



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO, MODELACIÓN Y CONTROL DE LA LÍNEA DE
ENVASADO EN LA PRODUCCIÓN DE YOGURT DE LA
INDUSTRIA DE LÁCTEOS CENTINELA DEL NORTE S.A.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar el grado académico:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: JESSICA ARACELY CAMPAÑA MARTÍNEZ

DIRECTOR: Ing. ADRIÁN ALEJANDRO RODRÍGUEZ PINOS Mgs.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Jessica Aracely Campaña Martínez

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.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned in the upper left quadrant of the page.

Yo, Jessica Aracely Campaña Martínez, declaro que el presente trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 de Diciembre del 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned in the center of the page.

Jessica Aracely Campaña Martínez

040204556-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Propuesta Tecnológica, **DISEÑO, MODELACIÓN Y CONTROL DE LA LÍNEA DE ENVASADO EN LA PRODUCCIÓN DE YOGURT DE LA INDUSTRIA DE LÁCTEOS CENTINELA DEL NORTE S.A.**, realizado por la señorita: **JESSICA ARACELY CAMPAÑA MARTÍNEZ** , ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA	FECHA
Ing., Marlon Ernesto Moscoso Martínez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	2021-12-16
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos, Mgs. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	2021-12-16
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada MsC. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	2021-12-16

DEDICATORIA

A mis padres Teresa y Edilberto por ser el motor y motivación para cumplir cada uno de mis propósitos y ser el ejemplo perfecto de esfuerzo y perseverancia, por todo el amor y apoyo que me han brindado, esto y cada uno de mis logros es de ellos y para ellos.

Jessica

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por haberme brindado la vida y todas sus facetas que en ella encontré que me han forjado como persona.

A mis padres por ser el pilar y apoyo en todos los procesos de mi vida, por brindarme una vida en la que tuve todo lo que he necesitado para que pueda llegar a ser una profesional y más que eso una buena persona, por todo el esfuerzo y años de trabajo que han invertido para que todos sus hijos seamos lo que somos hoy en día, con orgullo puedo decir ¡Lo lograron!, por las enseñanzas de vida, por su ejemplo de dedicación, honradez y sencillez nada será suficiente para agradecerles.

A mis hermanos por ser un ejemplo de dedicación y aportar en mi vida con aventuras, experiencias y apoyo.

A mis amigas Arita, Heidyluu, Monsito y Karlita por acompañarme en el gran camino de cumplir un mismo sueño y ser un apoyo dentro y fuera de las aulas, por regalarme una amistad sincera, llena de risas en los momentos difíciles logrando hacer mi vida lejos de casa, mi segundo hogar.

De igual manera agradezco al Ing. Adrián Rodríguez y al Ing. Darío Guamán por su ayuda desinteresada, por su guía y enseñanzas que me han llevado a concluir con el presente trabajo.

Finalmente, una inmensa gratitud a todas las personas que han formado parte de mi proceso y me han brindado un pedacito de luz para que pueda continuar y concluir con una meta más.

Jessica

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xivx
ABSTRACT.....	xx

CAPÍTULO I

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

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Estado del arte.....	6
2.1.1. <i>El yogurt y su producción</i>	6
2.1.2. <i>Flujo de vapor y control de temperatura en evaporadores</i>	6
2.1.3. <i>Línea de succión y de descarga en industrias</i>	7
2.1.4. <i>Control de nivel en tanques</i>	10
2.1.5. <i>Termosellado</i>	10
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. <i>Yogurt</i>	11
2.2.1.1. <i>Especificaciones físico-químicas y microbiológicas</i>	12
2.2.2. <i>Proceso de elaboración de yogurt</i>	12
2.2.2.1. <i>Recepción</i>	12
2.2.2.2. <i>Homogenización</i>	13

2.2.2.3.	<i>Pasteurización</i>	13
2.2.2.4.	<i>Enfriamiento</i>	13
2.2.2.5.	<i>Inoculación</i>	13
2.2.2.6.	<i>Incubación</i>	13
2.2.2.7.	<i>Enfriamiento</i>	13
2.2.2.8.	<i>Batido</i>	14
2.2.2.9.	<i>Envasado y almacenado</i>	14
2.2.3.	<i>Válvulas de control para industria de lácteos</i>	14
2.2.3.1.	<i>Válvulas de globo</i>	14
2.2.3.2.	<i>Válvulas sanitarias</i>	14
2.2.4.	<i>Actuadores</i>	15
2.2.5.	<i>Bombas centrífugas para industrias lácteas</i>	15
2.2.6.	<i>Mangueras de grado alimenticio</i>	15
2.2.6.1	<i>Mangueras de PVC de grado alimenticio</i>	15
2.2.6.2.	<i>Mangueras de caucho de grado alimenticio</i>	16
2.2.7.	<i>Termosellado por resistencias eléctricas</i>	16
2.2.8.	<i>Sensores</i>	16
2.2.8.1.	<i>Sensores de temperatura</i>	16
2.2.8.2.	<i>Sensor de nivel de líquidos</i>	16
2.2.9.	<i>Control y simulación</i>	16
2.2.9.1.	<i>Control PID</i>	16
2.2.9.2.	<i>Diagramas P&ID</i>	17
2.2.9.3.	<i>Simulación estado estacionario</i>	17
2.2.9.4.	<i>Características del software para simulación de lazos de control</i>	18
2.3.	Marco legal	19
2.3.1.	<i>Marco Legal del Software Libre en Ecuador</i>	19

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	20
3.1.	Localización del proyecto	20
3.2.	Etapas de la metodología	20
3.3.	Tipo de estudio	22
3.3.1.	<i>Método inductivo</i>	22
3.3.2.	<i>Método deductivo</i>	22
3.3.3.	<i>Método experimental</i>	22

3.4.	Determinación de variable	23
3.4.1.	<i>Temperatura</i>	23
3.4.2.	<i>Presión</i>	23
3.4.3.	<i>Viscosidad y densidad</i>	23
3.4.4.	<i>Tiempo de control</i>	23
3.5.	Consideraciones preliminares del diseño	23
3.5.1.	<i>Tipo de proceso de elaboración de yogurt</i>	23
3.5.2.	<i>Selección de equipos para automatización en los subprocesos</i>	24
3.5.3.	<i>Base de cálculo para el diseño</i>	24
3.5.4.	<i>Material de construcción para los equipos y accesorios de la línea de envasado</i>	24
3.5.5.	<i>Condiciones y parámetros de diseño</i>	26
3.6.	Cálculos de ingeniería	28
3.6.1.	<i>Balance de masa y energía en marmita</i>	28
3.6.1.1.	<i>Balance de masa en tratamiento térmico de leche para elaboración de yogurt</i>	29
3.6.1.2.	<i>Balance de energía en el tratamiento térmico de la leche para la producción de yogurt</i>	30
3.6.1.3.	<i>Balance de masa para producción de yogurt</i>	34
3.6.2.	<i>Dimensionamiento y especificaciones de la línea de envasado de yogurt</i>	37
3.6.2.1.	<i>Dimensionamiento y especificaciones de marmita con chaqueta</i>	37
3.6.2.2.	<i>Dimensionamiento y especificaciones de la línea de conducción de yogurt desde marmita a tanque de distribución</i>	45
3.6.2.3.	<i>Dimensionamiento y especificaciones del tanque de distribución</i>	49
3.6.2.4.	<i>Dimensionamiento y especificaciones de la tolva</i>	49
3.6.2.1.	<i>Especificaciones del proceso de termosellado</i>	51
3.6.3.	<i>Modelación y control de los subprocesos más importantes de la línea de envasado de yogurt</i>	52
3.6.1.1.	<i>Modelación y control de temperatura en una marmita con chaqueta para tratamiento térmico de leche para elaboración de yogurt</i>	52
3.6.1.1.	<i>Modelación de nivel de tanque de distribución</i>	61
3.6.1.3.	<i>Modelación y control de nivel de una tolva</i>	63
3.7.	Validación	68

CAPÍTULO IV

4.	GESTIÓN DEL PROYECTO	69
4.1.	Análisis del costo de automatización del proceso	69

4.1.1.	<i>Recursos materiales de inversión</i>	69
4.1.2.	<i>Recursos humanos</i>	69
4.1.3.	<i>Costo total</i>	70
4.2.	Cronograma del proyecto de titulación	71
4.3.	Resultados	72
4.2.	Análisis y discusión de resultados	75
CONCLUSIONES		77
RECOMENDACIONES		78
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Especificaciones físico- químicas y microbiológicas del yogurt.....	12
Tabla 2-2:	Requisitos físico- químicos para leche cruda	12
Tabla 3-2:	Características de bomba centrífuga de serie 200	15
Tabla 4-2:	Características de SIMULINK	18
Tabla 5-2:	Recursos del marco jurídico de soberanía tecnológica.....	19
Tabla 1-3:	Coordenadas de la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A.	20
Tabla 2-3:	Características de materiales de accesorios y equipos de industria láctea.....	24
Tabla 3-3:	Características de tubería sanitaria	25
Tabla 4-3:	Características físico químicas del fluido de trabajo.....	26
Tabla 5-3:	Condiciones operativas del tratamiento térmico para la producción de yogurt....	27
Tabla 6-3:	Datos experimentales para producción de yogurt en industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A.	27
Tabla 7-3:	Características de los equipos de la línea de envasado de la planta	28
Tabla 8-3:	Requisitos para espesor de paredes de una marmita.....	39
Tabla 9-3:	Características de flocladores serie FET (Flocladores de dos palas)	42
Tabla 10-3:	Características y datos técnicos de caldera pirotubular de vapor y aguas calientes verticales.....	42
Tabla 11-3:	Características y especificaciones de bombas centrífugas serie 200	48
Tabla 12-3:	Características de válvula sanitaria Bray de serie 20/21	50
Tabla 13-3:	Características y especificaciones de un controlador de temperatura	52
Tabla 14-3:	Condiciones para la función de transferencia en homogenización.	58
Tabla 15-3:	Condiciones para función de transferencia en pasteurización	60
Tabla 16-3:	Condiciones para la simulación de nivel en el tanque de distribución.....	61
Tabla 17-3:	Condiciones para la simulación de los lazos de control de la tolva	64
Tabla 1-4:	Costo de Recursos materiales	69
Tabla 2-4:	Costo de Recursos Humanos	69
Tabla 3-4:	Costo total de inversión de Recursos.....	70
Tabla 4-4:	Cronograma del proyecto	71
Tabla 5-4:	Condiciones de operación para producción de yogurt.....	72
Tabla 6-4:	Dimensiones de operación de la línea de envasado.....	73
Tabla 7-4:	Especificaciones de operación de la línea de envasado.....	73
Tabla 8-4:	Resultados de la simulación de lazos de control	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Metodología del trabajo de integración curricular.....	21
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Diagrama del flujo de proceso de transporte de fluidos	8
Figura 2-2:	Prueba de tensión.....	11
Figura 3-2:	Diagrama P&ID- Control de nivel de un tanque	17
Figura 1-3:	Ubicación de la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A.	20
Figura 2-3:	Equipos y accesorios de acero inoxidable tipo AISI 304 y 316	25
Figura 3-3:	Tubería de acero inoxidable tipo AISI 304 y 316	25
Figura 4-3:	Manguera sanitaria alimentaria de PVC.....	26
Figura 5-3:	Número de potencia N_p con respecto a número de Reynolds N_{Re}	41
Figura 6-3:	Coefficiente de flujo en el recorrido del vástago	44
Figura 7-3:	Característica de flujo inherente.....	44
Figura 8-3:	Válvula de globo de un puerto	45
Figura 9-3:	Bomba centrífuga de 200 series	48
Figura 10-3:	Válvula mariposa con y sin actuador.....	51
Figura 11-3:	Controlador de temperatura digital.....	52
Figura 12-3:	Lazo de control de temperatura en relación al flujo de vapor	53
Figura 13-3:	Simulación del lazo de control de temperatura para homogenización en una marmita en función del flujo de vapor en la chaqueta.....	59
Figura 14-3:	Simulación del lazo de control de temperatura para pasteurización en una marmita en función del flujo de vapor en la chaqueta.....	61
Figura 15-3:	Simulación del modelo matemático para nivel del tanque de distribución	63
Figura 16-3:	Lazo de control de nivel en una tolva en relación a la apertura de la válvula de entrada	63
Figura 17-3:	Simulación del lazo de control de nivel en una tolva en función de la apertura de la válvula de entrada.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** DIAGRAMA DE DIMENSIONES Y CONDICIONES DEL PROCESO
- ANEXO B:** FICHA TECNICA DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE YOGURT DE LA INDUSTRIA DE LACTEOS CENTINELA DEL NORTE S.A
- ANEXO C:** TABLA DE PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA SATURADA
- ANEXO D:** COEFICIENTES DE DIMENSIONAMIENTO REPRESENTATIVOS PARA CUERPOS DE VÁLVULA DE ESTILO GLOBO DE PUERTO ÚNICO
- ANEXO E:** COEFICIENTE DE CAUDAL DE UNA VÁLVULA DE MARIPOSA DE SERIE 20/21 EN FUNCIÓN DE LA APERTURA (POSICIÓN DEL DISCO)

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<i>PID</i>	Controlador proporcional, integral y derivativo
<i>P&ID</i>	Piping and Instrumentation Diagram
<i>NPSH</i>	Altura Neta Positiva en la Aspiración
<i>KPa</i>	Kilo pascales
<i>m</i>	Metros
<i>kg</i>	Kilogramos
<i>l</i>	Litro
<i>h</i>	Hora
<i>s</i>	Segundos
<i>K</i>	Grados Kelvin
<i>°C</i>	Grados centígrados
<i>J</i>	Joule
<i>W</i>	Watt
<i>HP</i>	Caballos de fuerza
<i>BHP</i>	Caballo de fuerza en una caldera
<i>Kgm</i>	Kilogramometro
<i>N</i>	Newton
<i>psi</i>	Libra de fuerza por pulgada al cuadrado
<i>psia</i>	Libra de fuerza por pulgada al cuadrado absoluta
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>r/s</i>	Revoluciones por segundo
<i>gpm</i>	Galones por minuto
Ω	Ohmios
<i>V</i>	Voltio
<i>m_l</i>	Masa de leche (kg)
ρ_l	Densidad de la leche (kg/l)
<i>V_l</i>	Volumen de leche (l)
<i>t</i>	Tiempo (s)
<i>F</i>	Corriente de alimentación (kg/s)
<i>m_{lp}</i>	Masa de leche pasteurizada (kg)
ρ_{lp}	Densidad de leche pasteurizada (kg/m ³)
<i>V_{lp}</i>	Volumen de leche pasteurizada (m ³)
<i>S</i>	Corriente de leche pasteurizada (kg/s)
<i>T_F</i>	Temperatura de alimentación (K)

W	Flujo de vapor (kg/s)
C_{pl}	Calor específico de la leche (kJ/kg.K)
T_w	Temperatura a la presión de vapor en la cámara de calefacción (K)
C	Flujo de vapor condensado (kg/s)
T_s	Temperatura de concentrado (K)
HE	Entalpía a la temperatura del evaporado (kJ/kg)
λW	Calor latente a partir de la presión de la cámara de calefacción (kJ/kg)
W_{ho}	Flujo de vapor en homogenización (kg/s)
W_p	Flujo de vapor de pasteurización (kg/s)
Q	Flujo de calor (kJ/h)
Q_{ho}	Flujo de calor en homogenización (kJ/h)
Q_p	Flujo de calor en pasteurización (J/s)
T_e	Temperatura de entrada (K)
T_s	Temperatura de salida (K)
ΔT	Gradiente de temperatura (K)
ΔT_{ho}	Gradiente de temperatura en homogenización (K)
ΔT_p	Gradiente de temperatura en Pasteurización (K)
A	Área de transferencia de calor (m ²)
r	Radio del tanque (m)
l	Altura del tanque(m)
U	Coefficiente global de transferencia de calor (kJ/hm ² K)
U_{ho}	Coefficiente global de transferencia de calor en Homogenización (kJ/hm ² K)
U_p	Coefficiente global de transferencia de calor en Pasteurización (kJ/hm ² K)
Q_{ced}	Flujo de calor cedido por la leche pasteurizada (kJ/s)
Q_{abs}	Flujo de calor absorbido por el agua de enfriamiento (kJ/s)
m_{lp}	Flujo másico de leche pasteurizada (kg/s)
m_a	Flujo másico de agua (kg/s)
C_{pa}	Calor específico del agua (kJ/kg k)
ΔT_l	Diferencia de temperatura de la leche pasteurizada (k)
ΔT_a	Diferencia de temperatura del agua (k)
m_s	Masa de sorbato de potasio (kg)
m_a	Masa de azúcar (kg)
m_f	Masa de fermento (kg)
X_{Fl}	Fracción molar de leche en la alimentación
X_{Ff}	Fracción molar de fermento
X_{Fs}	Fracción molar de sorbato de potasio en la alimentación

X_{Fa}	Fracción molar de azúcar en la alimentación
X_{Flagua}	Fracción de agua en la leche en la alimentación
X_{Flst}	Fracción de sólidos totales en la leche en la alimentación
m_y	Masa de yogurt (kg)
ρ_y	Densidad de yogurt (kg/l)
V_y	Volumen de yogurt (l)
S_y	Corriente de yogurt (kg/s)
V_T	Volumen total de la marmita (m ³)
v_F	Volumen de alimentación de leche pasteurizada e ingredientes (m ³)
ρ_F	Densidad de alimentación (kg/m ³)
g	Factor de seguridad (0.25)
v_t	Volumen del tanque (m ³)
D_i	Diámetro interno de la chaqueta (m)
h_t	Altura del tanque (m)
$v_{(t-ch)}$	Volumen del tanque más la chaqueta (m ³)
D_e	Diámetro externo de la chaqueta (m)
h_{ch}	Altura de la chaqueta (m)
V_{ch}	Volumen de la chaqueta (m ³)
l_r	Longitud del agitador (m)
D_i	Diámetro interior de la chaqueta (m)
E_a	Espesor del agitador (m)
l_b	Longitud del brazo del sistema de agitación (m)
D_{ag}	Diámetro del agitador (m)
N_{re}	Número de Reynolds (adimensional)
n	Revoluciones por segundo (r/s)
N_p	Número de potencia (adimensional)
P	Potencia requerida (W)
n	Velocidad (r/s)
g_c	Factor gravitacional de conservación (kgm.m/N.s ²)
f_s	Flujo de vapor (ft ³ /h)
G	Gravedad específica=0.621(lb/ft ³)
T	Temperatura de entrada (°R)
C_f	Factor de flujo crítico=0.8
P_1	Presión de entrada (psia)
P_2	Presión de salida (psia)
y	Efecto de compresibilidad en el flujo

POT	Potencia de la bomba necesaria para transportar el fluido (HP)
q	Caudal que se necesita transportar (m ³ /s)
e	Eficiencia de la bomba (0.75)
P_a	Presión en el punto a (psi)
P_b	Presión en el punto b (psi)
g	Gravedad (m/s ²)
z_a	Altura en el punto a (m)
z_b	Altura en el punto b (m)
h_b	Energía de la bomba (m)
h_r	Pérdidas (m)
v_b	Velocidad del fluido (m/s)
Q_y	Caudal del yogurt (m ³ /s)
A	Área de la tubería (m)
F	Coefficiente de fricción
L	Longitud de la tubería (m)
D	Diámetro de la tubería (m)
V_{td}	Volumen del tanque de distribución (m ³)
h_{td}	Altura del tanque de distribución (m)
a_{td}	Ancho del tanque de distribución (m)
l_{td}	Longitud del tanque de distribución (m)
A	Área del tanque de distribución (m ²)
r	Radio de la tolva (m)
m₁ y m₂	Flujo másico de entrada y salida
T_{ec} y T_{sc}	Temperatura de entrada y salida de la chaqueta (K)
T_e y T_s	Temperatura de entrada y salida del tanque (K)
f_{ec} y f_{sc}	Flujo de entrada y salida de la chaqueta (m ³ /s)
f_e y f_s	Flujo de entrada y salida en el tanque (m ³ /s)
C_pv	Calor específico del vapor (kJ/kg.K)
ρ_v	Densidad de vapor (kg/m ³)
V	Volumen del tanque (m ³)
V_c	Volumen de la chaqueta (m ³)
U	Coefficiente de transferencia de calor (kJ/sm ² K)
q	Caudal de entrada del tanque de distribución
q_r	Caudal de salida por la restricción del tanque de distribución
q_c	Caudal del nivel en el tanque de distribución
h	Altura del tanque del tanque de distribución

<i>g</i>	Relación entre la altura y el caudal del tanque de distribución
<i>R</i>	Restricción en la salida del tanque del tanque de distribución (s/m ²)
<i>C</i>	Capacidad del tanque del tanque de distribución(m ²)
<i>A</i>	Acumulación
<i>E</i>	Entrada
<i>S</i>	Salida
<i>G</i>	Generación
<i>C</i>	Consumo
<i>q_e</i>	Caudal de entrada a la tolva (m ³ /s)
<i>q_s</i>	Caudal de salida de la tolva (m ³ /s)
<i>V</i>	Volumen de la tolva (m ³)
<i>K₁</i>	Coefficiente de caudal de la válvula de entrada a la tolva (m ³ /h)
<i>K₂</i>	Coefficiente de caudal de la válvula de salida a la tolva (m ³ /h)
<i>a₁</i>	Apertura de la válvula de entrada a la tolva (%)
<i>a₂</i>	Apertura de la válvula de salida a la tolva (%)
<i>g</i>	Gravedad (m/s ²)
<i>h</i>	Altura de la tolva (m)
<i>AISI</i>	Clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos
<i>NPT</i>	Rosca nacional de caños
<i>DIN</i>	Instituto Alemán para la Normalización
<i>Vdc</i>	voltaje de corriente continua
<i>RTD</i>	Detector de Resistencia de Temperatura
<i>IEC</i>	Comisión Electrotécnica Internacional

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo se basó en el diseño, modelación y control de una línea de envasado para la producción de yogurt como soporte para futuras automatizaciones en la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. mediante el planteamiento de características y parámetros necesarios en los procesos de tratamiento térmico, succión-depósito, llenado-descarga y termosellado, que servirán de base para la simulación de los lazos de control de los subprocesos más importantes como son: temperatura en el tratamiento térmico respecto al flujo de vapor en la chaqueta de una marmita y nivel en una tolva y tanque de distribución en función de la apertura de válvulas de entrada y salida, a través de la plataforma SIMULINK previa modelación matemática de los procesos de forma dinámica y su linealización para encontrar una función de transferencia que represente el comportamiento en estado estacionario como base para obtener parámetros de control de $K_p=1.5$ y $K_p=10$ para la temperatura en homogenización y pasteurización de la leche respectivamente y $K_p=2.98$ y $K_i=0.1345$ para el control de nivel de la tolva permitiendo que los subprocesos se establezcan de 8 a 24 segundos representando grandes ventajas ante el proceso convencional. Además se encontró un modelo matemático en el que se relacionaron las condiciones que existen en la línea de succión y descarga en el tanque de distribución con el fin de conocer el tiempo en que se llega al nivel deseado de líquido siendo de 70 segundos aproximadamente, proceso recomendado para industrias alimentarias que manufacturen fluidos con similares características ya que con base al comportamiento y el cambio de condiciones en el diseño pueda servir de soporte para la automatización en la que se maximizará el uso del tiempo y producción obtenida mediante el control y estabilización de las variables que intervienen en los procesos

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <YOGURT>, <LÍNEA DE ENVASADO>, <MARMITA CON CHAQUETA>, <TOLVA>, <FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA>, <CONTROL DE PROCESOS>, <TERMOSELLADO>, <SIMULINK (SOFTWARE)>.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.09.22 11:04:51 -05'00'



1819-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The objective of this work was based on the design, modeling and control of a packaging line for the production of yogurt as a support for future automation in the Dairy Industry CENTINELA DEL NORTE S.A. by proposing the characteristics and parameters necessary in the heat treatment, suction-deposit, filling-discharge and heat-sealing processes that will serve as the basis for the simulation of the control loops of the most important sub-processes such as: temperature in the heat treatment with respect to the flow of steam in the jacket of a kettle and level in a hopper and distribution tank depending on the opening of inlet and outlet valves, through the SIMULINK platform after modeling mathematics of the processes dynamically and their linearization to find a transfer function that represents the behavior in steady state as a basis for obtaining control parameters of $K_p = 1.5$ and $K_p = 10$ for the temperature in homogenization and pasteurization of the milk respectively and $K_p = 2.98$ and $K_i = 0.1345$ for the hopper level control allowing the threads to stabilize from 8 to 24 seconds representing great advantages over the conventional process. In addition, a mathematical model was found in which the conditions that exist in the suction and discharge line in the distribution tank were related in order to know the time in which the desired level of liquid is reached, being 70 seconds approximately. Recommended process for food industries that manufacture fluids with similar characteristics since based on behavior and change conditions in the design can serve as support for automation in which the use of time and production obtained by controlling and stabilizing the variables involved in the processes.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <YOGURT>, <PACKAGING LINE>, <KETTLE WITH JACKET>, <HOPPER>, <TRANSFER FUNCTION>, <PROCESS CONTROL>, <THERMOSELING>, <SIMULINK (SOFTWARE)>.



Firmado electrónicamente por:

**NANCI
MARGARITA INCA
CHUNATA**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La producción industrial de yogurt se ha dado durante siglos y en muchas culturas con el descubrimiento de los efectos de la fermentación láctica y la relación con los beneficios para la salud, ya que al ser consumido sirve como un regulador de la microbiota intestinal y la reformulación del mismo han hecho que sea útil para dieta y prevención de muchas enfermedades. El auge de la producción se dio accidentalmente por la necesidad de conservar por más tiempo la leche obtenida de animales de granja en la que se notó que la acidez de la misma era la fuente de los impactos nutricionales, con el tiempo fue evolucionando debido al descubrimiento y la relación de los lactobacilos con la transformación de la leche y el equilibrio de la flora intestinal (Weill 2017).

El descubrimiento del yogurt tiene diversas fuentes en la que se toma como principio la ganadería en la que en épocas antes de Cristo era una práctica muy desarrollada, al igual que en los futuros descubrimientos tiene como base la necesidad de mayor tiempo de conservación de la leche de animal como sustituto de la materna para los humanos, en la que se notó mejores resultados el almacenamiento de la misma en pieles de animales por lo que se data sus inicios en la cultura India, Egipticia y Persia en la que con el calor y con el desarrollo microbiano de estas provocaban la fermentación de la leche y por lo tanto la propiedad de auto conservarse por más tiempo (Weill, 2017, pp.31-33).

La industria de lácteos fermentados se inicia en el siglo XIX en el Occidente al conocer que las condiciones de temperatura de la leche tienen que ser mayores a la ambiental y que al agregarle una cantidad de otra leche que ya tenga las condiciones microbianas para dejarla al reposo por varias horas dará como resultado yogurt, por lo que se inicia con el control en la producción tanto en condiciones de proceso como higiénicas para contar con un producto consistente, después en el siglo XX un comerciante de Grecia se instala en Barcelona para la producción y comercialización de yogurt a través de farmacias y él mismo fue el que introdujo la producción y consumo en Estados Unidos mediante la adición de sabores de fruta (Weill, 2017, pp.57-59).

A medida que el consumo de yogurt se maximiza y recorre todo el mundo los productores al estar en una competencia por mayor calidad del producto se ven obligados a la mayor inversión en tecnología y materia prima para mejorar técnicas de producción, por lo que se realiza homogenización y pasteurización como tratamientos térmicos en la leche previos a la inoculación de los cultivos fermentadores para que la textura del yogurt sea homogénea, al trabajar con grandes volúmenes de materia prima se hizo necesario introducir la presencia de tuberías que con

la ayuda de accesorios pueda ser trasladada por los diferentes procesos hasta llegar a su envasado, además para el expendio del producto se hizo necesario un envase cómodo y práctico, para el consumo personal por lo que se promovió el uso de envases de polietileno de baja densidad en el que el producto este totalmente sellado mediante la adición de temperatura al polímero antes de que llegue a su temperatura de fusión.

La producción de yogurt se da a nivel industrial, semi industrial y casero en mayor cantidad con leche semidescremada que de acuerdo al código de alimentaría el yogurt se define como el producto de leche coagulada obtenida por fermentación láctica mediante la acción de bacterias como ácido-lácticas-probióticas como *Bifidobacterias*, *Streptococcus* y principalmente *Lactobacillus* (Huertas Parra, 2012, p.162).

1.2. Planteamiento del problema

El efecto de las perturbaciones en los procesos durante la producción de yogurt afectan variables de interés como son: la temperatura, tiempo y masa sobre el rendimiento final siendo un tema de gran importancia debido a que en la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A., la maquinaria necesita una acción correctiva de tipo manual presentando una serie de inconvenientes relacionados con este tipo de control (manual), por lo que se hace necesario realizar un control del sistema mediante un diseño del mismo. La homogenización en la marmita es el primer paso para la producción de yogurt en la que se necesita que la temperatura oscile entre 60 °C por el lapso de 60 minutos, seguido por la pasteurización que se lo hace a 83 °C durante treinta minutos para luego inocular con el fermento láctico a 43 °C y dejar reposar durante 4 horas, por lo que el control sobre el flujo de vapor es importante para que la temperatura sea exacta en las diferentes etapas dando paso a la adición de los diferentes ingredientes en un tanque para el paso a la tolva y finalmente a la dosificación y el envasado.

Debido a que el pesaje es al azar no se tiene un control total y cierto porcentaje del producto tiene variación en el peso teniendo en cuenta la densidad del yogurt que es 1,030 g/cm³ y haciendo una relación con el volumen, la cantidad deseada es de 90 gramos, que genera consecuencias económicas negativas para la empresa, por lo que el yogurt proviene de la tolva el control de nivel es indispensable para que la cantidad de yogurt este siempre a una determinada altura debido a que la salida un flujo es constante.

De acuerdo al diseño de dosificadoras y enfundadoras al tener un mecanismo de sellado, dosifica y corta de acuerdo al tamaño preestablecido por el modelo del empaque, mediante mordazas que se calientan con resistencias eléctricas a temperatura constante en niquelinas tanto las verticales que tienen como función de sellar los extremos y deben estar a una temperatura de 80°C y las horizontales acoplado un cilindro neumático sellan, cortan y arrastran las fundas por lo que la temperatura debe ser 90°C y es prescindible tener un control automático para las resistencias y

que la temperatura sea la adecuada para que la funda no se rompa o no se selle por completo tomando en cuenta la temperatura de fusión del polietileno de 95 a 115 °C como referencia para el termosellado.

La finalidad de obtener un diseño de la línea de envasado, modelado y simulación del control de los principales subprocesos en los que se indique que se puede obtener mayor rendimiento en la producción de manera que la empresa pueda contar con un diseño del sistema junto a un manual de construcción y uso de optimizaciones a implementar al sistema existente para el control a los valores de referencia.

1.3. Justificación del proyecto

El proceso de envasado en la producción de yogurt necesita de condiciones específicas para que se obtenga un producto de calidad en lo que la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. opta por el control manual realizado por diversos técnicos en los procesos de control de nivel en la tolva, flujo de vapor para un control de temperatura en la marmita y la temperatura en las resistencias en las niquelinas es fundamental para el aprovechamiento total de la materia prima y eficiencia en el proceso.

Razón por la cual, se ha optado por realizar el diseño, modelado y control en la línea de envasado de la producción de yogurt mediante el software MATLAB y su caja de herramientas denominada SIMULINK que permita comprobar su eficiencia frente al sistema actual y comparar los resultados con los valores calculados en el modelo computacional en estado estacionario.

La simulación de lazos de control, modelación matemática en estado estacionario y desarrollo de diagramas P&ID se presentan como una fuente de información que mediante balances de materia y energía, ecuaciones matemáticas tanto diferenciales como algebraicas y gráficas muestran un diseño de un proceso físico de tuberías en donde existe el flujo de un producto y los componentes e instrumentos instalados en el mismo, son una herramienta fundamental para la ingeniería química ya que permite dimensionar un sistema en escalas gráficas y sirve como una guía de proyectos posteriores y poder llevarlos a cabo bajo las especificaciones requeridas para un proceso.

MATLAB en conjunto con su caja de herramientas es una plataforma de acceso limitado, sin embargo sus datos y ecuaciones pueden ser exportados a otras plataformas de código abierto permitiendo ser ejecutadas y tener un acceso y lectura libre, enfocando el presente proyecto de titulación en una propuesta tecnológica que sirva como soporte para una futura automatización de la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. y como base para procesos similares.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar, modelar y controlar la línea de envasado en la producción de yogurt en la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar la línea de envasado de yogurt en base al modelo matemático en estado estacionario.
- Simular los lazos de control de los subprocesos de mayor importancia en la línea de envasado como de la temperatura y nivel
- Seleccionar los diferentes instrumentos necesarios para la operación del proceso
- Documentar el diseño mediante un diagrama P&ID

1.5. Alcance

El presente trabajo se va enfocar en el desarrollo de un diseño con dimensionamientos reales de la línea de envasado en la producción de yogurt de la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. y mediante un modelamiento matemático y funciones de transferencia realizar una simulación mediante software de un control PID, que minimizará las perturbaciones en temperatura y nivel en los subprocesos más importantes que son el tratamiento térmico de materia prima (leche) y almacenamiento de yogurt para dosificado y termosellado de envases, validándose mediante la simulación del modelo matemático en estado estacionario y permitiendo un mejoramiento tecnológico para la empresa ya que mediante dimensionamientos y diagramas P&ID sirvan como soporte para una futura automatización de la planta.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

2.1.1. *El yogurt y su producción*

A medida que el consumo de yogurt ha ido aumentando en el mundo las industrias de lácteos fermentados han tenido que elaborar nuevos métodos para la optimización del proceso de elaboración en el que se vean beneficiados en cantidad, calidad, reducción de tiempo de producción y económicamente por la disminución de costos en el proceso.

Rodríguez-Bernal et al. (2014, p.220) proponen usar el método de la superficie de respuesta en los que se evalúa variables físicas como la temperatura, cantidad de sólidos y cultivo en los efectos provocados en la viscosidad y la cinética de acidificación mediante ecuaciones a partir de los parámetros de acidificación y de crecimiento de los cultivos iniciadores obteniendo el porcentaje de los ingredientes de afinidad a los cultivos para obtener una alta tasa de acidificación con el fin de disminuir la realización de ensayos.

Castillo et al. (2012, p.177) analizaron cuatro tratamientos variando las condiciones de temperatura de fermentación en el rango de 32-43°C y con la concentración de sólidos de un 12-15 % siendo proporcional la viscosidad a la cantidad de sólidos totales de cultivos mas no presenta cambios significativos en los cambios de marca de cultivos.

Conocer las características reológicas de yogurt ayuda en el diseño de procesos de flujo a predecir cómo afectará en su circulación por las tuberías o conocer la potencia necesaria del motor del agitador en el evaporador para obtener una mezcla homogénea del mismo, para tener la predicción de la textura al conocer que tiene un comportamiento no Newtoniano de tipo plástico con un esfuerzo de cedencia los modelamientos que mejor lo describen son los de Casson y el de Herschel-Bulkley (Castillo et al., 2012, pp.175-177).

2.1.2. *Flujo de vapor y control de temperatura en evaporadores*

La industria de lácteos es un campo de amplio estudio en el que para la producción de cada producto derivado se utiliza condiciones y tratamientos iniciales diferentes para la leche se toma en cuenta lo que Bonilla Novillo et al. (2019, p.549) mencionan que en la industria alimentaria el proceso de evaporación es una de las operaciones unitarias más utilizadas para la esterilización, pasteurizado y escalado entre otras, en las que se necesita de transferencia de calor, como es en

el caso del yogurt en que se necesita de un tratamiento térmico previo de la leche para la adición de los demás ingredientes.

La circulación de vapor en la chaqueta, ofrece una limpieza casi total que contribuye a la eliminación de residuos de yogurt y la grasa que contiene el mismo que se queda adherido a las paredes de los equipos, accesorios y tuberías, siendo así los evaporadores elementos de suma importancia en todo el aspecto industrial a nivel mundial (Bonilla Novillo et al., 2019, p.556).

Chamorro R & Meneses G (2008, p.134) en su estudio del diseño de un banco de pruebas para el control de temperatura y flujo indican que para que una planta pueda operar de manera correcta en tratamientos térmicos o de enfriamiento debe realizar un control en la temperatura donde los valores sean lo más cercanos al de referencia, tanto para los procesos dentro de tanques o evaporadores se puede tomar como variable el flujo de agua que circula a la salida del intercambiador que puede ser en serpentín, chaqueta, tubos, entre otros para poder determinar el intercambio energético que se suministra al concentrado para que se sea enfriado o calentado.

Perez R et al. (2003, p.8) señalaron que para tener un control en la temperatura en un evaporador de simple efecto con chaqueta se toma en cuenta que el vapor inyectado dentro de la chaqueta este de acuerdo a la temperatura necesaria para cada tratamiento térmico del concentrado, se cierra la válvula en la que el vapor es de un solo paso y sale por la tubería de condensado a un flujo constante para evitar desfases en el intercambio térmico.

Chamorro R & Meneses G (2008, p.131) analizaron el control retroalimentación en la que el sensor de temperatura (termopar) se coloca en el flujo a la salida del intercambiador que envían señales eléctricas proporcionales a la temperatura, mediante una comparación del set point en el controlador con la señal de control de salida el actuador conectado a un elemento final que es una válvula de control sufre modificaciones de apertura o cerrado para que la temperatura sea la de referencia

De acuerdo al funcionamiento de los evaporadores en el tratamiento térmico de la leche señalan que dentro del mismo existen diferentes temperaturas de acuerdo a la corriente que circule, la del vapor de la cámara de condensación que es el área de intercambio a la cámara de evaporación donde se encuentra el concentrado que tiene otra temperatura y que va ser la misma a la del vapor que abandona la cámara de evaporación (Bonilla Novillo et al., 2019, p.554).

2.1.3. Línea de succión y de descarga en industrias

La bomba centrífuga es una de los accesorios más utilizados en las industrias alimentarias debido a eso para la instalación de la misma debe ser de fácil movilidad para futuros reordenamientos o para facilidad de limpieza y en un lugar donde pueda realizar un desmontaje para reparaciones además de que para su diseño es necesario conocer varios parámetros como los diámetros de las

tuberías que van a estar conectadas a la bomba para la succión y la descarga del fluido (Díaz F. et al., 2006, p.126).

Díaz F. et al. (2006, p.126) plantearon que la conexión que existe en la bomba para la tubería de succión debe tener un diámetro mayor para disminuir pérdidas en la entrada en la que se debe emplear una reducción excéntrica para evitar la formación de las bolsas de aire todo con el fin de evitar la cavitación en la bomba y escoger una bomba de menor potencia para el mismo proceso con tuberías de succión y descarga del mismo diámetro. La superficie en donde se encuentra la bomba también es de vital importancia para evitar el desgaste de los accesorios dentro de la bomba por lo que debe estar ubicada en una superficie plana donde no haya desalineamientos entre la bomba y el motor.

Díaz F. et al. (2006, pp.127-130) analizaron también las condiciones de succión necesaria para el funcionamiento de la bomba sin cavitación ($NPSH_R$) que se la determina haciendo pruebas en las que se encuentre en el punto donde haya disminución de la presión de succión mediante la evacuación del tanque donde se está succionando el fluido o agregando una válvula antes de la bomba para que pueda contribuir a la succión y la forma en la que opera la instalación ($NPSH_D$) en la que es necesario conocer parámetros como caudal, temperatura, presión de succión, descarga y vacío que se la conoce por la cantidad de vacío que genere al estar trabajando con un fluido en recirculación y además mediante cálculos y graficas de altura y $NPSH_R$ vs caudal se puede constatar la similitud con las características de trabajo de la bomba de catálogo.

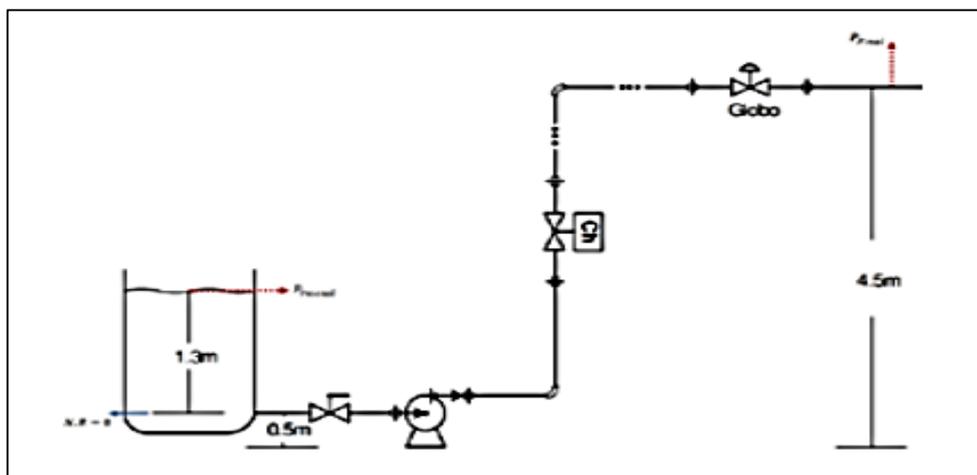


Figura 1-2: Diagrama del flujo de proceso de transporte de fluidos

Fuente: (Díaz-Castañeda & Álvarez-Zapata, 2014, p.85).

La fuga en las tuberías es un problema común por el que atraviesa la mayoría de las industrias y para que no exista pérdidas económicas por derrame de producto o daños ambientales de acuerdo al fluido con el que se esté trabajando es importante localizar el punto donde está la fuga y el caudal que sale por la misma mediante modelos matemáticos no estacionarios, en los que se muestran las condiciones en los diferentes tramos de la tubería y se toma en cuenta la presión de

succión y el flujo de salida, además se toma en cuenta el coeficiente de fricción, la discretización espacial de caudal y altura, accesorios de la tubería para que el modelo sea asociado al dimensionamiento real como codos, reducciones, válvulas, etc., una vez obtenido el modelo matemático de ecuaciones no lineales se toma en cuenta que puede ser utilizado para trabajar con más de dos secciones (Guillén et al., 2015, pp.13-15).

Guillén et al. (2015, pp.16-18) detallan los tipos de observadores de estado funcionan como un sensor físico con el que se puede estimar las señales de salida y de control para modelos lineales en lo que se utiliza observadores que sirven para un rango pequeño en el que está funcionando el proceso pero para los no lineales los observadores sirven para detectar las no linealidades del proceso que son la mayoría de modelamientos aumentando el rango de conocimiento del funcionamiento, en el proceso se usó un observador de tipo Kalman para modelos matemáticos no lineales para poder verificar el lugar de la fuga y el flujo que circula por el mismo, facilitándose el desarrollo debido a que cuenta con datos reales.

Para realizar el diseño en tuberías es necesario tomar en cuenta las pérdidas por fricción por lo que Diaz-Castañeda & Alvarez-Zapata (2014, p.80) propusieron una simulación para modelar pérdidas por fricción en plantas de proceso para sustituir los métodos convencionales al utilizar las ecuaciones de Darcy-Weisbach para calcular pérdidas en tuberías rectas, en las que en lugar de programar se lo pueda hacer describiendo mediante las ecuaciones de trabajo que describen el sistema en el que se pueda seleccionar el punto con el que se desea trabajar y hacer un modelamiento en estado estacionario o dinámico en el Software EMSO®. Además de que como sugerencia para trabajar con la misma modalidad se puede usar Excel®, Matlab®, entre otros.

Diaz-Castañeda & Alvarez-Zapata (2014, p.84) detallan el funcionamiento de un modelo padre en el que se encuentran las ecuaciones que describen el sistema y el flujo que circula por el mismo además de las características de los accesorios y la interacción con el fluido como los balances de masa y energía, las caídas de presión en los puntos a evaluarse y el régimen en el que circula el fluido. Uno de los métodos utilizados es de $2K$ donde K es el coeficiente de pérdidas por accesorios que es una constante que se le da a cada accesorio por la forma que posee y se usa como reemplazo a las ecuaciones en las que se toma en cuenta la longitud de cada accesorio en relacionándolo con la de una tubería del mismo material y diámetro, para la simulación no es necesario que las ecuaciones se encuentren en un orden específico.

Botero Herrera & Castañeda Heredia (2006, pp.89-98) Investigaron sobre el tiempo en el que se le debería desarrollar un mantenimiento a una bomba centrífuga el método inicial es detectar los dos puntos donde se pueda tomar las señales que son la bomba y el motor que en un primer punto se toma las ondas de sonido, vibración y la potencia que consume el tiempo de fallo pero es necesario contar con métodos técnicos de pronóstico que indican el punto de optimización, además se evaluó mediante simulación con un flujo que pasa por la bomba en la que se le agrega un válvula en condiciones que no son normales para producir una cavitación en la bomba y poder

detectar las variables que pueden afectar las condiciones normales de operación, en lo que para la simulación se introdujo 26 instantes de tiempo de los cuales el tiempo de vida al existir una cavitación llega al 18.

2.1.4. Control de nivel en tanques

Para el control de nivel Rodríguez Umaña (2013, p.7-8) toma como partes del sistema la válvula de entrada, el depósito del líquido que está controlado por una electroválvula, motor eléctrico que gira para la apertura de la electroválvula, sensor de nivel que entrega una señal eléctrica de voltaje, sensor de caudal que mide el caudal de salida, comparadores en el que se encuentra el valor de referencia en el que tanto el sensor de caudal como de nivel envían señales eléctricas para que el nivel no baje a medida que el flujo de salida sea constante, de acuerdo a las funciones de transferencia no se trabaja de una manera global si no que se trabaja con bloques funcionales para cada parte del sistema para luego hacer un sistema global de dos entradas en las que se toma como única entrada la altura de nivel de tanque deseado y como salida la altura del tanque en función del flujo de salida.

Caipa Roldán et al. (2010, pp.56-63) implementaron para controlar el nivel en tanque que está conectado a otro mediante una servo-válvula en el que un potenciómetro multi vuelta sirve como sensor en el que para que tome el valor de referencia, se lo hace dando medias vueltas con un alcance de cuatro cuando se encuentra en los puntos extremos se hace la medición de voltaje que controla el giro del motor de reducción mecánica de baja velocidad en el que cuando está en 0 de Voltaje está completamente cerrada y cuando está en 10 completamente abierta en el que se realiza un control de modo algebraico y uno PID, cuando se realiza un algebraico en sus resultados al evaluarlo en función del tiempo es menor en mostrar respuesta que en un PID, pero sin embargo el algebraico presenta el control a un valor diferente al de referencia en el que para su control para que este en la referencia requerida se necesita mayor tiempo que en un PID por lo que se consigna como menos fiable el método algebraico.

2.1.5. Termosellado

Terán et al. (2016, p.153) detallan al proceso de termosellado a partir de que se empaca el producto en una bolsa de polietileno para un sellado con dos barras calientes en que para llegar a ellas los paquetes son movilizadas por bandas y el paquete ingresa al área de rodillos que con presión ayudan al sellado para luego ser enfriadas y a través del movimiento de las bandas el paquete es expulsado con el fin de establecer la relación de la temperatura, presión y velocidad con el rompimiento del empaque obtenido mediante pruebas de tensión en el que la temperatura es la variable que más afecta al mismo.

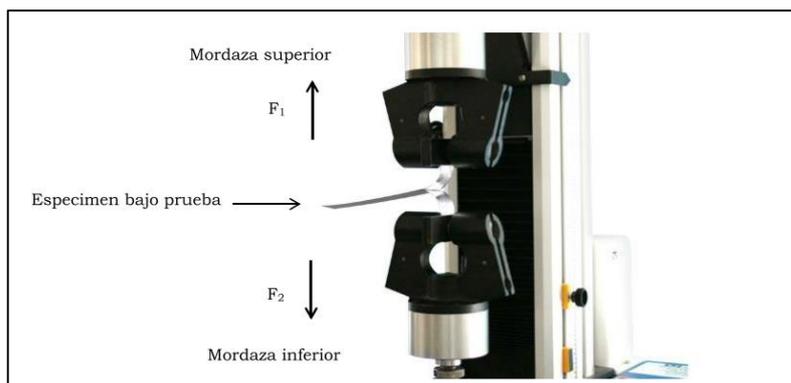


Figura 2-2: Prueba de tensión

Fuente: (Terán et al., 2016, p.157).

La manera en la que se encuentra los parámetros y las variables es mediante la experimentación y observación del proceso en el que se observó que el tiempo y la temperatura definen las condiciones del sistema en el que funcionan inversamente proporcional a la calidad de sellado ya que se tiene que tomar en cuenta las propiedades del polímero con el que se está trabajando para llegar al criterio de aceptación de que el empaque final no debe contar con canales, quemaduras y deslaminación (Terán et al., 2016, pp.154-156).

De acuerdo a la recopilación bibliográfica sobre las condiciones y metodologías que se ha tenido relación con cada uno de los subprocesos de una línea de envasado como alternativas para modificaciones en el diseño y el control de proceso tanto físicos como para simulación de los procesos aplicables en pequeñas industrias para futuras automatizaciones en procesos que requieran de tratamiento térmico, movimiento de fluidos entre dos puntos, almacenamiento y distribución de un tanque y envasado en fundas de polímeros de baja densidad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Yogurt

Según la INEN 2395 (2011, p.1) define al yogurt como un derivado obtenido a partir de la leche a la cual para su coagulación le ha sido agregada bacterias lácticas como *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Sreptococcus salivaris* subsp. *thermophilus* las que mediante su acción le dan las características finales.

2.2.1.1. Especificaciones físico-químicas y microbiológicas

Tabla 1-2: Especificaciones físico- químicas y microbiológicas del yogurt

REQUISITOS	ENTERA		SEMIDESCREMADA		DESCREMADA		MÉTODO DE ENSAYO
	Min	Max	Min.	Max.	Min.	Max.	
Contenido de grasa %	2,5	-	1,0	< 2,5	-	< 1,0	NTE INEN 12
Proteína en % m/m	2,7	-	2,7	-	2,7	-	NTE INEN 16
Presencia de Adulterantes, Grasa vegetal Suero de leche	Negativo		Negativo		Negativo		NTE INEN 1500 NTE INEN 2401
Suma de microorganismos	10 ⁷ UFC/g						*
Bacterias probióticas	10 ⁶ UFC/g						*

Fuente: (INEN 2395, 2011, pp.3-4).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

2.2.2. Proceso de elaboración de yogurt

Consiste en fermentar un volumen de leche al agregar un cultivo fermentador con cargas bacterianas de probióticos ácido-lácticos como *Bifidobacterias*, *Streptococcus* y principalmente *Lactobacillus* (Huertas Parra, 2012, p.162). La elaboración de yogurt cuenta con el siguiente proceso y condiciones:

2.2.2.1. Recepción

La recepción de la materia prima debe ser obtenida de manera higiénica y de un animal sano para contar con una leche libre de antibióticos y en composiciones óptimas (Weill, 2017, p.59). El rango de los requisitos físico químicos descritos en la norma INEN 009:2008 para Leche cruda.

Tabla 2-2: Requisitos físico- químicos para leche cruda

REQUISITOS	UNIDAD	MIN	MAX	MÉTODO DE ENSAYO
Densidad relativa A 15°C A 20° C	g/ml	1,029 1,028	1,033 1,032	NTE INEN 11
Materia grasa	%(m/m)	3,2	-	NTE INEN 12
Acidez titulable como ácido láctico	%(m/m)	0,13	0,16	NTE INEN 13
Solidos totales	%(fracción de masa)	11,2	-	NTE INEN 14
Solidos no grasos	%(m/m)	8,2	-	*
Proteínas	%(m/m)	2,9	-	NTE INEN 16

Fuente: (INEN 009, 2008, p.3).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

2.2.2.2. *Homogenización*

Es el tratamiento térmico por el cual se trata la leche a temperaturas de entre 55-60 °C para que las proteínas se dispersen en todo el volumen (Urdaneta et al. 2004). Para que los glóbulos grasos que contiene sean más pequeños es pasada por un tamiz a presiones de 2,6 -6,8 KPa (Hernández et al., 2003, p.69).

2.2.2.3. *Pasteurización*

Es un tratamiento Se puede trabajar con tres rangos de temperatura y tiempos para la pasteurización de 80 a 85°C durante treinta minutos si se sube a 90 °C debe estar cinco minutos para leche procesada y de 72-75 °C si se cuenta con equipos especializados (Hernández et al., 2003, p.69).

2.2.2.4. *Enfriamiento*

Es el descenso a la temperatura de condición para que los probióticos ácido lácticos puedan propagarse y evitar que sean contaminadas por otros microorganismos por lo que el rango es de 40-45 °C. (Hernández et al., 2003, p.70).

2.2.2.5. *Inoculación*

Para la inoculación se usa el mismo rango de temperatura de enfriamiento porque es la temperatura apta para la propagación del cultivo fermentado el cual debe contar con agitación para ayudar a la dispersión en todo el volumen y se debe agregar de un 1-5% de volumen en relación al de la leche (Hernández et al., 2003, p.70).

2.2.2.6. *Incubación*

La incubación es el proceso en el que la leche se fermenta y cambia de una acidez casi neutra de 6,4-6,7 a una de 4,1-4,3 el tiempo depende del rango de temperatura utilizado en la inoculación que es entre 3-6 horas de acuerdo al alcance de la acidez permitida (Weill, 2017, p.66).

2.2.2.7. *Enfriamiento*

Para detener el proceso es necesario que la condición de temperaturas sea en la que las bacterias pierdan el poder enzimático y no sea apto para la reproducción que es inferior a los 10 °C, la

temperatura más recomendada es de 5 °C que también ayuda para darle mejor textura al yogurt (Hernández et al., 2003, p.70).

2.2.2.8. Batido

Para que la mezcla sea homogéneo es necesario utilizar un evaporador que cuente con paletas para tener una constante agitación leve para no disminuir la viscosidad (Weill, 2017, p.66).

2.2.2.9. Envasado y almacenado

El envasado se necesita que sea en un recipiente que se pueda hacer un sellado completo para que ayude a tener mayor tiempo de conservación y al almacenarlo estar a una temperatura de 4 °C de refrigeración (Cárdenas Casanova et al., 2013, p.37).

2.2.3. Válvulas de control para industria de lácteos

Es el accesorio o elemento final en un lazo de control que funciona como un regulador de flujo de acuerdo a las señales que recibe el actuador de un valor de referencia por lo que es el que regula el cambio de apertura o cierre en la válvula. La válvula debe ser resistente a la corrosión, contar con un conexión libre para el actuador y no tener fugas (Emerson, 2019, p.15).

2.2.3.1. Válvulas de globo

Es aquella que para el control de flujo tiene un tapón el cual es empujado con el actuador y corta el paso o lo regula con pocas vueltas en el disco de cierre (Gutiérrez Hinestroza y Iturralde Kure 2017). Además cuenta con una variación en los cuerpos de las válvulas, de puerto único las que son modificables para control de flujo y atenuación de sonido y cavitación, guiada por poste y puerto que son utilizadas para procesos de cierre estricto, de estilo jaula para características de flujo, disminuir ruido y eliminar cavitación de servicios exigentes, de tres vías para combinación o separación de flujos (Emerson, 2019, pp.51-54).

2.2.3.2. Válvulas sanitarias

Debido a que su uso es estricto para fluidos donde puede estar expuesto a desarrollos bacterianos por lo que se pueden usar en operaciones higiénicas de los productos como esterilización y

pasteurización por lo que las partes metálicas son hechas de acero inoxidable, además cuenta con drenaje que hace factible el vapor y limpieza en sitio (Emerson, 2019, p.64).

2.2.4. Actuadores

Son elementos muy importantes en los lazos de control debido a que son los que tienen la capacidad de transformar la energía hidráulica, neumática y eléctrica en una señal para accionar sobre un elemento final como una válvula y poder llevar una variable al punto deseado que es el de referencia (Gutiérrez Hinestroza & Iturralde Kure, 2017, p.43).

2.2.5. Bombas centrífugas para industrias lácteas

Para a industria láctea se debe contar con equipos y accesorios sanitarios de acero inoxidable de uniones sólidas y motores con resistencia a la humedad por lo que de acuerdo a las características de las bombas centrífugas de la serie de 200 es la más indicada (SPX/Termo equipos, 2014, p.3).

Tabla 3-2: Características de bomba centrífuga de serie 200

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Medios	Para productos lácteos
Tecnología	Centrífuga
sector	Industrial
Aplicaciones	De transferencia a alta presión
Presión	30-11 bar
Temperatura	204 °C
Presión diferencial	100 metros

Fuente: (SPX FLOW 2018).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

2.2.6. Mangueras de grado alimenticio

2.2.6.1 Mangueras de PVC de grado alimenticio

Son mangueras sanitarias que sirven para la transferencia de productos de industrias alimentarias, farmacéuticas y cosméticas por su poder de absorción de bombas a presión y vacío para líquidos, gases, polvos y granulados. Cuenta con una cubierta de anillos que permiten que haya mayor flexibilidad y en su interior liso para que sea más fácil la movilidad de los fluidos y para una limpieza total, además de que sus condiciones máximas de trabajo son de temperaturas superiores a los 80 °C por lo que trabaja con vapor que interviene en su esterilización (Boxer India 2017).

2.2.6.2. Mangueras de caucho de grado alimenticio

Son mangueras con revestimiento de tejidos de alta resistencia y flexibilidad para facilitar su movimiento e interiormente con manguera de caucho liso que ayuda a la absorción y descarga de fluidos viscosos a temperaturas de hasta 130 °C que lo hace idóneo para la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica debido a la superficie adecuada para el paso de materia prima y productos, además es considerada como sanitaria debido a que no altera a los fluidos que circulan por la misma (FlexSan™ 2008).

2.2.7. Termosellado por resistencias eléctricas

Interviene la transformación de corriente eléctrica en calor mediante impulsos en las resistencias eléctricas (niquelinas) que calientan mordazas y al ejercer una presión por cierto tiempo sobre el polímero producen el sellado, se toma como punto límite la temperatura de fusión del material con el que se va a trabajar (Quevedo & Navarrete, 2014, p.7).

2.2.8. Sensores

2.2.8.1. Sensores de temperatura

Son instrumentos que relacionan a la temperatura con los cambios que provoca en los mismos al estar en contacto como: la variación de resistencia, de voltaje, expansión del material del sensor o del fluido que contiene, resistividad térmica (Smith & Corripio, 2014, pp.714-715).

2.2.8.2. Sensor de nivel de líquidos

Son herramientas utilizadas para conocer la altura a la que se encuentra un líquido dentro de un recipiente mediante diferentes mecanismos que pueden servir para dar una notificación de un nivel establecido o para visualizar el cambio que toma en función del tiempo, por ejemplo: sensor de diferencial de presión, de burbujeo, de flotador, entre otros (Smith & Corripio, 2014, pp. 712-714).

2.2.9. Control y simulación

2.2.9.1. Control PID

Un controlador PID es un medio que consta de tres parámetros: proporcional, integral y derivativo que permiten hacer una comparación entre el valor obtenido y el que se desea tener de una variable

medida, el cual con la sintonización de sus parámetros permite controlar un proceso expresado en un lazo de control, además por su factibilidad de uso es el más utilizado tanto académica como industrialmente y su requerimiento ha llevado a desarrollar nuevas técnicas de diseño para mayor eficiencia y exactitud empezando por el modelamiento y conocimiento de los parámetros del proceso que se desea controlar como la de software que interpreten los mismos (Vilanov & Alfaro, 2011, pp. 141-142).

2.2.9.2. Diagramas P&ID

Los P&IDs (Piping and Instrumentation Diagram) Son representaciones gráficas mediante diagramas en el que se encuentran símbolos de instrumentación y tuberías que expresan direcciones de flujo para mejor comprensión de un proceso (Lucichart 2018).

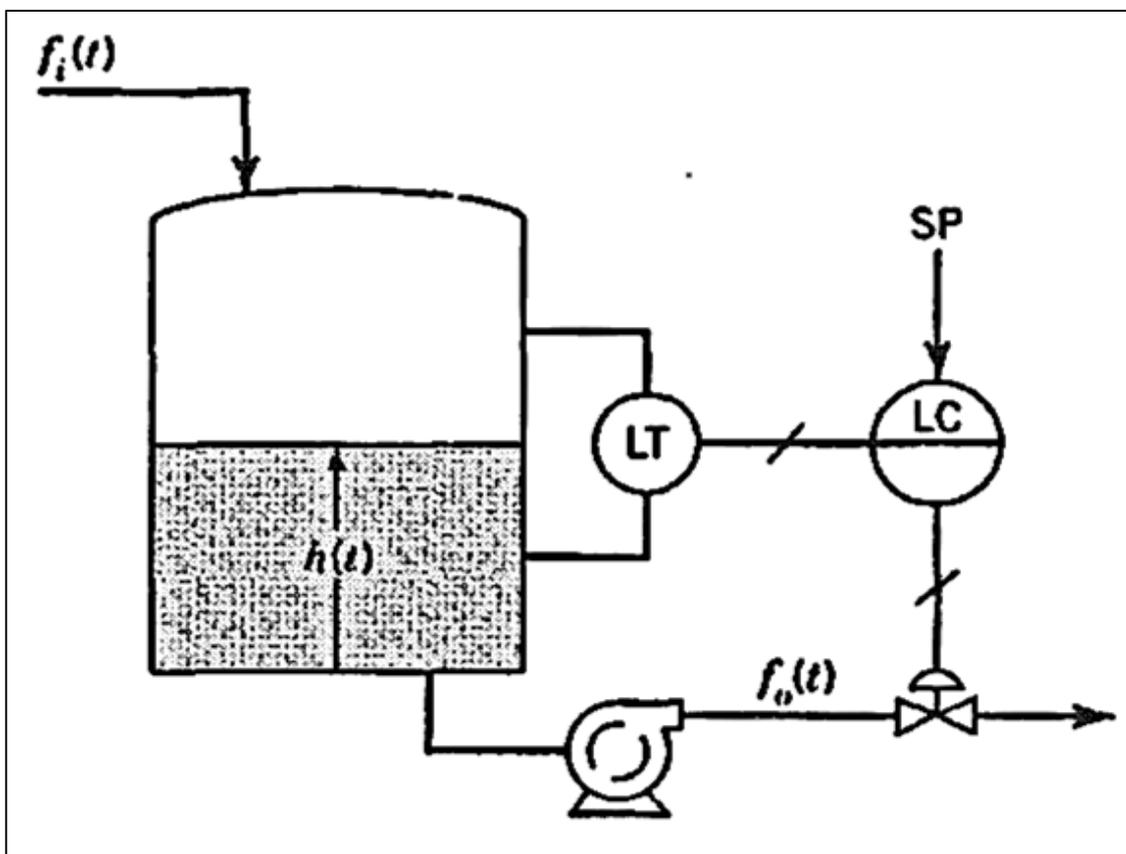


Figura 3-2: Diagrama P&ID- Control de nivel de un tanque

Fuente: (Smith & Corripio, 2014, p.207).

2.2.9.3. Simulación estado estacionario

Para realizar una simulación de un lazo de control de un proceso es necesario obtener un modelo en estado estacionario partiendo de balances en función del tiempo representadas por ecuaciones

diferenciales y mediante transformadas de Laplace y linealizaciones obtener una función de transferencia que represente una respuesta dinámica del sistema (Smith & Corripio, 2014. p.13).

2.2.9.4. Características del software para simulación de lazos de control

Tabla 4-2: Características de SIMULINK

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Editor grafica	Para crear y gestionar diagramas de bloques jerárquicos
Biblioteca de bloques	Predefinidos para modelar sistemas continuos y discretos
Motor de simulación	Con solver de ecuaciones diferenciales de paso fijo y paso variable
Scopes y Data display	Para ver los resultados de la simulación
Herramientas de gestión de proyectos y datos	Para administrar los archivos y los datos del modelo
Herramientas de análisis de modelos	Para perfeccionar la arquitectura del modelo y aumentar la velocidad de la simulación
Bloque MATLAB	Para importar algoritmos de MATLAB en modelos
Legacy Code Tool	Para importar código C Y C++ a los modelos

Fuente: (MathWorks 2020).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021

2.3. Marco legal

2.3.1. Marco Legal del Software Libre en Ecuador

Tabla 5-2: Recursos del marco jurídico de soberanía tecnológica

RECURSO	MARCO JURÍDICO
Decreto 1014	<p>Emisión: Abril 2018</p> <p>Ejes estratégicos</p> <p>1. “Cumplimiento de recomendaciones Internacionales”</p> <p>Se permite dar a conocer los márgenes de trabajo internacionales con el uso de software libre que contribuya y este dentro de las leyes que se rigen en el país.</p> <p>2. Objetivos fundamentales de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • “Alcanzar la soberanía y autonomía tecnológica” en el que se permite hacer uso para cualquier ámbito tanto de investigación o como para uso laboral. • “Alcanzar un ahorro significativo de recursos público” que tiene como fin de que se tenga un libre acceso y que la información se pueda redistribuir para realizar un intercambio de conocimientos y tecnológico para mejora de la matriz productiva y educativa.
Plan de buen vivir	<p>El Objetivo 10, se refiere a “Impulsar la transformación de la matriz productiva” la misma necesaria para el mejoramiento académico el cual permitirá generar ideas de innovación industrial y la visualización de una excelencia estudiantil.</p> <p>Política 10.2</p> <p>“Promover la intensidad tecnológica en la producción primaria, de bienes intermedios y finales ” que tiene como fin incentivar a los jóvenes a la investigación de alternativas para una reactivación dentro de todos los sectores productivos del país, además que los conocimientos introducidos se expandan internamente a partir de la incorporación de tecnología .</p>
Plan de seguridad integral	<p>El Software Libre debe ser una de las libertades que han sido generadas para estudiantes para tener un acceso a los conocimientos y alternativas con las que cuentan los países mejor desarrollados.</p> <p>“Soberanía Tecnológica y Ciencia Aplicada a la Seguridad” con el fin de dirigir los conocimientos adquiridos tecnológicamente mediante Software libre sean guiados a fortalecer al campo de la seguridad tanto personal como colectiva como fortalecimiento a la matriz productiva.</p>
Plan de gobierno electrónico	<p>Emisión: 2007</p> <p>Adecuación tecnológica principio 7</p> <p>“Garantiza que las administraciones elegirán las tecnologías más adecuadas para satisfacer sus necesidades” basándose en la optimización de gestión dentro y fuera de empresas públicas y privadas permitiendo una relación optima de toda la sociedad por medio del emprendimiento tecnológico.</p>

Fuente: (Silva, 2015).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Localización del proyecto

El presente Trabajo de Integración Curricular será desarrollado en la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. la que está ubicada en las calles Atahualpa (Panamericana) de la parroquia Julio Andrade del Cantón Tulcán en la provincia de Carchi.

Tabla 1-3: Coordenadas de la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A.

LATITUD NORTE	0°39'0"
LONGITUD ESTE	77°43'0"
ALTITUD	2950 m sobre el nivel del mar, con variaciones desde 2327 m. hasta 2929 m.
TEMPERATURA	Promedio 12° C

Fuente: (GAD Julio Andrade, 2019).

Elaborado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.



Figura 1-3: Ubicación de la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A.

Fuente: (Google Maps, 2020).

3.2. Etapas de la metodología

El presente Trabajo de Integración Curricular será desarrollado para la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. y consta de las siguientes etapas:

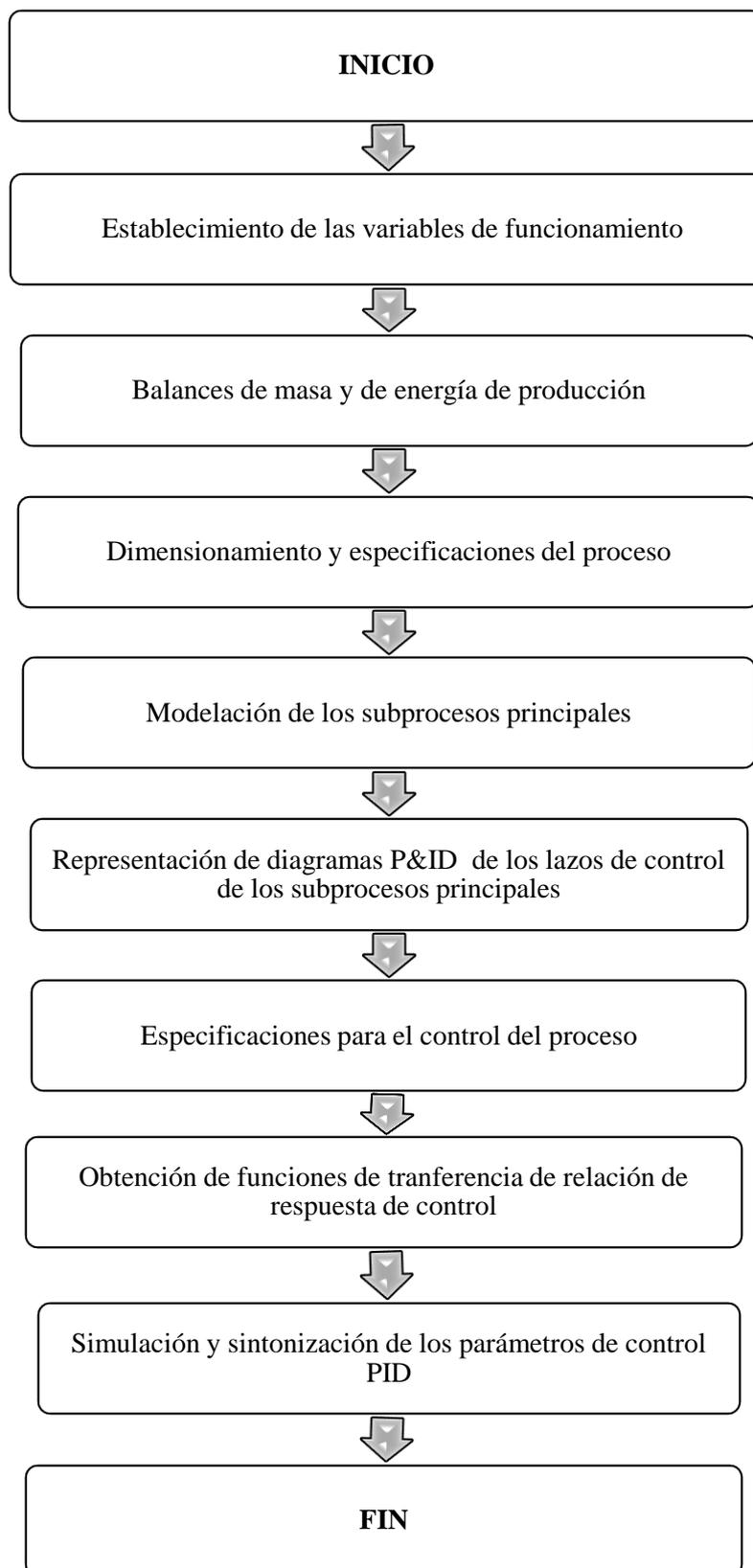


Gráfico 1-3: Metodología del trabajo de integración curricular

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

3.3. Tipo de estudio

El presente trabajo de Integración Curricular se enfoca en una propuesta tecnológica para futuras automatizaciones en la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. por lo que Para su desarrollo y la obtención de los resultados esperados en vista de ser una propuesta tecnológica se hará uso de tres métodos que se detallan a continuación.

3.3.1. Método inductivo

Debido a que el desarrollo es una empresa específica que trabaja con condiciones propias se debe tener un análisis minucioso de todos los factores y especificaciones que se requiere para obtener mayor rendimiento en la producción de yogurt mediante un diseño con automatizaciones de la línea de envasado con la que cuenta la empresa y le permita optimizar el tiempo de producción y entregarle al consumidor final productos de calidad.

3.3.2. Método deductivo

Las desventajas que presenta la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. son el control manual en los subprocesos que conforman la línea de envasado, por lo que se hizo necesario de acuerdo a las propiedades físico químicas del yogurt que se produce realizar un diseño que se ajuste a las mismas con especificaciones de tipo comercial y con sistemas de automatización para un control optimizaciones del proceso y uso de tiempo para beneficio de la empresa.

3.3.3. Método experimental

El diseño, modelación y control de proceso puede ser viable como referencia para otras industrias lácteas que trabajen con viscosidades y densidades similares ya que las especificaciones del presente trabajo toman un rango de trabajo, además de que los sistemas de control y el diseño en si puede ser modificado para obtener resultados propios siguiendo el proceso detallado e implícitamente conocer el tiempo de control en los subprocesos donde se implementó automatizaciones.

3.4. Determinación de variable

3.4.1. *Temperatura*

La temperatura en el proceso de elaboración de yogurt toma un papel fundamental ya que puede afectar en las propiedades físicas químicas del yogurt como las condiciones de diseño del proceso de la línea de envasado en las cuales puede ocasionar desgastes en los equipos.

3.4.2. *Presión*

Debido a que el diseño es una línea de flujo por donde va circular el yogurt, vapor y agua es necesario conocer las presiones de trabajo con las que se determinara las especificaciones y automatizaciones con las que debe contar los equipos para tener condiciones para la optimización del proceso y del tiempo requerido para el mismo.

3.4.3. *Viscosidad y densidad*

Al trabajar con fluidos es necesario conocer los dos parámetros para que de acuerdo a las condiciones de flujo por la línea de envasado requerido por la empresa determinar las especificaciones y optimizaciones que requieren los equipos del proceso para lograr la maximización de uso de materia prima y de tiempo de producción.

3.4.4. *Tiempo de control*

Es necesario conocer los requerimientos de la empresa o el que ofrezca mayor rendimiento en la producción mediante análisis de coordinación entre todos los subproceso para poder aplicar un tiempo de control de temperatura y de nivel.

3.5. Consideraciones preliminares del diseño

Para el diseño se toma consideraciones que permitan especificar los equipos y las condiciones de trabajo para cada equipo y el proceso de la línea de envasado

3.5.1. *Tipo de proceso de elaboración de yogurt*

Para el proceso de elaboración de yogurt es necesario tener tratamientos térmicos de homogenización, pasteurización, enfriamiento, inoculación y reposo por lo que cada uno tienen

temperaturas específicas de trabajo dentro de la empresa y para obtener tener las condiciones necesarias se hace un análisis separado para los procesos con requerimiento de vapor y agua para su ejecución.

3.5.2. Selección de equipos para automatización en los subprocesos

La línea de envasado al contar con los equipos principales se analiza el requerimiento de los accesorios para realizar el control en los que se toma en cuenta las propiedades físicas químicas del yogurt producido en la empresa y los requerimientos solicitados además de la verificación y la recomendación en las especificaciones del diseño en caso de ser necesario.

3.5.3. Base de cálculo para el diseño

Se toma como base de cálculo el volumen real de leche que es utilizada para la producción de yogurt en la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE en un lote diario que es de 480 litros.

3.5.4. Material de construcción para los equipos y accesorios de la línea de envasado

Debido a que son varios los equipos necesarios para el diseño se detalla en las especificaciones los materiales que son todos de grado alimenticio y otros específicos para la industria de lácteos. Al tratarse de una industria alimentaria se debe contar con tanques, silos y partes de los accesorios que están en contacto directo con el alimento de acero inoxidable de manera que no modifique su composición y propiedades físico químicas y una buena capacidad térmica de igual manera en la tubería que circula el vapor y agua para el tratamiento térmico, por lo que es necesario que cuente con las siguientes características:

Tabla 2-3: Características de materiales de accesorios y equipos de industria láctea

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de acero inoxidable	Grado alimentario AISI 304 o 316
Grosor de paredes tanques y silos	De 3-10 mm
Diseños	Con estabilidad y rigidez
Limpieza	Automática
Reciclaje	100 %
Años de durabilidad	De 15-30 años

Fuente:(Intranox 2018).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.



Figura 2-3: Equipos y accesorios de acero inoxidable tipo AISI 304 y 316

Fuente: (TECNILAC 2018).



Figura 3-3: Tubería de acero inoxidable tipo AISI 304 y 316

Fuente: (Octal 2020).

Para la circulación de yogurt dentro de la línea de envasado se ha escogido tuberías de tipo sanitario de PVC las cuales presentan las siguientes características:

Tabla 3-3: Características de tubería sanitaria

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Construcción	Tubo de PVC con un refuerzo helicoidal de PVC
Rango de temperatura	-5°F (-23°C) a +140°F (+60°C)
Longitud estándar	100 ft
Aplicación	Transferencia de líquidos grado alimenticio, como jugos, vino, cerveza y agua potable, leche y productos lácteos

Fuente: (Polihules [sin fecha]).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

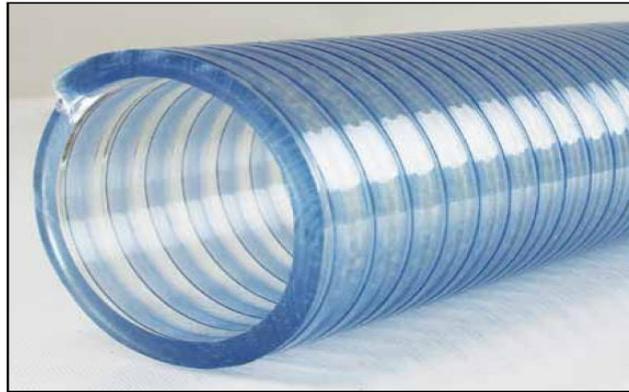


Figura 4-3: Manguera sanitaria alimentaria de PVC

Fuente: (Polihules [sin fecha]).

3.5.5. Condiciones y parámetros de diseño

Las características de la tabla 2-3. Se han tomado de una media entre los parámetros que se rigen en la recepción y análisis de la materia prima (leche) que está dentro de los propuestos por la norma INEN 009 y para el yogurt de resultados de laboratorio presente en el Anexo B y que han sido efectuados específicamente para el yogurt que se produce en la empresa

Tabla 4-3: Características físico químicas del fluido de trabajo

FLUIDO	CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR
Yogurt	Densidad	g/ml	1.034
	Viscosidad	Kg/ms	0.414
	Calor específico	<i>kJ/KgK</i>	3.85
Leche cruda	Densidad	g/ml	1.031
	Sólidos totales	%	11.2
	Calor específico	<i>kJ/KgK</i>	3.85
Leche pasteurizada	Densidad	g/ml	1.031

Fuente: (INEN 009 2008, p.3; Díaz 2007, p.13).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Las condiciones son tomadas de acuerdo al control técnico que se tiene en el proceso de elaboración de yogurt en la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. además de que al trabajar con vapor y agua para el tratamiento térmico es necesario conocer sus propiedades termodinámicas por lo que se las ha tomado e interpolado de la Tabla A-5 de vapor saturado de acuerdo a las presiones del libro de Termodinámica de ÇENGEL & BOLES ya que se conoce los rangos de trabajo de la caldera.

Tabla 5-3: Condiciones operativas del tratamiento térmico para la producción de yogurt

TRATAMIENTO	CONDICIÓN	UNIDAD	VALOR
Homogenización	Temperatura de alimentación	°C	15
	Temperatura de concentrado	°C	60
Pasteurización	Temperatura de alimentación	°C	60
	Temperatura de concentrado	°C	83
	Temperatura de evaporado	°C	95
	Entalpia del evaporado	KJ/Kg	2667,60
	Presión de vapor en cámara de calefacción	Psi	40
	Temperatura a la presión de vapor en la cámara de calefacción	°C	130,67
	Calor latente	KJ/Kg	2172,85
	Calor específico del agua	KJ/Kg K	4.18

Fuente: (Hernández, Alfaro y Arrieta 2003; ÇENGEL y BOLES 2009).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Tabla 6-3: Datos experimentales para producción de yogurt en industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A.

COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD
Leche cruda	L	480
Fermento	kg	1.15
Sorbato de potasio	kg	0.14
Azúcar	kg	11.52
Leche Pasteurizada	l	475
Yogurt obtenido	l	473

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Las características de los equipos han sido tomadas manualmente y también sujetas a cambios dependiendo de la necesidad con el fin de conocer las condiciones de capacidad y físicas con las que cuenta la empresa y a partir de las mismas determinar las especificaciones de los accesorios que pueden ser utilizados para futuras automatizaciones en el ámbito de control automático de los subprocesos para maximizar la producción.

Tabla 7-3: Características de los equipos de la línea de envasado de la planta

EQUIPO	CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDAD
Marmita	Altura de la tanque	0.905	m
	Altura de la chaqueta	0.945	m
	Diámetro externo de la chaqueta	1	m
	Diámetro interno de la chaqueta	0.84	m
	Longitud del brazo de sistema de agitación	0.85	m
	Ancho de las paletas del rodete de agitación	0.08	m
	Numero de paletas del rodete de agitación	2	Adimensional
	Revoluciones por minuto	40	rpm
Bomba	Flujo deseado de marmita a tanque de distribución	0.01	m ³ /s
	Diámetro de tubería de succión y de descarga	0.0508	m
	Radio de tubería de succión y de descarga	0.0254	m
	Punto de descarga	2.85	m
	Longitud de descarga	3.10	m
	Longitud de succión	2.10	m
	Eficiencia de la bomba	75	%
Tanque de distribución	Altura de tanque de distribución	0.50	m
	Ancho de tanque de distribución	0.50	m
	Longitud de tanque de distribución	1	m
Tolva	Diámetro de la tolva	0.40	m
	Altura de la tova	0.48	m
Termosellado	Resistencia en las niquelinas	100	Ohmios
	Temperatura de las mordazas horizontales	80	°C
	Temperatura en las mordazas verticales	90	°C

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

3.6. Cálculos de ingeniería

3.6.1. Balance de masa y energía en marmita

Con el fin de conocer los flujos durante todo el procesos y los requerimientos energéticos para la producción de yogurt que en el caso de la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. es la cantidad de vapor que debe circular por la chaqueta para llevar a la materia prima a la temperatura determinada para su tratamiento térmico se hace necesario realizar los balances de materia y energía.

3.6.1.1. Balance de masa en tratamiento térmico de leche para elaboración de yogurt

Alimentación

Masa de la leche

(Ec 1-3)

$$\rho = \frac{m_l}{V}$$

$$m_l = \rho_l * V_l$$

$$m_l = 1.031 * 480$$

$$m_{leche} = 494.88$$

Donde:

m_l : Masa de leche (kg)

ρ_l : Densidad de la leche (kg/l)

V_l : Volumen de leche (l)

Corriente de alimentación

$$F = \frac{m_l}{t}$$

(Ec 2-3)

$$F = \frac{494.88}{5400}$$

$$F = 0.092$$

Donde:

t : Tiempo (s)

F : Corriente de alimentación (kg/s)

Condensado

Masa del condensado

$$m_{lp} = \rho_y * V_y$$

(Ec 3-3)

$$m_{lp} = 1031 * 0.475$$

$$m_{lp} = 489.73$$

Donde:

m_{lp} : Masa de leche pasteurizada (kg)

ρ_y : Densidad de leche pasteurizada (kg/m³)

V_y : Volumen de leche pasteurizada (m³)

Corriente del condensado

$$S = \frac{m_{lp}}{t} \quad (\text{Ec 4-3})$$
$$S = \frac{489.73}{5400}$$
$$S = 0.091$$

Donde:

S: Corriente de leche pasteurizada (kg/s)

Corriente del evaporado

$$F = E + S \quad (\text{Ec 5-3})$$
$$E = F - S$$
$$E = (0.092 - 0.091)$$
$$E = 0.001$$

Donde:

E: Corriente del evaporado (kg/s)

3.6.1.2. Balance de energía en el tratamiento térmico de la leche para la producción de yogurt

Flujo de vapor

$$Fh_F + WH_W = Eh_E + Sh_S + Ch_W \quad (\text{Ec 5-3})$$

$$W = C \quad (\text{Ec 6-3})$$

$$Fh_F + W(H_W - h_W) = Eh_E + Sh_S$$

$$h_F = Cp(T_F - T_S) \quad (\text{Ec 7-3})$$

$$h_S = Cp(T_w - T_S) \quad (\text{Ec 8-3})$$

$$(H_W - h_W) = \lambda_W \quad (\text{Ec 9-3})$$

$$W = \frac{EH_E + S(Cp_l(T_w - T_S)) - F(Cp_l(T_F - T_S))}{\lambda_W}$$

Donde:

T_F: Temperatura de alimentación (K)

W: Flujo de vapor (kg/s)

Cp_l: Calor específico de la leche (kJ/kg.K)

T_w : Temperatura a la presión de vapor en la cámara de calefacción (K)

C : Flujo de vapor condensado (kg/s)

T_s : Temperatura de concentrado (K)

H_E : Entalpía a la temperatura del evaporado (kJ/kg)

λ_w : Calor latente a partir de la presión de la cámara de calefacción (kJ/kg)

Flujo de vapor en Homogenización

$$W_{ho} = \frac{0 + [0.091(3.85(130.67 - 60))] - [0.092(3.85(15 - 60))]}{2172.85}$$
$$W_{ho} = 0.019$$

Donde:

W_{ho} : Flujo de vapor en homogenización (kg/s)

Flujo de vapor para el proceso de pasteurización

$$W_p = \frac{0.001(2667.60) + [0.091(3.85(130.67 - 83))] - [0.092(3.85(60 - 83))]}{2172.85}$$
$$W_p = 0.013$$

Donde:

W_p : Flujo de vapor en pasteurización (kg/s)

Flujo de Calor

$$Q = W * \lambda_w \quad (\text{Ec 10-3})$$

Donde:

Q : Flujo de calor (kJ/h)

Flujo de Calor en Homogenización

$$Q_{ho} = 0.019 * 2172.85$$

$$Q_{ho} = 41.28 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{ho} = 148622.94$$

Donde:

Q_{ho} : Flujo de calor en homogenización (kJ/h)

Flujo de Calor Pasteurización

$$Q_p = 0.013 * 2172.85$$

$$Q_p = 28.25$$

$$Q_p = 101689.98$$

Donde:

Q_p : Flujo de calor en pasteurización (J/s)

Gradiente de temperatura

$$\Delta T = T_e - T_s \quad (\text{Ec 11-3})$$

Donde:

T_e : Temperatura de entrada (K)

T_s : Temperatura de salida (K)

ΔT : Gradiente de temperatura (K)

Gradiente de temperatura en Homogenización

$$\Delta T_{ho} = 403.67 - 333$$

$$\Delta T_{ho} = 70,67$$

Donde:

ΔT_{ho} : Gradiente de temperatura en homogenización (K)

Gradiente de temperatura en Pasteurización

$$\Delta T_p = 403.67 - 356$$

$$\Delta T_p = 47,67$$

Donde:

ΔT_p : Gradiente de temperatura en Pasteurización (K)

Área total de transferencia de calor

$$A = (\pi * r^2) + (2 * \pi * r * l) \quad (\text{Ec 12-3})$$

$$A = (\pi * 0.42^2) + (2 * \pi * 0.42 * 0.905)$$

$$A = 2.94 \text{ m}^2$$

Donde:

A: Área de transferencia de calor (m²)

r: Radio del tanque (m)

l: Altura del tanque(m)

Coefficiente global de transferencia de calor

$$Q = AU\Delta T \quad (\text{Ec 13-3})$$

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

Donde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor (kJh.m².K)

Coefficiente global de transferencia de calor en Homogenización

$$U_{ho} = \frac{148622.94}{2.94 * 70.67}$$

$$U_{ho} = 715.33$$

Donde:

U_{ho}: Coeficiente global de transferencia de calor en Homogenización (kJh.m².K)

Coefficiente global de transferencia de calor en Pasteurización

$$U_p = \frac{101689.38}{2.94 * 47.67}$$

$$U_p = 725.58$$

Donde:

U_{ho}: Coeficiente global de transferencia de calor en Pasteurización (kJh.m².K)

Flujo de agua fría para enfriamiento post-pasteurización

$$\dot{Q}_{ced} = \dot{Q}_{abs} \quad (\text{Ec 14-3})$$

$$\dot{m}_{lp} C_{p_{lp}} \Delta T_{lp} = \dot{m}_a C_{p_a} \Delta T_a \quad (\text{Ec 15-3})$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_l C_{p_l} \Delta T_l}{C_{p_a} \Delta T_a}$$

$$\dot{m}_a = \frac{(0.091)(385)(38)}{(4.18)(30)}$$

$$\dot{m}_a = 10.62$$

Donde:

Q_{ced} : Flujo de calor cedido por la leche pasteurizada (kJ/s)
 Q_{abs} : Flujo de calor absorbido por el agua de enfriamiento (kJ/s)
 m_{lp} : Flujo másico de leche pasteurizada (kg/s)
 m_a : Flujo másico de agua (kg/s)
 C_{p_a} : Calor específico del agua (kJ/kg K)
 ΔT_l : Diferencia de temperatura de la leche pasteurizada (K)
 ΔT_a : Diferencia de temperatura del agua (K)

3.6.1.3. Balance de masa para producción de yogurt

Alimentación

Masa de alimentación

$$\begin{aligned}
 mF &= m_l + m_f + m_s + m_a & (\text{Ec 16-3}) \\
 mF &= 494.88 + 1.15 + 0.14 + 11.52 \\
 mF &= 507.69
 \end{aligned}$$

Donde:

mF : Masa de alimentación (kg)
 m_s : Masa de sorbato de potasio (kg)
 m_a : Masa de azúcar (kg)
 m_f : Masa de fermento (kg)

Corriente de alimentación

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{m_l}{t} & (\text{Ec 17-3}) \\
 F &= \frac{507.69}{21600} \\
 F &= 0.024
 \end{aligned}$$

Donde:

F : Corriente de alimentación (kg/s)

Fracciones molares en la alimentación

$$X_{Fi} = \frac{m_i}{m_f} \quad (\text{Ec 18-3})$$

$$X_{Fl} = \frac{494.88}{507.69} = 0.97$$

Debido a que el porcentaje de agua en la leche es 88,8% y de sólidos totales de 11,2%

$$X_{Fl_{agua}} = 0.97 * 0.888 = 0.86$$

$$X_{Fl_{st}} = 0.97 * 0.112 = 0.11$$

Debido a que los demás componentes son sólidos o liofilizados no contiene cifras significativas el porcentaje de agua

$$X_{Fs} = \frac{1.15}{507.69} = 0.0023$$

$$X_{Fs} = \frac{0.14}{507.69} = 0.00028$$

$$X_{Fa} = \frac{11.52}{507.69} = 0.023$$

Donde:

X_{Fl} : Fracción molar de leche en la alimentación

X_{Ff} : Fracción molar de fermento

X_{Fs} : Fracción molar de sorbato de potasio en la alimentación

X_{Fa} : Fracción molar de azúcar en la alimentación

$X_{Fl_{agua}}$: Fracción de agua en la leche en la alimentación

$X_{Fl_{st}}$: Fracción de sólidos totales en la leche en la alimentación

Condensado

Masa del condensado

$$m_y = \rho_y * V_y \quad (\text{Ec 19-3})$$

$$m_y = 1.034 * 473$$

$$m_y = 489.08$$

Donde:

m_{lp} : Masa de yogurt (kg)

ρ_{lp} : Densidad de yogurt (kg/l)

V_{lp} : Volumen de yogurt (l)

Corriente del condensado

$$S = \frac{m_y}{t} \quad (\text{Ec 20-3})$$
$$S = \frac{489.08}{21600}$$
$$S = 0.023$$

Donde:

S : Corriente de yogurt (kg/s)

Corriente del evaporado

$$F = E + S$$
$$E = F - S$$
$$E = (0.024 - 0.023)$$
$$E = 0.001$$

Donde:

E : Corriente del evaporado (kg/s)

Balance parcial de los sólidos totales

$$FX_F = EX_E + SX_S \quad (\text{Ec 21-3})$$
$$X_S = \frac{FX_F - EX_E}{S}$$
$$X_S = \frac{0.024(0.136) - 0}{0.023}$$
$$X_S = 0.142$$

Balance parcial de agua

$$FX_F = EX_E + SX_S$$
$$X_S = \frac{FX_F - EX_E}{S}$$
$$X_S = \frac{0.024(0.86) - 0.001}{0.023}$$
$$X_S = 0.854$$

Balance total

$$\begin{aligned}FX_F &= EX_E + SX_S \\X_S &= \frac{FX_F - EX_E}{S} \\X_S &= \frac{0.024(0.996) - 0.001}{0.023} \\X_S &= 0,996\end{aligned}$$

3.6.2. Dimensionamiento y especificaciones de la línea de envasado de yogurt

3.6.2.1. Dimensionamiento y especificaciones de marmita con chaqueta

Volumen total de la marmita

$$\begin{aligned}v_F &= \frac{m_F}{\rho_F} && \text{(Ec 22-3)} \\v_F &= \frac{507.99}{1034} \\v_F &= 0.491\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_T &= v_F(1 + g) && \text{(Ec 23-3)} \\V_T &= 0.491 \text{ m}^3(1 + 0.25) \\V_T &= 0.614\end{aligned}$$

Donde:

V_T : Volumen total de la marmita (m^3)

v_F : Volumen de alimentación de leche pasteurizada e ingredientes (m^3)

ρ_F : Densidad de alimentación (kg/m^3)

g : Factor de seguridad (0.25)

El factor de diseño al multiplicarse por el volumen que se alimenta al tanque indica al volumen al que debería ajustarse la marmita para estar en un valor adecuado para las condiciones con las que se está trabajando.

Volumen de la chaqueta

De acuerdo a las medidas tomadas se obtiene:

Volumen del tanque

$$v_t = \pi * \frac{D_i^2}{2} * h_t \quad (\text{Ec 24-3})$$

$$v_t = \pi * 0.42^2 * 0.905$$

$$V_t = 0.5$$

Donde:

v_t : Volumen del tanque (m³)

D_i : Diámetro interno de la chaqueta (m)

h_t : Altura del tanque (m)

Volumen del tanque más la chaqueta

$$v_{t+ch} = \pi * \frac{D_e^2}{2} * h_{ch} \quad (\text{Ec 25-3})$$

$$v_{t+ch} = \pi * 0.47^2 * 0.945$$

$$V_{t+ch} = 0.63$$

Donde:

$v_{(t+ch)}$: Volumen del tanque más la chaqueta (m³)

D_e : Diámetro externo de la chaqueta (m)

h_{ch} : Altura de la chaqueta (m)

Volumen de la chaqueta

$$v_{ch} = v_{t+ch} - v_t \quad (\text{Ec 26-3})$$

$$v_{ch} = 0.63 - 0.5$$

$$v_{ch} = 0.130$$

$$V_{ch} = v_{ch}(1 + 0.25) \quad (\text{Ec 27-3})$$

$$V_{ch} = 0.130(1 + 0.25)$$

$$V_{ch} = 0.1625$$

Donde:

V_{ch} : Volumen de la chaqueta (m³)

Al volumen total existente de la chaqueta al aplicarle el 25 % como factor de seguridad indica el volumen necesario y al que debería ajustarse para que el flujo de vapor y agua para calentamiento y enfriamiento respectivamente que circulan por el mismo sea el suficiente para llevar a la temperatura deseada a la leche en los tratamientos térmicos de la leche y mantener al yogurt a la

temperaturas adecuada en el proceso de inoculación, incubación y reposo para que el cultivo utilizado para la fermentación este en las condiciones adecuadas y que la acidez este dentro de los rangos permitidos por la normas técnicas.

Espesor de paredes de marmita

Para conocer el espesor adecuado de las paredes de una marmita es necesario tomar en cuenta la presión hidrostática y la densidad relativa del fluido con el que se va a trabajar pero por lo general se trabaja con los valores presentes en la tabla 6-3. Debido a que las marmitas son utilizadas para la industria alimentaria.

Tabla 8-3: Requisitos para espesor de paredes de una marmita

DIÁMETRO NOMINAL (m)	ESPESOR MÍNIMO (mm)
< 15.24	4.76
15.24 < 36.576	6.35
36.576 < 60.96	7.93
> 60.96	9.52

Fuente: (León [sin fecha]).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021

Por lo que debido a que el diámetro nominal es de 0.94 m corresponde a los valores menores a 15.24 por lo que el espesor que se toma en cuenta y que posee el equipo en la planta es de 4,76 mm

Sistema de agitación

Longitud del agitador

$$l_r: \frac{7}{8} * D_i \quad (\text{Ec 28-3})$$

$$l_r: \frac{7}{8} * 0.84 \text{ m}$$

$$l_r: 0.735$$

Donde:

l_r : Longitud del agitador (m)

D_i : Diámetro interior de la chaqueta (m)

Diámetro del eje del agitador

$$E_a: \frac{1}{10} * l_b \quad (\text{Ec 29-3})$$

$$E_a: \frac{1}{10} * 0.80$$

$$E_a: 0.080 \text{ m}$$

Donde:

E_a : Espesor del eje del agitador (m)

l_b : Longitud del brazo del sistema de agitación (m)

Diámetro del agitador

$$D_{ag}: \frac{9}{10} * D_i \quad (\text{Ec 30-3})$$

$$D_{ag}: \frac{9}{10} * 0.84$$

$$D_{ag}: 0.756$$

Donde:

D_{ag} : Diámetro del agitador (m)

Distancia entre el fondo del tanque y el agitador

$$x = h_t - (l_b + E_a) \quad (\text{Ec 31-3})$$

$$x = 0.905 - (0.80 + 0.080)$$

$$x = 0.025 \text{ m}$$

Cálculo del número de Reynolds

$$N_{re} = \frac{n * D_{ag}^2 * \rho}{\mu} \quad (\text{Ec 32-3})$$

$$N_{re} = \frac{0.667 * 0.756^2 * 1034}{0.414}$$

$$N_{re} = 952.12$$

Donde

N_{re} : Numero de Reynolds (adimensional)

n : Revoluciones por segundo (r/s)

Potencia del agitador

La marmita cuenta con 4 placas deflectoras de 0,05 m de ancho que sirven de ayuda para evitar la excesiva turbulencia al agitar los fluidos dentro del tanque por lo que de acuerdo a la figura 2-3. Se puede encontrar el número de potencia

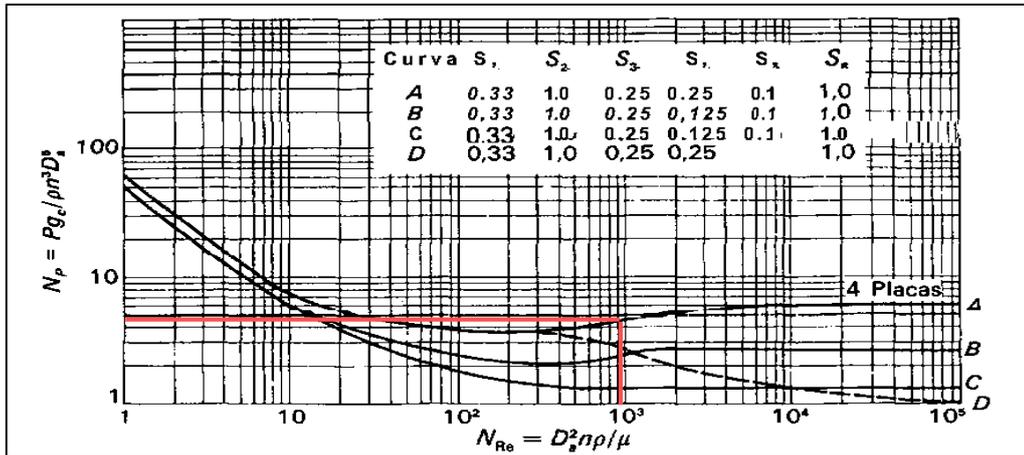


Figura 5-3: Número de potencia N_p con respecto a número de Reynolds N_{Re}

Fuente: (McCabe, Smith y Harriot 1991, p.259).

De acuerdo al número de potencia obtenido se puede calcular:

$$N_p = \frac{P g_c}{\rho n^3 D_{ag}^5} \quad (\text{Ec 33-3})$$

$$P = \frac{N_p \rho n^3 D^5}{g_c}$$

$$P = \frac{3,7 * 1034 * 0,667^3 * 0,756^5}{1}$$

$$P = 280,36 \text{ W}$$

$$P = 0,38 \text{ HP}$$

Donde

N_p : Número de potencia (adimensional)

P : Potencia requerida (W)

n : Velocidad (r/s)

g_c : Factor gravitacional de conservación (kgm.m/N.s²)

Los valores obtenidos están dentro de los rangos de diseños comerciales en los que la potencia mínima es de 0,18 kW que sería 0,24 HP por lo que se toma en cuenta las características de la tabla 7-3. Para agitadores para floculación con motorreductores de engranajes helicoidales.

Tabla 9-3: Características de floculadores serie FET (Floculadores de dos palas)

Característica	Descripción
Técnica	Manorreductores de engranajes helicoidales Velocidad 2-40 rpm
Eléctrica	Potencia mínima 0.18 kW
Material	Acero al carbono e inoxidable Aleaciones especiales
Limites	Velocidad periférica < 1.5 m/s
Aplicaciones	Floculación y recirculación
Opciones	Variador de velocidad

Fuente: (TIMSA 2016, p.1).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Dimensionamiento de la válvula de control de vapor

Para el dimensionamiento de la válvula de control es necesario tomar en cuenta las características de la fuente de vapor por lo que se conoce que la planta cuenta con una caldera pirotubular de vapor vertical con una tasa de flujo de vapor producido por la misma que es de 465 kg/h y para determinar las especificaciones se lo hizo con un diseño comercial con las características similares presentes en la Tabla 8-3. Además se conoce el rango de presiones de trabajo de la caldera que posee la planta que es de 40 a 60 psi, con una presión inicial de 40 psi y 13,06 psi de presión final debido a que la caída de presión máxima del sistema estimada es de 26,94 psi.

Tabla 10-3: Características y datos técnicos de caldera pirotubular de vapor y aguas calientes verticales

CARACTERÍSTICAS	DATOS TÉCNICOS
Capacidad	30 BHP
Capacidad térmica	1004250 Btu/h
Producción de vapor	1035 lb/h
Liberación térmica	119749 Btu/ft ³ /h
Peso neto calderas	2589 lb
Peso de caldera con agua a nivel normal	4057 lb

Fuente: (DISTRAL 2018, p.6).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Coefficiente de caudal de una válvula de vapor

$$C_v = \frac{f_s \sqrt{G * T}}{836 * C_f * P_1 * (y - 0.145y^3)} \quad (\text{Ec 34-3})$$

Donde

f_s : Flujo de vapor (ft³/h)

G: Gravedad específica=0.621(lb/ft³)

T: Temperatura de entrada (°R)

C_f: Factor de flujo crítico=0.8

P₁: Presión de entrada (psia)

P₂: Presión de salida (psia)

y: Efecto de compresibilidad en el flujo

Efecto de compresibilidad en el flujo

$$y = \frac{1.63}{C_f} \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}} \quad (\text{Ec 35-3})$$

$$y = \frac{1.63}{0.8} \sqrt{\frac{40 - 13.06}{40}} = 0.82$$

$$y - 0.148y^3 = 0.74$$

Flujo de vapor

$$\bar{f}_s = 1035 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ lbmol}}{18 \text{ lb}} \times \frac{380 \text{ scf}}{\text{lbmol}} = 21850 \text{ scfh}$$

Por lo tanto

$$C_v = \frac{21850 \sqrt{0.621 * 130.67}}{836 * 0.8 * 40 * 0.74}$$

$$C_v = 23.45 \frac{\text{gpm}}{\sqrt{\text{psi}}}$$

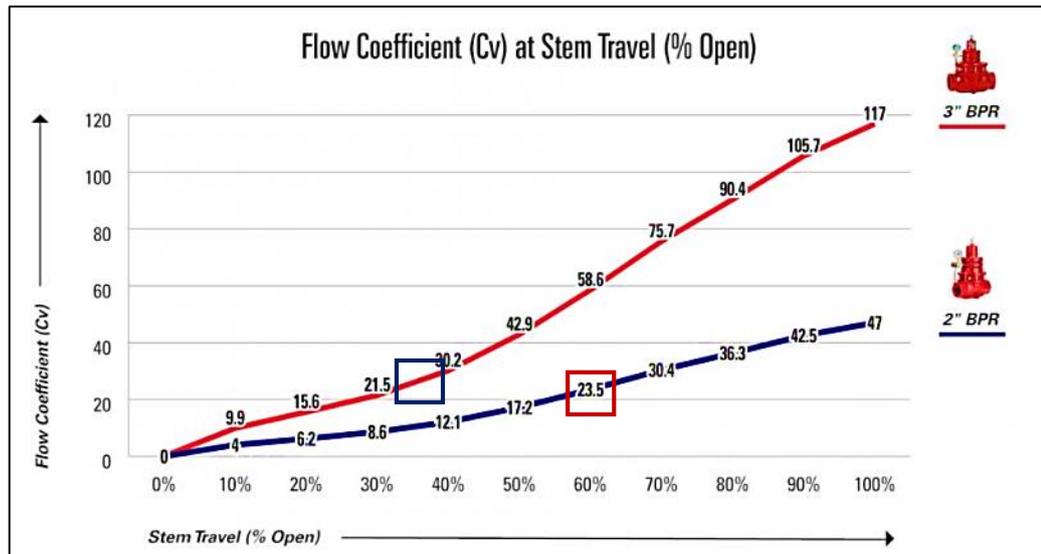


Figura 6-3: Coeficiente de flujo en el recorrido del vástago

Fuente: (Kimray. Inc 2020).

De acuerdo al coeficiente de caudal de la válvula obtenido y con la ayuda de la gráfica de la figura 3-3 es posible conocer el tamaño de la misma que es de dos pulgadas que coincide con el tamaño de la tubería con el que cuenta la planta por lo que será la necesaria para permitir un paso regulado de flujo de vapor y es con el que debe contar el sistema de tratamiento térmico.

Al obtener los dos valores y al tener una caída de presión constante se los puede relacionar mediante la gráfica de la figura 4-3. para las características de flujo inherente y conocer la característica de flujo de la válvula que según Smith y Corripio (1991, p.190) afirman que es necesaria para que en un sistema en el que se encuentre una válvula de control debe ser de igual porcentaje entre el flujo y la apertura en donde su ganancia sea constante en función de la apertura de la válvula posibilitando la linealización del proceso en el que haya una armonía entre el sensor, transmisor y la unidad de referencia del proceso.

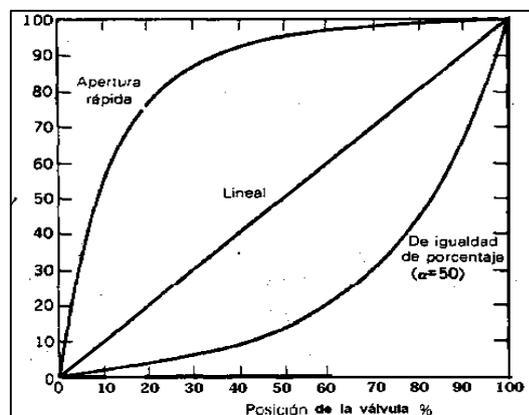


Figura 7-3: Característica de flujo inherente

Fuente: (Smith y Corripio 1991, p.190).

En la tabla presente en la tabla del Anexo D sirve de referencia para relacionar los valores obtenidos mediante cálculos con los que son los establecidos con los fabricantes de válvulas de control para los diseños y elaboración de las mismas.

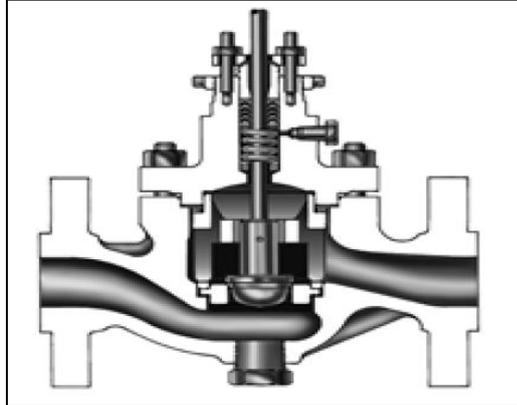


Figura 8-3: Válvula de globo de un puerto

Fuente: (Emerson, 2019, p.52).

3.6.2.2. *Dimensionamiento y especificaciones de la línea de conducción de yogurt desde marmita a tanque de distribución*

Potencia de la bomba

$$POT = \frac{\rho \cdot g \cdot q \cdot h_b}{746(e)} \quad (\text{Ec 36-3})$$

Donde:

POT: Potencia de la bomba necesaria para transportar el fluido (HP)

q: Caudal que se necesita transportar (m³/s)

e: Eficiencia de la bomba (0.75)

Utilizando la ecuación de Bernoulli se tiene:

$$\frac{P_a}{\gamma} + z_a + \frac{v_a^2}{2g} + h_B - h_r = \frac{P_b}{\gamma} + z_b + \frac{v_b^2}{2g} \quad (\text{Ec 37-3})$$

Consideraciones de acuerdo al diagrama del Anexo A:

El punto a es el punto de referencia no se considera su altura

Se trabaja con presiones manométricas y al estar los dos tanques abiertos a presión atmosférica

no se considera la presión en ninguno de los puntos

La velocidad en el punto a permanecer constante debido a que su nivel se reducirá constantemente y por lo tanto no se considera

Por lo tanto:

$$h_B = h_r + z_b + \frac{v_b^2}{2g}$$

Donde:

P_a : Presión en el punto a (psi)

P_b : Presión en el punto b (psi)

g : Gravedad (m/s^2)

z_a : Altura en el punto a (m)

z_b : Altura en el punto b (m)

h_b : Energía de la bomba (m)

h_r : Pérdidas (m)

Velocidad del fluido

$$v_b = \frac{Q_y}{A} \quad (\text{Ec 38-3})$$

Donde:

v_b : Velocidad del fluido (m/s)

Q_y : Caudal del yogurt (m^3/s)

A : Área de la tubería (m)

$$A = \pi * r^2 \quad (\text{Ec 39-3})$$

Donde:

r : Radio de la tubería (m)

$$A = \pi * 0.0254^2$$

$$A = 0.00203$$

Por lo tanto

$$v_b = \frac{0.01}{0.00203}$$

$$v_b = 4.93$$

Pérdidas por fricción entre los puntos a y b

$$h_r = F \frac{L v_b^2}{D_i 2g} \quad (\text{Ec 40-3})$$

Donde:

F : Coeficiente de fricción

L : Longitud de la tubería (m)

D : Diámetro de la tubería (m)

Numero de Reynolds

$$N_{re} = \frac{v_b * D_i * \rho}{\mu} \quad (\text{Ec 41-3})$$
$$N_{re} = \frac{4.93 * 0.0508 * 1034}{0.414}$$
$$N_{re} = 625.5$$

Coeficiente de fricción

$$F = \frac{64}{N_{re}} \quad (\text{Ec 42-3})$$
$$F = \frac{64}{625.5} = 0.10$$

Por lo tanto

$$h_r = 0.10 \frac{5.20}{0.508} \frac{4.93^2}{2(9.8)}$$
$$h_r = 1.27 \text{ m}$$

Y

$$h_B = 1.27 + 2.85 + \frac{(4.93)^2}{2(9.8)}$$
$$h_B = 5.36$$

Entonces

$$POT = \frac{1034(9.8)(0.01)(5.36)}{(746)(0.75)}$$

$$POT = 0.97$$

De acuerdo a la potencia requerida para trasladar el fluido desde la marmita hasta el tanque de distribución es necesario contar con una bomba que posea especificaciones similares a las de diseños comerciales por lo que se ha tomado como referencia a una bomba centrífuga de serie 200 las cuales son sanitarias que presentan alternativas de restricción de sobrecarga mediante control de amperaje en el motor con la apertura de la válvula de descarga y están diseñadas especialmente para trasladar productos lácteos y para su propia limpieza y presentan las características y especificaciones de la Tabla 9-3.

Tabla 11-3: Características y especificaciones de bombas centrífugas serie 200

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Temperaturas	Hasta 400 °F (204 °C) (limitado por la selección del elastómero)
Montaje	Brida de alta resistencia con abrazadera
Material	Acero inoxidable
Tipos de motor	Monofásica o trifásica 50-60 hercios
Caja	Fundición de 316 L, exterior satinado con acabado sanitario en zona de producto
Conexiones de puerto	Abrazadera en S, asiento biselado, con brida, NPT roscado, línea I, DIN, Soldadura
Impulsor	Mecanizado a partir de una barra solida de acero inoxidable de 316 L
Placa trasera	Mecanizado a partir de una barra solida de acero inoxidable de 316 L

Fuente: (SPX/Termoequipos 2014, p.1).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.



Figura 9-3: Bomba centrífuga de 200 series

Fuente: (SPX/Termo equipos, 2014).

3.6.2.3. Dimensionamiento y especificaciones del tanque de distribución

Volumen del tanque

$$V_{td} = h_{td} * a_{td} * l_{td} \quad (\text{Ec 43-3})$$

Donde:

V_{td} : Volumen del tanque de distribución (m^3)

h_{td} : Altura del tanque de distribución (m)

a_{td} : Ancho del tanque de distribución (m)

l_{td} : Longitud del tanque de distribución (m)

$$V = 0,50 * 0,50 * 1$$

$$V = 0.250 \text{ m}^3$$

Capacidad del tanque de distribución

$$A = (2 l_{td} a_{td}) + (2 a_{td} h_{td}) + (2 h_{td} l_{td}) \quad (\text{Ec 44-3})$$

$$A = (2 \times 0.50 \times 1) + (2 \times 0.50 \times 0.50) + (2 \times 0.50 \times 1)$$

$$A = 2.5 \text{ m}^2$$

Donde

A : Área del tanque de distribución (m^2)

3.6.2.4. Dimensionamiento y especificaciones de la tolva

Área de la tolva (A_t)

$$A_{to} = \pi r^2 \quad (\text{Ec 45-3})$$

$$A_{to} = \pi(0.20)^2$$

$$A_{to} = 0.126$$

Donde:

r : Radio de la tolva (m)

Volumen de la tolva

$$V_{to} = \left(\frac{A_{to}}{3}\right)(h_{to}) \quad (\text{Ec 46-3})$$

$$V_{to} = \left(\frac{0.126}{3} * 0.48 \right)$$

$$V_{to} = 0.020$$

Donde:

V_t : volumen de la tolva (m^3)

La planta cuenta con dos válvulas sanitarias alimenticias tipo mariposa tanto a la entrada como a la salida de la tolva y su razón de flujo es de cinco a uno respectivamente, al no contar con la caída de presión se toma en cuenta que al ser tubería de longitudes pequeñas y no tener restricciones la presión será constante, tomando como referencia especificaciones comerciales de una válvula Bray de serie 20/21 con las características que se muestran en la tabla de la Tabla 10-3. Que son similares a las requeridas por la empresa y las indicadas para el proceso para poder realizar el control de nivel de la misma

Especificaciones de la válvula de entrada a la tolva

Al ser una válvula tipo mariposa para que permita el paso de flujo de yogurt hacia la tolva y no contar con las presiones se toma en cuenta la razón de flujo y un coeficiente de caudal para diámetro de 2 pulgadas con un 60% de apertura el cual cuenta con un coeficiente de caudal de $63.15 m^3/h$ como se muestra en la tabla de la Anexo E

Especificaciones de la válvula de salida de la tolva

Debido a que las válvulas de mariposa también tienen como función la dosificación para la salida al requerir un flujo menor se toma en cuenta la misma relación 5:1 en el que se hace conveniente para diámetros de dos pulgadas que tenga una apertura del 20% en el que se tendrá un coeficiente de caudal de $6.055 m^3/h$ como se muestra en la tabla de la Anexo E.

Tabla 12-3: Características de válvula sanitaria Bray de serie 20/21

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Rango de Tamaño	25-500 mm
Rango de temperatura	-29- 250 °C
Presiones normales	150 psi-10 bar
Clasificación de cierre	Hermético bidireccional
Materiales del cuerpo	Hierro fundido, hierro dúctil, acero inoxidable, aluminio
Aplicaciones	Servicio sanitario, métodos levemente corrosivos, tóxicos

Fuente: (Bray Controls 2012, p.1).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.



Figura 10-3: Válvula mariposa con y sin actuador

Fuente: (GRAINGER 2021; CEXCO [sin fecha]).

3.6.2.1. Especificaciones del proceso de termosellado

Los rangos de temperatura que debe existir en el sellado se los toma de acuerdo a los puntos de fusión de las propiedades del polímero utilizado (polietileno de baja densidad) que esta entre 98 y 115 °C en el que la presiones y temperaturas que son aplicadas por niquelinas sobre el material no sobrepase ni se reduzca a los límites planteados para evitar rupturas o sellados incompletos. Para el enfriamiento y evitar desgastes dentro de los componentes del sistema de dosificación por exposición a altas temperaturas existe un manguera delgada por la que circula un corriente de agua fría que rodea las mordazas verticales y horizontales encargadas del sellado de todos los lados del empaque.

Se cuenta con un controlador de temperatura digital en el cual se registra la variante de temperatura de las niquelinas y realiza un control PID en el que cuando la temperatura desciende mediante pulsaciones en las resistencias mediante un relé de estado sólido hace que se regule al Set Point y si asciende se corta el paso de electricidad, de acuerdo a las especificaciones comerciales cuenta con las características de la Tabla 11-3. en las que se observa que los 100Ω de la resistencia de aislamiento al sistema de sellado está dentro de los rangos en los que el mínimo es de 20 MΩ.

Los rangos de error en la precisión de visualización al captar la temperatura de la detector de temperatura resistivo de tipo pt100 es de 0.3 % en las que se muestran las especificaciones de entrada y salida, la base de temperatura (0°C) tiene una resistencia de 100Ω además los resultados arroja valores con precisiones de 0.1°C en el rango de -100 y 300 °C (Security or safety controller & more 2021, p.4).

Tabla 13-3: Características y especificaciones de un controlador de temperatura

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de entrada	Multi entrada (Termocupla: K, J, R, T, IEC 584-1), (RTD : Pt100 Ω , IEC751)
Ciclo de muestreo	100 ms
Impedancia de entrada	Max 1 M Ω
Resistencia admisible al cableado de entrada	10 V d.c
Resistencia de aislamiento	min 20 M Ω , 500 V d.c, 1 minuto (terminal primaria- terminal secundaria)
Método de control	PID control por Auto-tuning, ON/OFF control
Control de salida	Salida de relé Seleccionable por el ajuste del parámetro 1a, 3 A 240 V a.c, 3 A 30 V d.c (Carga resistiva)
Precisión de pantalla	± 0.3 % de F.S ± 1 digito $^{\circ}\text{C}$

Fuente: (Security or safety controller & more 2021, p.4).

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.



Figura 11-3: Controlador de temperatura digital

Fuente:(Security or safety controller & more, 2021, p.1).

3.6.3. Modelación y control de los subprocesos más importantes de la línea de envasado de yogurt

3.6.1.1. Modelación y control de temperatura en una marmita con chaqueta para tratamiento térmico de leche para elaboración de yogurt

Diagrama P&ID del lazo de control de temperatura en marmita en relación al flujo de vapor de la chaqueta

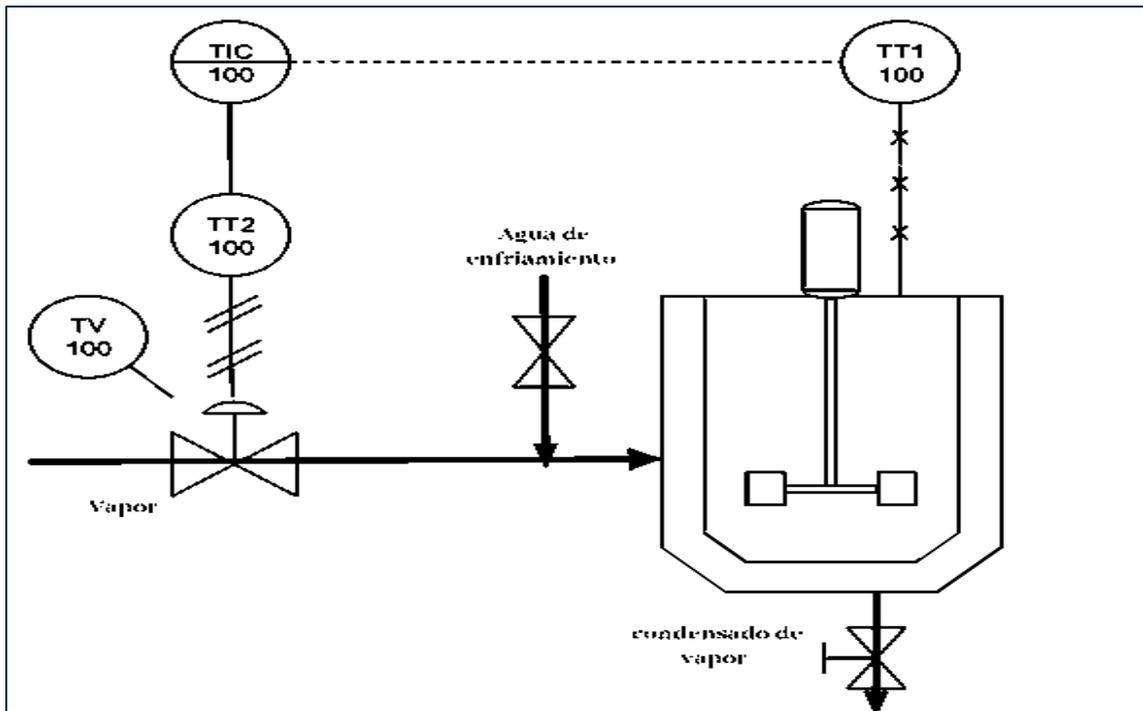


Figura 12-3: Lazo de control de temperatura en relación al flujo de vapor

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021

La figura 12-3. Muestra cómo se realiza el proceso de control para una marmita con chaqueta en la cual se elabora yogurt semidescremado, la válvula está conectada con una señal neumática a un transmisor de temperatura (TT2), con ayuda de un transductor (I/P) convierte la señal neumática en una eléctrica para llegar al controlador indicador de temperatura (TIC) en el que intervienen las constantes PID en función del punto de referencia, en la marmita mediante un tubo capilar está conectado al transmisor de temperatura (TT1) el que también envía una señal eléctrica al controlador indicador de temperatura y tomará las señales de los dos transmisores y dependiendo de la diferencia de temperatura con la ayuda del transductor cambiará la señal eléctrica a neumática para poder abrir o cerrar la válvula y permitir el paso de flujo de vapor

Al terminar el tratamiento térmico de vapor durante una hora y media mediante configuración se apaga la válvula de control para dar paso a la post-pasteurización que consiste en el enfriamiento mediante el flujo de agua fría en la chaqueta mediante la abertura manual de una válvula en la entrada de la marmita de manera que al llegar a la temperatura de 45°C se cierra el paso de agua fría.

Para al proceso de inoculación, incubación y reposo no se requiere de enfriamiento o calentamiento y es donde se agrega el cultivo fermentador y azúcar manualmente de acuerdo a los requerimientos para después de haber transcurrido cuatro horas y media se agrega el resto de ingredientes: sorbato de potasio y sucralosa. Durante todo el proceso se encuentra encendido el sistema de agitación para homogeneidad en el producto final.

Modelo matemático para una marmita con chaqueta

Se toma algunas consideraciones como de que las propiedades de los fluidos en el tanque como en la chaqueta como la densidad y calor específico son constantes durante todo el proceso, la temperatura dentro del tanque y chaqueta es uniforme, al tener un sistema de agitación en el tanque por lo que la temperatura de salida es la misma que está dentro del mismo, el volumen permanece constante en el tanque y la chaqueta y que al ser un sistema aislado la pérdida de calor hacia el exterior es despreciable.

Balance de masa en el tanque

$$A = E - S + G - C \quad (\text{Ec 47-3})$$

Donde

A: Acumulación

E: Entrada

S: Salida

G: Generación

C: Consumo

Debido a que no existe reacción química

$$A = E - S$$

Por lo tanto

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 \quad (\text{Ec 48-3})$$

Donde:

\dot{m}_1 y \dot{m}_2 : Flujo másico de entrada y salida

Ya que:

$$\rho = \frac{m}{V} ; m = \rho V ; \dot{m} = \rho f \quad (\text{Ec 49-3})$$

Por lo tanto

$$\frac{dV}{dt} = f_e - f_s \quad (\text{Ec 50-3})$$

Donde:

f_e y f_s : flujo volumétrico de entrada y salida

Debido a que el volumen es constante

$$\frac{dV}{dt} = 0$$

$$f_e = f_s$$

Balance de energía

$$\frac{dE}{dt} = E_e - E_s + Q \quad (\text{Ec 51-3})$$

Para un sistema de flujo se dice que

$$\frac{dH}{dt} = H_e - H_s + Q \quad (\text{Ec 52-3})$$

$$H = Cp \int dT \quad (\text{Ec 53-3})$$

$$H = Cp(T - T_r) \quad (\text{Ec 54-3})$$

$$\frac{d(m \cdot Cp \cdot T)}{dt} = (\dot{m}_e \cdot Cp \cdot T_e) - (\dot{m}_s \cdot Cp \cdot T_s) + Q \quad (\text{Ec 55-3})$$

$$\frac{(\rho \cdot V \cdot Cp) dT}{dt} = (\rho \cdot f_e \cdot Cp \cdot T_e) - (\rho \cdot f_s \cdot Cp \cdot T_s) + Q \quad (\text{Ec 56-3})$$

Ley de incremento de Newton que determina el calor transferido de la chaqueta al tanque:

$$Q = UA(T_{ch} - T_t) \quad (\text{Ec 57-3})$$

Por lo tanto reemplazando la (Ec 57-3) en la (Ec 56-3):

$$\frac{(\rho_l V C_{pl}) dT}{dt} = (\rho_l f_e C_{pl} T_e) - (\rho_l f_s C_{pl} T_s) + UA(T_{ch} - T_t) \quad (\text{Ec 58-3})$$

Reescribiendo la (Ec 58-3) en función del tiempo y considerando que no existe un flujo dentro del tanque se las puede expresar de las siguientes maneras:

$$\frac{\rho_l V C p_l dT(t)}{dt} = UA(T_c(t) - T_t(t)) \quad (\text{Ec 59-3})$$

$$\frac{dT(t)}{dt} = \frac{UA}{V \rho C p} (T_c(t) - T_t(t)) \quad (\text{Ec 60-3})$$

Para el estado estacionario se toma en cuenta que para su linealización se aproxima con ecuaciones diferenciales que tienen como condición inicial un tiempo cero que indican la base en la que se va a expandir una función (Smith & Corripio, 2014, p.70).

$$\frac{\rho_l V C p_l d\bar{T}}{dt} = UA(\bar{T}_c - T) = 0 \quad (\text{Ec 61-3})$$

Balance de masa en la chaqueta

$$\frac{dV}{dt} = 0$$

$$q_e = q_s$$

Balance de energía en la chaqueta

Debido a que el calor ganado por el tanque es el perdido por la chaqueta el balance de energía es:

$$\frac{\rho_v V_c C p_v dT_c}{dt} = (\rho_v f_{e_c} C p_v T_{e_c} - \rho_v f_{s_c} C p_v T_{s_c} - UA(T_c - T_t)) \quad (\text{Ec 62-3})$$

En función del tiempo:

$$\frac{\rho_v V_c C p_v dT_c(t)}{dt} = \rho_v f_c(t) C p_v T_{e_c} - \rho_v f_c(t) C p_v T_{s_c}(t) - UA(T_c(t) - T_t(t)) \quad (\text{Ec 63-3})$$

$$\frac{dT_c(t)}{dt} = \frac{f_c(t)}{V_c} (T_{e_c} - T_{s_c}(t)) - \frac{UA}{\rho_v V_c C p_v} (T_c(t) - T_t(t)) \quad (\text{Ec 64-3})$$

Se linealiza el término no lineal y se reemplaza en la (Ec 63-3) y se encuentra la ecuación en estado estacionario:

$$\rho_v f_c(t) C p_v T_{s_c}(t) \approx \rho_v \bar{f}_c C p_v \bar{T}_{s_c} + \rho_v \bar{f}_c C p_v \Gamma_{s_c}(t) + \rho_v C p_v \bar{T}_{s_c} F_c(t) \quad (\text{Ec 65-3})$$

$$\begin{aligned} \frac{\rho_v V_c C p_v dT_c(t)}{dt} &= \rho_v f_c(t) C p_v T_{e_c} - UA(T_c(t) - T_t(t)) - \rho_v \bar{f}_c C p_v \bar{T}_{s_c} - \rho_v \bar{f}_c C p_v \Gamma_{s_c}(t) \\ &\quad - \rho_v C p_v \bar{T}_{s_c} F_c(t) \end{aligned} \quad (\text{Ec 66-3})$$

$$\frac{\rho_v V_c C_{p_v} d\bar{T}_c}{dt} = \rho_v \bar{f}_c C_{p_v} T_{ec} - \rho_v \bar{f}_c C_{p_v} \bar{T}_{sc} - UA(\bar{T}_c - \bar{T}_t) \quad (\text{Ec 67-3})$$

Donde:

T_{ec} y T_{sc} : Temperatura de entrada y salida de la chaqueta (K)

T_e y T_s : Temperatura de entrada y salida del tanque (K)

f_{ec} y f_{sc} : Flujo de entrada y salida de la chaqueta (m³/s)

f_e y f_s : Flujo de entrada y salida en el tanque (m³/s)

C_{p_v} : Calor específico del vapor (kJ/kg.K)

ρ_v : Densidad de vapor (kg/m³)

V : Volumen del tanque (m³)

V_c : Volumen de la chaqueta (m³)

U : Coeficiente de transferencia de calor (kJ/sm²K)

Por lo tanto las variables de desviación son:

$$\begin{aligned} \Gamma(t) &= T(t) - \bar{T} \\ \Gamma_e(t) &= T_e(t) - \bar{T}_e \\ F_c(t) &= f_c(t) - \bar{f}_c \\ \Gamma_c(t) &= T_c(t) - \bar{T}_c \\ \Gamma_{ce}(t) &= T_{ce}(t) - \bar{T}_{ce} \end{aligned}$$

Su expresión linealizada se da al reemplazar las variables de desviación y resolverla mediante transformadas de Laplace:

Para la (Ec 61-3):

$$\frac{d\Gamma(t)}{dt} + \Gamma(t) = K_2 \Gamma_c(t) \quad (\text{Ec 68-3})$$

$$\Gamma(s) = \frac{K_2}{\tau_1 s + 1} \Gamma_c(s) \quad (\text{Ec 69-3})$$

Y para la (Ec 67-3):

$$\frac{d\Gamma_c(t)}{dt} + \Gamma_c(t) = K_3 F_c(t) + K_4 \Gamma(t) \quad (\text{Ec 70-3})$$

$$\Gamma_c(s) = \frac{K_3}{\tau_2 s + 1} F_c(s) + \frac{K_4}{\tau_2 s + 1} \Gamma(s) \quad (\text{Ec 71-3})$$

Al ser un sistema interactivo se reemplaza la ecuación (Ec 70-3) en (Ec 69-3) para encontrar la función de transferencia que relacione la temperatura final del tanque con el flujo de vapor que existe en la chaqueta.

Función de transferencia de la temperatura de salida en el tanque en relación con el flujo de vapor de la chaqueta

$$\frac{\Gamma(s)}{F_c(s)} = \frac{K_3 K_2}{(\tau s + 1)(\tau_2 s + 1) - K_2 K_4} \quad (\text{Ec 72-3})$$

Donde:

$$\tau = \frac{\rho_l \cdot V \cdot C p_l}{\rho_l \cdot f_l \cdot C p_l + U_{ho} A} \quad (\text{Ec 73-3})$$

$$K_2 = \frac{U_{ho} A}{U_{ho} A + \rho_l \cdot f_l \cdot C p_l} \quad (\text{Ec 74-3})$$

$$\tau_2 = \frac{\rho_v \cdot V_c \cdot C p_v}{\rho_v \cdot f_v \cdot C p_v + U_{ho} A} \quad (\text{Ec 75-3})$$

$$K_3 = \frac{\rho_v \cdot C p_v (T_e - T_s)}{U_{ho} A + \rho_v \cdot f_v \cdot C p_v} \quad (\text{Ec 76-3})$$

$$K_4 = \frac{U_{ho} A}{U_{ho} A + \rho_v \cdot f_v \cdot C p_v} \quad (\text{Ec 77-3})$$

Por lo tanto al reemplazar las ecuaciones con las condiciones para cada proceso se obtiene las funciones de transferencia

Función de transferencia para homogenización

Tabla 14-3: Condiciones para la función de transferencia en homogenización.

CONDICIÓN	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Coefficiente de transferencia de calor	U_{ho}	0.1987	$\text{kJ}/\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$
Área de transferencia de calor	A	2.94	m^2
Volumen de leche en la marmita	V	0.480	m^3
Flujo de alimentación	F	0.000089	m^3/s
Volumen en la chaqueta	V_c	0.13	m^3
Densidad del vapor	ρ_v	1.53	kg/m^3
Calor específico de vapor	$C p_v$	1.9944	$\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$
Flujo de vapor	W_p	0.0124	m^3/s
Temperatura de entrada	T_e	403.67	K
Temperatura de salida	T_s	361	K

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Donde:

$$\tau = \frac{(1031)(0.48)(3.85)}{(1031)(8.9e - 5)(3.85) + (0.1987)(2.94)} = 2032.42$$

$$K_2 = \frac{(0.1987)(2.94)}{(0.1987)(2.94) + (1031)(8.9e - 5)(3.85)} = 0.623$$

$$\tau_2 = \frac{(1.53)(0.13)(1.9944)}{(1.53)(0.0124)(1.9944) + (0.1987)(2.94)} = 0.64$$

$$K_3 = \frac{(1.53)(1.9944)(42.67)}{(1.53)(0.0124)(1.9944) + (0.1987)(2.94)} = 204.04$$

$$K_4 = \frac{(0.1987)(2.94)}{(1.53)(0.0124)(1.9944) + (0.1987)(2.94)} = 0.94$$

La función de transferencia para el proceso de homogenización es:

$$\frac{\Gamma(s)}{F_c(s)} = \frac{K_3 K_2}{(\tau s + 1)(\tau_2 s + 1) - K_2 K_4}$$

$$\frac{\Gamma(s)}{F_c(s)} = \frac{127.12}{1300.75s^2 + 2033.06s + 0.41}$$

Simulación de la función de transferencia para homogenización

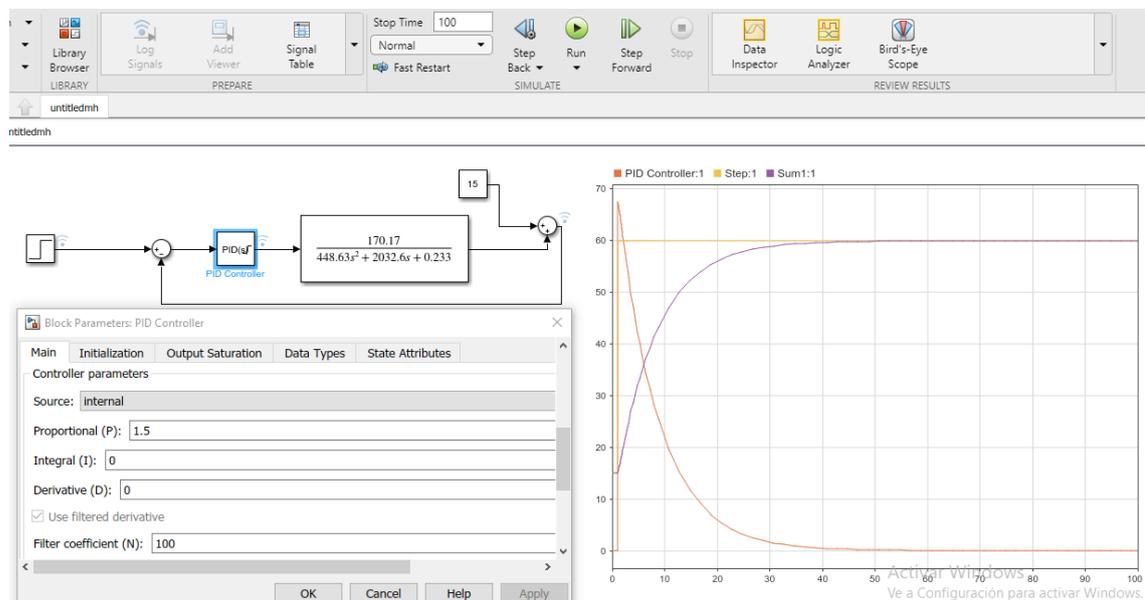


Figura 13-3: Simulación del lazo de control de temperatura para homogenización en una marmita en función del flujo de vapor en la chaqueta

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Función de transferencia para pasteurización

Tabla 15-3: Condiciones para función de transferencia en pasteurización

CONDICIÓN	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Coefficiente de transferencia de calor	U_p	0.2016	$kJ/s.m^2.K$
Área de transferencia de calor	A	2.94	m^2
Volumen de leche en la marmita	V	0.480	m^3
Flujo de alimentación	F	0.000089	m^3/s
Volumen en la chaqueta	V_c	0.13	m^3
Densidad del vapor	ρ_v	1.53	kg/m^3
Calor específico de vapor	C_{p_v}	1.9944	$kJ/kg.K$
Flujo de vapor	W_p	0.0124	m^3/s
Temperatura de entrada	T_e	403.67	K
Temperatura de salida	T_s	371	K

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Nota: las condiciones faltantes son las mismas usadas para el proceso de Homogenización

$$\tau = \frac{(1031)(0.48)(3.85)}{(1031)(8.9e - 5)(3.85) + (0.2016)(2.94)} = 2014.1$$

$$K_2 = \frac{(0.2016)(2.94)}{(1031)(8.9e - 5)(3.85) + (0.2016)(2.94)} = 0.6266$$

$$\tau_2 = \frac{(1.53)(0.13)(1.9944)}{(1.53)(0.0085)(1.9944) + (0.2016)(2.94)} = 0.64$$

$$K_3 = \frac{(1.53)(1.9944)(32.67)}{(1.53)(0.0085)(1.9944) + (0.2016)(2.94)} = 161.14$$

$$K_4 = \frac{(0.2016)(2.94)}{(1.53)(0.0085)(1.9944) + (0.2016)(2.94)} = 0.96$$

La función de transferencia para el proceso de pasteurización es:

$$\Gamma(s) = \frac{K_3 K_2}{(\tau s + 1)(\tau_2 s + 1) - K_2 K_4} (F_c(s))$$

$$\frac{\Gamma(s)}{F_c(s)} = \frac{100.97}{1289.02s^2 + 2014.74s + 0.398}$$

Simulación de función de transferencia para pasteurización

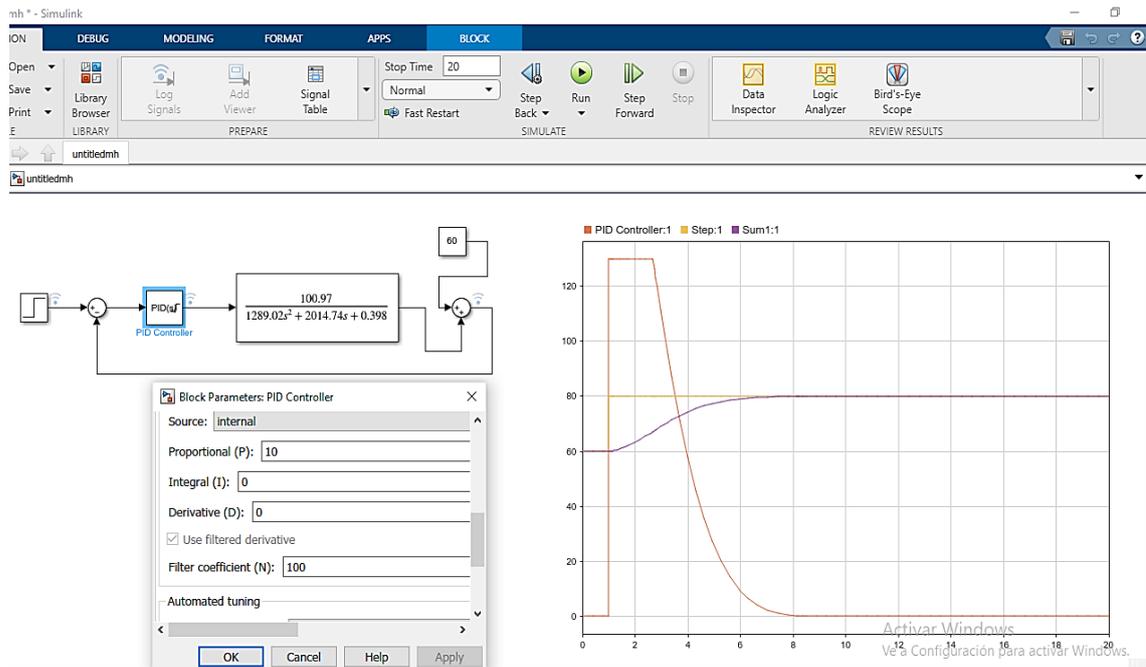


Figura 14-3: Simulación del lazo de control de temperatura para pasteurización en una marmita en función del flujo de vapor en la chaqueta

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

3.6.1.1. Modelación de nivel de tanque de distribución

El fin de realizar la modelación del sistema de succión desde la marmita y descarga en el tanque de distribución es conocer el tiempo en el que llega a la altura deseada para que el volumen total de yogurt este en partes iguales en el que es agregado el saborizante y colorante de manera manual.

Tabla 16-3: Condiciones para la simulación de nivel en el tanque de distribución

CONDICIÓN	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Altura media	h	0.24	m^3/s
Caudal medio	q	0.01	m^3/s
Restricción	R	24	s/m^2
Capacidad o Área	C	2.5	m^2
Altura máxima	H_{max}	0.50	m
Frecuencia	F	50	Hertz

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Modelo matemático del sistema de succión y descarga

$$q(t) = q_r(t) + q_c(t) \quad (\text{Ec 78-3})$$

Donde

q : Caudal de entrada

q_r : Caudal de salida por la restricción del tanque de distribución

q_c : Caudal del nivel en el tanque de distribución

$$h(t) = g(t) \cdot q(t) \quad (\text{Ec 79-3})$$

$$h(t) = q_r(t) \cdot R \quad (\text{Ec 80-3})$$

$$h(t) = \frac{1}{C} \int q_c(t) dt \quad (\text{Ec 81-3})$$

Donde:

h : Altura del tanque de distribución

g : Relación entre la altura y el caudal en el tanque de distribución

Al aplicar transformada de Laplace en (Ec 78-3) - (Ec 81-3) se obtiene:

$$Q(s) = Q_r(s) + Q_c(s) \quad (\text{Ec 82-3})$$

$$H(s) = G(s) \cdot Q(s) \quad (\text{Ec 83-3})$$

$$H(s) = Q_r(s) \cdot R \quad (\text{Ec 84-3})$$

$$H(s) = \frac{1}{Cs} \cdot Q_c(s) \quad (\text{Ec 85-3})$$

Donde:

R : restricción en la salida del tanque de distribución (s/m²)

C : capacidad del tanque de distribución (m²)

Ordenando las ecuaciones (84-3 y 85-3) y reemplazando en la ecuación (82-3):

$$Q_r(s) = H(s) \cdot \frac{1}{R}$$

$$Q_c(s) = H(s) \cdot Cs$$

$$Q(s) = \left(\frac{1}{R} + Cs \right) H(s)$$

Por lo tanto su función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{Q(s)}{H(s)} = \frac{R}{RCs + 1} = \frac{R}{\tau s + 1} \quad (\text{Ec 86-3})$$

Simulación del proceso de llenado del tanque de distribución

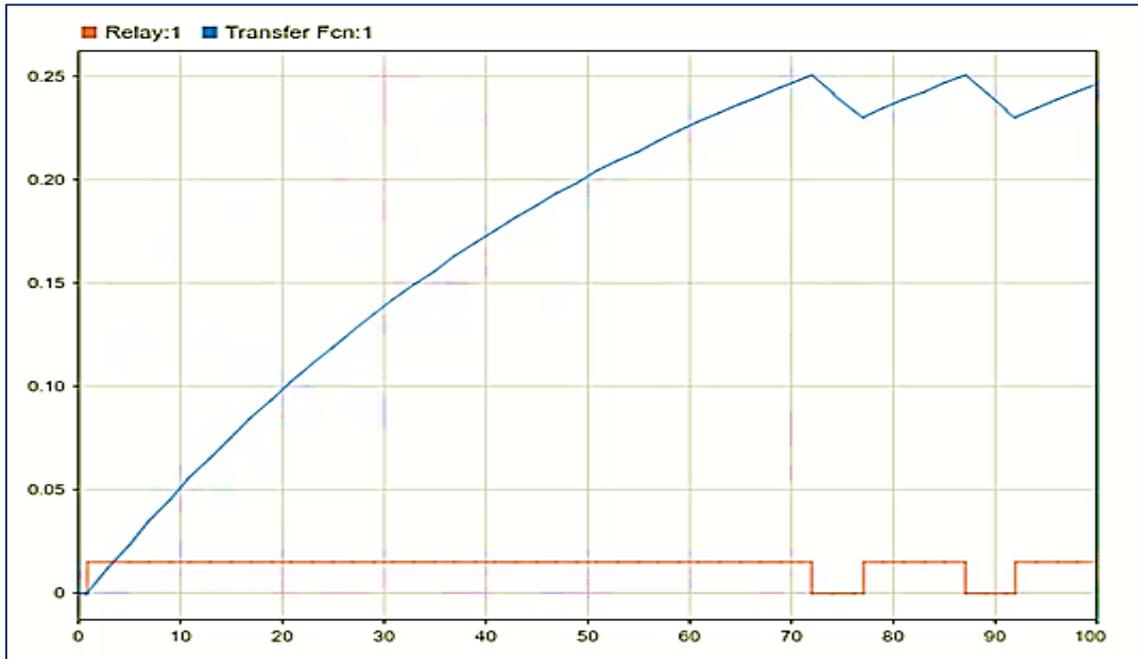


Figura 15-3: Simulación del modelo matemático para nivel del tanque de distribución

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021

3.6.1.3. Modelación y control de nivel de una tolva.

Diagrama P&ID del lazo de control de nivel en la tolva en relación a la apertura de la válvula de entrada

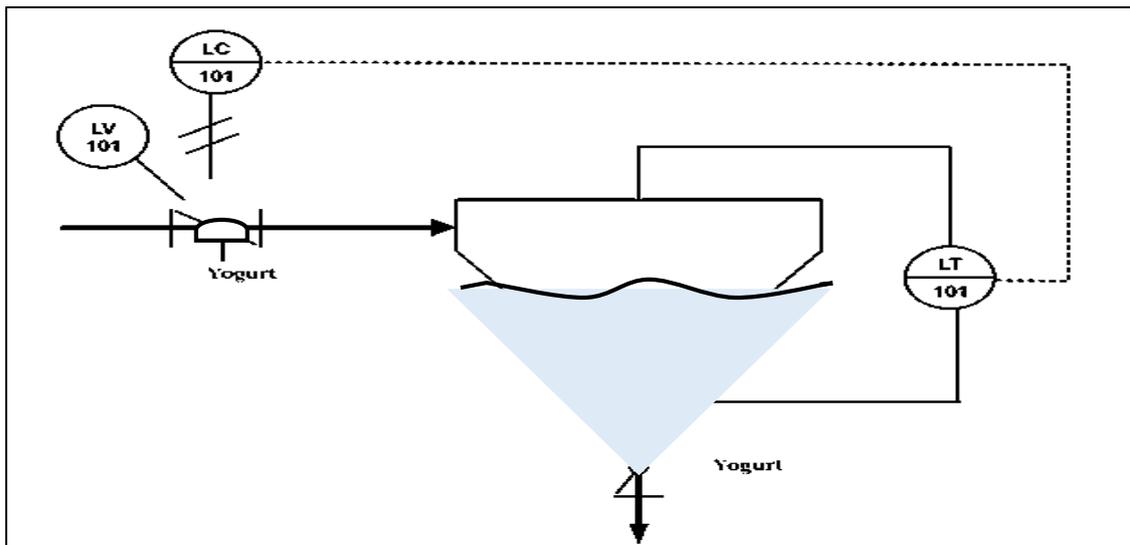


Figura 16-3: Lazo de control de nivel en una tolva en relación a la apertura de la válvula de entrada

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

En la figura 16-3. Muestra cómo se realiza el proceso de control de nivel en función de la apertura de la válvula de entrada debido a que el flujo en la salida es constante por lo tanto la apertura de la válvula de salida es fija, por lo que se muestra que el transmisor de nivel (LT) está conectado al tolva y da a conocer el nivel del yogurt el cual mandara una señal eléctrica al controlador indicador de nivel (LIC) en el cual estarán las constantes PID en función del nivel de referencia y enviara una señal neumática a la válvula de entrada para la regulación de su apertura.

Tabla 17-3: Condiciones para la simulación de los lazos de control de la tolva

CONDICIÓN	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Coefficiente de caudal de la válvula de entrada	K_1	0.0108	m^3/s
Coefficiente de caudal de la válvula de control de salida	K_2	0.00168	m^3/s
Apertura de la válvula de entrada	a_1	50	%
Apertura de la válvula de salida	a_2	20	%
Altura en el estado de equilibrio	h_o	0.45	m
Gravedad	g	9.8	m/s
Área de la tolva	A	0.126	m^2

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Modelo matemático para una tolva (tanque cónico)

Balance de materia

$$A = E - S + G - C \quad (\text{Ec 87-3})$$

Debido a que no existe reacción química

$$A = E - S$$

Por lo tanto

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 \quad (\text{Ec 88-3})$$

Ya que:

$$\rho = \frac{m}{V} ; m = \rho V ; \dot{m} = \rho q$$

Por lo tanto:

$$\frac{\rho dV}{dt} = \rho q_e - \rho q_s \quad (\text{Ec } 89-3)$$

$$\frac{dV}{dt} = q_e - q_s$$

$$q_e = K_1 a_1 \quad (\text{Ec } 90-3)$$

$$q_s = K_2 a_2 \sqrt{2gh}$$

$$V = \frac{A}{3} \cdot h \quad (\text{Ec } 91-3)$$

$$\frac{A}{3} \frac{dh}{dt} = K_1 a_1 - K_2 a_2 \sqrt{2gh} \quad (\text{Ec } 92-3)$$

Donde:

q_e : Caudal de entrada a la tolva (m^3/s)

q_s : Caudal de salida de la tolva (m^3/s)

V : Volumen de la tolva (m^3)

K_1 : Coeficiente de caudal de la válvula de entrada a la tolva (m^3/h)

K_2 : Coeficiente de caudal de la válvula de salida a la tolva (m^3/h)

a_1 : Apertura de la válvula de entrada a la tolva (%)

a_2 : Apertura de la válvula de salida a la tolva (%)

g : Gravedad (m/s^2)

h : Altura de la tolva (m)

Linealización

Para su linealización se considera que el volumen es contante además del nivel en el punto inicial (altura de referencia h_0):

$$0 = K_1 a - K_2 a \sqrt{2gh}$$

$$K_1 a_1 = K_2 a_2 \sqrt{2gh_0}$$

$$h_0 = \left(\frac{K_1 a_1}{\sqrt{2g} \cdot K_2 a_2} \right)^2 \quad (\text{Ec } 93-3)$$

$$h_0 = 0.40 \text{ m}$$

Linealización por el método de Taylor:

$$f(a_1, h) = \frac{A}{3} \frac{dh}{dt}$$

$$f(a_1, h) \approx f(\bar{a}_1, \bar{h}) + \left. \frac{\partial f}{\partial a_1} \Delta a_1 \right|_{(\bar{a}_1, \bar{h})} + \left. \frac{\partial f}{\partial h} \Delta h \right|_{(\bar{a}_1, \bar{h})}$$

$$\Delta a_1 = a_1 - \bar{a}_1$$

$$\Delta h = h - \bar{h}$$

$$f(a_1, h) \approx (K_1 \bar{a}_1) - K_2 a_2 \sqrt{2g\bar{h}} + K_1 \Delta a_1 - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{h}}} \Delta h$$

$$f(a_1, h) \approx \left. \frac{A dh}{3 dt} \right|_{(\bar{a}_1, \bar{h})} + K_1 \Delta a_1 - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{h}}} \Delta h$$

$$\left. \frac{A dh}{3 dt} - \frac{A dh}{3 dt} \right|_{(\bar{a}_1, \bar{h})} \approx K_1 \Delta a_1 - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{h}}} \Delta h$$

$$\left. \frac{A dh}{3 dt} - \frac{A dh}{3 dt} \right|_{(\bar{a}_1, \bar{h})} \approx K_1 \Delta a_1 - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{h}}} \Delta h$$

$$\frac{A d\Delta h}{3 dt} \approx K_1 \Delta a_1 - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{h}}} \Delta h$$

$$\frac{A}{3} sH(s) = K_1 a_1(s) - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{h}}} h(s)$$

Función de transferencia de relación de nivel de yogurt con la apertura de la válvula de entrada

$$\frac{H(s)}{a_1(s)} = \frac{K_1}{\frac{A}{3}s + \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{h}}}} \quad (\text{Ec 95-3})$$

$$\frac{H(s)}{a_1(s)} = \frac{0.0108}{0.042s + \frac{(0.00168)(0.20)(\sqrt{2(9.8)})}{2\sqrt{0.40}}}$$

$$\frac{H(s)}{a_1(s)} = \frac{0.2571}{s + 0.028}$$

Simulación de la función de transferencia para nivel de la tolva

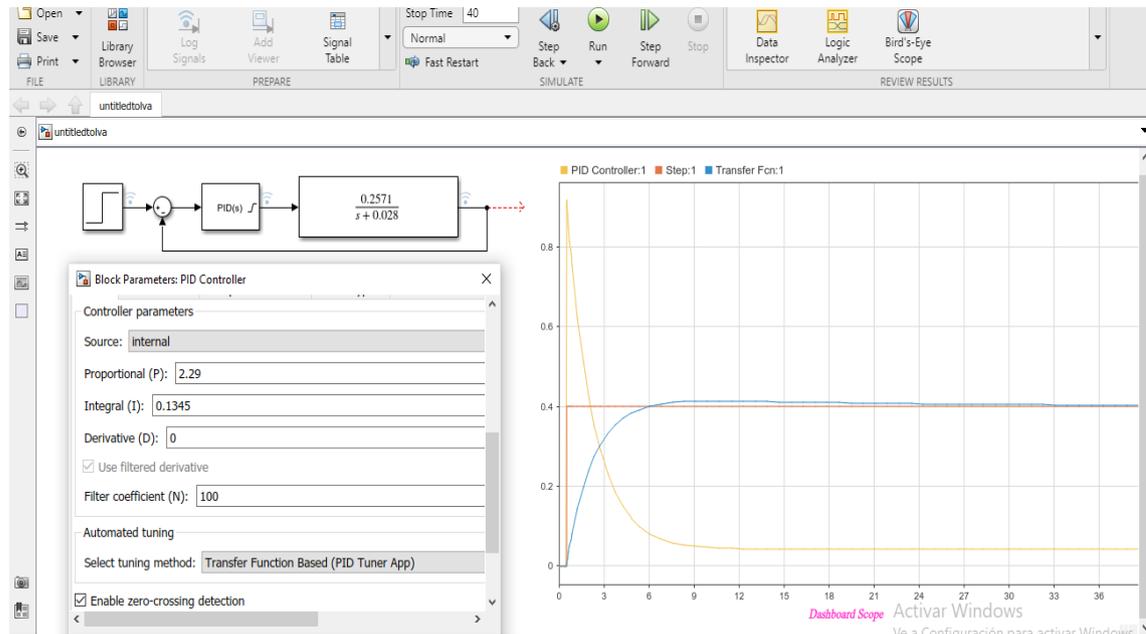


Figura 17-3: Simulación del lazo de control de nivel en una tolva en función de la apertura de la válvula de entrada

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

3.7. Validación

La validación del presente Trabajo de Integración Curricular se lo hizo mediante la obtención de los modelos matemáticos y su linealización mediante funciones de transferencia, partiendo de balances de masa y energía y el comportamiento que representan los subprocesos de la línea de envasado en la producción de yogurt y su concordancia al realizar la simulación obtenida con los resultados de las mismas, en el que se pudo analizar el comportamiento de los procesos los cuales debido a que las condiciones utilizadas para su diseño y modelación se obtuvo bajas perturbaciones para llegar al punto de referencia. Además, realizando un control mediante la manipulación de las constantes Proporcional, Integral y Derivativa se pudo minimizar el tiempo en el que se logrará llegar a las condiciones requeridas para el proceso y se pueda maximizar la producción y el uso de tiempo para la misma mediante el control semiautomático que servirá de soporte de futuras automatizaciones para la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. Cabe mencionar que para la simulación se hizo uso del software MATLAB mediante su herramienta SIMULINK ya que permite el desarrollo de simulación de lazos de control de cualquier tipo de proceso sin condicionar el flujo de trabajo si no que al tener claro las condiciones al modelar el sistema están implícitamente en la ecuación a simular.

CAPÍTULO IV

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1. Análisis del costo de automatización del proceso

4.1.1. Recursos materiales de inversión

Tabla 1-4: Costo de Recursos materiales

RECURSO MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
Sensor de temperatura de líquidos	1	8	8
Actuador neumático para válvula de globo	1	110	110
Bomba centrífuga serie 200	1	450	350
Manguera PVC sanitaria anillada	6 m	15	90
Abrazaderas sanitarias	7	15	105
Sensor de nivel ultrasónico	1	10	10
Actuador neumático para válvula de mariposa	1	70	70
Controlador de temperatura digital	1	30	30
Termocupla	2	10	20
Raspberry pi	3	50	150
Pantalla HDMI para Raspberry pi	2	105	210
Estructuras de almacenamiento de componentes de control	6	20-40	200
Cables	-	150	150
TOTAL			\$ 1503

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

4.1.2. Recursos humanos

Tabla 2-4: Costo de Recursos Humanos

ACTIVIDAD	REMUNERACIÓN \$
Programador	450
Técnico de instalación	400
TOTAL	850

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

4.1.3. Costo total

Tabla 3-4: Costo total de inversión de Recursos

RECURSO	TOTAL INVERSIÓN \$
Material	1503
Humano	850
TOTAL	2353

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

El valor total del análisis de costos muestra una cifra que puede ser considerada por la empresa, debido a que con la implementación de las automatizaciones les permitirá maximizar la producción y el uso de tiempo en comparación con el proceso que utilizan regularmente, además de que el control del proceso permite que se haga uso de toda la materia prima e insumos entregando beneficios económicos y ambientales.

4.2. Cronograma del Trabajo de Integración Curricular

Tabla 4-4: Cronograma del proyecto

ACTIVIDAD	MESES																							
	NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL			
	SEMANAS																							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica																								
Elaboración del anteproyecto																								
Determinación de variables																								
Obtención de datos experimentales																								
Diseño, modelado y control																								
Validación																								
Redacción del trabajo final																								
Análisis de costos																								
Revisión y correcciones del documento final																								
Auditoria académica																								
Defensa de los resultados																								

Realizado por: Campaña, Jessica 2021.

4.3. Resultados

Para el diseño de la línea de envasado se hizo necesario encontrar las dimensiones y especificaciones adecuadas de grado alimentario y sanitario por lo que en las tablas (5-4, 6-4 y 7-4) se detalla los valores con los que se basó para las encontrar los accesorios y equipos que se ajuste a los requerimientos del proceso en lo que la Industria de Lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. puede usar como referencia para futuras automatizaciones en la empresa y maximizar la producción y el uso de tiempo y materia prima.

La modelación de los subprocesos más importantes se lo hizo a partir de las condiciones de operación para producción de yogurt tanto experimentales como las obtenidas a partir del dimensionamiento con el fin de obtener ecuaciones que reflejen el comportamiento de cada sistema y poder aplicar un control automático con los parámetros detallados en la Tabla 8-4 los que al ser insertados en el controlador de nivel y de temperatura y puedan enviar señales neumáticas para regular la apertura de las válvulas de control y para el nivel de tanque de distribución por medio del tiempo conocer la altura de nivel del líquido que ingresa y saber en qué momento se puede apagar la bomba.

Tabla 5-4: Condiciones de operación para producción de yogurt

	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Tratamiento térmico de la leche	Corriente de alimentación	0.092	kg/s
	Corriente de condensado	0.091	kg/s
	Corriente de evaporado	0.001	kg/s
Homogenización	Flujo de vapor	0.019	kg/s
	Flujo de calor	148622.94	kJ/h
	Gradiente de temperatura	70.67	K
	Coefficiente de transferencia de calor	715.33	kJ/hm ² K
Pasteurización	Flujo de vapor	0.013	kg/s
	Flujo de calor	101689.98	kJ/h
	Gradiente de temperatura	47.67	K
	Coefficiente de transferencia de calor	725.58	kJ/hm ² K
Producción de yogurt	Corriente de alimentación	0.024	kg/s
	Corriente de condensado	0.023	kg/s
	Corriente de evaporado	0.001	kg/s
	Fracción parcial de agua	0.854	Adimensional
	Fracción parcial de solidos totales	0.142	Adimensional

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Tabla 6-4: Dimensiones de operación de la línea de envasado

	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Marmita	Volumen total de la marmita	0.614	m^3
	Volumen total de la chaqueta	0.163	m^3
	Espesor de las pareces	0.00476	m
	Área de transferencia de calor	2.94	m^2
	Longitud del agitador	0.735	m
	Diámetro del eje del agitador	0.080	m
	Diámetro del agitador	0.756	m
	Distancia entre el tanque del agitador	0.025	m
	Potencia del motor reductor	0.38	HP
	Coefficiente de caudal de la válvula de control	23.45	gpm/\sqrt{psi}
Línea de succión y descarga	Energía de la bomba	5.36	m
	Velocidad del fluido	4.93	m/s
	Perdidas por fricción	1.27	m
	Potencia de la bomba	0.97	HP
Tanque de distribución	Volumen	0.250	m^3
	Capacidad	2.5	m^2
Tolva	Área	0.126	m^2
	Volumen	0.020	m^3
	Coefficiente de caudal de entrada	63.15	$m^3/hbar$
	Coefficiente de caudal de salida	6.055	$m^3/hbar$
	Apertura de válvula de entrada	60	%
	Apertura de válvula de salida	20	%

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Tabla 7-4: Especificaciones de operación de la línea de envasado

	PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Marmita	Tubería de entrada y de descarga	Material: acero inoxidable AISI 316 Diámetro interno: 2 pulgadas Accesorios: uniones y T del mismo material
	Paredes de la marmita	Material: Acero inoxidable AISI 304 Espesor: 4.76 mm
	Sistema de agitación	Motorreductor: floculador de dos palas Potencia: >0.18 kW
	Válvulas para fluido calentamiento	Válvula de control globo
	Válvula para fluido enfriamiento	Válvula de globo
	Válvula de salida de agua	Válvula de globo
	Válvula de descarga	Válvula de mariposa

Línea de succión y de descarga	Tubería	Tipo: sanitaria Diámetro interno: 2 pulg Características: de PVC con refuerzos helicoidales
	Accesorios	Abrazaderas sanitarias
	Bomba	Tipo: Serie 200 Potencia: 1HP Tipo de motor: monofásica y trifásica
Tanque de distribución	Paredes del tanque de distribución	Material: acero inoxidable AISI 316
	Accesorios	Abrazaderas sanitarias
Tolva	Paredes de la tolva	Material: acero inoxidable AISI 316
	Válvula de entrada	Válvula mariposa de control
	Válvula de salida	Válvula mariposa
	Potencia de la bomba	0.97
Termosellado	Volumen	0.250
	Capacidad	2.5

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

Tabla 8-4: Resultados de la simulación de lazos de control

SUBPROCESO	PARÁMETRO OBTENIDO	VALOR
Temperatura en relación de flujo de vapor para homogenización en marmita	Constante proporcional	8
	Constante integral	0
	Constante derivativa	0
Temperatura en relación de flujo de vapor para pasteurización en marmita	Constante proporcional	10
	Constante integral	0
	Constante derivativa	0
Línea de succión y descarga- nivel de tanque de distribución	Tiempo para alcanzar el nivel deseado	70 s
Nivel en la tolva en relación a la apertura de la válvula de entrada	Constante proporcional	2.29
	Constante integral	0.1345
	Constante derivativa	0

Realizado por: Campaña Martínez, Jessica, 2021.

4.2. Análisis y discusión de resultados

El uso de tiempo necesario para el proceso es en lo que la automatización aportará para maximización y aprovechamiento del mismo, en el tratamiento térmico con el sistema convencional se requiere un previo calentamiento de agua para tener una referencia de temperaturas en el que toma lapsos de tiempo de hasta una hora para dicha actividad realizada por el técnico encargado, con la aplicación de un control proporcional con constantes de 1.5 y 10 en homogenización y pasteurización respectivamente mediante un sistema de sensor, controlador y punto de referencia en el lapso de 8 a 10 segundos con la apertura máxima de la válvula se lograra llegar al punto adecuado de temperatura para cada tratamiento térmico y se mantenga un flujo constante en la etapa estable, para el proceso de enfriamiento post-pasteurización se requiere de un control manual para la apertura y cierre de la válvula en el que es necesario un tiempo máximo de 10 minutos aproximadamente para luego permanecer cuatro horas en el proceso de inoculación, incubación y reposo en los que no requiere de control.

Debido a que la selección de equipos se hizo con las condiciones específicas para el volumen de yogurt que se usa en un lote de producción el que se distribuye para cuatro sabores, se necesita que la base del yogurt llegue a un tanque de distribución donde se añade saborizantes y colorantes el cual se lo hace manualmente mediante la medición con recipientes de 40 litros que toma un lapso de 10 a 15 minutos y gran esfuerzo físico ya que este se encuentra a una altura de 2,80 metros, proceso en el que mediante la aplicación de tubería y una bomba encargada de la succión y descarga le llevara 70 segundos aproximadamente para llegar al nivel deseado tiempo evaluado mediante simulación del modelo matemático del sistema en estado estacionario.

Una vez teniendo el sabor requerido pasa a una tolva en la que mediante controladores proporcional e integral con constantes de 2.29 y 0.1345 permite que la apertura de la válvula de entrada pueda controlar el nivel del líquido en un tiempo de 24 segundos para evitar derrames y que haya una salida de flujo constante por una válvula de apertura fija, para dar paso a la dosificación que es un proceso automatizado con un mecanismo de flujo pistón para el llenado por gravedad y continuar con el sellado mediante mordazas calentadas por niquelina, el proceso controlado llevaría a producir fundas de 90 ml a partir de 120 L en 22 minutos aproximadamente que manualmente lleva alrededor una 40 minutos.

Haciendo un total y comparando el tiempo utilizado a partir de que la base de yogurt está listo para continuar en la línea de envasado hay una diferencia de cuarenta y cinco minutos con ventajas para el proceso controlado sobre el manual por lo que al tener que producir 480 litros por lote en 3 horas

se conseguiría la producción de 5330 fundas tipo bolo de yogurt que normalmente toma 6 horas, entregando beneficios económicos a la empresa al requerir menos trabajo manual.

En función de los parámetros de control en los subprocesos de homogenización y pasteurización se hizo necesario solo el proporcional, debido a que en la etapa transitoria no existió muchas perturbaciones pues para el flujo de vapor de acuerdo al diseño se especificó una caldera con una producción casi puntual para el desarrollo de los procesos en el que la válvula de entrada de vapor inicialmente tiene una abertura completa hasta llegar al punto de referencia para continuar en la zona de estado estable .

Para el control de nivel en la tolva se necesitó un ajuste para los parámetros proporcional e integral a causa de que como la apertura inicial utilizada mediante diseño es mayor a la de salida creando una perturbación por lo que mediante el control proporcional envía una señal que hace que disminuya la abertura de la válvula, no obstante se tiene un pequeño error en el estado estacionario que es controlado a partir del parámetro integral

CONCLUSIONES

Se diseñó, modeló y controló la línea de envasado para la producción de yogurt en la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. mediante la obtención de las condiciones específicas de la planta y la comparación con especificaciones de tipo comercial que se ajusten a los requerimientos en el proceso para el diseño de una línea de flujo continua y a partir de dichos valores obtener modelos matemáticos que representen el comportamiento tanto dinámico como estacionario de los subprocesos más importantes y obtener los parámetros de control automático necesarios para estabilizar el proceso mediante simulación de funciones de transferencia obtenidas a partir de las condiciones obtenidas del diseño.

Se diseñó la línea de envasado a partir de condiciones y requerimientos específicos de la industria de lácteos CENTINELA DEL NORTE S.A. base necesaria para la obtención de ecuaciones que representen el comportamiento dinámico de los procesos haciendo uso de balances de masa y energía y variables que intervienen y mediante linealización permiten la obtención del modelo matemático en estado estacionario.

Se simuló los lazos de control de los subprocesos más importantes en la línea de envasado en los que la salida y variable a controlar fueron la temperatura en el tratamiento térmico de la leche para la producción de yogurt y el nivel de la tolva que permite el paso a la dosificación y sellado de envases, en relación a variables de entrada como el flujo de vapor que entra a la chaqueta y la apertura de la válvula de entrada respectivamente obteniendo parámetros de control de $K_p=1.5$ y $K_p=10$ para la temperatura en homogenización y pasteurización de la leche correspondientemente y $K_p=2.98$ y $K_i=0.1345$ para el control de nivel de la tolva permitiendo que los subprocesos se estabilicen de 8 a 24 segundos representando grandes ventajas ante el proceso convencional.

Se documentó los diseños mediante diagramas P&ID en los que se representó la manera en la que se puede controlar los subprocesos y los instrumentos necesarios en los que en general para el control de temperatura y de nivel intervienen los sensores que mediante transmisores envían señales eléctricas a los controladores indicadores que convierten las señales eléctricas en neumáticas para manipular las válvulas que permitan controlar la temperatura y el nivel mediante el flujo de entrada de vapor en el caso de la marmita y de yogurt en la tolva.

RECOMENDACIONES

El diseño, modelación y control de una línea de envasado en la producción de yogurt se enfoca en encontrar las especificaciones adecuadas en el que con el cambio de condiciones pueda ser base para la automatización en industrias de lácteos de mediana escala cuyo propósito se basa en la maximización del uso del tiempo y de la producción obtenida mediante el control y estabilización de las variables que intervienen en los procesos.

El presente de trabajo se enfocó en un diseño que pueda ser válido en varias empresas de industria alimentaria o que tenga las condiciones de trabajo similares con respecto a los equipos o a las especificaciones adecuadas y el modelamiento y control para cualquier industria que haga uso de los equipos con las mismas características.

La simulación de los lazos de control detallados en el presente trabajo pueden servir como sustento tanto a nivel industrial como educativo ya que se hizo uso de un software libre y exportable a softwares gratuitos que con la implementación de nuevas condiciones se dé la puesta en marcha de innovaciones en la industria a partir de la obtención de los modelos matemáticos en estado estacionario de los procesos con condiciones específicas y que sirva como una propuesta tecnológica con el objetivo de maximizar la producción local como nacional.

BIBLIOGRAFÍA

BONILLA NOVILLO, S.M., ACOSTA VELARDE, J.I., MIÑO CASCANTE, G.E., NOGUERA CUNDAR, A.J. y MORENO BARRIGA, M.A., 2019. Operaciones Unitarias: Enfocadas a los evaporadores en la elaboración de productos de consumo humano. *Ciencia Digital*, vol. 3, no. 2, pp. 548-560. ISSN 2602-8085. DOI <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.451>.

BOTERO HERRERA, F.J. y CASTAÑEDA HEREDIA, L.F., 2006. Estado futuro de bombas centrífugas. Metodología de diagnóstico. *Universidad EAFIT*, vol. 42, pp. 89-102.

BOXER INDIA, 2017. PVC Food Grade Hose. [en línea]. Disponible en: <https://www.boxerindia.com/pvc-food-grade-hoses.html>.

BRAY, 2012. Resilient Seated Butterfly Valves. [en línea]. Disponible en: https://www.bray.com/docs/default-source/manuals-guides/technical-manuals/tm-1050_resilient_08_16_19.pdf?sfvrsn=10c03eb3_16.

BRAY CONTROLS, 2012. Series 20/21 Resilient Seated Valve. [en línea]. Disponible en: <http://cca54520de545be69264-cd6844ebeaebf35ce76089ee04af4af7.r83.cf2.rackcdn.com/S20-21RecSpec%28Detail%29.pdf>.

CAIPA ROLDÁN, J.F., SALAMANCA, J.M. y RODRÍGUEZ HERRERA, J.L., 2010. Control digital de nivel para sistema de tanques interconectados mediante servo-válvula. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, vol. 10, no. 1, pp. 55-63. ISSN 2422-4324.

CÁRDENAS CASANOVA, A., ALVITES GUTIERREZ, H., VALLADARES CASTILLO, G., OBREGÓN DOMÍNGUEZ, J. y VÁSQUEZ-VILLALOBOS, V., 2013. Optimization by mixtures design of syneresis and sensory texture of natural smoothie yogurt using three types of hydrocolloids. *Agroindustrial science*, vol. 3, pp. 35-40. ISSN 2226-2989. DOI 10.17268/agroind.science.2013.01.04.

CASTILLO, D.E., SANCHEZ- GONZALEZ, J. y SANTANDER PUBLIO, C., 2012. Efecto de la concentración de sólidos totales de la leche entera y tipo de cultivo comercial en las características reológicas del yogurt natural tipo batido. *Agroindustrial Science*, vol. 2.

ÇENGEL, Y.A. y BOLES, M.A., 2009. *Cengel Termondinamica 8*. S.l.: s.n. ISBN 9786071512819.
CEXCO, [sin fecha]. Válvula de mariposa soldar. [en línea]. Disponible en: [http://www.cexco.es/v/3/Válvulas sanitarias/Válvulas de mariposa/1--INOXVALVE/Válvula de mariposa soldar/156.aspx](http://www.cexco.es/v/3/Válvulas_sanitarias/Válvulas_de_mariposa/1--INOXVALVE/Válvula_de_mariposa_soldar/156.aspx).

CHAMORRO R, C.D. y MENESES G, L.D., 2008. Diseño de un banco de pruebas para el control de temperatura y flujo. *El Hombre y la Máquina*, no. 31, pp. 130-145. ISSN 0121-0777.

DIAZ-CASTAÑEDA, J.L. y ALVAREZ-ZAPATA, H.D., 2014. Una plataforma en emso ® para modelar pérdidas por fricción en plantas de procesos. *Lámpsakos* [en línea], vol. 12, pp. 79-91. Disponible en: <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/1348/1263>.

DÍAZ, E.A., 2007. Selección de máquinas y equipos. *Instalaciones frigoríficas* [en línea]. S.l.: s.n., pp. 53. ISBN 978-84-690-8583-7. Disponible en: <https://www.slideshare.net/droiartzun/seleccin-de-equipos-de-refrigeracin>.

DÍAZ F., L.E., MUSTAFÁ I, Y. y RÍOS A., L.G., 2006. Construcción y puesta en marcha de un banco de cavitación para bombas centrífugas pequeñas. *Scientia et Technica*, vol. 1, no. 30, pp. 125-130. ISSN 0122-1701. DOI 10.22517/23447214.6499.

DISTRAL, 2018. CATÁLOGO DE CALDERAS PIROTUBULARES. [en línea]. Disponible en: http://www.delgadoyasociados.net/images/Distral_2019.pdf.

EMERSON, 2019. *Guía de válvulas de control* [en línea]. Quinta. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.emerson.com/documents/automation/gu%EDa-de-v%El1vulas-de%A0control-control-valve-handbook-es-5459932.pdf>.

FLEXSAN™, 2008. Food Grade Rubber Hose. [en línea]. Disponible en: <https://www.pureflex.com/PDF/FlexSan.pdf>.

GRAINGER, 2021. Válvula de Mariposa,Acero Inox.,2-1/2". [en línea], Disponible en: <https://www.grainger.com.mx/producto/GRAINGER-APPROVED-Válvula-de-Mariposa%2CAcero-Inox-%2C2-1-2%22/p/14N264>.

GUILLÉN, M.L., DULHOSTE, J.-F., SANTOS, R. y BESANÇON, G., 2015. Modelado de flujo en tuberías para detectar y localizar fugas utilizando un enfoque de observadores de estado. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 38, no. 1, pp. 12-19.

GUTIÉRREZ HINESTROZA, M. y ITURRALDE KURE, S.A., 2017. *Fundamentos básicos de Instrumentación y Control*. S.l.: s.n. ISBN 9789942860378.

HERNÁNDEZ, A., ALFARO, I. y ARRIETA, R., 2003. *Microbiología Industrial* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-9968-31-255-4. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=KFq4oEQQjdEC&printsec=frontcover&rview=1#v=onepage&q&f=false>.

HUERTAS PARRA, R.A., 2012. Yogur en la salud humana. [en línea], vol. 9, no. 2, pp. 162-177. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4318771>.

INEN 009, 2008. LECHE CRUDA. REQUISITOS. [en línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/9.pdf>.

INEN 2395, 2011. LECHE FERMENTADAS. REQUISITOS. [en línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-2395-2r.pdf>.

INTRANOX, 2018. Tanques de Leche. [en línea]. Disponible en: <https://www.intranox.com/tanques-de-almacenamiento/tanques-de-leche>.

KIMRAY. INC, 2020. ¿Qué es el coeficiente de flujo de la válvula (Cv)? [en línea]. Disponible en: <https://kimray.com/training/what-valve-flow-coefficient-cv>.

LEÓN, J.M., [sin fecha]. *Construcción Tanques De Almacenamiento* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.inglesa.com.mx/books/DYCTA.PDF>.

LUCIDCHART, 2018. Qué son los diagramas de tuberías e instrumentación. [en línea]. Disponible en: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-son-los-diagramas-de-tuberias-e-instrumentacion>.

MATHWORKS, 2020. Modelización y simulación de sistemas. [en línea]. Disponible en: <https://es.mathworks.com/solutions/system-design-simulation.html>.

MCCABE, W.L., SMITH, J.C. y HARRIOT, P., 1991. *Operaciones unitarias en ingeniería química* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 0-07-044828-0. Disponible en: <https://ingenieriapetroquimicaunefazulia.files.wordpress.com/2011/05/operaciones-unitarias-a.pdf>.

OCTAL, 2020. Tubería de Acero Inoxidable 304 y 316. [en línea]. Disponible en: <https://www.octalacero.com/tuberia-de-acero-inoxidable-304-316>.

PEREZ R, A., PEÑA T, E. y ALJIBES D, P., 2003. Modelación , simulación y control de un reactor exotérmico por lotes utilizando Matlab – Simulink Modeling , simulation and control of an exothermic batch reactor using Matlab – Simulink. *INGENIERÍA UC*, vol. 10, no. 2, pp. 7-17.

POLIHULES, [sin fecha]. MANGUERA DE FDA USDA 3-A SUCCIÓN DE LÍQUIDOS GRADO ALIMENTICIO DE PVC JASON 3010. [en línea]. Disponible en: <https://polihules.com/manguera-de-fda-usda-3-a-succion-de-liquidos-grado-alimenticio-de-pvc-jason-3010>.

QUEVEDO, W.G. y NAVARRETE, D.A., 2014. *Implementación de una maquina selladura automatizada para funda de galonera de agua 40 x 23 cm, elaborada en acero Blanco con aluminio y resistencia permanente*. S.l.: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO FACULTAD.

RODRÍGUEZ-BERNAL, J.M., SERNA-JIMÉNEZ, J.A., URIBE-BOHÓRQUEZ, M.A., KLOTZ, B. y QUINTANILLA-CARVAJAL, M.X., 2014. Aplicación de la metodología de la superficie de respuesta para evaluar el efecto de la concentración de azúcar y de cultivos iniciadores comerciales sobre la cinética de fermentación de yogurt. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* [en línea], vol. 13, no. 1, pp. 213-225. ISSN 16652738. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v13n1/v13n1a17.pdf>.

RODRÍGUEZ UMAÑA, L.A., 2013. Modelo del control de nivel y caudal de líquido en un depósito cilíndrico usando la herramienta Simulink de Matlab. *Revista de la Escuela de Ingenierías y Arquitectura* [en línea], vol. 9, no. 1, pp. 7-12. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4762998>.

SECRETARÍA NACIONAL DE ADMINISTRACION PÚBLICA, 2015. Plan Nacional de Gobierno Electrónico, Registro Oficial Edición Especial. [en línea]. Disponible en: [http://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/abril/Plan Nacional de Gobierno Electrónico, Registro Oficial Edición Especial , 28 de abril de 2015.pdf](http://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/abril/Plan_Nacional_de_Gobierno_Electrónico_Registro_Oficial_Edición_Especial_28_de_abril_de_2015.pdf).

SECURITY OR SAFETY CONTROLLER & MORE, 2021. Control de Temperatura Digital. [en línea]. Disponible en: <https://www.ssint.com.mx/brochure/AX.pdf>.

SILVA, F., 2015. Marco Legal del Software Libre en Ecuador. *ASLE* [en línea]. Disponible en: <https://www.asle.ec/marco-legal-del-softwarelibre-en-ecuador/>.

SMITH, C.A. y CORRIPIO, A.B., 1991. *CARLOS A . SMITH* [en línea]. Primera. México, D.F: s.n. ISBN 9681837916. Disponible en: https://www.academia.edu/11730887/Control_Automatico_de_Procesos_Teoria_y_Practica_SMITH_CORRIPIO.

SMITH, C.A. y CORRIPIO, A.B., 2014. *CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS: Teoría y Práctica*. Segunda ed. S.l.: s.n. ISBN 978-607-05-0721-2.

SPX/TERMOTERMIPOS, 2014. Serie 200. Bombas Centrífugas. [en línea]. Disponible en: <https://www.termotermipos.cl/public/backend/img/839038333brochure-espanol-wcb-serie-200-termotermipos.pdf>.

SPX FLOW, 2018. Serie 200 Bomba centrífuga. [en línea]. Disponible en: <https://pdf.directindustry.es/pdf/waukesha-cherry-burrell/serie-200-bombas-centrifugas/24565-820191.html>.

TECNILAC, 2018. Plantas de producción. [en línea]. Disponible en: <http://www.tecnilacwillgo.com/catalogo>.

TERÁN, G., ALBA, N., ESTRADA, F.J. y MOLINA, J., 2016. Diseño robusto de parámetros para el proceso de sellado de bolsas Tyvek® 1073b – PET en máquina de sellado continuo. *Cultura Científica y Tecnológica*, vol. 0, no. 54, pp. 152-163. ISSN 2007-0411.

TIMSA, 2016. FLOCULADORES SERIE FET (Floculadores de dos palas). [en línea]. Disponible en: <https://www.timsa.com/wp-content/uploads/PDF/floculador-fet-2.pdf>.

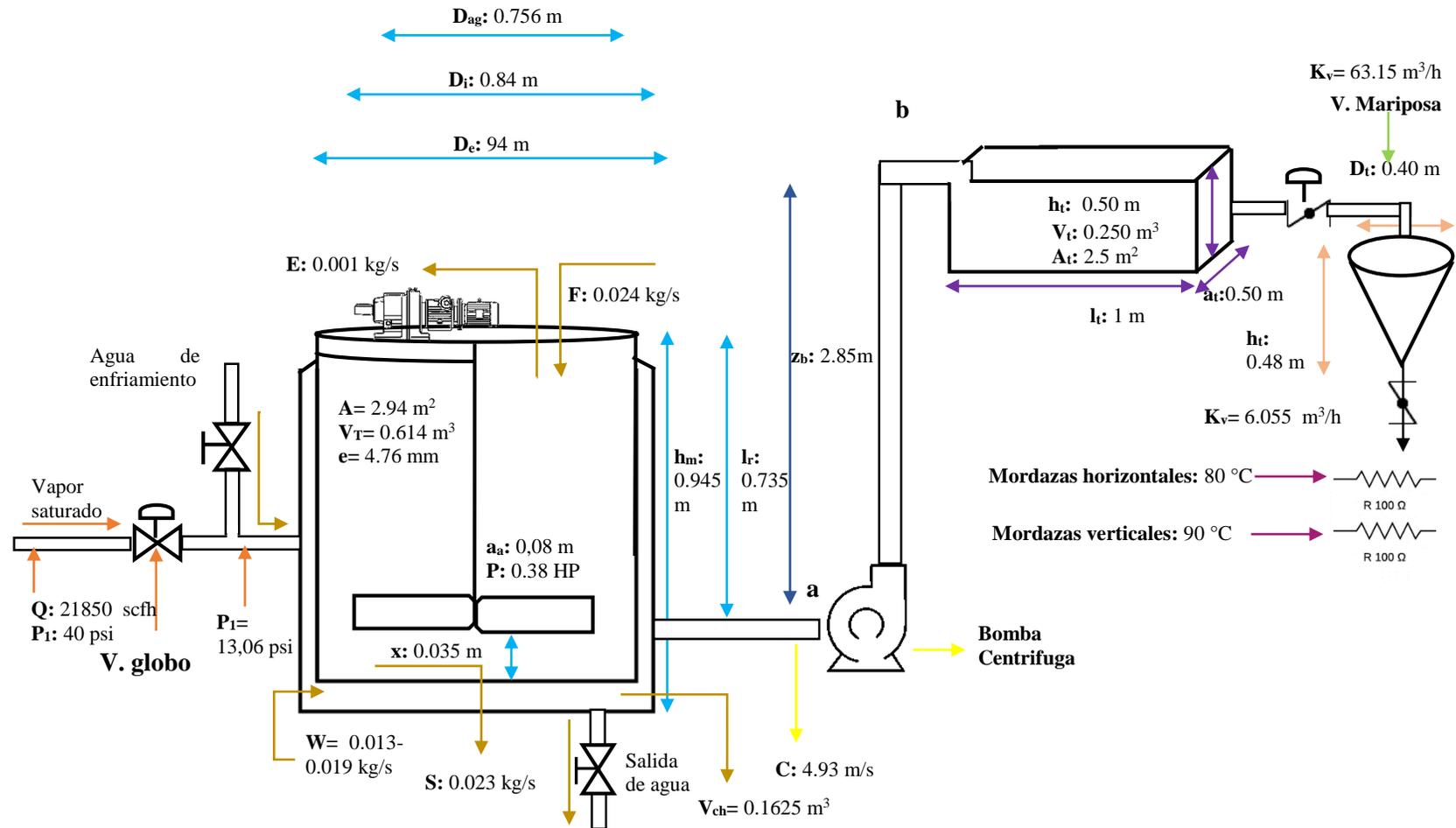
URDANETA, R., BORREGALES, C., BULLON, J. y CARDENAS, A., 2004. Efecto de la homogenización de la leche en el rendimiento y en las propiedades de los quesos madurados de pasta blanda. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* [en línea], vol. 2, no. 2, pp. 75-82. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702004000200002.

VILANOV, R. y ALFARO, V.M., 2011. control PID robusto: Una visión panorámica. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, vol. 8, no. 3, pp. 141-158. ISSN 16977920. DOI 10.1016/j.riai.2011.06.003.

WEILL, R., 2017. *El yogur, un alimento milenario a la luz del siglo xxi*. Primera. Buenos Aires: s.n. ISBN 9789872803346.

ANEXOS

ANEXO A: DIAGRAMA DE DIMENSIONES Y CONDICIONES DEL PROCESO



ANEXO B: FICHA TÉCNICA DE ANALISIS FISICO QUIMICO DE YOGURT DE LA INDUSTRIA DE LACTEOS CENTINELA DEL NORTE S.A.



SEIDLaboratory CÍA. LTDA.

SERVICIO INTEGRAL DE LABORATORIO

www.seidlaboratory.com.ec



Certificación N° 2107 Q1/02

LABORATORIO DE AFIDELIDAD BAJA FRECUENCIA EN SAE 12926

PRE – INFORME DE ENSAYO NR.

FICHA DE ESTABILIDAD

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
CLIENTE:	ELIATIN QUEMAN BETTY EDILMA		
DIRECCIÓN:	CALLE ATAHUALPA E INTERSECCIÓN PANAMERICANA, PARROQUIA JULIO ANDRADE		
TIPO DE MUESTRA:	YOGURT SEMIDESCREMADO SABOR A FRESA, MORA, DURAZNO, GUANÁBANA "YOGUTIN"		
TIPO DE PRODUCTO:	YOGURT SEMIDESCREMADO SABOR A FRESA, MORA, DURAZNO, GUANÁBANA "YOGUTIN"		
FECHA DE ELABORACIÓN:	DS 12 2020	FECHA DE CADUCIDAD:	04/01/2021
LOTE:	2021801	CONTENIDO DECLARADO:	90g
MATERIAL DE ENVASE:	FUNDA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD, IMPRESO	FORMA DE CONSERVACIÓN:	REFRIGERACIÓN

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
CÓDIGO LABORATORIO:	210177-1	CONTENIDO ENCONTRADO:	90g
FECHA DE RECEPCIÓN:	20/12/03	FECHA INICIO ENSAYO:	20/12/03
CONDICIONES AMBIENTALES DE LEGADA DE LA MUESTRA:	L Temperatura 4.1°C	NUESTRO es responsabilidad del cliente y los resultados aplican a la muestra entregada al cliente tal como se recibió.	

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE REFRIGERACIÓN			
CONDICIONES DE LA PRUEBA			
TEMPERATURA 4 °C +/- 2		HUMEDAD RELATIVA 30 % +/- 2	
FECHA:		20/12/2020	
CÓDIGO DE LABORATORIO:		210177-2	
ENSAYOS FÍSICO QUÍMICOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
Acidez F=9	M. INTERNO	%	0,82
Densidad	M. INTERNO	g/ml	1,0326
Viscosidad	M. INTERNO	g/cm.s	0,414
ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
Recuento total de coliformes	SEM-CT/ (AOAC191.14)	UFC/g	<10
E. coli	SEM-CT/ (AOAC191.14)	UFC/g	<10
Mohos y Levaduras*	AOAC 2014.05	UPM/g	<10
Bacterias probióticas*	m. interno	UFC/g	35x10 ⁶
Suma de microorganismos	m. interno	UFC/g	13x10 ⁶
ENSAYOS ORGANOLEPTICOS*	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
Color	SENSORIAL	---	Rosado claro
Olor	SENSORIAL	---	Característico
Sabor	SENSORIAL	---	Característico
Textura	SENSORIAL	---	Ligeramente denso

Los ensayos marcados con () NO están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE y A2LA*
Laboratorio de ensayos acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 1C 05.001

Las conclusiones que se indican a continuación están FUERA del alcance de acreditación del SAE y A2LA

Conclusiones: una vez realizado los ensayos F.Q. Microbiológicos y Organolépticos al producto verificamos que mantiene sus características y por lo tanto su periodo de vida útil es de 30 Días a partir de la fecha de elaboración. Forma de conservación: refrigeración.

Datos tomados del cuaderno de periodo de vida útil 23 Pag. 246A/ MB 04-09

Incertidumbre	Incertidumbre	La incertidumbre expandida reportada está basada en una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura K=2 proporcionando un nivel de confianza aproximadamente un 95%
Parámetro microbiológico	Incertidumbre	
Aerobios	Usen= 0.13; A=(log CFU/g); U=(Potencia)(10.4)	
Coliformes y e. coli	Usen= 0.13; A=(log CFU/g); U=(Potencia)(10.4)	

Los resultados expresados arriba tienen validez solo para la muestra analizada en condiciones específicas no siendo extensivo a cualquier lote
El laboratorio no se responsabiliza de la muestra respecto a su origen y sitio del cual fue tomado
Este informe será reproducido, excepto en su totalidad con la aprobación del Director técnico

Tiempo de almacenamiento de informes: cinco años a partir de la fecha de ingreso de la muestra

Atentamente

FECHA DE EMISIÓN

SEIDLaboratory Cía. Ltda. es una empresa que opera en el sector de servicios de laboratorio de alimentos y bebidas. El laboratorio está acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 1C 05.001. El laboratorio no se responsabiliza de la muestra respecto a su origen y sitio del cual fue tomado. Este informe será reproducido, excepto en su totalidad con la aprobación del Director técnico.



ANEXO C: TABLA DE PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA SATURADA

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P kPa	Temp. sat., T _{sat} °C	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Líqu. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Líqu. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Líqu. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Fuente: (ÇENGEL y BOLES 2009).

ANEXO D: COEFICIENTES DE DIMENSIONAMIENTO REPRESENTATIVOS PARA CUERPOS DE VÁLVULA DE ESTILO GLOBO DE PUERTO ÚNICO

Tamaño de válvula (NPS)	Estilo del obturador de la válvula	Características de flujo	Diám. de puerto (in.)	Carrera nominal (in.)	C _v	F ₁	X ₁	F ₀
1/2	Guiado por poste	Igual porcentaje	0,38	0,50	2,41	0,90	0,54	0,61
3/4	Guiado por poste	Igual porcentaje	0,56	0,50	5,92	0,84	0,61	0,61
1	Micro-Form	Igual porcentaje	3/8	3/4	3,07	0,89	0,66	0,72
	---	---	1/2	3/4	4,91	0,93	0,80	0,67
	---	---	3/4	3/4	8,84	0,97	0,92	0,62
	Guiado por jaula	Lineal	1-5/16	3/4	20,6	0,84	0,64	0,34
1-1/2	Guiado por jaula	Igual porcentaje	1-5/16	3/4	17,2	0,88	0,67	0,38
	Micro-Form	Igual porcentaje	3/8	3/4	3,20	0,84	0,65	0,72
	---	---	1/2	3/4	5,18	0,91	0,71	0,67
	---	---	3/4	3/4	10,2	0,92	0,80	0,62
2	Guiado por jaula	Lineal	1-7/8	3/4	39,2	0,82	0,66	0,34
		Igual porcentaje	1-7/8	3/4	35,8	0,84	0,68	0,38
3	Guiado por jaula	Lineal	2-5/16	1-1/8	72,9	0,77	0,64	0,33
		Igual porcentaje	2-5/16	1-1/8	59,7	0,85	0,69	0,31
4	Guiado por jaula	Lineal	3-7/16	1-1/2	148	0,82	0,62	0,30
		Igual porcentaje	3-7/16	1-1/2	136	0,82	0,68	0,32
6	Guiado por jaula	Lineal	4-3/8	2	236	0,82	0,69	0,28
		Igual porcentaje	4-3/8	2	224	0,82	0,72	0,28
8	Guiado por jaula	Lineal	7	2	433	0,84	0,74	0,28
		Igual porcentaje	7	2	394	0,85	0,78	0,26
8	Guiado por jaula	Lineal	8	3	846	0,87	0,81	0,31
		Igual porcentaje	8	3	818	0,86	0,81	0,26

Fuente: (Emerson 2019, p.109).

**ANEXO E: COEFICIENTE DE CAUDAL DE UNA VÁLVULA DE MARIPOSA DE SERIE 20/21
EN FUNCIÓN DE LA APERTURA (POSICIÓN DEL DISCO)**

Valve Size mm	Disc Position (Degrees)								
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
25	0.087	0.865	2.595	5.190	9.515	18.165	31.140	48.440	52.765
40	0.173	1.730	5.190	9.515	22.490	43.250	75.255	111.585	127.155
50	0.779	6.055	13.840	23.355	38.925	63.145	106.395	148.780	211.060
65	0.865	9.515	21.625	37.195	61.415	99.475	173.865	268.150	379.735
80	1.730	13.840	30.275	53.630	88.230	142.725	250.850	422.120	597.715
100	3.460	24.220	54.495	95.150	157.430	254.310	445.475	783.690	1,108.930
125	5.190	38.060	84.770	148.780	245.660	397.035	696.325	1,224.840	1,790.550
150	6.055	51.035	112.450	196.355	325.240	525.055	921.225	1,620.145	2,409.890
200	11.245	91.690	211.060	369.355	617.610	992.155	1,673.775	2,942.730	4,490.215
250	18.165	145.320	334.755	583.875	977.450	1,569.975	2,648.630	4,658.025	7,125.870
300	26.815	211.925	486.130	848.565	1,420.330	2,280.140	3,847.520	6,764.300	10,468.230
350	34.600	265.555	610.690	1,067.410	1,785.360	2,865.745	4,835.350	8,502.085	13,156.650
400	44.980	348.595	800.125	1,398.705	2,340.690	3,756.695	6,338.720	11,145.525	17,248.100
450	58.820	456.720	1,049.245	1,834.665	3,069.885	4,926.175	8,312.650	14,616.770	22,619.750
500	73.525	570.900	1,312.205	2,293.115	3,837.140	6,158.800	10,392.110	18,272.260	28,276.850

Fuente : (Bray 2012, p.17).



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 07 / 02 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Jessica Aracely Campaña Martínez</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.02.07
12:13:30 -05'00'



1819-DBRA-UTP-2021