



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“REDISEÑO DE UN REACTOR PARA EL PROCESO DE
ELABORACIÓN DE YOGURT EN LA PLANTA DE LÁCTEOS
ESPOCH-TUNSHI”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTOR: CRISTINA ESTEFANÍA CAMACHO BENALCÁZAR

DIRECTOR: Ing. Ph.D. HANNÍBAL LORENZO BRITO MOÍNA

Riobamba – Ecuador

2020

© 2020, Cristina Estefanía Camacho Benalcázar

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

Yo, Cristina Estefanía Camacho Benalcázar, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de febrero del 2020

Cristina Estefanía Camacho Benalcázar

C.I.: 080326165-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo Proyecto Técnico “**REDISEÑO DE UN REACTOR PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGURT EN LA PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH-TUNSHI**”, realizado por la señorita: **CRISTINA ESTEFANÍA CAMACHO BENALCÁZAR**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por: MABEL MARIELA PARADA RIVERA	2020-02-27
Ing. Ph.D. Hannibal Lorenzo Brito Moína DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado digitalmente por: HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA	2020-02-27
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por: MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA	2020-02-27

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado principalmente a mi madre, Anátilde, quien me sostuvo, me sostiene y está a mi lado en cada momento, quien con su esfuerzo y dedicación hizo de sus 5 hijas mujeres con aspiraciones y ha sido siempre un ejemplo como madre, esposa, hermana y profesional. A mi abuelo, que hoy sonrío desde el cielo porque su muchacha está cumpliéndose. A mi padre que, a través de su sacrificio, renunciando a sus sueños, asumió con valentía la responsabilidad de una familia y con un fuerte carácter siempre supo corregir y estar presente en cada una de las etapas de mi vida. A mi compañero de vida Jose Luis que me apoya y motiva en cada paso ante cualquier situación que se presenta. A mis hijos que son el préstamo más preciado que me ha hecho la vida y se convirtieron en la razón más fuerte para cumplir sueños. A mis tías que son mis madres, cuidándome y protegiéndome cuando mamá trabajaba. A mis hermanas que me brindan su compañía, apoyo incondicional y amor en este camino, sobre todo a Maira que cuidaba de mi hijo recién nacido cuando yo estudiaba. De la misma manera a mis amigos quienes de una u otra forma caminaron conmigo en este camino y saben que no me fue fácil. Y por último a mis maestros que me impartieron de su conocimiento y supieron motivarme constantemente para lograr el objetivo propuesto.

Cristina Camacho

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a nuestro Dios Todopoderoso por la vida y la salud, permitiéndome estar aquí aun con tantos tropiezos, aprendiendo de todo lo vivido en el transcurso de este camino y hoy sintiendo que cada momento valió la pena.

A mi madre, que nunca bajo los brazos y me ha apoyado más que nadie, abrazado fuerte en el caos, motivado en las caídas, alentado para continuar firme hasta lograrlo, quien nunca me ha dejado sola. ¡Gracias!

Agradezco también a mis familiares y amigos que constantemente han tenido una palabra de aliento para motivarme siempre a continuar hasta llegar a la meta.

Al Ingeniero Marco Manzano, Técnico Docente de la Planta Experimental de Lácteos en Tunshi quien en todo momento brindo su colaboración para el trabajo Experimental realizado en la planta.

De igual manera agradezco a mi Tutor, Ing. Ph.D. Hannibal Brito Moína, quien acepto dirigir la realización de este trabajo, haciéndolo de la mejor forma, mostrando interés en cada avance del mismo, estando presto ante cualquier situación brindando siempre su apoyo.

Cristina Camacho

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1. Identificación del problema	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Beneficiarios directos e indirectos	4
1.3.1. <i>Beneficiarios directos</i>	4
1.3.2. <i>Beneficiarios indirectos</i>	4
1.4. Localización del proyecto	4
1.5. Objetivos	5
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1. Línea base del proyecto	7
2.1.1. <i>Antecedentes de la Institución</i>	7
2.1.1.1. <i>Planta Experimental de Lácteos ESPOCH-Tunshi</i>	7
2.2. Marco Teórico	8
2.2.1. <i>Lácteos</i>	8
2.2.2. <i>Leche</i>	8
2.2.3. <i>Yogurt</i>	14
2.2.4. <i>Reactores</i>	18
2.2.5. <i>Rediseño</i>	22

2.2.6.	<i>Ecuaciones de Rediseño</i>	25
--------	-------------------------------------	----

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	36
3.1.	Ingeniería del proyecto	36
3.1.1.	<i>Tipo de estudio</i>	36
3.2.	Metodología	36
3.2.1.	<i>Métodos y técnicas</i>	36
3.2.1.1.	<i>Métodos</i>	36
3.2.1.2.	<i>Técnicas</i>	36
3.2.1.3.	<i>Condiciones iniciales del reactor</i>	41
3.2.1.4.	<i>Cálculos del rediseño del reactor</i>	41

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	49
4.1.	Caracterización de la leche cruda	49
4.2.	Análisis de las muestras	50
4.3.	Parámetros para el rediseño	50
4.4.	Análisis costo/beneficio del proyecto	51
4.5.	Análisis y Discusión de Resultados	52
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	56
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Condiciones experimentales de la estación experimental “Tunshi”	5
Tabla 1-2:	Características físicas de la leche en condiciones normales.....	10
Tabla 2-2:	Características químicas de la leche de vaca.....	11
Tabla 3-2:	Componentes del yogurt.....	15
Tabla 1-3:	Determinación de la viscosidad.....	38
Tabla 2-3:	Determinación de la densidad.....	39
Tabla 3-3:	Técnica para análisis de la leche cruda.....	40
Tabla 4-3:	Condiciones del reactor existente en la estación experimental “Tunshi”	41
Tabla 1-4:	Resultados de la caracterización de la leche cruda en la Planta de Lácteos.....	49
Tabla 2-4:	Resultados de las muestras.....	50
Tabla 3-4:	Resumen de los parámetros calculados para el rediseño y balances de masa y energía del reactor.....	50
Tabla 4-4:	Requerimientos de servicio.....	51
Tabla 5-4:	Costos de fabricación.....	51
Tabla 6-4:	Costos de montaje.....	52
Tabla 7-4:	Insumos varios.....	52
Tabla 8-4:	Resumen de costos.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Georreferenciación de la extensión experimental “Tunshi” de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH	5
Figura 1-2: Configuraciones de reactores con enzimas inmovilizadas: A: Batch; B: Batch con recirculación; C: agitado-ultrafiltración; D: continuo-agitado; E: Continuo de lecho empacado; F: continuo de Lecho fluidizado.....	19
Figura 2-2: Reactor Batch.....	19
Figura 3-2: Agitadores de paleta.....	21
Figura 4-2: Agitadores de turbina.....	21
Figura 5-2: Agitadores tipo hélice.....	22
Figura 6-2: Agitadores tipo hélice.....	22
Figura 7-2: Proporciones geométricas de un sistema de agitación estándar.....	23
Figura 8-2: Variables dimensionales.....	23
Figura 9-2: Rango de viscosidades para agitadores.....	24
Figura 1-3: Medición de la viscosidad.....	37

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Condiciones iniciales del reactor
- ANEXO B:** Toma de medidas del equipo
- ANEXO C:** Requisitos físicos y químicos de la leche cruda
- ANEXO D:** Análisis de la materia prima
- ANEXO E:** Vista superior del reactor Batch
- ANEXO F:** Corte frontal del reactor Batch
- ANEXO G:** Agitador tipo rejilla de paletas planas inclinadas
- ANEXO H:** Correlación entre el número de potencia y el número de Reynolds
- ANEXO I:** Partes del reactor
- ANEXO J:** Proforma sistema de agitación

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

r:	Radio del reactor (m)
Ø:	Diámetro del reactor (m)
Ør:	Diámetro del rodete (m)
L_B:	Longitud del brazo del agitador (m)
h:	Altura del reactor (m)
A_p:	Alto de las paletas (m)
E_r:	Espesor del rodete (m)
E:	Distancia entre el agitador y el fondo del tanque (m)
ρ:	Densidad de la mezcla (Kg/L)
X_p:	Distancia entre rejillas (m)
N_{Re}:	Número de Reynolds (adimensional)
N_{Pr}:	Número de Prandtl (adimensional)
N_p:	Número de potencia (adimensional)
P:	Potencia del motor (Hp)
π:	Pi, equivalente a 3.14
t:	Tiempo (h)
V:	Volumen (L)
C_p:	Capacidad Calorífica del agua (KJ/Kg*°C)
U:	Coefficiente de transferencia de calor (W/m ² *°C)
Q:	Flujo de calor (KW)

RESUMEN

Se realizó el rediseño de un reactor tipo Batch para la elaboración de yogurt de la planta Experimental de Lácteos Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo localizada en la comunidad de Tunshi, con el fin de mejorar el proceso. Para lo cual, se obtuvieron datos en la planta del equipo (físicas, y de funcionamiento) y del proceso. Inicialmente como punto de partida se tomó en consideración la realización de las pruebas de la materia prima ya que es necesario comprobar que la misma cumpla con la Norma NTE INEN 9: 2015 (Requisitos físicos y químicos de la leche cruda), realizando la caracterización de la leche cruda en la planta de Lácteos en el equipo Ekomilk 12 milk analyzer. Obteniendo como resultados: Materia grasa: 3.55 %, Sólidos no grasos: 8.28 %, Proteínas: 3.06%, Ph: 6.25; Temperatura: 18.4°C; Cenizas: 0.75 % y Sólidos Totales: 12.84 %; estableciendo así que la materia prima cumple con los rangos definidos por la normativa. Además, análisis de la viscosidad y densidad de la leche y el yogurt. Con los resultados obtenidos, se procedió a realizar los cálculos de Ingeniería para diseñar el sistema de agitación, concluyendo que lo ideal son las paletas planas inclinadas a 45°, según información bibliográfica para la agitación de fluidos de baja viscosidad de 20 a 150 rpm. De acuerdo con esto se tiene que para el sistema de agitación: Longitud del brazo agitador: 0.2562m, diámetro del rodete 0.3075 m, alto de la paleta 0.0512 m, distancia entre paletas 0.0640 m y una potencia de motor eléctrico de 0.25 HP (caballos de fuerza). El equipo permitirá la obtención de yogurt con un rendimiento del 90 % en volumen.

Palabras clave: <INGENIERÍA QUÍMICA>, <REDISEÑO>, <REACTOR TIPO BATCH>, <ELABORACIÓN DE YOGURT>, <OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS>



Elaborado y validado por:
HANNIBAL
LORENZO BRITO
MOINA



0171-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

The redesign of a Batch-type reactor for the production of yogurt from the Tunshi Dairy Experimental Plant of the Escuela Superior Politecnica de Chimborazo located in the community of Tunshi was carried out, to improve the process. For which, data were obtained in the plant of the equipment (physical and operational) and the process. Initially, the raw material tests were taken into consideration as a starting point, since it is necessary to verify that it complies with the NTE INEN 9: 2015 Standard (Physical and chemical requirements of raw milk), performing the characterization of raw milk in the Dairy plant on the Ekomilk 12 milk analyzer. Obtaining as results: Fat matter: 3.55%, Non-fat solids: 8.28%, Proteins: 3.06%, Ph: 6.25; Temperature: 18.4°C; Ash: 0.75% and Total Solids: 12.84%; thus establishing that the raw material complies with the ranges defined by the regulations. Also, analysis of the viscosity and density of milk and yogurt. With the results obtained, the Engineering calculations were carried out to design the agitation system, concluding that the ideal is flat blades inclined at 45°, according to bibliographic information for the agitation of low viscosity fluids from 20 to 150 rpm. Accordingly, it is necessary for the agitation system: Agitator arm length: 0.2562m, impeller diameter 0.3075m, blade height 0.0512m, blade distance 0.0640m, and an electric motor power of 0.25 horsepower (HP). The equipment will allow obtaining yogurt with a yield of 90% by volume.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING>, <DESIGN>, <BATCH TYPE REACTOR>, <YOGURT DEVELOPMENT>, <PROCESS OPTIMIZATION>.

INTRODUCCIÓN

Uno de los motivos por los cuales las empresas no tienen éxito en el negocio a que se dedican se debe a que su gente no introduce nuevos conceptos, no inventa ni sigue manufacturando, vendiendo y prestando servicios tan bien o tan mal como hace años. Alguno de los métodos para conseguir avances decisivos es la “reingeniería” que, olvidándose de mejorar los procesos existentes se decanta por completo para cambiarlos por otros enteramente nuevos. Cambiar radicalmente significa descartar todas las estructuras y los procedimientos existentes e inventar maneras enteramente nuevas de realizar el trabajo. Actualmente han surgido diferentes filosofías y estrategias para mejorar la eficiencia de los negocios de hoy en día. Una de estas, es la “reingeniería”, la cual se fundamenta en el “rediseño radical de los procesos para efectuar mejoras espectaculares en medidas críticas y actuales de rendimiento, tales como los costos, calidad, servicio y rapidez”. En la actualidad es uno de los temas más debatidos en el ambiente de las oficinas y fábricas de muchos países. No es ningún secreto que, para alcanzar el éxito en el mundo de los negocios, inclusive sobrevivir, es necesario realizar cambios fundamentales en la forma como se dirigen las empresas. Por lo tanto, en el mundo cambiante de los negocios de hoy día, nadie puede darse el lujo de operar de igual forma a lo largo de la vida útil de su establecimiento. Sería erróneo hacerlo, ya que los demás negocios pertenecientes a su ramo o competencia podrían tomar ventaja de esta gran oportunidad.

Cuando se lleva a cabo procesos de Ingeniería es necesario tener un debido control de cada uno de ellos además de conocer la eficiencia de los mismos. El rediseño nos permite mejoras para obtener un mejor rendimiento y mejoras físicas en los equipos.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

El Ecuador es un país netamente agrícola y en general en el centro del país el suelo cultivado es destinado a la ganadería para producción de leche y de carne, es así que según datos recopilados en el (INEC, 2018, pp. 4-5), en la encuesta de superficie y producción agropecuaria el 67,42% del suelo cultivado está destinado a pasto para alimentación animal, esto representa 1500 Ha; este cultivo se divide en grandes parcelas, medianas y pequeñas.

En similares encuestas realizadas por (INEC, 2018, pp. 4-5); se reporta que la producción anual de leche en el 2018 fue de 5135,405 L, esto reporto un incremento de 12,8% con respecto a datos recopilados en el año 2017; el crecimiento de la población y diferentes regímenes de alimentación en los que se incluye la leche o productos lácteos derivados en la dieta diaria han provocado el aumento significativo de actividades económicas ligadas a la producción de leche.

Otro de los problemas que se denotan con el escaso crecimiento de las industrias, es la poca variedad de bebidas lácteas que aparecen en el mercado, esto se evidencia según datos del (INEC, 2018, pp. 4-5) únicamente el 21,80% de la leche producida es transformada en yogurt, con estos datos se ha reportado un crecimiento del 2,61% con respecto a datos recopilados en el año 2016 y 2017; lo que está generando que no se logre cumplir con lo requerido por el mercado y sea necesario la importación de este producto lácteo de países vecinos en especial de Colombia.

El incremento significativo de la leche no ha ido en concordancia con el aumento de empresas que produzcan leche procesada o derivados lácteos, esto por el desconocimiento de los productores o la falta de inversión en infraestructura y maquinaria que permita procesar la leche, esto ha incrementado el monopolio del mercado por parte de grandes industrias que encarecen el precio de la leche y disminuye el margen de ganancia de los productores.

El resultado de los problemas antes mencionados, es la pérdida de competitividad con las grandes industrias, lo que causa que sea mayor el costo de la producción de yogurt y se pierda mercado,

ya que los consumidores optan por productos que remplacen el yogurt, en especial toman importancia las bebidas lácteas preparadas a partir de suero de leche.

La producción industrial de yogurt se lleva a cabo normalmente mediante procesos automatizados, en el que la calefacción, la fermentación, la refrigeración y la agitación se producen en distintas partes del equipo (Brito, 2001). Sin embargo, para la producción de yogurt en una empresa pequeña, todos los procesos de producción pueden llevarse a cabo en un recipiente multitarea.

La planta de Lácteos de la Escuela Superior Politécnica, Estación Experimental Tunshi requiere el rediseño y correcto mantenimiento de varios de sus equipos tomando en cuenta el área disponible en la planta de producción.

Proponiendo el rediseño del reactor para el proceso de elaboración de yogurt, mediante cálculos de ingeniería considerando que debe permitir que el producto terminado cumpla con la norma NTE INEN 2395: 2011 para leches fermentadas.

1.2. Antecedentes

Existen varios métodos para la producción de yogurt en un tanque multitarea. Estos equipos incluyen predominantemente tanques enchaquetados, la mayoría de ellos basados en impulsores tipo paletas (Brito, 2001).

Para un buen desempeño durante los procesos de calentamiento y enfriamiento es necesario contar con equipos de agitación; sin embargo, no existen datos publicados sobre la influencia de las condiciones de agitación mediante impulsores en las características del yogurt. A pesar de ello se sugiere el uso de los mismos para disminuir el tiempo de residencia del proceso. (Deeth, 1980).

Debido a que en la planta de Lácteos ESPOCH-Tunshi requiere mejorar las condiciones físicas del equipo para obtener un menor tiempo del proceso surge la necesidad de contar con el equipo adecuado para tal fin, para lo cual es necesario el rediseño de un reactor para yogurt localizado en la planta.

Con los conocimientos obtenidos en las diferentes cátedras a lo largo de la carrera entre ellas cabe recalcar: Operaciones Unitarias, Reacciones de Ingeniería y Química de Alimentos se puede realizar el rediseño del reactor tipo Batch considerando: tamaño, modo de operación y caracterización de la materia prima.

En este contexto el **“REDISEÑO DE UN REACTOR PARA EL PROCESO DE ELABORACION DE YOGURT EN LA PLANTA DE LACTEOS ESPOCH-TUNSHI”** es

de gran utilidad para aprovechar los cálculos de ingeniería y considerar la construcción del equipo esperando que disminuya el tiempo de residencia del proceso obteniéndose así más producto terminado diariamente.

1.3. Beneficiarios directos e indirectos

1.3.1. Beneficiarios directos

- La planta de Lácteos ESPOCH-Tunshi es el beneficiario directo de esta propuesta, al realizar este rediseño con efectividad comprobada para ser construido posteriormente cubriendo así las necesidades que se presentan en la planta sirviendo el mismo como base para la construcción del equipo.

1.3.2. Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos de la aplicación del presente trabajo técnico serán:

- Los estudiantes principalmente de los niveles superiores interesados en conocer acerca de rediseño de equipos. Teniendo así la oportunidad de aplicar lo aprendido durante la carrera con respecto a cálculos de Ingeniería.
- Con el desarrollo de este proyecto se beneficiará todo el personal que participe en el proceso de elaboración de yogurt.
- Los docentes que tendrán una ayuda didáctica y una fuente de consulta además de poder impartir a sus estudiantes, siendo importante su conocimiento para estudiantes de la carrera de Ingeniería química ayudándoles a desarrollar temas de importancia dentro de la misma.

1.4. Localización del proyecto

El presente trabajo experimental se realizó en la estación experimental “Tunshi” ubicada en el cantón Licto, en la provincia de Chimborazo, Comunidad Tunshi; en esta se tomaron las muestras de la materia prima además de realizarse los análisis de la misma y se evaluó las condiciones iniciales del reactor, en la Tabla 1-3 muestran las condiciones experimentales y en la Figura 1-3 se muestran la localización geográfica de la locación.

Tabla 1-1: Condiciones Experimentales de la estación experimental “Tunshi”

No	Parámetros	Valores Promedios
1	Altitud, msm.	2822
2	Temperatura, °C	11,5
3	Precipitación, mm/mes.	620
4	Humedad relativa, %.	50

Fuente: Google Maps

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina, 2020



Figura 1-1: Georreferenciación de la extensión experimental “Tunshi” de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH

Fuente: Google Maps

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo General*

- Rediseñar el reactor para el proceso de elaboración de yogurt en la Planta de Lácteos de la Estación Experimental ESPOCH-Tunshi.

1.5.2. *Objetivos Específicos*

- Diagnosticar el estado actual en el que se encuentra el reactor en el proceso de elaboración de yogurt.

- Identificar las variables de diseño para la elaboración de yogurt.
- Rediseñar el reactor con los respectivos cálculos de ingeniería.
- Plantear alternativas de soluciones con respecto al funcionamiento del equipo.
- Validación económica del diseño.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Línea base del proyecto

2.1.1. *Antecedentes de la Institución*

El presente trabajo se realizó en la Planta de Lácteos perteneciente a la ESPOCH ubicada en Tunshi.

2.1.1.1. *Planta Experimental de Lácteos ESPOCH-Tunshi*

A raíz de la creación de la carrera de industrias pecuarias, se instaló una planta láctea en la Estación Experimental “Tunshi”, al comienzo se procesaba leche para transformar en leche pasteurizada, queso y yogurt para consumo local, se procesaba alrededor de 100 litros diarios de leche, los cuales eran comercializados en los distintos puntos de la ciudad de Riobamba, con lo que se generaban ganancias que eran reinvertidas en la planta (ESPOCH, 2017).

A partir del año 2010, la planta dejó de producir para la población y únicamente funciona cuando los estudiantes tienen que realizar investigación o prácticas de laboratorio, la reducción del presupuesto ha llevado que los equipos se encuentren obsoletos y procesen alrededor de 20 litros diarios (ESPOCH, 2017).

La Estación Experimental Tunshi brinda: Apoyo académico, investigación, vinculación y gestión, otorgando a la sociedad profesionales de alta calidad teórico-práctico.

La revisión bibliográfica, determinación de materia prima, análisis iniciales de materia prima y recolección de datos y medidas del equipo se realizó en la misma.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Lácteos

Lácteo es el término con el cual se define al producto elaborado a base de leche o algún producto derivado de ella. Cabe aclarar que los lácteos también pueden contener otros ingredientes y aditivos alimentarios que en algunos casos son necesarios para su elaboración (Santos, 2007).

2.2.2. Leche

El autor (INEN, 2018, pp. 1-2) indica que la leche es el producto integro, no alterado ni adulterado, del ordeño higiénico, regular, completo e interrumpido de animales sanos y bien alimentadas, sin calostro y exento de color, sabor y consistencia anormales.

Por lo general se utiliza leche de vacas y ovejas, pero en el mercado ecuatoriano la que mayor consumo reporta es la leche de vaca, esta es obtenido de grandes, medianas y pequeñas ganaderías, la leche es obtenida directo de las granjas y son transportadas en sistemas de acero inoxidable para utilizar en diferentes procesos, los que incluyen pasteurización; descremado, producción de yogurt, de queso y otros derivados lácteos (INEN, 2018, pp. 1-2).

Características generales

La leche debe cumplir con características que hagan que sea de elevada calidad, si no logra cumplir con estos parámetros es indicativo que a la leche se le adicionado diferentes sustancias que cambian su estructura normal, o que el alimento y medicamentos que se le ha suministrado a las vacas tienen presencia en el producto y afectan a su calidad, por lo que es necesario que la leche cumpla con las características que se mencionan a continuación.

➤ Olor

(Harding, 2015, pp. 185-187), en el estudio de las características generales de la leche indica que el olor o aroma, de la leche recién ordeña debe ser ligeramente perceptible, olores fuertes parecidos a heces de las vacas o a olores de establo son indicativos de que la leche presenta acidez y problemas bacterianos que causan putrefacción de las grasas y descomposición de las proteínas que se encuentran en la leche.

Además del olor ligeramente apreciable, la leche de características normales debe presentar un sabor medio dulce o neutro debido a la presencia de azúcares como por ejemplo la lactosa, un sabor muy fuerte indica la adición de saborizantes u otro tipo de compuestos químicos que afectan

a la percepción de esta característica organoléptica, esto dependerá del tipo de leche que se requiera y la calidad final de la misma (Harding, 2015, pp. 185-187).

➤ **Gravedad y Densidad de la leche**

(Reneau, 2011), en el monitoreo de la leche generada en granjas controladas argumenta que es necesario conocer las propiedades físicas normales de la leche ya que indican si el producto ha sido adulterado o presenta adición de sustancias químicas que pueden ser detectadas fácilmente mediante pruebas de fácil aplicación, la gravedad específica de la leche oscila entre 1,028-1,034 expresada en grados de densidad y la densidad aproximada de la misma es de 1,032 mg/mL.

La densidad final del producto resulta de la combinación de los componentes como son: agua (1,00 g/mL), grasa (0,931 g/mL), proteínas (1,346 g/mL), lactosa (1,66 g/L) y sólidos no grasos (1,616 g/L), en contraste a estos resultados leches con alta presencia de agua conocidas como aguadas tienen una densidad aproximada de 1,029 g/mL, leche descremada reporta densidad igual a 1,036 g/mL; respuestas mayores a este índice son resultado de adición de sustancias extrañas que alteran la composición normal de la leche (Reneau, 2011).

➤ **pH y Acidez**

La variación del pH de la leche depende en gran parte del estado de sanidad de las vacas y de los microorganismos responsables de convertir la lactosa en ácido láctico, para que la leche este en estado normal el pH no debe ser mayor a 8 y menor a 5; pH con valores bajos indican que una alta tasa de producción de ácido láctico que no es recomendable ya que se pierde el contenido normal de lactosa, así como valores superiores a pH 8, indica la putrefacción de los azúcares y son indicativo de la presencia de microorganismos patógenos (Reneau, 2011, pp. 4-11).

(Reneau, 2011, pp. 4-11), explica que la leche cruda tiene acidez titulante como resultado de 4 tipos diferentes de reacciones, los tres principales tipos de reacciones son resultado de la acidez natural de la leche cruda y la cuarta reacción es resultado de la reacción entre las bacterias contaminantes y los azúcares de la leche, la que va aumentando a medida que la colonia bacterial aumenta, llegando a problemas de degradación de azúcares.

Los factores que producen la acidez natural de la leche son (Spreer, 2011, pp. 45-49):

- Acidez de la caseína anfótera, lo que constituye alrededor del 40% del total de la acidez de la leche.
- Acidez de las sustancias minerales, ácido carbónico y ácidos orgánicos naturales de la leche, que representa el 20% del total de la acidez de la leche.

- Reacciones generadas por la presencia de fosfatos en la leche, reportan el 20% de la acidez total de la leche.

(Spreer, 2011, pp. 45-49), incluye además que es importante realizar pruebas de determinación de la acidez total de la leche, ya que indicaran el grado de alteración de la leche, en condiciones normales de producción la leche debe tener un valor de acidez entre 0.15-0.16%; valores menores indican que la leche viene de vacas con mastitis, que la leche es aguada o contiene sustancias alcalinas (adicionadas para enmascarar los problemas de putrefacción) y resultados mayores a 0.16% infieren que en la leche existen bacterias contaminantes.

La contaminación por bacterias influye en el poder reductor de la leche, esto por efecto del mayor consumo de oxígeno generado por el incremento de las colonias bacterianas, esto es favorable para el análisis de laboratorio que se realizan a la leche, como por ejemplo la prueba del azul de metileno el cual si presente un color rosado es resultante de la presencia de resazurina, por la presencia de leucocitos que afectan en la calidad de la leche (Spreer, 2011, pp. 45-49).

En la Tabla 1-2, se muestra un resumen de las propiedades físicas que tiene la leche cuando se encuentra en condiciones óptimas.

Tabla 1-2: Características físicas de la leche en condiciones normales

No	Característica	Valor	Unidad
1	Densidad	1.032	g/mL
2	Calorías por litro	700	cal
3	pH	6.6-6.8	-
4	Viscosidad	1.6-2.15	Pa/m.s
5	Índice de refracción	1.35	µm
6	Punto de congelación	-0.55	°C
7	Calor específico	0.93	cal/g °C

Fuente: (Spreer, 2011).

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina, 2020.

➤ **Propiedades químicas de la leche**

(Brito, 2015, pp. 151-158), en el estudio químico y físico de la leche en Brasil indica que las características químicas de la leche varían considerablemente de acuerdo a la raza de la vaca, el estado de lactancia, alimento, época del año, pero la mayoría de componentes se encuentran

estables y son importante conocer para determinar si existe alguna alteración en las condiciones normales de producción de la leche.

De acuerdo a la definición química la leche es una mezcla homogénea de un considerable número de sustancias como son: lactosa, glicéridos, proteínas, sales, vitaminas, enzimas. Estas sustancias están algunas en emulsión (grasas y sustancias apropiadas), otras en suspensión (caseína y sales minerales) y algunas se encuentran en disolución verdadera (lactosa, vitaminas hidrosolubles, proteínas que forman el suero, sales) (Brito, 2015, pp. 151-158).

La leche contiene nutrientes necesarios para la dieta diaria humana, esto la hace altamente digestible; en la Tabla 2-2 se muestran las características químicas principales de la leche de vaca.

Tabla 2-2: Características químicas de la leche de vaca

No	Característica	Valor	Unidad
1	Extracto Seco	11.70	%
2	Contenido de caseína	2.50	%
3	Contenido de albuminas	0.60	%
4	Contenido de lactosa	3.1	%
5	Contenido de Lípidos	4.90	%
6	Contenido de minerales	3.00	%
7	Aporte de calorías	59-65	Kcal
8	Contenido de agua	80-89	%
9	Contenido carbohidratos	4.8-5	g
10	Contenido de proteínas	3-3.1	g
11	Contenido de grasas	3-3.1	g
12	Contenido de Sodio	30	mg
13	Contenido de Fósforo	90	mg
14	Contenido de Potasio	142	mg
15	Contenido de Cloro	105	mg
16	Contenido de Magnesio	8	mg
17	Contenido de Calcio	125	mg
18	Contenido de Hierro	0.2	mg
19	Contenido de Azufre	30	mg
20	Contenido de Cobre	0.03	mg

Fuente: (Brito, 2015).

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina, 2020.

(Brito, 2015, pp. 151-158), argumenta que las propiedades de la leche están definidas por la composición química y por la estructura física, el componente de mayor presencia en la leche es el agua, esta es la fase continua en la que se encuentran dispersos las moléculas de grasa, por lo que las propiedades generales de la leche son consideradas como un sistema acuoso, el cual variara de acuerdo al contenido de agua y no al contenido de los demás componentes.

Contenido de sustancias grasas

(Sedeso, 2007, pp. 1-28), en el libro manual de control de la calidad de la leche indica que el contenido de materia grasa que puede contener la leche varía de acuerdo a la edad, raza y estado nutricional de la vaca, además hay que tener en cuenta ciertos factores como son la época del año, la cantidad de alimento consumido, el tipo de alimento, esto influye directamente aumentando o disminuyendo el porcentaje de grasa en la leche, además que afecta a la estabilidad microbiológica y físico química del producto.

En la leche la grasa se encuentra en forma de pequeños glóbulos sobre fundidos, esto hace que permanece en estado líquido incluso a temperaturas en las cuales las grasas deben estar sólidas, la materia grasa es estabilizada por una cubierta de fosfatos, que se encuentran presentes en proteínas, colesterol, carotenos y vitaminas de la serie A y B; estos hacen que formen una emulsión estable que únicamente se rompe por agitación energética (Sedeso, 2007).

(Sedeso, 2007), indica que el contenido graso de la leche lo forman un considerable numero de lipidos diferentes, de los cuales los que mayor presencia reportan son los trigliceridos con valores medias en la leche entre 35 a 45 gramos, tambien un grupo considerable de lipidos son la lecitina y los esteridos que se encuentran en un valor medio de 0.3 a 0.5 gramos, esto hace que la leche aporte grandes cantidades de energia a la dieta diaria.

Contenido de lactosa

(Allison, 2011); en el libro analisis de los residuos de la leche indica que el azúcar principal que se encuentra en la leche es la lactosa, con valores promedios entre 4.75 y 5.5%; la lactosa es un disacárido reductor, formado por la unión de moléculas de galactosa y glucosa, las cuales se originan en las glándulas mamarias de las vacas, esta sustancia le otorga a la leche un sabor algo dulce; además de favorecer a la presencia de bacterias formadoras de ácido láctico; esto es aprovechado para la producción de subproductos de la leche tales como yogurt, queso, kéfir entre otros.

Las propiedades de la lactosa que mayor importancia tienen son (Allison, 2011, pp. 9-16):

- **Poder Edulcorante:** La lactosa presenta un sabor débil casi 5 veces menor al de la sacarosa, el sabor dulce se enmascara por la caseína.
- **Cristalización:** Esto hace importante para la producción de alimentos derivados de la leche, a condiciones normales es un proceso lento y como resultado aparecen cristales de gran tamaño, pero de número reducido, los cuales son poco solubles.
- **Solubilidad:** Es baja en comparación con otros azúcares; estas pueden llegar a sobresaturarse antes de que exista cristalización.

Proteínas

(Allison, 2011, pp. 9-16), argumenta que la leche presenta un importante contenido de proteínas las cuales se encuentran distribuidas en micelas, lo que hace que formen un sistema coloidal altamente estable; pero es sensible a la disminución de pH. Las proteínas con mayor presencia en la leche son: caseína, proteínas de glóbulos grasos, lacto globulinas, lacto albuminas, estas dos últimas se encuentran en solución con sales minerales y forman el suero. En general la leche cruda de vaca tiene un máximo de 3% de proteínas.

Caseína

(Allison, 2011, pp. 9-16), estudia que esta es una fosfoproteína que representa cerca del 80% de proteínas que se encuentran en la leche, es un complejo formado entre caseinato y fosfato tricalcico, con lo que contienen grupos fosfatos que esterifican los aminoácidos, estas características hacen que se puede separar de la leche y quede en la parte grasa de la misma, la caseína separada de la leche se puede emplear en procesos de producción de plásticos, pinturas, ceras, jabón, textiles entre otros.

Proteínas del suero

(Bhemer, 2008, pp. 180-184), en el libro tecnología de la leche expone que las proteínas del suero de la leche son solubles y principalmente se encuentran formadas por holoproteínas y glicoproteínas; las que representan del 5-10% de las proteínas de la leche, las principales proteínas que conforman este grupo son lacto albuminas, globulinas y seroalbuminas, tienen la capacidad de coagular la caseína y formar un compuesto estable que es la base para la industria del queso; además estas proteínas se encuentran disueltas en la parte acuosa de la leche.

Minerales

(Bhemer, 2008, pp. 180-184), argumenta que la leche es uno de los alimentos naturales que mayor contenido de minerales presenta, estos se encuentran constituidos por sales solubles e insolubles de aniones orgánicos e inorgánicos principalmente provenientes de la sangre de las vacas, los

principales componentes minerales de la leche son: Fosfatos, Citratos, Cloruros, Bicarbonatos de Sodio, Potasio, Calcio y Magnesio; el contenido de minerales fluctúa entre el 0.7 – 0.8% en base húmeda, mismos que se encuentran en solución o en fase coloidal.

2.2.3. *Yogurt*

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2018, pp. 1-2), define al yogurt como “el producto obtenido por fermentación láctica de la leche o mezcla de estas con derivados lácteos, mediante la adición de bacterias lácticas como son *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* que le confieren las características al producto terminado, estas bacterias deben ser viables y activas desde su inicio y durante toda la vida del producto. Puede ser adicionado o no ingredientes y aditivos indicados en la norma.”

(Santos, 2007, pp. 158-159), indica que la leche y los derivados lácteos constituyen una fuente importante de nutrientes en la dieta diaria de los pobladores del Ecuador, en general el yogurt es rico en vitaminas y minerales provenientes de la leche, además de que la lactosa y las grasas son de más fácil digestión por efecto de la degradación producto de las bacterias lácticas, esto hace que pueda ser incluidas en la dieta de personas intolerantes a la lactosa.

Importancia nutricional del yogurt

- **Contenido de carbohidratos**

(Santos, 2007, pp. 158-159), analiza que el yogurt contiene importantes trazas de mono y disacáridos; pero no logran remplazar a la lactosa que es el azúcar de mayor presencia en el yogurt proveniente de la leche que en el yogurt tiene un promedio igual entre 4-5%; estos carbohidratos ayudan a la estabilidad del yogurt ya que evitan la separación del suero junto con partículas suspendidas; algunos de estos carbohidratos no son digeridos por las enzimas intestinales del cuerpo humano.

- **Proteínas**

(Santos, 2007, pp. 158-159), analiza que el yogurt tiene un alto contenido de proteínas, dado que uno de los componentes principales es la leche en polvo; reportando un valor elevado biológico con una concentración elevada de proteínas del lacto suero, con un importante contenido de aminoácidos esenciales; en especial la caseína que en el yogurt se encuentra en forma descalcificada, lo que hace que sea más fácil la asimilación en el organismo humano.

- **Lípidos**

Uno de los componentes mayoritarios del yogurt son los lípidos, que dan las características de viscosidad, textura, estos lípidos evitan la sinéresis; en el yogurt se debe tener un máximo de 3% para el yogurt entero y 0.5% para el yogurt descremado; estos lípidos no son grasas malas, ya que es mínimo el contenido de triglicéridos; como efecto de la hidrólisis de los lípidos que permiten la producción de yogurt (Santos, 2007, pp. 158-159).

- **Vitaminas y minerales**

(Santos, 2007, pp. 158-159), analiza que los principales minerales del yogurt son el calcio y el fósforo; estos son de fácil absorción, el contenido de estos minerales en el yogurt depende de la cantidad de microorganismos adicionados; mientras que el yogurt tiene alto contenido de ácido fólico por las reacciones que se dan entre la vitamina B1 y B2; además de que se logran mantener las vitaminas B12 y C; provenientes de la leche y se estabilizan con la adición de bacterias.

En la Tabla 3-2; se muestra la composición normal del yogurt elaborado a partir de leche de vaca.

Tabla 3-2: Componentes del yogurt

No	Compuestos	Medida	Unidad
1	Proteínas	3.8	g
2	Grasas	3.4	g
3	Carbohidratos	4.9	g
4	Calcio	145	mg
5	Vitamina A	140	mg

Fuente: (Santos, 2007)

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina, 2020.

- **Procesos de producción del yogurt**

(Alais, 2008, pp. 484-492), en el libro ciencia de la leche indica que para la elaboración del yogurt es necesario seguir una serie de etapas anteriores a la adición de cultivos bacterianos; mismas que servirán para mejorar la calidad del producto final; entre los procesos que mayor importancia tienen están: Selección de la materia prima (leche, saborizantes, colorantes), estandarización de la leche, homogenización, pasteurización y enfriamiento, es necesario controlar las variables que puedan afectar a la calidad final en cada etapa.

- **Selección de la materia prima**

(Alais, 2008, pp. 484-492), investiga que la principal materia prima que se utiliza en la producción de yogurt es la leche, la cual puede ser pasteurizada, leche concentrada, leche total o parcialmente desnatada, leche en polvo, suero de leche en polvo, proteínas de la leche y otros productos procedentes de la fragmentación de la leche; las principales características de la leche para la elaboración de yogurt deben ser:

- Puede ser pasteurizada, la cual se ha sometido a un proceso térmico que garantiza la destrucción de patógenos, pero no afecta a las características físico-químicas y organolépticas de la leche.
- Debe tener una cantidad entre 60-80% de agua, no debe contener detergentes o desinfectantes, no debe contener antibióticos ni pesticidas e insecticidas.
- Se puede emplear leche en polvo; la cual debe presentar un aspecto homogéneo, además no debe tener indicios de ranciedad, sabor amargo o cualquier otro sabor u olor extraño.

(Alais, 2008, pp. 484-492), indica que además de la leche, es necesario adicionar al yogurt azúcares o edulcorantes de acuerdo al tipo de yogurt; los cuales no aportan ningún valor nutritivo al yogurt, pero mejoran el sabor; es recomendable aplicarlo en dosis pequeñas.

Otro de los productos esenciales en la producción de yogurt son los cultivos bacterianos; los más utilizados en la actualidad para la producción industrial son el *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*; el primero de estos es el encargado de producir ácido láctico además forman mucilagos que aumenta la viscosidad del yogurt y los segundos son los encargados de reducir la lactosa que mejora la digestibilidad de la bebida (Alais, 2008, pp. 484-492).

Para determinar la calidad del cultivo y la viabilidad en la producción, es necesario realizar un análisis organoléptico, evaluando así el olor, color y sabor; ya que el cultivo debe ser aromático, blanco brillante y ácido aromático.

- **Estandarización**

(Alais, 2008, pp. 484-492), indica que este proceso se realiza para lograr el aumento de los sólidos totales presentes en la leche, logrando así estandarizar la cantidad de grasa; la técnica que se realiza para lograr este proceso es agregar leche en polvo hasta conseguir el contenido de sólidos necesarios; este proceso es necesario para evitar formación de geles, yogures con características muy débiles que dan como resultado la separación del suero de la leche, la cantidad de sólidos finales dependerá de lo requerido por el fabricante.

- **Homogenización**

(Aguilar, 2014, pp. 245-248), indica que la homogenización consiste en someter a la leche a temperaturas superiores a 60°C; esto ayuda a disminuir el tamaño de las gotas de grasa emulsificador en la leche, con esto se consigue un yogurt con mayor viscosidad, más estable y con mejores propiedades organolépticas (olor, color, sabor); esta operación se lleva a cabo entre una o dos horas y es necesario controlar que la leche no suba de temperatura.

- **Pasteurización**

(Aguilar, 2014, pp. 245-248), analiza que es una de las etapas que mayor importancia tienen al momento de realizar el yogurt, ya que en esta se desnaturalizan las proteínas que forman el yogurt, esto ocasiona la liberación de péptidos que contribuyen al crecimiento bacteriano de los microorganismos inoculados; es necesario realizar diferentes tratamientos térmicos en los que se debe incluir temperaturas de 90-95°C por 5 a 10 minutos y 80-85° durante 20 o 30 minutos.

(Aguilar, 2014, pp. 245-248), indica que si no se logra conseguir las temperaturas antes mencionadas genera un yogurt de baja viscosidad, textura granulada y una tendencia a la separación del suero de la leche, es necesario incluir además una etapa de enfriamiento después de la pasteurización alcanzando temperaturas entre 45-50°C, esto asegura que se cumpla con la capacidad de supervivencia de los microorganismos, la temperatura ideal de enfriamiento es 42°C.

- **Inoculación**

En esta operación se logra aislar y realizar el crecimiento de las bacterias adicionadas para la producción de ácido láctico, estos son cultivos liofilizados (*S. thermophilus* y *L. bulgaricus*); para que se dé correctamente esta operación es necesario agitar de manera correcta la leche, y alcanzada la temperatura de 42°C se incuban los microorganismos en la leche para su fermentación; la inoculación asegura que se dé la curva normal de crecimiento bacteriano (Aguilar, 2014, pp. 245-248).

- **Fermentación**

(Aguilar, 2014, pp. 245-248), argumenta que la fermentación es la etapa donde se producen las reacciones químicas de transformación de la lactosa en ácido láctico, esto mediante la metabolización de las bacterias para cubrir las necesidades energéticas, dando paso a la formación de ácido láctico, ácido carbónico y residuos, en esta etapa se desestabilizan los complejos de

caseína; por la solubilización del fosfato cálcico con los citratos; estos agregados se asocian y coalescen parcialmente a medida que el pH se aproxima a su punto isoeléctrico.

- **Enfriamiento**

Esta etapa consiste en disminuir la temperatura del yogurt obtenido, con esto se controla la formación de la actividad metabólica de los cultivos lácticos y las enzimas, esto se realiza posterior a alcanzar la acidez y el pH óptimo del producto, con valores de 4.6 o a la concentración de ácido láctico igual a 0.9%, el enfriamiento se debe realizar hasta temperaturas iguales a -10°C tan rápido como sea posible, para así controlar la acidez final del producto.

2.2.4. Reactores

El reactor es un equipo que funciona de manera mecánica, en su interior se genera una reacción de tipo enzimática o química. Está constituida por un tanque que cuenta con un sistema de agitación, con capacidad de generar condiciones térmicas.

- **Tipos de reactores**

Los reactores se clasifican según su función y las variables con las que se trabaje, a continuación, se indicaran los más utilizados en las industrias e ilustrado en la Figura 1-1.

- **Reactor Batch:** También conocido como reactor discontinuo, este equipo trabaja en 3 etapas en la primera etapa se carga el medio con el inóculo, en la segunda se genera la reacción y en la tercera se descarga.
- **Reactor Batch con recirculación:** Su forma de trabajo es similar al reactor discontinuo, este tipo de reactores son muy utilizados en procesos que se generan diferentes fases de dentro del tanque a pesar que tiene un sistema de agitación, se coloca una bomba que succiona de la parte inferior y descarga a la superior ayudando a mantener homogéneo el medio.
- **Reactor agitado-ultrafiltración:** Trabaja igual al discontinuo, se utiliza bastante para la producción de microorganismos, cuando llega a la fase logarítmica (etapa donde se genera la mayor cantidad de microorganismos, se aplica para la extracción de microorganismos del medio (suspendidos en el medio), extrayendo la parte sólida y regresando el resto al tanque.
- **Reactor continuo:** Es un tanque de agitación con aspa donde se ingresa y se extrae continuamente fluido del medio, son utilizados en procesos de poco tiempo de retención.

- **Reactor de lecho fluidizado:** Está constituido por un lecho de sólidos o partículas catalíticas. Este reactor ayuda a facilitar la carga y la expansión de la enzima por todo el medio, cuenta con una excelente transferencia de calor y características de mezclado.
- **Reactor continuo de lecho empacado:** Posee tubos empacados donde se coloca las partículas de enzima, este equipo trabaja en posición vertical el fluido ingresa por la parte inferior y descarga por la superior.

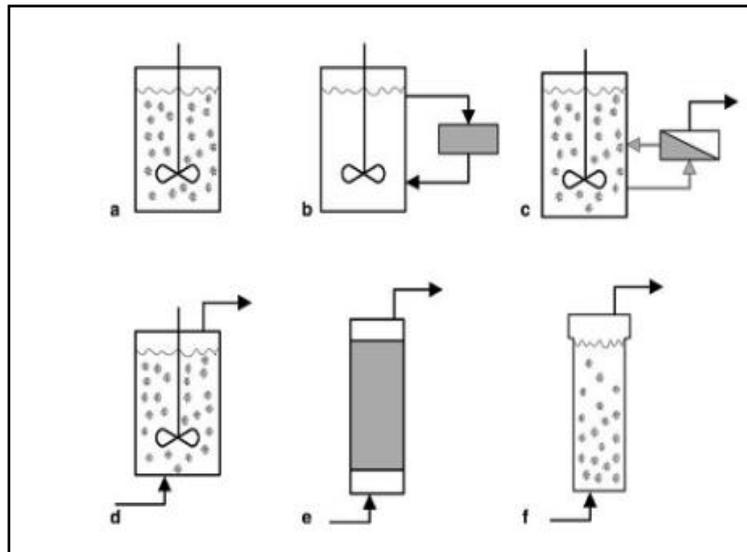


Figura 1-2: Configuraciones de reactores con enzimas inmovilizadas: A: Batch; B: Batch con recirculación; C: agitado-ultrafiltración; D: continuo-agitado; E: Continuo de lecho empacado; F: continuo de Lecho fluidizado.

Fuente: (Nauman, 2002)

- **Reactor Batch**

El concepto asume que los reactivos serán cargados en su interior y perfectamente homogenizados antes de iniciar la reacción, también la temperatura será inmediatamente ajustada a la del medio de intercambio de calor, bajo un mezclado continuo (Brito, 2001).

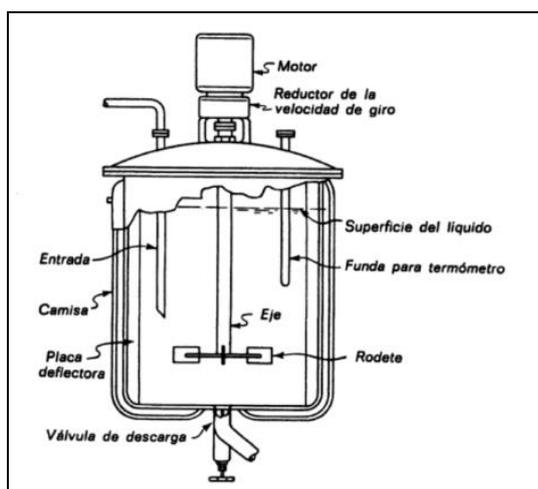


Figura 2-2: Reactor Batch

Fuente: (McCabe, 2007)

Agitación y Mezcla

La agitación y la mezcla son operaciones básicas utilizadas en la ingeniería de procesos. La agitación se refiere principalmente al movimiento que se genera en un material de una manera específica, principalmente con un equipo que genera movimiento circulatorio dentro de algún tipo de contenedor o estanque el cual puede ser cerrado o abierto.

La mezcla consiste en la homogenización al azar de dos o más materiales que en un inicio se encontraban separados. Para el presente trabajo se estudia la operación de la agitación y no la mezcla, la cual definirá el diseño del agitador.

Sistema de Agitación

Un sistema de agitación puede ser clasificado dependiendo de varios criterios dentro de los cuales se pueden indicar los siguientes:

- Según el modelo de flujo producido (axial, radial, tangencial).
- Dependiendo de la viscosidad del fluido.
- La relación que existe entre el diámetro del agitador y el del estanque.
- La velocidad inducida en el fluido.
- El tipo de régimen al que está sometido el fluido (laminar o turbulento).
- La geometría del fondo del estanque, etc. Un agitador de fluidos puede realizar varios propósitos al mismo tiempo y dependerán entonces para su elección tanto las características mecánicas y de proceso solicitadas en un proyecto determinado.

Los agitadores de flujo axial como radial se dividen en tres tipos que son los siguientes:

- Paletas
- Turbina
- Hélice

- **Agitador de palas o de paletas**

Operan a velocidades moderadas, es un agitador de flujo radial y axial (McCabe, 1993). Se usan de 2 a 4 paletas que giran en eje vertical; ubicadas en el centro del tanque. Los agitadores de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm, utilizado en tanques de alimentación pequeños y medianos.

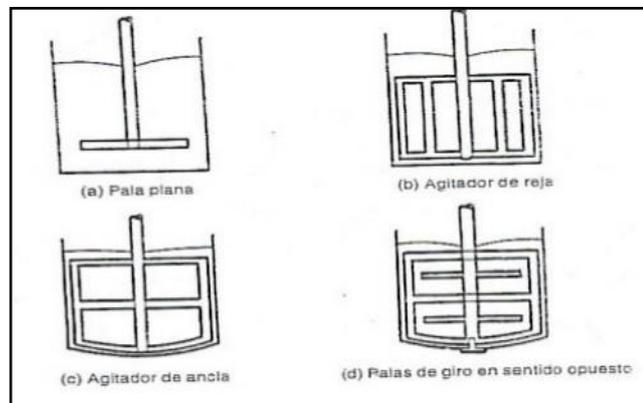


Figura 3-2: Agitadores de paleta

Fuente: (McCabe, 2007).

- **Agitadores de turbina**

El impulsor se compone generalmente de numerosas palas cortas, las que giran medias y altas velocidades sobre un eje montado centralmente en el estanque. Se consideran velocidades medias de 100 a 300 rpm y elevadas de 300 a 1000 rpm (McCabe, 2007).

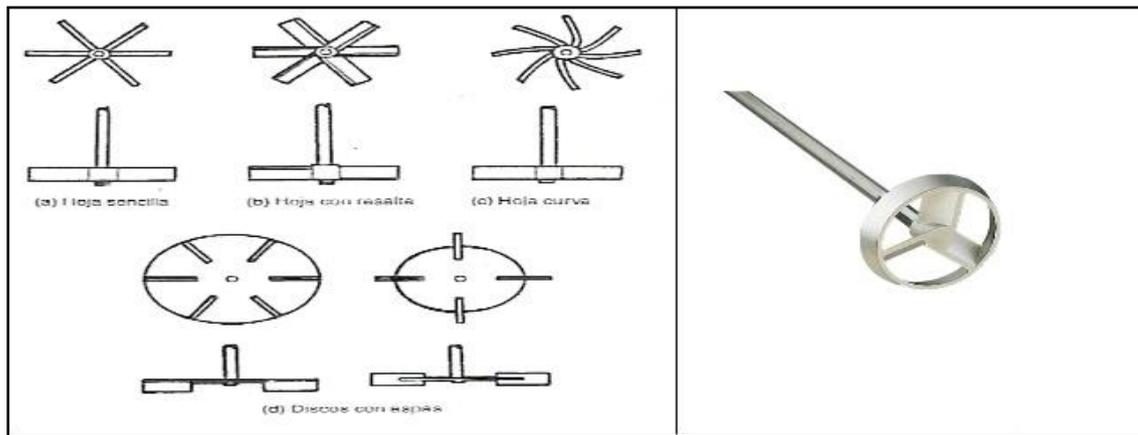


Figura 4-2: Agitadores de turbina

Fuente: (McCabe, 2007)

- **Agitadores de hélice**

El flujo de un impulsor de hélice es axial, trabaja a altas velocidades y se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas pueden girar utilizando transmisión directa a una velocidad que varía entre 1150 y 1750 rpm; las hélices grandes pueden girar entre 400 y 800 rpm (McCabe & Reynolds, 1998).

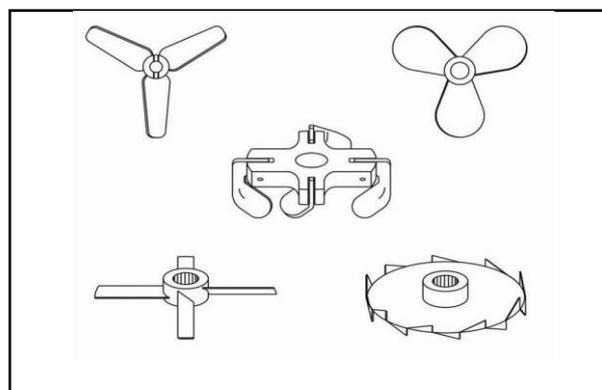


Figura 5-2: Agitadores tipo hélice

Fuente: (McCabe, 2007)

Actúan 3 tipos de movimientos en los tanques de agitación:

- **Velocidad radial:** Actúa en dirección perpendicular al eje del rodete.
- **Velocidad longitudinal:** Actúa en dirección paralela al eje del rodete.
- **Velocidad tangencial o rotacional:** Actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete.

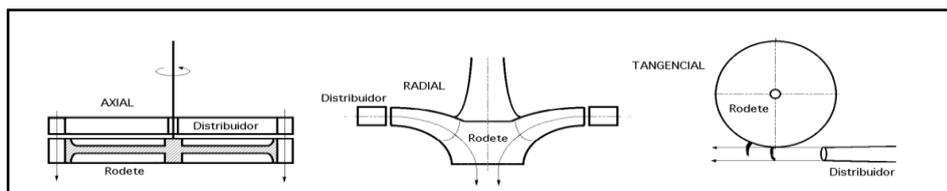


Figura 6-2: Agitadores tipo hélice

Fuente: (McCabe, 2007)

2.2.5. Rediseño

El rediseño es el cambio que se realiza a un equipo industrial o prototipo mecánico ya sea por mal rendimiento o mala ergonomía, con el fin de sacarle el mayor provecho.

Aplicación

Rediseño por rendimiento es uno de los factores más habituales por el que hacen el rediseño, el problema que puede ser de tipo mecánico, eléctrico o electrónico.

- **Rediseño mecánico**

Son cambios que se hacen a un equipo dado por desgaste o fatiga del material por el trabajo que este es sometido, ya sea por vida de uso, mal mantenimiento, mal manejo o por mal diseño de equipo.

- **Proporciones del Agitador**

Teniendo conocimiento de las variables dimensionales a considerar la siguiente figura muestra las proporciones geométricas de estas dimensiones para una agitación estándar.

$\frac{D_A}{D_T} = \frac{1}{4}$	$\frac{H}{D_T} = 1$	$\frac{B}{D_T} = \frac{1}{12}$
$\frac{E}{D_A} = 1$	$\frac{W}{D_A} = \frac{1}{8}$	$\frac{S}{D_A} = 1$

Figura 7-2: Proporciones geométricas de un sistema de agitación estándar

Fuente: (Coker, 2001)

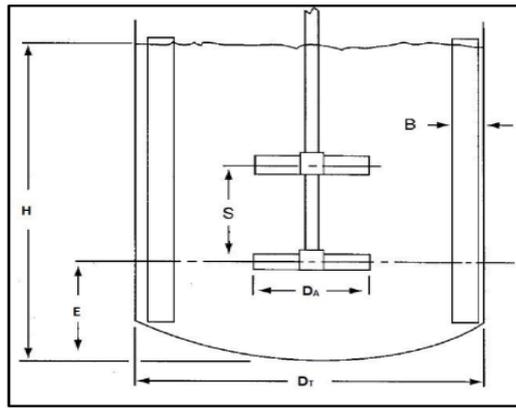


Figura 8-2: Variables dimensionales

Fuente: (Coker, 2001)

Donde:

- ΦT : Diámetro del tanque
- H: Altura del líquido
- ΦA : Diámetro del agitador
- B: Ancho de la placa deflectora
- E: Distancia del fondo del tanque hasta el rodete
- S: Separación entre agitadores
- W: Ancho de las aspas de la turbina o agitador de paletas

La viscosidad del fluido, es uno de los diferentes factores que influyen en la selección del tipo de agitador.

El tipo de agitador a utilizar se procede a escoger de acuerdo a la viscosidad del fluido:

TIPO DE RODETE	VISCOSIDAD (Pa*s)
Ancla	$10^{-1} - 2$
Hélice	$10^{-3} - 10^1$
Turbina	$10^{-3} - 3*10^1$
Paletas	$10^{-1} - 3*10^1$
Compuerta	$10^0 - 10^2$
Tornilla Helicoidal	$3 - 3*10^2$
Helicoidal de cinta	$10^1 - 2*10^3$
Extrusoras	$>10^3$

Figura 9-2: Rango de viscosidades para agitadores

Fuente: (Coker, 2001)

- **Agitación, Mezclado y necesidades de potencia**

Lo más conveniente en un tanque multiuso para la producción de yogurt a mediana escala, es tener un solo agitador. Cuya forma permita que se pueda utilizar en las diferentes fases de la producción, acoplando un motor de dos velocidades directamente en la tapa del tanque. Ya que, debido a la naturaleza del proceso, en las etapas en las que se necesita agitación, no debe existir ninguna fuente de contaminación; no se puede dejar la mezcla expuesta al ambiente mientras se agita, ni abrir el tanque para cambiar de agitador (Robinson, 1991).

La velocidad más rápida (35 - 40 rpm), es para emplearse en la preparación de la mezcla base, durante el tratamiento térmico y en el primer enfriamiento. La velocidad lenta (17 - 20 rpm), se utiliza para la suave agitación que necesitan la inoculación del cultivo bacteriano, el batido del coágulo, así como el segundo enfriamiento y la incorporación de los aromas y sabores (Robinson, 1991).

2.2.6. Ecuaciones de Rediseño

- **Viscosidad**

Se define como la mayor o menor resistencia que ofrece un líquido para fluir libremente (Brito, 2008).

$$\mu = K \times L \quad \text{Ec. 1-2}$$

Donde:

- μ = Viscosidad
- K = Lectura del Instrumento
- L = factor

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que es de gran importancia en múltiples procesos industriales, además de ser una variable de gran influencia en las mediciones de flujo de fluidos, el valor de viscosidad se usa como punto de referencia en la formulación de nuevos productos, facilitando la reproducción de la consistencia de un lote a otro.

- **Diámetro del rodete** (Coker, 2001)

Según (McCabe, 2007) es una elección adecuada como magnitud fundamental, y los factores de forma se calculan dividiendo las restantes dimensiones por el diámetro sean S1, S2, S3...Sn los factores de forma así definidos. El diámetro del rodete viene dado por la siguiente ecuación:

$$\phi_r = \frac{3}{4} \phi_i$$

Ec. 2-2

Donde:

- ϕ_r = Diámetro del rodete (cm)
- ϕ_i = Diámetro del rodete (cm)

Se toma como medida del tamaño del equipo y se emplea como variable en el análisis dimensional.

- **Longitud del rodete o brazo** (Coker, 2001)

La longitud del rodete de un agitador de paletas es del 50 al 80 % del diámetro interior del tanque (McCabe, 2007).

La longitud del brazo agitador está dada por la siguiente ecuación:

$$L_B = \frac{5}{8} \phi_i$$

Ec. 3-2

Donde:

- L_B = Longitud del brazo (cm)
- ϕ_i = Diámetro interno del tanque reactor (cm)

La función que cumple el brazo es la correcta homogenización dentro del reactor. En el sistema de agitación el rodete crea un sistema de flujo dentro del sistema haciendo que el líquido circule a través del tanque.

- **Distancia entre el agitador y el fondo del tanque** (Coker, 2001)

Debe existir una distancia adecuada entre el rodete y el fondo del tanque para una buena mezcla, para que todas las corrientes provocadas por la agitación puedan homogenizar totalmente el líquido del tanque en el proceso.

$$x = h - L_B$$

Ec. 4-2

Donde:

- x = Distancia entre el agitador y el fondo del tanque (cm)
- L_B = Longitud del brazo (cm)
- h = Altura del líquido (cm)

- **Anchura o alto de las paletas** (Coker, 2001)

La anchura de la paleta es de es de 1/6 a 1/10 de su longitud (McCabe, 2007).

$$A_P = \frac{1}{5} L_B$$

Ec. 5-2

Donde:

- A_P = Alto de la paleta (cm)
- L_B = Longitud del brazo (cm)

- **Espesor del Agitador** (Coker, 2001)

El espesor de la pala que soporta el rodete.

$$E_r = \frac{1}{10} L_B$$

Ec. 6-2

Donde:

- E_r = Espesor del rodete (cm)
- L_B = Longitud del brazo (cm)

- **Distancia entre rejillas** (Coker, 2001)

Es la distancia que existe entre las paletas planas inclinadas a 45° que se encuentran en el rodete para una homogénea agitación.

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

Ec. 7-2

Donde:

- X_p = Distancia entre rejillas (cm)
- L_B = Longitud del brazo (cm)
- 4 = Número de paletas

- **Número de Reynolds** (McCabe, Reynolds, 1998)

Es una expresión adimensional que permite caracterizar el movimiento de un fluido relacionando densidad, viscosidad, velocidad y la dimensión típica de un flujo. La presencia o ausencia de turbulencia en un fluido que se agita se puede relacionar con un número de Reynolds.

Cuando hablamos de un fluido no Newtoniano tomamos en cuenta al yogurt y se representa con la siguiente ecuación:

$$NRe = \frac{N * \Phi a^2 * \rho}{\mu}$$

Ec. 8-2

Donde:

- NRe = Número de Reynolds, adimensional.
- N = Velocidad de rotación, en rps.
- Φa = Diámetro del agitador, en m.
- ρ = Densidad del fluido, en Kg/m³.
- μ = Viscosidad del fluido, en Pa*s.

Según (Brito, 2008), para el régimen de flujo tenemos:

$NRe < 2100$ se tiene un régimen laminar.

$2100 > N_{Re} > 2400$ se encuentra en régimen de transición.

$N_{Re} > 2400$ está en flujo turbulento.

- **Potencia del motor del agitador**

Las variables de viscosidad, densidad, diámetro del rodete y velocidad de rotación están relacionadas con la potencia que consumen los fluidos laminares.

Para que en el rediseño del reactor el proceso de agitación sea eficaz en la fermentación, el volumen del fluido que está siendo agitado debe llegar hasta las paredes del estanque. Por ello es necesario conocer la potencia consumida por el agitador, relacionando el número de Reynolds y el número de potencia.

$$P = N_p * N^3 * \Phi a^5 * \rho$$

Ec. 9-2

Donde:

- P = Potencia del motor, en watts.
- N_p = Número de Potencia, adimensional.
- N = Velocidad de rotación, en rps.
- Φa = Diámetro del agitador, en m.
- ρ = Densidad del fluido, en Kg/m³.

Balances de Masa y Energía

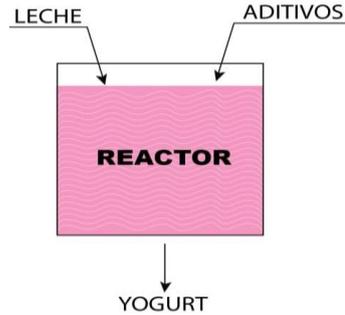
- **Balance de Masa**

El balance de masa es la aplicación de la ley de conservación de masa, la cual establece que: “La materia no se crea o se destruye, simplemente se transforma”. Expresando esta ley con la siguiente ecuación:

$$\sum Entradas - \sum Salidas = \sum Acumulaciones - \sum Consumos$$

Considerando que la materia generada y consumida es nula:

$$\sum Entradas = \sum Salidas$$



Alimentación = Producto

$$\text{Masa de la leche} + \text{Masa de los aditivos} = \text{Masa del yogurt} \quad \text{Ec. 10-2}$$

- **Densidad**

Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

Densidad de la Leche

$$\rho_L = \frac{m_{P+L} - m_P}{V}$$

Ec. 11-2

Donde:

- m_{P+L} = Masa de la probeta con la muestra de leche, en g.
- m_P = Masa de la probeta vacía, en g.
- V = Volumen de la leche, en mL.
- ρ_L = Densidad de la leche, en Kg/L.

Densidad del Yogurt

$$\rho_Y = \frac{m_{P+Y} - m_P}{V}$$

Ec. 12-2

Donde:

- m_{P+Y} = Masa de la probeta con la muestra de yogurt, en g.
- m_P = Masa de la probeta vacía, en g.
- V = Volumen del yogurt, en mL.
- ρ_Y = Densidad del yogurt, en Kg/L.

En la industria, el control de calidad de los productos finales incluye pruebas para su análisis físico y químico, la determinación de la densidad forma parte del esquema de pruebas que se realizan. Por ejemplo: Industria de alimentos, transporte de fluidos entre otras.

- **Masa de la Leche**

$$M_L = V_L * \rho_L$$

Ec. 13-2

Donde:

- V_L = Volumen de la leche, en L.
- ρ_L = Densidad de la leche, en Kg/L.
- M_L = Masa de la leche, en Kg.

- **Masa de Aditivos**

$$M_{\text{Aditivos}} = M_{\text{Cultivo}} + M_{\text{Conservante}} + M_{\text{Colorante}} + M_{\text{Azúcar}} + M_{\text{Espesante}}$$

Ec. 14-2

Donde:

- M_{Cultivo} = Masa del cultivo, en g.
- $M_{\text{Conservante}}$ = Masa del conservante, en g.
- $M_{\text{Colorante}}$ = Masa del colorante, en g.
- $M_{\text{Azúcar}}$ = Masa del azúcar, en g.
- $M_{\text{Espesante}}$ = Masa del espesante, en g.
- M_{Aditivos} = Masa total de los aditivos, en Kg.

- **Masa de Alimentación (A)**

En el reactor ingresará la leche entera, y una vez que se encuentre pasteurizada, se le agregarán los aditivos.

$$A = M_L + M_{\text{Aditivos}}$$

Ec. 15-2

Donde:

- M_L = Masa de la leche, en Kg.
- M_{Aditivos} = Masa total de los aditivos, en Kg.
- A = Masa de la alimentación, en Kg.

- **Masa del Yogurt (P)**

Alimentación = Producto

$$A = P$$

Ec. 16-2

Donde:

- A = Masa de alimentación, en Kg.
- P = Masa del yogurt (producto), en Kg.

- **Balance de Energía**

Un balance de energía es la representación del principio de la conservación de energía que establece: “El total de energía del sistema y sus alrededores no puede ser creado o destruido”. Expresado en la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{Ganado}} = Q_{\text{Perdido}}$$

$$Q_{\text{Entrada}} = Q_{\text{Cal}} + Q_{\text{Pared}}$$

Ec. 17-2

Donde:

- Q_{Entrada} = Cantidad de calor necesaria
- Q_{Cal} = Calor emitido por el caldero
- Q_{Pared} = Calor transferido por la pared metálica

- **Número de Prandt**

$$N_{\text{Pr}} = \frac{C_p * \mu}{K}$$

Ec. 18-2

Donde:

- C_p = Capacidad calorífica de la leche, en $J/Kg^{\circ}C$.
- μ = Viscosidad del fluido, en $Pa*s$.
- K = Conductividad térmica, en $J/s*m^{\circ}C$.

Las correlaciones en la transferencia de calor para fluidos que se encuentran en agitación dentro de un reactor con chaqueta, vienen dadas por:

$$\frac{U * \Phi t}{K} = a * (Re)^b * (N_{Pr})^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^m$$

Ec. 19-2

Donde:

- a, b, m = Constantes según el tipo de agitador, adimensionales.
- Re = Número de Reynolds, adimensional.
- N_{Pr} = Número de Prandtl, adimensional.
- μ = Viscosidad del fluido, en $Pa*s$.
- μ_w = Viscosidad del fluido a la temperatura de la pared, en $Pa*s$.
- Φt = Diámetro del tanque del reactor, en m.
- K = Conductividad térmica, en $J/s*m^{\circ}C$.
- U = Coeficiente de transferencia de calor, en $W/m^2*\circ C$.

Los valores de a, b y m , correspondientes al agitador utilizado son:

$$a = 0.54$$

$$b = 2/3$$

$$m = 0.14$$

• Media Logarítmica de Temperatura

$$MLDT = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Ec. 20-2

Donde:

- ΔT_2 = Variación de la temperatura, en $^{\circ}C$.
- ΔT_1 = Variación de la temperatura, en $^{\circ}C$.
- $MLDT$ = Media logarítmica de temperatura, en KW .

• Flujo de Calor

Para el área lateral del reactor:

$$Q_{AL} = U \cdot A \cdot MLDT$$

Ec. 21-2

Donde:

- U = Coeficiente de transferencia de calor, en KW/m²*°C.
- A = Área lateral del reactor.
- r = Radio del reactor, en m.
- h = Altura del reactor, en m.
- MLDT = Media logarítmica de temperatura, en KW.
- Q_{AL} = Flujo de calor en el área lateral del reactor, en KW.

Para el área de la base del reactor:

$$Q_{AB} = U \cdot A \cdot MLDT$$

Ec. 22-2

Donde:

- U = Coeficiente de transferencia de calor, en KW/m²*°C.
- A = Área de la base del reactor.
- r = Radio del reactor, en m.
- MLDT = Media logarítmica de temperatura, en KW.
- Q_{AB} = Flujo del calor, en KW.

Sumando ambos flujos de calor, tenemos:

$$Q = Q_{AL} + Q_{AB}$$

Ec. 23-2

Donde:

- Q_{AL} = Flujo de calor en el área lateral del reactor, en KW.
- Q_{AB} = Flujo de calor en el área base del reactor, en KW.
- Q = Flujo del calor, en KW.

Este valor representa la cantidad de calor que se necesita para el proceso de pasteurización de la leche.

- **Masa de Vapor Necesario**

Es la cantidad de vapor requerida en el proceso para ingresar a la chaqueta y transferir calor al proceso.

$$Q_{\text{Ganado}} = Q_{\text{Cedido}} = m * C_p * \Delta T$$

Ec. 24-2

Donde:

- Q = Flujo de calor, en KW.
- C_p = Capacidad calorífica del agua, en KJ/Kg*°C.
- ΔT = Variación de la temperatura en el proceso, en °C.
- m = Flujo másico del vapor necesario para el proceso, en Kg/h.

$$W = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Ec. 25-2

Donde:

- m = Flujo másico del vapor necesario para el proceso, en Kg/h.
- ρ = Densidad del vapor, en Kg/L.
- W = Flujo volumétrico del vapor necesario para el proceso, en L/h.

• Cantidad de Agua

Es la cantidad de agua que debe añadirse para alcanzar la temperatura idónea para la fermentación:

$$M_{96C} * C_{p96C}(T_{96} - T_{eq}) = M_{20C} * C_{p20C}(T_{eq} - T_{20})$$

Ec. 26-2

Donde:

- M_{96C} = Flujo másico del agua a 96 °C, en L/h.
- C_{p96C} = Capacidad calorífica del agua a 96 °C, en KJ/Kg*°C.
- C_{p20C} = Capacidad calorífica del agua a 20 °C, en KJ/Kg*°C.
- T_{96} = Temperatura final del agua, en °C.
- T_{eq} = Temperatura de fermentación, en °C.
- T_{20} = Temperatura inicial del agua, en °C.

- M_{20C} = Flujo másico del agua a 20 °C, en L/h.

- **Rendimiento del Proceso**

Es el porcentaje que mide el rendimiento global del proceso.

$$\%R = \frac{A}{P} * 100$$

Ec. 27-2

Donde:

- A = Masa de alimentación, en Kg.
- P = Masa de salida, en Kg.
- %R = Porcentaje de rendimiento en el proceso.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ingeniería del proyecto

3.1.1. *Tipo de estudio*

Según el tipo de experimento planteado y la recopilación bibliográfica para el desarrollo de la investigación el tipo de estudio es explicativo experimental, o técnico experimental como punto de partida se tendrá la recopilación bibliográfica acerca de los reactores para la producción de yogurt, además de las condiciones iniciales del equipo de la planta.

Adicional a lo antes mencionado, se utilizan cálculos de ingeniería y los resultados obtenidos, se podrá aplicar los correctivos necesarios para aumentar la eficiencia en la obtención de yogurt, además de que se plantea diferentes características que mejoran el proceso de transformación de la leche en yogurt.

3.2. Metodología

3.2.1. *Métodos y técnicas*

3.2.1.1. *Métodos*

Para obtener los objetivos y resultados planteados se siguen las técnicas demostradas por el método descriptivo y los diferentes procedimientos que derivan de este, con el fin de mejorar el proceso investigativo, conociendo que todo proceso de diseño requiere una serie de pasos formulados de manera lógica para la adquisición de información y así escoger la mejor metodología para el rediseño del equipo con el fin de mejorar el proceso.

- **Método Descriptivo**

El método descriptivo es uno de los métodos cualitativos que se usan en investigaciones que tienen como objetivo la evaluación de algunas características o situación en particular. En la

investigación descriptiva, el objetivo es describir el comportamiento o estado de un número de variables.

Al establecer los problemas principales de la investigación, con el método descriptivo luego de obtener los datos del reactor (físicos y de funcionamiento) para yogurt en la Planta de Lácteos de la ESPOCH en Tunshi, se hizo pruebas de laboratorio de la materia prima y del yogurt para la aplicación de herramientas ingenieriles (balance de masa y energía en el reactor) y la aplicación de un sistema de agitación como resultado de esto se comprueba si tienen relación las variables a controlar y como se aumenta la eficiencia en la obtención de yogurt.

3.2.1.2. Técnicas

Se utilizaron las técnicas establecidas en la Norma NTE INEN 9: 2015 (Requisitos físicos y químicos de la leche cruda).

- **Determinación de la Viscosidad**

Se realizó la medición de la viscosidad utilizando el Viscosímetro de Brookfield cuyo funcionamiento se basa en el principio de la viscosimetría rotacional; el mismo que mide la viscosidad al captar el par de torsión de un husillo para hacerlo girar a una velocidad constante inmerso en la muestra del fluido.



Figura 1-3: Medición de la Viscosidad

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina, 2020

Tabla 1-3: Determinación de la Viscosidad

FUNDAIMIENTO	MATERIALES Y EQUIPOS	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>Medir la viscosidad de la leche y del yogurt con el viscosímetro a temperatura ambiente (18-20°C).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Viscosímetro Brookfield ▪ Leche ▪ Yogurt ▪ Vaso 250mL ▪ Termómetro ▪ Varilla de agitación 	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza la calibración del equipo. • Colocar el husillo correspondiente en el equipo y las rpm a usar. • Tomar el valor resultado del equipo. 	<p style="text-align: center;">$\mu = K \times L$</p> <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - μ = Viscosidad del - K = Lectura del Instrumento - L = factor

Fuente: Guía de Laboratorio Planta de Lácteos Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Tunshi)

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina, 2020

Tabla 2-3: Determinación de la densidad

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	FÓRMULA
Medir la densidad de la leche y del yogurt mediante el método de la probeta.	<ul style="list-style-type: none"> Leche Yogurt Balanza 	<ul style="list-style-type: none"> Pesamos con la balanza la probeta vacía. Luego pesamos la probeta con líquido. El volumen del líquido se observa en la probeta 	$\rho_L = \frac{m_{P+L} - m_P}{V}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - m_{P+L} = Masa de la probeta con la muestra de leche, en g. - m_P = Masa de la probeta vacía, en g. - V = Volumen de la leche, en mL. - ρ_L = Densidad de la leche, en Kg/L. $\rho_Y = \frac{m_{P+Y} - m_P}{V}$ <ul style="list-style-type: none"> - m_{P+Y} = Masa de la probeta con la muestra de yogurt, en g. - m_P = Masa de la probeta vacía, en g. - V = Volumen del yogurt, en mL. - ρ_Y = Densidad del yogurt, en Kg/L.

Fuente: Guía de Laboratorio Planta de Lácteos Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Tunshi)

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina, 2020

Tabla 3-3: Técnica para análisis leche cruda

FUNDAMENTO	EQUIPOS	MATERIALES	TÉCNICA
<p>Determinar si la leche cumple con los parámetros de calidad, para que la planta pueda empezar la producción.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • EKOMILK MILK ANALYZER 120 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Leche 	<ul style="list-style-type: none"> • Conectar el equipo EKOMILK y encenderlo. • Colocar la muestra de leche en el electrodo y el capilar en el envase de la muestra, de forma que estén en contacto con la leche. • Seleccionar en el equipo el modo de análisis, el número de ciclos a realizar (se recomienda 3 ciclos) y presionar Ok para comenzar con el procedimiento. • Cuando el equipo termina de realizar el análisis de la muestra, mostrará los valores de los siguientes parámetros de la leche: Densidad, temperatura (°C), pH, acidez, proteínas (%), grasas (%), lactosa (%) y sales (%).

Fuente: Guía de Laboratorio Planta de Lácteos Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Tunshi)

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina, 2020

3.2.1.3. Condiciones iniciales del reactor

En la actualidad el reactor instalado en la Estación experimental “Tunshi” está diseñado para poder procesar 30 litros de leche para fermentar el yogurt, además cuenta con una bomba de ¼ Hp de potencia para poder alimentar el agua de refrigeración para la máquina.

Adicional a esto la entrada de vapor se produce mediante una válvula de globo con un diámetro de 40 mm, la altura del equipo es de 52.5 cm y diámetro interno del tanque es 41 cm; y 45 cm con la chaqueta, opera en temperaturas entre 20-45°C; la leche entra después de la pasteurización a 80° y se enfría en el equipo, en la tabla 5-3 se muestran las condiciones actuales del reactor.

Tabla 4-3: Condiciones del reactor existente en la estación experimental “Tunshi”.

No	Característica	Valor	Unidad
1	Material de construcción	Acero Inoxidable AISI 304	
2	Diámetro interno reactor	41	cm
3	Altura del reactor	52.5	cm
4	Diámetro chaqueta	45	cm
5	Diámetro de la válvula de paso	40	mm
6	Temperatura de operación	20-80	°C
7	Potencia de la bomba	0.25	Hp
8	Volumen de leche a procesar	30	L
9	Tiempo de residencia	7	h

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina. 2020.

3.2.1.4. Cálculos del Rediseño del Reactor

Son cálculos destinados a las medidas aproximadas del equipo que vamos a rediseñar para su correcto funcionamiento en función de los datos obtenidos. Partiendo de los datos del reactor registrados en la Tabla 5-3 y de las ecuaciones de rediseño.

➤ Diámetro del rodete

De la Ec. 2-2 (p. 25)

$$\phi_r = \frac{3}{4} \phi_i$$

$$\phi_r = 0.75 * 41 \text{ cm}$$

$$\phi_r = 30.75 \text{ cm}$$

$$\phi_r = 0.3075 \text{ m}$$

➤ **Longitud del brazo**

De la Ec. 3-2 (p. 26)

$$L_B = \frac{5}{8} \phi_i$$

$$L_B = 0.625 * 41 \text{ cm}$$

$$L_B = 25.62 \text{ cm}$$

$$L_B = 0.2562 \text{ m}$$

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

De la Ec. 4.2 (p. 26)

$$x = h - L_B$$

$$x = (41 - 25,62) \text{ cm}$$

$$x = 15.38 \text{ cm}$$

$$x = 0.1538 \text{ m}$$

➤ **Alto de las paletas**

De la Ec. 5-2 (p. 26)

$$A_P = \frac{1}{5} L_B$$

$$A_P = 0,2 * (25,62) \text{ cm}$$

$$A_P = 5,124 \text{ cm}$$

$$A_P = 0,05124 \text{ m}$$

➤ **Espesor del Agitador**

De la Ec. 6-2 (p. 27)

$$E_r = \frac{1}{10} L_B$$

$$E_r = 0,1 * (25,62)\text{cm}$$

$$E_r = 2,562\text{cm}$$

$$E_r = 0,02562\text{m}$$

➤ **Distancia entre rejillas**

De la Ec. 7-2 (p. 27)

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

$$X_p = \frac{25,62\text{cm}}{4}$$

$$X_p = 6,40\text{cm}$$

$$X_p = 0,0640\text{m}$$

➤ **Número de Reynolds**

De la Ec. 8-2 (p. 28)

$$NRe = \frac{N * Da^2 * \rho}{\mu}$$

$$NRe = \frac{0,66 * (0,3075)^2 * 1044}{1,3131}$$

$$Re = 49,61$$

➤ **Potencia del Motor**

De la Ec. 9-2 (p. 28)

Utilizando el Número de Reynolds y la gráfica del Anexo H, se determinó que $N_p = 2$. Este dato se aplica en la siguiente ecuación:

$$P = N_p * N^3 * Da^5 * \rho$$

$$P = (2) * (0,66)^3 * (0,3075)^5 * 1044$$

$$P = 1,65 \text{ watts}$$

$$P = 2,21 \times 10^{-3} \text{ Hp}$$

Considerando el factor de seguridad del 20%, se tiene:

$$P_R = P_T + f_s * P_T$$
$$P_R = 2,21 \times 10^{-3} + (0,2) * (2,21 \times 10^{-3})$$

$$P_R = 4,46 \times 10^{-4} \text{ Hp}$$

Balances de Masa y Energía

➤ Balance de Masa

$$\Sigma \text{ Entradas} = \Sigma \text{ Salidas}$$

$$\text{Alimentación} = \text{Producto}$$

$$\text{Masa de la leche} + \text{Masa de los aditivos} = \text{Masa del yogurt}$$

➤ Densidad de la Leche

De la Ec. 11-2 (p. 29)

$$\rho_L = \frac{m_{P+L} - m_P}{V}$$

$$\rho_L = \frac{10,301}{10}$$

$$\rho_L = 1,03 \text{ g/mL}$$

$$\rho_L = 1030 \text{ Kg/L}$$

➤ Densidad del Yogurt

De la Ec. 12-2 (p. 30)

$$\rho_Y = \frac{m_{P+Y} - m_P}{V}$$

$$\rho_Y = \frac{10,441}{10}$$

$$\rho_Y = 1,044 \text{ g/mL}$$

$$\rho_Y = 1044 \text{ Kg/L}$$

➤ Masa de la Leche

De la Ec. 13-2 (p. 30)

$$M_L = V_L * \rho_L$$

$$M_L = 30 * 1,03$$

$$M_L = 30,9 \text{ Kg}$$

➤ **Masa de Aditivos**

De la Ec. 14-2 (p. 30)

$$M_{\text{Aditivos}} = M_{\text{Cultivo}} + M_{\text{Conservante}} + M_{\text{Colorante}} + M_{\text{Azúcar}} + M_{\text{Espesante}}$$

$$M_{\text{Aditivos}} = 1,32 + 12,45 + 150 + 150 + 300 + 7,5$$

$$M_{\text{Aditivos}} = 621,27 \text{ g}$$

$$M_{\text{Aditivos}} = 0,62 \text{ Kg}$$

➤ **Masa de Alimentación (A)**

De la Ec. 15-2 (p. 31)

$$A = M_L + M_{\text{Aditivos}}$$

$$A = (30,9 + 0,62) \text{ Kg}$$

$$A = 31,52 \text{ Kg}$$

➤ **Masa del Yogurt (P)**

De la Ec. 16-2 (p. 31)

Alimentación = Producto

$$A = P$$

$$P = 31,52 \text{ Kg}$$

Balance de Energía

➤ **Número de Prandt**

De la Ec. 18-2 (p. 32)

$$N_{\text{Pr}} = \frac{C_P * \mu}{K}$$

$$N_{\text{Pr}} = \frac{4180 * 1,31}{16,3}$$

$$N_{\text{Pr}} = 336,73$$

➤ **Coefficiente de Transferencia de Calor**

Las correlaciones en la transferencia de calor para fluidos que se encuentran en agitación dentro de un reactor con chaqueta, vienen dadas por:

De la Ec. 19-2 (p. 32)

$$\frac{U * Dt}{K} = a * (Re)^b * (N_{Pr})^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^m$$

Los valores de a, b y m, correspondientes al agitador utilizado son:

$$a = 0.54$$

$$b = 2/3$$

$$m = 0.14$$

$$\frac{U * 0,41}{16,3} = 0,54 * (49,61)^{\frac{2}{3}} * (336,73)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{1,31}{1,1}\right)^{0.14}$$

$$U = 3573,72 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

➤ **Media Logarítmica de Temperatura**

De la Ec. 20-2 (p. 33)

$$MLDT = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$MLDT = \frac{(80 - 43) - (96 - 20)}{\ln \frac{(80 - 43)}{(96 - 20)}}$$

$$MLDT = 54,18 \text{ KW}$$

➤ **Flujo de Calor**

Para el área lateral del reactor:

De la Ec. 21-2 (p. 33)

$$Q_{AL} = U * A * MLDT$$

$$Q_{AL} = U * (2 * \pi * r * h) * MLDT$$

$$Q_{AL} = 3,57 * 2 * \pi * 0,2 * 0,6 * 54,18$$

$$Q_{AL} = 145,84 \text{ KW}$$

Para el área de la base del reactor:

De la Ec. 22-2 (p. 33)

$$Q_{AB} = U * A * MLDT$$

$$Q_{AB} = U * (\pi * r^2) * MLDT$$

$$Q_{AB} = 3,57 * \pi * (0,2)^2 * 54,18$$

$$Q_{AB} = 24,31 \text{ KW}$$

Sumando ambos flujos de calor, tenemos:

De la Ec. 23-2 (p. 34)

$$Q = Q_{AL} + Q_{AB}$$

$$Q = 145,84 + 24,31$$

$$Q = 170,15 \text{ KW}$$

Este valor representa la cantidad de calor que se necesita para el proceso de pasteurización de la leche.

➤ Masa de Vapor Necesario

De la Ec. 24-2 (p. 34)

$$Q_{Ganado} = Q_{Cedido} = m * C_p * \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{170,15}{4211 * (96 - 20)}$$

$$\dot{m} = 5,32 * 10^{-4} \text{ Kg/s}$$

$$\dot{m} = 1,91 \text{ Kg/h}$$

De la Ec. 25-2 (p. 34)

$$W = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$W = \frac{1,91}{998,29}$$

$$W = 1,92 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$$

$$W = 1,92 \text{ L/h}$$

➤ Cantidad de Agua

De la Ec. 26-2 (p. 35)

$$M_{96C} * C_{p96C} (T_{96} - T_{eq}) = M_{20C} * C_{p20C} (T_{eq} - T_{20})$$

$$5.34 * 4211(96 - 43) = M_{20C} * 4182(43 - 20)$$

$$M_{20C} = \frac{5.34 * 4211 * 53}{4182 * 23}$$

$$M_{20C} = 12,39 \text{ L/h}$$

➤ **Rendimiento del Proceso**

Asumiendo que hay un 10% de pérdidas por acumulación dentro del reactor, se tiene:

De la Ec. 27-2 (p. 35)

$$\%R = \frac{A}{P} * 100$$

$$\%R = \frac{31,52}{28,37} * 100$$

$$\%R = 90\%$$

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de la leche cruda

Tabla 1-4: Resultados de la caracterización de la leche cruda en la Planta de Lácteos

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Resultado	Método
Densidad relativa a 20°C	g/mL	1.028	1.032	1.029	EKOMILK MILK ANALYZER 120
Materia grasa	%	3.0	-	3.55	EKOMILK MILK ANALYZER 120
Solidos no grasos	%	8.20	-	8,28	EKOMILK MILK ANALYZER 120
Solidos Totales	%	11.20	-	12.84	EKOMILK MILK ANALYZER 120
Proteína	%	2.9	-	3.06	EKOMILK MILK ANALYZER 120

Ph	-	-	-	6.25	EKOMILK MILK ANALYZER 120
Ceniza	%	0.65	-	0.75	EKOMILK MILK ANALYZER 120

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina. 2020.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados con el equipo EKOMILK, demuestran que la leche que llegó a la planta se encontraba en óptimas condiciones. Esto se puede observar en el valor promedio de los parámetros de la leche que fueron analizados por el equipo, entre los que están; la densidad: 1.029g/mL, la temperatura: 18.4 °C, el Ph: 6.25, las proteínas: 3.06%, el contenido de grasa: 12.84%, la lactosa y el contenido de sales minerales; cuyos resultados se encuentran dentro de los niveles de calidad que debe tener la leche cruda según la norma NTE INEN 9: 2015 (Ver Anexo D).

4.2. Análisis de las muestras

Tabla 2-4: Resultados de muestras

No	Muestra	Viscosidad (cP)	Densidad (g/mL)
1	Leche	1.02	1.03
2	Yogurt	1310	1.044

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina. 2020.

Para el caso de la viscosidad la medición se la realizo con el husillo número 3 en el caso de la leche a 20 rpm y del yogurt a 30 rpm a una temperatura de 18.4 °C.

La viscosidad del yogurt nos indica que podemos usar un agitador de tipo paletas o de ancla.

Para la densidad por el método de la probeta los resultados van acorde a la norma NTE INEN 9: 2015 para la leche cruda y para el yogurt está dentro de los rasgos establecidos.

4.3. Parámetros para el rediseño

Tabla 3-4: Resumen de los parámetros calculados para el rediseño y balances de masa y energía del reactor

No.	Parámetro	Unidad	Valor
1	Diámetro del rodete	m	0.3075
2	Longitud del brazo	m	0.2562
3	Distancia entre agitador y fondo del tanque	m	0.1538
4	Alto de las paletas	m	0.05124
5	Espesor del Agitador	m	0.0256
6	Distancia entre rejillas	m	0.064
7	Potencia del Agitador	Hp	0.25
8	Masa de aditivos	Kg	0.62
9	Masa de alimentación	Kg	31.52
10	Coefficiente de Transferencia de Calor	$\frac{W}{m^2 * ^\circ C}$	3573.72
11	Flujo de Calor	KW	170.15
12	Masa de Vapor	L/h	1.92
13	Cantidad de Agua	L/h	12.39
14	Rendimiento	%	90

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina. 2020.

El resultado de los parámetros calculados nos proporciona las dimensiones del sistema de agitación además de los balances de masa y energía dentro del reactor para yogurt.

Teniendo así un agitador de 4 paletas que gira en flujo axial y radial con un motor de 0.25 Hp para producir yogurt con un rendimiento esperado del 90%.

4.4. Análisis costo/beneficio del proyecto

Se realiza una estimación de costos y materiales, fabricación y montaje del sistema de agitación diseñado.

Tabla 4-4: Requerimientos del Servicio

Información	Descripción	Valor	Unidad
Requerimientos de Servicios	Energía Eléctrica	220	V
	Flujo de calor	170.15	KW

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina. 2020.

Los datos de precios de material y fabricación fueron solicitados (Ver anexo J). En ella se detallan las características del sistema de agitación diseñado.

Tabla 5-4: Costo de Fabricación

Ítem	Descripción	Material/potencia	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo total (\$)
Sistema de agitación	Agitador tipo palas planas inclinadas	Acero Inoxidable AISI 304	1	400	400
Accesorios	Motor agitador	0.25 Hp	1	150	150
TOTAL					550

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina. 2020.

Tabla 6-4: Costos de Montaje

Ítem	Personal	Cantidad	Horas	Costo (\$)
1	Supervisor	1	8	150
2	Mecánico	1	8	100
TOTAL				250

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina. 2020.

Tabla 7-4: Insumos varios

Ítem	Personal	Cantidad	Horas	Costo (\$)
1	Transporte	-	-	20
2	Insumos varios (pintura, soldadura)	-	-	30
TOTAL				50

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina. 2020.

Tabla 8-4: Resumen de Costos

Ítem	Valor (\$)
Costo de fabricación	550
Costo de montaje	250
Varios	50
Costo total	850

Realizado por: Camacho Benalcázar, Cristina. 2020.

4.5. Análisis y Discusión de Resultados

Las variables controlables que debemos considerar para su análisis son: dimensiones principales del tanque y del rodete, densidad del líquido δ , viscosidad μ , velocidad de giro n y tiempo; puesto que la finalidad del sistema de agitación es mejorarlo, siendo preciso considerar esta variable.

Con relación a las dimensiones del tanque es indispensable considerar que el diámetro del tanque debe ser igual a la altura del líquido; cuyos resultados coinciden teniendo un valor de 41cm.

Para que en el rediseño del reactor el proceso de agitación sea eficaz en la fermentación, el volumen del fluido que está siendo agitado debe llegar hasta las paredes del estanque. Por ello es necesario conocer la potencia consumida por el agitador, relacionando el número de Reynolds y el número de potencia, obteniendo así $Ne = 49.61$ discuto así que al ser el $Ne < 2100$, el flujo dentro del reactor tiene un régimen laminar, con o sin placas deflectoras, por lo que no será necesario instalar deflectores, ya que el tanque de mezclado es pequeño y no se formarían vórtices en el mismo.

Se obtuvo una viscosidad de 1310 cP, de acuerdo a la viscosidad se pueden utilizar los siguientes agitadores: de tipo ancla y de paletas, sin embargo, se requiere de una agitación de flujo axial y radial con el fin que no se forme remolino y se homogenice todas las sustancias para la elaboración del producto, según fuentes bibliográficas consultadas la mejor opción es el agitador de paletas planas inclinadas a 45° , el rango de velocidad para este tipo de impulsor esta de 20 a 150 revoluciones por minuto en un régimen laminar. Discuto así que la capacidad de agitación de un impulsor tipo ancla con respecto a otros agitadores no es precisamente óptima ya que requiere de otro agitador con alta velocidad para trabajar en conjunto girando en sentido contrario, en

comparación con uno de paletas que nos permitirá el giro y agitación de forma axial y radial, obteniéndose así mejores resultados.

Si bien es cierto existe un poco de dificultad para llegar a un óptimo diseño debido a las variables y comportamientos que existen en los fluidos este tipo de impulsor es lo más cercano para el producto requerido. La elección del impulsor tipo palas planas inclinadas obedece principalmente a la menor complejidad en la posterior construcción además de ser el idóneo para fluidos de poca viscosidad como la leche.

Resulta difícil medir el tiempo de residencia del proceso ya que para el mismo se debería considerar realizar una práctica experimental con el sistema de agitación adaptado, pero podemos discutir este parámetro conociendo que el tiempo de residencia sin un sistema de agitación es de 7 horas, con el desarrollo del mismo se espera que sea de 5h.

Para la estructura exterior que soporta al conjunto agitador se utilizaría acero al carbono previamente galvanizado. Esta estructura deberá soportar el peso propio del conjunto, además de los esfuerzos de torsión propios producidos por el motor al eje del agitador.

Considerando el balance de masa del proceso se debe tener en cuenta de que, en el proceso de elaboración del yogurt, existirá acumulación dentro del equipo; por lo que a la salida habrá una menor cantidad del producto y se espera un rendimiento del 90%.

Discuto así que para la elección del sistema de agitación el parámetro más importante que debemos tener es la viscosidad, además de la temperatura conociendo que tenemos un proceso de naturaleza endotérmica de la reacción.

Tomando en cuenta los datos se puede decir que el proyecto es rentable y económico para su posterior construcción en beneficio de los estudiantes que realizan sus prácticas en la planta Experimental de Tunshi.

CONCLUSIONES

- Se determinó que el equipo instalado en la Estación Experimental Tunshi tiene un diámetro interno de 41cm, con chaqueta de 45 cm de diámetro para elaborar yogurt en la planta, con una capacidad de 30 L a procesar, altura de 52.5cm, además de una temperatura de fermentación de 40°-45°C, tiempo de residencia de 7 horas y ph de 6.25.
- Se obtuvo las variables de diseño presentes en el proceso de elaboración de yogurt son: dimensiones principales del tanque y del rodete, densidad del líquido δ , viscosidad μ , velocidad de giro n y tiempo de residencia; además es importante considerar la temperatura sabiendo de la naturaleza endotérmica de la reacción, ya que de estas variables depende el producto final del proceso.
- Luego de determinar y detallar los parámetros necesarios para el rediseño del reactor, en base a la viscosidad del yogurt de 1310 cP obtenida por el viscosímetro de Brookfield se concluye que el sistema de agitación tendrá un impulsor de paletas tipo planas inclinadas a 45° que se mueve con frecuencia de 40 rpm, teniendo como parámetros: longitud del brazo agitador: 0.2562 m, diámetro del rodete 0.3075 m, alto de la paleta 0.05124 m, distancia entre paletas 0.064 m y una potencia de motor eléctrico de 0.25 Hp. El equipo permitirá la obtención de yogurt con un rendimiento del 90% en volumen.
- Conociendo la importancia de los procesos automatizados se sugiere como alternativa para el mejor funcionamiento del equipo se instale un panel de control para controlar la temperatura y condiciones de trabajo del reactor.
- Para realizar la validación económica del equipo se sustentó en una proforma solicitada a la empresa Inoxidables Elite la cual diseña y fabrica todo tipo de maquinaria. Considerando viable y económica la construcción del sistema de agitación cotizándolo por un valor de \$550. Siendo importante considerar el costo del montaje, el valor total sería de \$850.

RECOMENDACIONES

- Garantizar la calidad de la materia prima realizando las pruebas correspondientes antes de iniciar el proceso de elaboración del producto verificando que cumpla con los parámetros establecidos por la Norma.
- Es recomendable controlar las variables presentes en el proceso de elaboración de yogurt principalmente la temperatura que influye directamente para tener un mayor rendimiento del mismo.
- Capacitar a todo el personal acerca del uso del equipo, procedimiento para realización del producto, mantenimiento y limpieza, además del uso de aditivos.
- Realizar análisis periódicamente del producto para que se verifique su cumplimiento con las normas.
- Cuando se trabaja en el laboratorio seguir todas las normas de seguridad ya que pueden existir consecuencias desfavorables para la correcta culminación del proceso.
- Comprobar el correcto funcionamiento del equipo continuamente.
- Aplicar buenas prácticas de manufactura para así brindar al consumidor un producto terminado de calidad.
- A la Escuela Superior Politécnica que considere el financiamiento del equipo para su posterior construcción y uso en beneficio de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

BRITO, Hanníbal. *Texto Básico de Mecánica de Fluidos*. Riobamba-Ecuador, 2008, pp. 51-63.

BRITO, Hanníbal. *Texto Básico de Operaciones Unitarias I*. Riobamba-Ecuador, 2000, pp. 28-34.

BRITO, Hanníbal. *Texto Básico de Operaciones Unitarias II*. Riobamba-Ecuador, 2000, pp. 71-75.

BRITO, Hanníbal. *Texto Básico de Operaciones Unitarias III*. Riobamba-Ecuador, 2000. pp. 23-25.

CASTILLO URIBE, Vladimir. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). [En línea]. Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica. Concepción-Chile. 2013. [Consulta: 2019-09-14]. Disponible en: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf.

COKER, Kayode. *Chapter 4: Industrial and Laboratory Reactors. Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design*. Oxford-USA: Gulf Professional Publishing, 2001, pp. 218- 222.

GEANKOPLIS, J. *Procesos de transporte y Operaciones Unitarias*. México: Editorial Continental S.A., 1991, p. 321

INCROPERA, Frank. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. España: Pearson, 2013, p.53.

McCABE, Warren & SMITH, Julian. *Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Volumen I*. Editorial Reverte, S.A. Barcelona, 2003.

McCABE, et al. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México: McGraw-Hill/Interamericana, 7ª Ed, 2007, pp. 276-277.

METCALFE, Jhon; et al. *Ingeniería Química, TOMO I*. Editorial Reverte, S.A. England, 1979, pp. 235-265.

MONSALVO VÁZQUEZ, Raúl; et al. *Balance de materia y energía. Procesos industriales*. 1ª Ed. México: Grupo Editorial Patria, 2014. p. 109

NTE INEN 9: 2015. *Requisitos fisicoquímicos de la leche cruda*.

VIGUER, J. *Operaciones unitarias en ingeniería química.* España: McGraw-Hill, 2001.

ANEXOS

Anexo A: CONDICIONES INICIALES DEL REACTOR



Nota	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CONDICIONES INICIALES DEL REACTOR		
Fotos del equipo.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERIA QUÍMICA REALIZADO POR: CRISTINA CAMACHO			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		1	1.1	2019

Anexo B: TOMA DE MEDIDAS DEL EQUIPO



<p>Nota</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información</p>	<p>ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERIA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR: CRISTINA CAMACHO</p>	<p>TOMA DE MEDIDAS DEL EQUIPO</p>		
<p>Toma de medidas del reactor.</p>			<p>Lámina</p>	<p>Escala</p>	<p>Fecha</p>
			<p>2</p>	<p>1.1</p>	<p>2019</p>

Anexo C: REQUISITOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA LECHE CRUDA

REQUISITOS	UNIDAD	MIN.	MAX.	MÉTODO DE ENSAYO
Densidad relativa: a 15 °C A 20 °C	-	1,029 1,028	1,033 1,032	NTE INEN 11
Materia grasa	% (fracción de masa) ⁴	3,0	-	NTE INEN 12
Acidez titulable como ácido láctico	% (fracción de masa)	0,13	0,17	NTE INEN 13
Sólidos totales	% (fracción de masa)	11,2	-	NTE INEN 14
Sólidos no grasos	% (fracción de masa)	8,2	-	*
Cenizas	% (fracción de masa)	0,65	-	NTE INEN 14
Punto de congelación (punto crioscópico) **	°C °H	-0,536 -0,555	-0,512 -0,530	NTE INEN 15
Proteínas	% (fracción de masa)	2,9	-	NTE INEN 16
Ensayo de reductasa (azul de metileno)***	h	3	-	NTE INEN 018
Reacción de estabilidad proteica (prueba de alcohol)	Para leche destinada a pasterización: No se coagulará por la adición de un volumen igual de alcohol neutro de 68 % en peso o 75 % en volumen; y para la leche destinada a ultrapasteurización: No se coagulará por la adición de un volumen igual de alcohol neutro de 71 % en peso o 78 % en volumen			NTE INEN 1500
Presencia de conservantes ¹⁾	-	Negativo		NTE INEN 1500
Presencia de neutralizantes ²⁾	-	Negativo		NTE INEN 1500
Presencia de adulterantes ³⁾	-	Negativo		NTE INEN 1500
Grasas vegetales	-	Negativo		NTE INEN 1500
Suero de Leche	-	Negativo		NTE INEN 2401
Prueba de Brucelosis	-	Negativo		Prueba de anillo PAL (Ring Test)
RESIDUOS DE MEDICAMENTOS VETERINARIOS ⁵⁾	ug/l	---	MRL, establecidos en el CODEX Alimentarius CAC/MRL 2	Los establecidos en el compendio de métodos de análisis identificados como dónes para respaldar los LMR del codex ⁶⁾

* Diferencia entre el contenido de sólidos totales y el contenido de grasa.
 ** °C= °H - f, donde f= 0,9656
 *** Aplicable a la leche cruda antes de ser sometida a enfriamiento
 1) Conservantes: formaldehído, peróxido de hidrógeno, cloro, hipocloritos, cloraminas, lactoperoxidasa adicionada y dióxido de cloro.
 2) Neutralizantes: orina, carbonatos, hidróxido de sodio, jabones.
 3) Adulterantes: Harina y almidones, soluciones azucaradas o soluciones salinas, colorantes, leche en polvo, suero de leche, grasas vegetales.
 4) "Fracción de masa de B. W₈". Esta cantidad se expresa frecuentemente en por ciento, %. La notación "% (m/m)" no deberá usarse.
 5) Se refiere a aquellos medicamentos veterinarios aprobados para uso en ganado de producción lechera.
 6) Establecidos por el comité del Codex sobre residuos de medicamentos veterinarios en los alimentos.

NOTA 1. Se podrán presentar variaciones en estas características, en función de la raza, estación climática o alimentación, pero estas no deben afectar significativamente las características sensoriales indicadas.

Fuente: (N. INEN 2015)

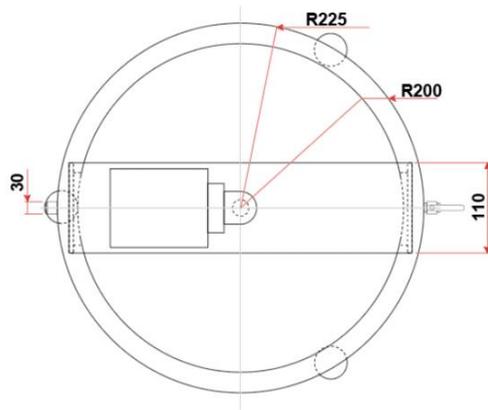
Nota	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: CRISTINA CAMACHO	REQUISITOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA LECHE CRUDA		
			Lámina	Escala	Fecha
Norma NTE INEN 9:2015	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		3	1.1	2019

Anexo D: ANALISIS DE LA MATERIA PRIMA

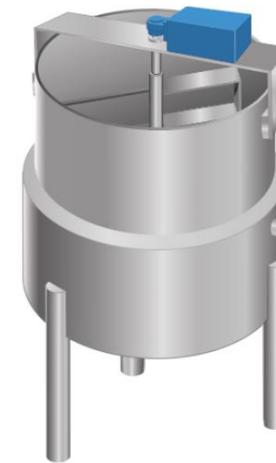


Nota	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: CRISTINA CAMACHO	PRUEBAS EN EL EKOMILK		
Análisis de la leche cruda.			Lámina	Escala	Fecha
			4	1.1	2019

Anexo E: VISTA SUPERIOR DEL REACTOR BATCH



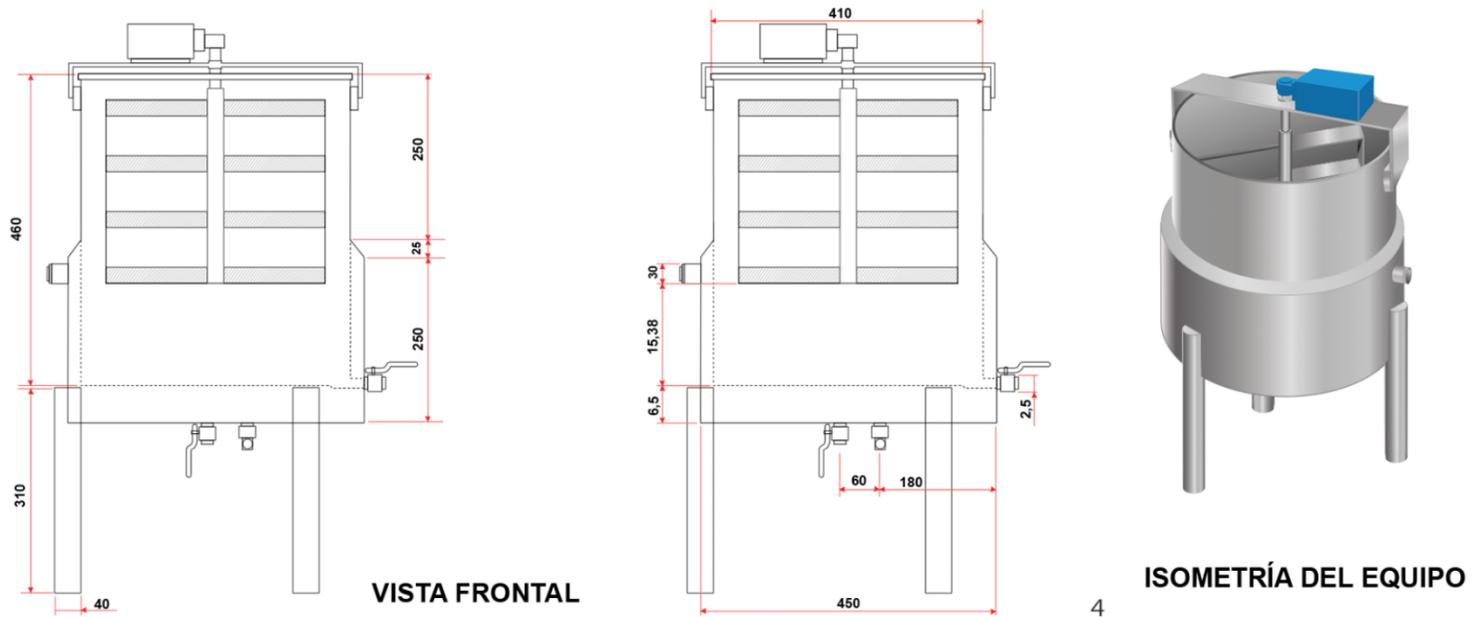
**VISTA SUPERIOR
DEL EQUIPO**



ISOMETRÍA DEL EQUIPO

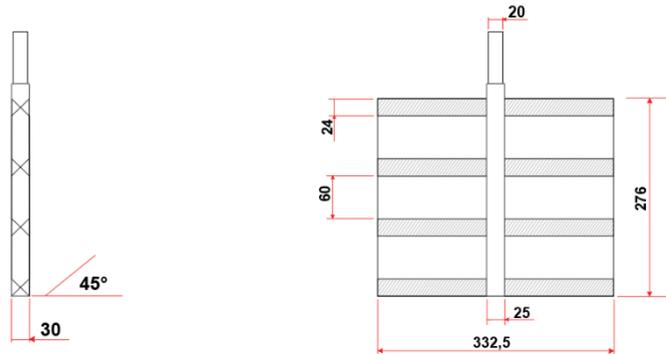
Nota	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VISTA DEL REACTOR TIPO BATCH		
Plano destinado para el rediseño del equipo.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: CRISTINA CAMACHO	VISTA DEL REACTOR TIPO BATCH		
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		5	1.1	2019

Anexo F: CORTE FRONTAL DEL REACTOR BATCH



<p>Nota</p> <p>Plano destinado para el rediseño del equipo.</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información</p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR: CRISTINA CAMACHO</p>	<p>VISTA DEL REACTOR TIPO BATCH</p>		
			<p>Lámina</p>	<p>Escala</p>	<p>Fecha</p>
			<p>6</p>	<p>1.1</p>	<p>2019</p>

Anexo G: AGITADOR TIPO REJILLA DE PALETAS PLANAS INCLINADAS



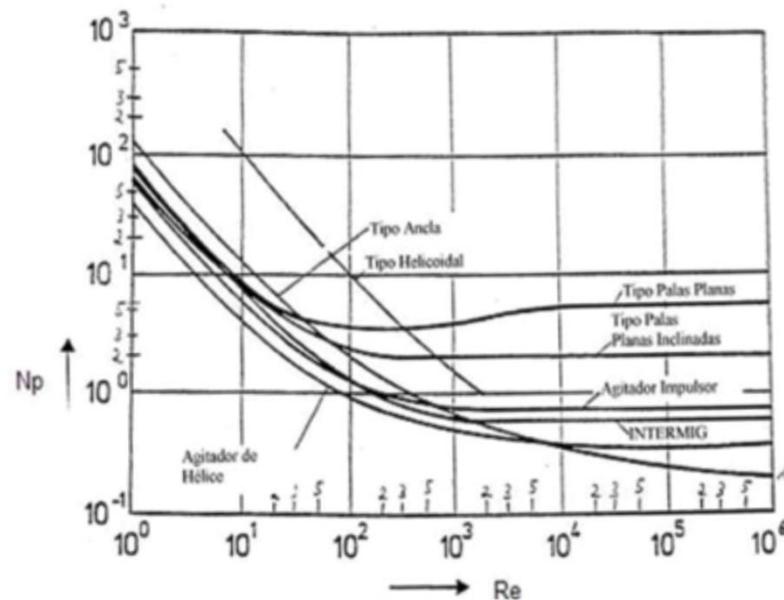
CORTE FRONTAL PALETA



ISOMETRÍA DE LA PALETA

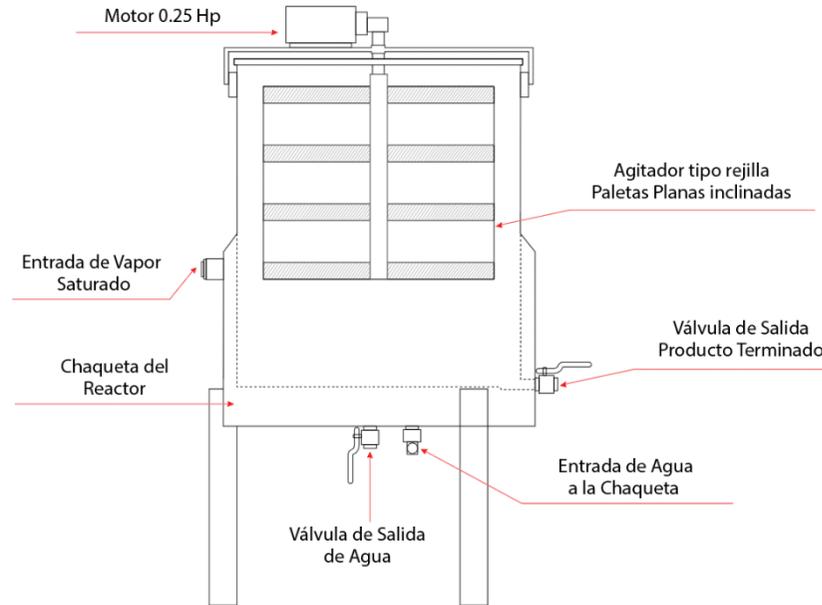
Nota	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VISTA DEL AGITADOR		
Paletas planas inclinadas a 45°.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERIA QUÍMICA REALIZADO POR: CRISTINA CAMACHO			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		7	1.1	2019

Anexo H: CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE POTENCIA Y EL NÚMERO DE REYNOLDS



Nota	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE POTENCIA Y EL NÚMERO DE REYNOLDS		
Correlación para diferentes tipos de agitadores.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERIA QUÍMICA	Lámina	Escala	Fecha
		REALIZADO POR: CRISTINA CAMACHO	8	1.1	2019

Anexo I: PARTES DEL REACTOR



Nota	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: CRISTINA CAMACHO	PARTES DEL REACTOR		
Plano destinado para el rediseño del equipo.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		Lámina	Escala	Fecha
			9	1.1	2019

ANEXO J: PROFORMA SISTEMA DE AGITACION



Somos Fabricantes
DISEÑAMOS Y CONSTRUIMOS
TODO TIPO DE MAQUINAS



Email eltemaquinarias@gmail.com

Planta de Producción
Av. Juan Felix Proaño
e Islandia
Barrio la libertad via San Luis
Ruc: 0603484783001

Contacto
Ofi. 2922 558 - 2 962425
099 719 7182
Riobamba Ecuador

COTIZACIÓN 135

Empresa CRISTINA CAMACHO BENALCAZAR
Ruc 0803261650 Telf. 0983502471 Fecha 26 - 11 - 2019
Email cristiti18121@gmail.com Lugar Riobamba

Item	Descripción	Equipo	#	Precio Unit.	Precio Total
	<p>Agitador leche/yogurt - Datos del proceso Diámetro del tanque 0,41m Altura del tanque 0,525m Altura de llenado 0,41m Temperatura de trabajo 20-80°C No considera baffles Diseño considera: Agitador tipos palas planas inclinadas a 45° Diámetro del agitador 0,3075 m Altura del agitador: 0,2562m 4 palas planas inclinadas Alto paletas: 0, 0512m Diámetro rodete: 0, 0256 m Distancia entre paletas: 0, 0417 m Motor Eléctrico 0,25Hp 90rpm Todas las uniones de soldadura serán pulidas Cumpliendo con la norma 3-A americana</p>	 	1	\$ 550	\$ 550
				Subtotal	\$ 550
				Iva 12 %	-----
				TOTAL	\$ 550

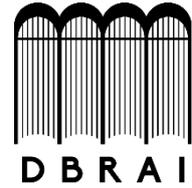
● Nota: Proforma válida por 30 días laborables.

Metodo de pago 60% inicio de trabajo y 40% contra-entrega


INOXIDABLES ÉLITE
Riobamba Ecuador



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27 / 02 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTORA	
Nombres – Apellidos: CRISTINA ESTEFANÍA CAMACHO BENALCÁZAR	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: CIENCIAS	
Carrera: INGENIERÍA QUÍMICA	
Título a optar: INGENIERA QUÍMICA	
f. Analista de Biblioteca responsable:	

