pedro y ROSADO HOYO, Jesús. *Tratamientos previos de la leche: elaboración de leches de consumo y productos lácteos (UF1179)* [en línea], 2013^a, 1. Antequera,

Málaga. ISBN 978-84-15886-34-1. Recuperado a partir de:
<https://elibro.net/es/ereader/esepoch/43651> [accedido 15 diciembre 2022].

ROSADO HOYO, Pedro y ROSADO HOYO, Jesús. *Tratamientos previos de la leche: elaboración de leches de consumo y productos lácteos*, 2013b, (UF1179). 1.

SÉMPER BRAVO, Byron Manuel. *Diseño y construcción de un prototipo de amasadora e hiladora semiautomática para queso mozzarella en la empresa Riolac* [en línea]. (Trabajo de titulación), 2016, Riobamba: Escuela superior politécnica de Chimborazo. Recuperado a partir de: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/5793> [accedido 9 noviembre 2022].

STATSENKO, Ludmila y GUHARAY, Falguni. *Procesamiento de leche y elaboración de productos lácteos* [en línea]. EDISA, 2015, Managua: Catholic Relief Services. Recuperado a partir de: <https://hdl.handle.net/10568/70088> [accedido 2 octubre 2022].

VALBUENA, Emiro et al. Calidad microbiológica de las principales marcas de leche pasteurizada distribuidas en la ciudad de Maracaibo, 2004, Venezuela. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia* en línea. Vol. 14, número 1, pp. 1-14. Recuperado a partir de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95911219009> [accedido 14 noviembre 2022].



ANEXOS

ANEXO A: PRUEBAS A LA LECHE CRUDA, LABORATORIO AGROLAB'S



LABORATORIO AGROLAB'S
Análisis Agropecuarios y de Alimentos

Rev: 02
23-11-2022

Solicitante: Sr. Mario Galarza
Empresa solicitante: Facultad de Ciencias- ESPOCH
Dirección: ESPOCH
Tipo de muestra: Leche cruda
Fecha de recepción de muestras: 25/11/2022
Fecha de entrega de resultados: 29/11/2022

Código Muestra: 063-300-001

Reporte de resultados

Parámetro	Resultados	Límites permisibles
Densidad relativa a 15°C	1.030	Desde 1.029 hasta 1.033
pH	6.76	Desde 6.60 hasta 6.80
Acidez (% ácido láctico)	0.134	Desde 0.130 hasta 0.170
Antibióticos β-lactámicos, tetraciclinas y sulfamidas	Negativo	Negativo
Antibióticos estreptomicina, gentamicina y neomicina	Negativo	Negativo
Neutralizantes	Negativo	Negativo
Materia grasa (% fracción de masa)	3.1	Mínimo 3.00
Sólidos no grasos (% fracción de masa)	8.1	Mínimo 8.2
Sólidos totales (% fracción de masa)	11.77	Mínimo 11.2
Proteínas (% fracción de masa)	3.50	Mínimo 2.9
Células somáticas	4.22x10 ⁵ células somáticas/cm ³	Hasta 7x10 ⁵ células somáticas/cm ³
Bacterias totales	0.95x10 ⁶ UFC/cm ³	Hasta 1.5x10 ⁶ UFC/cm ³
Porcentaje de agua añadida	0.00	

Ing. Tatiana Laminia
Técnico responsable AGROLAB'S



Dirección: Venezuela 18-26 y Mariana de Jesús
Celular: 0982588784
Correo electrónico: agrolabchimborazo@gmail.com

Hoja 1 de 1

ANEXO B: PRUEBAS A LA LECHE CRUDA, LABORATORIO SAQMIC



Contáctanos: 0998580374 - 032924417
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 19 de enero del 2023
Análisis solicitado por: Sr. Mario Galarza
Tipo de muestras: Muestras de Leche cruda
Localidad: Riobamba

Análisis Físico: Sensorial

Color	Blanquecino
Olor	Característico agradable
Sabor	Característico agradable
Aspecto	Homogéneo libre de materiales extraños

Análisis Químico

Parámetros	Unid.	Método	Resultados
Ceniza	%	INEN 14	0.69
Reductasa	Horas	INRN 018	8

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

ANEXO C: PRUEBAS AL QUESO MOZZARELLA, LABORATORIO AGROLAB'S



LABORATORIO AGROLAB'S
Análisis Agropecuarios y de Alimentos

Rev: 02
23-11-2022

Solicitante: Sr. Mario Galarza
Empresa solicitante: Facultad de Ciencias- ESPOCH
Dirección: ESPOCH
Tipo de muestra: Queso mozzarella
Fecha de recepción de muestras: 19/12/2022
Fecha de entrega de resultados: 23/12/2022

Código Muestra: 119-300-003

Reporte de resultados

Parámetro	Resultados	m	M
Enterobacteriaceas	57 UFC/g	2×10^2 UFC/g	10^3 UFC/g
<i>Escherichia coli</i>	7 UFC/g	<10 UFC/g	10 UFC/g

m = Índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad.

M = Índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad.

Ing. Tatiana Laminia
Técnico responsable AGROLAB'S



Dirección: Venezuela 18-26 y Mariana de Jesús
Celular: 0982588784
Correo electrónico: agrolabchimboraço@gmail.com

ANEXO D: PRUEBAS AL QUESO MOZZARELLA, LABORATORIO SAQMIC



Contáctanos: 0998580374 - 032924417
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 25 de enero del 2023
Análisis solicitado por: Sr. Mario Galarza
Tipo de muestras: Muestras de Queso Mozzarella
Localidad: Riobamba

Análisis Físico: Sensorial

Color	Blanco amarillento
Olor	Láctico poco perceptible
Sabor	Láctico característico
Textura	Fibrosa, elástica cerrada

Análisis Químico

Parámetros	Unid.	Método	Resultados
Extracto seco	%	INEN 63	45.43
Grasa (extr. Seco)	%	INEN 64	27.41

Análisis Microbiológico

Parámetros	Unid.	Método	Resultados
Salmonella	UFC/25g	INEN-1529-15	Ausencia
Listeria monocitosis	UFC/25g	ISO 11290-1	Ausencia
Staphylococcus aureus	UFC/g	INEN 1529-14	20

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 17 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Luis Mario Galarza Arboleda y Lizbeth Cristina Ñauñay Flores
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero/a Químico/a
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



1630-DBRA-UPT-2024