



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERIA QUÍMICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA YOGURTERA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROCESOS  
INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES:**

JARAMILLO RIVADENEIRA KERLY SAMANTHA

MORETA PÉREZ ANGEL MESIAS

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA YOGURTERA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROCESOS  
INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES:** JARAMILLO RIVADENEIRA KERLY SAMANTHA  
MORETA PÉREZ ANGEL MESIAS

**DIRECTOR:** Ing. Chuiza Rojas Marco Raúl. MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

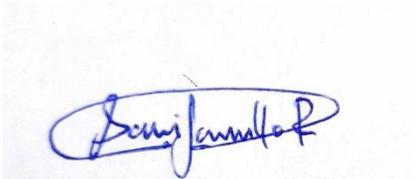
**© 2023, Kerly Samantha Jaramillo Rivadeneira & Angel Mesias Moreta Pérez**

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

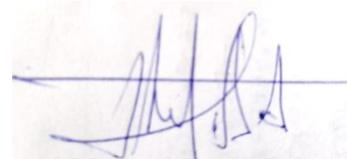
Nosotros, Kerly Samantha Jaramillo Rivadeneira & Angel Mesias Moreta Pérez, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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, 20 de marzo de 2023



**Kerly Samantha Jaramillo Rivadeneira**  
**140064983-4**



**Angel Mesias Moreta Pérez**  
**185046369-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA YOGURTERA PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**, realizado por los señores: **KERLY SAMANTHA JARAMILLO RIVADENEIRA Y ANGEL MESIAS MORETA PÉREZ**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Mónica Lilián Andrade Ávalos <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-03-20
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas. MSc <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-03-20
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza. MSc. <b>MIEMBRO DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-03-20

## **DEDICATORIA**

El resultado de este trabajo se lo dedico a mi padre Héctor Moreta, mi madre Gladys Pérez, gracias por enseñarme a afrontar los problemas y dificultades que siempre me ayudaron a superarme, también se lo dedico a mis hermanos y a todas las personas que me han apoyado en el transcurso de mi vida universitaria que siempre creyeron en mí y me extendieron su mano para poder seguir adelante y cumplir mis objetivos.

Angel

Con todo el amor y agradecimiento, a mi principal motivación, mis padres Norma y Fredi y mi hermano Cesitar. A quien me da todo su amor, mami Gladis. A mi ejemplo de fortaleza, mi queridita Ire y especialmente, a mi niño Xavi, aunque no estás conmigo físicamente, te llevo siempre en mi corazón y sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

Samantha

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios y la Virgen que guían siempre mi camino, para lograr mis objetivos. Agradezco a mis padres por todo el apoyo incondicional para poder cumplir mis objetivos académicos y personales, al igual que mis hermanos Eduardo, Flor y Mariel que siempre me supieron brindar el soporte necesario para no decaer en el transcurso de este proceso y nunca abandonarme e de igual manera a mis amigos y profesores que me brindaron todo su apoyo.

Angel

A todos los que formaron parte de este proceso, cada uno de los docentes que dejaron su huella en mí, a mis amigos que hicieron más fácil sobrellevar la universidad. A mi tutor Ing. Marco Chuiza y Asesora Ing. Mayra Zambrano por su guía y acompañamiento.

Samantha

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	x
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Planteamiento del Problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1 Objetivo General.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>3</b>

### CAPITULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Antecedentes de la Investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Referencias teóricas.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1 Leche.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1.1 Leche pasteurizada.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2 Yogur.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2.1 Valor nutricional del yogur.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.3 Procesos y operaciones unitarias en la elaboración de yogur.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.3.1 Pasteurización.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.3.2 Fermentación.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3.3 Inoculación.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3.4 Incubación.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3.5 Homogeneización.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.4 Proceso de elaboración de yogur.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.5 Yogurtera.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.6 Acero inoxidable 304.....</b>	<b>9</b>

### CAPITULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>3.1</b>	<b>Localización del proyecto</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Ingeniería del proyecto</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Características de la materia prima</i></b> .....	<b>10</b>
<b>3.2.1.1</b>	<i>Muestreo para la realización de las pruebas</i> .....	<b>11</b>
<b>3.2.1.2</b>	<i>Determinación de las características fisicoquímicas de la leche.</i> .....	<b>12</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Requisitos microbiológicos</i></b> .....	<b>17</b>
<b>3.2.3</b>	<b><i>Proceso de elaboración de yogur a pequeña escala</i></b> .....	<b>18</b>
<b>3.2.3.1</b>	<i>Recepción de la leche</i> .....	<b>18</b>
<b>3.2.3.2</b>	<i>Filtración</i> .....	<b>18</b>
<b>3.2.3.3</b>	<i>Preparación de la leche</i> .....	<b>18</b>
<b>3.2.3.4</b>	<i>Batido</i> .....	<b>19</b>
<b>3.2.3.5</b>	<i>Pasteurización</i> .....	<b>19</b>
<b>3.2.3.6</b>	<i>Enfriamiento</i> .....	<b>19</b>
<b>3.2.3.7</b>	<i>Inoculación de fermento</i> .....	<b>19</b>
<b>3.2.3.8</b>	<i>Incubación</i> .....	<b>19</b>
<b>3.2.3.9</b>	<i>Enfriamiento</i> .....	<b>19</b>
<b>3.2.3.10</b>	<i>Batido</i> .....	<b>20</b>
<b>3.2.3.11</b>	<i>Aromatización y saborizado</i> .....	<b>20</b>
<b>3.2.4</b>	<b><i>Diagrama del proceso a nivel de laboratorio</i></b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.5</b>	<b><i>Requisitos para leches fermentadas (yogur)</i></b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.6</b>	<b><i>Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria</i></b> .....	<b>21</b>
<b>3.2.7</b>	<b><i>Dimensionamiento de la marmita (yogurtera)</i></b> .....	<b>22</b>
<b>3.2.7.1</b>	<i>Datos adicionales</i> .....	<b>22</b>
<b>3.2.7.2</b>	<i>Balace de masa</i> .....	<b>22</b>
<b>3.2.7.3</b>	<i>Cálculo del dimensionamiento de la yogurtera</i> .....	<b>25</b>
<b>3.2.7.4</b>	<i>Cálculo de la potencia del agitador</i> .....	<b>30</b>
<b>3.2.7.5</b>	<i>Cálculos de balace de energía</i> .....	<b>31</b>

### CAPITULO IV

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultado de la caracterización de la materia prima</b> .....	<b>38</b>

<b>4.2</b>	<b>Resultados del dimensionamiento de la yogurtera .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Resultado de dimensiones obtenidas en el dimensionamiento de la marmita .....</i></b>	<b>39</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Resultado de dimensiones del Rodete del sistema de agitación .....</i></b>	<b>39</b>
<b>4.2.3</b>	<b><i>Resultados de la potencia del motor .....</i></b>	<b>40</b>
<b>4.2.4</b>	<b><i>Resultados del balance de masa .....</i></b>	<b>40</b>
<b>4.2.5</b>	<b><i>Resultados del balance de energía .....</i></b>	<b>40</b>
<b>4.2.6</b>	<b><i>Caracterización del producto .....</i></b>	<b>41</b>

## **CAPITULO V**

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>44</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Antecedentes relacionados con el proyecto.....	4
<b>Tabla 2-2:</b>	Proceso de elaboración de yogur.....	8
<b>Tabla 1-3:</b>	Coordenadas del laboratorio de procesos industriales.....	10
<b>Tabla 2-3:</b>	Requisitos de la leche cruda según la INEN NTE 9:2012.....	11
<b>Tabla 3-3:</b>	Requisitos organolépticos de la leche.....	12
<b>Tabla 4-3:</b>	Análisis físico químico densidad.....	12
<b>Tabla 5-3:</b>	Análisis físico químico contenido de grasa.....	13
<b>Tabla 6-3:</b>	Análisis físico químico acidez titulable (ácido láctico).....	14
<b>Tabla 7-3:</b>	Análisis físico químico sólidos totales y cenizas.....	15
<b>Tabla 8-3:</b>	Análisis físico químico de proteínas.....	16
<b>Tabla 9-3:</b>	Análisis físico químico de reductasas de la leche.....	16
<b>Tabla 10-3:</b>	Análisis microbiológico: Microorganismos mesófilos, ufc/cm <sup>3</sup> .....	17
<b>Tabla 11-3:</b>	Tipos de pasteurización.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 12-3:</b>	Normas INEN para leches fermentadas (yogur).....	20
<b>Tabla 13-3:</b>	Equipos para el proceso.....	21
<b>Tabla 14-3:</b>	Equipos y materiales para controlar.....	21
<b>Tabla 15-3:</b>	Variables del proceso.....	21
<b>Tabla 16-3:</b>	Datos adicionales.....	22
<b>Tabla 17-3:</b>	Insumos.....	22
<b>Tabla 18-3:</b>	Balance de masa.....	23
<b>Tabla 19-3:</b>	Proporciones estándar para el diseño del sistema de agitación.....	25
<b>Tabla 20-3:</b>	Selección del tipo de agitador en función a la viscosidad.....	27
<b>Tabla 1-4:</b>	Caracterización de la materia prima.....	38
<b>Tabla 2-4:</b>	Dimensiones de la marmita.....	39
<b>Tabla 3-4:</b>	Dimensiones del rodete.....	39
<b>Tabla 4-4:</b>	Potencia del motor.....	40
<b>Tabla 5-4:</b>	Resultados del balance de masa.....	40
<b>Tabla 6-4:</b>	Resultados del balance de energía.....	40
<b>Tabla 7-4:</b>	Requisitos específicos en leches fermentada.....	41
<b>Tabla 7-4:</b>	Cantidad de microorganismos específicos en leches fermentada.....	41

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b> Reacción de fermentación.....	7
<b>Ilustración 2-2:</b> Yogurtera .....	9
<b>Ilustración 1-3:</b> Ubicación de la Institución .....	10
<b>Ilustración 2-3:</b> Diagrama de proceso elaboración de yogur.....	20
<b>Ilustración 3-3:</b> Diseño básico de un sistema de agitación.....	25
<b>Ilustración 4-3:</b> Correlación entre el número de Reynolds y el número de potencia. ....	31

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PROFORMA DE LA YOGURTERA

**ANEXO B:** RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y  
MICROBIOLÓGICA DE LA LECHE CRUDA

**ANEXO C:** RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y  
MICROBIOLÓGICA DEL YOGUR

**ANEXO D:** ELABORACIÓN DE YOGUR A NIVEL DE LABORATORIO

**ANEXO E:** ELABORACIÓN DE YOGUR A NIVEL DE LABORATORIO

**ANEXO F:** DISEÑO DEL EQUIPO

**ANEXO G:** ESQUEMA DEL EQUIPO

**ANEXO H:** ANÁLISIS EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO

## INDICE DE ABREVIATURAS

<b>A</b>	Área
<b>E</b>	Espesor
<b>G</b>	Gramo
<b>H</b>	Altura
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Litro
<b>M</b>	Masa
<b>MI</b>	Mililitro
<b>NRe</b>	Número de Reynolds
<b>N</b>	Velocidad de rotación
<b><i>Npo</i></b>	Número de potencia
<b>Ø</b>	Diámetro
<b>ρ</b>	Densidad
<b>P</b>	Potencia
<b>Q</b>	Calor
<b>r</b>	Radio
<b>T</b>	Temperatura
<b>μ</b>	Viscosidad del fluido
<b>V</b>	Volumen

## RESUMEN

En el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias no existe un equipo para la elaboración de yogur, por lo tanto, se realizó el diseño y construcción de una yogurtera para su implementación en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias con el objetivo de aportar a la formación de los estudiantes en la industria láctea. Para este fin, se caracterizó la materia prima (leche cruda) según la norma NTE INEN 9:2012 y se validó el proceso utilizando los parámetros establecidos en la normativa NTE INEN 2395:2011. Además, se realizó una experimentación a pequeña escala en el laboratorio para determinar las variables que influyen en el proceso, como pH, temperatura, tiempo, densidad y viscosidad. Asimismo, se definió la formulación adecuada para obtener 61,885 L de yogur a partir de 60 L de leche cruda. A partir de los datos obtenidos, se dimensionó el equipo para la elaboración de yogur, utilizando fórmulas deducidas de recopilación bibliográfica de las proporciones estándar para el diseño de un sistema de agitación y la geometría cilíndrica de la marmita. Como resultado, el equipo construido tiene una altura de 53 cm, un diámetro total de dimensión igual a la altura del cilindro, un diámetro interno de 40 cm, un radio de 20 cm y la chaqueta cuyo diámetro es de 6 cm. El tipo de rodete utilizado es de 2 paletas, con un motor de 22 rpm y las dimensiones son: largo del brazo 42 cm, diámetro 30 cm, alto de la paleta 6 cm y largo de la paleta 7,5 cm. Además, se recomienda utilizar el equipo construido para pasteurización y la elaboración de otros derivados lácteos. Todo lo mencionado anteriormente, tiene como finalidad aportar al conocimiento teórico-práctico de los estudiantes de la Facultad de Ciencias en la rama alimenticia.

**Palabras clave:** <DISEÑO>, <CONSTRUCCIÓN >, <LÁCTEOS >, <YOGUR >, <CARACTERIZACIÓN >, <DIMENSIONAMIENTO >.

0614-DBRA-UPT-2023

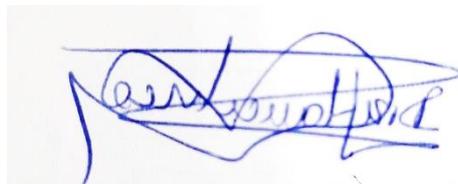


## ABSTRACT

In the Industrial Processes Laboratory at the Faculty of Sciences there is no equipment for the production of yogurt, therefore, the design and construction of a yogurt maker was carried out for its implementation in the Industrial Processes Laboratory at the Faculty of Sciences with the objective of contributing to the training of students in the dairy industry. For this purpose, the raw material (raw milk) was characterized according to NTE INEN 9:2012 and the process was validated using the parameters established in NTE INEN 2395:2011. In addition, a small-scale experiment was carried out in the laboratory to determine the variables that influence the process, such as pH, temperature, time, density and viscosity. Likewise, the appropriate formulation was defined to obtain 61,885 L of yogurt from 60 L of raw milk. From the data obtained, the equipment for yogurt production was dimensioned, using formulas deduced from the bibliographic compilation of the standard proportions for the design of an agitation system and the cylindrical geometry of the kettle. As a result, the constructed equipment has a height of 53 cm, a total diameter of dimension equal to the height of the cylinder, an internal diameter of 40 cm, a radius of 20 cm and the jacket whose diameter is 6 cm. The type of impeller used is 2 blades, with a motor of 22 rpm and the dimensions are: arm length 42 cm, diameter 30 cm, blade height 6 cm and blade length 7.5 cm. In addition, it is recommended to use the equipment built for pasteurization and the production of other dairy products. The purpose of all the above mentioned is to contribute to the theoretical and practical knowledge of the students at the Faculty of Sciences in the food branch.

**Key words:** <DESIGN>, <CONSTRUCTION>, <FLAVORING>, <YOGURT>, <CONSTRUCTION >, <DIMENSIONING >.

0614-DBRA-UPT-2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Nanci Margarita Inca Chunata Mgs.', is written over a light blue rectangular background.

Dra. Nanci Margarita Inca Chunata Mgs.

0602926719

## **INTRODUCCIÓN**

El yogur ha existido desde la antigüedad, sin embargo, su elaboración se realizaba de manera artesanal, al pasar el tiempo, con la revolución industrial, se han ido remplazando los procesos manuales por la implementación de equipos que mecanizan estos procesos y ayudan a obtener el producto a mayor escala y con mejores estándares de calidad.

En la ingeniería química, uno de los campos laborales más amplios está en la industria alimenticia, en donde se encuentra encapsulada la industria láctea, en la cual, el yogur es uno de los productos con mayor demanda en el mercado al ser considerado un alimento de gran aporte debido a su valor nutricional, acompañado de un buen sabor.

Teniendo en cuenta que Chimborazo es una de las provincias con mayor producción de leche cruda a nivel nacional, es sumamente importante implementar el conocimiento teórico-práctico de la transformación de la leche cruda en productos lácteos que tengan un mayor valor agregado, como leche pasteurizada, yogur, queso, entre otros.

Por lo mencionado anteriormente, el presente Trabajo de Integración Curricular consiste en el diseño y construcción de una yogurtera, ya que es un equipo que permitirá a los estudiantes de la Facultad de ciencias obtener los conocimientos necesarios para la obtención de yogur y puede también ser utilizada para la elaboración de otros productos que tienen como materia prima la leche cruda.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no existe un equipo para producción de yogur que permita fortalecer el aprendizaje mediante la práctica de los estudiantes de la Facultad de Ciencias, teniendo en cuenta que la elaboración de yogur conlleva operaciones y procesos de gran importancia como: inoculación, fermentación, homogeneización, entre otros.

Asimismo, la falta de este equipo de producción obliga a los estudiantes a trasladarse a otros sectores que realizan actividades de producción láctea para adquirir los respectivos conocimientos de este proceso.

En la carrera de Ingeniería Química existe una deficiencia en la aplicación práctica sobre los conocimientos teóricos adquiridos sobre la carrera, lo cual conlleva a la inexperiencia de los estudiantes en este campo de conocimientos, que solo es aplicado de forma teórica.

### 1.2 Justificación

En Ecuador, la producción láctea está en constante crecimiento y representan un rol muy importante en la economía, considerando que, entre los años 2013 a 2019, la producción registrada de litros de leche creció en 6,17%, siendo Chimborazo una de las tres potencias de producción láctea a nivel nacional, con 787.108 litros/día (Hoyos & Aguilar, 2021, p. 36).

Según información obtenida del Instituto Nacional de Estadística y Censo mediante la ESPAC, el 87,77% de la producción láctea nacional se dedica a la transformación de la leche cruda en productos lácteos y sus derivados como el yogur. Es importante tomar en cuenta que, el precio del yogur es mayor que el precio de la leche, es decir, la transformación de la leche en yogur aumenta su valor agregado (Hoyos & Aguilar, 2021, p.40).

El yogur, ha aumentado su popularidad año tras año debido a los beneficios que presenta para la salud, ya que contiene probióticos, que resultan benéficos en la población microbiana del tracto gastrointestinal (Parra Huerta, 2012, p.163).

El yogur es considerado uno de los alimentos más saludables debido a que su composición en macronutrientes y micronutrientes es bastante completa, contiene los diez aminoácidos (leucina, valina, isoleucina, treonina, triptófano, arginina, lisina, fenilalanina, histidina y metionina) necesarios para todo ser humano. Asimismo, ayuda a la digestibilidad debido a las bacterias que actúan en la predigestión, por tanto, tiene un alto valor biológico (Aured & Martínez, 2016, p.154).

Tomando en cuenta estas consideraciones, el diseño y construcción de una yogurtera resulta de gran importancia para la enseñanza del proceso de elaboración de yogur a los estudiantes de la facultad de ciencias, transformando la leche en un producto de gran acogida, saludable y con un valor agregado mayor que la materia prima que es la leche.

Directamente, el trabajo de integración curricular propuesto nos permitirá poner en práctica los conocimientos teóricos de diseño de equipos mediante la aplicación de cálculos y pruebas prácticas en el laboratorio.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Construir una yogurtera para implementar en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias aplicando conocimientos de diseño obtenidos en la carrera de Ingeniería Química.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Caracterizar física, química y microbiológica la materia prima en base a la norma NTE INEN 9:2012 Leche cruda. Requisitos.
- Calcular las variables de diseño específicas para el correcto funcionamiento de la yogurtera mediante análisis en el laboratorio.
- Diseñar un equipo para el proceso de producción de yogurt.
- Validar técnicamente el proceso productivo en la yogurtera mediante la norma INEN 2395:2011 Leches fermentadas. Requisitos.
- Elaborar un manual para el manejo adecuado de la yogurtera y la guía de practica de laboratorio.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

**Tabla 1-2:** Antecedentes relacionados con el proyecto

<b>Año</b>	<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Descripción</b>
2021	Rodríguez Barba Mishell Andrea	Diseño de un proceso industrial para la elaboración de yogur griego con mermelada de fruta a base de Stevia a partir de la fermentación Kéfir.	Este proyecto permite conocer el diseño de un proceso para la elaboración de yogur bajo en grasa, al realizar una fermentación láctica de la leche y saber el nivel de aceptación que tendrá la ciudadanía sabiendo que el aporte de nutrientes genera buenos beneficios para la salud.
2019	Naranjos Sagñay Paulina Maribel	Propuesta de diseño de la planta de lácteos Tunshi-Epoch mediante la aplicación básica de ingeniería.	El proyecto permite conocer la incorporación una planta de lácteos que trabaje bajo las normativas del ARCSA 067 utilizando técnicas y conocimiento de ingeniería para la producción de yogur, queso, además de mejorar el rendimiento esquematizando las líneas de producción ocupando todas las áreas posibles de la planta.
2017	Llerena Veloz Erika Michell	Diseño de una planta procesadora de lácteos para la obtención de yogur para la asociación “Lácteos la Virginia”, parroquia Veracruz, Cantón Pastaza.	Este proyecto permite verificar método utilizado para la adaptación de un proceso de producción de yogur en la parroquia de Veracruz, además de conocer las características del dimensionamiento que se utilizara en la construcción de una yogurtera, utilizando materia

			prima adecuado para obtener un producto de calidad.
2014	Guaño López Yesenia Germania	Optimización de la planta de lácteos en la producción de leche pasteurizada de la estación experimental Tunshi	Este proyecto permite conocer el proceso de pasteurización que se da para la elaboración de yogur en la Planta de producción de Lácteos de Tunshi con una temperatura de 84-85°C por un tiempo de 10 segundos, método correcto y esencial para esta producción.

**Fuente:** (Rodríguez Mishell, 2021); (Naranjo Paulina, 2019); (Llerena Mishel, 2017); (Guaño López, 2014).

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

## 2.2 Referencias teóricas

### 2.2.1 Leche

El Ministerio de Salud mediante el decreto 2437, el Artículo 2 del capítulo 1, define a la leche como el producto obtenido de la secreción normal de la glándula mamaria de animales bovinos obtenido mediante ordeños, higiénicos e ininterrumpidos”.

La definición dietética considera a la leche como un alimento puro, contiene como proteína principal, la caseína, además aporta con los aminoácidos esenciales y es fuente de calcio, fósforo, riboflavina (vitamina B12), vitamina A y B1 (tiamina). Es una importante fuente de energía por los lípidos y la lactosa que contiene (Aguledo & Bedoya, 2005, p.39).

Desde el punto de vista físico, la leche es definida como un líquido blanco opalescente, el cual se debe a la refracción de los rayos luminosos que repercuten en ella al chocar con los coloidales suspendidos en la misma (Aguledo & Bedoya, 2005, p.39).

#### 2.2.1.1 Leche pasteurizada

Según la norma NTE INEN 10:2009, se define a la leche pasteurizada aquella que ha sido tratada térmicamente con el fin de destruir los microorganismos patógenos y la casi totalidad de los microorganismos banales (saprofitos) sin alterar notablemente las características nutricionales, fisicoquímicas y organolépticas de la leche.

## **2.2.2 Yogur**

Según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2395:2011 el yogur es un derivado de la leche que consiste en un producto coagulado, obtenido por una fermentación láctica mediante la acción de bacterias lácticas como son: *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Sreptococcus salivaris subsp. Thermophilus*.

### **2.2.2.1 Valor nutricional del yogur**

El yogur es considerado un alimento de alta densidad nutricional, fuente de minerales, vitaminas y proteínas de alta calidad. Es completo en cuanto al aporte de macronutrientes y micronutrientes de alto valor biológico (Babio et al., 2017, p.27).

*Proteínas.* Posee gran variedad de aminoácidos esenciales fundamentales para la síntesis proteica (mantención muscular), síntesis de enzimas y hormonas, procesos claves para un funcionamiento óptimo del organismo (Babio et al., 2017, p.27).

*Lípidos.* El yogur contiene una elevada concentración de ácidos grasos (AG) de cadena corta y media de fácil absorción (Babio et al., 2017, p.27).

*Vitaminas y minerales.* El yogur es rico en múltiples micronutrientes, que incluyen diversos minerales y vitaminas como: Calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), magnesio (Mg), zinc (Zn), yodo (I), potasio (K), además una amplia variedad de vitaminas como: vitamina A, vitamina D, vitaminas del complejo B, principalmente B2, B3 y B12 (Babio et al., 2017, p.27).

## **2.2.3 Procesos y operaciones unitarias en la elaboración de yogur**

### **2.2.3.1 Pasteurización**

El proceso de pasterización tiene como objetivo la destrucción de las bacterias patógenas que se encuentran en la leche cruda, además de alargar la vida útil del producto mediante la exposición a altas temperaturas por un tiempo determinado (Guaraca y Guaraca, 2020, p.19).

En la pasteurización se busca esterilizar parcialmente los alimentos líquidos, sin alterar la composición nutricional ni las propiedades organolépticas como el olor y el sabor del alimento (Pinto, 2013, p.158).

Es importante que la pasteurización siga estrictamente la relación tiempo-temperatura recomendada, para asegurar la eliminación y destrucción de las bacterias patógenas y mejorar su calidad y capacidad de conservación. Asimismo, el sobrepasar la temperatura recomendada, conlleva a una reducción del valor nutricional de la leche, por la pérdida de vitaminas (como la riboflavina, ácido ascórbico y otras) y la reducción de algunos aminoácidos esenciales junto a la

modificación sobre los caracteres organolépticos del producto obtenido (Martinez y Rosenberger, 2013, p.2486).

**Tabla 2-2:** Relación tiempo-temperatura

Tipo de pasteurización	Temperatura	Tiempo
Pasteurización VAT	63-68 °C	30 min
Pasteurización HTST	72-75 °C	15 a 20s
Pasteurización UHT	138 °C	2 s

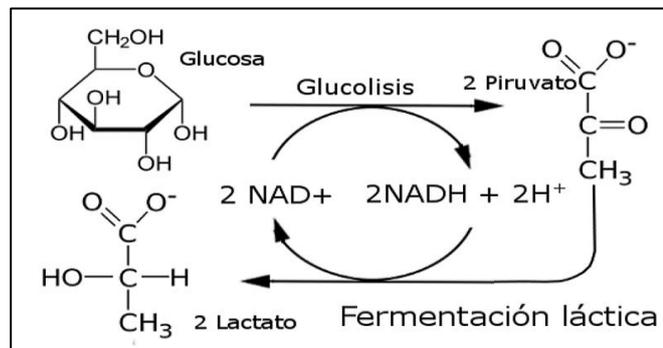
Fuente: (Pinto, 2013, pp.158-159)

Realizado por: Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### 2.2.3.2 Fermentación

La fermentación consiste en un proceso metabólico de bacterias y levaduras que transforman compuestos químicos orgánicos, principalmente azúcares en otros compuestos como: etanol, ácido láctico y ácido butírico (Puerta, 2013, p.1).

En la fermentación del yogur se obtiene lactato a partir del piruvato, procedente de oxidación de la glucosa, conocida como glucolisis y que se obtiene  $\text{NAD}^+$  para continuar con el glucolisis generando  $\text{NADH}$  donde se transfiere sus electrones al piruvato para obtener el lactato.



**Ilustración 1-2:** Reacción de fermentación

Realizado por: Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

De acuerdo con Wachter (2014, p.4) la fermentación se define como un proceso complejo, ya que se da la transformación de un alimento por la acción de microorganismos del ambiente, involucrando cambios en el sabor, olor, color, textura e incluso valor nutricional del producto. En este proceso la energía celular se deriva de la fermentación de carbohidratos para la producción de ácido láctico (Adames, 2017, p.14).

En el proceso de fermentación, la temperatura es importante para el crecimiento, se ajusta a la temperatura óptima para que suceda el crecimiento de bacterias fermentadoras, si existe un cambio brusco de temperatura provoca la muerte de los microorganismos, dificultando la elaboración de

yogur. La mayoría de los microorganismos fermentadores se propagan a una temperatura de inoculación de 42 y 45 °C, denominados termófilos, pero también existen microorganismos que prefieren temperaturas no tan elevadas (alrededor de 20 – 30 °C) estos últimos denominados mesófilos (Pinto, 2013, p.161).

En la medición de los parámetros cinéticos para calcular la velocidad de acidificación y el tiempo empleado se calcula por la ecuación 1 siguiendo la metodología indicada por Kristo, Biliaderis y Tzanatekis (2003).

#### 2.2.3.3 *Inoculación*

Es simplemente poner en contacto el fermento con la leche con las condiciones óptimas para su reproducción (Pinto, 2013, p.162).

#### 2.2.3.4 *Incubación*

En este proceso los microorganismos fermentativos metabolizan la lactosa y producen ácido láctico, el cual reduce el pH y hace que se coagulen las proteínas de la leche (principalmente las del grupo de la caseína) (Pinto, 2013, p.161).

#### 2.2.3.5 *Homogeneización*

Proceso que ayuda a la consistencia y estabilidad de las leches fermentadas. Además, cuando la leche cruda es homogenizada, se elimina y distribuye de manera uniforme y en glóbulos de menor tamaño la grasa presente para evitar así la formación de una capa de nata sobre esta (Pinto, 2013, p.160).

### 2.2.4 *Proceso de elaboración de yogur*

**Tabla 2-2:** Proceso de elaboración de yogur.

<b>Procedimiento</b>	<b>Especificaciones</b>
1.- Preparación de la leche	Análisis: prueba de mastitis, reductasa, frescura, antibióticos y requisitos para la leche cruda de la norma INEN 9:2012.
2.- Filtración	Pasar la leche por un cedazo para impedir el paso de basura y contaminantes.
3.- Estandarización y preparación	Preparar los ingredientes e insumos para preparar la leche y obtener un producto de calidad, controlando la grasa y sólidos presentes.
4. Homogeneización	Para tener una buena consistencia del producto e impedir la formación de nata mientras se da la pasteurización y enfriamiento.
5.- Pasteurización	Eliminación de microorganismos mediante la acción de temperatura y tiempo.

6.- Enfriamiento	Bajar a la temperatura que especifique el fermento utilizado de una manera instantánea.
7.- Inoculación del fermento	Colocar el fermento en la leche
8.- Incubación	Mantener la temperatura durante el tiempo que especifique el fermento utilizado.
9.- Enfriamiento	Se realiza con la mayor brusquedad posible para evitar que el yogur siga acidificándose hasta llegar a la temperatura ambiente (25 °C).
10. Homogenización	Para mejorar la consistencia del yogur.
11.- Aromatización y batido	Se agregan edulcorantes, estabilizantes, zumos de frutas según corresponda la variedad del producto.

**Fuente:** (Moyano, 2018, pp.70-71).

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### 2.2.5 *Yogurtera*

Es un equipo fabricado en acero inoxidable el cual tiene forma cilíndrica y aplica tratamientos térmicos para la producción de yogur. Los procesos que se llevan a cabo en dicha máquina son: Homogenización, pasteurización, inoculación e incubación (Rodríguez, 2021, p.91).



**Ilustración 2-2:** Yogurtera

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### 2.2.6 *Acero inoxidable 304*

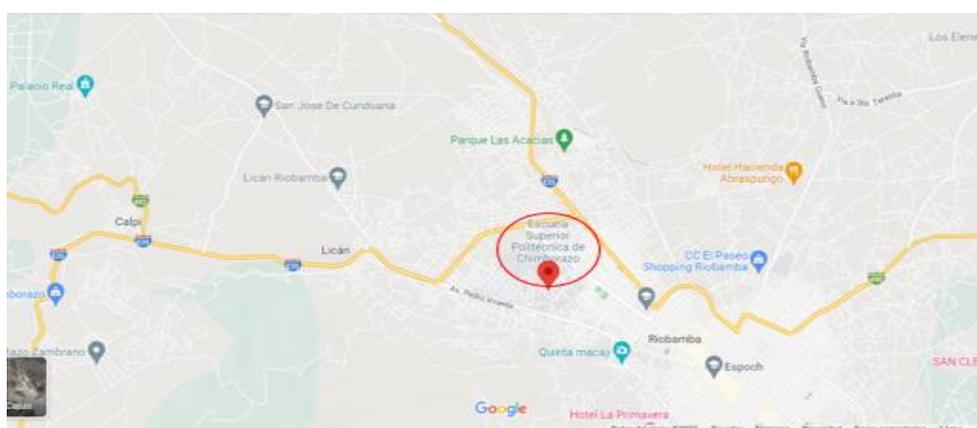
El acero inoxidable posee propiedades anticorrosión, es una aleación compuesta principalmente de acero, pero al combinarse con otros elementos es valorado para una amplia variedad de aplicaciones, sobre todo en la industria alimenticia. El cromo es el ingrediente que convierte el acero en inoxidable, ya que comprende un mínimo del 10, 5 % del compuesto total. Otros componentes comunes incluyen níquel, titanio, aluminio, cobre, nitrógeno, fósforo y selenio (Llerena, 2017, p.24).

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Localización del proyecto

El laboratorio de procesos industriales que se encuentra ubicado en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que está ubicada en la ciudad de Riobamba de la provincia de Chimborazo, en la panamericana Sur Km ½.



**Ilustración 1-3:** Ubicación de la Institución

**Fuente:** (Google Maps, 2017).

**Tabla 1-3.** Coordenadas del laboratorio de procesos industriales

<b>Latitud</b>	1°39'29"S
<b>Longitud</b>	78°40'35"O
<b>Altura</b>	2850 m. s. n. m.

**Fuente:** (Google Maps, 2022).

#### 3.2 Ingeniería del proyecto

##### 3.2.1 Características de la materia prima

Como materia prima se tiene la leche cruda, por lo tanto, la caracterización de la misma se realiza mediante la norma INEN 9:2012 Leche cruda. Requisitos. En la cual se detalla los requisitos que debe cumplir la leche de vaca cruda para poder ser tratada. Los análisis tomados en cuenta para el presente trabajo, están especificados en la tabla a continuación:

**Tabla 2-3:** Requisitos de la leche cruda según la INEN NTE 9:2012

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método
Densidad relativa	-	1.029	1.033	NTE INEN 11
Contenido de grasa	% (fracción de masa)	3.0	-	NTE INEN 12
Acidez titulable como ácido láctico	% (fracción de masa)	0.130	0.170	NTE INEN 13
Sólidos totales	% (fracción de masa)	11.2	-	NTE INEN 14
Cenizas	% (fracción de masa)	0.65	-	NTE INEN 14
Sólidos no grasos	% (fracción de masa)	8.2	-	
Proteína	% (fracción de masa)	2.9	-	NTE INEN 16
Reductasa	H	3	-	NTE INEN 16
Recuento de microorganismos aeróbios mesófilos	UFC/cm <sup>3</sup>	-	1,5 x 10 <sup>6</sup>	NTE INEN 1529-5
pH		6.60	6.80	
Antibióticos estreptomicina, gentamicina y neomicina		Negativo		
Antibióticos β-lactámicos, tetraciclinas y sulfamidas		Negativo		

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2012. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 9. Ecuador

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### 3.2.1.1 Muestreo para la realización de las pruebas

Para realizar el muestreo de la leche para los análisis correspondientes que indica la Norma INEN NTE 9:2011 Requisitos para leche cruda, nos basamos en la norma INEN NTE 4 leche y productos lácteos. Muestreo, en la cual se especifica que los pasos para tomar la muestra son:

Mezclar completamente el producto, transvasándolo varias veces de un recipiente a otro, o agitándolo adecuadamente.

Inmediatamente después de la agitación, tomar una unidad de muestreo no menor de 200 cm<sup>3</sup> mediante un cucharón y transferirla a un envase adecuado.

Además, especifica que la muestra destinada al laboratorio deberá:

- Enviarse tan pronto como sea obtenida, tomando precauciones durante el transporte para que no haya exposición directa del producto a la luz y para que la temperatura no sea menor de 0°C ni mayor de 10°C.
- Cuando las muestras sean destinadas a examen microbiológico, deberá usarse un recipiente aislado que permita mantener una temperatura comprendida entre 0°C y 5°C.

**Tabla 3-3:** Requisitos organolépticos de la leche

Parámetros	Descripción
Color	Debe ser blanco opalescente o ligeramente amarillento
Olor	Lácteo característico, libre de olores extraños
Aspecto	Debe ser homogéneo, libre de materias extrañas.

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2012. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 9. Ecuador

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### 3.2.1.2 Determinación de las características fisicoquímicas de la leche.

**Tabla 4-3:** Análisis físico químico densidad

Método/norma	Materiales y equipos	Procedimiento
INEN NTE 11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta de 250 cm<sup>3</sup></li> <li>• Lactodensímetro</li> <li>• Termómetro (°C)</li> <li>• Baño de agua (15-25°C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentar la muestra hasta una temperatura similar a la temperatura del baño de agua, agitar suavemente sin que haya separación de grasa.</li> <li>• Llenar la probeta con la muestra sin formar espuma.</li> <li>• Colocar la probeta en el baño de agua, asegurándose que el nivel de agua quede de 1 cm a 3 cm debajo del borde de la probeta.</li> <li>• Una vez estabilizada la temperatura de la leche con un máximo de variación de <math>\pm 0,5^{\circ}\text{C}</math>, medir su valor mediante el termómetro (registrarlo como t). Introducir</li> </ul>

		<p>cuidadosamente el lactodensímetro hasta su posición de equilibrio y mover de forma rotatoria para evitar adhesión a las paredes. Al sumergir el lactodensímetro debe desbordarse la leche de tal manera que la zona de lectura del lactodensímetro quede por encima del plano superior de la probeta.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando el lactodensímetro esté en completo reposo y, sin rozar las paredes de la probeta, leer la medida de la graduación correspondiente al menisco superior y registrar su valor como d.</li> </ul>
--	--	---

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2012. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 11. Ecuador.

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

La fórmula para determinar la densidad relativa es:  $d_{20} = d + 0.0002(t - 20)$

Donde:

$d_{20}$ : Densidad relativa a 20/20°C.

d: Densidad aparente a t °C.

t: Temperatura de la muestra durante la determinación, en °C.

**Tabla 5-3:** Análisis físico químico contenido de grasa

Método/norma	Materiales y Reactivos	Procedimiento
INEN NTE 12	<p>Materiales y equipos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipeta aforada de 10 cm<sup>3</sup></li> <li>• Pipeta aforada de 1 cm<sup>3</sup></li> <li>• Pipeta aforada de 10.94 cm<sup>3</sup></li> <li>• Butirómetros Gerber</li> <li>• Centrifuga 1100 rpm</li> <li>• Baño de agua</li> <li>• Baño María</li> </ul> <p>Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido sulfúrico concentrado</li> <li>• Alcohol amílico</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentar la muestra hasta una temperatura similar a la temperatura del baño de agua, agitar suavemente sin que haya separación de grasa.</li> <li>• Verter 10 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico en el butirómetro Gerber.</li> <li>• Invertir lentamente 3 o 4 veces la botella que contiene la muestra preparada y pipetear 10.94 cm<sup>3</sup> de leche, descargar en el butirómetro, dejar transcurrir 3s y frotar la punta de la pipeta contra la base del cuello del butirómetro.</li> <li>• Verter 1 cm<sup>3</sup> de alcohol amílico en el butirómetro.</li> <li>• Tapar herméticamente el butirómetro y agitar hasta que no aparezcan partículas blancas.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centrifugar el butirómetro con su tapa colocada hacia afuera, una vez que la centrífuga alcanza la velocidad necesaria dejar actuar durante un tiempo no menor de 4 minutos ni mayor de 5 minutos a tal velocidad.</li> <li>• Retirar el butirómetro de la centrífuga y colocarlo con la tapa hacia abajo en el baño de agua a <math>65^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}</math> durante un tiempo no menor de 4min ni mayor de 10 min.</li> <li>• Colocar el nivel de separación entre el ácido y la columna de grasa sobre la marca de una graduación principal de la escala, leer las medidas de la parte inferior del menisco de grasa y del nivel de separación entre el ácido y columna de grasa, la diferencia entre las dos es el contenido de grasa de la leche. Realizar una segunda vez la centrifugación, calentamiento y lectura, si existe variación de la primera lectura, realizar una tercera vez.</li> </ul>
--	--	--

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1973. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 12. Ecuador.

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

**Tabla 6-3:** Análisis físico químico acidez titulable (ácido láctico)

Método/norma	Materiales y Reactivos	Procedimiento
INEN NTE 13	<p>Materiales y equipos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Matraz Erlenmeyer</li> <li>• Matraz aforado</li> <li>• Bureta</li> <li>• Estufa</li> <li>• Desecador</li> </ul> <p>Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución 0,1 N de hidróxido de sodio</li> <li>• Solución indicadora de fenolftaleína</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavar y secar el matraz Erlenmeyer en la estufa a <math>103^{\circ}\text{C}</math> por un tiempo de 30 min. Enfriar en el desecador y pesar con aproximación al 0,1 mg.</li> <li>• Homogenizar tres o cuatro veces, la botella que contiene la muestra preparada; y colocar en el matraz Erlenmeyer, posteriormente pesar con aproximación al 0,1 mg, aproximadamente 20 g de muestra.</li> <li>• Diluir el contenido del matraz con una relación 2:1 volumen de agua destilada en relación a la muestra y agregar <math>2\text{ cm}^3</math> de fenolftaleína como indicador.</li> <li>• Añadir la solución 0,1 N de hidróxido de sodio de manera lenta y con agitación, hasta obtener un color rosado persistente que desaparece lentamente.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agregar la solución hasta que el color rosado persista durante 30 s.</li> <li>• En la bureta determinar el volumen de solución empleada.</li> </ul>
--	--	--

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1984. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 13. Ecuador

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

Fórmula para calcular la acidez titulable:  $A = 0,090 \frac{VxN}{m1-m} x 100$

Donde:

A: Acidez titulable de la leche, en porcentaje de masa de ácido láctico.

V: Volumen de hidróxido de sodio utilizado en cm<sup>3</sup>.

N: Normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

m: Masa del matraz vacío, en g.

m1: Masa del matraz con leche, en g.

**Tabla 7-3:** Análisis físico químico sólidos totales y cenizas

Método/norma	Materiales y Reactivos	Procedimiento
INEN NTE 14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Cápsula de platino</li> <li>• Estufa</li> <li>• Desecador</li> <li>• Mufla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavar la cápsula y secar en la estufa a 103 °C por 30 min. Enfriar en el desecador y pesar con aproximación al 0,1 mg.</li> <li>• Homogenizar la muestra contenida en la botella y transferir a la cápsula instantáneamente. Pesar con aproximación al 0,1 mg una cantidad de 5 g de muestra.</li> <li>• Poner la cápsula a baño María a ebullición por 30 min, tener en cuenta que la base este en contacto directo con el vapor.</li> <li>• Colocar la cápsula en la estufa a 103 °C ± 2 °C durante 3 h.</li> <li>• Enfriar la cápsula en el desecador y pesar con aproximación al 0,1 mg.</li> <li>• Repetir el proceso de calentar 30 min, enfriar y pesar hasta que no haya variación en el peso.</li> <li>• Colocar la cápsula en la mufla a 530 °C ± 20 °C hasta tener cenizas libres de partículas de carbón, de 2 a 3 horas.</li> <li>• Sacar, enfriar la cápsula en el desecador y pesar con aproximación al 0,1 mg.</li> <li>• Aplicar las fórmulas respectivas para cenizas y solidos totales.</li> </ul>

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1983. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 14. Ecuador

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

Fórmula para calcular sólidos totales:  $S = \frac{m1-m}{m2-m} \times 100$

Fórmula para calcular cenizas:  $S = \frac{m3-m}{m2-m} \times 100$

Donde:

S: Contenido de sólidos totales en % masa.

m: Masa de la cápsula vacía en g.

m1: Masa de la cápsula con leche antes de la desecación en g.

m2: Masa de la cápsula con los sólidos totales después de la desecación en g.

m3: Masa de la cápsula con las cenizas, después de la incineración.

### 1. Sólidos no grasos

Para el cálculo del contenido de sólidos no grasos, Se resta el porcentaje de contenido de grasa del porcentaje de sólidos totales.

$$SNG = ST - \% \text{ Grasa}$$

**Tabla 8-3:** Análisis físico químico de proteínas

Método/norma	Materiales y equipos	Procedimiento
INEN NTE 16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 vasos de precipitación de 250 ml.</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Lactodensímetro.</li> <li>• Probeta de 250 ml.</li> <li>• Bureta de 25 ml.</li> <li>• Pipeta de 5 ml.</li> <li>• Pipeta de 10 ml.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipetear 50 ml de leche en cada uno de los vasos (2) de precipitación.</li> <li>• Añadir a cada uno 2 ml de solución de oxalato de potasio al 28 %.</li> <li>• A un vaso se le agrega 1 ml. de solución de sulfato de cobalto al 5 % como comparación de color.</li> <li>• Al otro vaso se le agrega 0,5 ml. De fenoltaleína y luego se titula con 0,25 N de NaOH hasta el color de comparación.</li> <li>• Añadir luego 10 ml. de formalina neutralizada al 40 %.</li> <li>• Neutralizar la muestra titulando con NaOH 0,143 N hasta el color de comparación.</li> </ul>

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2015. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 16. Ecuador.

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

**Tabla 9-3:** Análisis físico químico de reductasas de la leche

Método/norma	Materiales y equipos	Procedimiento
INEN NTE 18	Materiales y equipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enjuagar la pipeta de 10 cm<sup>3</sup>, dos o tres veces, con la leche que se va a ensayar; medir exactamente 10 cm<sup>3</sup> de leche y verterlos asépticamente en el tubo de ensayo.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipeta aforada de 10 cm<sup>3</sup></li> <li>• Pipeta aforada de 1 cm<sup>3</sup></li> <li>• Tubos de ensayo</li> <li>• Tapones de goma</li> </ul> <p><b>Reactivo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución de azul de metileno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agregar 1 cm<sup>3</sup> de la solución de azul de metileno.</li> <li>• Tapar el tubo con un tapón de goma y calentar en el baño de agua a 37 °C ± 0,5 °C durante un tiempo no mayor de 5 min.</li> <li>• Invertir el tubo varias veces hasta homogeneizar su contenido y colocarlo verticalmente en el baño de agua a 37 °C ± 0,5 °C, protegido de la luz para la incubación.</li> <li>• Repetir la inversión cada media hora, y tomar como tiempo de reducción el intervalo transcurrido desde la puesta en incubación hasta que la mezcla de leche con azul de metileno se haya decolorado totalmente.</li> </ul>
--	--	---

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1973. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 18. Ecuador

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### 3.2.2 *Requisitos microbiológicos*

**Tabla 10-3:** Análisis microbiológico: Microorganismos mesófilos, ufc/cm<sup>3</sup>

Método/norma	Materiales y equipos	Procedimiento
INEN NTE 1529-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipetas serológicas de punta ancha de 1, 5 cm<sup>3</sup> y 10 cm<sup>3</sup> graduadas en 1/10 de unidad.</li> <li>• Cajas Petri de 90 mm x 15 mm.</li> <li>• Erlenmeyer de 100 cm<sup>3</sup>, 250 cm<sup>3</sup>, 500 cm<sup>3</sup> y 1000 cm<sup>3</sup> con tapa de rosca</li> <li>• Autoclavable.</li> <li>• Tubos de 150 mm x 16 mm.</li> <li>• Gradillas</li> <li>• Contador de colonias</li> <li>• Balanza de capacidad no superior a 2 500 g y de 0,1 g de sensibilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para cada dilución el ensayo se hará por duplicado. En cada una de las cajas Petri depositar 1 cm<sup>3</sup> de cada dilución.</li> <li>• Verter en cada una de las placas inoculadas 20 cm<sup>3</sup> de agar para recuento en placa-PCA, fundido y templado a 45 °C ± 2 °C. La adición del medio no debe pasar de más de 45 minutos a partir de la preparación de la primera dilución.</li> <li>• Mezclar el inóculo de siembra con el medio de cultivo imprimiendo a la placa movimientos de vaivén: 5 veces en el sentido de las agujas del reloj y 5 veces en el contrario.</li> <li>• Como prueba de esterilidad verter agar en una caja que contenga el diluyente sin inocular. No debe haber desarrollo de colonias.</li> <li>• Dejar reposar las placas para que se solidifique el agar.</li> <li>• Invertir las cajas e incubarlas a 30 °C ± 1 °C por 48 a 75 horas.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baño de agua regulado a <math>45^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}</math></li> <li>• Incubador regulable (<math>25^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}</math>).</li> <li>• Refrigeradora</li> <li>• Congelador</li> <li>• Medios de cultivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No apilar más de 6 placas. Las pilas de placas deben estar separadas entre sí, de las paredes y del techo de la incubadora.</li> <li>• Pasado el tiempo de incubación seleccionar las placas de dos diluciones consecutivas que presenten entre 15 y 300 colonias y utilizando un contador de colonias, contar todas las colonias que hayan crecido en el medio, incluso las pequeñas.</li> <li>• Las colonias de crecimiento difuso deben considerarse como una sola colonia si el crecimiento de este tipo de colonias cubre menos de un cuarto de la placa; si cubre más la caja no será tomada en cuenta en el ensayo.</li> <li>• Anotar el número de colonias y la respectiva dilución.</li> </ul>
--	---	--

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2006. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-5. Ecuador

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### ***3.2.3 Proceso de elaboración de yogur a pequeña escala***

Para obtener datos para el dimensionamiento del equipo, se realizará yogur a pequeña escala, siguiendo el proceso detallado a continuación.

#### ***3.2.3.1 Recepción de la leche***

Verificar que la leche se encuentre en buen estado mediante pruebas organolépticas.

#### ***3.2.3.2 Filtración***

Eliminar cualquier materia sólida extraña existente en la leche.

#### ***3.2.3.3 Preparación de la leche***

Adicionar leche en polvo, la cual actúa como espesante y azúcar como edulcorante.

#### 3.2.3.4 *Batido*

Para homogenizar mientras la leche se calienta en el proceso de pasteurización y durante el enfriamiento.

#### 3.2.3.5 *Pasteurización*

Se controla el tiempo y la temperatura según el tipo de pasteurización que se desee realizar para eliminar microorganismos patógenos. El proceso de pasteurización utilizado en este proceso es el HTST (High Temperature, Short Time) que consiste en calentar la leche de 72-75 °C durante 15-20 segundos.

#### 3.2.3.6 *Enfriamiento*

A la temperatura a la que se desarrolla óptimamente la enzima de cultivo de yogurt CHOOZIT: Enfriar a 42°C que es la temperatura para la reproducción del fermento según indica la técnica del proveedor.

Generalmente la temperatura para cultivos termófilos es entre 42-45°C.

#### 3.2.3.7 *Inoculación de fermento*

Colocar el fermento en la leche ya preparada teniendo en cuenta que se utiliza 20 DCU por cada 100 litros según la técnica del proveedor del fermento *choozit*.

#### 3.2.3.8 *Incubación*

Mantener constante la temperatura.

CHOOZIT: 3 horas. La incubación dura hasta alcanzar un pH de 4.6 a 4.7 según la técnica del proveedor.

#### 3.2.3.9 *Enfriamiento*

De forma brusca hasta temperatura ambiente (25°C) para cortar la fermentación una vez que se ha alcanzado el pH deseado.

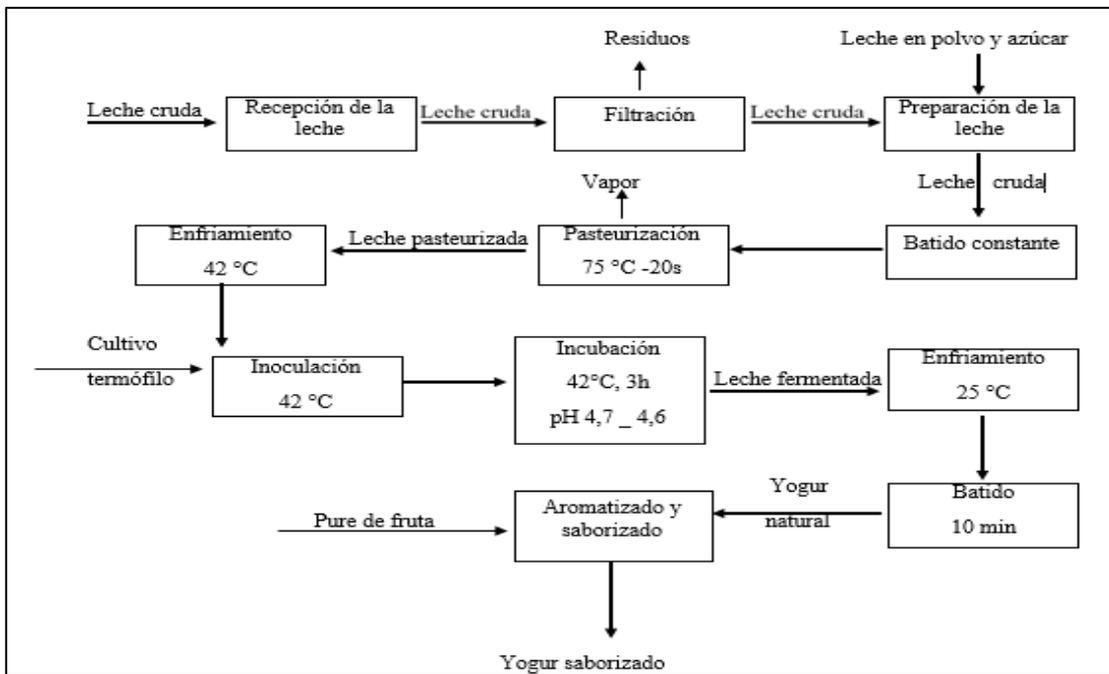
### 3.2.3.10 Batido

Por 10 minutos para homogenizar el producto.

### 3.2.3.11 Aromatización y saborizado

Se añaden los insumos, puré de fruta, edulcorantes y conservantes, según el tipo de producto que se desee y se homogeniza el yogur para obtener como producto final un yogur saborizado.

### 3.2.4 Diagrama del proceso a nivel de laboratorio



**Ilustración 2-3:** Diagrama de proceso elaboración de yogur

Realizado por: Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022

La leche tiene que estar en constante homogenización durante el proceso de pasteurización y enfriamiento. En la incubación se requiere que la leche esté en absoluto reposo. El saborizado y aromatizado es de acuerdo con la preferencia del consumidor.

### 3.2.5 Requisitos para leches fermentadas (yogur)

**Tabla 12-3:** Normas INEN para leches fermentadas (yogur)

Parámetro	Unidades	Método	Límite	
			Min	Max

Proteína	%(Fracción de masa)	NTE INEN 12	2,7	-
Grasas	%(Fracción de masa)	NTE INEN 12	2,5	-
Coliformes totales	UFC/g	INEN 1529-7	10	100
Escherichia Coli	UFC/g	INEN 1529-8	<1	-
Mohos y levaduras	UFC/g	INEN 1529-10	200	500

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2011. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2395. Ecuador.

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### 3.2.6 *Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria*

**Tabla 13-3:** Equipos para el proceso

Cantidad	Equipo	Función	Observación
1	Yogurtera	Pasteurización, enfriamiento I inoculación, incubación, fermentación, enfriamiento II, batido.	Equipo diseñado en el presente trabajo.
1	Caldera	Suministrar el vapor a la chaqueta de la yogurtera para los procesos que requieran calentamiento.	Existente en el Laboratorio de Procesos Industriales.
1	Sistema de enfriamiento	Suministra agua fría a la chaqueta de la yogurtera para los procesos de enfriamiento	Existente en el Laboratorio de Procesos Industriales

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta Angel, 2022.

**Tabla 14-3:** Equipos y materiales para controlar el proceso

Balanza digital
Quemadores
Probetas
pH metro
Lactodensímetro
Viscosímetro
Termómetro
Vaso de precipitación
Pirómetro
Refractómetro

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta Angel, 2022.

**Tabla 15-3:** Variables del proceso

Variables	Descripción
Temperatura	Para la pasteurización, inoculación e incubación.
Ph	Determina el fin de la fermentación.
Viscosidad	Utilizada para determinar el NRe y la potencia necesaria del motor.

Densidad	De la leche cruda y el yogur, para realizar los balances de masa y determinar la calidad del producto y la materia prima.
Tiempo	Para la incubación del fermento (3 h) y la pasteurización (20s).

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### 3.2.7 Dimensionamiento de la marmita (yogurtera)

El equipo consta de una marmita con chaqueta y un sistema de agitación, el material a utilizar es el acero inoxidable 304.

#### 3.2.7.1 Datos adicionales

**Tabla 16-3:** Datos adicionales

Parámetro	Resultado
Densidad leche	1,0268 Kg/L
Viscosidad yogur	0,689 kg/ms
Densidad yogur	1,106 Kg/L
Velocidad de rotación	22 rpm
Masa de agua del caldero	22 Kg
Capacidad calorífica del agua	1,008 Kcal/Kg °C
Coefficiente de transmisión térmica del material	16,28 w/ °C m <sup>2</sup>

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

#### 3.2.7.2 Balance de masa

##### ➤ Insumos

Los cálculos se realizarán en base a 60 litros de leche.

Mediante experimentación en el laboratorio se determinó la adición de insumos para la formulación del yogur.

**Tabla 17-3:** Insumos

Aditivo	Formulación en el laboratorio	Para 60 litros	Kilogramos
Azúcar	1 libra por cada 4 litros de leche	15 libras	6,80
Leche en polvo	2 gramos por cada litro de leche	30 gramos	0.03
Sorbato de potasio	1 gramo por 10 litros de leche	6 gramos	0.006

Total de insumos		6,836
------------------	--	-------

Realizado por: Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

I= masa total de insumos

I= 6,836 Kg

### ➤ Leche

La densidad de la leche cruda se determinó en una probeta de 25 ml.

Peso de la probeta vacía= 53,09 g

Peso probeta llena= 78,76 g

$$\text{Densidad leche} = \frac{\text{Peso probeta llena} - \text{Peso probeta vacía}}{\text{Volumen de la probeta}}$$

$$\rho_{\text{leche}} = \frac{78,76 \text{ g} - 53,09 \text{ g}}{25 \text{ ml}} = 1,0268 \text{ g/ml}$$

$$1,0268 \frac{\text{g}}{\text{ml}} * \left( \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \right) * \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right) = 1,0268 \text{ Kg/L}$$

Masa de la leche = Volumen leche \* densidad leche

$$L = V_{\text{leche}} * \rho_{\text{leche}}$$

$$\text{Masa de la leche} = 60 \text{ L} * \left( 1,0268 \frac{\text{Kg}}{\text{L}} \right)$$

$$L = 61,608 \text{ Kg}$$

L = Masa de la leche en kg

### ➤ Fermento

En la formulación a nivel de laboratorio se utilizó 0.28 gramos de fermento Choozit por cada 20 Litros de leche.

$$F = \frac{0,28 \text{ g} * 60 \text{ L}}{20 \text{ L}} * \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right)$$

$$F = 0,00084 \text{ Kg}$$

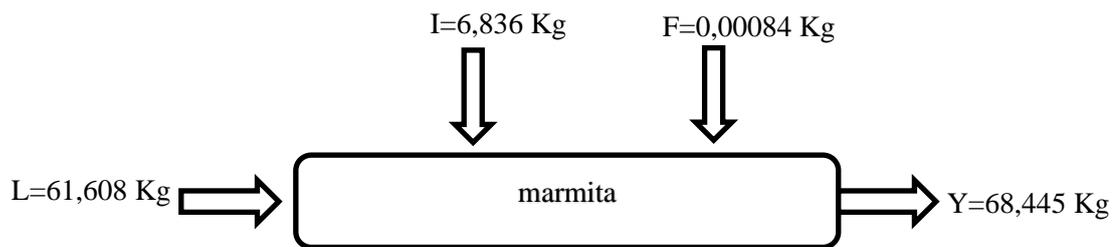
F=Masa del fermento

**Tabla 18-3:** Balance de masa

Datos	Medición (kg)	Porcentaje (%)
Leche	61,608	90,011

Insumos	6,836	9,988
Fermento	0,00084	0,001
Total	68,445	100

Realizado por: Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.



Donde:

- L: Leche cruda
- I: Insumos (Leche en polvo, Sorbato de potasio, azúcar)
- F: Fermento
- Y: Yogur

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$L + I + F = Y$$

$$Y = 61,608 \text{ Kg} + 6,836 \text{ Kg} + 0,00084 \text{ Kg}$$

$$Y = 68,445 \text{ Kg}$$

Para determinar el volumen del yogur, se obtiene la densidad mediante el uso de una probeta de 25 ml.

Peso de la probeta vacía= 53,09 g

Peso probeta llena= 80,74 g

$$\text{Densidad yogur} = \frac{\text{Peso probeta llena} - \text{Peso probeta vacía}}{\text{Volumen de la probeta}}$$

$$\rho_{\text{yogur}} = \frac{80,74 \text{ g} - 53,09 \text{ g}}{25 \text{ ml}} = 1,106 \text{ g/ml}$$

$$1,106 \frac{\text{g}}{\text{ml}} * \left( \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \right) * \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right) = 1,106 \text{ Kg/L}$$

$$\text{Volumen del yogur} = \frac{\text{masa del yogur}}{\text{densidad del yogur}} = \frac{Y}{\rho_{\text{yogur}}}$$

$$\text{Volumen del yogur} = \frac{68,445 \text{ Kg}}{(1,106 \frac{\text{Kg}}{\text{L}})}$$

$$V_{\text{yogur}} = 61,885 \text{ L}$$

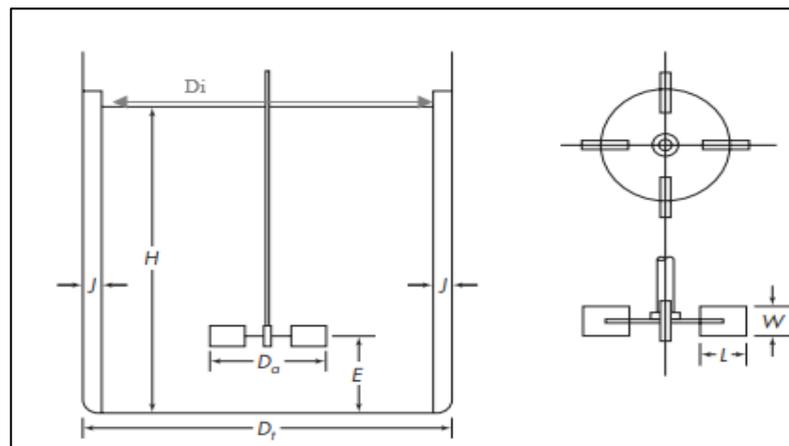
### 3.2.7.3 Cálculo del dimensionamiento de la yogurtera

El dimensionamiento de la marmita se realiza en base a la deducción de fórmulas obtenida a partir de la siguiente tabla de proporciones estándar para el diseño del sistema de agitación, que son el resultado de varias analogías de publicaciones de agitación.

**Tabla 19-3:** Proporciones estándar para el diseño del sistema de agitación

$\frac{J}{Dt} = \frac{1}{10} - \frac{1}{12}$	$\frac{Da}{Di} = \frac{3}{4}$	$\frac{Di}{H} = \frac{4}{3}$	$W = \frac{1}{5} * Da$
$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$	$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$	$\frac{H}{Dt} = 1$	$L = \frac{1}{4} * Da$

Fuente: (McCabe et al., 2007: p. 262).



**Ilustración 3-3:** Diseño básico de un sistema de agitación

Fuente: (McCabe et al., 2007: p.263).

### ➤ Volumen de la marmita

El volumen propuesto es de 60 litros y se calcula con la ecuación 1 considerando un factor de seguridad, correspondiente a 0.10.

$$V = V_p + V_p(0.10) \quad \text{Ec. 1}$$

$$V = 60 \text{ l} + (60 \text{ L})(0.10)$$

$$V = 66 \text{ L} * \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}}\right)$$

$$V = 0,066 \text{ m}^3$$

Donde:

- V= Volumen de la marmita
- Vp= volumen propuesto
- 0.10= Factor de seguridad

➤ **Diámetro interno de la marmita**

$$\begin{aligned}\phi_i * 1,75 &= h \\ h &= \frac{V}{\pi * r^2} \\ \phi_i &= \sqrt[3]{\frac{4 * (0,066 \text{ m}^3)}{(\frac{4}{3}) * \pi}} \quad \text{Ec. 2} \\ \phi_i &= 0,398 \text{ m}\end{aligned}$$

El fabricante recomienda trabajar aproximando el diámetro a 0,40 m.

Donde:

- $\phi_i$ : Diámetro de la marmita
- V: Volumen de la marmita en  $\text{m}^3$

➤ **Radio interno de la marmita**

El radio se calcula *mediante* la ecuación:

$$\begin{aligned}r &= \frac{0,4 \text{ m}}{2} \quad \text{Ec. 3} \\ r &= 0,2 \text{ m}\end{aligned}$$

Donde:

- r= radio de la marmita
- $\phi_i$ : Diámetro de la marmita

➤ **Altura de la marmita**

Considerando que a formula del volumen de un cilindro es  $V = h * \pi * r^2$ .

$$\begin{aligned}h &= \frac{V}{\pi * r^2} \quad \text{Ec. 4} \\ h &= \frac{0,066}{\pi * (0,20)^2} \\ h &= 0,53 \text{ m}\end{aligned}$$

Donde:

- r= radio de la marmita
- V: Volumen total del equipo
- h: Altura de la marmita

➤ **Diámetro total del equipo**

$$\frac{\varnothing_t}{h} = 1 \quad \text{Ec. 5}$$

$$\varnothing_t = h$$

$$\varnothing_t = 0,53\text{m}$$

- h: Altura de la marmita
- $\varnothing_t$ =Diámetro total del equipo

➤ **Diámetro de la chaqueta**

$$\varnothing_{ch} = \frac{1}{10} * \varnothing_t \quad \text{Ec. 6}$$

$$\varnothing_{ch} = \frac{1}{10} * 0,53\text{m}$$

$$\varnothing_{ch} = 0,053 \text{ m}$$

Aproximar a 0,060 m.

Donde:

- $\varnothing_{ch}$  = Diámetro de la chaqueta (m)
- $\varnothing_t$  = Diámetro total de la marmita (m)

➤ **Selección del tipo de rodete**

El sistema de agitación es utilizado para forzar de forma mecánica el movimiento constante de un fluido en el interior del tanque formando así una mezcla homogénea, evitando que el producto deseado se quemé o se adhiera a las paredes del tanque.

**Tabla 20-3:** Selección del tipo de agitador en función a la viscosidad

<b>Impeller selection guide</b>	
<b>Type of impeller</b>	<b>Viscosity, kg/m-s</b>
Anchor	$10^{-1}$ -2
Propeller	$10^{-3}$ - $10^1$

Flat-blade turbine	$10^{-3}$ - $3 \times 10^1$
Paddle	$10^{-1}$ - $3 \times 10^1$
Gate	$10^0$ - $10^2$
Helical screw	$3$ - $3 \times 10^2$
Helical Ribbon	$10^1$ - $2 \times 10^3$
Extruders	$>10^3$

Fuente: (Holland & Chapman., 1996: p.5).

Para seleccionar el tipo de rodete, se toma en cuenta la viscosidad del producto obtenida en el laboratorio, la cual fue de 0,689 Kg/ms, determinando que es adecuado utilizar las paletas como tipo de rodete.

Las paletas de tanques de agitación básicos operan a velocidades moderadas entre 20 y 150 rpm (McCabe et al., 2007: pp. 261).

Se usan de 2 a 4 paletas que giran en eje vertical. La longitud total del brazo del agitador es del orden de 50 al 80% del diámetro interno del tanque (Geankoplis, 1998, 162). La agitación mediante paletas es ideal para tanques medianos y pequeños. En este caso, se utilizarán 2 paletas.

#### ➤ Longitud del brazo

$$L_b = 80\% * \varnothing_t \quad \text{Ec. 7}$$

$$L_b = \frac{80}{100} * (0,53\text{m})$$

$$L_b = 0,42\text{m}$$

Aproximar a 0,45m.

Donde:

- $\varnothing_t$ = diámetro total de la marmita (m)
- $L_b$ = Longitud del brazo (m)

#### ➤ Espesor del rodete

Para determinar el espesor del rodete no existe una relación propia, sin embargo, autores como (McCabe et al., 2007: p. 262) y (Holland & Chapman., 1996: pp. 9-16) estiman que está entre 1/6 a 1/15 de la longitud del brazo ( $L_b$ ).

$$E_r = \frac{1}{15} * L_b \quad \text{Ec. 8}$$

$$E_r = \frac{1}{15} * (0,45\text{m})$$

$$E_r = 0,03\text{m}$$

Donde:

- $E_r$  = Espesor del rodete (m)
- $L_b$  = Longitud del brazo (m)

➤ **Diámetro del rodete**

$$\varnothing_r = \frac{3}{4} * \varnothing_i \quad \text{Ec. 9}$$

$$\varnothing_r = \frac{3}{4} * (0,4 \text{ m})$$

$$\varnothing_r = 0,3\text{m}$$

Donde:

- $\varnothing_r$  = Diámetro del rodete (m)
- $\varnothing_i$  = Diámetro de la marmita (m)

➤ **Distancia entre el fondo del tanque y el rodete**

$$h_r = h - L_b \quad \text{Ec. 10}$$

$$h_r = 0,53 - 0,45$$

$$h_r = 0,08 \text{ m}$$

Donde:

- $h_r$  = Distancia entre el fondo del tanque y el rodete (m)
- $h$  = Altura de la marmita
- $L_b$  = Longitud del brazo

➤ **Alto de la paleta**

$$A_p = \frac{1}{5} * \varnothing_r \quad \text{Ec. 11}$$

$$A_p = \frac{1}{5} * (0,3\text{m})$$

$$A_p = 0,06 \text{ m}$$

Donde:

- $A_p$  = Alto de la paleta (m)
- $\varnothing_r$  = Diámetro del rodete(m)

➤ **Largo de la paleta**

$$L_p = \frac{1}{4} * \varnothing_r \quad \text{Ec. 12}$$

$$L_p = \frac{1}{4} * (0,3\text{m})$$

$$L_p = 0,075 \text{ m}$$

Donde:

- $L_p$  = Largo de la paleta (m)
- $\varnothing_r$  = Diámetro del rodete(m)

➤ **Separación entre paletas**

$$S = \frac{L_b}{n} \quad \text{Ec. 13}$$

$$S = \frac{0,42\text{m}}{2}$$

$$S = 0,21\text{m}$$

- $S$  = Separación entre paletas
- $L_b$  = Longitud del brazo (m)
- $n$  = número de paletas

3.2.7.4 *Cálculo de la potencia del agitador*

➤ **Cálculo de numero de Reynolds**

$$N_{Re} = \frac{N * \rho * \varnothing_r^2}{\mu} \quad \text{Ec. 14}$$

$$N_{Re} = \frac{(0,37\text{rps}) * (1106 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * (0,3^2)}{0,689 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * \text{s}}$$

$$N_{Re} = 52,97$$

$$N_{Re} = 5,297 \times 10^1$$

Donde:

- $N_{Re}$  = Número de Reynolds
- $\varnothing_r$  = Diámetro del rodete (0,3 m)
- $N$  = Velocidad de rotación (22 rpm)
- $\rho$  = Densidad del fluido (1 106 Kg/ m3)
- $\mu$  = Viscosidad del fluido (0,689 kg/ m\*s)

➤ **Potencia del agitador**

$$P = Np_o * \rho * N^3 * \varnothing_r^5 \quad \text{Ec. 15}$$

$$P = 4 * 1106 * (0,37)^3 * (0,13)^5$$

$$P = 0,0092 \text{ W}$$

$$P = 0,0092 \text{ W} * \left(\frac{1\text{Hp}}{745,7\text{W}}\right)$$

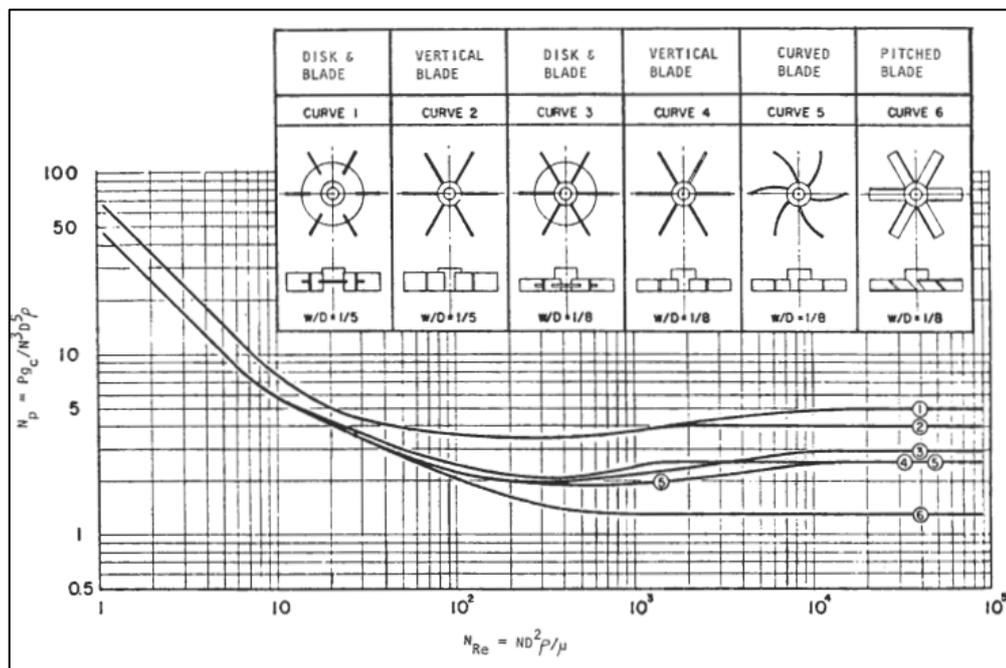
$$P = 0,12 \text{ Hp}$$

Se trabajará con un motor de 1/8 Hp.

Donde:

- $P$  = Potencia del agitador
- $Np_o$  = Numero de potencia obtenida (4)
- $\rho$  = Densidad del fluido (1106 kg/m<sup>3</sup>)
- $N$  = Velocidad de rotación (0,37 rps)
- $\varnothing_r$  = Diámetro del rodete (0,13 m)

El número de potencia se obtiene mediante el siguiente grafico de correlación entre el tipo de agitador y el número de Reynolds.



**Ilustración 4-3:** Correlación entre el número de Reynolds y el número de potencia.

Fuente: (Couper et al., 2005: p.292).

3.2.7.5 Cálculos de balance de energía

➤ **Cálculo del área de transferencia de calor**

$$A = 2 * \pi * r * h \quad \text{Ec. 16}$$

$$A = 2 * \pi * (0,2\text{m}) * (0,53, m)$$

$$A = 0,67 \text{ m}^2$$

Donde:

- $r$  = radio de la marmita (m)
- $h$  = altura de la marmita (m)

➤ **Balance de energía en la pasteurización**

Cálculo de la gradiente de la temperatura

$$Tf = 22 \text{ }^\circ\text{C} = 295,15 \text{ K}$$

$$Tp = 75 \text{ }^\circ\text{C} = 348,15 \text{ K}$$

$$\Delta T = Tp - Tf \quad \text{Ec. 17}$$

$$\Delta T = 348,15 \text{ K} - 295,15 \text{ K}$$

$$\Delta T = 53 \text{ K}$$

Donde:

- $Tp$  = Temperatura de pasteurización (K)
- $Tf$  = Temperatura de alimentación (leche) (K)

Cálculo del flujo de calor producido por el agua

$$m = \rho_{H2O} * V_{H2O}$$

$$m = \left(1 \frac{\text{Kg}}{\text{L}}\right) * (22 \text{ L})$$

$$m = 22 \text{ Kg}$$

$$Q_{H2O} = m_{H2O} * Cp_{H2O} * \Delta t \quad \text{Ec. 18}$$

$$Q_{H2O} = (22 \text{ Kg}) * \left(4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{kg K}}\right) * (53 \text{ K})$$

$$Q_{H2O} = 4880,87 \text{ KJ}$$

Para obtener el flujo de calor en kW dividimos el calor del flujo de agua para el tiempo de pasteurización que son 20 s.

$$Q_{H2O} = \frac{4880,87 \text{ KJ}}{20 \text{ s}} = 244,04 \text{ kW}$$

Donde:

- $m_{H_2O}$  = Masa de agua (cantidad de agua usada en el caldero)
- $C_{pH_2O}$  = Capacidad calorífica del agua (4,186 kJ/kg K)
- $\Delta T$  = Gradiente de temperatura
- $\rho_{H_2O}$  = Densidad del agua (1Kg/L)
- $V_{H_2O}$  = Volumen de agua utilizado en la chaqueta (22 L)

Cálculo del flujo de calor del metal

$$Q_M = K * A * \Delta t \quad \text{Ec. 19}$$

$$Q_M = 16,28 \frac{W}{^\circ C m^2} * (0,67 m^2) * (53 ^\circ C)$$

$$Q_M = 574,6 W * \left( \frac{1 KW}{1000 W} \right)$$

$$Q_M = 0,5746 KW$$

Donde:

- $K$  = Coeficiente de transmisión térmica del material (16,28 w/ °C m<sup>2</sup>).
- $A$  = área de transferencia de calor (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  = cálculo de la gradiente de temperatura (53 K)

La ecuación para calcular el balance de energía se expresa de la siguiente manera

$$Q_{ganado} = Q_{perdido} \quad \text{Ec. 20}$$

$$Q = 244,04 kW + 0,5746 kW$$

$$Q = 244,61 kW$$

$$Q = 244,61 \frac{kJ}{s} * \frac{1000 J}{1 kJ}$$

$$Q = 244610 \frac{J}{s}$$

Donde:

- $Q_M$  = Salida de calor por el metal (kW)
- $Q_{H_2O}$  = Salida de calor por el caldero (kW)
- $Q$  = Flujo de calor necesario para calentar la leche en la pasteurización (kW).

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

$$Q = U * A * \Delta t \quad \text{Ec. 21}$$

$$U = \frac{244610 \frac{J}{s}}{(53^{\circ}C) * (0,67 m^2)}$$

$$U = 6929,89 \frac{J}{m^2 s^{\circ}C}$$

Donde:

- $A$  = área de transferencia de calor ( $m^2$ )
- $Q$  = Flujo de calor (244610 J/s)
- $\Delta T$  = Diferencia de temperatura ( $^{\circ}C$ )
- $U$  = Coeficiente global de transferencia de calor ( $J/m^2 s^{\circ}C$ )

### ➤ Balance de energía en el enfriamiento I

Cálculo de la gradiente de la temperatura

$$T_i = 42^{\circ}C = 315,15 K$$

$$T_p = 75^{\circ}C = 348,15 K$$

$$\Delta T = T_p - T_i \quad \text{Ec. 22}$$

$$\Delta T = 348,15 K - 315,15 K$$

$$\Delta T = 33 K$$

Donde:

- $T_p$  = Temperatura de pasteurización (K)
- $T_i$  = Temperatura de inoculación (K)

Cálculo del flujo de calor producido por el agua en el enfriamiento

$$m = \rho_{H_2O} * V_{H_2O}$$

$$m = \left(1 \frac{Kg}{L}\right) * (22 L)$$

$$m = 22 Kg$$

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} * C_{p_{H_2O}} * \Delta t \quad \text{Ec. 23}$$

$$Q_{H_2O} = (22 Kg) * \left(4,186 \frac{KJ}{kg K}\right) * (33 K)$$

$$Q_{H_2O} = 3039,03 KJ$$

Para transformar a KW, dividimos  $Q_{H_2O}$  para 10 minutos, que fue el tiempo necesario medido para disminuir la temperatura de  $75^{\circ}C$  a  $42^{\circ}C$ .

$$Q_{H2O} = \frac{3039,03 \text{ KJ}}{10 \text{ min}} * \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 5,0650 \text{ kW}$$

Donde:

- $m_{H2O}$  = Masa de agua (cantidad de agua usada en el caldero)
- $C_p H2O$  = Capacidad calorífica del agua (4,186 kJ/kg K)
- $\Delta T$  = Gradiente de temperatura
- $\rho_{H2O}$  = Densidad del agua (1Kg/L)
- $V_{H2O}$  = Volumen de agua utilizado en la chaqueta (22 L)

Cálculo del flujo de calor del metal

$$Q_M = K * A * \Delta t \quad \text{Ec. 24}$$

$$Q_M = 16,28 \frac{W}{^\circ C \text{ m}^2} * (0,67 \text{ m}^2) * (33 \text{ }^\circ C)$$

$$Q_M = 359,95 \text{ W} * \left( \frac{1 \text{ KW}}{1000 \text{ W}} \right)$$

$$Q_M = 0,359 \text{ KW}$$

Donde:

- $K$  = Coeficiente de transmisión térmica del material (16,28 w/ °C m²).
- $A$  = área de transferencia de calor (m²)
- $\Delta T$  = cálculo de la gradiente de temperatura (33 K)

La ecuación para calcular el balance de energía se expresa de la siguiente manera

$$Q_{enfriamiento} = Q_{perdido} \quad \text{Ec. 25}$$

$$Q = -(5,0650 \text{ kW} + 0,359 \text{ kW})$$

$$Q = -5,4240 \text{ kW}$$

$$Q = -5,4240 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}}$$

$$Q = -5424 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Donde:

- $Q_M$  = Salida de calor por el metal (kW)
- $Q_{H2O}$  = Salida de calor por el caldero (kW)
- $Q$  = Flujo de calor cedido para enfriar la leche (kW).
- 

#### ➤ Balance de energía en el enfriamiento II

Cálculo de la gradiente de la temperatura

$$T_i = 42\text{ }^{\circ}\text{C} = 315,15\text{ K}$$

$$T_a = 25\text{ }^{\circ}\text{C} = 298,15\text{ K}$$

$$\Delta T = T_i - T_a \quad \text{Ec. 26}$$

$$\Delta T = 315,15\text{ K} - 298,15$$

$$\Delta T = 17\text{ K}$$

Donde:

- $T_a$  = Temperatura ambiente (K)
- $T_i$  = Temperatura de inoculación (K)

Cálculo del flujo de calor producido por el agua en el enfriamiento

$$m = \rho_{H_2O} * V_{H_2O}$$

$$m = \left(1 \frac{\text{Kg}}{\text{L}}\right) * (22\text{ L})$$

$$m = 22\text{ Kg}$$

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} * C_{p_{H_2O}} * \Delta t \quad \text{Ec. 27}$$

$$Q_{H_2O} = (22\text{ Kg}) * \left(4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{kg K}}\right) * (17\text{ K})$$

$$Q_{H_2O} = 1565,56\text{ KJ}$$

Para transformar a KW, dividimos  $Q_{H_2O}$  para 5 minutos, que fue el tiempo necesario medido para disminuir la temperatura de 42 °C a 25 °C.

$$Q_{H_2O} = \frac{1565,56\text{ KJ}}{5\text{ min}} * \left(\frac{1\text{ min}}{60\text{ s}}\right) = 5,2185\text{ kW}$$

Donde:

- $m_{H_2O}$  = Masa de agua (cantidad de agua usada en el caldero)
- $C_{p_{H_2O}}$  = Capacidad calorífica del agua (4,186 kJ/kg K)
- $\Delta T$  = Gradiente de temperatura
- $\rho_{H_2O}$  = Densidad del agua (1Kg/L)
- $V_{H_2O}$  = Volumen de agua utilizado en la chaqueta (22 L)

Cálculo del flujo de calor del metal

$$Q_M = K * A * \Delta t \quad \text{Ec. 28}$$

$$Q_M = 16,28 \frac{\text{W}}{\text{ }^{\circ}\text{C m}^2} * (0,67\text{ m}^2) * (17\text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$Q_M = 185,42\text{ W} * \left(\frac{1\text{ KW}}{1000\text{ W}}\right)$$

$$Q_M = 0,1854 \text{ kW}$$

Donde:

- $K$  = Coeficiente de transmisión térmica del material (16,28 w/ °C m<sup>2</sup>).
- $A$  = área de transferencia de calor (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  = cálculo de la gradiente de temperatura (17 K)

La ecuación para calcular el balance de energía se expresa de la siguiente manera

$$Q_{enfriamiento} = Q_{perdido} \quad \text{Ec. 29}$$

$$Q = -(5,2185 \text{ kW} + 0,1854 \text{ kW})$$

$$Q = -5,4039 \text{ kW}$$

$$Q = -5,4039 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}}$$

$$Q = -5403,9 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Donde:

- $Q_M$  = Salida de calor por el metal (kW)
- $Q_{H_2O}$  = Salida de calor por el caldero (kW)
- $Q$  = Flujo de calor cedido para enfriar la leche (kW)

## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Resultado de la caracterización de la materia prima

**Tabla 1-4:** Caracterización de la materia prima

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método	Análisis
Densidad relativa 15 °C	-	1.029	1.033	NTE INEN 11	1.030
Contenido de grasa	% (fracción de masa)	3.0	-	NTE INEN 12	3.1
Acidez titulable como ácido láctico	% (fracción de masa)	0.130	0.170	NTE INEN 13	0.134
Sólidos totales	% (fracción de masa)	11.2	-	NTE INEN 14	11.77
Cenizas	% (fracción de masa)	0.65	-	NTE INEN 14	0.69
Sólidos no grasos	% (fracción de masa)	8.2	-		8.1
Proteína	% (fracción de masa)	2.9	-	NTE INEN 16	3.50
Reductasa	H	3	-	NTE INEN 16	5
Células somáticas	Células somáticas//cm <sup>3</sup>	-	7 x 10 <sup>5</sup>	Test de california	4.22x10 <sup>5</sup>
pH	-	6.60	6.80	-	6.76
Antibióticos estreptomicina, gentamicina y neomicina		Negativo			Negativo
Antibióticos β-lactámicos, tetraciclinas y sulfamidas		Negativo			Negativo
Neutralizante		Negativo			Negativo
Agua añadida	%	-		-	0,00

**Fuente:** LABORATORIO AGROLAB 'S; Laboratorio SAQMIC; Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2012. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 9. Ecuador.

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

Se caracterizó la leche cruda según la norma NTE INEN 9:2012, de forma que se determinó que cumple los requisitos y es apta para utilizarla como materia prima en proceso de la elaboración de yogur. Además, se agregaron las pruebas de antibióticos y células somáticas para verificar que la leche esté libre de mastitis y la vaca de procedencia no tenga enfermedades que puedan ser contraproducentes para el consumo humano. Otra prueba que se agregó fue la presencia de neutralizantes, ya que el pH es una variable en el proceso y puede verse afectado en la fermentación.

## 4.2 Resultados del dimensionamiento de la yogurtera

### 4.2.1 Resultado de dimensiones obtenidas en el dimensionamiento de la marmita

**Tabla 2-4:** Dimensiones de la marmita

<b>Marmita</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>
Volumen propuesto	0,060	m <sup>3</sup>
Volúmen total (10% factor de seguridad)	0,066	m <sup>3</sup>
Diámetro interno de la marmita	0,40	m
Radio interno de la marmita	0,20	m
Altura de la marmita	0,53	m
Diámetro total de la marmita	0,53	m
Diámetro de la chaqueta	0,06	m

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

### 4.2.2 Resultado de dimensiones del Rodete del sistema de agitación

**Tabla 3-4:** Dimensiones del rodete

<b>Rodete</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>
Longitud del brazo	0,42	m
Espesor del rodete	0,03	m
Diámetro del rodete	0,30	m
Distancia entre fondo del tanque y el rodete	0,08	m
Alto de la paleta	0,06	m
Largo de la paleta	0,075	m
Separación entre paletas	0,21	m

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

#### 4.2.3 Resultados de la potencia del motor

**Tabla 4-4:** Potencia del motor

<b>Potencia del agitador</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>
Número de Reynolds	5,297x10 <sup>1</sup>	-
Potencia del agitador	1/8	Hp

Realizado por: Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

#### 4.2.4 Resultados del balance de masa

**Tabla 5-4:** Resultados del balance de masa

<b>Balance de masa</b>		
<b>Volumen de partida</b>	60 L de leche cruda	
<b>Entra al proceso</b>	<b>Kg</b>	<b>Porcentaje %</b>
Leche	61,608	90,011
Azúcar	6,80	9,988
Leche en polvo	0,03	
Sorbato de potasio	0,006	
Fermento	0,00084	0,001
<b>Total</b>	68,445	100
<b>Sale del proceso</b>	<b>Kg</b>	<b>Litros</b>
<b>Yogur</b>	68,445	61,885
<b>Datos adicionales obtenidos en el laboratorio</b>		
<b>Dato</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>
Densidad yogur	1,1060	Kg/L
Densidad leche	1,0268	Kg/L

Realizado por: Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

#### 4.2.5 Resultados del balance de energía

**Tabla 6-4:** Resultados del balance de energía

<b>Balance de energía</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>
<b>Pasteurización</b>		

Área de transferencia de calor	0,67	m <sup>2</sup>
Gradiente de temperatura pasteurización	53	K
Flujo de calor producido por el agua	244,04	KW
Flujo de calor para calentar la leche	244,61	KW
Flujo de calor del metal	0,5746	KW
Coeficiente global de transferencia de calor	6929,89	J/m <sup>2</sup> s°C
<b>Enfriamiento I</b>		
Gradiente de temperatura enfriamiento I	33	K
Flujo de calor producido por el agua	5,0650	KW
Flujo de calor del metal	0,395	KW
Flujo de calor para enfriar la leche	-5,4240	KW
<b>Enfriamiento II</b>		
Gradiente de temperatura enfriamiento II	17	K
Flujo de calor producido por el agua	5,2185	KW
Flujo de calor del metal	0,1854	KW
Flujo de calor para enfriar la leche	-5,4039	KW

Realizado por: Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

#### 4.2.6 Caracterización del producto

**Tabla 7-4:** Requisitos específicos en leches fermentada

Parámetro	Unidades	Método	Límite		Análisis
			Min	Max	
Proteína	% (Fracción de masa)	NTE INEN 12	2,7	-	4.45
Grasas	% (Fracción de masa)	NTE INEN 12	2,5	-	3.2

Fuente: LABORATORIO SAMIQ; Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2011. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2395. Ecuador.

Realizado por: Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

El yogur obtenido del proceso fue caracterizado mediante la norma NTE INEN 2396:2011, de tal manera que cumple los requisitos de proteína y grasas, parámetros importantes en el valor nutricional del producto por su contenido de diferentes tipos de caseínas y proteínas de lactosuero.

**Tabla 7-4:** Cantidad de microorganismos específicos en leches fermentada

Parámetro	Unidades	Método	Limite	Análisis
-----------	----------	--------	--------	----------

			m	M	
Coliformes totales	UFC/g	INEN 1529-7	10	100	<10
Escherichia Coli	UFC/g	INEN 1529-8	<1	-	<10
Mohos y levaduras	UFC/g	INEN 1529- 10	200	500	200
Aerobios mesófilos	UFC/g	NTE INEN 1529-5	30.000	100.00	300

**Fuente:** LABORATORIO SAQMIC; Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2011. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2395. Ecuador.

**Realizado por:** Jaramillo, Samantha; Moreta, Angel, 2022.

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

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

Se constató que el yogur cumple con los requisitos microbiológicos de la norma NTE INEN 2395:2011 para leches fermentadas. En la norma para leches fermentadas no consta un requisito para aerobios mesófilos, sin embargo, agregó el análisis como un indicador de la higiene con el que se realizó el proceso.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

- Se construyó una yogurtera la cual fue implementada en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias para la aplicación de conocimientos de diseño obtenidos en la carrera de Ingeniería Química.
- Se caracterizó física, química y microbiológica la materia prima, la cual fue leche cruda, en base a la norma NTE INEN 9:2012 Leche cruda. Requisitos, teniendo como resultado que cumple con la calidad y todos los parámetros que requiere la norma.
- Se calculó las variables de diseño específicas para el correcto funcionamiento de la yogurtera mediante análisis en el laboratorio, obteniendo datos de densidad de la materia prima y producto, pH en el proceso de fermentación, la temperatura en el proceso de pasteurización, inoculación e incubación y en el enfriamiento para terminar la fermentación, y la viscosidad del yogur obtenido como producto para determinar el NRe y la potencia del motor necesaria para el mezclado y homogenización.
- Se diseñó un equipo para el proceso de producción de yogurt, en base a un volumen inicial de 60 litros de leche cruda, de la cual se obtuvo 61,885 litros de yogurt, se utilizó un factor de seguridad de 10% que aumenta la capacidad de recepción a 66 L. El sistema de agitación consta de la marmita, el rodete de 2 paletas y un motor de 1/8 Hp.
- Se validó técnicamente el proceso productivo en la yogurtera mediante la caracterización física, química y microbiológica del yogur con la norma INEN 2395:2011 Leches fermentadas. Requisitos.
- Se elaboró un manual para el manejo adecuado de la yogurtera, en el cual consta su funcionamiento y mantenimiento y la guía de práctica del laboratorio para la elaboración de yogur.

## **RECOMENDACIONES**

Con el fin de obtener un yogur de calidad, físico, química y microbiológicamente, se recomienda revisar que la leche cruda este en buen estado, libre de mastitis y características organolépticas normales.

Para la elaboración del producto usar mascarilla, cofia y guantes, de tal manera que no se contamine el producto y sea apto para el consumo.

En cuanto al proceso, mantener el equipo cerrado y en completo reposo durante el tiempo de incubación que indica la técnica del fermento utilizado, pasado el tiempo indica, medir el pH para determinar si ya se debe cortar la fermentación con la disminución de temperatura.

Verificar la temperatura de inoculación e incubación, el tiempo de incubación y el pH que se debe alcanzar en dependencia del fermento que se vaya a utilizar.

## BIBLIOGRAFÍA

**ADAMES MORA, W.** Aplicación de fermentación láctica en el desarrollo de productos para la generación de valor en polen apícola [En línea](Trabajo de titulación). (Maestría), Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 2009, p. 14. [Consulta: 03 septiembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/62433/1024527620.2017%20sin%20restricci%C3%B3n.pdf?sequence=1>

**AGUDELO, D., & BEDOYA MEJÍA, O.** "Composición nutricional de la leche de ganado vacuno". *Revista Lasallista de Investigación* [en línea], 2005, (Colombia) 2(1), pp 38–42. [Consulta: 20 septiembre 2022]. ISSN 1794-4449. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520107>

**AURED, D. T. M. L., & MARTINEZ, L.-P. M.** "Educational methodology and benefits of yogurt in the care of dysphagia". *Nutricion Clinica Y Dietetica Hospitalaria* [en línea], 2016, (España) 36(4), pp. 148-158. [Consulta: 11 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.12873/364detorres>

**BABIO, N., MENA-SÁNCHEZ, G., & SALAS-SALVADÓ, J.** Más allá del valor nutricional del yogur: ¿un indicador de la calidad de la dieta? *Nutricion Hospitalaria* a [en línea], 2017, (España) 34(4), pp. 26–30. [Consulta: 14 agosto 2022]. ISSN 0212-166. Disponible en: <https://doi.org/10.20960/NH.1567>

**COUPER, J., PENNEY, W., FAIR, J., Y WALAS, S.** Chemical process equipment selection and desing. USA: Elsevier., 2da ed. 2005. p.292.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Leches fermentadas, Requisitos.* NTE INEN 2395. Quito, Ecuador: INEN, 2011.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Leche y productos lácteos, Muestreo.* NTE INEN 4. Quito, Ecuador: INEN, 1983.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Leche cruda, Requisitos.* NTE INEN 9. Quito, Ecuador: INEN, 2012.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Leche pasteurizada, Requisitos.* NTE INEN 10. Quito, Ecuador: INEN, 2009.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Leche. determinación de la densidad relativa.* NTE INEN 11. Quito, Ecuador: INEN, 2012.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Leche. Determinación del contenido de grasa.* NTE INEN 12. Quito, Ecuador: INEN, 1973.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Leche. Determinación de la acidez titulable.* NTE INEN 13. Quito, Ecuador: INEN, 1984.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Leche. Determinación de sólidos totales y cenizas.* NTE INEN 14. Quito, Ecuador: INEN, 1983.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Leche. Determinación de proteínas.* NTE INEN 16. Quito, Ecuador: INEN, 1973.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *leche ensayo de reductasas.* NTE INEN 18. Quito, Ecuador: INEN, 1973.

**ECUADOR.** Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Control microbiológico de los alimentos. Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos. Rep.* NTE INEN 1529-5. Quito, Ecuador: INEN, 2006.

**GOOGLE MAPS.** *Google Maps.* [En línea] 2017. [Citado el: 26 de 02 de 2023.] <https://www.google.com/maps/search/escuelsuperior+politecnica+de+chimborazo/@-1.6529665,-78.6766157,15.74z?hl=es>.

**GUARACA PINO, Evelyn Cristina., & GUARACA SIGUENCIA, Ligia Alexandra.** *Implementación de una Guía Técnica para la pasteurización de leche y evaluación de su efectividad mediante análisis microbiológico en la Planta de Lácteos "VIGLAC" ubicada en el cantón Tambo.* [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Cuenca, Ecuador. 2020. p. 19 [Consulta: 2022-08-05]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33798>

**GEANKOPLIS CHRISTIE, J.** *Procesos de transporte y Operaciones Unitarias.* 3ra Ed. México: Editorial Continental S.A., 1998. p.162

**HOLLAND, F. A. AND CHAPMAN, F. S.,** *Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks.* New York: Lever Brothers Company. 1966.pp.5-16

**HOYOS, X., & AGUILAR, P.** "Estudio de mercado Sector Lácteo." In *Superintendencia de Control de Poder del Mercado* [en línea] 2021, (Ecuador) 17(1), pp. 1–5 [Consulta: 20 septiembre 2022]. ISSN 1390-6925. Disponible en: [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/johanamorillo,+SATHIRI+17+-+1\(1\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/johanamorillo,+SATHIRI+17+-+1(1)%20(1).pdf)

**LLERENA VELOZ, E. M.** Diseño de una planta procesadora de lácteos para la obtención de yogurt para la asociación “lácteos la Virginia”, parroquia Veracruz, cantón Pastaza [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Ecuador. 2017. pp 23-66. [Consulta: 11 agosto 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8581/1/96T00424.pdf>

**MCCABE, WARREN L., SMITH, JULIAN C. & HARRIOT, PETER.** *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México: McGraw-Hill/Interamericana, 7ma Ed, 2007. pp.261-263

**MARTÍNEZ, Ana M.; & ROSENBERGER, Mario R.** " Modelado numérico de pasteurización artesanal de leche y jugos naturales ". *Mecánica computacional*, vol.32, no 30 (2013), (Argentina) pp. 2485-2501.

**MINISTERIO DE SALUD.** Decreto 2437 por el cual se reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 9ª de 1979, en cuanto a Producción, Procesamiento, Transporte y Comercialización de la leche, agosto 30 de 1893.

**MOYANO AREVALO, Andrea Lizeth.** *Diseño de un proceso industrial para la elaboración de yogur en la microempresa Lácteos “Ilapeñito”*. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2018. pp. 70- 71. [Consulta: 2022-11-05]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/8667>

**PARRA HUERTA, R. A.** Yogur en la salud humana. *Lasallista de Investigación* [en línea], 2012, Colombia 9(2), pp. 162–167. [Consulta: 5 septiembre 2022]. ISSN 1794-4449. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69525875008>

**PINTO RODRIGUEZ, J.** *Yogures, leches fermentadas y pastas unttables: elaboración de leches de consumo y productos lácteos (UF1284)* [en línea]. Antequera, Málaga, España: IC Editorial.,

2013. [Consulta: 20 agosto 2009]. Disponible en:  
<https://elibro.net/es/ereader/epoch/43477?page=163>.

**PUERTA QUINTERO, G. I.** FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN EL BENEFICIO DEL CAFÉ. *Centro Nacional de Investigadores Del Café (Cenicafé)* [en línea], 2013 (Colombia) 402(1), pp. 1-2. [Consulta: 14 septiembre 2022]. ISSN 0120-0178. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0402.pdf>.

**RODRÍGUEZ BARBA, A. M.** Diseño de un proceso industrial para la elaboración de yogur griego con mermelada de fruta a base de stevia a partir de la fermentación de kéfir [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador 202. pp. 91. [Consulta: 11 agosto 2022]. Disponible en:  
<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14893/1/96T00610.pdf>

**WACHER RODARTE, C.** La biotecnología alimentaria antigua: los alimentos fermentados. *Revista Digital Universitaria* [en línea], 2014, (México) 15(8), pp. 1–14. [Consulta: 11 agosto 2022]. ISSN 1607-6079. Disponible en:  
<https://biblat.unam.mx/hevila/Revistadigitaluniversitaria/2014/vol15/no8/art64.pdf>





**ANEXO B: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA LECHE CRUDA**



**LABORATORIO AGROLAB'S**

Análisis Agropecuarios y de Alimentos

Rev: 02  
23-11-2022

**Solicitante:** Srta. Samantha Jaramillo

**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:** 063-300-002

**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 $\beta$ -lactámicos, tetraciclinas y sulfamidas	Negativo	Negativo
Antibióticos estreptomycin, 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	$4.22 \times 10^5$ células somáticas/cm <sup>3</sup>	Hasta $7 \times 10^5$ células somáticas/cm <sup>3</sup>
Bacterias totales	$0.95 \times 10^6$ UFC/cm <sup>3</sup>	Hasta $1.5 \times 10^6$ UFC/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de agua añadida	0.00	

Ing. Tatiana Laminia  
Técnico responsable AGROLAB'S



### INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 19 de enero del 2023  
Análisis solicitado por: Srta. Samantha Jaramillo y Angel Moreta  
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: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL YOGUR



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

**INFORME DE ANÁLISIS**

Fecha: 19 de enero del 2023  
Análisis solicitado por: Srta. Samantha Jaramillo y Angel Moreta  
Tipo de muestras: Muestras de Yogurt  
Localidad: Riobamba

**Análisis Físico: Sensorial**

Color	Blanquecino
Olor	Característico agradable
Sabor	Agradable
Aspecto	Homogéneo libre de materiales extraños
Consistencia	Pastoso, fluido

**Análisis Químico**

Parámetros	Unid.	Método	Resultados
pH	-		4.37
Proteína	%	INEN 16	4.45
Grasa	%	INEN 12	3.2

**Análisis Microbiológico**

Parámetros	Unid.	Método	Resultados
Coliformes Totales	UFC/mL	Siembra por inmersión	<10
Escherichia coli	UFC/mL	Siembra por inmersión	<10
Mohos y levaduras	UFC/mL	Siembra por inmersión	200
Aerobio mesófilo	UFC/mL	Siembra por inmersión	300

<10 significa que no hubo crecimiento en la dilución 10<sup>-1</sup>

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

**ANEXO D: ELABORACIÓN DE YOGUR A NIVEL DE LABORATORIO**

3.

b)

c)



<b>NOTAS:</b>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</li> <li>• Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</li> <li>• Información <input type="checkbox"/> Por calificar</li> </ul>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>JARAMILLO RIVADENEIRA KERLY SAMANTHA ANGEL MESIAS MORETA PÉREZ</p>	<b>ELABORACIÓN DE YOGUR A NIVEL DE LABORATORIO</b>			
<p>Planta de Lácteos de Tunshi Yogurtera de 50 L Producto obtenido experimentalmente</p>			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>	
			1	1:1	2023/01/25	

**ANEXO E: ELABORACIÓN DE YOGUR A NIVEL DE LABORATORIO**

4.

b)

c)

d)



**NOTAS:**

Pesado del fermento  
Medición de la densidad  
Medición de grados Brix  
Filtrado de la leche

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA:**

- Aprobado  Preliminar
- Certificado  Por aprobar
- Información  Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ELABORADO POR:**

JARAMILLO RIVADENEIRA KERLY  
SAMANTHA  
ANGEL MESIAS MORETA PÉREZ

**ELABORACIÓN DE YOGUR A NIVEL DE  
LABORATORIO**

**LÁMINA**

**ESCALA**

**FECHA**

2

1:1

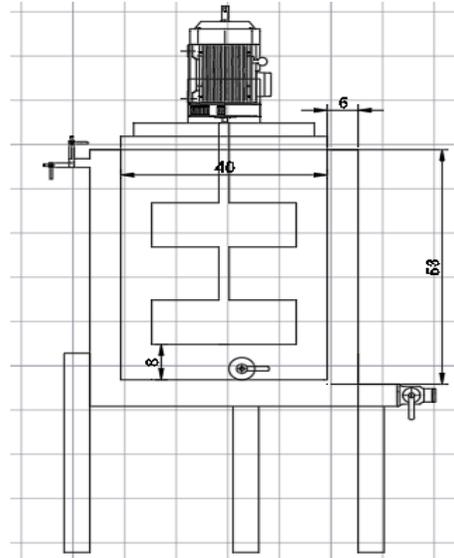
2023/01/25

**ANEXO F: DISEÑO DEL EQUIPO**

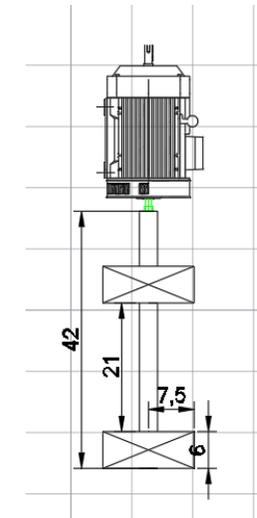
a)



b)



c)



d)

**NOTAS:**

Yogurtera construida de 60 L  
Esquema de la yogurtera  
Esquema del Rodete de la  
yogurtera

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA:**

- Aprobado  Preliminar
- Certificado  Por aprobar
- Información  Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ELABORADO POR:**

JARAMILLO RIVADENEIRA KERLY  
SAMANTHA  
ANGEL MESIAS MORETA PÉREZ

**DISEÑO DEL EQUIPO**

**LÁMINA**

**ESCALA**

**FECHA**

3

1:1

2023/01/25



**ANEXO H: ANÁLISIS EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO**

5.



b)



c)



d)



<b>NOTAS:</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>ANÁLISIS EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO</b>		
Inoculación del fermento Recepción de la leche cruda Determinación del pH Marmita utilizada para la experimentación	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</li> <li>• Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</li> <li>• Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</li> </ul>	<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR:  JARAMILLO RIVADENEIRA KERLY SAMANTHA ANGEL MESIAS MORETA PÉREZ	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			5	1:1	2023/01/25



**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:** 20 / 03 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTORES</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Kerly Samantha Jaramillo Rivadeneira Angel Mesias Moreta Pérez
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0614-DBRA-UPT-2023

