

Modelación matemática para el control de temperatura de salida en tanques de almacenamiento térmico de la Industria láctea

Mathematical modeling for outlet temperature control in thermal storage tanks in the dairy industry

- ¹ Danielita Fernanda Borja Mayorga  <https://orcid.org/0000-0002-8438-064X>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
danielita.borja@epoch.edu.ec
- ² Mónica Lilián Andrade Avalos  <https://orcid.org/0000-0001-5736-5607>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
moandrade@epoch.edu.ec
- ³ Edgar Gualberto Salazar Alvarez  <https://orcid.org/0000-0003-0988-0641>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
edgar.salazar@epoch.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 05/03/2022

Revisado: 06/04/2022

Aceptado: 28/05/2022

Publicado: 10/06/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i2.2235>

Cítese:

Borja Mayorga, D. F., Andrade Avalos, M. L., & Salazar Alvarez, E. G. (2022). Modelación matemática para el control de temperatura de salida en tanques de almacenamiento térmico de la Industria láctea. *ConcienciaDigital*, 5(2), 251-269. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i2.2235>



CONCIENCIA DIGITAL, es una Revista Multidisciplinar, **Trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras**claves:**

modelado
matemático;
tanque térmico;
balance de
energía;
validación.

Keywords:

mathematical
modeling;
thermal tank;
energy balance;
validation..

Resumen

Introducción. En el Ecuador la industria Láctea a nivel general representa el 6,1 % de la actividad en agricultura y ganadería del país. En cuanto al consumo de leche fresca sin elaborar se observa que alrededor del 43,4% de la producción se destina al consumo final, el 56% restante al consumo intermedio, dentro del cual destacan la elaboración de productos lácteos (89% del total consumido). **Objetivos.** Desarrollar el 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. **Metodología.** Se realizó la determinación de la temperatura inicial de ingreso del fluido al centro de acopio con un valor de 19,6 °C y de 8°C para la refrigeración, la temperatura de calentamiento se estableció hasta los 80°C, el proceso fue modelado a partir del balance de energía y la simulación mediante el programa Matlab (Simulink) se trabajó con la capacidad de 875 litros de un tanque tipo vertical en un tiempo total de 4800 segundos. **Resultados.** Para la validación se determinaron 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. **Conclusiones.** Se evidenció el comportamiento de las curvas y se verificó de manera experimental dando validez a la modelación establecida de los dos diferentes procesos.

Abstract

Introduction. In Ecuador, the dairy industry at a general level represents 6.1% of the activity in agriculture and livestock in the country. Regarding the consumption of fresh unprocessed milk, it is observed that around 43.4% of production is destined for final consumption, the remaining 56% for intermediate consumption, within which the production of dairy products stands out (89% of the total consumed). **Objectives.** Develop the mathematical modeling of the thermal milk storage tanks of the Tunshi Experimental Station of the Polytechnic Higher School of Chimborazo in the control of the outlet temperature in the cooling and heating process. **Methodology.** The determination of the

initial temperature of entry of the fluid to the collection center was made with a value of 19.6 °C and 8 °C for refrigeration, the heating temperature was established up to 80 °C, the process was modeled Based on the energy balance and the simulation using the Matlab program (Simulink), worked with the 875-liter capacity of a vertical-type tank in a total time of 4800 seconds. **Results.** For the validation, three different behaviors of curves were determined both for the energy balance of the thermal tank, its transfer function in heating the milk and the behavior of both reception, cooling and heating up to a temperature of 80 °C. **Conclusion.** The behavior of the curves was evidenced and verified experimentally, validating the established modeling of the two different processes.

Introducción

La leche obtenida tras el ordeño y que posteriormente es refrigerada es a lo que se denomina leche cruda, a la que no ha sufrido cambios químicos, 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)

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 (Alonso, 1996).

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 (Rosado & Rosado, 2015).

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 (Callejo, 2013).

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).

Según Alais (2018), las temperaturas estables de conservación de leche se establecen 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.

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).

Tanques de enfriamiento vertical o silo

Acorde a Milkplan (2021), fabricantes de tanques abiertos de refrigeración en sus catálogos de productos establece dos tipos de tanques tipo silo o verticales para almacenamiento de leche:

- a) Tanque vertical de 50-300 litros
- b) Tanque vertical de 400-2500 litros

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 (International Standard [ISO], 1983.)

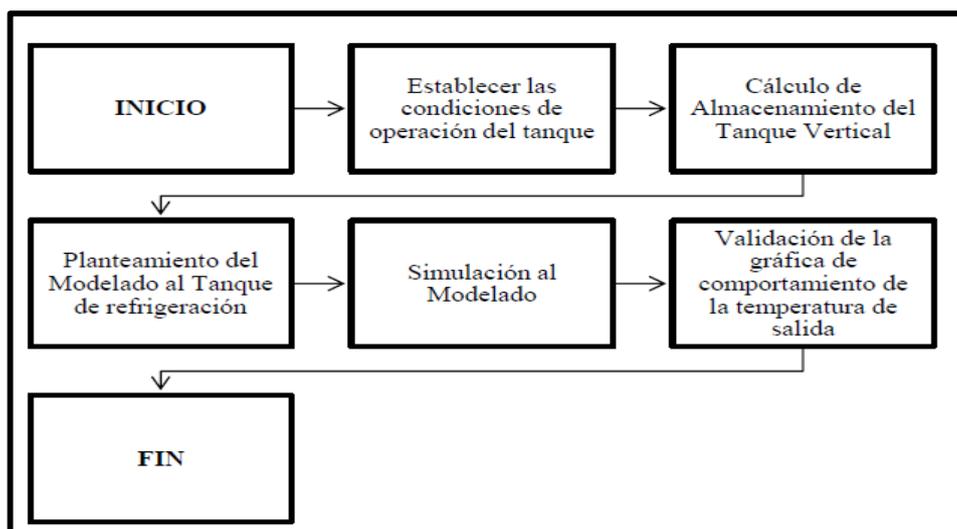
Metodología

Material y Métodos

Para llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo de investigación se realizó el estudio previo de las propiedades fisicoquímicas de recepción de la leche previo al almacenamiento en los tanques térmicos (Madrid, 1996), 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. (Unidad States.The MathWorks, Inc. [MATLAB], 2021).

Figura 1

Diagrama de bloques de la propuesta del modelado del tanque de refrigeración



Nota: Esquema gráfico del planteamiento del modelado al tanque de refrigeración para el almacenamiento de la leche en la industria láctea

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 (Cuevas & Fonseca, 2016).

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.

Propiedades de la leche de 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 (Milkplan, 2021), previamente calibrado a partir de soluciones buffer estándar, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 1

Propiedades físico-químicas de la leche a recepción

Condición	Valor	Unidades
Contenido de grasa	4.14	%
Sólidos no grasos	5.93	%
Densidad	1.028	$\frac{g}{m^3}$
Proteína	2.28	%
Temperatura	19.6	°C
Lactosa	3.22	%
Conductividad	4.36	$\frac{mS}{cm}$
pH	5.81	-

Fuente: Manual Ekomilk Ultra

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

Parámetros de diseño del tanque vertical

Condición	Valor	Unidades
Capacidad del tanque	875	L
Presión atmosférica (P_{atm})	1	atm
Longitud del tanque	0.97	M
Diámetro del tanque	0.66	M
Espesor del tanque	0.10	M

Cálculos del tanque de almacenamiento vertical

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).

Tabla 3

Dimensionamiento del tanque vertical

Determinación	Fórmula	Valor	Unidades
Volumen del tanque	$V = \frac{p}{N} * n * \frac{1}{c}$	730.16	L
	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)		
Esfuerzo Tangencial	$\sigma = \frac{P * D}{2t}$	N/m ²	32330.1
	σ: Esfuerzo, (N/m ²) P: Presión hidrostática, (N/m ²) D: Diámetro, (m) t: Espesor, (m)		
Cálculo de la masa de leche	$m = \delta * V$	901.25	Kg
	m: masa, (kg) δ: densidad de la leche, (kg/m ³) V: capacidad del recipiente, (m ³)		
Cálculo del calor de refrigeración	$Q = m * \Delta T * Cp$	-41.08	KJ
	Q: calor, (KJ) m: masa, (kg) ΔT: variación de temperatura, (°C) Cp: calor específico de la leche, (KJ/kg*°C)		
Cálculo del calor absorbido en el calentamiento	$Q = m * (T_{final} - T_{inicial}) * Cp$	255	KJ
	Q: calor, (KJ) m: masa, (kg) T _{final} : 80, (°C) T _{inicial} : 8, (°C) Cp: calor específico de la leche, (KJ/kg*°C)		

Tabla 3
Dimensionamiento del tanque vertical (continuación)

Determinación	Fórmula	Valor	Unidades
Flujo de entrada al tanque	$q = \frac{V}{t}$	0.000426	m ³ /s
	q: flujo volumétrico, (m ³ /s)		
	V: volumen del recipiente, (m ³)		
	t: tiempo transcurrido, (s)		

Resultados y Discusión
Planteamiento del modelo matemático al tanque de refrigeración 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 (Smith & Corripio, 2014, p.108).

Tabla 4
Condiciones de operación para el modelo y simulación

Condición	Valor	Unidades
Flujo de entrada	0.000426	$\frac{m^3}{s}$
Densidad del fluido de entrada	0.001032	$\frac{kg}{m^3}$
Densidad del fluido de salida	0.001035	$\frac{kg}{m^3}$
Capacidad calorífica inicial de la leche	0.0039	$\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$
Capacidad calorífica a volumen constante	0.034	$\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$
Volumen líquido del tanque	0.875	m ³
Temperatura de entrada del fluido	19.6	°C
Dinámica del proceso	800	s

Ecuaciones del Balance de Energía

El balance de energía es efectuado con la finalidad de conocer la energía requerida y desechada en cada operación del proceso (Vega, 2010).

$$q_1 \rho_i h_1 T_i(t) - q_1 \rho_f h_2 T_f(t) = dU/dt \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

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

ρ_i, ρ_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 energía interna del sistema:

$$q_1 \rho_i C_{pi} T_i(t) - q_1 \rho_f C_{pf} T_f(t) = d[V \rho C_v(t)]/dt \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

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

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

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

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

La densidad y la capacidad calorífica se suponen constantes e iguales en el rango de temperaturas de la operación a refrigeración

$$q_1 \rho_i C_{pi} T_i(t) - q_1 \rho_f C_{pf} T_f(t) = V \rho C_v dT_f(t)/dt \quad \text{Ec.3}$$

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

$$\rho_i C_p i T_i(t) q_1(t) - \rho_f C_p f T_f(t) q_1(t) = V \rho C_p v dT_f(t)/dt \quad \text{Ec.4}$$

Balance de energía en estado estacionario

$$\rho_i C_p i \bar{T}_i q_1 - \rho_f C_p f \bar{T}_f q_1 = 0 \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

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

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

$$q_1 \rho C_p [T_i(t) - \bar{T}_i] - q_1 \rho C_p [T_f(t) - \bar{T}_f] = V \rho C_p v d[T_f(t) - \bar{T}_f]/dt$$

$$V \rho C_p d\bar{T}_2/dt = q_1 \rho C_p \bar{T}_1 - q_1 \rho C_p \bar{T}_2$$

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

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

Se definió las variables de desviación al proceso obteniendo:

$$\Gamma(t) = T_f(t) - \bar{T}_f$$

$$\Gamma_i(t) = T_i(t) - \bar{T}_i$$

Donde:

Γ = variable de desviación de la temperatura de salida, (°C)

Γ_i = variable de desviación de la temperatura de entrada, (°C)

$$d\Gamma_2(t)/dt = q_1/V_1 * (\Gamma_1(t) - \Gamma_2(t))$$

Transformadas de La place

$$s\Gamma_2(s) = q_1/V_1 * (\Gamma_1(s) - \Gamma_2(s))$$

$$\Gamma_2(s) (s + q_1/V_1) = 1 * \Gamma_1(s) / \tau_1$$

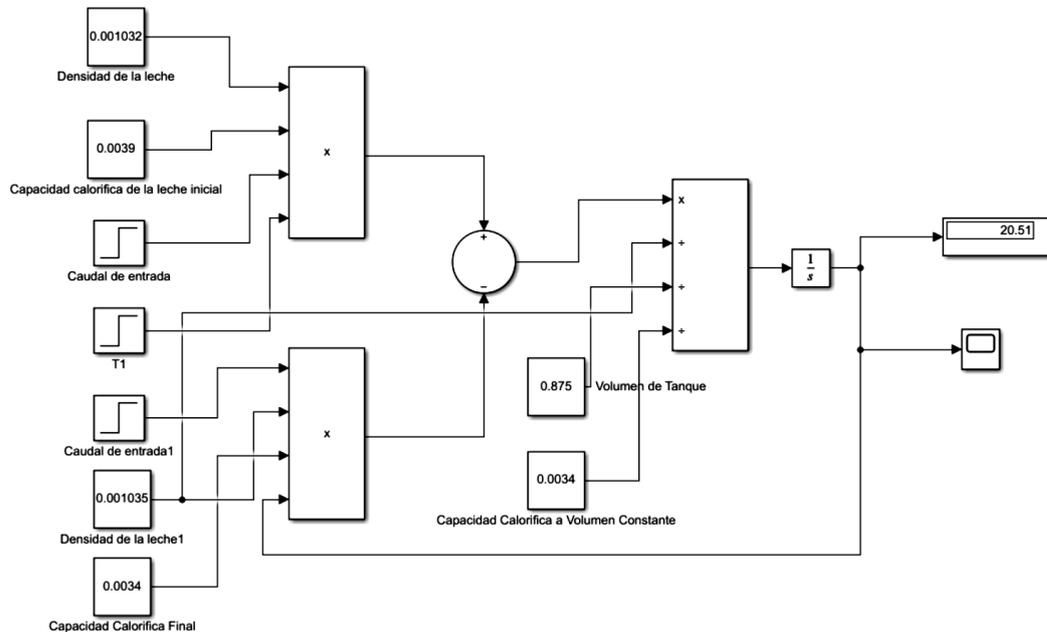
$$\Gamma_2(s) = (\Gamma_1(s) / \tau_1) / (s + 1/\tau_1) = (\Gamma_1(s) / \tau_1) / (\tau_1 s + 1/\tau_1)$$

Función de transferencia del proceso

$$\Gamma_2(s) = 1/(\tau_1 s + 1) * \Gamma_1(s) \quad \text{Ec.6}$$

Figura 2

Simulación del modelado mediante Matlab (Simulink)

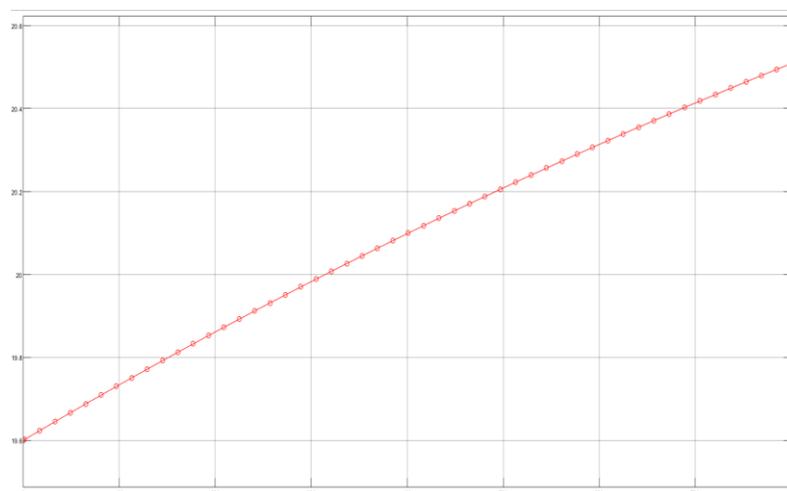


Nota: Mediante el balance de energía representado en un sistema de bloques por la herramienta Simulink y factor integrador para determinar la incógnita de la ecuación diferencial se pudo determinar una respuesta de temperatura de salida en un lapso de 800 segundos de 20,51 °C.

Curva del comportamiento dinámico

Figura 3

Curva del comportamiento dinámico



Nota: 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.

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

$$k = hfg\rho/Cpq1 \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

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

hfg = entalpía de vaporización, (kJ/kg)

ρ = densidad del fluido, (kg/m^3)

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

$q1$ = caudal de entrada, (m^3/s)

Para el cálculo de la entalpía del proceso mediante las tablas termodinámicas de (Cengel & Boles, 2012).

Tabla 5

Condiciones para el cálculo de la ganancia de proceso

Condición	Valor	Unidades
Entalpía de proceso a 19,6°C	2454000	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Densidad de la leche	0.00132	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Capacidad calorífica de la leche	3.930	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$
Caudal de entrada	0.000426	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
Masa de vapor	0.216	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$

Con los datos obtenidos de la tabla se obtuvo:

$$k = 1.11 \text{ } ^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}/\text{kg}$$

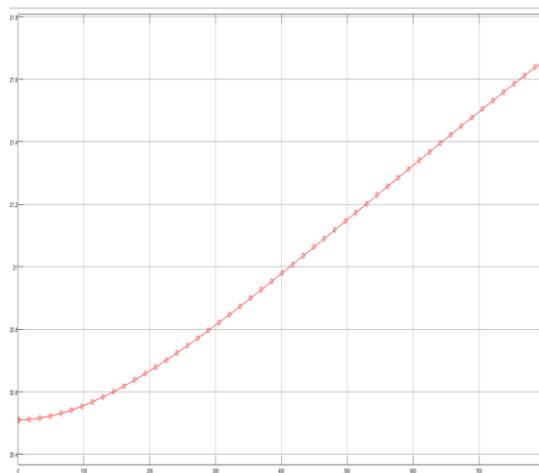
Tabla 6

Determinación de la variación de la ganancia del proceso

Determinación	Ecuación	Valor
	$\Delta T = k * mv$	
	Donde:	
Variación de la temperatura	$k = \text{ganancia de proceso del proceso dinámico, } (^\circ\text{C*s/kg})$	0.24 °C
	$mv = \text{masa de vapor, (kg/s)}$	
	$T. \text{máxima de proceso}$	
Temperatura máxima del proceso	$= 80 \text{ }^\circ\text{C} + \Delta T$	80.24 °C
Ganancia total del proceso	$k = \Delta\text{salida} / \Delta\text{entrada}$	1,64
Dinámiveca del proceso	$\tau_1 = V_{\text{recipiente}} / q_1$	2053.99 s
La dinámica de proceso se recomienda que debe ser 10 veces mayor al proceso real	$\Gamma_{2(s)} = \frac{1}{\tau_1 s + 1} \Gamma_{1(s)}$ $\Gamma_{2(s)} = \frac{1.64}{2053.9/10s + 1}$	

Figura 4

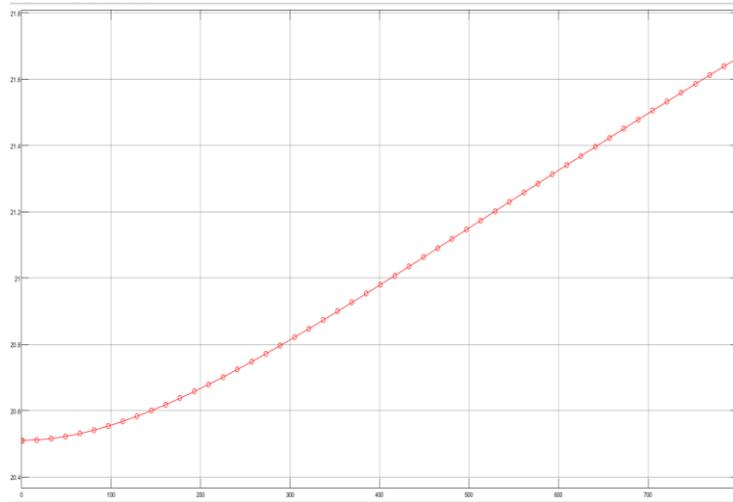
Temperatura de salida al proceso mediante factor integrador



Nota: 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 5

Comportamiento de la curva del proceso con función de transferencia



Nota: 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 se lo planteó hasta los 80 °C.

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.

$$0 < T < 19.6$$

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

$$T(t) = (T_0 - T_S) e^{-kt} + T_S \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

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

T_S = temperatura constante del ambiente

T_0 = temperatura inicial

k = tasa relativa

t = tiempo

Se aplica la linealización matemática para obtener la función de transferencia de refrigeración

$$T_1 = \frac{sT_0 + kT_s}{s^2 + sk}$$

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.

Figura 6

Script de los parámetros de la simulación del proceso

```

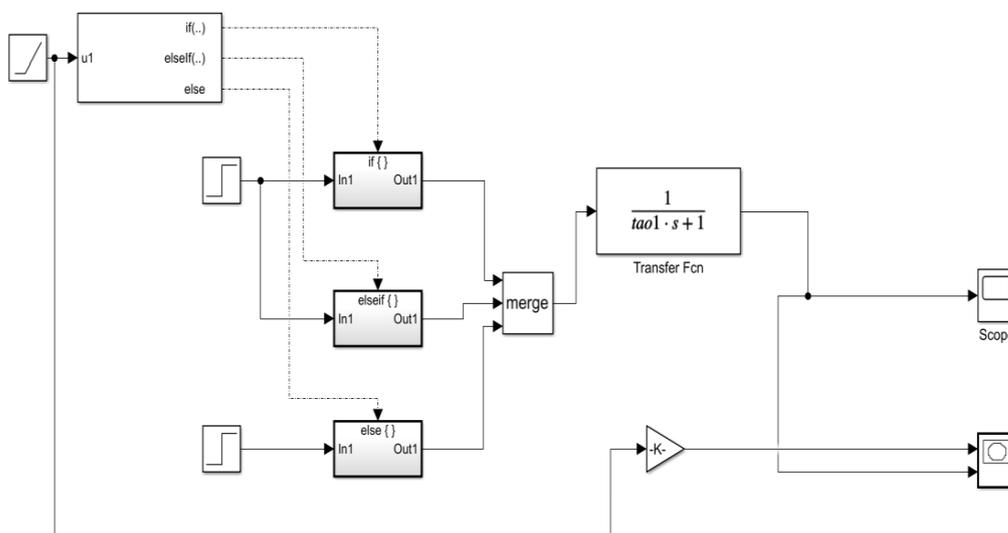
1 %%Parámetros de la Funcion de Transferencia del Sistema
2 V1= 0.875; %%Volumen líquido tanque [m^3]
3 q1= 0.000426; %%Flujo de entrada [m^3/s]
4 %tao1= (V1/q1)
5 tao1= q1/V1;
6
7 %%Parámetros enfriamiento
8 To= 19.6; %%Temperatura inicial [°C]
9 Ts= 8; %%Temperatura ambiente [°C]
10 K= 0.1; %%Constante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

```

Nota: 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 7

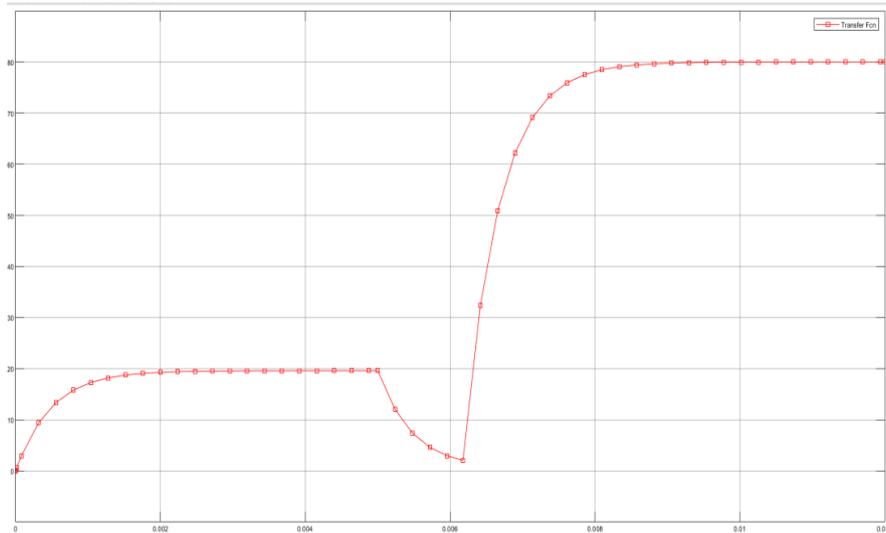
Simulación del modelado de refrigeración y calentamiento del tanque de 500 L



Nota: 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.

Figura 8

Comportamiento de las funciones de transferencia del proceso



Nota: Al desarrollo del proceso se determinó la curva del proceso bajo las condiciones y función de transferencia en un lapso de desarrollo experimental de 4800 segundos.

Validación del modelado del sistema del tanque y refrigeración

Acorde a Kishurim (2013), 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 válido al modelado (p.156).

Tabla 7

Datos Experimentales y Referencial al Modelado

Datos experimentales y de referencia al modelado			
Condición	Modelado	Experimental	Validación
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 la operación considerando la capacidad térmica del banco hielo.

Conclusiones

- 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 del balance de energía como en función de ecuación de transferencia el proceso parametrizado el cumplimiento 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.

Referencias Bibliográficas

- Alais, C. (1985). *Ciencia de la Leche: Principios de Técnica Lechera*. [ed.] Manuel Company. Barcelona-España: Reverté, S. A., 507-508.
- Alonso, M. (1996). *Producción de la leche en granjas: ordeño y refrigeración*. Editorial Industrias Lácteas AMV. <http://www.amvediciones.com/fpil.htm>
- Callejo, A. (2013). *Refrigeración de la leche en la granja*. Editorial Frisona Española. <https://www.revistafrisona.com/Portals/0/articulos/n165/A16503.pdf?ver=2013-04-03-151122-857>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. (7.^a ed.). Editorial Mc Graw Hill Education. <http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodin%C3%A2mica/Material%20Did%C3%A1tico/Livro%20-%20Cengel/Termodinamica%20-%20Cengel%207th%20-%20espanhol.pdf>
- Cuevas, C., & Fonseca, N. (2016). Modelado de un sistema de refrigeración caracterizado en un rango amplio de condiciones de operación. *Ingeniare* 24(4), 728–739. DOI 10.4067/S0718-33052016000400016. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-33052016000400016&lng=pt&nrm=i

- García, M. (2015). *Recepción y almacenamiento de la leche y otras materias primas*. Editorial IC. http://www.sancristoballibros.com/libro/recepcion-y-almacenamiento-de-la-leche-y-otras-materias-primas-uf1178_27003
- International Standard [ISO]. (1983). International Standard ISO 5708. vol. First Edit, pp. 11 <https://www.iso.org/standard/11819.html>
- Kishurim. (2013). *El modelamiento matemático en la formación del ingeniero*. Editorial Fundación Universidad Central. <http://iconk.org/docs/modelamiento.pdf>
- Madrid, V. (1996). *Curso de Industrias lácteas*. AMV Edicio. <https://www.iberlibro.com/buscar-libro/titulo/curso-industrias-lacteas/>
- Milkplan farmin technologies. (2021). *Tanques de enfriamiento de leche abierto y cerrado*. <http://www.agriorganic.net/pdf/milkplan.pdf>.
- Pendini, C. (2012). *Notas sobre producción de leche*. Editorial SIMA. <https://isbn.cloud/9789871253937/notas-sobre-produccion-de-leche/>
- Rosado, P & Rosado, J. (2015). *Tratamientos previos de la leche: elaboración de leches de consumo y productos lácteos*. Ic Editorial. <https://editorial.tirant.com/es/libro/tratamientos-previos-de-la-leche-inae0209-elaboracion-de-leches-de-consumo-y-productos-lacteos-9788415886341>
- Smith, C & Corripio, A. (2014). *Control automático de procesos: Teoría y práctica*. Editorial Limusa. <https://pastranamoreno.files.wordpress.com/2013/02/control-automatico-de-procesos-by-vart1.pdf>
- Unidad States.The MathWorks, Inc. [MATLAB]. (10 de marzo, 2021). *Pricing and Licensing - MATLAB & Simulink [blog]*. https://la.mathworks.com/pricing-licensing.html?s_iid=hp_ff_t_pricing.
- Vega, L. (2010). *Diseño y Construcción de Equipo de Refrigeración de Leche Cruda en Sitio de Producción*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia sede Amazonía] Repositorio institucional Virtualpro. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/disen-y-construccion-de-equipo-de-refrigeracion-de-leche-cruda-en-sitio-de-produccion>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

