



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

#### **MODELACIÓN MATEMÁTICA DE TANQUES TÉRMICOS PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA DE SALIDA EN EL ALMACENAMIENTO DE LECHE DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.**

##### **Trabajo de titulación**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

##### **INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** BRANDON LUIS SAGUAY ROSALES

**DIRECTORA:** Ing. DANIELITA FERNANDA BORJA MAYORGA

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, **Brandon Luis Saguay Rosales**

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, Brandon Luis Saguay Rosales, 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 autor 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, 14 de septiembre de 2021



.....  
**Brandon Luis Saguay Rosales**  
**172483510-1**

**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 Tecnológico , **MODELACIÓN MATEMÁTICA DE TANQUES TÉRMICOS PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA DE SALIDA EN EL ALMACENAMIENTO DE LECHE DE LA INDUSTRIA LÁCTEA** , realizado por el señor :**BRANDON LUIS SAGUAY ROSALES**, 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. Marlon Ernesto Moscoso Martínez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-09-14
Ing. Danielita Fernanda Borja Mayorga <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2021-09-14
Ing. Mónica Lilián Andrade Ávalos <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-09-14

## **DEDICATORIA**

A mi padre José Luis, por sus consejos en mi formación académica y constante cuidado personal y su apoyo para la culminación de este trabajo de investigación.

A mi madre Olivia Margarita, con su bendición siempre ha estado en todo momento y ser parte de mi formación personal y espiritual.

Finalmente, a mi hermano Jonathan que me ayudo en cuanto a sus recomendaciones a mi desarrollo estudiantil e intelectual.

Brandon

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, reconocida institución por haberme brindado la oportunidad de desarrollarme académicamente y ser el alma mater de para la formación de excelentes profesionales.

A mi directora Ing. Danielita Borja y a mi asesora Ing. Mónica Andrade por haber compartido diferentes cátedras y ayudarme en mi formación académica y sus acertados consejos, para la culminación del presente proyecto de titulación.

Finalmente, a la Estación Experimental Tunshi y el departamento de elaboración de productos lácteos junto al Ing. Marco Manzano por haberme permitido realizar la experimentación al trabajo de titulación.

Brandon

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii

### CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Planteamiento del problema.....	3
1.3	Justificación del proyecto.....	4
1.4	Objetivos.....	5
1.4.1	<i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.5	Alcance.....	5

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEORÍCO.....	7
2.1	Estado del arte.....	7
2.1.1	<i>Modelado matemático en sistemas térmicos</i> .....	7
2.1.2	<i>Tratamientos térmicos en la leche</i> .....	8
2.1.2.1	<i>Refrigeración</i> .....	8
2.1.2.2	<i>Aplicación de frío en la leche</i> .....	8
2.2	Bases teóricas.....	9
2.2.1	<i>Producción de leche en el Ecuador</i> .....	9
2.2.1.1	<i>Producción de leche por regiones en el país</i> .....	9
2.2.1.2	<i>Producción de derivados lácteos en el país</i> .....	10
2.2.2	<i>Leche cruda</i> .....	11

2.2.2.1	<i>Condiciones que favorecen la contaminación de la leche</i> .....	11
2.2.2.2	<i>Efectos del frío y el calor sobre la leche y sus propiedades</i> .....	12
2.2.2.3	<i>Efecto de la aplicación de frío sobre las propiedades de la leche</i> .....	13
2.2.2.4	<i>Efecto de la aplicación de calor sobre las propiedades de la leche</i> .....	13
2.2.3	<b><i>Eficacia del frío como conservador de la calidad de la leche</i></b> .....	14
2.2.3.1	<i>Temperatura de conservación</i> .....	14
2.2.3.2	<i>Duración del almacenamiento</i> .....	14
2.2.3.3	<i>Contaminación inicial</i> .....	15
2.2.3.4	<i>Velocidad de enfriamiento</i> .....	16
2.2.4	<b><i>Equipos de enfriamiento para leche</i></b> .....	16
2.2.4.1	<i>Tanques de enfriamiento vertical o silo</i> .....	17
2.3	<b>Bases Legales</b> .....	18
2.3.1	<b><i>Tanques refrigerados de leche a granel</i></b> .....	18
2.3.1.1	<i>Material</i> .....	18
2.3.1.2	<i>Recipiente interno</i> .....	18
2.3.1.3	<i>Soporte al Tanque</i> .....	19
2.3.1.4	<i>Control de Temperatura de Tanques Verticales</i> .....	20
2.3.2	<b><i>Matlab</i></b> .....	20
2.3.2.1	<i>Términos de Licencia</i> .....	20

### CAPÍTULO III

3.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	21
3.1	<b>Etapas de la metodología al proyecto tecnológico</b> .....	21
3.2	<b>Condiciones iniciales de operación del tanque de almacenamiento</b> .....	22
3.2.1	<i>Propiedades de la leche a almacenamiento en el tanque</i> .....	22
3.2.2	<i>Condiciones de operación del tanque vertical</i> .....	22
3.3	<b>Cálculo tanque de almacenamiento vertical</b> .....	23
3.3.1	<i>Determinación de geometría y dimensión al tanque</i> .....	23
3.3.2	<i>Cálculo espesor del tanque</i> .....	25
3.3.3	<i>Cálculo de calor necesario en el tanque</i> .....	27
3.3.4	<i>Cálculos de flujos de entrada al tanque</i> .....	28
3.4	<b>Planteamiento del modelo matemático al tanque de refrigeración vertical</b> .....	29
3.4.1	<i>Modelado matemático del tanque vertical</i> .....	29
3.5	<b>Simulación del modelado mediante Matlab (Simulink)</b> .....	32
3.5.1	<i>Modelado y simulación al proceso térmico del tanque vertical</i> .....	33
3.5.2	<i>Modelado y simulación del proceso de refrigeración del tanque vertical</i> .....	39



<b>3.6</b>	<b>Validación del modelado del sistema del tanque y refrigeración .....</b>	<b>44</b>
------------	---	-----------

#### **CAPITULO IV**

<b>4.</b>	<b>Gestión de Proyecto.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Cronograma .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Recursos y Materiales .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Presupuesto</i> .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Talento Humano</i> .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.3</b>	<b><i>Recursos materiales</i> .....</b>	<b>46</b>

#### **CONCLUSIONES**

#### **RECOMENDACIONES**

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Evolución de bacterias en la leche durante 72 horas .....	15
<b>Tabla 2-2:</b>	Evolución del contenido de bacterias en la leche durante 48 horas.....	16
<b>Tabla 1-3:</b>	Propiedades fisicoquímicas de la leche a recepción .....	22
<b>Tabla 2-3:</b>	Condiciones para el cálculo del sistema de almacenamiento al tanque vertical....	22
<b>Tabla 3-3:</b>	Condiciones de operación para el modelo y simulación .....	29
<b>Tabla 4-3:</b>	Propiedades Termodinámicas de Agua Saturada .....	35
<b>Tabla 5-3:</b>	Condiciones para el cálculo de la ganancia de proceso .....	36
<b>Tabla 6-3:</b>	Datos para la variación de la ganancia de proceso .....	37
<b>Tabla 7-3:</b>	Condiciones de operación para la refrigeración de leche y modelado .....	39
<b>Tabla 8-3:</b>	Datos Experimentales y Referencial al Modelado .....	44
<b>Tabla 1-4:</b>	Cronograma al proyecto de titulación .....	45
<b>Tabla 2-4:</b>	Matriz de presupuesto del proyecto de titulación .....	46
<b>Tabla 3-4:</b>	Matriz de Recursos y Materiales Informáticos.....	47
<b>Tabla 4-4:</b>	Matriz de Recursos de Operación Informáticos .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b>	Tanques de frío utilizado en los centros de producción láctea .....	9
<b>Figura 2-2.</b>	Esquema analítico de derivados lácteos .....	11
<b>Figura 3-2.</b>	Efectos de la Temperatura sobre los microorganismos .....	13
<b>Figura 4-2.</b>	Curva Temperatura de la Leche en un Tanque refrigerante .....	14
<b>Figura 5-2.</b>	Evolución microbiana de la leche refrigerada .....	15
<b>Figura 6-2.</b>	Tanque vertical de 50-300 litros.....	17
<b>Figura 7-2.</b>	Tanque vertical de 400-2500 litros.....	18
<b>Figura 8-2.</b>	Tanque con esquina interior de menor de 23 radianes .....	19
<b>Figura 9-2.</b>	Espacio libre entre el tanque y el piso de un depósito vertical.....	19
<b>Figura 1-3.</b>	Tanque Térmico de Refrigeración de leche vertical.....	24
<b>Figura 2-3.</b>	Diagrama de Cuerpo Libre Tanque Vertical .....	25
<b>Figura 3-3.</b>	Representación gráfica entrada y salidas del tanque vertical .....	29
<b>Figura 4-3.</b>	Sistema al modelado matemático mediante Simulink.....	33
<b>Figura 5-3.</b>	Ingreso de datos a la simulación por modelado matemático .....	34
<b>Figura 6-3.</b>	Simulación de la función de transferencia del proceso de calentamiento .....	38
<b>Figura 7-3.</b>	Script de los parámetros de la simulación del proceso.....	41
<b>Figura 8-3.</b>	Simulación del modelado de refrigeración y calentamiento del tanque de 500 l. ....	42
<b>Figura 9-3.</b>	Ingreso de Datos al Bloque If del Sistema .....	42
<b>Figura 10-3.</b>	Función de transferencia en el condicional If del subbloque elseif.....	43

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2.</b>	Producción de leche por regiones en el Ecuador .....	10
<b>Gráfico 2-2.</b>	Producción de derivados lácteos en el Ecuador.....	10
<b>Gráfico 1-3.</b>	Metodología al proyecto tecnológico .....	21
<b>Gráfico 2-3.</b>	Temperatura de salida al proceso mediante factor integrador .....	34
<b>Gráfico 3-3.</b>	Comportamiento de la curva del proceso con función de transferencia .....	39
<b>Gráfico 4-3.</b>	Comportamiento de las funciones de transferencia del proceso .....	43

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** TANQUES TÉRMICOS DE LA ESTACIÓN TUNSHI - ESPOCH
- ANEXO B:** LIMPIEZA DEL EQUIPO PARA EXPERIMENTACIÓN
- ANEXO C:** RECOLECCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES
- ANEXO D:** REFRIGERACIÓN POR BANCO DE HIELO A LA LECHE CRUDA
- ANEXO E:** CURVA DE COMPARTAMIENTO DEL PROCESO POR SIMULINK
- ANEXO F:** LICENCIA DE MATLAB 2021a

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>h</b>	Altura del tanque (cm)
<b>Q</b>	Calor (J)
<b>C<sub>p</sub></b>	Calor específico (J/kg*°C)
<b>C<sub>p<sub>i</sub></sub></b>	Capacidad calorífica de la entrada a presión constante (J/kg*°C)
<b>C<sub>p<sub>f</sub></sub></b>	Capacidad calorífica de salida del fluido (J/kg*°C)
<b>C<sub>v</sub></b>	Capacidad calorífica del líquido a volumen constante (J/kg*°C)
<b>c</b>	Coefficiente de relleno
<b>δ</b>	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
<b>ρ<sub>i</sub></b>	Densidad del líquido de entrada (kg/m <sup>3</sup> )
<b>ρ<sub>f</sub></b>	Densidad del líquido de salida (kg/m <sup>3</sup> )
<b>D</b>	Diámetro (m)
<b>τ<sub>1</sub></b>	Dinámica del proceso (s)
<b>N</b>	Duración anual de producción
<b>U</b>	Energía interna del líquido en el tanque (J)
<b>h<sub>fg</sub></b>	Entalpía de formación líquido saturado (kJ/kg)
<b>h<sub>1</sub></b>	Entalpía del líquido de entrada (kJ/kg)
<b>h<sub>2</sub></b>	Entalpía del líquido de salida (kJ/kg)

<b><math>\sigma</math></b>	Esfuerzo ( $N/m^2$ )
<b>t</b>	Espesor (m)
<b>q</b>	Flujo o caudal volumétrico (l/s)
<b>k</b>	Ganancia del proceso
<b>m</b>	Masa (kg)
<b><math>m_v</math></b>	Masa de vapor (kg/s)
<b>n</b>	Número de días de almacenamiento de leche
<b><math>\pi</math></b>	Número pi
<b><math>\gamma</math></b>	Peso específico de la leche ( $N/m^3$ )
<b>P</b>	Presión hidrostática ( $N/m^2$ )
<b>p</b>	Producción anual de leche (l)
<b>r</b>	Radio del tanque (cm)
<b>k</b>	Tasa relativa
<b>T<sub>s</sub></b>	Temperatura constante al ambiente ( $^{\circ}C$ )
<b>T<sub>i</sub></b>	Temperatura de entrada del fluido ( $^{\circ}C$ )
<b>T<sub>f</sub></b>	Temperatura de salida del fluido ( $^{\circ}C$ )
<b>T<sub>o</sub></b>	Temperatura inicial ( $^{\circ}C$ )
<b>T(t)</b>	Temperatura luego de transcurrido t horas ( $^{\circ}C$ )

<b>t</b>	Tiempo transcurrido (s)
$\bar{T}_f$	Valor inicial de estado estacionario de salida ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\bar{T}_i$	Valor inicial del estado estacionario de entrada ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\Gamma_i$	Variable de desviación de entrada
$\Gamma_f$	Variable de desviación de salida
$\Delta T$	Variación de temperatura
<b>V</b>	Volumen del tanque ( $m^3$ )



## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo el desarrollo del modelado matemático de los tanques térmicos de almacenamiento de leche de la Estación Experimental de Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el control de la temperatura de salida en el proceso de refrigeración y calentamiento, se procedió a la toma de datos cuantitativas microbiológicos del fluido en el punto de acopio como su temperatura inicial de ingreso, indicando una temperatura de 19,6 °C la leche fue procesada a refrigeración hasta los 8 °C y se procedió al calentamiento hasta llegar a los 80 °C, el proceso fue modelado a partir del balance de energía y simulado mediante el programa Matlab (Simulink) indicando las variables estables como condiciones de operación, se trabajó con la capacidad de 875 litros en un tanque de tipo vertical en un lapso total de 4800 segundos, se simuló el modelado y su función de transferencia dando respuesta tanto en su estado dinámico y su estable en los parámetros establecidos. Se determinó tres diferentes comportamientos de curvas tanto para el balance de energía del tanque térmico, su función de transferencia en el calentamiento de la leche y del comportamiento tanto de recepción, enfriamiento y calentamiento hasta la temperatura de 80 °C, se evidenció el comportamiento de las curvas y se verificó a lo experimental dando validez a la modelación establecida de los dos diferentes procesos. Se recomienda en próximas investigaciones trabajar con temperaturas de refrigeración al fluido de la leche entre el rango de 4°C a 6 °C, temperaturas idóneas en la conservación del fluido.

**Palabras claves:** <MODELADO MATEMÁTICO>, <TANQUE TÉRMICO>, <CONTROL>, <ALMACENAMIENTO>, <TEMPERATURA>, <BALANCE ENERGÍA>, <SIMULACIÓN>, <VALIDACIÓN>.



Firmado electrónicamente por:  
JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS



4-06-2021

1203-DBRA-UTP-2021

## SUMMARY

The aim of this work was to develop the mathematical modeling of the thermal tanks for milk storage at Tunshi Experimental Station of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo in the control of outlet temperature during cooling and heating process, quantitative microbiological data of the fluid at the point of collection as initial temperature of entry were taken, indicating a temperature of 19.6°C, the milk was processed at 8°C and it was heated up to 80°C, the process was modeled based on the energy balance and simulated by means of the Matlab program (Simulink) indicating the stable variables as operating conditions, with 875 liters in a vertical type tank in a total period of 4800 seconds, the modeling and its transfer function were simulated, responding in their dynamic and stable states in the established parameters. Three different curve behaviors were determined, these were: the energy balance of the thermal tank, its transfer function in milk heating and the curve behaviors in reception, cooling and heating up to of 80°C, the curve behaviors were experimentally verified, validating the established modeling of the two different processes. It is recommended, in future work, to consider a range of 4°C to 6°C for milk fluid cooling temperatures, ideal temperatures for preserving the fluid.

**Keywords:** <MATHEMATICAL MODELING>, <THERMAL TANK>, <CONTROL>, <STORAGE>, <TEMPERATURE>, <ENERGY BALANCE>, <SIMULATION>, <VALIDATION>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

La leche es considerada uno de los alimentos de consumo masivo por sus múltiples beneficios y su alto contenido de vitaminas, su vida útil es corta debido al alto índice a la proliferación de bacterias por factores como temperatura, almacenamiento y manejo del fluido.

La refrigeración de leche alarga de forma significativa su duración considerando temperaturas correctas para su tratamiento dependiendo de la cantidad y el tanque almacenador, para la refrigeración se emplea dos tipos de tanques térmicos entre ellos a silo o vertical y granel o horizontal estos diferentes por su capacidad de depósito, su principio es bajar la temperatura drásticamente para evitar la acelerada proliferación de bacterias esto en alrededor de los 4 – 8 °C dependiendo de la generación de frío por la acumulación al banco de hielo para evitar así la producción de bacterias al fluido, esto debidamente agitado por la homogenización al fluido.

La industria láctea en su constante desarrollo de la mejora continua y el uso de las buenas prácticas de manufactura (BPM), garantizan que los diferentes centros de acopio mantengan condiciones correctas de almacenado verificando las propiedades físicas y química pero ciertos lotes son rechazados por el deterioro del mal manejo de refrigeración o alteraciones de terceros hasta las diversas industrias lácteas para el uso de la línea de productos.

La modelación matemática en el estudio de casos reales plantea la ecuación que pueda resolver la incógnita a estudio para ello el presente proyecto es determinar la temperatura de salida de los tanques almacenadores y el comportamiento de refrigeración en el tanque térmico a granel de la planta de lácteos de la Estación Experimental de Tunshi, acorde al estudio de flujos y constantes de operación en ello la simulación del proceso determinó el comportamiento interno del tanque y la temperatura de salida frente a la ambiente para ser conectado a diferentes líneas de subproductos para la leche ( queso , yogurt , manjar , etc.). El planteamiento del modelado matemático y su simulación fue realizado en Matlab y su ventana interactiva Simulink por su facilidad al planteamiento a casos reales y el estudio a diferentes cambios iniciales o del mismo

proceso, se reconoció su función de transferencia al proceso de enfriamiento y calentamiento para la línea de producción de derivados lácteos.

La finalidad del presente proyecto es garantizar la temperatura de salida a las líneas de producción garantizando que la leche no presente cambios o perturbaciones con factores ambientales y esto el daño de los diferentes lotes de producción, el estudio de la curva termodinámica identificara el comportamiento del estado estable al dinámico al modelado matemático planteado.

## **1.1 Antecedentes**

La industria láctea es considerada uno de los sectores económicos importantes en el Ecuador por su diversidad a los productos lácteos y su consumo másico, han generado un alcance a su desarrollo agroindustrial e implementación de herramientas para la mejora continua a partir de su recepción y refrigeración para estos ser depositados en tanques de transporte para la industria lechera.

En el Ecuador dada la riqueza de su tierra y la diversidad de climas, cumple con las condiciones adecuadas para la cría y manutención de ganado productor de leche, el sector lechero a través de los años ha ido tecnificándose y especializándose con el propósito de alcanzar niveles de calidad cada vez mejores, a fin de llegar a competir en mercados internacionales. (SCPM, 2015, p. 16)

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2018, la producción total de leche a nivel nacional fue de 5,0 millones de litros. La provincia de Pichincha produce el 15,7 % del total nacional, con un rendimiento de 10,4 litros/vaca. Por otra parte, acorde a información obtenida por el INEC, la producción de leche es de aproximadamente 5.5 millones de litros diarios, con un promedio por vaca de 5,60 litros. La región Sierra es pionera en la producción de leche concentrando el 76,79%, en segundo lugar, la región Costa con un 15,35% por último la región Oriental con un aporte nacional del 7,86%.(INEC, 2019, p. 29)

El sector lácteo es fundamental y estratégico para el país. Ecuador tiene 300 mil unidades productivas agropecuarias, esto implica que alrededor de 1 200 000 personas viven de la leche y toda su cadena productiva. En el primer cuatrimestre de 2020 la industria láctea formal del país acopió alrededor de 342 millones de litros de leche, y se estima que la producción total de la misma en este periodo es de aproximadamente 660 millones de litros.(LÁCTEOS LATAM, 2020)

En condiciones de ordeño la leche sale de la ubre de la vaca a 32 °C para poder llegar a la planta procesadora en buenas condiciones, es necesario bajar la temperatura en poco tiempo a 4-8°C. A esta temperatura la cantidad de bacterias prolifera en forma lenta y puede mantener la calidad

durante 48-72 h para entonces pasar otros procesos que le prolongan más la vida útil. En las fincas lecheras grandes (100-200 vacas) el ordeño se realiza en forma mecánica. La leche pasa por cañería de la ubre a una enfriadora de platos donde la leche caliente y agua a 2-3 °C pasan a contracorriente. La temperatura de la leche baja a 4 °C en 1-2 minutos y pasa a un tanque refrigerado que mantiene su temperatura.

Las condiciones de control a los depósitos de leche se manejan a la cantidad de la granja bovina en el caso de (30-80 vacas), se maneja tanques en la cual el equipo a la temperatura de leche baja a 10°C en no más de hora y media, cuando se les agrega leche a esos depósitos no debe subir la temperatura de la almacenada a 10 °C. Todas estas condiciones de acopio previo se realiza un control de calidad de la leche asegurando así enfermedades de origen de ordeño.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La industria láctea considerada uno de los sectores económicos de mayor impacto para el desarrollo comunitario y del sector agroindustrial. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC (2019, p. 19) En el país en el 2018, la producción total de leche a nivel nacional fue de 5,0 millones de litros. La provincia de Pichincha produce el 15,7% del total nacional, con un rendimiento de 10,4 litros/vaca. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Centros de Industrias Lácteas (CIL) la producción de leche daría en el Ecuador asciende a 4.982.370,00 litros diarios de los cuales 2,662.560 litros son procesados y dentro de esa cantidad, el 31 % corresponde a Queso, 27% a leche en funda, 20% a leche en cartón, el 11 % en leche en polvo, el 10% a yogurt y el 1% a otros productos derivados de los lácteos.(SCPM, 2015, p. 20)

La mala manipulación de la leche o la presencia de alteraciones externas producen pérdidas considerables a las industrias lácteas, para ello los tratamientos térmicos aseguran la estabilidad tanto microbiológica y organolépticas de una recepción correcta del fluido. Según a (Alais, 2018, p. 505) la finalidad de la refrigeración es conservar la calidad inicial de la leche hasta el momento de su utilización o transformación. Tras el ordeño, la leche forma en los recipientes una masa tibia cuya temperatura se acerca a los 33 °C y que se enfría muy lentamente al aire, aunque el ambiente sea fresco. Es necesario descender rápidamente a una temperatura inferior a 10 °C para impedir el desarrollo de las bacterias acidificante mesofílicas.

En las industrias como centros de acopio asegurándose de la estabilidad de este alimento de primera necesidad surge un principal problema al comportamiento ideal de la temperatura de

refrigeración esto alteradora por diferentes perturbaciones del tipo ambiental acorde a (Calderón et al 2006, p. 726) una deficiente infraestructura de la red de frío, en una de las limitantes más graves en la industria láctea favorecen el crecimiento bacteriano , muchas veces ayudado por las altas temperaturas ambientales. Acorde a Rosado.P & Rosado, J (2015, p. 130) en los centros productos de leche se utiliza el frío ( temperaturas de 4-6 °C) para conservar la leche en las mejores condiciones posibles hasta que esta llegue a la industria. El frío ralentiza los procesos de la leche e impide el crecimiento de microorganismos ( cuyas temperaturas óptimas de crecimiento son alrededor de 30-35 °C) , el principal problema de las industrias es el control de las temperaturas de enfriamiento como de sus mismos tanques térmicos empleados para los procesos productivos de derivados lácteos estos con el aumento de una fuente de calor, los principales equipos presentan perturbaciones con el exterior como desviaciones de diseño no considerables pero tomados en cuenta para un rendimiento energético de una planta.

### **1.3 Justificación del proyecto**

La industria de la leche garantizando la eliminación de microorganismos patógenos a partir de tratamientos térmicos bajo diferentes procesos industriales, manejan un sin número protocolos y lineamientos que aseguren la calidad comercial de sus productos. Es el caso a la leche pasteurizada, leche UHT o leche en polvo, las condiciones iniciales de proceso dependerán al producto terminado que se quiera obtener, entre ellas la temperatura de refrigeración es importante debido que se mantiene estable las condiciones naturales de la leche y la lenta proliferación de bacterias así mismo para los productos terminados la temperatura es un principal factor garantizando eliminación de patógenos entre los 80 °C y una lenta proliferación de bacterias de 4-8 °C. Dentro de las diferentes variantes que se producen en el tratamiento térmico el principal propósito de toda empresa de lácteos es asegurarse de trabajar con las condiciones adecuadas de funcionamiento y temperaturas constantes. En el manejo de los tanques térmicos las propiedades de aislamiento al calor predominan la estabilidad del fluido, las capacidades caloríficas, la masa de vapor si se trata de un calentamiento entre otros demás datos en la industrialización de un producto terminado. El comportamiento en razón del tiempo dependerá de los flujos de entrada para el tanque y las condiciones de transferencia de calor con el ambiente provocando perturbaciones para que el proceso no pueda establecerse como ideal , para ello el uso controlado de un modelado matemático garantice el comportamiento termodinámico de un proceso real de enfriamiento como de calentamiento para la elaboración de productos derivados a la leche, reconociendo puntos de estabilidad (Setpoint) en un lapso de tiempo y energía a remover.

Es por ello en el avance tecnológico de nuevas herramientas, la modelación matemática a tanques térmicos brinda la oportunidad de dar un estudio en base a balances de masa y energía, el comportamiento al proceso de tanques térmicos considerando la temperatura de salida uno de los principales objetivos de observación al comportamiento de la operación a diferentes condiciones.

Las curva termodinámicas al comportamiento del proceso real brindará la sustentación matemática del tanques térmicos a diferentes temperaturas desde el ordeño hasta de proceso refrigeración y preservación, asegurando las diferentes variables como condiciones de operación cumplan con las especificaciones que se puedan dar a al modelado, asegurando la temperatura de salida con su comportamiento operacional a la producción continua y evitando perdidas tanto energéticos como la optimización de los recursos importante en el desarrollo de las buenas prácticas de manufactura (BPM), el modelo del proceso determina los datos de estabilidad del tanque como de los fluidos acorde a los caudales de entrada como que fluctúan alrededor de las condiciones de trabajo establecidas a estudio.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 *Objetivo general***

Desarrollar un modelo matemático de tanques térmicos para el control de la temperatura de salida en el almacenamiento de leche de la industria láctea.

### **1.4.2 *Objetivos específicos***

- Identificar las variables de proceso y constante de operación de los tanques térmicos para el almacenamiento de leche.
- Demostrar la temperatura de salida tanques térmicos al modelado matemático mediante Matlab (Simulink).
- Describir el comportamiento de la curva de la función de transferencia al modelo matemático.

## **1.5 Alcance**

El presente proyecto tecnológico tiene como principio determinar la temperatura correcta de refrigeración de los distintos tanques térmicos empleados en los centros de acopio a partir de los sectores rurales considerando así que la industria láctea es uno de los más importantes en el desarrollo económico. El alcance en el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas se

determinará la temperatura de salida y comportamiento de proceso debido a la mejora continua y la exigencia del mercado, el modelado matemático en conjunto con su simulación beneficiará a los diferentes puntos de acopio de leche y su preservación correcta garantizando su tratamiento hasta estos depósitos sean utilizados para la producción de productos derivados del mismo.

El sector productor de este alimento de primera necesidad y el agroindustrial tendrán un estudio de campo a partir del ordeño y estos almacenados las temperaturas y el cambio en transporte evitando pérdidas tanto operacional y de mano de obra, considerando como principio el modelado matemático a diferentes niveles de tanque y describiendo su comportamiento dando razón de los procesos tanto de refrigeración y de equipo.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEORÍCO

#### 2.1 Estado del arte

##### 2.1.1 *Modelado matemático en sistemas térmicos*

El modelado en sistemas térmicos se desarrolla principalmente para la selección o dimensionamiento de sus componentes, o simplemente para determinar su dominio de operación. La selección de equipos y dimensionamiento del sistema se realiza, generalmente, a una condición de operación nominal, lo que permite tener una idea de cómo se comporta el sistema en condiciones diferentes a la de diseño o a carga parcial. (Cuevas & Fonseca, 2016, p. 2)

La modelación en conjunto con su simulación de proceso tiene como propósito el estudio al comportamiento de la respuesta inmediata de todo un sistema a una perturbación cualquiera, realizada a un componente específico o al sistema completo. Teniendo, un grado de complejidad de la programación como en su resolución numérica. Acorde a Bravo (2017, p. 7), El principio de linealización de ecuaciones no lineales se basa en la suposición de que las variables del proceso cambian muy poco y sus desviaciones a partir del estado estable (estado estacionario) son pequeñas.

Los modelos matemáticos describen la relación entre variables de decisión, restricciones y objetivos, su presentación más usual es en forma de un conjunto de ecuaciones matemáticas, en donde el modelo ha de representar el sistema real para el cual se desea tomar decisiones. El proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema incluyendo la recolección de datos pertinentes, continua con la construcción del modelo matemático, posteriormente su validación, y las respectivas conclusiones/soluciones. (Antonieta et al., 2017, p. 355-366)

## **2.1.2 *Tratamientos térmicos en la leche***

### **2.1.2.1 *Refrigeración***

Las leches obtenidas por ordeño manual a ser intervenidas con cadena de frío, arrojaron en promedio 34,5°C de temperatura inicial y luego de setenta minutos de operación del equipo estas fueron enfriadas a 0,3 °C, las que luego de haber transcurrido más de 9,5 horas del ordeño, arrojaron un recuento bacteriano de mesófilos totales de 9.000 UFC/ml , en contraposición al recuento arrojado por las leches cotidianamente manejadas a temperatura ambiente y en el mismo tiempo mostraron un desarrollo microbiano de hasta 4.326.000 UFC/ml.(Vega, 2010, p. 23)

Según a (Hansen, 2013, p. 32), el método reconocido universalmente para conservar la leche cruda es la refrigeración. En la práctica, cualquier método que no implique el rápido enfriamiento de la leche en las dos primeras horas de obtenerse ocasiona, en mayor o menor medida, algún grado de deterioro de su calidad.

Su uso, unido a la implementación de las buenas prácticas de ordeño e higiene y salud de los rebaños lecheros, ha permitido el establecimiento en los países desarrollados de conteos máximos de bacterias inferiores a 10 000 UFC/ml, incluso menores de 25 000 UFC/ml.(Ponce, 2010, p. 4)

Para prolongar la vida útil de la leche, se han desarrollado varios procesos, entre estos está el secado, es uno de los métodos de procesamiento más utilizado para aumentar su vida útil. Este proceso consiste en eliminar la mayor parte del agua, así por ejemplo la leche fluida tiene un 88% de humedad promedio y después del secado queda con un máximo de 3,5 % de humedad.(Monckeberg, 2018, p. 2)

### **2.1.2.2 *Aplicación de frío en la leche***

Una deficiente infraestructura de la red de frío es una de las limitantes más graves para el fortalecimiento de la industria láctea. También el inadecuado transporte agrava la deficiente calidad de la leche fresca, ya que, al hacer uso de los vehículos no aptos sin ningún tipo de refrigeración, favorecen el crecimiento bacteriano, muchas veces por las altas temperaturas ambientales.(Romero et al, p. 43)

En los centros productores de leche utiliza el frío (temperaturas de 4-6 °C) para conservar la leche en las mejores condiciones posibles hasta que esa llegue a la industria. El frío ralentiza los procesos de alteración de la leche e impide el crecimiento son alrededor de 30-35 °C, como microorganismos mesófilos que son.(Rosado & Rosado, 2015, p. 130)



**Figura 1-2.** Tanques de frío utilizado en los centros de producción láctea  
**Fuente:** (Rosado & Rosado, 2015, p. 130)

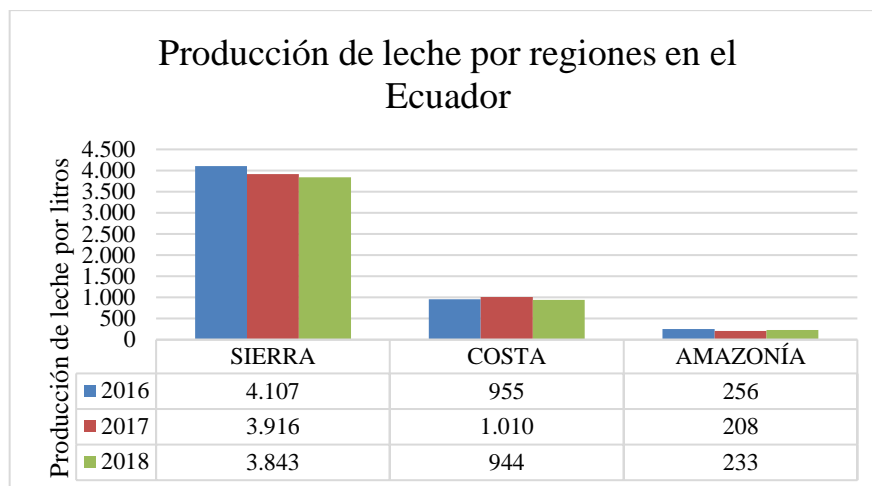
## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 *Producción de leche en el Ecuador*

La producción de la industria láctea genera cerca de 1.400 millones de dólares al año. El consumo en Ecuador se ubica por debajo de 90 litros al año, estadística menor con respecto a otros países de la región. La actividad pecuaria del país es compleja y diversa, sobre todo, por las situaciones que atraviesan actualmente los pequeños y medianos productores ganaderos. De los aproximadamente 5.000.000 de litros de leche diarios que se producen en el país, el 50% va a la industria de lácteos. (Ekos, 2019)

#### 2.2.1.1 *Producción de leche por regiones en el país*

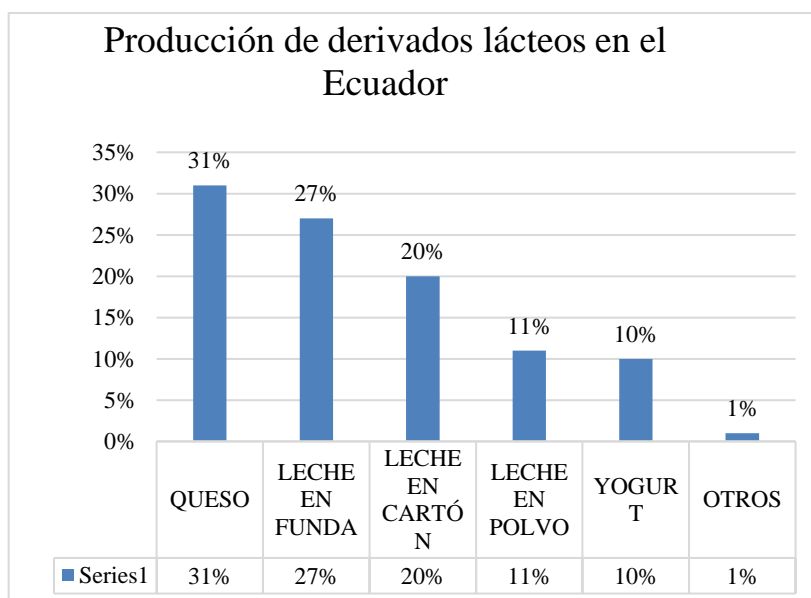
En Ecuador se producen alrededor de 5.300.000 litros de leche diarios que abastecen la demanda local. En el país en, la región Sierra se produce el 73% de la leche en la Costa el 19% y en la Amazonía 8%. La producción lechera beneficia a unos 298.000 ganaderos. No menos de un millón y medio de personas viven directa e indirectamente de esta actividad.(El Telégrafo, 2014)



**Gráfico 1-2.** Producción de leche por regiones en el Ecuador  
**Realizado por:** Brandon, Saguay,2021

#### 2.2.1.2 Producción de derivados lácteos en el país

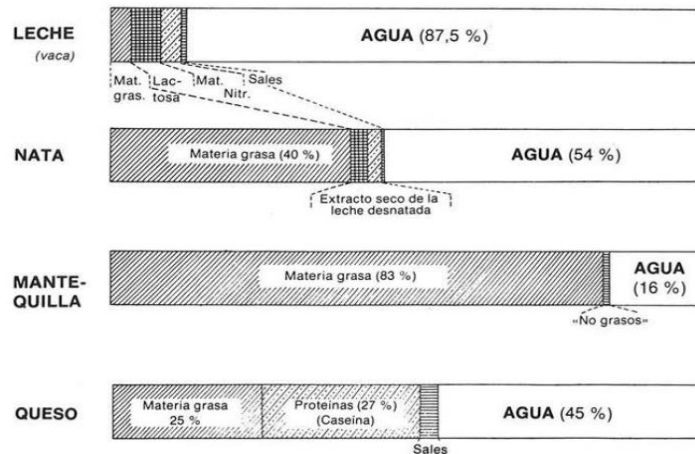
La leche líquida es el producto lácteo más consumido, elaborado y comercializado, el cual abarca productos como la leche pasteurizada, la desnatada, la normalizada, la reconstituida, la de larga conservación (UHT) y la enriquecida. Las leches fermentadas se obtienen mediante la acción de microorganismos adecuados para llegar a un nivel deseado de acidez y se utilizan para fabricar otros productos lácteos. (Publicayo, 2019)



**Gráfico 2-2.** Producción de derivados lácteos en el Ecuador  
**Realizado por:** Brandon, Saguay,2021

### 2.2.2 Leche cruda

La leche obtenida tras el ordeño y que posteriormente es refrigerada es a lo que se denomina leche cruda, a la que no se le ha añadido ni sustraído nada, y no se le ha aplicado ningún tratamiento térmico por calor. Esta leche cruda es una excelente materia prima debido a la gran variedad de productos que se pueden elaborar a partir de ella, tales como, leche de consumo, quesos, yogures, helados, mantequilla, nata, cuajada y postres lácteos. (García, 2015, p. 15)



**Figura 2-2.** Esquema analítico de derivados lácteos  
Fuente: (Alais, 2018, p. 11)

#### 2.2.2.1 Condiciones que favorecen la contaminación de la leche

De acuerdo con García (2015, p. 57), Las características y composición de la leche la hacen un medio idóneo para el desarrollo de microorganismos. Los principales factores favorables al desarrollo microbiano son:

- **Elevado contenido en agua.** Los microorganismos necesitan agua para poder vivir. En los alimentos el agua puede encontrarse formando parte de estructuras moleculares, y, por tanto, es agua no disponible, o bien ser agua libre y disponible para el uso por parte de los microorganismos y para las reacciones bioquímicas y enzimáticas. Esto es lo que se conoce como actividad del agua ( $a_w$ ). La leche presenta una actividad del agua de 0,99, lo que la hace susceptible a la proliferación de microorganismos.
- **Nutrientes.** Como se ha comentado anteriormente, la leche es un medio nutritivo ideal al contener grasas, proteínas, azúcares, minerales y vitaminas, principalmente. Los microorganismos necesitan nutrientes para poder alimentarse, encontrando en la leche el sustrato ideal en el que desarrollarse.77

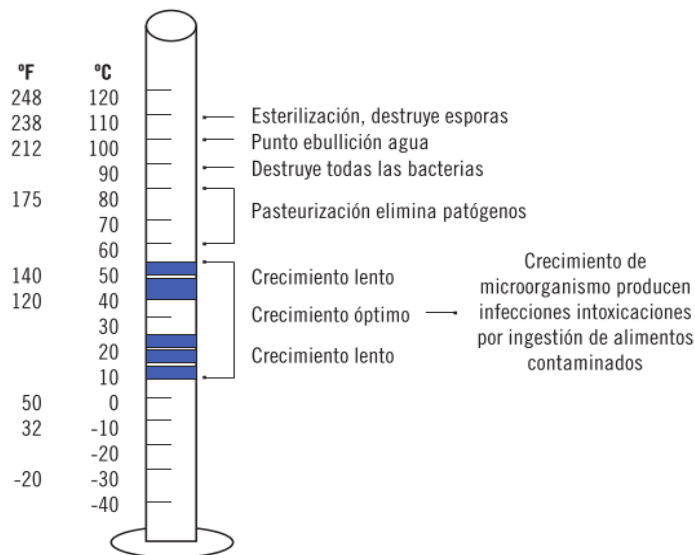
- **La temperatura.** La leche recién ordeñada se encuentra a una temperatura media de 37 °C, que es considerada como la temperatura óptima de crecimiento de los microorganismos. Si la leche no es rápidamente puesta en temperaturas de refrigeración, los microorganismos podrán multiplicarse muy rápidamente en estas condiciones.
- **El pH cerca de la neutralidad.** El valor de pH es un factor determinante a la hora del desarrollo de los microorganismos en un medio, siendo favorables para ellos pH próximos a la neutralidad, como es el caso de la leche.

#### 2.2.2.2 *Efectos del frío y el calor sobre la leche y sus propiedades*

El almacenamiento en refrigeración inhibe el desarrollo y la proliferación de los microorganismos en la leche, aunque si este almacenamiento es prolongado se convierte en un medio ideal para el desarrollo de los microorganismos psicrófilos. (García, 2015, p. 65)

De acuerdo con García (2015, p. 65-66), la destrucción de los microorganismos se consigue mediante el tratamiento con temperaturas elevadas, aplicándose distintos tratamientos en función al objetivo que se pretende conseguir:

- **Termización.** Consiste en aplicar temperaturas de entre 57 y 68 °C durante 15 segundos. Este tratamiento se aplica sobre la leche cruda para alargar la vida de esta antes de ser procesada. Mediante esta técnica se consigue eliminar la mayor parte de la flora psicrófila y psicrótrofa que contiene la leche.
- **Pasteurización.** Consiste en aplicar temperaturas de 71,5 °C durante 15 segundos. Mediante este tratamiento se consigue eliminar los microorganismos patógenos que son capaces de sobrevivir a esta temperatura.
- **Esterilización UHT (Ultra High Temperature).** Es un tratamiento mucho más agresivo que aplica temperaturas por encima de los 135 °C en pocos segundos seguido de un rápido enfriamiento.



**Figura 3-2.** Efectos de la Temperatura sobre los microorganismos  
**Fuente:** (García, 2015, p. 66)

### 2.2.2.3 Efecto de la aplicación de frío sobre las propiedades de la leche

A nivel de los componentes de la leche, con las temperaturas de refrigeración aumenta la estabilidad de las micelas de caseína, sin embargo, si bajan estas temperaturas y se produce la congelación parcial de la leche los glóbulos de grasa se cristalizarán produciendo fisuras en la membrana del glóbulo, liberando de este modo los triglicéridos que serán atacados por las enzimas lipasas ocasionando los fenómenos de enranciamiento. (García, 2015, p. 67)

### 2.2.2.4 Efecto de la aplicación de calor sobre las propiedades de la leche

En la termización, la aplicación de temperaturas bajas seguida de una rápida refrigeración alrededor a los 4-8 °C no represente un efecto importante sobre los componentes de la leche y sus propiedades, por tanto, no afecta al valor nutritivo.

Para conseguir el efecto deseado de los tratamientos térmicos es tan importante alcanzar la temperatura como respetar el tiempo de tratamiento. El tratamiento es eficaz por la combinación de temperatura-tiempo. Cuando el calentamiento es excesivo puede tener consecuencias en los componentes de la leche como degradación de lactosa, reacciones entre la lactosa y las proteínas. (García, 2015, p. 68)

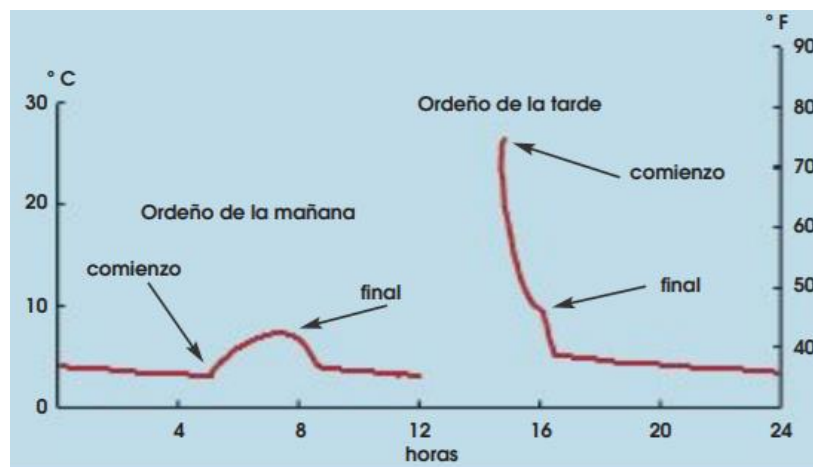
### 2.2.3 Eficacia del frío como conservador de la calidad de la leche

La eficacia del enfriamiento para mantener la calidad de la leche depende de los factores como:

- a) Temperatura de conservación
- b) Período de almacenamiento
- c) Contaminación inicial
- d) Velocidad de Enfriamiento

#### 2.2.3.1 Temperatura de conservación

Enfriar la leche a una temperatura entre 3 y 4 °C retarda el crecimiento de los gérmenes. Actualmente se recomienda en la mayoría de los países una temperatura de conservación de la leche de 4°C como la más eficaz para controlar el crecimiento bacteriano. Una temperatura inferior a 3 °C puede dar lugar a fenómenos de congelación, y alterar la composición como calidad de la leche. (Callejo, 2013, p. 84)



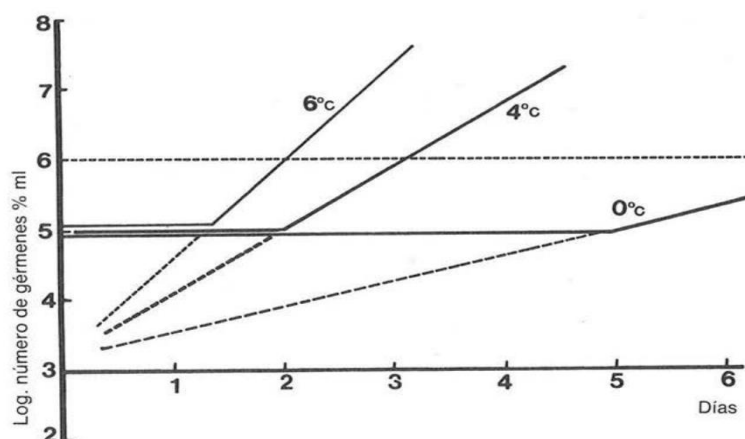
**Figura 4-2.** Curva Temperatura de la Leche en un Tanque refrigerante  
Fuente: (Alonso, 1996, p. 32)

#### 2.2.3.2 Duración del almacenamiento

Independientemente de la temperatura a que se conserve la leche, cuanto más largo es el periodo de almacenamiento mayor es el crecimiento bacteriano. Los ganaderos con recogida cada dos días deben tener bien presente que cualquier temperatura de conservación por encima de 5°C puede ser la causa de no obtener una buena calidad bacteriológica de la leche en el momento de recolección. (Callejo, 2013, p. 84)



A la temperatura de 4 °C el factor de multiplicación de los gérmenes depende de la microflora total inicial y asimismo de la velocidad de refrigeración. En las condiciones exigidas por las actuales normas en vigor la multiplicación se mantiene dentro de los límites aceptables con las leches poco contaminadas; caso contrario excesiva con leches cargadas de gérmenes. A la temperatura de 0 °C se impide todo desarrollo microbiano durante 4 a 5 días.(Alais, 2018, p. 507-508)



**Figura 5-2.** Evolución microbiana de la leche refrigerada  
Fuente: (Alais, 2018, p. 508)

### 2.2.3.3 Contaminación inicial

Para observar leche de buena calidad bacteriológica no basta con enfriarla y mantenerla fría, sino que también hay que realizar todo el proceso del ordeño y el almacenamiento con una higiene rigurosa, por lo que los malos resultados en calidad no son necesariamente debidos a un mal funcionamiento del tanque refrigerante. (Callejo, 2013, p. 6)

**Tabla 1-2:** Evolución de bacterias en la leche durante 72 horas

Condiciones de producción	T° de almacenaje (°C)	Recién ordeñada	Recuento estándar por ml después de		
			24 h	48 h	72h
Vacas y equipos de ordeño limpios	4,4	4.295	4.138	4.566	8.427
	10	4.295	13.961	127.727	5.725.277
	15,5	4.295	1.587.333	33.011.111	326.500.000
Vacas y equipos de ordeño poco limpios	4,4	136.533	281.646	538.775	749.030
	10	136.533	1.170.546	13.662.115	25.687.541
	15,5	136.533	24.673.571	639.884.615	2.407.033.333

Fuente:(Callejo, 2013, p. 85)

Realizado por: Saguay, Brandon,2021

#### 2.2.3.4 Velocidad de enfriamiento

Durante unas dos horas después del ordeño el crecimiento de las bacterias es muy lento (fase bacteriostática), para ir posteriormente aumentado de forma rápida. Por ello hay que aprovechar este periodo para enfriar la leche hasta la temperatura de conservación. (Callejo, 2013, p. 85)

**Tabla 2-2:** Evolución del contenido de bacterias en la leche durante 48 horas

Contaminación inicial (gérmenes/ml)	25000		75000		125000	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
Enfriamiento instantáneo	22.000	23.500	79.500	87.750	132.500	188.250
Enfriamiento en 3 horas	23.000	25.500	87.000	101.250	212.500	496.250
Enfriamiento en 5 horas	25.250	30.200	115.500	237.750	273.400	613.800

Fuente: (Madrid, 1996, p. 38)

Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

Según Alais (2018, p. 513-514) las temperaturas estables de conservación de leche se estable como :

- A 40 ° C, la conservación de la leche en depósitos de refrigeración en la granja durante un tiempo a dos días tiene riesgos considerables. La barrera del millón de gérmenes no se alcanza generalmente hasta transcurridos 3 días.
- A 0-1 °C, la leche de buena calidad bacteriológica inicial puede recogerse dos veces por semana solamente (conservación 3 y 4 días) sin que aparezcan defectos.
- La refrigeración instantánea después del ordeño es una práctica muy recomendable, sobre todo cuanto la leche se destina a fabricaciones especiales, como puede ser las de alimentos infantiles.

#### 2.2.4 Equipos de enfriamiento para leche

Un tanque de leche o enfriador de leche consiste en una tina interior y otra exterior, realizadas en acero inoxidable de calidad alimenticia. El tanque de expansión directa, soldado en interior, tiene un sistema (evaporador) de placas y tubos en los que circula gas refrigerante (R22). Este gas absorbe el calor del líquido contenido en la tina (la leche). Los tanques de expansión directa se entregan con un compresor y una grilla de condensación en la que también circula gas refrigerante. El mismo principio que para un refrigerador/heladera (refrigeración por compresión). (Pendini, 2012, p. 308)

El espacio entre las dos tinas está recubierto de una espuma de poliuretano aislante. En el caso de tener problemas de electricidad y con una temperatura exterior de 30 °C, el contenido no debería recalentarse a más de 1° por cada 24 h. Para permitir un enfriador rápido y adecuado de la totalidad del contenido de la tina, cada tanque está equipado de al menos un agitador. La agitación de la leche permite que toda la leche en el interior de la tina quede homogénea y a la misma temperatura. (Pendini, 2012, p. 308)

#### 2.2.4.1 *Tanques de enfriamiento vertical o silo*

Acorde a Milkplan (2019, p. 3) fabricantes de tanques abiertos de refrigeración en sus catálogo de productos establece dos tipos de tanques tipo silo o verticales para almacenamiento de leche :

##### a) Tanque vertical de 50-300 litros

Milkplan ofrece tanques de refrigeración de leche abiertos y cilíndricos de 50-300 litros para las ganaderías de producción de leche baja. Son verticales, con la unidad de refrigeración de refrigeración ubicada debajo del tanque de enfriamiento. La unidad de condensación del tanque está protegida por tapas de acero inoxidable perforadas. (Milkplan, 2019, p. 3)



**Figura 6-2.** Tanque vertical de 50-300 litros

Fuente: (Milkplan, 2019, p. 3)

##### b) Tanque vertical de 400-2500 litros

Para las ganaderías de tamaño medio, Milkplan produce tanques abiertos de refrigeración de leche con capacidad de 400 a 2500 litros. La unidad de condensación de estos tanques se encuentra al lado del vaso del tanque. El vaso y la unidad de condensación están montados en una base establece de acero galvanizado en caliente. La unidad de condensación está protegida por todos lados por las partes perforadas y en la parte superior con una cubierta sólida. (Milkplan, 2019, p. 3)



**Figura 7-2.** Tanque vertical de 400-2500 litros  
Fuente: (Milkplan, 2019, p. 3)

## 2.3 Bases Legales

### 2.3.1 *Tanques refrigerados de leche a granel*

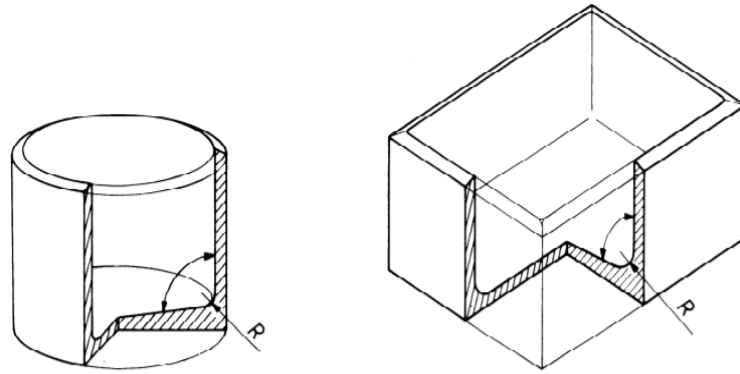
#### 2.3.1.1 *Material*

El recipiente interior como las láminas que pueden venir en contacto con la leche se fabricará a partir de acero inoxidable o de un material aprobado por una autoridad oficial competente. El grado de acero deberá ser de una calidad al menos equivalente a la de acero 11 acorde a la ISO 683, en cuanto a la idoneidad para la soldadura y resistencia a la corrosión todas las articulaciones deben estar soldado y rectificado y deberá tener una fuerza y resistencia a la corrosión no menor que la del metal base. (ISO, 1983, p. 3)

Acorde a la ISO (1983, p. 3) las superficies de acero inoxidable deben tener una rugosidad superficial de  $R_a < 1.0 \mu m$  donde la rugosidad está definida en la ISO 468.

#### 2.3.1.2 *Recipiente interno*

El recipiente interior se diseñará de modo que el volumen nominal sea de 90 al 95 % del volumen máximo, todas las esquinas interiores del recipiente interior que forman un ángulo de menos de 2.36 radianes (136 °) tendrá un radio no inferior a 25 mm. Todas las demás esquinas del recipiente interior deberán tener radios no inferiores a 3 mm.(ISO, 1983, p. 3)

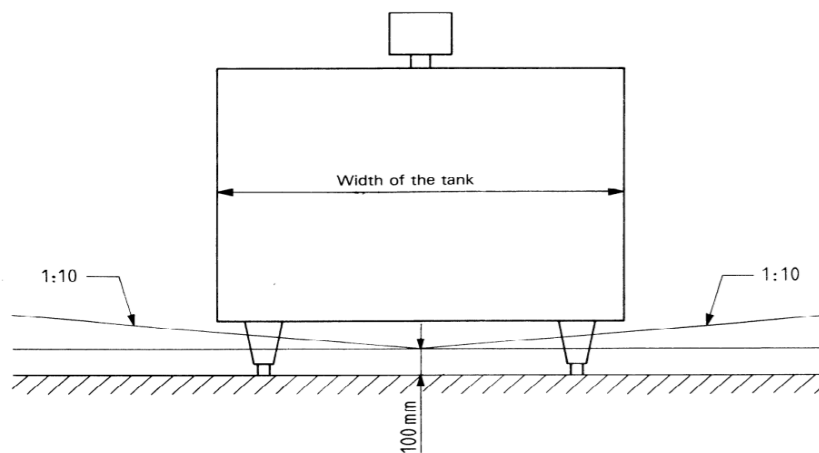


**Figura 8-2.** Tanque con esquina interior de menor de 23 radianes  
**Fuente:** (ISO, 1983, p. 3)

### 2.3.1.3 Soporte al Tanque

Un tanque que no está diseñado para montarse sobre un pedestal sólido debe estar equipado con soportes o púes ajustables para permitir que sea colocado en su posición de referencia cuando se instala en un suelo con un gradiente no mayor de 1 en 50 cualquier dirección siempre que la caída del suelo entre los soportes no es mayor que 50 mm. (ISO, 1983, p. 4)

La distancia entre el tanque y el piso debe ser tal que la base del tanque cuando se instale en un piso horizontal situado por encima de dos planos imaginarios que tienen un gradiente de 1 en 10 a la horizontal, la línea de intersección es horizontal y 100 mm por encima del suelo. (ISO, 1983, p. 4)



**Figura 9-2.** Espacio libre entre el tanque y el piso de un depósito vertical  
**Fuente:** (ISO, 1983, p. 4)

#### 2.3.1.4 *Control de Temperatura de Tanques Verticales*

El equipo para el control de la temperatura de la leche deberá operar satisfactoriamente con cualquier volumen entre 10 % y 100 % del volumen nominal a temperaturas de la leche de 0 a 35 °C. También deberá ser capaz de soportar sin pérdida de calibración, temperaturas dentro del recipiente de 10 a 70 °C y temperaturas de funcionamiento.(ISO, 1983, p. 6)

### 2.3.2 *Matlab*

#### 2.3.2.1 *Términos de Licencia*

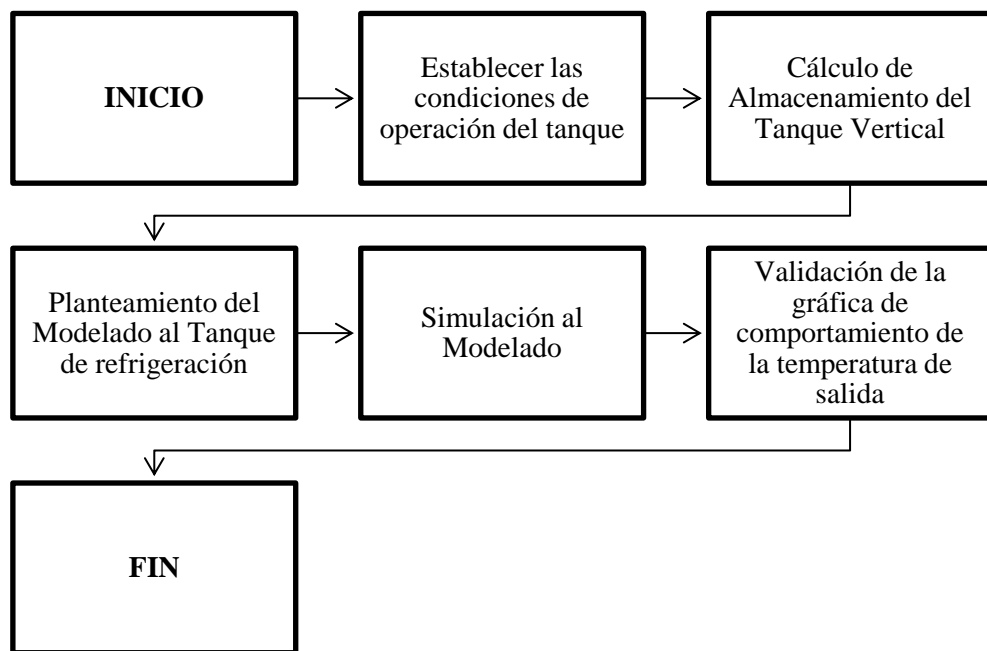
Las licencias perpetuas otorgan el derecho a utilizar el software de forma indefinida y el primer año del servicio de mantenimiento del software MathWorks está incluido en el precio de compra inicial. Después del período inicial de 12 meses, se requiere una tarifa anual para renovar su servicio de mantenimiento de software. Las iniciales anuales otorgan el derecho a utilizar el software y el servicio de mantenimiento MathWorks que está incluido en la tarifa de la licencia, para garantizar un servicio ininterrumpido, puede renovar su licencia antes que finalice el plazo de la licencia. (MATLAB, 2021)

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

La presente propuesta tecnológica se fundamentó a partir del estudio previo de las propiedades fisicoquímicas de recepción de la leche previo al almacenamiento en los tanques térmicos, se realizó una experimentación con la capacidad máxima de proceso de refrigeración y calentamiento se procedió a la modelación de la función respuesta de transferencia con el software Matlab (Simulink) en su versión R2021a.

#### 3.1 Etapas de la metodología al proyecto tecnológico



**Gráfico 1-3.** Metodología al proyecto tecnológico  
Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

Para el desarrollo previo se analizó las condiciones preliminares del tanque de almacenamiento como sus propiedades físicas y térmicas para la conservación de calor, para este estudio se realizó previo el análisis físico químico de la leche en la recepción y el planteamiento del balance de energía en su estado estable. Las condiciones de operación se establecieron y se dio el planteamiento gráfico del sistema simulado dando respuesta a la temperatura de salida del proceso real.

### 3.2 Condiciones iniciales de operación del tanque de almacenamiento

#### 3.2.1 Propiedades de la leche a almacenamiento en el tanque

El estudio de las propiedades fisicoquímicas de recepción de la leche se los tomó a partir del instrumento analítico Milk analyzer Ecomilk 120, previamente calibrado a partir de soluciones buffer estandar, obteniendo los siguientes valores:

**Tabla 1-3:** Propiedades fisicoquímicas de la leche a recepción

CONDICIÓN	VALOR	UNIDADES
Contenido de Grasa	4.14	%
Solidos no grasos	5.93	%
Densidad	1,028	$g/cm_3$
Proteína	2.28	%
Temperatura	19.6	°C
Lactosa	3.22	%
Conductividad	4.36	mS/cm
pH	5.81	-

Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

#### 3.2.2 Condiciones de operación del tanque vertical

Se estableció las condiciones del tanque vertical predeterminado de capacidad de 875 litros sus propiedades de diseño y construcción.

De igual manera se analizó y se estableció los parámetros de diseño de la pared del tanque vertical en su espesor como lámina establecida en su interior.

**Tabla 2-3:** Condiciones para el cálculo del sistema de almacenamiento al tanque vertical

CONDICIÓN	VALOR	UNIDADES
Volumen de capacidad de tanque	875	l
Presión atmosférica ( $P_{atm}$ )	1	atm



Longitud del tanque	0.97	m
Diámetro del tanque	1	m
Espesor tanque	0.10	m

Realizado por: Saguay, Brandon,2021

### 3.3 Cálculo tanque de almacenamiento vertical

#### 3.3.1 Determinación de geometría y dimensión al tanque

Para la determinación de la geometría del tanque y dimensión, se trabajó con el tipo cilíndrico, con el material acorde al Instituto Ecuatoriano de Normalización (acero inoxidable AISI 304), para terminar su volumen se determinó la producción anual en razón al número de almacenamiento de leche en el centro de acopio en la Base Experimental de Tunshi.

$$V = \frac{p}{N} * n * \frac{1}{c} \quad Ec. 1 - 3$$

Donde:

V: volumen del tanque, (l)

p: producción anual de leche, (l)

N: duración anual de producción

n: número de días de almacenamiento de la leche

c: coeficiente de relleno (constante)

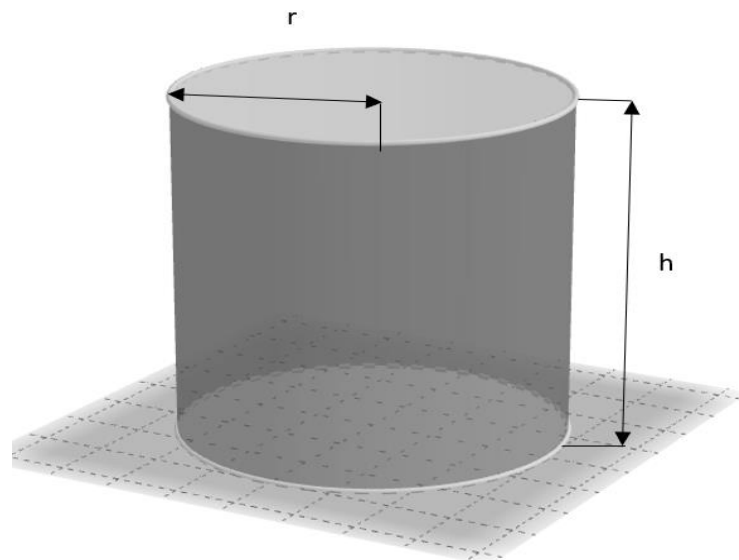
$$V = \frac{p}{N} * n * \frac{1}{c}$$

$$V = \frac{184000 \text{ l}}{360} * 1 * \frac{1}{0,7}$$

$$V = 730,156 \text{ l}$$

La capacidad de almacenamiento al volumen del tanque se recomienda almacenar hasta un 90 % de la capacidad máxima por seguridad en los procesos como higiene en la recepción interna del

tanque, el factor de seguridad de igual forma se debe trabajar entre el 15% del volumen total a almacenado.



**Figura 1-3.** Tanque Térmico de Refrigeración de leche vertical  
Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

$$V_{tanque} = \pi * r^2 * h \quad Ec. 2 - 3$$

Donde:

$V_{tanque}$  = Volumen del tanque, (l)

$\pi$  = número pi

$r$  = radio del tanque, (cm)

$h$  = altura del tanque, (cm)

$$V_{tanque} = \pi * (50 \text{ cm})^2 * 97 \text{ cm}$$

$$V_{tanque} = 761836,22 \text{ cm}^3 \approx 761 \text{ l}$$

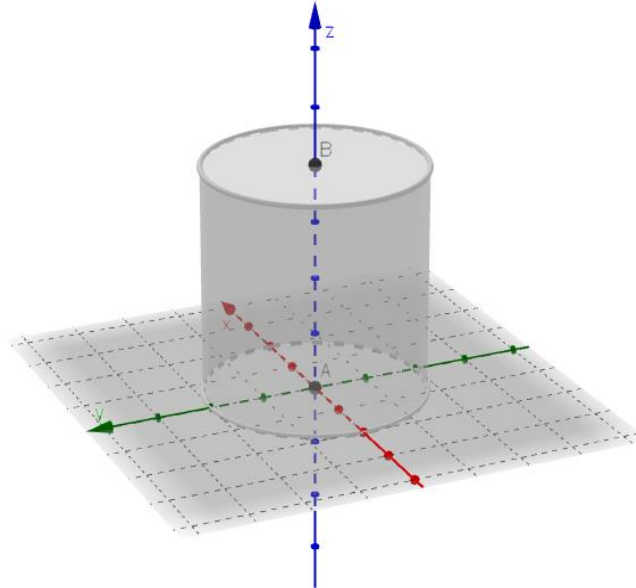
Bajo la capacidad del factor de seguridad del 15 % para seguridad de operación y evitar generación de contaminación microbiana:

$$V_{tanque} = 761 \text{ l} + (761 \text{ l} * 0,15)$$

$$V_{tanque} = 875,15 \text{ l} \approx 875 \text{ l}$$

### 3.3.2 Cálculo espesor del tanque

Se realizó un diagrama de cuerpo libre para la sección del tanque vertical de almacenamiento para determinar su esfuerzo longitudinal para luego determinar el espesor del tanque.



**Figura 2-3.** Diagrama de Cuerpo Libre Tanque Vertical  
Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

Primero, se calculó la presión hidrostática en la parte inferior del tanque donde en esa parte ejerce presión el fluido.

$$P = \gamma * h \quad \text{Ec. 3 - 3}$$

Donde:

P: Presión hidrostática, ( $N/m^2$ )

$\gamma$ : Peso específico de la leche, ( $N/m^3$ )

h: altura del tanque, (m)

$$\begin{aligned} P &= \gamma * h \\ P &= 10100 \frac{N}{m^3} * 0.97 \text{ m} \\ P &= 9797 \frac{N}{m^2} \end{aligned}$$

Posterior con este valor se calculó el esfuerzo tangencial que se va a producir al fondo de tanque mediante la fórmula:

$$\sigma = \frac{P * D}{2t} \quad \text{Ec. 4 - 3}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo, ( $N/m^2$ )

P: Presión hidrostática, ( $N/m^2$ )

D: Diámetro, (m)

t: espesor, (m)

$$\sigma = \frac{P * D}{2t}$$

$$\sigma = \frac{9797 \frac{N}{m^2} * 0,66 \text{ m}}{2(0,10 \text{ m})}$$

$$\sigma = 32\,330,1 \frac{N}{m^2}$$

Para verificación del esfuerzo tangencial es necesario identificar que el tanque de almacenamiento sea de pared delgada o gruesa, para ellos se utiliza la siguiente expresión:

Si  $\frac{r}{t} \geq 10$  entonces es un recipiente de pared delgada

Si  $\frac{r}{t} < 10$  entonces es un recipiente de pared gruesa

Se realizó la verificación y con el espesor de pared de 0,10 m, por lo tanto:

$$\frac{r}{t} = \frac{0,33 \text{ m}}{0,10 \text{ m}} = 3,3 < 10$$

Se comprobó mediante las condiciones de pared del tanque que corresponde a un recipiente de pared gruesa.

### 3.3.3 Cálculo de calor necesario en el tanque

Se calculó la cantidad de calor que se necesita retirar del tanque en referencia a densidad de leche y volumen primero calculando la cantidad de masa a remoción y asegurando la temperatura del fluido de leche de entrada al tanque.

$$m = \partial * v \quad \text{Ec.5 - 3}$$

Donde:

m = masa, (kg)

$\partial$  = densidad de la leche, ( $g/cm^3$ )

v = volumen del recipiente, ( $cm^3$ )

$$\begin{aligned} m &= \partial * v \\ m &= 1,03 \frac{g}{cm^3} * 875000 \text{ cm}^3 \\ m &= 901250 \text{ g} \approx 901.25 \text{ kg} \end{aligned}$$

Con el valor de masa se procede a calcular la cantidad de calor a retirar del sistema a refrigeración en el tanque.

$$Q = m * \Delta t * Cp \quad \text{Ec.6 - 3}$$

Donde:

Q = Calor, (kJ)

m = masa, (kg)

$\Delta t$  = variación de temperatura, ( $^{\circ}C$ )

Cp = calor específico de la leche, ( $J/kg * ^{\circ}C$ )

Se procedió a medir en primera instancia el calor del sistema en su refrigeración obteniendo:

$$Q = m * \Delta t * Cp$$

$$Q = m * (T. final - T. inicial) * Cp$$

$$Q = 901.25 \text{ kg} * (8^{\circ}C - 19.6^{\circ}C) * 3.930 \frac{J}{kg * ^{\circ}C}$$

$$Q = -41086.18 J \approx -41.08 kJ$$

El calor para remover se considera como cedido considerando el enfriamiento del sistema la temperatura de refrigeración de 8 °C se lo expone como la temperatura del banco de hielo en la refrigeración de la leche considerable del rango para evitar la proliferación de bacterias.

Del mismo modo la cantidad de calor absorbido en el calentamiento del proceso a partir de los 8 °C hasta la temperatura de 80 °C, temperatura apta para la elaboración de yogurt, se obtuvo:

$$Q = m * (T. final - T. inicial) * Cp$$

$$Q = 901.25 kg * (80 °C - 8 °C) * 3.930 \frac{J}{kg * °C}$$

$$Q = 255017.7 J \approx 255 kJ$$

### 3.3.4 Cálculos de flujos de entrada al tanque

Mediante la experimentación se pudo determinar los diferentes caudales de entrada para el desarrollo al modelado obteniendo, aplicando la fórmula:

$$q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 7 - 3}$$

Donde:

q = flujo o caudal volumétrico, ( $m^3/s$ )

V = volumen de recipiente, (l)

t = tiempo transcurrido, (s)

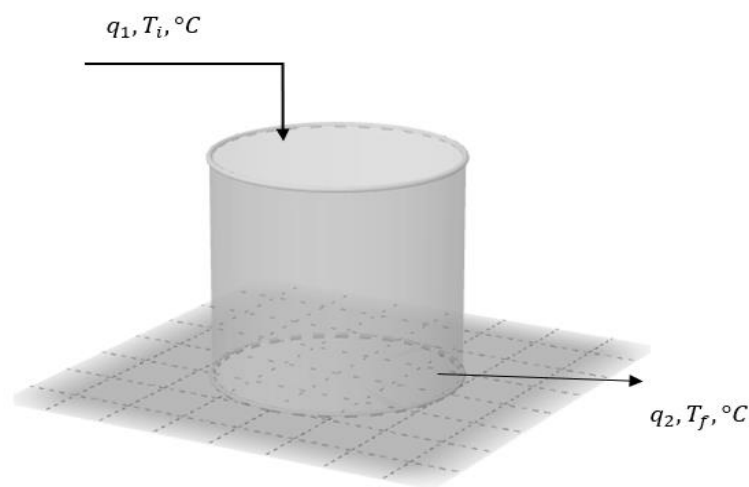
$$q_{entrada} = \frac{10 l}{23,44 s} = 0.426 l/s$$

$$q_{entrada} = 0.426 l/s \approx 0,000426 m^3/s$$

### 3.4 Planteamiento del modelo matemático al tanque de refrigeración vertical

#### 3.4.1 Modelado matemático del tanque vertical

Para el planteamiento correcto de la modelación matemática se tomó a interés la función de transferencia de la temperatura de salida  $T_f(t)$ , respecto a los cambios de su temperatura de entrada  $T_i(t)$ . Tomando el contenido del tanque como el volumen de control, el balance de energía se lo estableció en estado estacionario, para ello primero se identifica mediante una representación gráfica el diseño de entradas y salidas al tanque vertical. (Smith & Corripio, 2014, p. 108)



**Figura 3-3.** Representación gráfica entrada y salidas del tanque vertical  
Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

Para el trabajo del modelado y simulación se trabajó con los siguientes datos experimentales, del tanque de la Estación Experimental de Tunshi del departamento de Lácteos.

**Tabla 3-3:** Condiciones de operación para el modelo y simulación

CONDICIÓN	VALOR	UNIDADES
Flujo de entrada	0.000426	$\frac{m^3}{s}$
Densidad del fluido entrada	0.001032	$\frac{kg}{m^3}$
Densidad del fluido de salida	0.001035	$\frac{kg}{m^3}$
Capacidad calorífica de la leche inicial	0.0039	$\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$

Capacidad calorífica a volumen constante	0.0034	$\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$
Volumen líquido del tanque	0.875	$m^3$
Temperatura de entrada del fluido	19.6	$^\circ C$
Dinámica del Proceso	800	s

Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

Por tanto, el Balance de Energía será:

$$q_1 \rho_i h_1 T_i(t) - q_1 \rho_f h_2 T_f(t) = \frac{dU}{dt} \quad \text{Ec. 8 - 3}$$

Donde:

$q_1$  = flujo volumétrico de entrada, ( $m^3/s$ )

$\rho_i, \rho_f$  = densidad del líquido de entrada y salida, ( $kg/m^3$ )

$h_1$  = entalpía del líquido de entrada, (J/kg)

$h_2$  = entalpía del líquido de salida, (J/kg)

$T_i$  = Temperatura de entrada del fluido, ( $^\circ C$ )

$T_f$  = Temperatura de salida del fluido, ( $^\circ C$ )

U = Energía interna del líquido en el tanque, (J/kg)

En términos de la energía interna del sistema:

$$q_1 \rho_i h_1 T_i(t) - q_1 \rho_f h_2 T_f(t) = \frac{dU}{dt}$$

$$q_1 \rho_i h_1 T_i(t) - q_1 \rho_f h_2 T_f(t) = \frac{d[V\rho u(t)]}{dt} \quad \text{Ec. 9 - 3}$$

La expresión anterior se puede representar como:

$$q_1 \rho_i C_{p_i} T_i(t) - q_1 \rho_f C_{p_f} T_f(t) = \frac{d[V\rho C_v(t)]}{dt} \quad \text{Ec. 10 - 3}$$

Donde:

$C_{p_i}$  = capacidad calorífica de entrada a presión constante del líquido, (J/kg \*  $^\circ C$ )

$C_{p_f}$  = capacidad calorífica de salida a presión constante del líquido, (J/kg \*  $^\circ C$ )

$C_v$  = capacidad calorífica del líquido a volumen constante, (J/kg \*  $^\circ C$ )



$V =$  Volumen líquido en el tanque, ( $m^3$ )

Al trabajar con el fluido de la leche tanto de entrada como de salida la densidad y la capacidad calorífica se suponen constantes e iguales en el rango de temperaturas de la operación a refrigeración, por lo tanto:

$$q_1 \rho_i C p_i T_i(t) - q_1 \rho_f C p_f T_f(t) = V \rho C_v \frac{dT_f(t)}{dt} \quad \text{Ec. 11 - 3}$$

La expresión matemática anterior se expone como el modelo a simulación para ello la resolución mediante la programación en Simulink indicará la respuesta de la temperatura de salida como una función del tiempo al calentamiento de la leche teniendo:

$$\rho_i C p_i T_i(t) q_1(t) - \rho_f C p_f T_f(t) q_1(t) = V \rho C_v \frac{dT_f(t)}{dt} \quad \text{Ec. 12 - 3}$$

Se procede al balance de energía de estado estacionario del contenido del tanque en las condiciones iniciales:

$$\rho_i C p_i \bar{T}_i q_1 - \rho_f C p_f \bar{T}_f q_1 = 0 \quad \text{Ec. 13 - 3}$$

Donde:

$\bar{T}_i =$  valor inicial de estado estacionario de entrada, ( $^{\circ}C$ )

$\bar{T}_f =$  valor inicial de estado estacionario de salida, ( $^{\circ}C$ )

Reemplazando la ecuación anterior en el su balance de estado estacionario se obtuvo:

$$q_1 \rho C p [T_i(t) - \bar{T}_i] - q_1 \rho C p [T_f(t) - \bar{T}_f] = V \rho C_v \frac{d[T_f(t) - \bar{T}_f]}{dt} \quad \text{Ec. 14 - 3}$$

Considerando la entrada del caudal al tanque de la leche se obtuvo:

$$\frac{V \rho C p d\bar{T}_2}{dt} = q_1 \rho C p \bar{T}_1 - q_1 \rho C p \bar{T}_2 \quad \text{Ec. 15 - 3}$$

$$\frac{d\bar{T}_2}{dt} = \frac{q_1}{v_1} \bar{T}_1 - \frac{q_1}{v_1} \bar{T}_2$$

$$\frac{d\bar{T}_2}{dt} = \frac{q_1}{v_1} (\bar{T}_1 - \bar{T}_2)$$

Se definió las variables de desviación al proceso obteniendo:

$$\Gamma(t) = T_f(t) - \bar{T}_f \quad \text{Ec. 16 - 3}$$

$$\Gamma_i(t) = T_i(t) - \bar{T}_i \quad \text{Ec. 17 - 3}$$

Donde:

$\Gamma$  = variable de desviación de la temperatura de salida, (°C)

$\Gamma_i$  = variable de desviación de la temperatura de entrada, (°C)

Por lo tanto, reemplazando las variables de desviación a la ecuación:

$$\frac{d\Gamma_2(t)}{dt} = \frac{q_1}{V_1} (\Gamma_1(t) - \Gamma_2(t)) \quad \text{Ec. 18 - 3}$$

Aplicamos la Transforma de Laplace a la ecuación diferencial anterior obteniendo:

$$s\Gamma_{2(s)} = \frac{q_1}{V_1} (\Gamma_{1(s)} - \Gamma_{2(s)}) \quad \text{Ec. 19 - 3}$$

$$\Gamma_{2(s)} \left( s + \frac{q_1}{V_1} \right) = \frac{1 * \Gamma_{1(s)}}{\tau_1}$$

$$\Gamma_{2(s)} = \frac{\frac{\Gamma_{1(s)}}{\tau_1}}{s + \frac{1}{\tau_1}} = \frac{\frac{\Gamma_{1(s)}}{\tau_1}}{\frac{\tau_1 s + 1}{\tau_1}}$$

Simplificando la expresión la función de transferencia al proceso se obtuvo:

$$\Gamma_{2(s)} = \frac{1}{\tau_1 s + 1} \Gamma_{1(s)} \quad \text{Ec. 20 - 3}$$

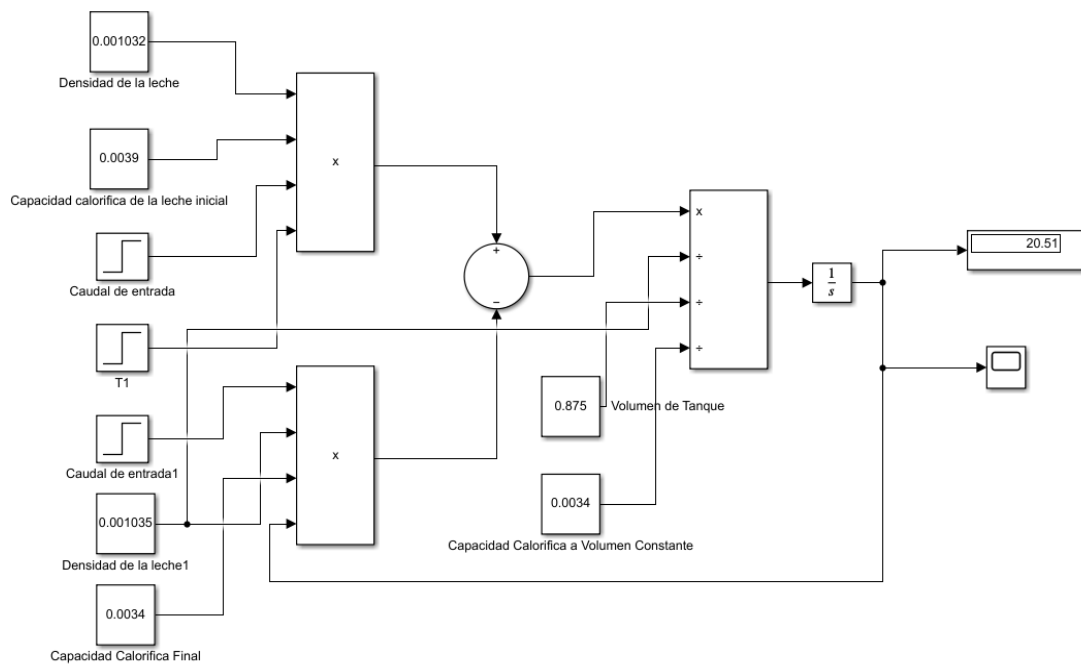
### 3.5 Simulación del modelado mediante Matlab (Simulink)

### 3.5.1 Modelado y simulación al proceso térmico del tanque vertical

Mediante el modelado matemático a la Ec.12-3:

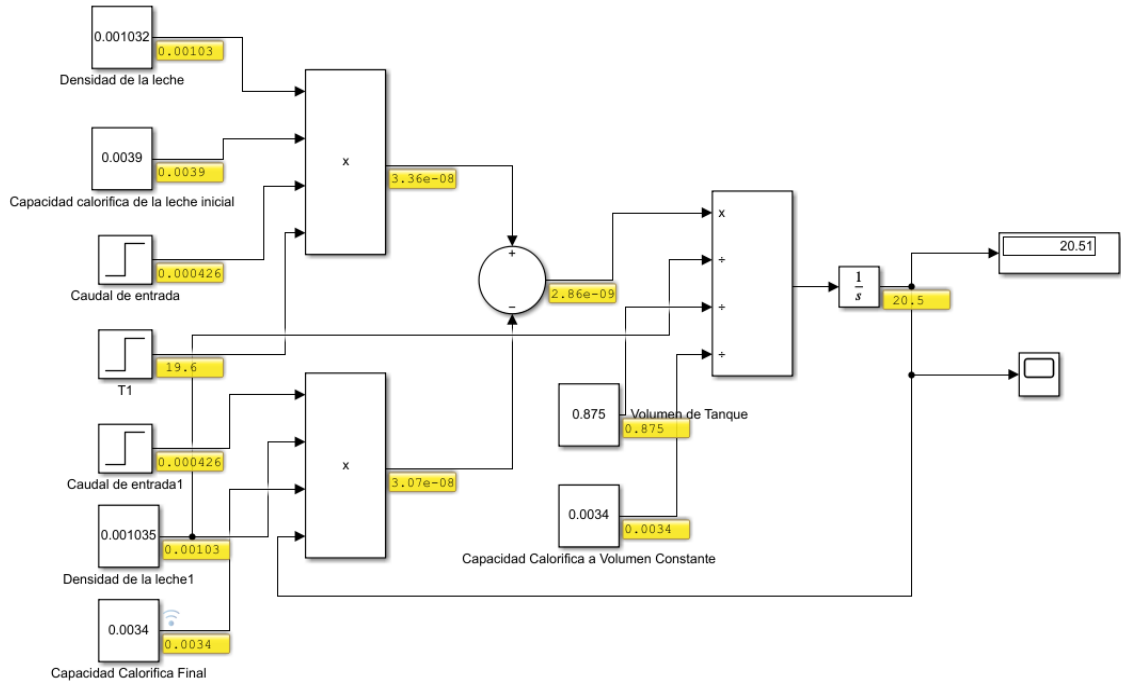
$$\rho_i C p_i T_1(t) q_1(t) - \rho_f C p_f T_2(t) q_1 = V \rho C v \frac{dT(t)}{dt}$$

En la ventana interactiva Simulink se procedió a modelar el sistema para encontrar la temperatura de salida objetivo del presente trabajo.



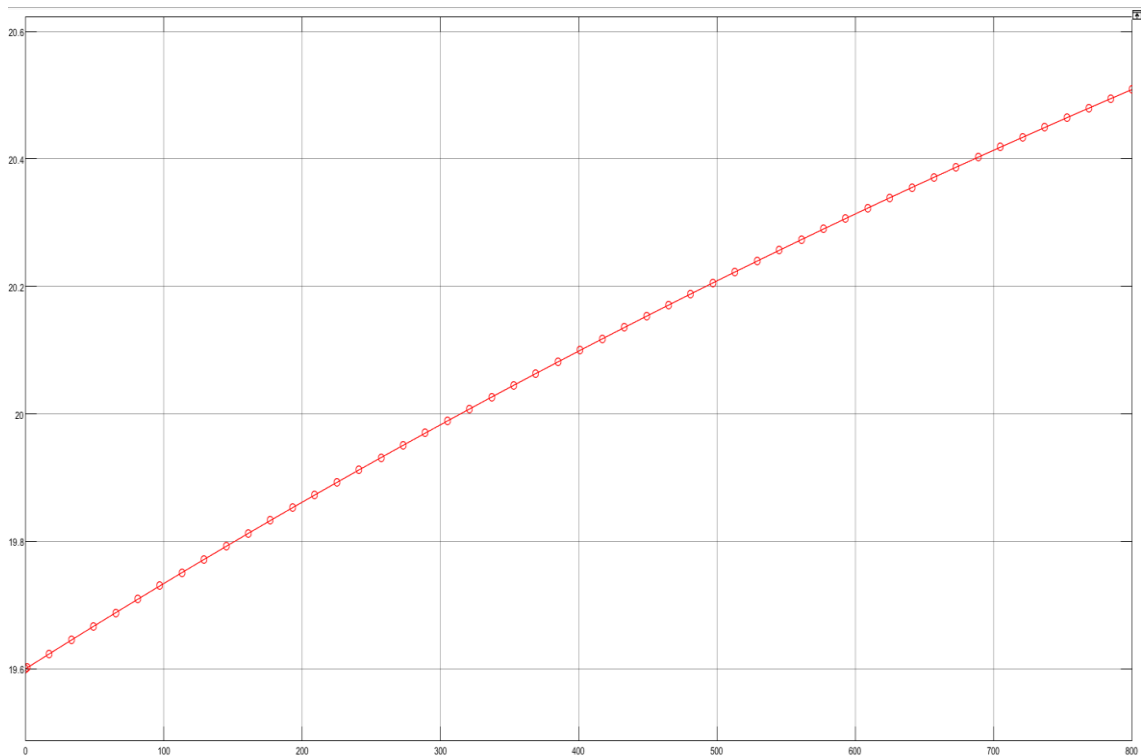
**Figura 4-3.** Sistema al modelado matemático mediante Simulink  
Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

Mediante el balance de energía representado en un sistema de bloques por la herramienta Simulink y factor integrador para determinar la incógnita de la ecuación diferencial se pudo determinar una respuesta de temperatura de salida en un lapso de 800 segundos de 20,51 °C.



**Figura 5-3.** Ingreso de datos a la simulación por modelado matemático  
**Realizado por:** Saguay, Brandon, 2021

La curva del comportamiento dinámico se determinó de forma creciente, completando su estabilidad en un tramo de 800 segundos, representado por el comando Scope de Simulink.



**Gráfico 2-3.** Temperatura de salida al proceso mediante factor integrador  
**Realizado por:** Saguay, Brandon, 2021

Se establece la función de transferencia del proceso real mediante la ganancia del proceso y la dinámica para ello:

$$k = \frac{hfg}{\rho C_p q_1} \quad \text{Ec. 21 - 3}$$

Donde:

$k$  = ganancia del proceso, ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}/\text{kg}$ )

$hfg$  = entalpia de vaporización, ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )

$\rho$  = densidad del fluido, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_p$  = capacidad calorífica de la leche, ( $\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ )

$q_1$  = caudal de entrada, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Para el cálculo de la entalpía del proceso mediante las tablas termodinámicas de (Cengel & Boles, 2012, p. 991) , dentro de las propiedades de líquido saturado se estableció:

**Tabla 4-3:** Propiedades Termodinámicas de Agua Saturada

Agua Saturada – Tabla de Temperaturas	
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Entalpía ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )
15	2465.4
20	2453.5

Fuente: (Cengel & Boles, 2012, p. 991)

Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

Mediante interpolación a partir de la temperatura de la leche de  $19,6^{\circ}\text{C}$  se estableció el valor de entalpía:

$$Y_3 = Y_1 + (X_3 - X_1) * (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1) \quad \text{Ec.22-3}$$

$$Y_3 = 2465 + (19.6 - 15) * (2454 - 2465) / (20 - 15)$$

$$Y_3 = 2454.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx 2454000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Los datos a la experimentación indicaron para el cálculo de la ganancia se estableció mediante la siguiente tabla:

**Tabla 5-3:** Condiciones para el cálculo de la ganancia de proceso

Condición	Valor	Unidad
Entalpía de proceso a 19.6 °C	2454000	$\frac{J}{kg}$
Densidad de la leche	0.00132	$\frac{kg}{m^3}$
Capacidad Calorífica de la leche	3.930	$\frac{J}{kg * ^\circ C}$
Caudal de entrada	0.000426	$\frac{m^3}{s}$
Masa de vapor	0.216	kg/s

Realizado por: Saguay, Brandon,2021

Aplicando la Ec.21-3 con los datos de la tabla anterior se obtuvo:

$$k = \frac{2454000 \frac{J}{kg}}{\left(0.00132 \frac{kg}{m^3}\right) \left(3.930 \frac{J}{kg * ^\circ C}\right) \left(0.000426 \frac{m^3}{s}\right)}$$
$$k = 1.11 \frac{^\circ C * s}{kg}$$

Multiplicamos la cantidad de masa de vapor de la entalpía generada con la ganancia de proceso obteniendo la variación en temperatura

$$\Delta T = k * mv \quad Ec. 23 - 3$$

Donde:

k = ganancia de proceso del proceso dinámico, (°C\*s/kg)

mv = masa de vapor, (kg/s)

$$\Delta T = \left(1.11 \frac{^\circ C * s}{kg}\right) \left(0.216 \frac{kg}{s}\right)$$

$$\Delta T = 0,24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se sumó el valor de la expresión de la Ec.23-3 a la temperatura idónea de proceso de 80 °C de la variación a con la ganancia al proceso dinámico obteniendo:

$$T. \text{máxima de proceso} = 80 \text{ } ^\circ\text{C} + \Delta T \quad \text{Ec. 24 - 3}$$

$$T. \text{máxima de proceso} = 80 \text{ } ^\circ\text{C} + 0,24$$

$$T. \text{máxima de proceso} = 80.24$$

Para la ganancia del proceso total se lo determinó mediante la variación de entrada y salidas del sistema se consideró en la salida el total de señal o datos adquiridos en el sistema.

$$k = \frac{\Delta \text{salida}}{\Delta \text{entrada}} = \frac{100 \% \text{ señal}}{T_{\text{máxima de proceso}} - T_{\text{mínima de proceso}}} \quad \text{Ec. 25 - 3}$$

Considerando las Temperatura máxima del proceso por el Balance de Energía del tanque, para el ingreso a la fórmula se consideró los siguientes datos:

**Tabla 6-3:** Datos para la variación de la ganancia de proceso

<b>Datos para el ingreso de la ganancia de proceso</b>		
<b>0.Condición</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura máxima de proceso	80.24	°C
Temperatura mínima de proceso	19.6	°C

Realizado por: Saguay, Brandon,2021

Reemplazando los datos de la Ec.25-3:

$$k = \frac{100}{80.24 - 19.6} = 1.64$$

$$k = 1.64$$

Reemplazando la función de transferencia del sistema, primero se calcula la dinámica del proceso:

$$\tau_1 = \frac{V_{recipiente}}{q_1} \quad Ec. 26 - 3$$

Donde:

$\tau_1$  = dinámica de proceso, (s)

$V_{recipiente}$  = volumen del tanque horizontal, ( $m^3$ )

$q_1$  = caudal de entrada, ( $m^3/s$ )

$$\tau_1 = \frac{V_{recipiente}}{q_1}$$

$$\tau_1 = \frac{0.875 \text{ m}^3}{0.000426 \text{ m}^3/s}$$

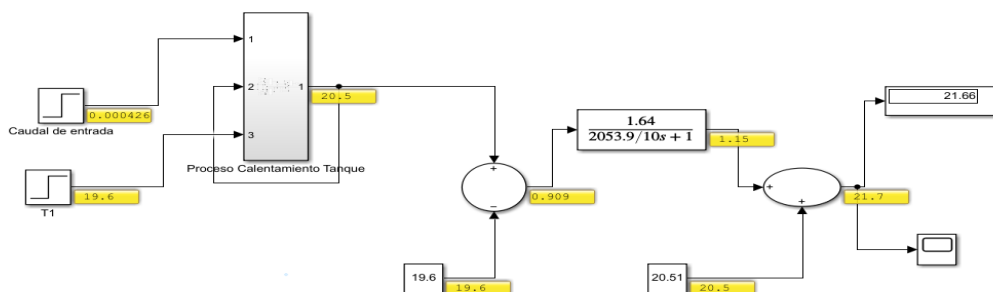
$$\tau_1 = 2053.99 \text{ s}$$

Se reemplaza los resultados de la Ec.25-3 y la Ec.26-3 en la Ec.20-3 por lo tanto a la dinámica de proceso se recomienda que debe ser 10 veces mayor al proceso real por lo tanto se divide su valor:

$$F_{2(s)} = \frac{1}{\tau_1 s + 1} F_{1(s)} \quad Ec. 20 - 3$$

$$F_{2(s)} = \frac{1.64}{2053.9/10s + 1}$$

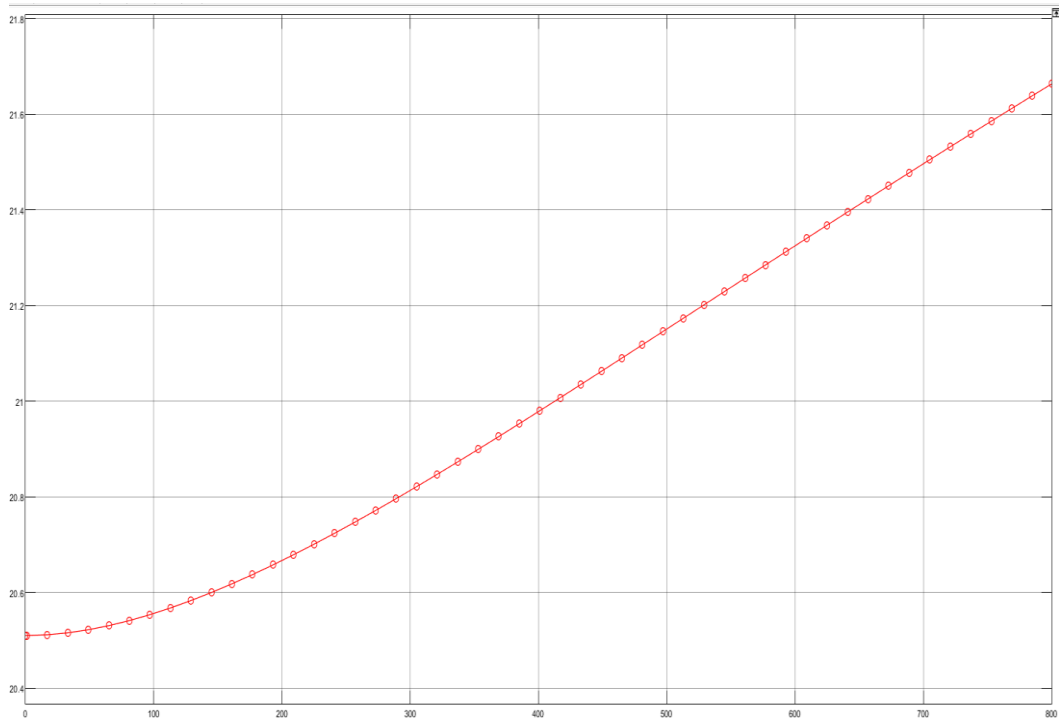
Se reemplaza la función de transferencia del sistema al tanque y se determinó la temperatura del proceso ideal dinámico en un lapso igual a 800 segundos.



**Figura 6-3.** Simulación de la función de transferencia del proceso de calentamiento  
Realizado por: Saguay, Brandon, 2021



Mediante la función de transferencia se determinó la temperatura del proceso ideal con un total de 21,66 °C del proceso de calentamiento del fluido en un lapso de 800 segundos. El proceso óptimo de lo planteó hasta los 80 °C.



**Gráfico 3-3.** Comportamiento de la curva del proceso con función de transferencia  
Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

### 3.5.2 Modelado y simulación del proceso de refrigeración del tanque vertical

Para el modelado de la refrigeración del tanque se estable las condiciones de operación para ello:

**Tabla 7-3:** Condiciones de operación para la refrigeración de leche y modelado

Condición	Valor	Unidad
Temperatura de la leche inicial	19.6	°C
Temperatura de agua a partir de banco de hielo	8	°C
Flujo de entrada de la leche	0.000426	$\frac{m^3}{s}$
Temperatura de salida de la leche bajo refrigeración 8 °C	8	°C

Temperatura de aumento máximo de leche para proceso industrial	80	°C
Tiempo empleado en el proceso	4800	s
Volumen del tanque	0.875	m <sup>3</sup>

**Realizado por:** Saguay, Brandon, 2021

Se estableció las condiciones de trabajo para el proceso en un lapso de 0 a 19.6 °C estableciendo que no existe cambios entre las propiedades de la leche como su estructura y cambio de calor latente de fusión.

$$0 < T < 19.6 \quad \text{Ec. 27 - 3}$$

La condición de la Ec.27-3 se estable para generar la ecuación de refrigeración del tanque de función a constante. Se necesita parametrizar el proceso en tres secciones.

Para el desarrollo de la ecuación de refrigeración y su función de transferencia se partió de la ley de enfriamiento de Newton indicando:

$$T(t) = (T_0 - T_s)e^{-kt} + T_s \quad \text{Ec. 28 - 3}$$

Donde:

$T(t)$  = temperatura luego de transcurrir t horas

$T_s$  = temperatura constante del ambiente

$T_0$  = temperatura inicial

k = tasa relativa

t = tiempo

Linealizando la función para obtener la función de transferencia de refrigeración se determinó la función real a compleja, por lo tanto:

$$T(s) = \frac{(T_0 - T_s)}{s + k} + \frac{T_s}{s} \quad \text{Ec. 29 - 3}$$

$$T(s) = T_1 = \frac{s(T_0 - T_s) + (s + k)T_s}{s(s + k)}$$

$$T_1 = \frac{sT_o - sT_s + sT_s + kT_s}{s^2 + sk}$$

$$T_1 = \frac{sT_o + kT_s}{s^2 + sk} \quad \text{Ec. 30 - 3}$$

Se calculó la dinámica del proceso mediante su caudal y volumen del recipiente del tanque horizontal utilizando los datos de la tabla 8-3:

$$\tau_1 = \frac{q_1}{V} \quad \text{Ec. 31 - 3}$$

$$\tau_1 = \frac{0.000426 \frac{m^3}{s}}{0.875 m^3}$$

$$\tau_1 = 0.000486 s$$

Se estableció la proporcionalidad del proceso con una ganancia de  $k = 0,1$  todo proceso dinámico los valores se establecen en su proporcionalidad de 0 o 1.

Se determinó el script de los parámetros de la segunda función de transferencia de enfriamiento y calentamiento del proceso industrial en la elaboración de leche a partir de lote de producción a partir de los datos experimentales obtenidos y la capacidad del tanque de los 875 litros.

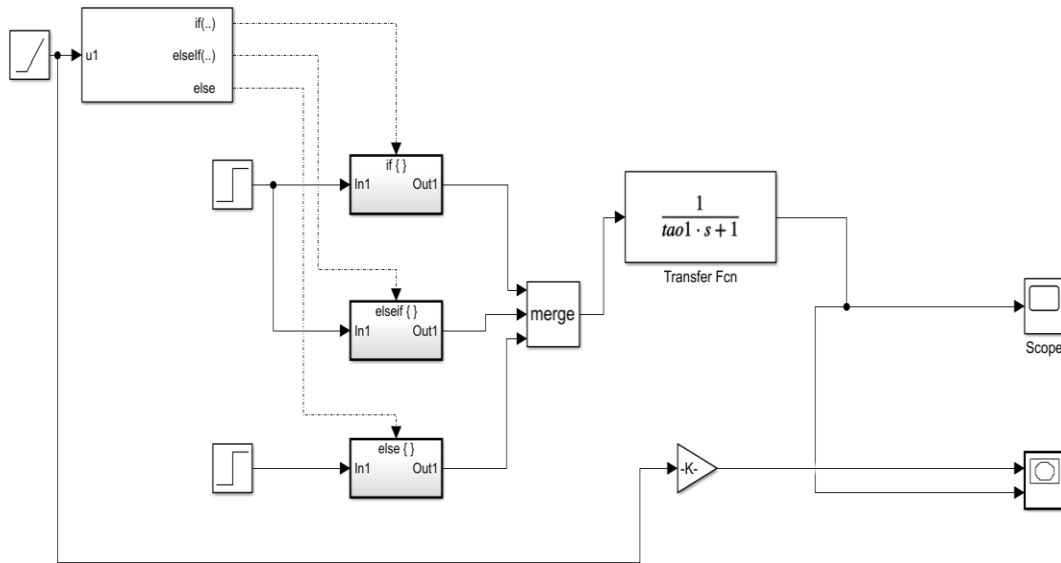
```

1      %%Parámetros de la Funcion de Transferencia del Sistema
2 -    V1= 0.875; %Volumen líquido tanque [m^3]
3 -    q1= 0.000426; %Flujo de entrada [m^3/s]
4      %tao1= (V1/q1)
5 -    tao1= q1/V1;
6
7      %%Parámetros enfriamiento
8 -    To= 19.6; %Temperatura inicial [°C]
9 -    Ts= 8; %Temperatura ambiente [°C]
10 -   K= 0.1; %Constante de proporcionalidad
11    %K= 0.04; %Constante de proporcionalidad
12
13

```

**Figura 7-3.** Script de los parámetros de la simulación del proceso  
Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

El sistema representado por Simulink en el proceso tanto de enfriamiento y calentamiento se lo estableció mediante bloques condicionales y las funciones de transferencia de cada uno de los procesos en el desarrollo experimental.



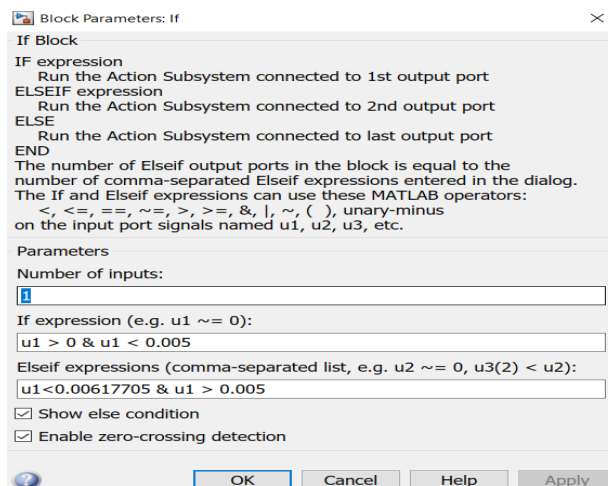
**Figura 8-3.** Simulación del modelado de refrigeración y calentamiento del tanque de 500 l  
Realizado por: Saguay, Brandon,2021

En el bloque del condicional “IF” de operación se estableció entre la capacidad de:

$$u_1 > 0 \ \& \ u_1 < 0.005 \quad \text{Ec. 32} - 3$$

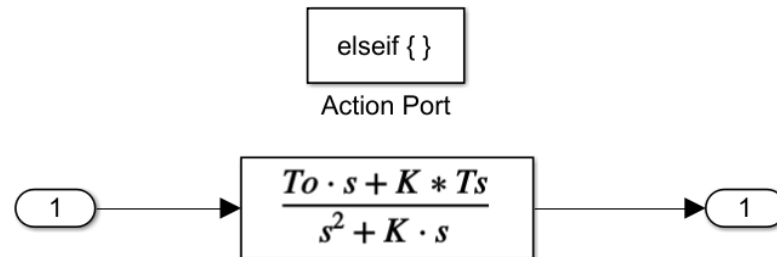
Y la Else If expresiones se estable un rango de operación

$$u_1 < 0.006177 \ \& \ u_1 > 0.005 \quad \text{Ec. 33} - 3$$



**Figura 9-3.** Ingreso de Datos al Bloque If del Sistema  
Realizado por: Saguay, Brandon,2021

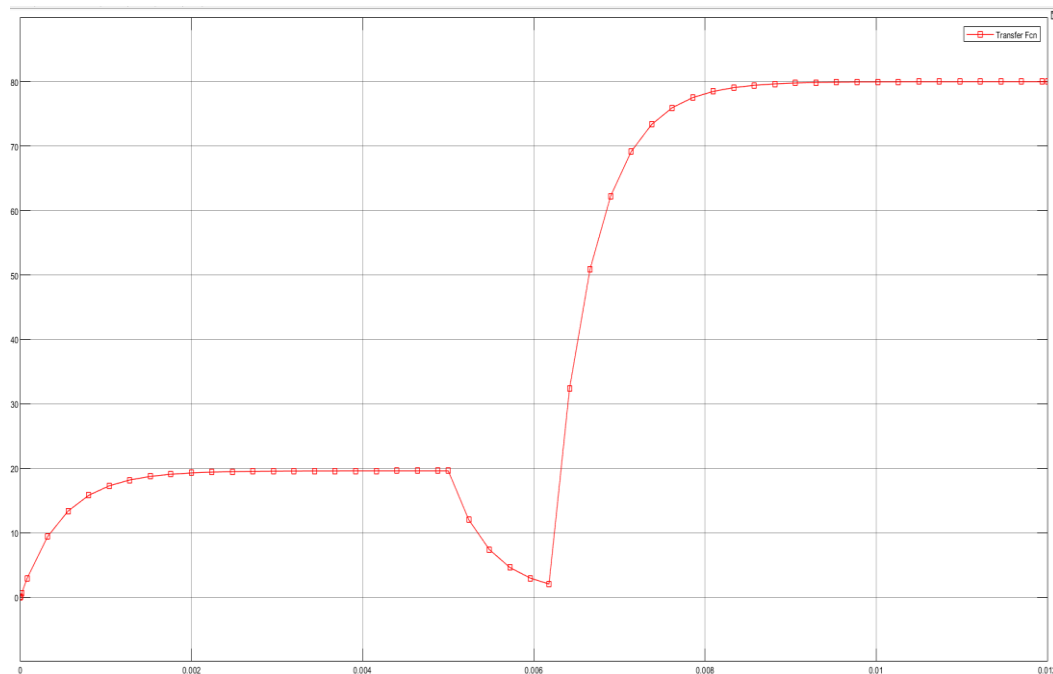
En el bloque del condicional “If” se desarrolló tres parámetros el ingreso a la función de transferencia para su refrigeración del proceso de la Ec.30-3, se lo reemplazó en el condicional elseif.



**Figura 10-3.** Función de transferencia en el condicional If del subbloque elseif  
**Realizado por:** Saguay, Brandon, 2021

Se determinó el script de los parámetros de la segunda función de transferencia de enfriamiento y calentamiento del proceso industrial en la elaboración de leche a partir de lote de producción del departamento de lácteos de la Base Experimental.

Al desarrollo del proceso se determinó la curva del proceso bajo las condiciones y función de transferencia de la Ec.20-3 y Ec.30-3 en un lapso de desarrollo experimental de 4800 segundos.



**Gráfico 4-3.** Comportamiento de las funciones de transferencia del proceso  
**Realizado por:** Saguay, Brandon, 2021

### 3.6 Validación del modelado del sistema del tanque y refrigeración

Con la recolección de datos se provee más información sobre la situación y se sugiere el tipo del modelo matemático que puede ser apropiado para direccionar el problema real. A través de un proceso de matematización, los objetivos relevantes, los datos, las relaciones, condiciones e hipótesis de la situación o problema en cuestión se integran resultando así un modelo matemático a través se orienta el problema identificado. (Kishurim et al., 2013, p. 156)

Acorde a (Kishurim et al., 2013, p. 156) el solucionar el problema valida el modelo mediante la comprobación de los resultados matemáticos y su interpretación como razonables y compatibles en términos de la información recolectada dado por el problema original. Cuando el proceso de validación arroje resultados no satisfactorios todo el proceso debe repetirse con una modificación, si se logra la solución del problema original real se da como valido al modelado.

**Tabla 8-3:** Datos Experimentales y Referencial al Modelado

<b>DATOS EXPERIMENTALES Y DE REFERENCIA AL MODELADO</b>			
<b>Condición</b>	<b>Modelado</b>	<b>Experimental</b>	<b>Validación</b>
Temperatura de salida al proceso de calentamiento	21.6	21.6	El proceso mediante su función de transferencia se lo estableció en un lapso a los 800 segundos garantizando lo experimental con el modelado correspondiente.
Temperatura de salida al proceso de refrigeración	8 °C	8 °C	Acorde al setpoint generado de los 30 °C y su refrigeración hasta los 8 °C se determinó la temperatura de salida del fluido y la generación del modelado hasta el límite de operación considerando la capacidad térmica del banco hielo.

**Realizado por:** Saguay, Brandon, 2021

El proceso térmico generado en la capacidad del tanque de almacenamiento de leche del departamento de lácteos de la Estación Experimental de Tunshi se lo determinó a partir de la generación de dos funciones de transferencia tanto para su refrigeración en un lapso de 1800 segundos y empleado 3000 segundos en su calentamiento hasta su temperatura máxima de 80 °C estableciendo su simulación y modelado estables en el desarrollo del estudio del caso.

## CAPITULO IV

### 4. Gestión de Proyecto

#### 4.1 Cronograma

**Tabla 1-4:** Cronograma al proyecto de titulación

Actividad	Tiempo de duración												
	1er Mes			2do Mes			3er Mes			4rto Mes			
Revisión Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboración de Declaratoria			■										
Declaración del Tema de Titulación				■									
Aprobación de Declaratoria Tema de Titulación					■								
Elaboración del anteproyecto						■							
Aprobación de Anteproyecto al Trabajo de Titulación							■						
Defensa de Anteproyecto								■					
Elaboración de Tesis al trabajo de Titulación									■				
Elaboración de Marco Teórico y Experimental a l Proyecto Curricular										■			
Recolección de Datos Experimentales											■		
Simulación de Proceso por Simulink												■	
Revisión de Borradores				■			■				■		■
Aprobación de Tesis y Asignación de Tribunal													■
Defensa Final													■

## 4.2 Recursos y Materiales

### 4.2.1 Presupuesto

**Tabla 2-4:** Matriz de presupuesto del proyecto de titulación

<b>PRESUPUESTO</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>MONTO</b>	<b>Fuente de Financiamiento</b>	
		<b>Interna</b>	<b>Externa</b>
Licencia de Programa MATLAB (Simulink)	60,00 \$	X	
Análisis de Laboratorio	30,00 \$		X
Suministros	40,00 \$	X	
Logística	30,00 \$	X	
Internet	30,00 \$	X	
Imprevistos	60,00 \$	X	
<b>Total</b>	<b>250 \$</b>		

Realizado por: Saguay, Brandon, 2021

### 4.2.2 Talento Humano

El presente proyecto de titulación constó bajo el apoyo del Departamento de Lácteos de la Estación Experimental de Tunshi dirigido por:

- Ing. Marco Manzano

Técnico Docente de la Base Experimental de Tunshi en el Departamento de Lácteos y Control de la producción.

Y la dirección del trabajo de titulación y asesoramiento por Ing. Danielita Borja e Ing. Mónica Andrade.

### 4.2.3 Recursos materiales

Los recursos y materiales empleados en el presente proyecto de titulación para su modelado como validación mediante simulación y el diseño esquemático del tanque fueron empleados con las licencias pertinentes para su uso como se explica en la siguiente tabla:



**Tabla 3-4:** Matriz de Recursos y Materiales Informáticos

<b>RECURSOS Y MATERIALES INFORMÁTICOS</b>		
<b>PROGRAMA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE USO</b>	<b>LICENCIA</b>
Matlab 2021a	La simulación del proceso se estableció mediante la recolección de datos y posterior su modelado la simulación del proceso identificando la temperatura respuesta	Software de paga, se adquirió la licencia para el uso de la Matlab y su simulación
Geogebra	Se dio uso al software para el diseño del tanque operacional para su simulación	De libre uso, utilizado para la enseñanza de ecuaciones y matemática.

**Realizado por:** Saguay, Brandon,2021

Del mismo modo se empleó el uso de un computador para el desarrollo operacional de los diferentes softwares con las siguientes características:

**Tabla 4-4:** Matriz de Recursos de Operación Informáticos

<b>RECURSOS DE OPERACIÓN</b>		
<b>Edición de Windows</b>	Windows 10 Home Single Language	
<b>Sistema</b>	Procesador	Intel ® Core™ i7-4510U CPU @2.00Ghz 2.60 GHz
	Memoria Instalada (RAM)	8,00 GB
	Tipo de Sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador x64

**Realizado por:** Saguay, Brandon,2021

## CONCLUSIONES

- Las principales variables determinadas en el proceso de refrigeración y calentamiento en los tanques térmicos de la industria láctea se pudo establecer el caudal inicial, la temperatura del fluido de entrada y su densidad en el desarrollo del comportamiento de la temperatura de salida, las diferentes constantes como la capacidad calorífica del fluido y el volumen del tanque establecieron las condiciones del sistema.
- La modelación matemática empleada para el estudio de la temperatura de salida mediante su simulación en Simulink se demostró en el proceso tanto experimental y representado los valores en el diagrama de bloques tanto de la primera curva del balance de energía como en función de ecuación de transferencia el proceso parametrizado en tres diferentes puntos cumplió con lo establecido en el lapso total de operación, garantizando estable el modelado con el desarrollo experimental.
- El comportamiento de la curva de transferencia del proceso real se lo determinó en dos diferentes condiciones a partir de la ecuación diferencial de las variables de entrada y su función de transferencia del modelado , demostrando un crecimiento gradual creciente en el proceso de calentamiento similar a una ecuación de segundo grado o parabólica , la representación final tanto de la refrigeración y calentamiento generó la curva total de un proceso real indicando los puntos generales del cambio del temperatura bajo condicionales como el punto desde los 19.6 °C y su refrigeración gradual decreciente el aumento de la temperatura hasta su proceso estable de lo planteó hasta los 80 °C indicando el crecimiento final de temperatura.

## RECOMENDACIONES

- El proceso de recepción de la leche debe ser controlada mediante sus propiedades fisicoquímicas asegurando su calidad y estabilidad de agentes externos que puedan adulterar sus condiciones acordes a las normas vigentes de cada país, posterior la recepción a los tanques térmicos debe ser inmediata para evitar la prolongación de baterías y daño del producto.
- Las temperaturas de proceso deben tener un análisis de estudio mediante una automatización tanto del llenado del tanque como diferentes variables considerables, muchas de las plantas de la industria láctea emplean este tipo de desarrollo tecnológico la Base Experimental de Tunshi cumplen con los estándares de producción artesanal asegurando la calidad del producto, pero no así de su planta las mejores condiciones de producción se verán dada por el control automatizado de los procesos.
- La refrigeración de la leche de diferentes plantas de lácteos en el país implementa la refrigeración por banco de hielo estos por la capacidad suministrada de frío pueden alcanzar temperaturas de hasta 4 °C, la temperatura para refrigeración debe ser controlada en cuartos aislados, manteniendo la capacidad optima para el proceso.
- La modelación establecida en el departamento de lácteos de tunshi puede ser establecida para el estudio del comportamiento de su refrigeración y calentamiento para ajuste de equipos como la automatización en su operación diaria.
- El modelado y la simulación planteada pueden ser reproducible para las diferentes industrias procesadoras de productos lácteos, estableciendo los diferentes puntos de la temperatura de salida en su refrigeración inmediata como en el desarrollo de sus derivados lácteos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ALAIS, C.** *Ciencia de la Leche : Principios de Técnica Lechera*. Loreto, España: Reverte, 2018, ISBN 9788429190045, pp 507-508.

**ALONSO, M.** *Producción de leche en las granjas: ordeño y refrigeración*. Bogotá, Colombia: Industrias Lácteas AMV, 1996, p.32

**ANTONIETA, B., GÓMEZ, V., ARNULFO, H., ARMAS, C., CHANATASIG TOAPANTA, H.M., ELIZABETH, B. y SINCHIGUANO, O.** Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y distribución de productos de consumo masivo. *Revista Publicando*, 2017. no. 122, pp. 348-364.

**BRAVO, D.** *Modelado de Sistemas Dinámicos* [blog]. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: [https://es.slideshare.net/jolmanolivares1/modelado-de-sistemas-dinmicos](https://es.slideshare.net/jolmanolivares1/modelado-de-sistemas-dinamicos).

**CALDERÓN, A., GARCÍA, F. y MARTÍNEZ, G.** Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 2006. vol. 11, no. 1, pp. 725-737. ISSN 1909-0544. DOI 10.21897/rmvz.457.

**CALLEJO, A.R.** "Refrigeración de la leche en la granja". *Frisona Española*, (2013), (España) pp. 1-6.

**CENGEL, Y. y BOLES, M.** *Termodinámica*. 7ma ed. México, D.F: McGRAW-HIL, 2012. ISBN 9780073529325, p 991.

**CUEVAS, C. y FONSECA, N.** Modelado de un sistema de refrigeración caracterizado en un rango amplio de condiciones de operación. *Ingeniare*, 2016. vol. 24, no. 4, pp. 728-739. ISSN 07183305. DOI 10.4067/S0718-33052016000400016.

**EKOS**, 2019. Producción de leche en Ecuador. *Ekos negocios* [en línea]. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.ekosnegocios.com/articulo/produccion-de-leche-en-ecuador>.

**EL TELÉGRAFO.** "La producción lechera en Ecuador genera \$ 1.600 millones en ventas anuales (Infografía)". Revista El Telégrafo[en línea], 2017 (Ecuador), pp. 2-23 [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/la-produccion-lechera-en-ecuador-genera-1-600-millones-en-ventas-anuales-infografia>.

**GARCÍA, M.***Recepción y almacenamiento de la leche y otras materias primas (UF1178)*. Antequera, Málaga: IC. Editorial, 2015, ISBN 9788416067336, p. 15.

**HANSEN, R.G.***Milk in Human Nutrition*. USA: FAO, 2013. ISBN 9789251078631, p.13.

**INEC.** Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2018. *Versión pública*, 2019. pp. 27-28.

**ISO 5708** .International Standard ISO 5708. *International Organization for Standardization*, 1983. vol. First Edit, pp. 11.

**KISHURIM, TECNICE, COGNITEK, TECNIMAT, GRIDUC y GIDSAW.***El modelamiento matemático en la formación del ingeniero*. Bogotá-Colombia: Ediciones Fundación Universidad Central, 2013. ISBN 9789582601966, p. 156.

**LÁCTEOS LATAM.** *Lácteos Latam - Industria láctea: clave para reactivación económica en Ecuador*". *Versión pública* [blog]. [Consulta: 15 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.lacteoslatam.com/sectores/36-leches/4064-industria-láctea-clave-para-reactivación-económica-en-ecuador.html>.

**MADRID, V.***Curso de Industrias lácteas*. Madrid, España: AMV Edicio, 1996. ISBN 978-84-87440-82-3, p.38.

**MATLAB.** *Pricing and Licensing - MATLAB & Simulink* [blog]. United States. The MathWorks, Inc. [en línea]. [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: [https://la.mathworks.com/pricing-licensing.html?s\\_iid=hp\\_ff\\_t\\_pricing](https://la.mathworks.com/pricing-licensing.html?s_iid=hp_ff_t_pricing).

**MILKPLAN.** *Tanques de enfriamiento de leche abierto y cerrado*. [blog]. Milkplan farmin technologies [Consulta: 18 de Enero 2021]. Disponible en: <http://www.agriorganic.net/pdf/milkplan.pdf>.

**MONCKEBERG, F.** *Leche: Efecto del tratamiento térmico y su calidad nutricional.* Universidad de Chile - Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos [blog]. [Consulta 22 de Marzo 2021] .Disponible en: [https://inta.cl/wp-content/uploads/2018/07/Leche-Efecto-del-tratamiento-térmico-y-su-calidad-nutricional\\_INTA.pdf](https://inta.cl/wp-content/uploads/2018/07/Leche-Efecto-del-tratamiento-térmico-y-su-calidad-nutricional_INTA.pdf).

**PENDINI, C.** *Notas sobre producción de leche.* Cordoba-Argentina: Editora SIMA. 2012. ISBN 9789871253, p.308.

**PONCE, P.** Lactoperoxidase System Under Tropical Conditions: Use, Advantages and Limitations in Conservation of Raw Milk and Potential Applications. *Revista de Salud Animal*, 2010. vol. 32, no. 3, ISSN 0253-570X, pp. 146-154.

**PUBLICAYO.** *Productos Lácteos* [blog]. Publicayo especializadas [en línea]. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.publicayo.com/productos-lacteos/>.

**ROMERO P, A., CALDERÓN R, A. y RODRÍGUEZ R, V.** Evaluación de la calidad de leches crudas en tres subregiones del departamento de Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 2018. vol. 10, no. 1, ISSN 2027-4297. DOI 10.24188/recia.v10.n1.2018.630, pp. 43.

**ROSADO, P. y ROSADO, J.** *Tratamientos previos de la leche: elaboración de leches de consumo y productos lácteos (UF1179).* Ic Editori. Antequera, Malaga: Ic Editorial. 2015. ISBN 9788416109432, p.130.





**SCPM.** *Informe del sector lácteo en Ecuador* [blog]. *Versión pública* [en línea]. Disponible en: [www.scpm.gob.ec](http://www.scpm.gob.ec).

**SMITH, C. y CORRIPIO, A.** *Control automático de procesos: Teoría y práctica.* 2a ed. México, D.F: Editoriaial Limusa, 2014. ISBN 9788578110796, p. 108.

**VEGA, L.** Diseño y Construcción de Equipo de Refrigeración de Leche Cruda en Sitio de Producción [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía. 2010.p. 23 [Consulta: 2021-03-22 ]. Disponible en : <https://www.virtualpro.co/biblioteca/disenyo-y-construccion-de-equipo-de-refrigeracion-de-leche-cruda-en-sitio-de-produccion>

## ANEXOS

### ANEXO A: TANQUES TÉRMICOS DE LA ESTACIÓN TUNSHI- ESPOCH

<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> 	<p>d)</p> 						
<p><b>NOTAS:</b></p> <p>a) Tanques de 500 litros de tipo abierto          b) Tanque vertical de 1000 litros          c) Tanque de 500 litros cerrado          d) Tanque horizontal de 1500 litros</p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar  <input checked="" type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE          CHIMBORAZO          FACULTAD DE CIENCIAS          ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b></p> <p>ELABORADO POR:          Saguy, Brandon,2021</p>	<p><b>TANQUES TÉRMICOS DE LA          ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI-          ESPOCH</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>16/03/2021</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	16/03/2021
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
1	1:1	16/03/2021							

## ANEXO B: LIMPIEZA DEL EQUIPO PARA EXPERIMENTACIÓN



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p style="text-align: center;"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b></p> <p style="text-align: center;">ELABORADO POR: Saguay, Brandon,2021</p>	<b>LIMPIEZA DEL EQUIPO PARA EXPERIMENTACIÓN</b>		
<p>a. Ingreso de aula para lavado interno b. Lavado del tanque c. Inspección de limpieza al tanque d. Descarga del lavado del tanque</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar</p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	16/03/2021



## ANEXO C: RECOLECCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

<p>a) </p>	<p>b) </p>	<p>c) </p>	<p>d) </p>						
<p><b>NOTAS:</b></p> <p>a. Propiedades Físicas de la leche cruda          b. Ingreso de la leche al tanque          c. Leche cruda después del ordeño          d. Temperatura inicial de la leche en el depósito.</p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar  <input checked="" type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b></p> <p>ELABORADO POR:          Saguay, Brandon,2021</p>	<p><b>RECOLECCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>16/03/2021</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	16/03/2021
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
1	1:1	16/03/2021							

**ANEXO D: REFRIGERACIÓN POR BANCO DE HIELO A LA LECHE CRUDA**

a)



b)



c)



d)



**NOTAS:**

- a. Banco de hielo para enfriamiento
- b. Control de temperatura inicial
- c. Control de temperatura de ingreso por banco de hielo.
- d. Temperatura de refrigeración 8 °C

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA:**

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

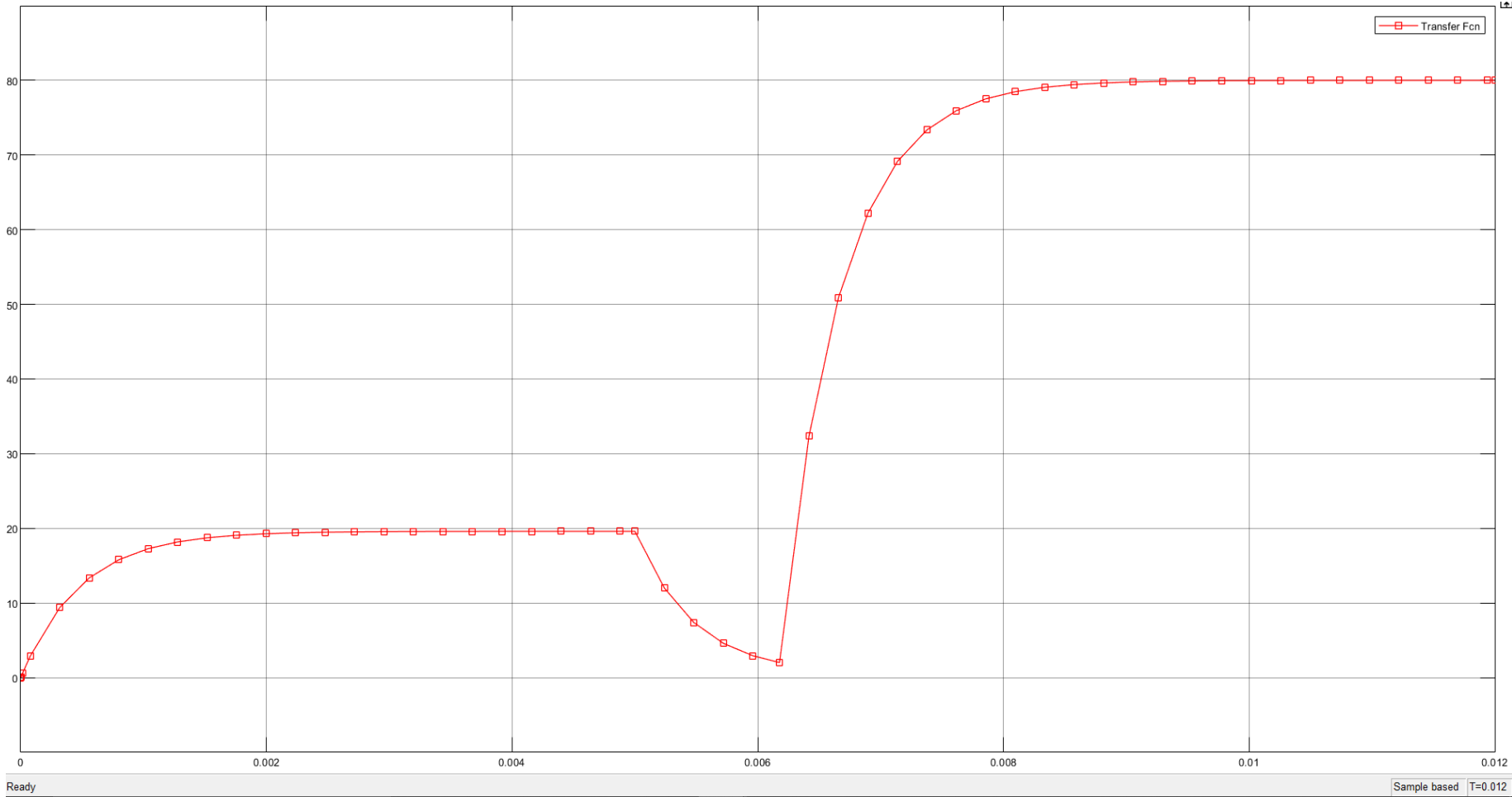
**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

ELABORADO POR:  
Saguay, Brandon,2021

**REFRIGERACIÓN POR BANCO DE  
HIELO A LA LECHE CRUDA**

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	16/03/2021

**ANEXO E: CURVA DE COMPARTAMIENTO DEL PROCESO POR SIMULINK**



## ANEXO F: LICENCIA DE MATLAB 2021a

