



Universidad  
Nacional  
de Loja



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

## **FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

### **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Diseño de un pasteurizador de leche de 100 litros para  
la alimentación de terneros

Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del Título de Ingeniero  
Electromecánico.

#### **AUTOR:**

Santiago David Quirola Manchay

#### **DIRECTOR:**

Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR

2022

## **Certificación del trabajo de titulación**

Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes, Mg. Sc.

### **DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

#### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de titulación, en su proceso de investigación cuyo tema versa en: **“Diseño de un pasteurizador de leche de 100 litros para la alimentación de terneros”**, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado: **Santiago David Quirola Manchay**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Lugar y fecha: Loja, 26 de marzo del 2021



Firmado electrónicamente por:  
**CRISTIAN  
VINICIO ORTEGA  
REYES**

---

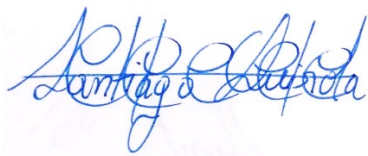
Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes, Mg. Sc.

### **DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **Autoría**

Yo, **Santiago David Quirola Manchay**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

### **Firma:**



**C.I.:** 1105149874

**Fecha:** 11 de mayo de 2022

**Correo electrónico:** sdquirolam@unl.edu.ec

**Teléfono-Celular:** 2326426 / 0994887810

**Carta de autorización del trabajo de titulación por parte del autor, para la consulta de reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo.**

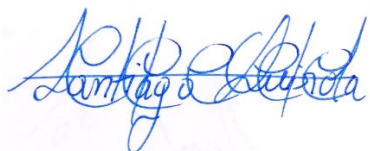
Yo, **Santiago David Quirola Manchay**, declaro ser autor del trabajo de titulación: **Diseño de un pasteurizado de leche de 100 litros para la alimentación de terneros**, como requisito para optar el grado de: **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tengan convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para la constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los once días del mes de mayo del dos mil veintidós.

**Firma:**



---

**Autor:** Santiago David Quirola Manchay

**Cedula:** 1105149874

**Correo electrónico:** sdquirolam@unl.edu.ec

**Teléfono-Celular:** 2326426 / 0994887810

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del trabajo de titulación:** Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes, Mg. Sc.

**Tribunal de Grado:**

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg. Sc. (presidente)

Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta, Mg. Sc.

Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, Mg. Sc.

### **Dedicatoria**

Este trabajo alcanzado se lo dedico en primer lugar a mi Dios por haberme guiado en cada paso que he dado durante toda mi vida, así mismo dedico este logro a mis padres Alejandrina y Mauro por haberme apoyado y haber estado pendientes de mí en todo momento.

De igual manera, se lo dedico a todos mis seres queridos y amigos que han estado a mi lado durante todo este proceso de formación, y con quienes hemos compartido momentos de alegría y tristeza en todos estos años de formación.

Finalmente le dedico a todos mis compañeros quienes iniciamos desde nivelación y con quienes fuimos compañeros hasta el último ciclo académico.

***SANTIAGO DAVID QUIROLA MANCHAY***

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por mi formación academia, de igual manera a todo el personal administrativo y a todos los profesionales que fueron mis docentes durante mi formación académica.

Así mismo, un sincero agradecimiento a mi tutor el Ing. Cristian Ortega quien me ha brindado su conocimiento y apoyo en el desarrollo del presente trabajo, a quien respeto mucho y siempre estaré agradecido por su compromiso académico.

Finalmente quiero dar un agradecimiento muy especial a mi madre quien ha estado conmigo en todo momento y me ha dado todo el ánimo posible para seguir adelante, de quien estaré agradecido eternamente.

***SANTIAGO DAVID QUIROLA MANCHAY***

## Índice de contenido

Portada .....	i
Certificación del trabajo de titulación.....	ii
Autoría .....	iii
Carta de autorización .....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido .....	vii
Índice de tablas .....	xiv
Índice de figuras.....	xv
Índice de anexos.....	xx
Índice de ecuaciones .....	xxii
Simbología .....	xxv
1. Título .....	1
2. Resumen .....	2
2.1. Abstract .....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico .....	8
4.1. Tratamiento Térmico de Fluidos.....	8
4.1.1. Calentamiento Directo.....	8
4.1.2. Calentamiento Indirecto .....	9
4.2. Resistencias Térmicas .....	9
4.2.1. De Inmersión .....	9

4.2.2. De Contacto Externo .....	10
4.3. Poder Calorífico para el Calentamiento .....	11
4.3.1. Calor Requerido para el Calentamiento .....	11
4.3.2. Potencia Eléctrica Requerida.....	12
4.4. Transferencia de Calor .....	12
4.4.1. Formas de transferencia de calor .....	12
4.4.1.1. Transferencia de Calor por Conducción. ....	13
4.4.1.2. Transferencia de Calor por Convección.....	14
4.4.1.3. Transferencia de Calor por Radiación.....	16
4.4.2. Propiedades Térmicas de los Materiales .....	17
4.4.2.1. Propiedades Térmicas de la Leche.....	17
4.4.3. Materiales de ingeniería .....	18
4.4.3.1. Metales .....	18
4.5. Bombas.....	21
4.5.1. Tipos de Bombas .....	21
4.5.2. Parámetros para la Selección de Bombas.....	23
4.5.2.1. Potencia.....	23
4.5.2.2. Caudal .....	23
4.6. Fundamentos de Diseño de Mecánico.....	24
4.6.1. Criterio de Selección del Espesor.....	24
4.6.2. Torsión.....	24
4.6.3. Flexión.....	26
4.6.4. Elementos de transmisión de potencia .....	27



4.7.	Elementos para el Control de Flujo.....	28
4.7.1.	Válvula de Mariposa.....	28
4.8.	Fundamentos para el Control Automático .....	29
4.8.1.	Tipos de Sistemas de Control.....	30
4.8.1.1.	Sistemas de Control a Lazo Abierto.....	30
4.8.1.2.	Sistema de Control a Lazo Cerrado .....	30
4.8.2.	Tipos de Controladores .....	31
4.8.2.1.	Control <i>On/Off</i> .....	31
4.8.2.2.	Controlador PID .....	32
4.8.3.	Señal PWM.....	33
4.9.	Autómatas Programables .....	33
4.9.1.	Tipos de Autómatas .....	35
4.9.1.1.	Arduino .....	35
4.9.1.2.	PLC .....	36
4.10.	Termocuplas .....	40
4.10.1.	Tipos de Termocuplas .....	41
4.10.1.1.	Termocupla PT-100 .....	42
4.11.	Baterías.....	42
4.11.1.	Capacidad de Amperes-Horas .....	42
4.11.2.	Descarga de una Batería .....	43
4.12.	Variador de Frecuencia .....	44
4.12.1.	Elementos de un Variador de Frecuencia.....	44
4.13.	Sensor de Flujo.....	45

5.	Metodología.....	47
5.1.	Materiales.....	47
5.1.1.	Materiales de Oficina .....	47
5.1.2.	Softwares académicos .....	47
5.2.	Métodos.....	48
5.2.1.	Teoría para el Diseño de Tanque a Presión Hidrostática .....	51
5.2.1.1.	Cálculo de la Presión Hidrostática del Fluido.....	52
5.2.1.2.	Factor de Seguridad.....	52
5.2.1.3.	Esfuerzo Máximo Permisible.....	52
5.2.2.	Criterio de Selección para el Agitador .....	53
5.2.2.1.	Potencia del Agitador.....	55
5.2.3.	Criterio para el Diseño de Transmisión de Potencia .....	56
5.2.3.1.	Diámetro del Eje .....	56
5.2.4.	Energía Requerida para Elevar la Temperatura.....	57
5.2.4.1.	Variación de la Energía para un Fluido.....	57
5.2.4.2.	Efecto Joule.....	58
5.2.5.	Análisis de Transferencia de Calor.....	58
5.2.5.1.	Difusividad Térmica.....	58
5.2.5.2.	Resistencia Térmica. ....	60
5.2.6.	Criterio para el Dimensionamiento de la Bomba .....	61
5.2.7.	Criterio para el Diseño del Tanque y Soporte Estructural.....	63
5.2.7.1.	Análisis de Presión Hidrostática. ....	63
5.2.7.2.	Momento Flector y Fuerzas Cortantes. ....	63

5.2.7.3.	Cálculo de Perfil Estructural. ....	64
5.2.7.4.	Cálculo del Tipo de Ruedas para la Base. ....	66
5.2.8.	Criterio para el Desarrollo del Controlador.....	66
5.2.8.1.	Método de Sintonía del Controlador PID.....	68
5.2.8.2.	Método de Smith. ....	68
5.2.9.	Dimensionamiento de Batería .....	69
5.2.10.	Dimensionamiento del Variador de Frecuencia .....	70
6.	Resultados .....	71
6.1.	Dimensionamiento de Tanque Pasteurizador.....	73
6.1.1.	Volumen del Tanque de Almacenamiento .....	73
6.1.2.	Cálculo de la Presión del Fluido.....	73
6.1.3.	Factor de Seguridad del Tanque Pasteurizador .....	74
6.1.4.	Cálculo del Espesor del Tanque .....	75
6.2.	Sistema de agitación del Pasteurizador .....	76
6.2.1.	Selección del Tipo de Agitador .....	76
6.2.1.1.	Dimensionamiento del Agitador .....	77
6.3.	Dimensionamiento del Eje Agitador .....	80
6.3.1.	Cálculo del Momento Torsor.....	80
6.3.2.	Cálculo del Momento Flector.....	81
6.4	Cálculo del Sistema de Transferencia de Calor .....	85
6.4.1.	Potencia Mínima Requerida .....	85
6.4.2.	Análisis de Pérdidas de Calor.....	86
6.4.3.	Cálculo de Calor Total Requerido.....	90

6.4.4. Análisis del Proceso de enfriamiento .....	90
6.5. Selección de la Bomba .....	96
6.6. Diseño del Equipo Pasteurizador .....	101
6.6.1. Análisis de la Resistencia del Tanque Pasteurizador .....	101
6.6.2. Dimensionamiento de la Base de Soporte .....	102
6.6.3. Selección de las Ruedas para el Soporte .....	109
6.7. Control Automático de las Funciones del Pasteurizador .....	111
6.7.1. Control del proceso de calentamiento .....	111
6.7.1.1. Descripción del Sistema de Calentamiento del Tanque.....	111
6.7.1.2. Diagrama de Bloques del Control de Temperatura.....	112
6.7.1.3. Modelo Matemático del Calentamiento del Tanque .....	113
6.7.1.4. Función de Transferencia de Calentamiento.....	114
6.7.1.5. Control PID para Control de Temperatura.....	117
6.7.2. Control de la Bomba Dosificadora .....	121
6.7.3. Control del Agitador.....	124
6.7.4. Función Básica de los Procesos de Control Mediante el Autómata .....	126
6.8. Cálculo de la Autonomía para las Funciones Establecidas sin Conexión.....	136
6.8.1. Dimensionamiento de la Batería Requerida .....	136
6.8.2. Cálculo de Inversor de Corriente.....	138
6.9. Diagramas de Potencia de los Componentes .....	139
6.9.1. Diagrama de potencia de control de temperatura .....	139
6.9.2. Diagrama de Potencia de con Variador de Frecuencia.....	153
6.9.3. Diagrama de Potencia y Control para la Dosificación .....	155

6.10.	Tabla de Costo Final. ....	154
7.	Discusión .....	155
8.	Conclusiones .....	157
9.	Recomendaciones .....	158
10.	Bibliografía.....	159
11.	Anexos .....	165

## Índice de tablas

Tabla 1. <i>Propiedades de la leche</i> .....	18
Tabla 2. <i>Propiedades mecánicas a temperatura ambiente y aplicaciones típicas de aceros inoxidables reconocidos</i> .....	20
Tabla 3. <i>Direccionamiento de entradas y salidas de un PLC</i> .....	37
Tabla 4. <i>Matriz de ponderación para la selección de las distintas partes y funciones del diseño del pasteurizador para alimentación de terneros</i> .....	49
Tabla 5. <i>Rango de valoración para la matriz de ponderación</i> .....	50
Tabla 6. <i>Valores de los parámetros propuestos por Ziegler-Nichols</i> .....	68
Tabla 7. <i>Características del acero inoxidable 304</i> .....	74
Tabla 8. <i>Deformación del eje requerido.</i> .....	83
Tabla 9. <i>Constante “K” de los accesorios en tubería</i> .....	99
Tabla 10. <i>Características del perfil cuadrado</i> .....	106
Tabla 11. <i>Constantes del controlador PID</i> .....	118
Tabla 12. <i>Nomenclatura de los comandos</i> .....	127
Tabla 13. <i>Consumo por energético por dispositivo</i> .....	137
Tabla 14. <i>Tabla de costos de los distintos componentes</i> .....	154

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Calentamiento directo .....	8
<i>Figura 2.</i> Calentamiento indirecto .....	9
<i>Figura 3.</i> Resistencias de inmersión .....	10
<i>Figura 4.</i> Resistencia para calentamiento tipo planas. ....	11
<i>Figura 5.</i> Tipos de transferencia de calor. ....	13
<i>Figura 6.</i> Conducción de calor en una pared plana .....	13
<i>Figura 7.</i> Conducción de calor a través de una pared cilíndrica .....	14
<i>Figura 8.</i> Tipos de convección de calor.....	14
<i>Figura 9.</i> Transferencia de calor por radiación entre una placa y su alrededor.....	17
<i>Figura 10.</i> Tipos de bombas más comunes en el mercado .....	21
<i>Figura 11.</i> Partes de una bomba centrífuga .....	22
<i>Figura 12.</i> Barra sometida a torsión .....	25
<i>Figura 13.</i> Barra sometida a fuerzas de flexión.....	27
<i>Figura 14.</i> Ejemplo de eje sometido a torsión (T) y flexión (f) con diferente radio y longitud...	28
<i>Figura 15.</i> Válvula tipo mariposa.....	29
<i>Figura 16.</i> Elementos básicos de un sistema de control .....	29
<i>Figura 17.</i> Elementos del sistema de control lazo abierto.....	30
<i>Figura 18.</i> Elementos de un sistema de control lazo cerrado .....	31
<i>Figura 19.</i> Control On-Off. ....	31
<i>Figura 20.</i> Diagrama de bloques de un controlador PID.....	32
<i>Figura 21.</i> Señal PWM. ....	33
<i>Figura 22.</i> Señal de entradas y salidas de un sistema de control.....	34

<i>Figura 23.</i> Diagrama de bloques de un autómata programable.....	35
<i>Figura 24.</i> Representación de una placa arduino uno.....	35
<i>Figura 25.</i> Estructura básica de un PLC.....	36
<i>Figura 26.</i> Esquema para conexiones de un PLC.....	37
<i>Figura 27.</i> Esquema de entradas de común negativo de CC de un PLC.....	39
<i>Figura 28.</i> Funcionamiento de una termocupla.....	41
<i>Figura 29.</i> Comparación de termocuplas con respecto al voltaje y temperatura.....	42
<i>Figura 30.</i> Tiempo de descarga en función de la intensidad de las baterías de plomo-ácido .....	44
<i>Figura 31.</i> Elementos basicos para la comunicación y conexión de un variador de frecuencia ..	44
<i>Figura 32.</i> Diagrama en bloques de un variador. ....	45
<i>Figura 33.</i> Pistola dosificadora con sensor de flujo industrial .....	46
<i>Figura 34.</i> Disposición del agitador .....	53
<i>Figura 35.</i> Medidas del agitador.....	54
<i>Figura 36.</i> Resistencia térmica por convección.....	60
<i>Figura 37.</i> Representación de la presión hidrostática en tanque .....	63
<i>Figura 38.</i> Carga concentra puntual .....	64
<i>Figura 39.</i> Curvaturas correspondientes al signo del momento flexionante .....	64
<i>Figura 40.</i> Tubo estructural cuadrado .....	65
<i>Figura 41.</i> Control con realimentación.....	67
<i>Figura 42.</i> Elementos de un equipo para el tratamiento y alimentación de terneros.....	72
<i>Figura 43.</i> Representación del espesor del tanque .....	75
<i>Figura 44.</i> Ubicación del agitador .....	77
<i>Figura 45.</i> Ancho del impulsor.....	78



<i>Figura 46.</i> El número de potencia ( $N_p$ ) con respecto al número de Reynolds .....	79
<i>Figura 47.</i> Representación del momento torsor del eje del agitador .....	80
<i>Figura 48.</i> Momento flector producido por el impulsor .....	81
<i>Figura 49.</i> Análisis de comportamiento del agitador .....	84
<i>Figura 50.</i> Comportamiento de las corrientes del fluido en agitación .....	85
<i>Figura 51.</i> Transferencia de calor interna.....	86
<i>Figura. 52.</i> Circuito térmico de transferencia de calor .....	91
<i>Figura 53.</i> Disipación del calor del tanque hacia el exterior.....	93
<i>Figura 54.</i> Estimación de la distancia entre la bomba y el ternero.....	97
<i>Figura 55.</i> Ubicación de elementos y distancia entre la bomba y el depósito.....	97
<i>Figura 56.</i> Bomba centrífuga de 12 V .....	101
<i>Figura 58.</i> Disposición de los elementos del equipo .....	103
<i>Figura 59.</i> Fuerza y reacciones que actúan sobre la base.....	104
<i>Figura 60.</i> Diagrama de carga vertical .....	105
<i>Figura 61.</i> Diagrama de cargas cortantes .....	105
<i>Figura 62.</i> Diagrama de momento flector .....	105
<i>Figura 63.</i> Simulación del comportamiento de la estructura.....	107
<i>Figura 64.</i> Comportamiento del desplazamiento de la estructura .....	108
<i>Figura 65.</i> Factor de seguridad de la estructura de soporte.....	109
<i>Figura 66.</i> Referencia y característica de las ruedas .....	110
<i>Figura 67.</i> Control lazo cerrado de temperatura.....	111
<i>Figura 68.</i> Diagrama de control de temperatura.....	112
<i>Figura 69.</i> Diagrama de proceso de control de temperatura .....	112

<i>Figura 70.</i> Diagrama de proceso simplificado de control de temperatura .....	113
<i>Figura 71.</i> Diagrama de proceso de incremento de temperatura.....	115
<i>Figura 72.</i> Comportamiento en proceso de calentamiento .....	117
<i>Figura 73.</i> Simulación del proceso en el software Simulink.....	118
<i>Figura 74.</i> Respuesta del control PID.....	119
<i>Figura 75.</i> Estabilización de la respuesta del control PID.....	119
<i>Figura 76.</i> Estabilización del proceso luego de perturbaciones. <i>Nota:</i> Elaborado en el software Simulink Mathlab .....	120
<i>Figura 77.</i> Descripción del control de temperatura .....	121
<i>Figura 78.</i> Control lazo abierto de la bomba para la dosificación.....	121
<i>Figura 79.</i> Elementos para el proceso de dosificación .....	122
<i>Figura 80.</i> Descripción de la dosificación para la entrega de 1 litro .....	123
<i>Figura 81.</i> Control del proceso a controlar del agitador.....	124
<i>Figura 82.</i> Esquema de los controladores.....	124
<i>Figura 83.</i> Descripción del funcionamiento del agitador .....	126
<i>Figura 84.</i> Control KOP de temperatura .....	127
<i>Figura 85.</i> Control de salida PWM.....	128
<i>Figura 86.</i> Control On-Of de temperature.....	129
<i>Figura 87.</i> Control de dosificación requerida.....	130
<i>Figura 88.</i> Control de dosificación requerida.....	131
<i>Figura 89.</i> Adaptacion de un HMI para el aviso del proceso ha ejecutarse .....	131
<i>Figura 90.</i> Aviso de fin de proceso del calentamiento .....	132
<i>Figura 91.</i> Aviso de la temperatura que se mantiene para la alimentación.....	132

<i>Figura 92.</i> Aviso de temperatura adecuada para la alimentación.....	133
<i>Figura 93.</i> Aviso del inicio del proceso de dosificación .....	133
<i>Figura 94.</i> Aviso de la cantidad de litros a dosificar.....	134
<i>Figura 95.</i> Aviso de fin de proceso de dosificación .....	134
<i>Figura 96.</i> Aviso del proceso agitación.....	135
<i>Figura 97.</i> Aviso de fin de proceso de agitación .....	135
<i>Figura 98.</i> Alimentación para el funcionamiento de los distintos dispositivos.....	136
<i>Figura 99.</i> Batería recargable (FL12350-M de 12V a 35 A-h) .....	138
<i>Figura 100.</i> Inversor de corriente NV-M150 de 150W .....	139
<i>Figura 101.</i> Esquema de potencia de resistencia eléctrica y sus elementos de control.....	140
<i>Figura 102.</i> Esquema de control de motor con variador de frecuencia.....	153
<i>Figura 103.</i> Esquema de elementos básicos para un arranque con variador de frecuencia.....	154
<i>Figura 104.</i> Esquema de conexión del PLC al variador de frecuencia .....	155
<i>Figura 105.</i> Esquema de conexión del PLC a los elementos de control .....	153

## Índice de anexos

Anexo 1: Características para la selección de factor de seguridad .....	165
Anexo 2: Selección del tamaño de la cuña. ....	166
Anexo 3: Espesor de la plancha de acero inoxidable .....	167
Anexo 4: Características y diámetro del eje. ....	168
Anexo 5: Bomba de 12V DC.....	169
Anexo 6: Tubo estructural cuadrado.....	171
Anexo 7: Tipos de ruedas para diversas cargas. ....	172
Anexo 8: Tipo de sensor de flujo. ....	173
Anexo 9: Características del variador de frecuencia.....	174
Anexo 10: Característica de la batería de 12V. ....	178
Anexo 11: Característica del inversor de corriente.....	180
Anexo 12: Características del sensor de temperatura. ....	182
Anexo 13: Características del PLC S7-200.....	183
Anexo 14: Datos obtenidos de la temperatura y tiempo para el proceso de control. ....	185
Anexo 15: Características de módulo de E/S analógicas. ....	187
Anexo 16: Características de un relé de estado sólido SSR.....	188
Anexo 17: Prueba de flujo de leche. ....	190
Anexo 18: Diagrama de control temperatura On-Of.....	192
Anexo 19: Costo de un equipo pasteurizador para alimentación de terneros. ....	193
Anexo 20: Costo de un equipo pasteurizador para alimentación de terneros. ....	194
Anexo 21: Precios cotizados en el mercado local.....	195
Anexo 22: Evaluación del peso correspondiente a cada criterio.....	153

Anexo 23: <i>Planos de las partes del equipo pasteurizador.</i> .....	153
Anexo 24: <i>Certificación de la traducción al idioma inglés del resumen</i> .....	154

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1.....	11
Ecuación 2.....	12
Ecuación 3.....	15
Ecuación 4.....	15
Ecuación 5.....	23
Ecuación 6.....	23
Ecuación 7.....	23
Ecuación 8.....	24
Ecuación 9.....	24
Ecuación 10.....	25
Ecuación 11.....	25
Ecuación 12.....	26
Ecuación 13.....	26
Ecuación 14.....	27
Ecuación 15.....	32
Ecuación 16.....	52
Ecuación 17.....	52
Ecuación 18.....	53
Ecuación 19.....	54
Ecuación 20.....	54
Ecuación 21.....	54
Ecuación 22.....	55

Ecuación 23.....	55
Ecuación 24.....	56
Ecuación 25.....	56
Ecuación 26.....	56
Ecuación 27.....	57
Ecuación 28.....	57
Ecuación 29.....	57
Ecuación 30.....	57
Ecuación 31.....	58
Ecuación 32.....	58
Ecuación 33.....	59
Ecuación 34.....	59
Ecuación 35.....	59
Ecuación 36.....	60
Ecuación 37.....	60
Ecuación 38.....	61
Ecuación 39.....	61
Ecuación 40.....	62
Ecuación 41.....	62
Ecuación 42.....	62
Ecuación 43.....	63
Ecuación 44.....	65
Ecuación 45.....	65

Ecuación 46.....	66
Ecuación 47.....	66
Ecuación 48.....	69
Ecuación 49.....	69
Ecuación 50.....	69
Ecuación 51.....	69
Ecuación 52.....	69
Ecuación 53.....	70
Ecuación 54.....	70



## Simbología

**Q:** Calor. [J]

**m:** Masa. [Kg]

**C<sub>p</sub>:** Calor específico del fluido. [J/Kg °C]

**T<sub>1</sub>:** Temperatura inicial. [°C]

**T<sub>2</sub>:** Temperatura final. [°C]

**$\dot{Q}$ :** Potencia calorífica. [W]

**t:** Tiempo. [s]

**Re:** Número de Reynolds.

**Pr:** Número de Prandtl.

**N<sub>us</sub>:** Número de Nusselt.

**v<sub>d</sub>:** Velocidad de difusión de la cantidad de movimiento. [KJ/Kg·m<sup>2</sup>/s]

**$\alpha$ :** Velocidad de difusión de calor. [W/m·K]

**N<sub>u</sub>:** Potencia útil. [W]

**$\rho$ :** Densidad del fluido. [Kg/m<sup>3</sup>]

**g:** Gravedad. [m/s<sup>2</sup>]

**Q<sub>l</sub>:** Caudal. [m<sup>3</sup>/s]

**H:** Altura. [m]

**A:** Área. [m<sup>2</sup>]

**D:** Diámetro. [m]

**t:** Espesor de lámina. [m]

**P:** Presión interna o de diseño. [MPa]

**r:** Radio. [m]

**S:** Esfuerzo máximo permisible. [MPa]

**E<sub>s</sub>:** Eficiencia de la soldadura empleada.

**T:** Par de torsión. [N·m]

**J:** Momento polar del área. [m<sup>4</sup>]

**Ø<sup>2</sup>:** Diámetro de un sólido de sección circular. [m<sup>2</sup>]

**D<sub>a</sub>:** Diámetro del impulsor. [m]

**M<sub>t</sub>:** Par de torsión. [N·m]

**L<sub>c</sub>:** Longitud de barra. [m]

**L<sub>e</sub>:** Longitud de eje. [m]

**P<sub>ot</sub>:** Potencia. [W]

**w:** Velocidad angular. [rad/s]

**r<sub>i</sub>:** Radio interno del cilindro. [m]

**M<sub>f</sub>:** Momento flector. [N·m]

**u(t):** Es la variable de control.

**K/T<sub>i</sub>:** La acción integral.

**KT<sub>d</sub>:** La acción derivativa.

**n<sub>s</sub>:** Factor de seguridad.

**n<sub>sx</sub>:** Factor de seguridad de calidad del material, control sobre carga aplicada y exactitud de análisis de esfuerzos.

**n<sub>sy</sub>:** Factor de impacto económico y peligro para el personal.

**D<sub>t</sub>:** Diámetro total del tanque. [m]

**v<sub>m</sub>:** Volumen. [m<sup>3</sup>]

**N:** Número de revoluciones. [rev/s]

**$\nu$ :** Viscosidad cinemática del fluido. [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

**$\text{Np}$ :** Número de potencia. [Valor adimensional]

**$\text{Pot.}$ :** Potencia del motor. [W]

**$w$ :** Velocidad angular. [ $\text{rad/s}$ ]

**$r_e$ :** Radio de la superficie exterior. [m]

**$F_t$ :** Fuerza tangencial. [N]

**$\Omega_p$ :** Relación de Poisson. [Valor adimensional]

**$E_t$ :** Elasticidad. [GPa]

**$C_p$ :** Calor específico. [ $\text{J/Kg}\cdot\text{K}$ ]

**$k$ :** Coeficiente de transferencia por conducción. [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]

**$\alpha_t$ :** Difusividad térmica. [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

**$r_{\text{imp}}$ :** Radio del impulsor. [m]

**$T_s$ :** Temperatura superficie. [K]

**$T_a$ :** Temperatura ambiente. [K]

**$X$ :** Altura del cilindro. [m]

**$M_s$ :** Módulo de sección.

**$h_L$ :** Coeficiente de transferencia por convección. [ $\text{W/mK}$ ]

**$\gamma$ :** Viscosidad dinámica. [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]

**$\varphi$ :** Peso específico. [ $\text{Kg/m}^3$ ]

**$\text{Gr}$ :** Número de Grashof.

**$\text{Ra}$ :** Número de Rayleigh.

**$A_c$ :** Área del cilindro. [m]

**$\text{RL}$ :** Resistencia por convección. [ $\text{K/W}$ ]

$f$ : Factor de fricción.

$\varnothing_t$ : Diámetro de la tubería. [m]

$H_b$ : Altura de la bomba. [m]

$V$ : Velocidad. [m/s<sup>2</sup>]

$\epsilon$ : Rugosidad.

$K$ : Coeficiente de pérdidas por accesorio.

$S_y$ : Esfuerzo máximo a la fluencia. [MPa]

$\delta_f$ : Resistencia a la fluencia del material. [Kg/cm<sup>2</sup>]

$\delta_a$ : Esfuerzo admisible. [Kg/cm<sup>2</sup>]

$Q_{l\_total}$ : Peso total de carga + peso del equipo. [Kg]

$N_f$ : 2 [Valor para carga de líquidos]

$Q_{r\_G}$ : Ruedas giratorias.

$Q_{r\_F}$ : Ruedas fijas.

$N_g$ : Número de ruedas giratorias.

$U_{(s)}$ : Señal de mando.

$R_{(s)}$ : Señal para error.

$V_{(s)}$ : Señal regulada.

$X_{(s)}$ : Señal de retroalimentación.

$\tau$ : Constante de tiempo.

$t_m$ : Tiempo muerto aparente del sistema.

$C_{md}$ : Consumo medio diario.

$C_{md,DC}$ : Consumo de equipos de corriente directa.

$C_{md,AC}$ : Consumo de equipos de corriente alterna.

$\eta_{\text{inversor}}$ : Rendimiento del inversor.

$\eta_{\text{conductor}}$ : Rendimiento del conductor.

$\eta_{\text{bateria}}$ : Rendimiento de la batería.

$f_r$ : Frecuencia de la red. [Hz]

$2p$ : Número de par de polos correspondientes al motor.

$n_r$ : Velocidad. [rpm]

$T_{\infty,i\_0}$ : Temperatura ambiente interna inicial. [°C]

$T_{s\_0}$ : Temperatura superficial inicial. [°C]

$T_{fi\_0}$ : Temperatura final interna. [°C]

$\alpha_{t\_0}$ : Difusividad térmica inicial interna. [m<sup>2</sup>/s]

$\nu_{ci\_0}$ : Viscosidad cinemática inicial interna. [m<sup>2</sup>/s]

$Pr_{i\_0}$ : Número de Prandtl inicial interno.

$Gr_{i\_0}$ : Número de Grashof inicial interno.

$R_{ai\_0}$ : Número de Rayleigh interno.

$N_{ui\_0}$ : Número de Nusselt interno.

$h_{i0}$ : Coeficiente de convección inicial interno. [W/k·m<sup>2</sup>]

$R_{i01}$ : Resistencia interna. [K/W]

$R_{Ti0}$ : Resistencia total inicial. [K/W]

$N_{ue\_0}$ : Número de Nusselt externo.

$h_{e1}$ : Coeficiente de convección externa. [W/k·m<sup>2</sup>]

$R_{e10}$ : Resistencia externa. [K/W]

$R_{e20}$ : Resistencia externa de la superficie. [K/W]

$q_1$ : Calor total requerido. [W]

**T<sub>fi2</sub>**: Temperatura final inicial enfriamiento. [°C]

**T<sub>∞,i2</sub>**: Temperatura ambiente inicial de enfriamiento. [°C]

**T<sub>s2</sub>**: Temperatura superficie de enfriamiento. [°C]

**α<sub>t2</sub>**: Difusividad térmica de enfriamiento. [m<sup>2</sup>/s]

**ν<sub>ic2</sub>**: Viscosidad cinemática inicial interna de enfriamiento. [m<sup>2</sup>/s]

**Pr<sub>i2</sub>**: Número de Prandtl inicial interno de enfriamiento.

**Gr<sub>i2</sub>**: Número de Grashof inicial interno de enfriamiento.

**Ra<sub>i2</sub>**: Número de Rayleigh inicial de enfriamiento.

**Nu<sub>ii2</sub>**: Número de Nusselt interno de convección natural interna.

**h<sub>i2</sub>**: Coeficiente de convección inicial interno de enfriamiento. [W/k·m<sup>2</sup>]

**R<sub>i20</sub>**: Resistencia interna de enfriamiento. [K/W]

**R<sub>i21</sub>**: Resistencia interna de superficie de enfriamiento. [K/W]

**Q<sub>31</sub>**: Flujo de calor exterior. [W]

**T<sub>fe3</sub>**: Temperatura final externa de enfriamiento. [°C]

**T<sub>∞,e3</sub>**: Temperatura ambiente externa de enfriamiento. [°C]

**T<sub>s3</sub>**: Temperatura superficie de enfriamiento. [°C]

**Re<sub>e3</sub>**: Número de Reynolds externo.

**g<sub>v</sub>**: Velocidad de flujo externo. [m/s]

**Nu<sub>ee3</sub>**: Número de Nusselt externo de convección para flujo externo.

**h<sub>e3</sub>**: Coeficiente de convección externo de enfriamiento. [W/k•m<sup>2</sup>]

**Gr<sub>ee3</sub>**: Número de Grashof externo de enfriamiento.

**Re<sub>30</sub>**: Resistencia térmica externa del cilindro [K/W]

**Re<sub>31</sub>**: Resistencia térmica de la superficie externa del cilindro. [K/W]

**$q_{32}$ :** Flujo de calor exterior de enfriamiento. [W]

**$Q_s$ :** Calor de salida. [J]

**$m_f$ :** Masa del fluido. [Kg]

**$C_{pf}$ :** Calor específico del fluido. [J/Kg·K]

**$t_e$ :** Tiempo estimado enfriamiento. [s]

**$G$ :** Módulo de elasticidad. [adimensional]

**$L$ :** Longitud. [m]

## **1. Título**

Diseño de un pasteurizador de leche de 100 litros para la alimentación de terneros



## 2. Resumen

En el presente trabajo se propuso un diseño de un equipo pasteurizador para la alimentación de los terneros, como una alternativa para los ganaderos en la crianza de terneros hasta el destete que puede ser de 45 a 75 días aproximadamente. Estableciendo características importantes como: el ciclo de pasteurización de leche, evitando contaminación en el proceso de pasteurización en el lugar de tratamiento y la portabilidad hasta el lugar de alimentación necesaria para los terneros, impidiendo en lo mínimo el contacto con cualquier elemento contaminante. A través de la capacidad designada de 100 litros, se pudo dimensionar cada elemento que lo conforma y estableciendo características como: la practicidad y factibilidad del diseño, el sistema de calentamiento, el sistema de agitación y la bomba dosificadora. Con todos los elementos conformados se pudo establecer una propuesta de diseño pertinente para que se pueda realizar su construcción. Para el control de temperatura y del sistema de funcionamiento deseado, se consideró la temperatura de 65 °C durante 30 minutos para lo cual se estableció un control PID que permite la estabilidad del proceso. Consecuentemente se propuso un sistema de agitación con uso de un variador de frecuencia, así como la propuesta de un sistema de dosificación por medio de una bomba regulada por el caudal deseado desde 1 litro hasta la cantidad según se requiera. Así mismo, en el control del sistema de pasteurización, agitador y dosificación de la leche, se consideró el uso de un PLC S7-200, que cuenta con las características requeridas para el cumplimiento de las distintas funciones. Finalmente, se propone un diseño de un equipo para la alimentación de terneros, el cual dispondrá la libertad de movilidad al momento de alimentar la cría en el lugar específico donde se encuentran los terneros.

*Palabras claves:* alimentación de terneros, dosificación de leche, ganaderos, leche, pasteurización.

## 2.1. Abstract

In the present work, a design of a pasteurizing equipment for feeding calves was proposed as an alternative for farmers to raise calves until weaning, which can be approximately 45 to 75 days. Establishing important characteristics such as: the milk pasteurization cycle, avoiding contamination in the pasteurization process at the place of treatment and portability to the place of feeding necessary for the calves, minimizing contact with any contaminating element.

Through the designated capacity of 100 liters, each element could be sized for the established functions such as: the practicality and feasibility of the design, the heating system, the agitation system and the dosing pump. With all the elements formed, it was possible to establish a relevant design proposal so that its construction can be carried out. For the temperature control and the desired operating system, the temperature of 65 °C was considered for 30 minutes, for which a PID control was established that allows the stability of the process. Consequently, a stirring system was proposed with the use of a frequency variator. As well as the proposal of a dosing system by means of a pump regulated by the desired flow from 1 liter to the amount as required. Likewise, in the control of the pasteurization, shaker and milk dosing system, the use of an S7-200 PLC was considered, which has the characteristics required for the fulfillment of the different functions. Finally, an autonomy of 4 hours is proposed for operation with the use of the rechargeable battery, which will allow freedom of mobility when feeding the calf in the specific place where the calves are.

*Key words:* calf feeding, milk dosing, farmers, milk, pasteurization.

### **3. Introducción**

Actualmente, en el Ecuador el proceso de tratamiento térmico para la alimentación es un método conocido como pasteurización, así mismo, es aplicado en múltiples sectores de la industria alimenticia. Sin embargo, aún existen sectores como el ganadero en el que no se han explotado ciertas técnicas de tratamiento térmico para la alimentación de ternero, puesto que se refleja en la escasa información y ninguna propuesta constructiva disponible en el mercado local correspondiente a un equipo de pasteurización para alimentación de terneros.

El tratamiento térmico para la leche dígase la pasteurización es un proceso por el cual se eleva la temperatura de un fluido durante un tiempo determinado, para el caso específico del tratamiento de leche como alimento para los terneros se requiere elevar a 65 °C durante un periodo 30 minutos (University of Minnesota, 2014). Luego por norma de recomendación la temperatura de alimentación admisible debe ser a máximo 38 °C (Lanuza, 2006). Temperatura a la que puede ser consumida por el animal. Este proceso de pasteurización es muy importante porque elimina agentes patógenos que pueden afectar el desarrollo del animal si se ingiere directamente sin ningún tratamiento, en el peor de los casos puede producir la muerte prematura de los terneros.

En la actualidad, en la región sur del Ecuador específicamente en la zona 7 (Loja, Zamora, y El Oro) no existe una propuesta de un pasteurizador de leche para terneros, pese a que estas regiones existen gran demanda de crianza ganadera, aunque probablemente el desconocimiento sobre el tema y la falta de una propuesta pueden inferir para su implantación.

Por todo lo antes mencionado, se propone el diseño de un equipo pasteurizador que cumpla con las características necesarias para su aplicación, por lo tanto, se establece un modelo cuyas características constructivas de funcionamiento se afianzan en los conocimientos de diseño de

máquinas, control y automatización y así poder dar una propuesta que tenga un impacto productivo en el sector ganadero.

A través del presente proyecto se desarrolló el dimensionamiento requerido para cada uno de los elementos que conforman el equipo a través de los diferentes métodos teóricos-científicos así como el uso de *software* Solidworks para comprobar la resistencia de ciertos elementos para luego obtener un diseño acorde a la capacidad establecida de 100 litros, así como el dimensionamiento de los distintos componentes requeridos tales como: proceso de pasteurización, el sistema de agitación y la bomba dosificadora requerida.

Adicionalmente, se propone el control automático para las principales funciones del equipo por medio de un autómata programable PLC para este caso un S7-200 que controlaría los sensores de temperatura, caudal, y actuadores como son es la resistencia eléctrica y el sistema de agitación por medio de un variador de frecuencia.

Consecuentemente, se propone el dimensionamiento para el uso de una batería que permita un tiempo de autonomía que pueda facilitar la disposición del alimento en el establo del ternero.

Por tal razón, el presente trabajo cuenta con los siguientes objetivos para su desarrollo:

### **Objetivos:**

#### **➤ Objetivo General**

- Diseñar un equipo pasteurizador de leche transportable para la alimentación de ternero que garantice la temperatura adecuada para su alimentación.

#### **➤ Objetivos específicos**

- Definir los componentes para un equipo pasteurizador de leche.
- Diseñar un equipo pasteurizador de leche de 100 litros de capacidad.
- Desarrollar el control automático para las funciones del pasteurizador.

En el cumplimiento de los objetivos se establece el siguiente fundamento teórico para su correspondiente desarrollo:

Para el diseño y estructura del tanque se utiliza el método de Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión (Juan León, 2001) y según su norma el criterio de selección cuya forma geométrica es cilíndrica, así como el criterio para el cálculo del espesor en tanques cilíndricos.

Dentro del dimensionamiento del sistema térmico, se establecen los distintos tipos de tratamientos térmicos en fluidos, así como el tipo de elemento generador de calor para su selección, y las distintas formas de transferencia de calor que permite el análisis térmico correspondiente.

Para el análisis antes mencionado, se utiliza las propiedades físicas de los materiales a utilizar para el proceso de pasteurización de la leche para terneros.

Se establece el criterio de selección del tipo de bomba dosificadora según su tipo y aplicación, para ello se determinan los parámetros principales que son potencia y caudal.

Según McCabe et al., (2007) describen para el sistema de agitación los distintos tipos de agitadores que existen, y las distintas aplicaciones a las que se implementan según su requerimiento para proporcionar un criterio de selección, para ello se fundamentó en el uso teórico de “Agitación y Mezcla de Líquidos” para su dimensionamiento.

Finalmente, se describe una propuesta de control automático de las principales funciones del equipo pasteurizados, para ello se establece la fundamentación teórica correspondiente a los distintos tipos de sistemas de control, así como la selección de un controlador adecuado que permite mantener la temperatura de pasteurización a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 30 minutos y posterior disponer a una temperatura de  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  recomendada para la alimentación, por consiguiente, se propone el uso de un autómatas programable que disponga los requerimientos necesarios para el control del equipo pasteurizador.

También se describen todos los elementos necesarios para el control, como es el sensor de temperatura PT-100, el sensor de flujo de turbina de efecto Hall, así como también el dimensionamiento del sistema de autonomía para la dosificación.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Tratamiento Térmico de Fluidos

La mayoría de sistemas productivos de cualquier sector industrial, requieren en alguna etapa de su proceso de calentamiento, ya sea de componentes intermedios o de producto final, siendo además este calentamiento uno de los puntos básicos, cuando no críticos del sistema (Pirobloc, s.f.).

Dentro del tratamiento térmico se encuentran las siguientes formas:

#### 4.1.1. Calentamiento Directo

Para el calentamiento del producto se calienta directamente como muestra por el uso de gases de combustión, radiación de la llama o también por elementos de calefacción eléctricos, sin ningún tipo de fluido que se encuentre como intermediario (Pirobloc, s.f.).

Por lo tanto, como se muestra en la figura 1, para llevar a cabo el calentamiento de un líquido ya sea por convección natural (fluido estático) o convección forzada (fluido en circulación), se realiza a través de resistencias eléctricas en contacto directo con el fluido (Vulcanic, 2015).

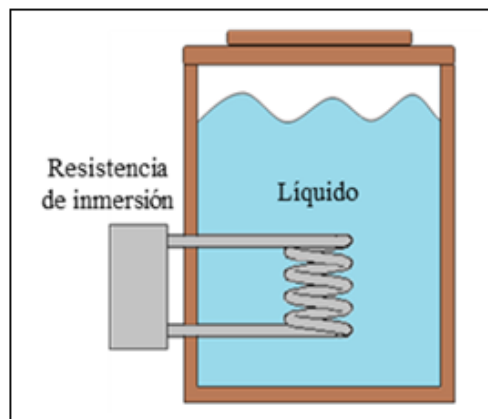
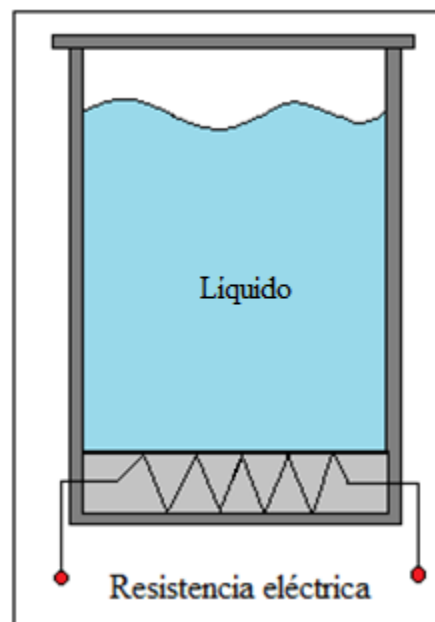


Figura 1. Calentamiento directo. Fuente: Propia.

#### **4.1.2. Calentamiento Indirecto**

A través de un medio por el cual circula de manera controlada, entre el calentador y el absorbente de calor, denominado como fluido de transporte (Pirobloc, s.f.).

Se considera que una de las paredes límite de dicho fluido es una superficie que permite el intercambio de calor con el líquido que se desea calentar, ya que debería ser considerado un sistema de intercambio de calor sin circulación intermedia, ya que no existe necesariamente un fluido portador que realice la función de transporte de energía, sino más bien un fluido como medio de contacto como se observa en la figura 2 (Pirobloc, s.f.).



*Figura 2. Calentamiento indirecto. Fuente: Propia.*

## **4.2. Resistencias Térmicas**

### **4.2.1. De Inmersión**

Este tipo de resistencias se utilizan en la industria para el calentamiento de líquidos en contacto directo con el fluido, estos pueden ser agua, aceite, o fluidos con diferentes propiedades físicas y químicas según sea su uso o requerimiento.



Las resistencias de inmersión se pueden encontrar en distintas opciones que se pueden acoplar ya sea a un tanque en donde se coloca mediante tapón roscado, racores, con brida, etc. como muestra en la figura 3 (Electricfor, s.f.).



*Figura 3. Resistencias de inmersión. Fuente: Electricfor S.A.*

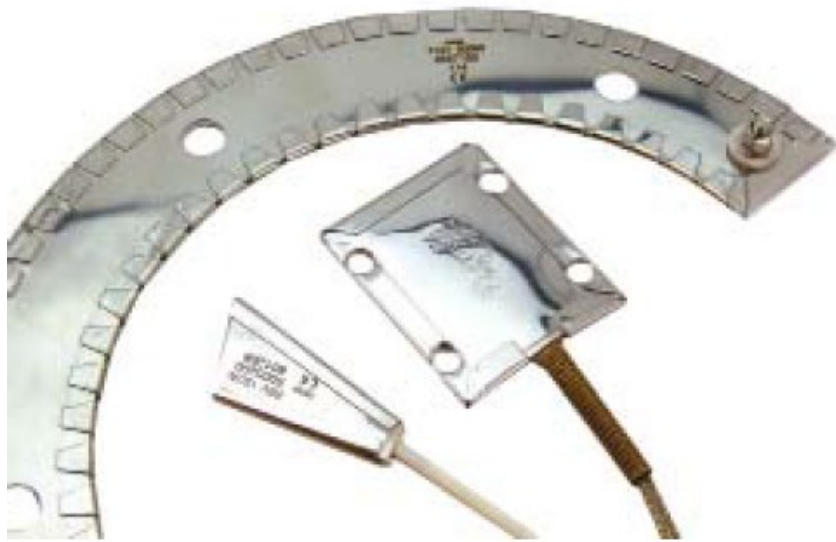
#### **4.2.2. De Contacto Externo**

Dentro de esta categoría existen una gran variedad, sin embargo, las usadas de mayor disponibilidad son las de tipo planas como se muestra en la figura 4, las cuales se pueden fabricar a la medida de la forma según se requiera. “Estas resistencias se utilizan para el calentamiento totalmente uniforme, ya que el hilo calefactor está bobinado uniforme en toda la resistencia” (CRN Tecnoart, 2019, p. 31).

Sus características son las siguientes:

- Funda chapa AISI
- Alma y aislamiento mica
- Cinta calefactora Ni Cr 80/20
- La caja superficial de este tipo de elementos es de 4 W por cada  $\text{cm}^2$  como potencia máxima recomendada.

- Se fabrica bajo las dimensiones requeridas por el cliente.



*Figura 4. Resistencia para calentamiento tipo planas. Fuente: CRN Tecnopart (2019).*

### **4.3. Poder Calorífico para el Calentamiento**

Para la selección de la resistencia térmica necesaria se debe considerar ciertos parámetros e información para el adecuado dimensionamiento como fundamento teórico tenemos lo siguiente:

#### **4.3.1. Calor Requerido para el Calentamiento**

El calor es la transferencia de energía a través de la frontera de un sistema debido a una diferencia de temperaturas, tal como se observa en la ecuación 1 (Cengel, 2011).

$$Q = m \cdot Cp \cdot (T_2 - T_1)$$

**Ecuación 1**

En donde:

- Q: Calor [J]
- m: Masa [Kg]
- Cp: Calor específico del fluido [J/Kg °C]
- T<sub>1</sub>: Temperatura inicial [°C]
- T<sub>2</sub>: Temperatura final [°C]

#### **4.3.2. Potencia Eléctrica Requerida**

Para obtener la potencia requerida necesaria se establece primero la energía requerida en (J) y se divide la para el tiempo (s) requerido de acuerdo con la ecuación 2 (Cengel, 2011).

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde:

- $\dot{Q}$ : Potencia calorífica [W]
- t: Tiempo [s]

#### **4.4. Transferencia de Calor**

Dentro de la comprensión sobre el comportamiento de la transferencia de calor y en los escenarios dentro de la ingeniería. Según Cengel (2011):

El equipo de transferencia de calor como los intercambiadores de calor, las calderas, los condensadores, los radiadores, los calentadores, los hornos, los refrigeradores y los colectores solares está diseñado tomando en cuenta el análisis de la transferencia de calor. Ya que calor es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura. Los problemas con una capacidad nominal tratan de la determinación de la razón de la transferencia de calor para un sistema existente a una diferencia específica de temperatura. (p.4)

##### **4.4.1. Formas de transferencia de calor**

Se puede transferir calor de tres formas como se puede observar en la figura 5 ya que se denomina calor a la transferencia de energía y este puede mantener un movimiento ordenado o no del sistema.

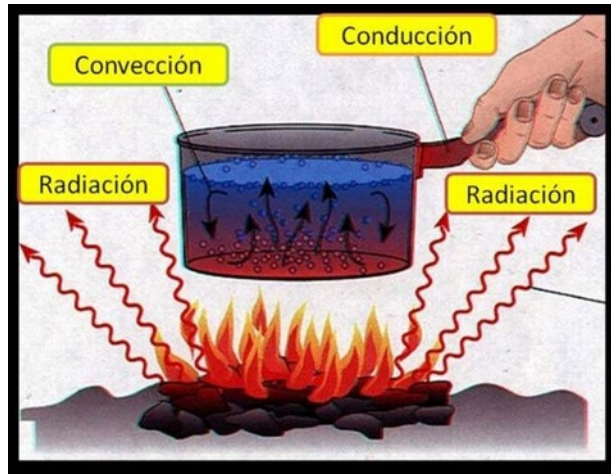


Figura 5. Tipos de transferencia de calor. Fuente: Extraída de Respuestas.tips.com

#### 4.4.1.1. Transferencia de Calor por Conducción.

Dentro de las distintas formas de transferencia de calor se encuentra la conducción para pared plana y cilíndrica en la figura 6 y figura 7 respectivamente. Según Domingo (2012):

La energía calorífica se transmite durante el contacto directo entre cuerpos (o partes de los mismos) a distintas temperaturas y tiene lugar mediante choques o acoplamientos entre las moléculas del sistema (unas en zonas más calientes, con mayor energía térmica y otras en las zonas más frías, con menor energía térmica), aunque no haya un movimiento macroscópico de las moléculas, o el material sea transparente a la radiación. (p.2)

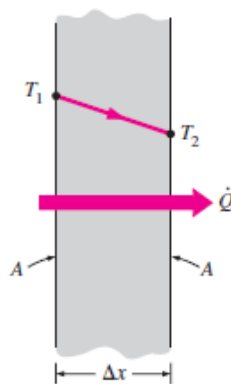


Figura 6. Conducción de calor en una pared plana. Fuente: (Cengel, 2011). Nota: “A” representa el área de la superficie  $\Delta x$  es el espesor de dicha pared.

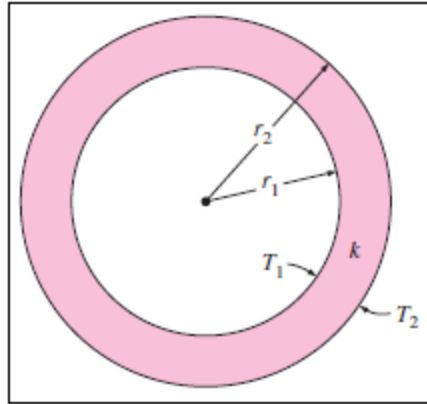


Figura 7. Conducción de calor a través de una pared cilíndrica. Fuente: (Cengel, 2011). Nota: “K” es la constante de conductividad del material.

#### 4.4.1.2. Transferencia de Calor por Convección.

Una forma de transferencia de calor es la convección natural o forzada tal como se observa en la figura 8. De acuerdo con Domingo (2011):

La energía calorífica se transmite por el movimiento físico de moléculas “calientes” de las zonas de alta temperatura a las zonas de baja temperatura y viceversa, equilibrándose las temperaturas. Este proceso tiene gran importancia en fluidos y también es denominado conducción superficial, ya que el flujo de calor entre la superficie de un material y un fluido está relacionado con la conducción a través de una fina capa del fluido que se encuentra junto a la superficie. (p. 2)

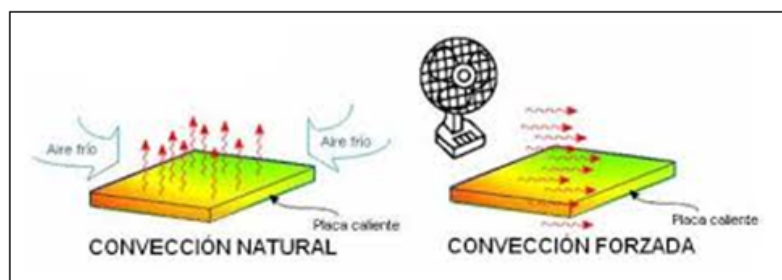


Figura 8. Tipos de convección de calor. Fuente: Equipo transporte de energía.blogspot.com Nota: Se observan dos tipos de convección que pueden existir en un proceso de transferencia de calor.

- **Fundamentos de convección:**

- Número de Nusselt

Se define al número de Nusselt de la ecuación 3 como “el coeficiente adimensional de transferencia de calor por convección. El significado físico del número de Nusselt establece que la transferencia de calor a través de la capa de fluido será por convección cuando esta última tenga algún movimiento” (Cengel, 2011, p.376).

$$N_{us} = \left\{ 0.825 \frac{0.387 \cdot Re^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde:

- Re: Número de Reynolds
- Pr: Número de Prandtl

- Número de Prandtl:

Se establece como “la relación de la difusividad de cantidad de movimiento y la difusividad térmica. Expresa la relación entre la velocidad y la distribución de temperatura en el seno del fluido” (Sataloff et al., s.f., p.6).

Se establece que “los números de Prandtl de los fluidos van desde menos de 0.01 para los metales líquidos, hasta más de 100 000 para los aceites pesados” (Cengel, 2011 p.384).

El número de Prandtl esta dado por la ecuación 4 (Cengel, 2011).

$$Pr = \frac{v_d}{\alpha} \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde:

- ❖  $v_d$ : velocidad de difusión de la cantidad de movimiento. [KJ/Kg·m<sup>2</sup>/s]
- ❖  $\alpha$ : velocidad de difusión de calor. [W/m·K]

- Número de Reynolds

Es el número adimensional utilizado para designar dentro de los fenómenos de transporte que permite caracterizar el movimiento de un determinado fluido, su importancia dentro de la mecánica de fluidos habla sobre el régimen en que fluye el fluido en cuestión. (Jaramillo y Cardenas, 2015)

$$R_e \geq 4000 \quad \text{es flujo turbulento}$$

$$R_e \leq 2000 \quad \text{es flujo laminar}$$

$$2000 \leq R_e \leq 4000 \quad \text{es flujo transitorio}$$

#### 4.4.1.3. Transferencia de Calor por Radiación

Como se muestra en la figura 9, una forma de transferencia de calor es la radiación y utilizado en múltiples áreas de la ingeniería. Conforme a lo mencionado por Domingo (2011):

La energía calorífica se transmite en forma de energía de la radiación electromagnética, emitida por todos los cuerpos por el hecho de encontrarse a una temperatura T, y que se propaga a la velocidad de la luz (porque es luz de distintas longitudes de onda) y puede ser absorbida por los cuerpos, aumentando su temperatura. La radiación es el único medio de transmisión del calor cuando este tiene lugar a través del vacío, y puede ser muy importante para altas temperaturas. (p. 2)

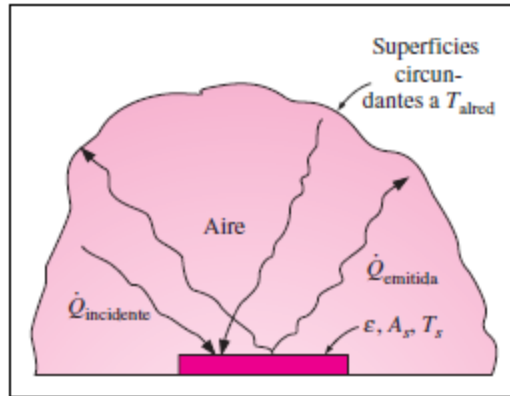


Figura 9. Transferencia de calor por radiación entre una placa y su alrededor. Fuente: (Cengel 2011).

Nota: Se necesita la emisividad “ $\epsilon$ ”, Área superficial “ $A_s$ ” y temperatura superficial “ $T_s$ ”.

#### 4.4.2. Propiedades Térmicas de los Materiales

Las diferentes propiedades térmicas de los materiales se darán según sea su tipo de transferencia de calor, así como el tipo de material y temperatura que se aplica a dicho material, dentro de las propiedades térmicas de los materiales tenemos las siguientes:

- Densidad
- Calor específico
- Coeficiente de transferencia de calor
- Conductividad térmica
- Difusividad térmica
- Viscosidad

##### 4.4.2.1. Propiedades Térmicas de la Leche.

Las propiedades de leche de vaca son bastantes similares a la de la leche que se alimenta a los animales recién nacidos, únicamente varía la cantidad de nutrientes dentro de su composición, de ahí el resto de propiedades físicas son prácticamente iguales tal como se muestra en tabla 1.



Tabla 1. *Propiedades de la leche*

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Densidad	1013.602	Kg/m <sup>3</sup>
Conductividad	0.64023	W/m·K
Calor específico	3885.56	J/Kg·K
Coeficiente de expansión	0.677e <sup>-0.3</sup>	1/K
Viscosidad dinámica	0.0017	Pa·s

*Fuente:* (Martinez y Rosenberger, 2013, p. 2490)

#### 4.4.3. *Materiales de ingeniería*

Una parte importante dentro de la ingeniería es el estudio de los materiales. Según William y Callister (1995), “implica una relación entre las propiedades-estructura y diseño o proyecta la estructura de un material para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades” (p. 2).

Se deberá tomar en cuenta las características de las condiciones en que el material prestará servicio, así como también, se debe considerar la degradación que el material experimenta en su uso por elevadas temperaturas y ambientes corrosivos, que pueden disminuir considerablemente las propiedades del material. (William y Callister, 1995)

##### 4.4.3.1. Metales

Para establecer un criterio con respecto a los metales como un elemento predominante dentro del campo industrial y elemental en múltiples áreas de la ciencia. Según William y Callister (1995):

Normalmente los materiales metálicos son combinaciones de elementos metálicos. Tienen un gran número de electrones deslocalizados que no pertenecen a ningún átomo en concreto. La mayoría de las propiedades de los metales se atribuyen a estos electrones. Además, conducen perfectamente el calor y la electricidad y son opacos a la luz visible; la superficie metálica pulida tiene apariencia lustrosa, los metales son resistentes, aunque deformables, lo que contribuye a su utilización en aplicaciones estructurales. (p. 4)

- Metales y aleaciones ferrosas:

Dentro de los múltiples aspectos que tienen los metales se encuentran las aleaciones. De acuerdo a Kalpakjian y Schmid (2008):

En virtud de su amplia gama de propiedades mecánicas, físicas y químicas, los metales y las aleaciones ferrosas se encuentran entre los más útiles de todos los metales. Contienen hierro como metal base y sus categorías generales son aceros al carbono y aleados, aceros inoxidables, aceros para matrices y herramientas, hierros y aceros fundidos. (p. 149)

- Acero inoxidable:

Los aceros inoxidables son aceros empleados en múltiples aplicaciones industriales sobre todo en el campo alimenticio en donde son ampliamente utilizados cuyas propiedades se muestra en la tabla 2. De acuerdo con Kalpakjian y Schmid (2008):

Los aceros inoxidables se caracterizan por su resistencia a la corrosión, alta resistencia y ductilidad, así como por su elevado contenido de cromo. Se les llama inoxidables porque en la presencia de oxígeno (aire), desarrollan una delgada película de óxido de cromo, dura y adherente, que protege al metal de la corrosión. Esta película protectora se vuelve a acumular en caso de que se raye la superficie; para que la pasivación ocurra, el contenido mínimo de cromo debe ser de 10 % a 12 % en peso. (p. 161)

Según lo establecido, “la denominación más común de los aceros inoxidable de laminación en el mercado es la norma AISI (*American Iron and Steel Institute*) y consiste en tres cifras: (304, 316, 420, 430)” (Riba, 2008, p.116).

Tabla 2. *Propiedades mecánicas a temperatura ambiente y aplicaciones típicas de aceros inoxidable reconocidos*

AISI (UNS)	Resistencia máxima a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Elongación en 50 mm (%)	Características y aplicaciones típicas
303 (S30300)	550–620	240–260	53–50	Productos de máquinas roscadoras (flechas, válvulas, pernos, bujes y tuercas) y accesorios para aeronaves (pernos, tuercas, remaches, tornillos, espárragos).
304 (S30400)	5–620	240–290	60–55	Equipo químico y de proceso de alimentos, recipientes criogénicos, canales, caños y placas de escurrimiento.
316 (S31600)	50–590	210–290	60–55	Alta resistencia a la corrosión y alta resistencia a la termofluencia, equipo químico y para manejo de pulpas, equipo fotográfico, cubas para brandy, partes para fertilizadoras, jarras para cocinar salsa de tomate y tinas para levadura.
410 (S41000)	480–520	240–310	35–25	Partes para máquinas, flechas para bombas, pernos, bujes, canales para carbón, cuchillería, polipastos, herramientas, partes para motores de aviones, maquinaria para minería, cañones para armas, tornillos y válvulas.
416 (S41600)	480–520	275	30–20	Accesorios para aviones, pernos, tuercas, insertos para extinción de incendios, remaches y tornillos.

Fuente: (Kalpakjian y Schmid, 2008, p.162)

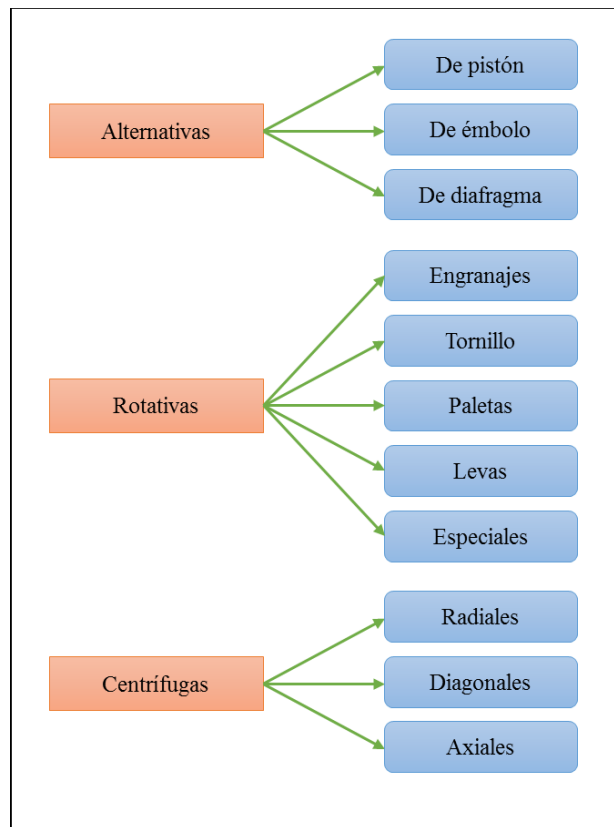
Para la unión de los componentes en acero inoxidable comúnmente se utilizan tres tipos de soldadura que son la MG, TIG y la soldadura por arco, esta última es la más común empleada en los talleres metalúrgicos en el país y la localidad para ello el tipos de electrodos utilizados se rigen bajo la norma AWS (*American Welding Society*) los tipos de electrodos más comunes para la soldadura de aceros inoxidable de fabricación nacional son los siguientes: los AWS E308L-17 y AWS E316-17. (Bohman, s.f., p.35)

## 4.5. Bombas

Se concibe como el objeto que permite bombear ya sea agua o cualquier líquido que sea bombeable, que consiste en transportar dicho fluido de un punto a otro, que puede ser desde una ubicación baja a una elevada superando presiones, así como también desniveles, este tipo de mecanismo hidráulico se lo conoce como bomba. (Carnicer y Mainar, 2004)

### 4.5.1. Tipos de Bombas

En el mercado se pueden encontrar múltiples variedades de bombas que dependen en gran medida del uso que se le quiera dar. En consecuencia, se establecen los tipos de bombas más comunes de los cuales pueden derivar distintos tipos y se puede observar en la figura 10 (Camicer y Mainer, 2004).

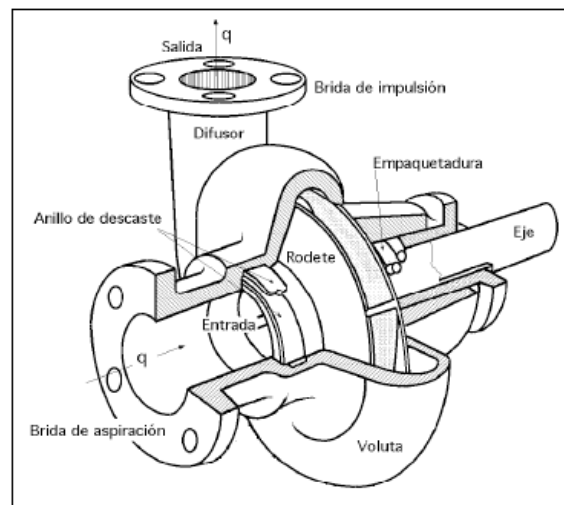


*Figura 10.* Tipos de bombas más comunes en el mercado. *Fuente:* Propia adaptado de (Camicer y Mainer, 2004, p. 19)

- Bomba centrífuga:

Dentro de la clasificación de los distintos tipos de bombas se encuentran las más comunes y utilizadas en el mercado dado su uso y prestación según se muestra en la figura 11. Conforme en lo mencionado por Camicer y Mainer (2004):

Son máquinas que engendran energía hidráulica por transformación de energía mecánica que viene del exterior (motor), la cual se añade a la energía cinética y potencial del líquido que pasa a través de ellas, la transferencia de energía se ocasiona por medio del movimiento rotacional del líquido conducido por la parte que asume una función activa de la máquina que se denomina rodete que es un impulsor de álabes. El proceso energético ocurre en dos etapas sucesivas; en primer lugar, por efecto del movimiento rotacional, se origina un crecimiento de la energía cinética del líquido, y, en segundo lugar, el cuerpo de bomba o voluta recibe el líquido salido del rodete y por construcción especial transforma la energía cinética en energía de presión, dirigiéndolo al mismo tiempo hacia el exterior por la tubuladura de descarga. (p. 20)



*Figura 11.* Partes de una bomba centrífuga. *Fuente:* (Fernández, 2015, p. 2)

#### **4.5.2. Parámetros para la Selección de Bombas**

##### **4.5.2.1. Potencia.**

En un sistema que requiere una bomba se debe considerar que la potencia que requiere dicho sistema no es igual a la potencia que se transmite al fluido ya que esta viene hacer la potencia útil. La potencia útil que requiere el fluido está dada por la ecuación 5 (Cotos, 2019).

$$N_u = \rho \cdot g \cdot Q_l \cdot H \quad \text{Ecuación 5}$$

En donde:

- $N_u$ : Potencia útil [W]
- $\rho$ : Densidad del fluido [Kg/m<sup>3</sup>]
- $g$ : Gravedad [m/s<sup>2</sup>]
- $Q_l$ : Caudal del líquido [m<sup>3</sup>/s]
- $H$ : Altura [m]

La potencia también se la puede obtener con la ecuación 6 (Mataix, 1993).

$$N_{us} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad \text{Ecuación 6}$$

##### **4.5.2.2. Caudal**

El caudal es la cantidad de fluido que circula través de una sección de una tubería por un determinado tiempo y se la puede determinar con la ecuación 7 (Agüero, 2002).

$$Q = V \cdot A \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:

- $V$ : Velocidad [m/s<sup>2</sup>]
- $A$ : Área [m<sup>2</sup>]

La velocidad se la puede encontrar en función del caudal y del diámetro y se puede expresar en la ecuación 8 (Agüero, 2002).

$$v = \frac{4 \cdot Q_l}{\pi \cdot D^4}$$

**Ecuación 8**

En donde:

- D: diámetro [m]

## **4.6. Fundamentos de Diseño de Mecánico**

### **4.6.1. Criterio de Selección del Espesor**

Para el diseño del tanque de cuerpo cilíndrico vertical según Hamrock, et al. (2000), expresa la ecuación 9 para el cálculo de su espesor.

$$t = \frac{P \cdot r_i}{S \cdot E_s - 0.6 \cdot P}$$

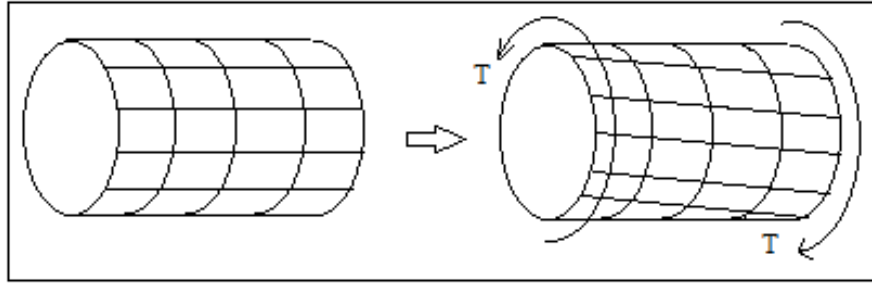
**Ecuación 9**

En donde:

- t: Espesor de lámina [m]
- P: Presión interna o de diseño [MPa]
- $r_i$ : Radio interno del cilindro [m]
- S: Esfuerzo máximo permisible [MPa]
- $E_s$ : Eficiencia de la soldadura empleada

### **4.6.2. Torsión**

La torsión se puede observar en la figura 12. De acuerdo con Mayori, (2012): “Una pieza está sometida a cargas de torsión cuando sobre ella están aplicadas pares o momentos dirigidos a lo largo de su eje centroidal y perpendicularmente a la sección transversal” (p. 103).



*Figura 12. Barra sometida a torsión. Fuente: Propia*

Si se aplica torsión a una barra cilíndrica, el esfuerzo máximo cortante se expresa con la ecuación 10 (Budynas y Nisbett, 2008).

$$\tau_{m\acute{a}x.} = \frac{T r_e}{J} \quad \text{Ecuaci3n 10}$$

En donde:

- T: Par de torsi3n [N·m]
- $r_e$ : Radio de la superficie exterior [m]
- J: Momento polar del 1rea [m<sup>4</sup>]

El momento polar del 1rea se lo puede encontrar con la ecuaci3n 11 (Budynas y Nisbett, 2014).

$$J = \frac{\pi \cdot \phi^2}{32} \quad \text{Ecuaci3n 11}$$

En donde:

$\phi^2$ : Di1metro de un s3lido de secci3n circular [m<sup>2</sup>]

Para el c1lculo del par de torsi3n se lo puede encontrar con la ecuaci3n 12 (Budynas y Nisbett, 2014).



$$M_t = \frac{Pot.}{w}$$

**Ecuación 12**

En donde:

- $M_t$ : Par de torsión [N·m]
- $P_{ot}$ : Potencia [W]
- $w$ : Velocidad angular [rad/s]

El ángulo de giro, en radianes, de una barra sólida de sección circular se calcula mediante la ecuación 13 (Budynas y Nisbett, 2014).

$$\theta = \frac{M_t \cdot L_c}{G \cdot J}$$

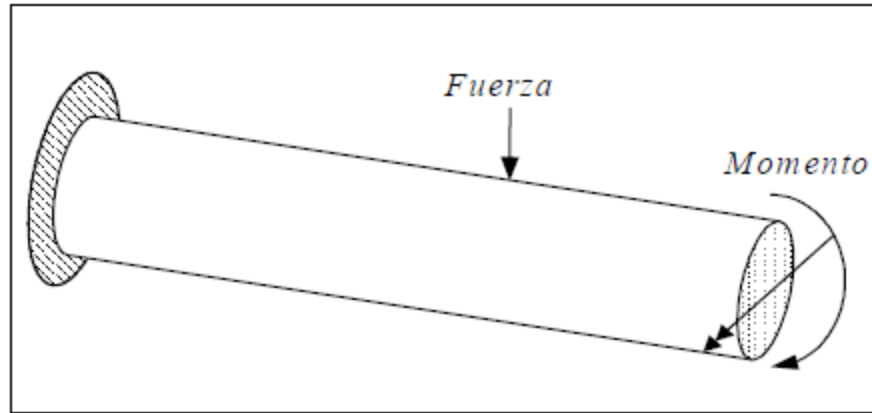
**Ecuación 13**

En donde:

- $L_c$ : Longitud de la barra [m]

#### **4.6.3. Flexión**

Se puede observar en la figura 13 y se establece como: “un elemento está sometido a cargas de flexión cuando soporta fuerzas y momentos externos con dirección perpendicular a la de su eje centroidal” (Mayori, 2012, p. 134).



*Figura 13.* Barra sometida a fuerzas de flexión. *Fuente:* (Mayori, 2012, p. 134).

El momento flector se obtiene con la ecuación 14 (Mayori, 2012).

$$M_f = L_e \cdot F_t$$

**Ecuación 14**

#### **4.6.4. Elementos de transmisión de potencia**

- Eje:

Dentro del diseño mecánico se requiere la transmisión de potencia para un determinado propósito de ejecución, un ejemplo de acuerdo a la figura 14. Según (Budynas y Nisbett, 2014):

Una flecha o eje es un elemento rotatorio, por lo general de sección transversal circular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento. Ella constituye el eje de rotación u oscilación de elementos como: engranes, poleas, volantes de inercia, manivelas, catarinas y miembros similares. Además, controla la geometría de su movimiento. Un eje es un elemento no giratorio que no transmite par de torsión que se utiliza para soportar ruedas rotatorias, poleas y elementos parecidos. (p. 348)

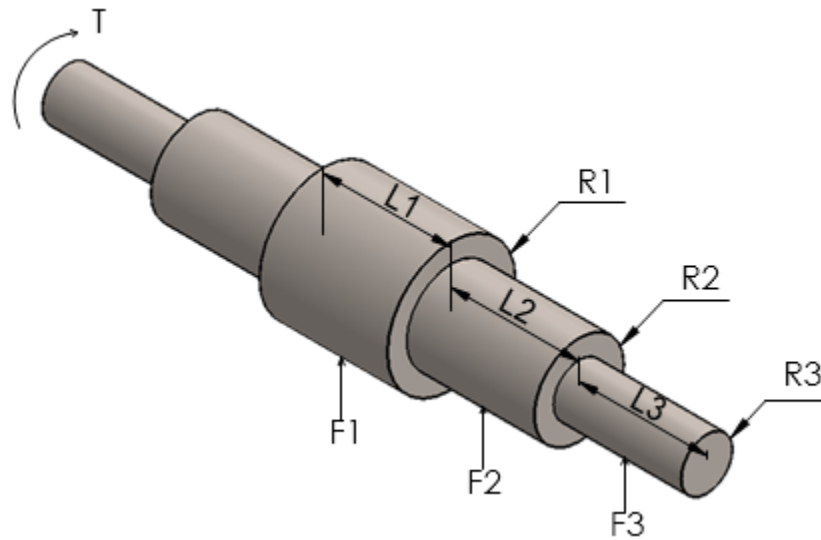


Figura 14. Ejemplo de eje sometido a torsión (T) y flexión (f) con diferente radio y longitud. Fuente: Propia

## 4.7. Elementos para el Control de Flujo

### 4.7.1. Válvula de Mariposa

Representa un elemento útil dentro de las distintas aplicaciones en donde se trabaje con fluido la más común que se emplea según se muestra en la figura 15. Conforme a lo dispuesto por Universidad de Barcelona (s.f.):

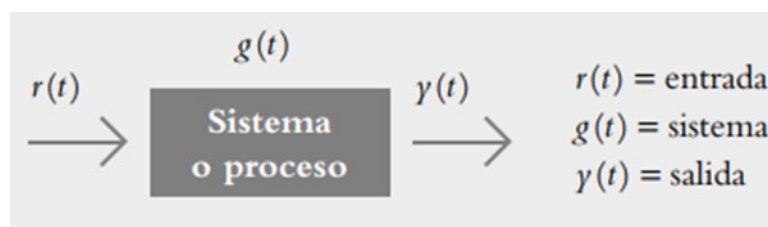
Este tipo de válvula puede desempeñar una función de anti-retorno satisfactoriamente debido a que regulan mediante un disco circular (mariposa) sobre su eje. Este disco solo regula en un sentido, por lo que si circula un fluido por el contrario este se bloquearía. (p. 12)



*Figura 15.* Válvula tipo mariposa. *Fuente:* LONGVA or OEM (fabricante de válvulas en acero inoxidable).

#### 4.8. Fundamentos para el Control Automático

Se puede concebir como proceso de control automático a la interconexión de distintos elementos de un determinado proceso al cual se puede establecer como un sistema, ya que dicha configuración permite controlarse de manera autónoma. Para que un sistema pueda establecerse como autónomo cada una de sus partes deben responder a una señal  $r(t)$  correspondiente a una entrada para conseguir una salida  $y(t)$  según la figura 16, todo esto a su vez puede ser expresado en bloques para su aplicación (Hernández, 2010).



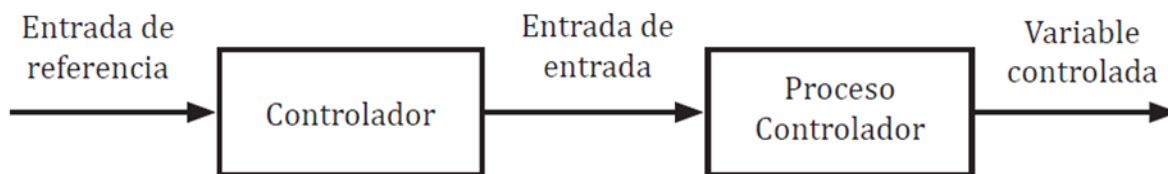
*Figura 16.* Elementos básicos de un sistema de control. *Fuente:* (Hernandez, 2010).

#### 4.8.1. Tipos de Sistemas de Control

Los sistemas de control automático más utilizados son los de lazo abierto y lazo cerrado dentro de múltiples procesos que van desde los más sencillos hasta los más complejos a nivel industrial o comercial.

##### 4.8.1.1. Sistemas de Control a Lazo Abierto

Se establece como sistema de control cuya salida no se ve afectada por la señal emitida por la entrada ya que dicha salida no necesita una realimentación emitida por la entrada que pueda afectarla en un modo de compactación y el proceso se actúa como se muestra en la figura 17. Un sistema de lazo abierto cuenta con elementos concurrentes que son controlador y un proceso controlado de acuerdo a lo requerido (Carrillo, 2011).



*Figura 17.* Elementos del sistema de control lazo abierto. *Fuente:* (Carrillo, 2011, p. 24).

##### 4.8.1.2. Sistema de Control a Lazo Cerrado

En un sistema de control de lazo cerrado existe un controlador el cual se alimentará por una señal emitida de error misma que expresa la diferencia en una señal de entrada con una señal retroalimentada de acuerdo a la figura 18, permitiendo así, reducir el error para que a la salida llegue el valor requerido dentro del sistema (Carrillo, 2011).

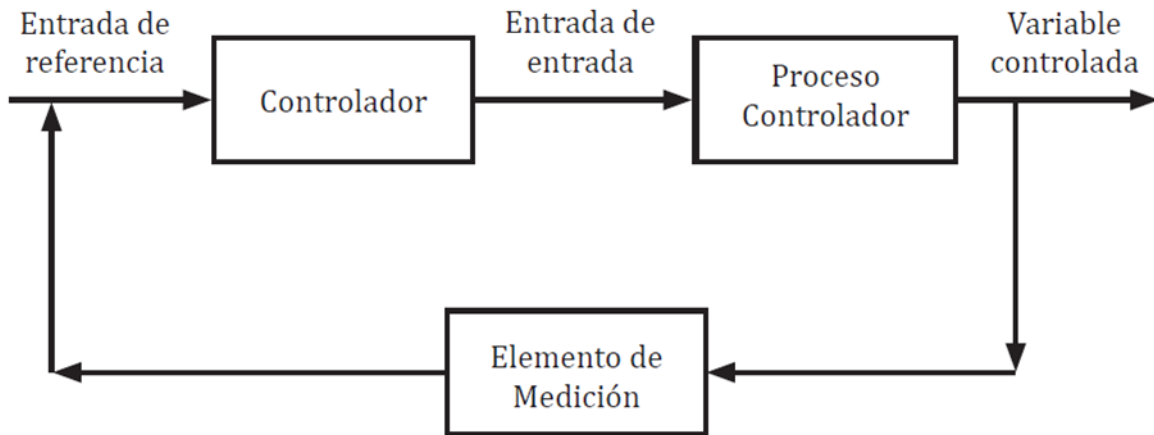


Figura 18. Elementos de un sistema de control lazo cerrado. Fuente: (Carrillo, 2011).

## 4.8.2. Tipos de Controladores

### 4.8.2.1. Control On/Off

También conocido como controlador (todo o nada) como se muestra en la figura 19. De acuerdo con Rojo (2003):

Cuando el elemento controlador está conmutado para acción de dos pasos o (encendido-apagado). Este tipo de control consiste en que la señal de control solo puede tomar dos valores. La conmutación de la señal de control se realiza fundamentalmente al cambiar el error de signo (p. 5).

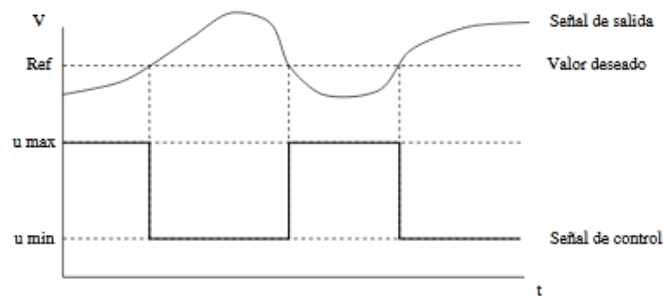


Figura 19. Control On-Off. Fuente: Obtenido de (Rojo, 2003, p. 9).

#### 4.8.2.2. Controlador PID

Un controlador PID se encuentra en múltiples procesos de la industria, en donde más del 95 % de procesos que se controlan por lazos utilizan PID como controlador. Representa características favorables y manejo adecuado dentro de procesos de los más básicos a los más complejos, el esquema de controladores se puede observar en la figura 20. Por lo tanto, se considera una herramienta de gran ayuda dentro de un proceso de automatización y control (Moreno y Garrido, 2020).

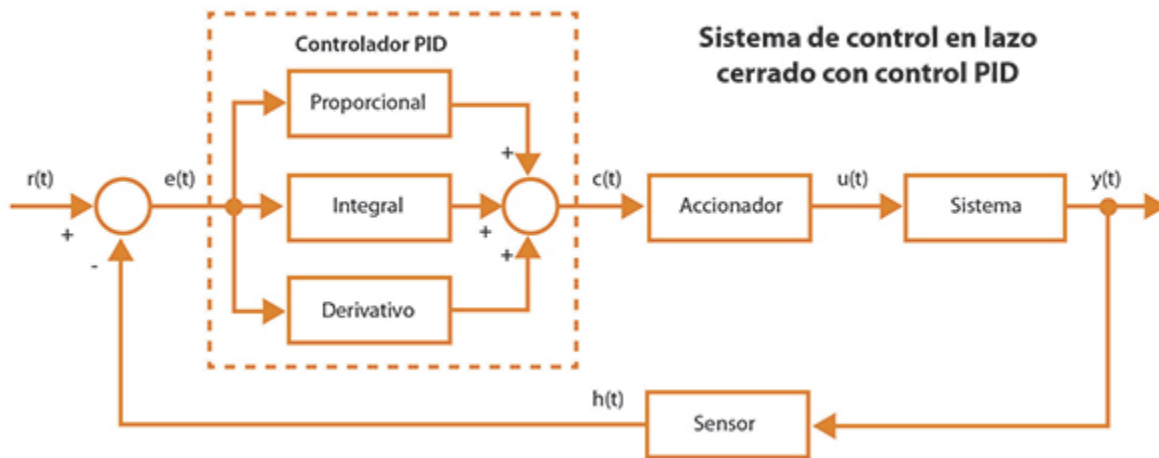


Figura 20. Diagrama de bloques de un controlador PID. Fuente: (Revista Electro Industria, s.f.)

La versión académica de este controlador viene caracterizada por una ley de control según la ecuación 15 (Hernández, 2010).

$$u(t) = K[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad \text{Ecuación 15}$$

En donde:

- $u(t)$ : Es la variable de control
- $e(t)$ : Es el error expresado como  $e(t)=r(t)-y(t)$
- $K$ : La acción proporcional.
- $K/T_i$ : La acción integral.
- $KT_d$ : La acción derivativa.

#### 4.8.3. Señal PWM

Dentro del sistema de automatización se puede encontrar la señal PWM, según se muestra en la figura 21, representa un complemento importante para la aplicación en algunos procesos industriales. Según (Solís y Aznarán, s.f.):

Es posible modular de 0 a 100% la potencia que recibe una planta, para lograrlo se modula el tiempo de activación de dicha potencia un tiempo fijo  $T$ , menor al tiempo característico de respuesta de la planta. Esta técnica se llama “Modulación por Ancho de Pulso” (PWM) y es la utilizada en el trabajo. (p. 44)

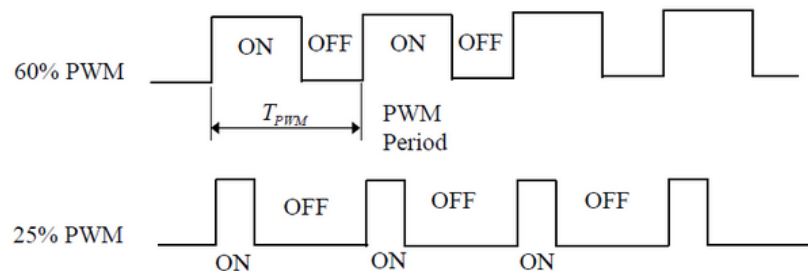


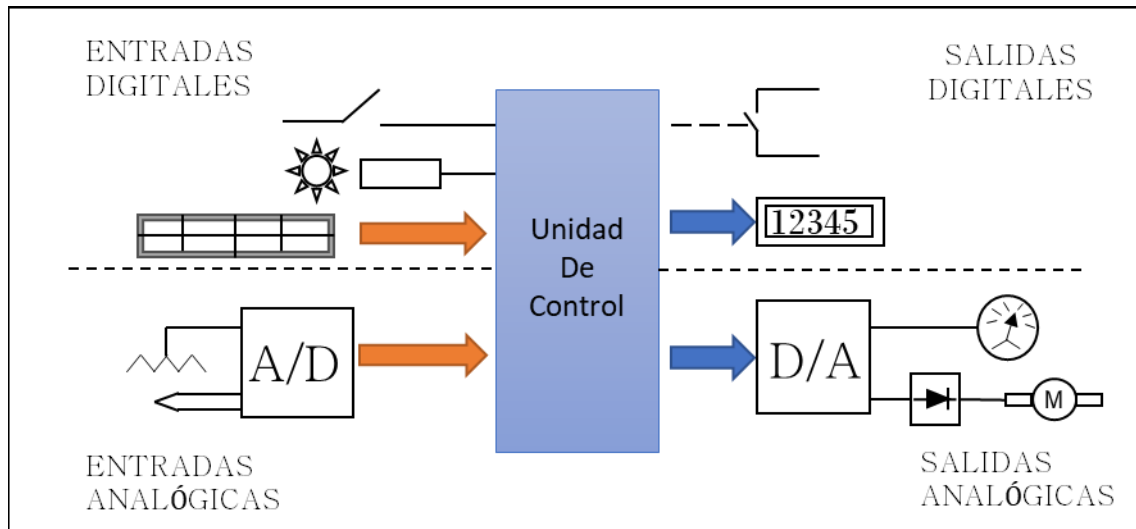
Figura 21. Señal PWM. Fuente: dademuchconnection.com. Nota: en la figura se puede observar un ejemplo de cómo trabaja la potencia a un 60 % y 25 % respectivamente.

#### 4.9. Autómatas Programables

Se puede establecer como autómatas programables como unidad de control en el que se incluye una determinada interfaz con las señales para un proceso, también se establece como un *hardware* que permite la conexión de forma directa con las señales emitidas en la acción de un



proceso esto puede ser: la tensión, corriente, etc. Tal como se observa en la figura 22. De tal forma que pueda ser programable por el usuario de acuerdo a lo requerido (Balcells y Romeral, s.f.).



*Figura 22. Señal de entradas y salidas de un sistema de control. Fuente: (Balcells y Romeral, s.f., p. 5).*

Un autómata programable posee los siguientes bloques principales para su funcionamiento según como se observa en la figura 23:

- Unidad central de proceso o de control, CPU.
- Memorias internas.
- Memoria de programa.
- Interfaces de entrada y salida
- Fuente de alimentación.

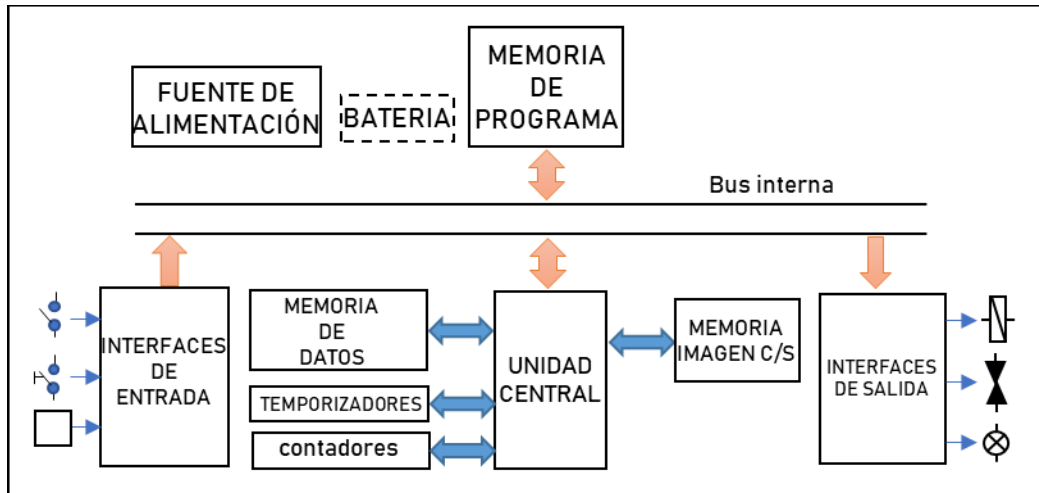


Figura 23. Diagrama de bloques de un autómata programable. Fuente: (Balcells y Romeral, s.f., p. 67).

#### 4.9.1. Tipos de Autómatas

##### 4.9.1.1. Arduino

Arduino es un controlador implementado la automatización en ciertos procesos y su forma se observa en la figura 24. Según (Hermiyanty y Wandira, 2017) “Es un micro controlador de código abierto, una sencilla y económica placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo en el lenguaje de programación *Processing*, basado en Java con una fácil curva de aprendizaje” (p. 1).

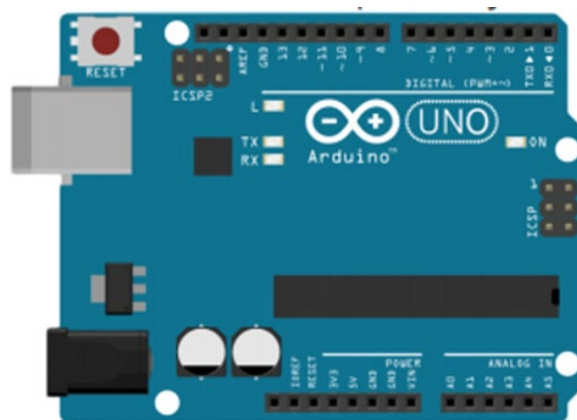


Figura 24. Representación de una placa arduino uno. Fuente: (Hermiyanty y Wandira, 2017, p. 1).

- Estructura:

La estructura cuenta con pines de salida y entrada por lo que permite la lectura de los dispositivos o accesorios que emitan una señal para su reconocimiento, así mismo, se puede emitir una señal por dichos pines que se encuentran a la salida y de esta manera se puede hacer funcionar los actuadores que pueden ser análogos o digital dependiendo su uso o implementación (Saenz, 2018).

#### 4.9.1.2. PLC

Dispositivo utilizado en gran parte de la industria como autómata para múltiples procesos cuyo esquema se observa en la figura 25. “Utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas o procesos” (Pérez et al., 2013, p. 4).

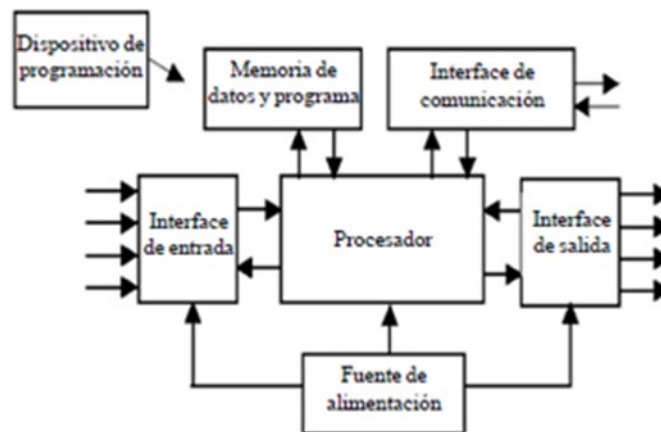


Figura 25. Estructura básica de un PLC. Fuente: (Guzmán et al., 2015).

El PLC al ser un dispositivo cuyas funciones dependen de las señales emitidas por sus entradas y ejecutadas por sus salidas según se muestra en la figura 26, en el caso de las entradas reciben la señal emitida por el elemento de campo como puede ser un sensor, en cambio la salida

permite generar un accionamiento acorde a lo emitido por la entrada, esta acción puede ser por ejemplo el funcionamiento de una bomba, una válvula, etc. Su nomenclatura puede estar dada por la letra I para denominar una entrada digital, mientras que para la salida digital se denomina con la letra Q tal como muestra en la Tabla 3, el número de entradas y salidas dependerá del tipo de PLC que se utilice (Daneri, 2008).

Tabla 3. *Direccionamiento de entradas y salidas de un PLC*

Entradas				Salidas			
I0.0	1er entrada	I1.0	9na entrada	Q0.0	1er salida	I1.0	9na salida
I0.1	2da entrada	I1.1	10ma entrada	Q0.1	2da salida	I1.1	10ma salida
I0.2	3er entrada	I1.2	11er entrada	Q0.2	3er salida		
I0.3	4ta entrada	I1.3	12da entrada	Q0.3	4ta salida		
I0.4	5ta entrada	I1.4	13er entrada	Q0.4	5ta salida		
I0.5	6ta entrada	I1.5	14ta entrada	Q0.5	6ta salida		
I0.6	7ma entrada			Q0.6	7ma salida		
I0.7	8va entrada			Q0.7	8va salida		

*Fuente:* Adaptada de (Daneri, 2008)

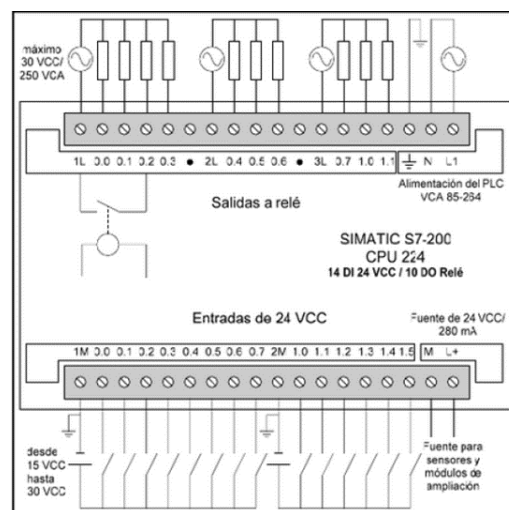


Figura 26. Esquema para conexiones de un PLC. *Fuente:* (Daneri, 2008, p. 41).

- Dispositivos de entrada y salida:

Los dispositivos de entrada y salida son aquellos equipos que intercambian (o envían) señales con el PLC.

Cada dispositivo de entrada es utilizado para conocer una condición particular de su entorno, como temperatura, presión, posición, entre otras.

Entre estos dispositivos podemos encontrar:

- Sensores inductivos magnéticos
- Ópticos
- Pulsadores
- Termocuplas
- Termorresistencias
- Encoders, etc.

Son múltiples los dispositivos que se pueden establecer. Según (Moreno, 2002) “Los dispositivos de salida son aquellos que responden a las señales que reciben del PLC, cambiando o modificando su entorno” (p. 14).

Entre los dispositivos típicos de salida podemos hallar:

- Contactores de motor
- Electroválvulas
- Indicadores luminosos o simples relés

Dentro de los dispositivos de salida se encuentra diferentes tipos que cumplen con distintos propósitos para su implementación. Según Moreno (2002):

Generalmente los dispositivos de entrada, los de salida y el microprocesador trabajan en diferentes niveles de tensión y corriente. En este caso las señales que entran y salen del

PLC deben ser acondicionadas a las tensiones y corrientes que maneja el microprocesador, para que éste las pueda reconocer.

Las entradas digitales también llamadas binarias u “on-off”, son las que pueden tomar solo dos estados: encendido o apagado, estado lógico 1 o 0. Los módulos de entradas digitales trabajan con señales de tensión. Cuando por un borne de entrada llega tensión, se interpreta como “1” y cuando llega cero la tensión se interpreta como “0” según la figura 27. Existen módulos o interfaces de entradas de corriente continua para tensiones de 5, 12, 24 o 48 Vcc y otros para tensión de 110 o 220 Vca. (p. 14)

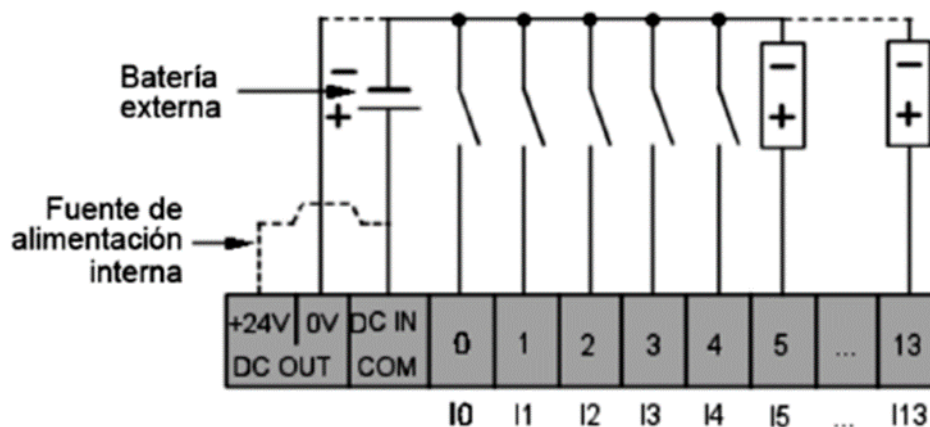


Figura 27. Esquema de entradas de común negativo de CC de un PLC. Fuente: (Moreno, 2002, p.15).

Se puede considerar el uso de entradas analógicas para ciertos propósitos dentro de una automatización. Según Moreno (2002).

Las entradas analógicas son módulos o interfaces que admiten como señal de entrada valores de tensión o corriente intermedios dentro de un rango, que puede ser de 4-20 mA, 0-5 VDC o 0-10 VDC, convirtiéndola en un número. El mismo que es guardado en una posición de la memoria del PLC. (p.17)

De acuerdo con Moreno (2002) existen cuatro tipos comunes de conexión de una salida las cuales son las siguientes:

- Salida a relé
- Salidas a transistor
- Salidas por triac
- Salidas analógicas

El PLC posee la capacidad de generar sistema autónomo gracias al reconocimiento de señales de acuerdo a su lenguaje de programación y capacidad de respuesta para el propósito requerido.

Su incorporación interna ejecuta la conversión de acuerdo a la señal requerida ya sea digital o analógica (D/A) considerando que existen autómatas programables que trabajan únicamente con señales digitales debido a esto se puede se genera una resolución (número de bits) acorde a un determinado tiempo de muestreo según se establezca para su ejecución (Moreno, 2002).

El estándar internacional de acuerdo con la norma IEC 61131-3 define a los siguientes lenguajes para la programación de PLC:

- Lista de instrucción (IL), Texto
- Ladder (LD), Gráfico
- Diagrama de función de bloques (FBD), Gráfico
- Texto estructurado (ST), Texto

#### **4.10. Termocuplas**

Los elementos para el control de la temperatura como las termocuplas son ampliamente utilizados en múltiples sectores de la ingeniería y la industria ya que debido al manejo y control de la temperatura que es de vital importancia en determinados procesos de control. Las termocuplas están constituidas por dos alambres de diferente material pero que están unidos en

una de las puntas de acuerdo a la figura 28, cuando se coloca a una determinada temperatura de dicha unión de los dos cables se produce un voltaje de acuerdo al efecto *Seebeck* un valor de voltaje pequeño como son milivoltios y este valor va variando de acuerdo a la temperatura que se aplique (Arian, 2013).

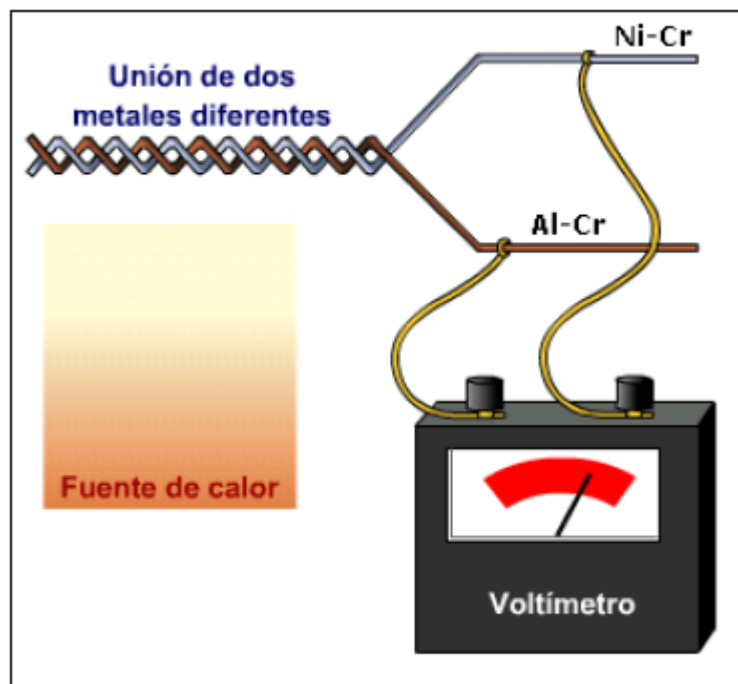


Figura 28. Funcionamiento de una termocupla. Fuente: (Sobrado, s.f.). Nota: Proceso básico de una termocupla.

#### 4.10.1. Tipos de Termocuplas

Dentro de las termocuplas existen una gran variedad, muchas de las veces dependiendo del tipo de uso y rango de temperatura a emplear, sin embargo, las empleadas dentro de la industria son de tipo J y K y su escala según la figura 29. Para el caso del tipo J su aplicación está destinada para los procesos de tratamiento con plástico y metales a temperaturas no muy altas, mientras que el tipo K es empleado en procesos térmicos en hornos en donde se trabaja a menos de 1300 °C. Para fundiciones de acero existen los tipos S, B, R. Actualmente, se utiliza el tipo PT-100 en



reemplazo del tipo T en el campo alimenticio en donde se trabaje con tratamiento térmico (Arian, 2013).

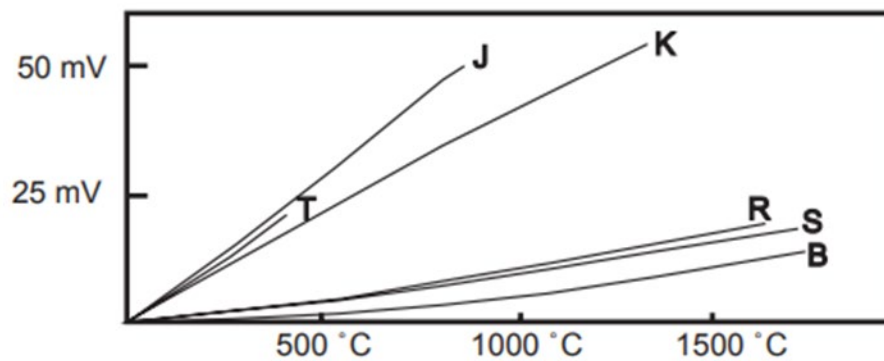


Figura 29. Comparación de termocuplas con respecto al voltaje y temperatura. Fuente: (Arian, 2013, p. 2).

#### 4.10.1.1. Termocupla PT-100

Es un sensor de temperatura muy utilizado en procesos de automatización y control de temperatura, dentro de su conformación tiene un alambre de platino que al ser sometido a una temperatura de 0 °C muestra un valor de 100 ohms y conforme va incrementando el valor de la temperatura también lo hará la resistencia eléctrica y con dicho valor se puede establecer el rango de temperatura (Arian 2011).

### 4.11. Baterías

La autonomía de ciertos procesos requiere de una batería o acumulador que les provea de la energía eléctrica para su funcionamiento. “Una batería es un sistema de almacenamiento de energía empleando procedimientos electroquímicos y que tiene la capacidad de devolver dicha energía posteriormente casi en su totalidad, ciclo que puede repetirse un determinado número de veces” (Hernandez, 2016, p. 45)

#### 4.11.1. Capacidad de Amperes-Horas

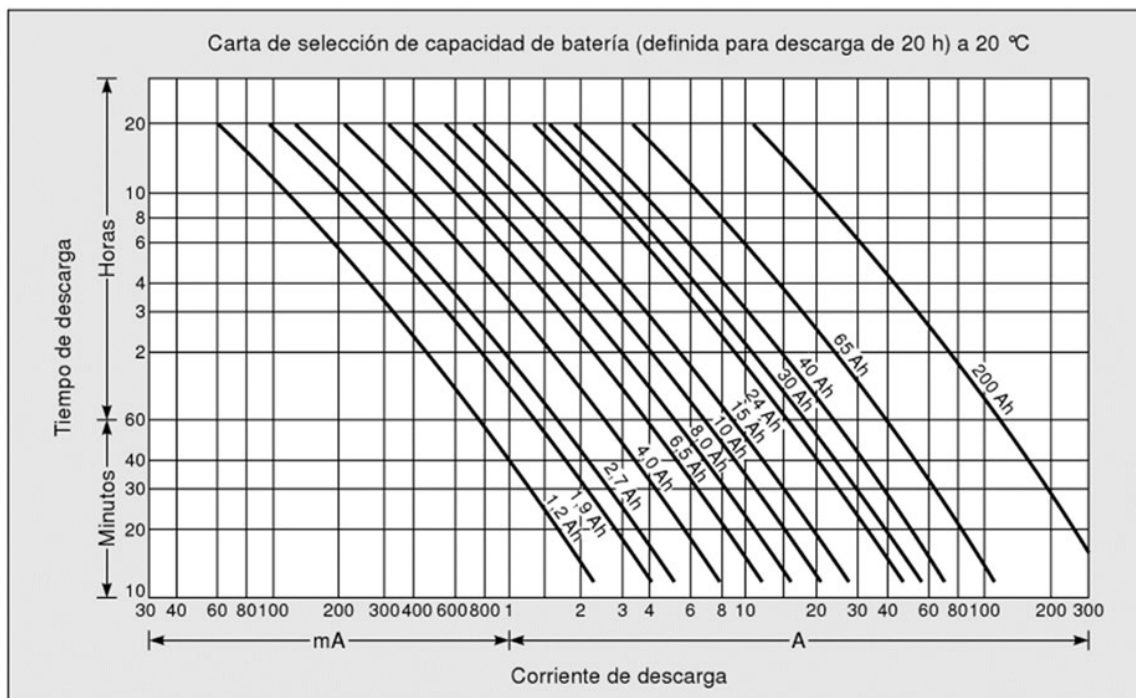
Una de las características importantes para establecer un parámetro de las baterías es su capacidad en amperios-hora. De acuerdo con Boylestad (2004):

La pieza de información más importante para cualquier batería (además de su valor de voltaje) es su capacidad de amperes-hora (Ah). Probablemente ha observado en las fotografías de baterías de este texto que en cada batería aparecen tanto el valor de voltaje como el de ampere-hora.

La capacidad de amperes-hora (Ah) indica durante cuánto tiempo una batería de voltaje fijo será capaz de suministrar una corriente particular. (p. 50)

#### 4.11.2. Descarga de una Batería

La descarga se produce por el eminente uso de dichas baterías y más aún cuando es constante, esto se puede observar en la figura 30. A diferencia de los condensadores o baterías de convencionales es la descarga inminente también considerada como pérdida de energía debido al reposo sin actividad luego de ser cargada, esto se produce debido a un comportamiento químico que forma parte de su composición esta disminución de su capacidad puede darse a lo largo del tiempo este factor dependerá del tipo de batería (Martínez y Gualda 2006).

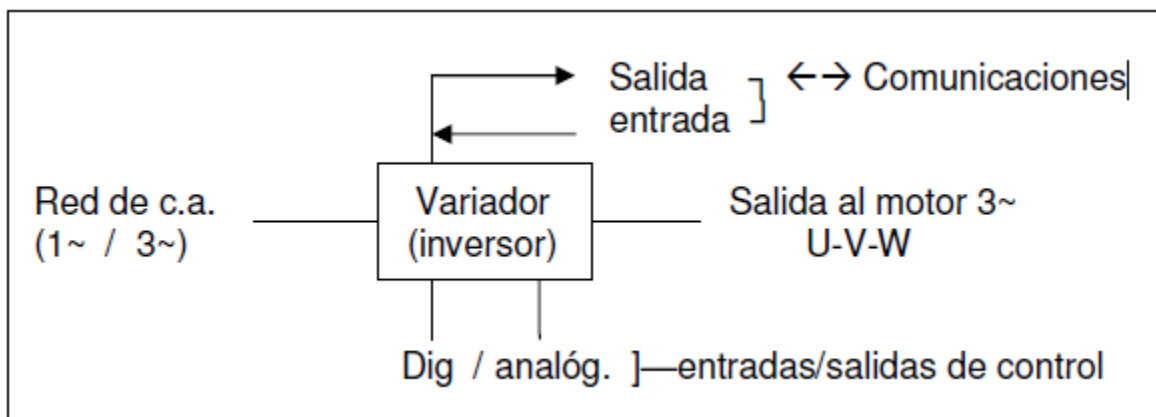


*Figura 30.* Tiempo de descarga en función de la intensidad de las baterías de plomo-ácido. *Fuente:* Rocket (global y Yuasa)

Si bien es cierto el tamaño de una batería es importante pero no es un factor determinante debido a la prioridad que se le debe dar al funcionamiento de la aplicación requerida dentro de un proceso establecido.

#### 4.12. Variador de Frecuencia

Uno de los dispositivos más utilizados para el control de velocidad aplicado a los motores eléctricos son los variadores de frecuencia, dichos variadores también son conocidos como inversores y su esquema dado por la figura 31, para una determinada aplicación en el caso motores de corriente continua genera una variación en la tensión y en motores de corriente alterna una variación de frecuencia que permite establecer la velocidad requerida (Sevillano, 2011).

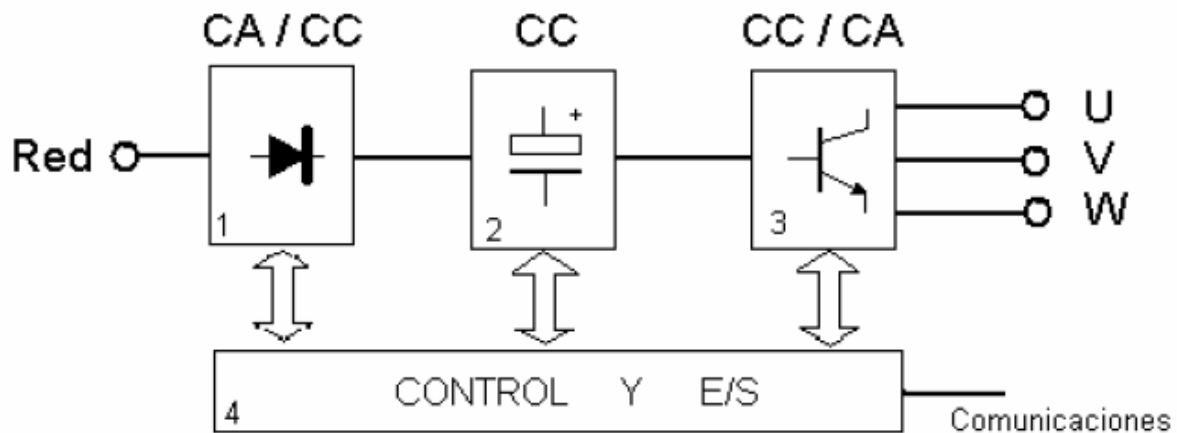


*Figura 31.* Elementos básicos para la comunicación y conexión de un variador de frecuencia. *Fuente:* (Sevillano, 2011, p. 143). *Nota:* Indicación de la comunicación y referencia de entradas y salidas de un variador de frecuencia.

##### 4.12.1. Elementos de un Variador de Frecuencia

De acuerdo al funcionamiento principal de un variador de frecuencia éste se constituye por los siguientes elementos principales como se muestra en la figura 32. En conformidad con Sevillano (2011):

- Rectificador: partiendo de la red de suministro de c.a.(corriente alterna), monofásica o trifásica, se obtiene c.c.(corriente continua) mediante diodos rectificadores.
- Bus de continua: condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran la c.c. rectificado, para obtener un valor de tensión continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.
- Etapa de salida: desde la tensión del bus de continua, un ondulator convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salida variables.
- Control y E/S: circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. (p. 144)



*Figura 32.* Diagrama en bloques de un variador. *Fuente:* (Sevillano, 2011, p. 143). *Nota:* Indicador de bloques en la conexión de un variador con un motor.

#### 4.13. Sensor de Flujo

Permite el control de flujo para obtener una cantidad de líquido para ello realiza una medición de caudal que es volumen de líquido por un determinado tiempo y puede expresarse por ejemplo en L/min (litros por minuto), m<sup>3</sup>/s (metros cúbicos por segundo) etc un ejemplo de sensor se muestra en la figura 33. Para su medición el sensor suele ubicarse a la salida de una tubería en

donde se genera el flujo del líquido. De acuerdo al funcionamiento del sensor el fluido en movimiento hace girar la turbina del sensor que a su vez activa un imán produciendo así el efecto Hall para producir los pulsos que son reconocidos como una señal digital y según el número establecido de pulsos el autómatas activara o desactivara el proceso (Naylamp Mechatronics 2021).



*Figura 33.* Pistola dosificadora con sensor de flujo industrial. *Fuente:* (Piusi S.p.A.)

## **5. Metodología**

### **5.1. Materiales**

Dentro de los materiales para la realización del presente proyecto son los siguientes:

#### ***5.1.1. Materiales de Oficina***

Los siguientes materiales permitieron la recopilación de información necesaria para el desarrollo del trabajo:

- Internet
- Computadora
- Impresora
- Material bibliográfico.

#### ***5.1.2. Softwares académicos***

Para el procesamiento de la información, así como el dimensionamiento adecuado de las partes constitutivas del diseño, se utilizó lo siguientes programas informáticos:

- Paquete de Office 2013
- *Software* Solidworks estudiantil 2016
- *Software* Autocad versión gratuita 2016
- MatLab 2017
- COMSOLS Multiphysics 5.5 versión free
- MDsolids versión 3.5
- STEP 7 Micro Win versión V4.0
- CADeSIMU

## 5.2. Métodos

Para el diseño adecuado de un equipo pasteurizador para la alimentación de terneros, se estableció los aspectos relevantes y factibles vistos como necesarios para su implementación por consiguiente se estableció la siguiente metodología la cual es la siguiente:

- Se realizó la consulta de la existencia de fabricación de algún tipo de equipos para la alimentación de terneros en la localidad, así también, como los equipos disponibles por distintos fabricantes en otros países.
- Posteriormente se conceptualizó el diseño en base a los requerimientos básicos para la alimentación de los terneros, tomando como referencia ciertas características de propuestas ya existentes en el mercado, dicho criterio se estableció mediante una matriz de ponderación que permitió establecer el diseño pertinente de acuerdo a la valoración de cada aspecto como criterio de selección para establecer su diseño correspondiente.

Finalmente, se realizó la matriz de ponderación con los aspectos más relevantes a tomar en cuenta para su diseño como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4. *Matriz de ponderación para la selección de las distintas partes y funciones del diseño del pasteurizador para alimentación de terneros*

Factores	Criterio Peso	Full- equipamiento		Equipo medio		Estándar	
		Valor	Puntuación	Valor	Puntuación	Valor	Puntuación
Económico	17,99%	2	0,3598	3	0,5397	4	0,7196
Facilidad de construcción	14,33%	2	0,2938	2	0,2938	4	0,5877
Simplicidad de modelo	12,29%	3	0,3688	3	0,3688	5	0,6146
Materiales disponibles	10,79%	2	0,2158	3	0,3238	4	0,4317
Cumplimiento de función principal	6,60%	5	0,3298	4	0,2638	4	0,2638
Aprovechamiento de ahorro energético	8,55%	4	0,3418	3	0,2563	2	0,1709
Portabilidad del equipo	5,40%	5	0,2698	4	0,2158	4	0,2158
Disponibilidad de enfriamiento por agua	8,10%	4	0,3238	4	0,3238	1	0,0809
Chaqueta de aislamiento	7,50%	4	0,2998	3	0,2248	1	0,0749
Sistema de movilidad automática	8,10%	5	0,4040	4	0,3238	1	0,0809
<b>TOTAL</b>	100%		3,2083		3,1349		3,2413

*Fuente:* Propia

De acuerdo al peso (porcentaje) de cada criterio se estableció un valor de prioridad para la toma de decisión con respecto al peso de cada característica cuya sumatoria es del 100% ver (Anexo 21), por lo cual se designó los valores correspondientes a la tabla 5, para puntuar cada



característica que va desde nulo ha muy bueno y al final se obtiene un valor sobre 5, el equipo con el puntaje más alto corresponderá al diseño:

Tabla 5. *Rango de valoración para la matriz de ponderación*

Valor				
1	2	3	4	5
nulo	regular	medio	bueno	muy bueno

*Fuente:* Propia

Por lo tanto, una vez obtenido las características requeridas para el diseño del equipo pasteurizador en base a modelos existentes en el mercado cuyas características difieren en algunos modelos, sin embargo, la clave del presente proyecto es un diseño acorde a las necesidades básicas, así como una alternativa económica para su implementación al igual que su factibilidad y desarrollo posterior.

En consecuencia, a lo obtenido se procedió con la metodología requerida para el desarrollo de cada sistema y elementos del equipo de acuerdo a lo establecido.

Dentro de los métodos que se utilizó para el desarrollo de la presente diseño se encuentra el método deductivo-analítico que consiste en buscar información con respecto a equipos de pasteurización móviles que se puedan o se estén desarrollando dentro del país o la localidad, así mismo se utilizó recursos bibliográficos tales como: teoría para el diseño de tanques, criterio para selección del agitador, diseño de transmisión de potencia, análisis de transferencia de calor, dimensionamiento de bomba, desarrollo del tipo de controlador, dimensionamiento de batería y variador de frecuencia. Por lo tanto, para obtener toda la información que establecieron las condiciones para el cálculo y dimensionamiento de los distintos componentes del equipo pasteurizador. Consecuentemente, se utilizó el método analítico del equipo pasteurizador para

establecer la forma y las características necesarias en base a los componentes que lo constituyeron de manera definitiva que previamente realizó a través del cálculo.

Siguiendo el desarrollo de los objetivos propuestos se fundamentó en los siguientes temas que se llevaron a cabo los cuales son:

1. Selección y dimensionamiento del tanque
2. Tipos de tanques a presión hidrostática.
3. Sistemas de agitación de fluidos.
4. Tipos de impulsores.
5. Sistemas de calentamiento térmico.
6. Tipos de transferencia de calor combinados.
7. Diseño mecánico de transmisión de potencia.
8. Selección de bombas de grado alimenticio.
9. Selección del tipo de controlador de temperatura.
10. Sistemas de control para el agitador y la dosificación.
11. Selección de autómatas programables.
12. Sistema de autonomía.

Toda la información obtenida proviene de fuentes bibliográficas confiables, gran parte de la información fue obtenida de internet cuyo formato fue digital y cuenta con la respectiva validación de autores reconocidos por sus publicaciones en textos y revistas reconocidas.

### ***5.2.1. Teoría para el Diseño de Tanque a Presión Hidrostática***

Para el diseño del tanque se consideró lámina de acero inoxidable, material cuyo criterio de selección fue en base a la utilización de grado alimenticio a emplear.

#### 5.2.1.1. Cálculo de la Presión Hidrostática del Fluido

Para el cálculo de la presión hidrostática se utilizó la ecuación 16 (Matix, 1993).

$$Presión_{Hidrostática} = \rho \cdot g \cdot H \text{ [N/m}^2\text{]} \quad \text{Ecuación 16}$$

En donde:

- $\rho$ : Densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$ : Gravedad [9.81m/s<sup>2</sup>]
- $H$ : Altura. [m]

#### 5.2.1.2. Factor de Seguridad

El factor de seguridad permitió sobredimensionar el material, para que garantice su trabajo y no existan fallos considerando un límite máximo permitido con relación al permitido por el material y se calcula con la ecuación 17 (Hamrock et al., 2000).

$$n_s = n_{sx} \cdot n_{sy} \quad \text{Ecuación 17}$$

En donde:

- $n_s$ : Factor de seguridad.
- $n_{sx}$ : Factor de seguridad de calidad del material, control sobre carga aplicada y exactitud de análisis de esfuerzos.
- $n_{sy}$ : Factor de impacto económico y peligro para el personal.

Todos los parámetros antes mencionados se pueden observar en el Anexo 1.

#### 5.2.1.3. Esfuerzo Máximo Permisible

Para el cálculo del esfuerzo máximo permisible del material se consideró el anteriormente mencionado factor de seguridad, adicionalmente se consideró el esfuerzo máximo que posee el material y se expresa mediante la ecuación 18 (Hamrock et al., 2000).

$$S = \frac{S_y}{n_s}$$

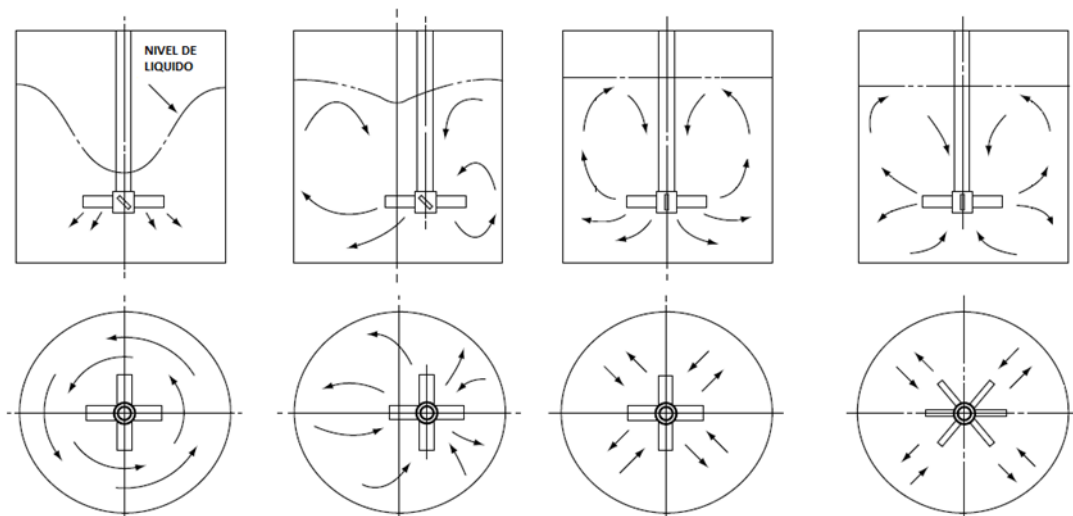
**Ecuación 18**

En donde:

- S: Esfuerzo máximo permisible [MPa]
- $S_y$ : Esfuerzo máximo a la fluencia [MPa]
- $N_s$ : Factor de seguridad.

### 5.2.2. Criterio de Selección para el Agitador

En la selección del agitador se estableció el método de agitación por impulsor de paletas debido al tipo de velocidad que se pretende trabajar y consecuentemente de la ubicación del agitador a emplear.



*Figura 34. Disposición del agitador. Fuente: Adaptado de Heras (2004). Nota: La ubicación del agitador depende del proceso que se desea aplicar.*

Debido a que el tanque tendrá la apertura de una tapa a la mitad de la parte superior del tanque se escogió la segunda opción de la figura 34.

Las dimensiones y disposición del agitador se dieron con las ecuaciones 19 y 20 (Geankoplis, 1998).

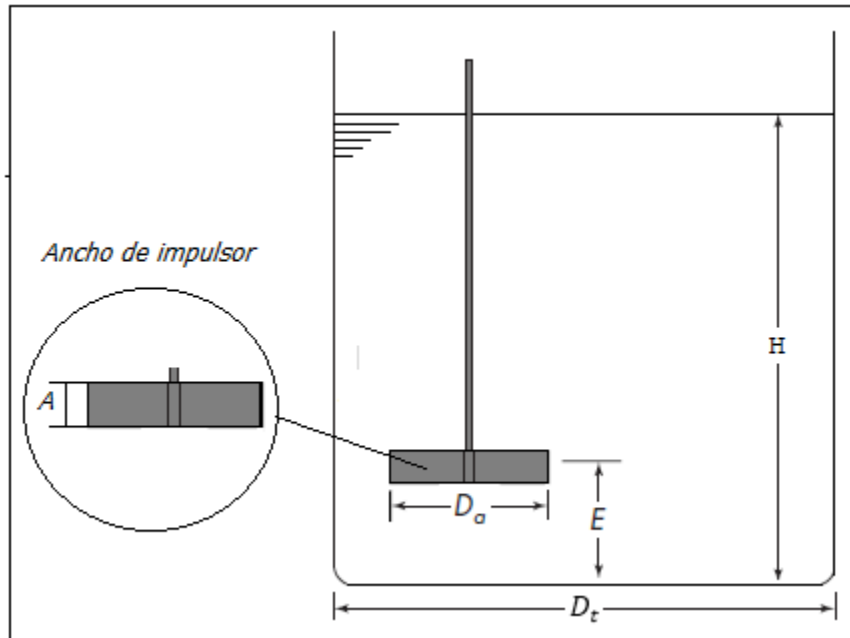


Figura 35. Medidas del agitador. Fuente: Propia. Nota: Cada medida está expresada con su respectiva nomenclatura.

$$D_a = D_t \cdot \left(\frac{1}{3}\right) \quad \text{Ecuación 19}$$

En donde:

- $D_a$ : diámetro del impulsor

$$\frac{E}{D_a} = 1 \quad \text{Ecuación 20}$$

El ancho del impulsor figura 35, debe ser el diámetro interno del tanque multiplicado de un 1/6 a 1/10 por norma general para el dimensionamiento de los impulsores de paletas (Geankoplis, 1998).

$$A = D_t \cdot \left(\text{de } \frac{1}{6} \text{ a } \frac{1}{10}\right) \quad \text{Ecuación 21}$$

Cuando se trabaja con tanques con dimensiones grandes de fabricación su consideración para el agitador es diferente. “Con grandes profundidades de líquido en comparación con el diámetro del tanque, se montan dos o tres propulsores en el mismo eje, y cada uno actúa como un mezclador individual es decir el propulsor inferior está cerca de 1 m” (Geankoplis, 1998, p. 163).

### 5.2.2.1. Potencia del Agitador

Para el cálculo de la potencia requerida del agitador primero se calculó del número de Reynolds que se expresa mediante la ecuación 22 (Geankoplis, 1998).

$$Re = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\gamma} = \frac{v \cdot D_a}{\varphi} \quad \text{Ecuación 22}$$

En donde:

- $D_a$ : Diámetro del impulsor [m]
- $N$ : Número de revoluciones [rev/s]
- $\rho$ : Densidad del fluido [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $\gamma$ : Viscosidad dinámica del fluido [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]
- $v$ : Viscosidad cinemática del fluido [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

El número de potencia de la ecuación 23, es un valor adimensional que expresa la relación que hay entre el tipo de impulsor a utilizar y se lo realizó en función del número de Reynolds (Geankoplis, 1998).

$$\text{Pot.} = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5 \quad \text{Ecuación 23}$$

En donde:

- $D_a$ : Diámetro del impulsor [m]
- $N$ : Revoluciones por segundo [rev/s]
- $\rho$ : Densidad del fluido [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $N_p$ : Número de potencia [valor adimensional]

### 5.2.3. Criterio para el Diseño de Transmisión de Potencia

Se utilizó el criterio por momento torsor el cual expresa la ecuación 24 (Budynas y Nisbett, 2012).

$$M_t = \frac{Pot.}{w} \quad \text{Ecuación 24}$$

En donde:

- Pot.: Potencia del motor [W]
- w: Velocidad angular [rad/s]

#### 5.2.3.1. Diámetro del Eje

Se utilizó el método de aplicación por momento torsor del eje en la ecuación 25 (Budynas y Nisbett, 2012).

$$\phi_{eje} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot n_s}{\pi \cdot \delta_y} \sqrt{(M_t)^2 + (M_f)^2}} \quad \text{Ecuación 25}$$

Como parte de un apropiado diseño se estableció la comprobación de la deformación del eje que puede variar dependiendo el tipo de aplicación; sin embargo, para ejes de transmisión el giro permisible por cada pie de longitud es de hasta 1° permitida (Hall et al., 1971).

Según Budynas y Nisbett (2014) establecieron que la variación angular para ejes macizos cilíndricos está dada por la ecuación 26.

$$\Delta\theta = \frac{M_t \cdot L_e}{G \cdot J} \quad \text{Ecuación 26}$$

Dado que el módulo de elasticidad en cortante se calcula con la ecuación 27 (Budynas y Nisbett, 2014).

$$G = \frac{E_t}{2(1 + \Omega_p)}$$

**Ecuación 27**

En donde:

- $\Omega_p$ : Relación de Poisson [valor adimensional]
- $E_t$ : Elasticidad [GPa]

#### **5.2.4. Energía Requerida para Elevar la Temperatura**

##### **5.2.4.1. Variación de la Energía para un Fluido**

Para el cálculo de la energía requerida para elevar a una temperatura específica requerida se consideró la masa del fluido a utilizar con la ecuación 28 (León, 2001).

$$m = \rho \cdot v_m$$

**Ecuación 28**

En donde:

- $m$ : Masa [Kg]
- $\rho$ : Densidad [Kg/m<sup>3</sup>]
- $v_m$ : Volumen [m<sup>3</sup>]

Consecuentemente para el cálculo de la energía requerida para elevar a cierta temperatura empleo la ecuación 29 de acuerdo con (Cengel, 2011).

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

**Ecuación 29**

Para el cálculo de la potencia requerida se considera un tiempo al que se desea que la temperatura llegue para lo cual se divide la energía calcula en Joule (J) sobre un tiempo en segundos (s) en la ecuación 30 (Cengel, 2011).

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t}$$

**Ecuación 30**



#### 5.2.4.2. Efecto Joule

Es el principio para entender el comportamiento de una resistencia eléctrica como medio para generar calor en una determinada aplicación. Según Andalucía, (s.f.)

Es la producción de calor en un conductor cuando circula una corriente eléctrica a través del mismo. La energía eléctrica se transforma en energía térmica debido a los continuos choques de los electrones móviles contra los iones metálicos del conductor, que provoca un aumento de temperatura del conductor.

La resistencia eléctrica es el componente que transforma la energía eléctrica en energía calorífica. (p. 1)

Por lo tanto, el efecto joule se expresa con la ecuación 31 (Andalucía, s.f.).

$$Q_r = I^2 \cdot R \cdot t$$

**Ecuación 31**

En donde:

- $Q_r$ : Energía calorífica producida por la corriente [J]
- $I$ : Corriente eléctrica [A]
- $R$ : Resistencia del material [ $\Omega$ ]
- $t$ : Tiempo [s]

#### 5.2.5. *Análisis de Transferencia de Calor*

##### 5.2.5.1. Difusividad Térmica.

Mide la capacidad de un material para conducir energía térmica en relación con su capacidad para almacenarla y se calcula con la ecuación 32 (Ramos y Ramírez, 2006).

$$\alpha_t = \frac{k}{\rho \cdot Cp}$$

**Ecuación 32**

En donde:

- $Cp$ : Calor específico [J/Kg·K]

- $\rho$ : Densidad del material [ $\text{Kg}\cdot\text{m}^3$ ]
- $k$ : Coeficiente de transferencia por conducción [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]

Transferencia por convección:

Se establece la transferencia de calor por convección producida por el fluido en este caso la leche dado que existirá un comportamiento de agitación se establece la ecuación 33 (Cengel, 2014).

$$h_L = \frac{K}{L} \cdot N_{us} \quad \text{Ecuación 33}$$

En donde:

- $K$ : Coeficiente de transferencia por convección [ $\text{W}/\text{mK}$ ]
- $L$ : Longitud del cilindro.
- $N_{us}$ : Número de Nusselt.

El número de Grashof según Ramos y Ramírez (2006) establece la ecuación 34.

$$G_r = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\alpha) \cdot X^3}{\nu_l^2} \quad \text{Ecuación 34}$$

En donde:

- $g$ : Gravedad  $9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$
- $\beta$ : Coeficiente de expansión volumétrica [ $1/\text{K}$ ]
- $\nu_l$ : Viscosidad cinemática. [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
- $T_s$ : Temperatura superficie. [ $\text{K}$ ]
- $T_\alpha$ : Temperatura ambiente. [ $\text{K}$ ]
- $X$ : Altura del cilindro. [ $\text{m}$ ]

Para transformar la viscosidad dinámica a viscosidad cinemática de [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ] a [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] correspondiente al S.I. se lo obtiene con la ecuación 35 (Ramos y Ramírez, 2006).

$$\nu_l = \frac{\gamma}{\rho} \quad \text{Ecuación 35}$$

En donde:

- $\gamma$ : Viscosidad dinámica [Pa·s]
- $\rho$ : Densidad del fluido [Kg/m<sup>3</sup>]
- $\nu$ : Viscosidad cinemática [ m/s<sup>2</sup>]

Consecuente, el número de Rayleigh se obtiene con la ecuación 36 (Ramos y Ramírez, 2006).

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad \text{Ecuación 36}$$

En donde:

- Gr: Número de Grashof.
- Pr: Número de Pradtl.

#### 5.2.5.2. Resistencia Térmica.

Se considera como primera resistencia térmica la producida por el fluido en cuestión y se representa según la figura 36.

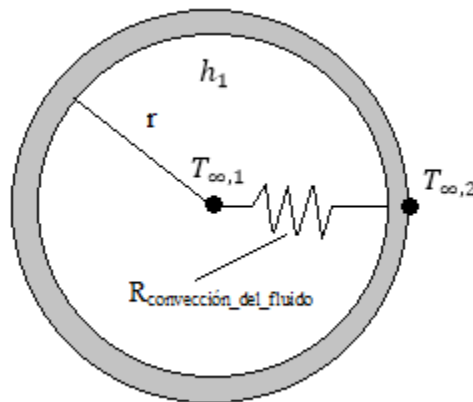


Figura 36. Resistencia térmica por convección. Fuente: Propia adaptada de (Cengel, 2011).

La resistencia por convección se calcula con la ecuación 37 (Cengel, 2014).

$$R_L = \frac{1}{h_L \cdot A_c} \quad \text{Ecuación 37}$$

En donde:

- $A_c$ : Área del cilindro [m]

Existe la transferencia de calor por convección forzada de flujo externo sobre un cilindro y está dada por la correlación de la ecuación 38 (Churchill y Berntein, s.f.).

$$N_{ue} = 0.3 + \frac{0.62 \cdot Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{2}}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Re}{282.000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}} \quad \text{Ecuación 38}$$

En donde:

- Pr: Número de Prandtl.
- Re: Número de Reynolds.

#### 5.2.6. Criterio para el Dimensionamiento de la Bomba

Para seleccionar la bomba se necesita tomar en cuenta los fundamentos básicos para su dimensionamiento. “La energía mecánica total por unidad de peso se conserva a lo largo de un filamento de corriente si el régimen es permanente y se considera un fluido perfecto e incompresible” (Cotos, 2019, p. 100).

Consecuentemente, se establece la ecuación 39 (Cotos, 2019).

$$\frac{P_a}{\varphi} + \frac{v_a^2}{2g} + Z_a + H_b = \frac{P_b}{\varphi} + \frac{v_b^2}{2g} + Z_b + hf_{p-s} \quad \text{Ecuación 39}$$

En donde:

- $P_a/\varphi, P_b/\varphi$ : Alturas de presión.
- $P_a, P_b$ : Presión.
- $V_a^2/2g, V_b^2/2g$ : Alturas de velocidad.
- $Z_a, Z_b$ : Alturas geodésicas.
- $H_b$ : Incremento de la altura proporcionado por la bomba.
- $Hf_{p-s}$ : Perdidas hidráulicas primarias y secundarias.

Para el cálculo de las pérdidas primarias se establece la ecuación 40 (Cotos, 2019).

$$hf_p = f \frac{L_{total}}{\phi_t} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

**Ecuación 40**

En donde

- $L_{total}$ : Longitud de impulsión más la de aspiración [m]
- $v$ : Velocidad del fluido [m/s<sup>2</sup>]
- $\phi_t$ : Diámetro de la tubería [m]
- $f$ : Factor de fricción.

Para el factor de fricción se considera si es el número de Reynolds > 4000 se emplea la ecuación 41 (Streeter, 2000).

$$f = \frac{1.325}{\ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7\phi} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)^2}$$

**Ecuación 41**

En donde:

- $Re$ : Número de Reynolds.
- $\varepsilon$ : Rugosidad.

De acuerdo al documento de cuadros y ábacos según Almandoz et al., (2015). Establece el cálculo de pérdidas secundarias debido al tipo de accesorios implementados en la tubería y se emplea la ecuación 42.

$$hf_s = \sum K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

**Ecuación 42**

En donde:

- $K$ : es el coeficiente de pérdidas por accesorio.

Para el cálculo de la potencia requerida de la bomba según Agüero (2002) se emplea la ecuación 43.

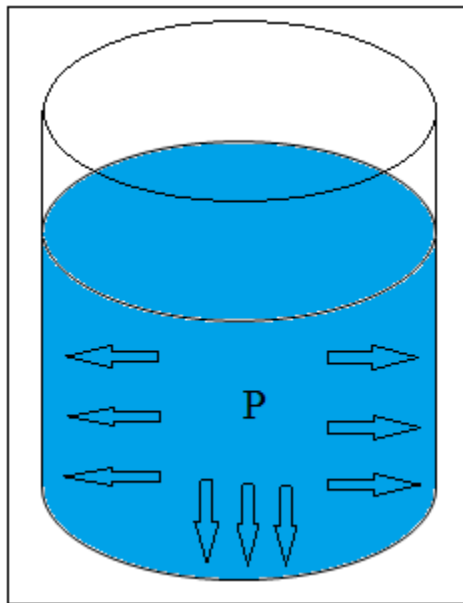
$$Pot_{bomba} = \varphi \cdot H_b \cdot Q_l$$

**Ecuación 43**

### **5.2.7. Criterio para el Diseño del Tanque y Soporte Estructural**

#### **5.2.7.1. Análisis de Presión Hidrostática.**

Representa un análisis necesario para su aplicación considerando que el fluido adopta la forma del recipiente como se observa en la figura 37, en este caso un tanque, dicho efecto puede producir una deformación en el recipiente contenedor y por tal razón, la importancia de su análisis.



*Figura 37.* Representación de la presión hidrostática en tanque. *Fuente:* Propia. *Nota:* La presión del fluido se distribuye por todo el tanque.

Por lo tanto, la presión hidrostática se toma como una propiedad importante que permite determinar el soporte máximo del recipiente, para determinar si existe algún tipo de deformación. La presión hidrostática se calcula con la ecuación (1).

#### **5.2.7.2. Momento Flector y Fuerzas Cortantes.**

Para determinar si el diseño de la estructura base cumple con la resistencia necesaria para el soporte según la figura 38, del peso total se establece un criterio. Según Pytel y Singer (1994),

“el momento flexionante representa la suma de todos los momentos de las fuerzas que en porción de la sección a ser sometida perpendicular al plano de las fuerzas y que pasa por el centro de gravedad centroide” (p. 91).

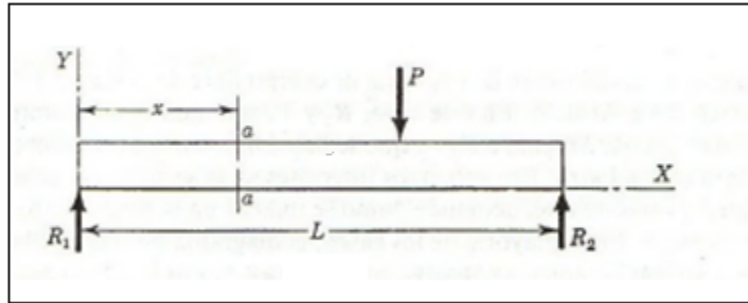


Figura 38. Carga concentra puntual. Fuente: (Pytel y Singer, 1994).

Se establece respecto a la figura 39, que el criterio del momento, flexionante es positivo si la flexión presenta la concavidad hacia arriba y si por el contrario actúa hacia abajo será negativa (Pytel y Singer, 1994).

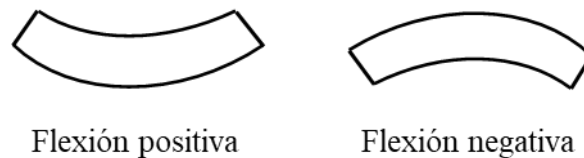
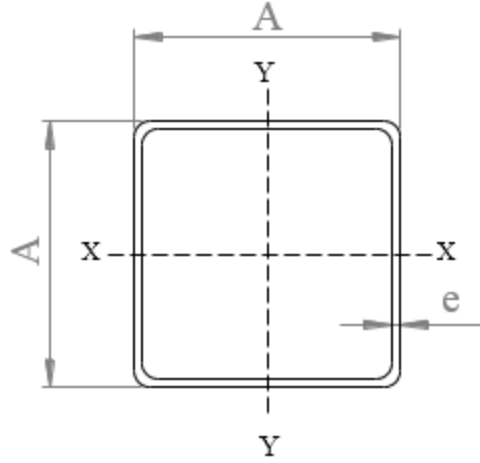


Figura 39. Curvaturas correspondientes al signo del momento flexionante. Nota: (Pytel y Singer, 1994).

### 5.2.7.3. Cálculo de Perfil Estructural.

Para el diseño de la base estructural de soporte del equipo se considera el tipo de tubo con el que va a establecer dicha base, por lo tanto, se establece el siguiente criterio.

Se selecciona el tipo de tubo para este caso es pertinente el uso de perfil estructural cuadrado cuya factibilidad es la disposición en el mercado según se muestra en la figura 40.



*Figura 40.* Tubo estructural cuadrado. *Fuente:* Propia. *Nota:* La constante “A” representa el área de sección transversal y “e” el espesor del tubo.

De acuerdo con Castillo y Rodriguez (2019), plantea que el procedimiento para el cálculo de perfil cuya sección geométrica sea simple por lo tanto, lo primero que se debe considerar es el momento flexionante máximo que actúa sobre las vigas, luego se calcula el esfuerzo admisible con la ecuación 44.

$$\delta_a = \frac{\delta_f}{n_s} \quad \text{Ecuación 44}$$

En donde:

- $n_s$ : Factor de seguridad.
- $\delta_f$ : Resistencia a la fluencia del material [Kg/cm<sup>2</sup>]
- $\delta_a$ : Esfuerzo admisible [Kg/cm<sup>2</sup>]

Consecuentemente, se debe calcular el módulo de la sección del perfil para su selección mediante la ecuación 45 (Castillo y Rodriguez, 2019).

$$W_s = \frac{M_f}{\delta_a} \quad \text{Ecuación 45}$$

En donde:

- $M_f$ : Momento flector máximo [Kg·cm]



Acorde con lo establecido para el cálculo del perfil estructural se debe determinar de acuerdo a la disposición del fabricante, el cual brinda las características e información necesaria para su selección en base al cálculo obtenido.

#### **5.2.7.4. Cálculo del Tipo de Ruedas para la Base.**

De acuerdo con el diseño se establece que deberá ser portable por tal motivo, es importante la selección de las ruedas que soportaran la carga a transportar. Fernandez (s.f.) establece que se debe realizar el cálculo de la capacidad de carga para rueda fija con la ecuación 46.

$$Q_{r\_F} = \frac{Q_{1\_total}}{N_f} \quad \text{Ecuación 46}$$

En donde:

- $Q_{1\_total}$ : Peso total de carga + peso del equipo.
- $N_f$ : 2 [Valor para carga de líquidos]

Para el cálculo de las ruedas móviles Fernandez (s.f.) establece la aplicación de la ecuación 47.

$$Q_{r\_G} = \frac{Q_{1\_total}}{N_f + N_g + 1} \quad \text{Ecuación 47}$$

En donde:

- $N_g$ : Número de ruedas giratorias.

#### **5.2.8. Criterio para el Desarrollo del Controlador**

Para la determinación del tipo de control se determina la función de transferencia del proceso en este caso el calentamiento térmico por lo que se establece un control de retroalimentación o *feedback* como se muestra en la figura 41, para lo cual se deduce de la siguiente manera:

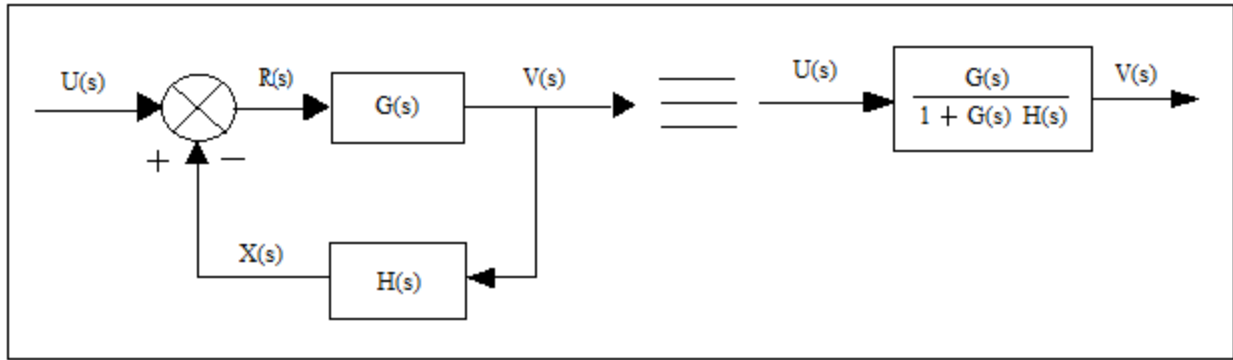


Figura 41. Control con realimentación. Fuente: Everest (s.f.). Nota:  $G(s)$  bloque del controlador y  $G(s)$  bloque de retroalimentación.

En donde:

- $U(s)$ : Señal de mando.
- $R(s)$ : Señal para error.
- $V(s)$ : Señal regulada.
- $X(s)$ : Señal de retroalimentación.

Las funciones de cada elemento según la referencia de Everest (s.f.) Son las siguientes:

$$R(s) = U(s) - X(s)$$

$$X(s) = H(s) \cdot V(s)$$

$$V(s) = G(s) \cdot R(s)$$

Sustituyendo  $R(s)$

$$V(s) = G(s)[U(s) - X(s)] = G(s) \cdot U(s) - G(s) \cdot X(s)$$

Luego se combina  $X(s)$  para su valor y se obtiene lo siguiente:

$$V(s) = G(s) \cdot U(s) - G(s) \cdot H(s) \cdot V(s)$$

$$V(s) + G(s) \cdot H(s) \cdot V(s) = G(s) \cdot U(s)$$

$$V(s)[1 + G(s) \cdot H(s)] = G(s) \cdot U(s)$$

Finalmente queda una función de transferencia del siguiente tipo:

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{G(s)}{1 + H(s) \cdot G(s)}$$

#### 5.2.8.1. Método de Sintonía del Controlador PID.

Para la sintonización de un controlador PID existen varios métodos entre los más conocidos se encuentra el de Ziegler-Nichols. De acuerdo con Moreno y Garrido (2020):

Los métodos de Ziegler - Nichols son dos métodos clásicos de ajuste empírico de los parámetros de un controlador PID y su cálculo según muestra la tabla 6. Ambos métodos se basan en la determinación de algunas características de la respuesta del proceso, temporal o frecuencial, para determinar a partir de dichas características y por medio de unas relaciones matemáticas muy simples los parámetros del controlador que da una respuesta. (p. 112)

Los parámetros del controlador PID son los siguientes:

Tabla 6. *Valores de los parámetros propuestos por Ziegler-Nichols*

Controlador	K	Ti	Td
P	1/a		
PI	0,9/a	3L	
PID	1,2/a	2L	L/2

Fuente: (Moreno y Garrido 2020) *Nota:* Parámetros para encontrar las constantes K, Ti y Td de acuerdo al controlador.

#### 5.2.8.2. Método de Smith.

Se establece como, “el primer método basado en dos puntos sobre la curva de reacción fue propuesto por Smith. Los instantes seleccionados por este autor fueron los tiempos requeridos para que la respuesta alcance el 28.3 % ( $t_{28}$ ) y el 63.2 % ( $t_{63}$ ) del valor final” (Alfaro, 2001, p. 15).

Los parámetros para obtener a través del método de los dos puntos de Smith son las siguientes ecuaciones 48, 49, 50 y 51. (Alfaro, 2001)

$$t_{28.3} = t_m + \frac{\tau}{3} \quad \text{Ecuación 48}$$

$$t_{63.2} = t_m + \tau \quad \text{Ecuación 49}$$

$$\tau = \frac{3}{2}(t_{63.2} - t_{28.3}) \quad \text{Ecuación 50}$$

$$t_m = t_{63.2} - \tau \quad \text{Ecuación 51}$$

En donde:

- $\tau$ : Constante de tiempo.
- $t_m$ : Tiempo muerto aparente del sistema.

### 5.2.9. Dimensionamiento de Batería

Según Lorenzo (2015) Sunfields, empresa que trabaja con equipos de autonomía, establece el siguiente método de cálculo para el dimensionamiento de baterías para el cálculo del consumo de energía se calcula con la ecuación 52.

$$C_{md} = \frac{C_{md,DC} + \frac{C_{md,AC}}{\eta_{inversor}}}{\eta_{conductor} \cdot \eta_{bateria}} \quad \text{Ecuación 52}$$

En donde:

- $C_{md}$ : Consumo medio diario.
- $C_{md,DC}$ : Consumo de equipos de corriente directa.
- $C_{md,AC}$ : Consumo de equipos de corriente alterna.
- $\eta_{inversor}$ : Rendimiento del inversor.
- $\eta_{conductor}$ : Rendimiento del conductor.
- $\eta_{bateria}$ : Rendimiento de la batería.

Para el cálculo de los A-h (Amperio-hora) de la batería se aplica la ecuación 53 (Lorenzo, 2015).

$$Q_{A-h} = \frac{C_{md}}{V_{bateria}}$$

**Ecuación 53**

En donde:

- $V_{bateria}$ : Es el voltaje de la batería a obtener normalmente de 12V.

#### **5.2.10. Dimensionamiento del Variador de Frecuencia**

Para lo cual se establece que, “la velocidad en el eje de un motor asíncrono en rpm, depende del número de polos magnéticos del motor, y la frecuencia  $f$  (Hz)” (Sevillano, 2011, p.144).

Mientras tanto, para el cálculo correspondiente de la frecuencia requerida para las rpm necesarias se establece la ecuación 54 (Sevillano, 2011).

$$n_r = 60 \frac{f_r}{2p}$$

**Ecuación 54**

En donde:

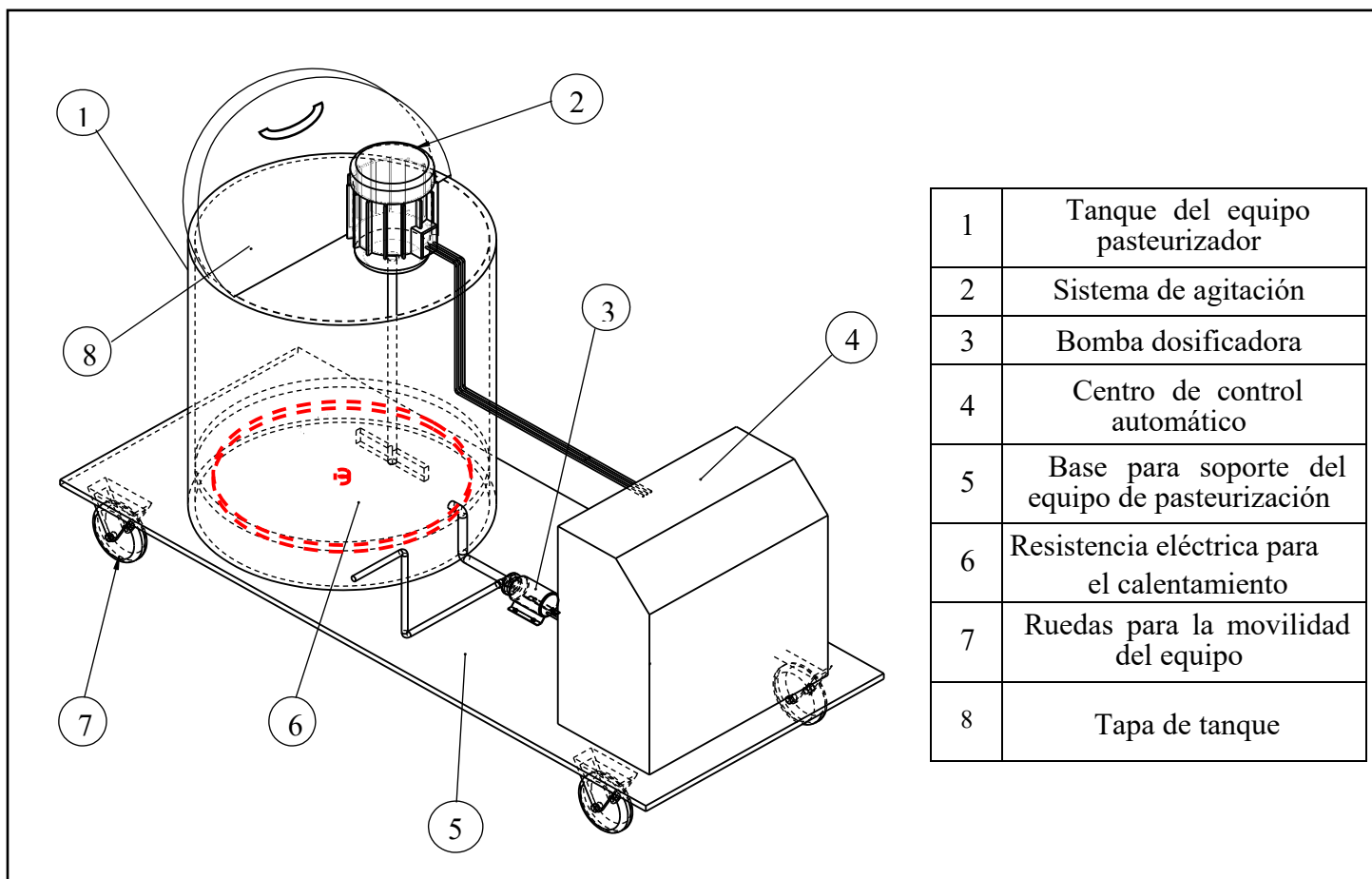
- $n_r$ : Velocidad [rpm]
- $f_r$ : Frecuencia de la red [Hz]
- $2p$ : Número de par de polos correspondientes al motor.

## **6. Resultados**

Para la alimentación de los terneros se requiere que el alimento haya pasado por un tratamiento térmico, el cual se lo denomina pasteurización que consiste en elevar la leche a una temperatura de 65 °C durante un tiempo de 30 minutos para luego ser suministrada a una temperatura de alimentación recomendada no mayor a 40 °C. Sin embargo, la distancia entre el sitio de pasteurización y el corral en donde se ubica el ternero no siempre se encuentran cerca, por lo que no se cumple con las condiciones requeridas para su alimentación si se lo realiza de forma habitual, ya que dependen de un equipo portable que mantenga las características del alimento y en las condiciones requeridas, mismas que puede ofrecer la portabilidad del equipo debido a la distancia que toma llevar el alimento hasta donde se encuentran los terneros.

Por lo tanto, basándose en los equipos existentes en el mercado y las necesidades requeridas se definió los componentes para un equipo pasteurizador de leche de 100 litros de capacidad.

Las siguientes partes y elementos necesarios para su funcionamiento de un equipo práctico mostrado en la en la figura 42.



*Figura 42.* Elementos de un equipo para el tratamiento y alimentación de terneros. *Fuente:* Propia. *Nota:* La representación de los elementos y componentes están ubicados respectivamente para su identificación.

A continuación, se muestra el cálculo del volumen requerido para la capacidad de trabajo para luego obtener la potencia requerida y consecuentemente el dimensionamiento de las partes que constituyan el pasteurizador que tiene como objetivo mantener la leche a una temperatura adecuada a 65 °C durante 30 minutos y luego a 40 grados centígrados para la alimentación de los terneros.

Se consideró trabajar con materiales de grado alimenticio como es el acero inoxidable AISI 304 dado el uso que se le dará, y a su vez la implementación de un sistema de manejo automatizado para el cumplimiento de las funciones que realiza, así como el propósito de ser transportable.

## 6.1. Dimensionamiento de Tanque Pasteurizador

### 6.1.1. Volumen del Tanque de Almacenamiento

Para el dimensionamiento del tanque de pasteurizador se consideró el volumen de almacenamiento que se requiere, en este caso de un volumen de 100 litros para lo cual se lo sobredimensionó a este valor con un mínimo de 10 % esto debido a un factor de seguridad para el material y por concepto general para el dimensionamiento adecuado de tanques (León, 2002).

$$\text{Volumen}_{\text{total}} = \text{Volumen}_1 \cdot 1.10 = 100 \cdot 1.10$$

$$\text{Volumen}_{\text{total}} = 110 \text{ litros}$$

Una vez obtenido el volumen se obtuvo “H” la altura correspondiente asumiendo en este caso un radio de 0.25 metros para el tanque correspondiente.

$$H = \frac{v_m}{\pi r^2}$$

En donde:

- H: Altura [m]
- $v_m$ : Volumen [ $\text{m}^3$ ]
- r: Radio [m]

$$H = \frac{0.110 \text{ m}^3}{\pi (0.25)^2} = 0.56 \text{ m}$$

### 6.1.2. Cálculo de la Presión del Fluido

Para el cálculo de la presión del fluido se consideró el tipo de material; en este caso, el acero ANSI 304 cumple con las características adecuadas para el dimensionamiento del tanque ya que soporta todo tipo de temperaturas y tiene una gran resistencia a la corrosión ideal para el tratamiento con alimentos cuyas características se muestran en la tabla 7.



Tabla 7. *Características del acero inoxidable 304*

Resistencia a la tracción			Límite a la fluencia			Alargamiento en 2%	Reducción de área (%)
MPa	Kg/mm <sup>2</sup>	PSI	MPa	Kg/mm <sup>2</sup>	PSI		
481	49	70	167	18	26	40	50
510	52	74	206	21	30		

Fuente: Catálogo soluciones con acero de Ferrocortes S.A. Nota: Valores establecidos únicamente para el acero AISI 304.

Se consideró que el tanque estará sometido a una presión hidrostática debido al fluido que contiene, esto puede verse afectado según sea las propiedades y características del fluido y el material del tanque que se use para contenerlo, considerando lo anterior permitió escoger el espesor adecuado para su uso, para ello se calculó la presión hidrostática del fluido.

Aplicando la ecuación 16, se obtiene la presión hidrostática del fluido

$$Presión_{Hidrostática} = \rho \cdot g \cdot H \text{ [N/m}^2\text{]}$$

En donde:

- $\rho$  = Densidad de la leche [1032 kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Gravedad [9.81 m/s<sup>2</sup>]
- $H$  = Altura [0.56 m]

$$Presión_{Hidrostática} = 5669.39 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

### 6.1.3. Factor de Seguridad del Tanque Pasteurizador

El factor de seguridad, uno de los parámetros importantes para el diseño del tanque ya que permitió considerar la calidad del material con el que se va a dimensionar, la carga que se aplica, peligro para el personal e impacto económico que conllevaría.

El factor de seguridad se obtiene con la ecuación 17.

$$n_s = n_{sx} \cdot n_{sy}$$

$$n_s = (1.45) \cdot (1.0) = 1.45$$

La selección de los datos correspondientes a  $n_{sx}$  y  $n_{sy}$  se los puede observar en el anexo (1)

#### 6.1.4. Cálculo del Espesor del Tanque

Una vez obtenido el factor de seguridad lo primero que se realizó fue el cálculo del esfuerzo máximo permisible para luego obtener el espesor correspondiente al tanque para ello debemos considerar el esfuerzo máximo a la fluencia del material, para el acero inoxidable que es de 18 kg/mm<sup>2</sup> transformándolo queda 176.5197 MPa y se calculó el esfuerzo máximo permisible (S) con la ecuación 18.

$$S = \frac{S_y}{n_s}$$
$$S = \frac{176.5197 \text{ MPa}}{1.45}$$
$$S = 121.73 \text{ MPa}$$

Una vez obtenido los datos como son la presión que ejerce el fluido sobre el tanque y un factor de seguridad podremos calcular el espesor del material requerido considerando las propiedades del acero inoxidable AISI 304. Se consideró una eficiencia de soldadura de 0.7 dado que no se realizó una prueba con respecto a las juntas que se soldarán (León Estrada, 2001).

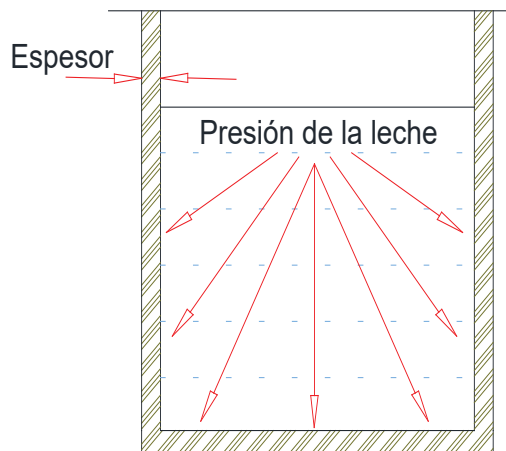


Figura 43. Representación del espesor del tanque. Fuente: Propia. Nota: Un parámetro importante es la presión del fluido para determinar el espesor del tanque requerido.

El espesor se obtuvo con la siguiente ecuación 9.

$$t = \frac{P \cdot r_i}{S \cdot E_s - 0.6 \cdot P}$$

$$t = \frac{0.0566939 \text{ MPa} \cdot 0.25 \text{ m}}{121.73 \text{ MPa} \cdot (0.7) - 0.6 \cdot (0.0566939 \text{ MPa})}$$

$$t = 1.664 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Se considera 1 mm de sobre-espesor por corrosión correspondiente al uso de soldadura tomando en cuenta que se encontrará el tanque en contacto constante con un fluido (Borja et al., 2016).

$$t_{TOTAL} = t + 0.001 \text{ m}$$

$$t_{TOTAL} = 1.664 \cdot 10^{-4} + 0.001 \text{ m}$$

$$t_{TOTAL} = 1.1664 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t_{TOTAL} \approx 1.2 \text{ mm}$$

Se selecciona un espesor comercial próximo del que se obtuvo de acuerdo al que el fabricante Ivan Bohman indica en el Anexo 3.

## 6.2. Sistema de agitación del Pasteurizador

El sistema de agitación permite una mayor homogeneidad al momento del tratamiento térmico, así como también la mezcla de productos adicionales que sean agregados, sin embargo, su principio fundamental es mantener la uniformidad de la sustancia mientras ocurre la transferencia de calor a la temperatura deseada.

### 6.2.1. Selección del Tipo de Agitador

Se seleccionó un agitador con impulsor de tipo paletas debidas a la baja velocidad angular, la viscosidad del fluido y para este caso en especial debido a la ubicación el cual no será concéntrico al tanque y la posición de sus elementos de acuerdo a la figura 44.

### 6.2.1.1. Dimensionamiento del Agitador

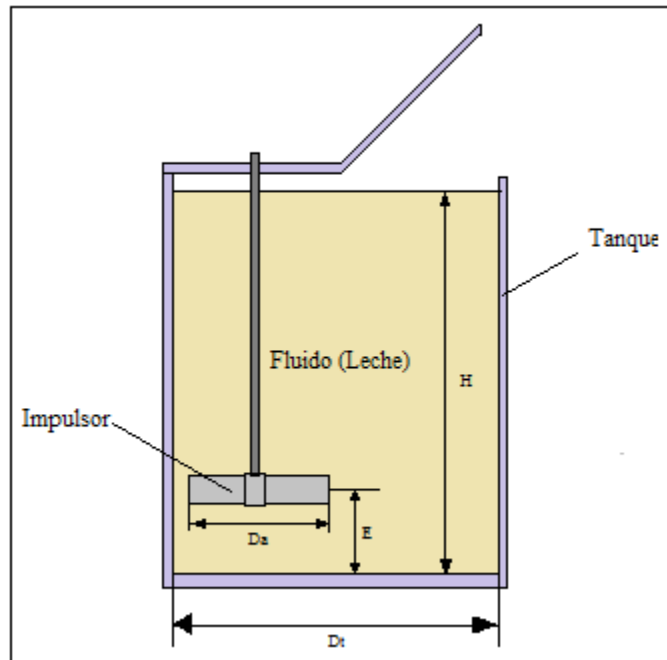


Figura 44. Ubicación del agitador. Fuente: Propia. Nota: La nomenclatura corresponde a la medida y ubicación del agitador.

Aunque no existe el riesgo de generarse un vórtice por la velocidad de agitación a utilizarse, el colocarlo en un extremo garantizara inexistencia del fenómeno y a la vez la consideración de no utilizar flectores en las paredes del tanque.

- Cálculo de impulsor ( $D_a$ ):

Con la ecuación 19, se calcula el diámetro del impulsor.

$$D_a = D_t \cdot (1/3)$$

$$D_a = 0.50 \cdot \left(\frac{1}{3}\right) = 0.17 \text{ m}$$

La distancia entre el fondo del agitador y el impulsor se obtiene con la ecuación 20.

$$\frac{E}{D_i} = 1$$

$$E = 1 \cdot (0.17 \text{ m}) = 0.17$$

Para las dimensiones del impulsor se aplicó la ecuación 21.

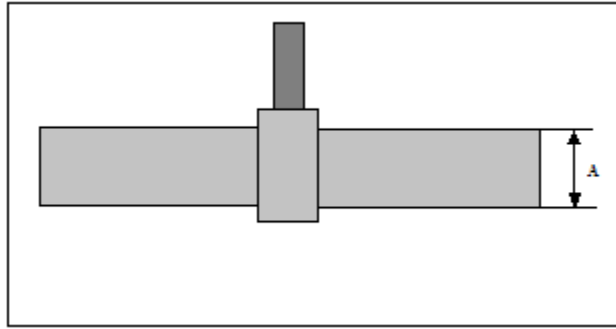


Figura 45. Ancho del impulsor. Fuente: Propia.

$$A = D_t \cdot \left( de \frac{1}{6} a \frac{1}{10} \right)$$

$$A = 0.50 \cdot \frac{1}{10} = 0.05 \text{ m}$$

- Cálculo de los Reynolds del Agitador:

Para el cálculo de la potencia es importante la obtención previa del número de Reynolds que se obtienen con los datos previamente establecidos como son la viscosidad, el diámetro del agitador y para este caso en específico el número de revoluciones de 50 rpm según el rango propuesto en la referencia (AgitMIM, 2019).

Se calculó el número de Reynolds de acuerdo con Geankoplis (1998) propone que para el uso de agitadores la aplicación de la ecuación 22.

$$R_e = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\gamma}$$

$$R_e = \frac{(0.17 \text{ m})^2 \cdot 0.833 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \cdot 1032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.0017 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$R_e = 14616.15$$

- Potencia requerida por el agitador:

Para el cálculo de la potencia se considera el “número de potencia” el cual está dado por la figura 46, mismo que corresponde al valor de 50, con este valor se reemplazó en la ecuación 8.

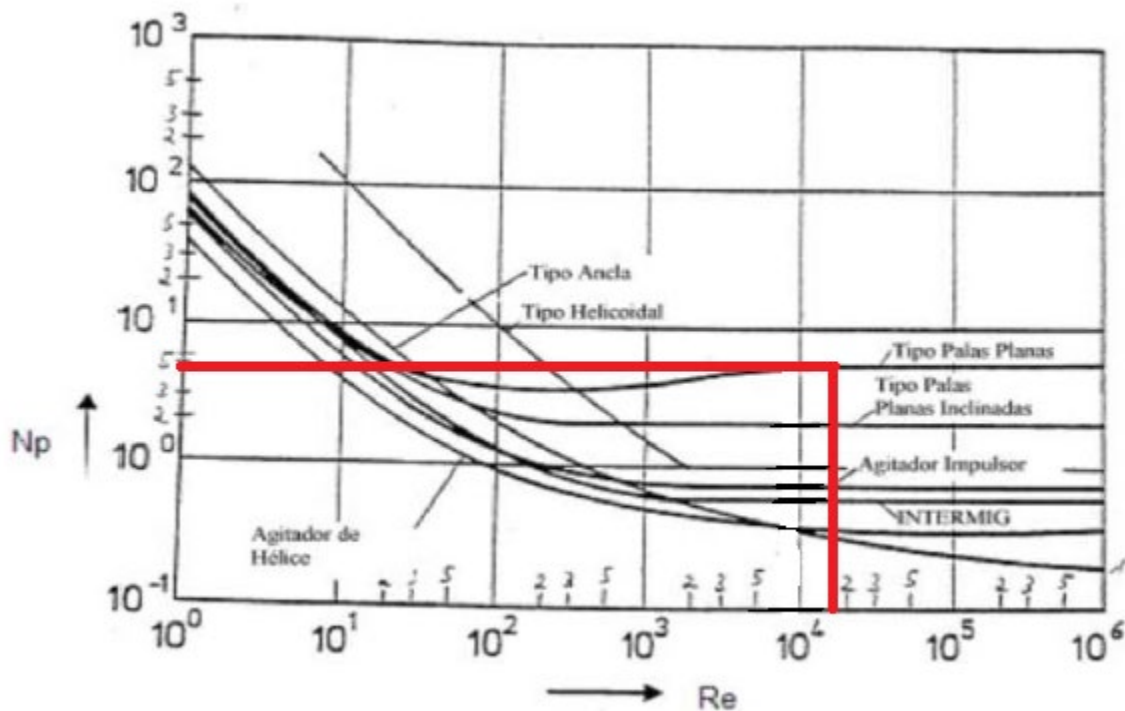


Figura 46. El número de potencia ( $N_p$ ) con respecto al número de Reynolds. Fuente: Nathaly Maldonado (s.f.). Nota: El número de potencia se obtiene con relación al tipo de impulsor y el número de Reynolds.

$$Pot. = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot \phi^5$$

$$Pot. = 50 \cdot 1032 \text{ kg/m}^3 \cdot (0.833 \frac{\text{rev.}}{\text{seg}})^3 \cdot (0.17)^5$$

$$Pot. = 4.23 \text{ W}$$

$$Pot. = \frac{1 \text{ Hp}}{745 \text{ W}} \cdot 4.23 \text{ W} = 0.0568 \text{ HP}$$

Considerando que se debe seleccionar una potencia comercial próxima al valor obtenido de potencia requerida se selecciona un motor de 1/4 HP de potencia.

### 6.3. Dimensionamiento del Eje Agitador

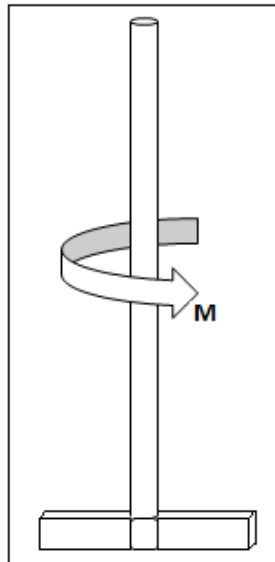
Para el diseño del eje del agitador se consideró un eje cilíndrico macizo de acero inoxidable debido al fluido con el que trabajara y con una disponibilidad de uso de 90 minutos que dura el mantener la pasteurización a 65 °C. Uno de los aspectos importantes es el funcionamiento a 50 rpm que permitirá una homogeneización adecuada del fluido. Sin embargo, el motor viene con un mayor rango de rpm por lo que se requiere de un variador de frecuencia para su funcionamiento.

Considerando que debe cumplir con las características mínimas de diseño como son:

- 50 rpm
- 6.32 N·m
- 1/4 Hp

#### 6.3.1. Cálculo del Momento Torsor

Para el cálculo del eje se consideró primero el cálculo del momento torsor al cual va a ser sometido el eje del agitador para ello se calculó considerando la potencia nominal del motor en (W) y de la velocidad angular del agitador en (rad/s) representado en la figura 47.



*Figura 47.* Representación del momento torsor del eje del agitador. *Fuente:* Propia.

Se obtuvo el momento torsor con la ecuación 12.

$$M_t = \frac{Pot.}{w}$$

$$M_t = \frac{186.25 (W)}{5.23 \text{ rad/s}}$$

$$M_t = 36.61 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 6.3.2. Cálculo del Momento Flector

Para el cálculo del momento flector se consideró el radio del impulsor y la fuerza tangencial que se ejerce sobre el mismo, así como la longitud del eje de acuerdo a la figura 48.

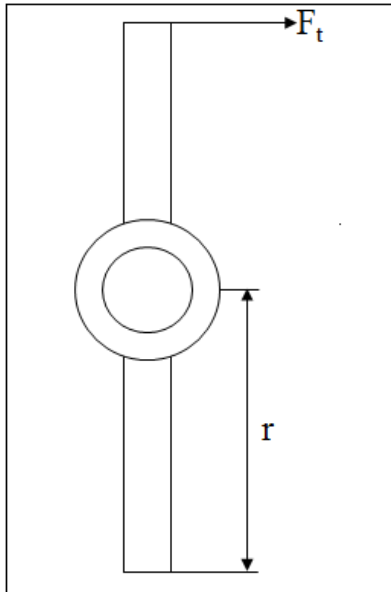


Figura 48. Momento flector producido por el impulsor. Fuente: Propia

En el cálculo correspondiente se obtuvo la fuerza tangencial con la ecuación 12.

$$M_t = r_{imp} \cdot F_t$$

En donde:

- $M_t$ : Momento torsor [36.61 N·m]
- $r_{imp}$ : Radio del impulsor [0.085 m]



Colocando los datos en la fórmula y despejando la fuerza tangencial se obtuvo lo siguiente:

$$F_t = \frac{(36.61 N \cdot m)}{0.085 m} = 430.70 N$$

Con la fuerza tangencial obtenida se calculó el momento flector en donde la longitud del eje es de 0.394 m para el cálculo con la ecuación 14.

$$M_f = L_e \cdot F_t$$

$$M_f = (0.394 m) \cdot (430.70 N)$$

$$M_f = 169.69 N \cdot m$$

Para el cálculo del diámetro del eje se toma en cuenta la resistencia a la fluencia del material en este caso se consideró el acero inoxidable AISI 304 cuyo valor de la resistencia es de  $\delta_y = 274$  MPa y un factor de seguridad  $N_s = 2$  recomendado para el eje dada la confiabilidad del material a usar.

Para el diámetro del eje se aplicó la ecuación 25.

$$\phi_{eje} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot n_s}{\pi \cdot \delta_y} \sqrt{(M_t)^2 + (M_f)^2}}$$

$$\phi_{eje} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (2)}{\pi \cdot (274 MPa)} \sqrt{(36.61 N \cdot m)^2 + (169.69 N \cdot m)^2}}$$

$$\phi_{eje} = 0.0234 m$$

Para la selección de un diámetro de eje comercial se seleccionó un  $\phi_{eje} = 26$  mm que es el más próximo según el fabricante. (Ver anexo 4)

Para la deformación del eje se consideró que por cada 1 ft de longitud se deformara  $1^\circ$  en este caso queda de acuerdo a la tabla 8.

Tabla 8. *Deformación del eje requerido.*

Variación angular	Longitud
1°	0.3048 m
$\Delta\theta$	0.394 m

*Fuente:* (Hall et al., 1970). *Nota:* Valor correspondiente a la deformación.

$$\Delta\theta = \frac{1^\circ \cdot 0.394 \text{ m}}{0.3048 \text{ m}}$$

$$\Delta\theta = 1.29^\circ$$

Este valor representa el valor angular máximo permitido.

Para el cálculo de la variación angular del eje a utilizar se consideró el valor del módulo de elasticidad  $E = 190 \text{ Gpa}$  que corresponde a los aceros inoxidables (Budynas y Nisbett, 2014). Adicionalmente, se consideró un valor  $\Omega = 0.3$  que se da como la relación de Poisson para aceros, con dichos valores antes mencionados se calculó la variación correspondiente (Mott, 2004).

Primero se calculó el módulo de elasticidad en cortante ( $G$ ) con la ecuación 27.

$$G = \frac{E_t}{2(1 + \Omega_p)}$$

$$G = \frac{190 \text{ Gpa}}{2(1 + 0.3)}$$

$$G = 73.076 \text{ Gpa}$$

Consecuentemente se calculó el momento polar del área ( $J$ ) en la ecuación 11.

$$J = \frac{\pi \cdot \phi^2}{32}$$

$$J = \frac{\pi \cdot (0.026 \text{ m})^4}{32}$$

$$J = 4.486 \cdot 10^{-8} m^4$$

Se reemplazaron los valores calculados anteriormente en la ecuación 13.

$$\Delta\theta = \frac{M_t \cdot L_c}{G \cdot J}$$

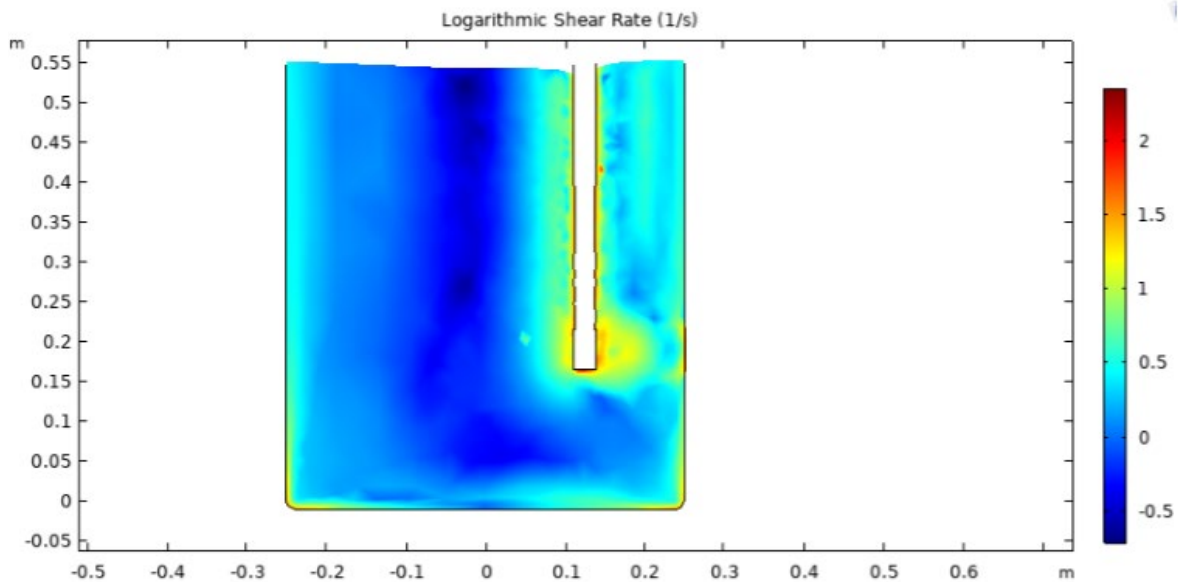
$$\Delta\theta = \frac{(36.61 \text{ N} \cdot \text{m}) \cdot (0.394 \text{ m})}{(73.076 \text{ GPa}) \cdot (4.486 \cdot 10^{-8} m^4)} = 4.40 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

$$\Delta\theta = \frac{4.40 \times 10^{-3} \text{ rad} \cdot 180^\circ}{\pi \text{ rad}}$$

$$\Delta\theta = 0.251^\circ$$

Esta deformación calculada es menor a la máxima permitida de  $1.29^\circ$  calculada anteriormente, por lo tanto, es correcto el diámetro del eje seleccionado.

Consecuentemente, se realizó el respectivo análisis para comprobar la inexistencia de un vórtice, pero dados los resultados no se presentó dicho fenómeno.



*Figura 49.* Análisis de comportamiento del agitador. *Fuente:* Comsols Multiphysics. *Nota:* Simulación del sistema de agitación

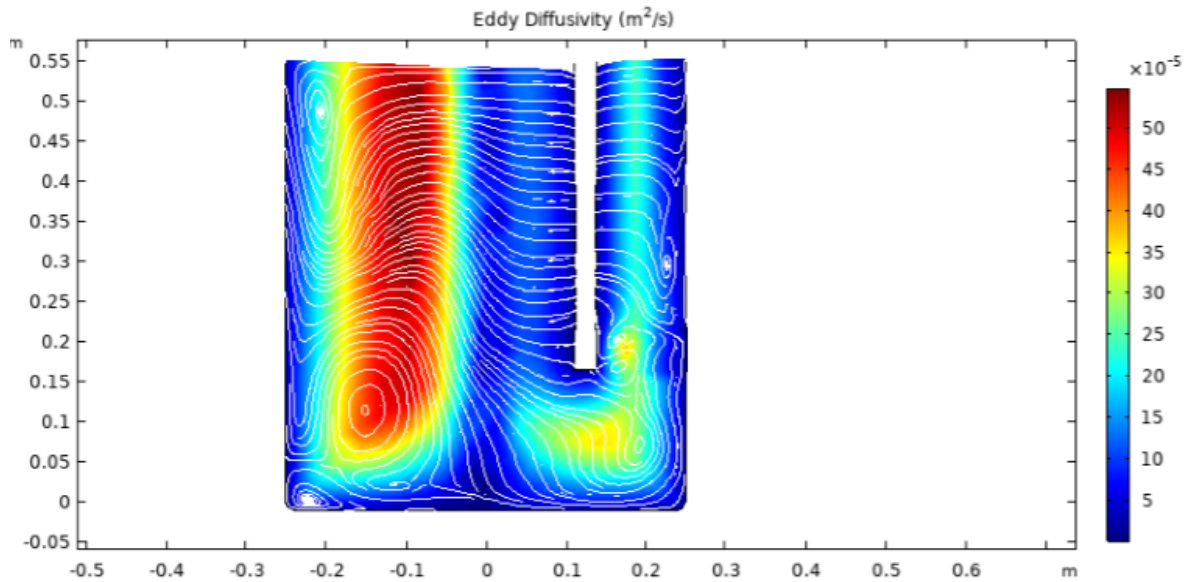


Figura 50. Comportamiento de las corrientes del fluido en agitación. Fuente: Comsols Multiphysics. Nota: Comportamiento del fluido debido a la agitación simulado.

## 6.4 Cálculo del Sistema de Transferencia de Calor

Para el sistema de calentamiento se establecieron resistencias eléctricas en la base externa del tanque, para ello se realizó el cálculo de transferencia de calor para determinar la potencia real, considerando las pérdidas que se pueden dar.

### 6.4.1. Potencia Mínima Requerida

Para dimensionar el sistema de calentamiento se calculó la potencia requerida para calentar el fluido y llevar a la temperatura deseada, considerando como la capacidad principal. Para ello se obtuvo la energía que requiere dicha capacidad de leche, el primer dato obtenido es la masa con la ecuación 28.

$$m = \rho \cdot v_m$$

$$m = 1032 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.1m^3$$

$$m = 103.2 kg$$

De acuerdo al criterio para una temperatura inicial, según Hernandez (1975) consideró que  $T_1 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , luego se reemplazó en la ecuación 29.

$$Q = m \cdot Cp \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q = 103.2\text{ Kg} \cdot 3.95 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}} \cdot (65\text{ }^{\circ}\text{C} - 15\text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 20382\text{ J}$$

Adicionalmente se tiene el dato del tiempo considerando que se quiere realizar este proceso de calentamiento en el transcurso de una hora con treinta minutos de acuerdo con el proceso empleado por (Holm & laue) fabricante de equipos alimenticios para terneros, con la información correspondiente se obtuvo la potencia reemplazando los datos en la ecuación 30.

$$\dot{Q} = \frac{\text{Energía}}{\text{tiempo}} = \frac{20382\text{ kJ}}{5400\text{ s}} = 3.77\text{ kW}$$

#### 6.4.2. Análisis de Pérdidas de Calor

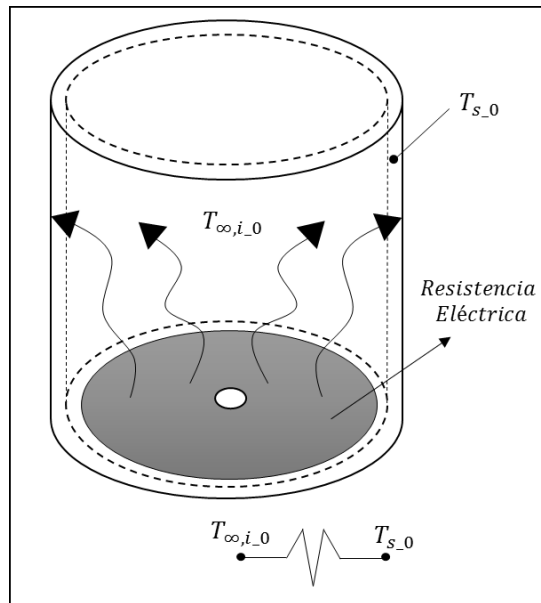


Figura 51. Transferencia de calor interna. Fuente: Propia. Nota: El calentamiento está dado por la resistencia eléctrica.

Según la figura 51, en donde la representación de la temperatura interna está dada por:

$$T_{fi_0} = \frac{T_{\infty,i_0} + T_{s_0}}{2} = \frac{65 + 15}{2} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313.15 \text{ K}$$

Las propiedades de la leche son:

- Viscosidad dinámica: 0.0017 Pa·s
- Densidad: 1013 Kg/m<sup>3</sup>
- Conductividad de la leche: 0.64023 W/m·K
- Calor específico: 3885.56 J/Kg·K
- Diámetro “D”: 0.5 m
- Altura “H”: 0.56 m

La difusividad térmica está dada por la ecuación 32.

$$\alpha_{t_0} = \frac{0.64023 \text{ [W/m} \cdot \text{K]}}{1013 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 3885.56 \left[ \frac{\text{J}}{\text{Kg}} \cdot \text{K} \right]} = 1.625 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

La viscosidad cinemática se la obtuvo con la ecuación 35.

$$\nu_{ci_0} = \frac{0.0017 \text{ [Pa} \cdot \text{s]}}{1013 \text{ Kg/m}^3} = 1.677 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

El valor del número de Prandtl reemplazando en la ecuación 4.

$$P_{ri_0} = \frac{1.677 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}{1.625 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}} = 10.31$$

Para el cálculo del flujo por convección natural interna se calculó con el número de Grashof con la ecuación (34) en donde “h” es la altura del tanque 0.56 metros.

$$G_{ri_0} = \frac{g \cdot (T_{\infty,i_0} - T_{s_0}) \cdot H^3}{(T_{fi_0} + 273) \cdot (\nu_{ci_0})^2} = 5.571 \cdot 10^{11}$$

Adicionalmente se obtuvo el número de Rayleigh con la ecuación 36.

$$R_{ai\_0} = G_{ri} \cdot P_{ri} = 5.748 \cdot 10^{12}$$

De acuerdo con la correlación se estableció la siguiente condición en donde “D” es el diámetro del cilindro y “H” su longitud:

$$\frac{D}{H} \geq \frac{35}{G_{ri\_0}^{1/4}}$$

$$0.893 \geq 0.041$$

La relación anteriormente calculada cumplió con la condición establecida, por lo tanto, corrobora el dimensionamiento.

De acuerdo con la transferencia por convección interna se estableció la correlación de Dittus-Boelter.

En donde

- $Re_i$ : Número de Reynolds [31605] dado por la agitación.
- $n$ : 0.4 para calentamiento

$$N_{ui\_0} = 0.023 \cdot Re_i^{\frac{4}{5}} \cdot P_{ri}^n = 0.023(31605)^{\frac{4}{5}} \cdot (10.31)^{0.4} = 234.24$$

Consecuentemente se obtuvo el coeficiente de convección interno con la ecuación 33.

$$h_{i0} = N_{ui\_0} \cdot \frac{K_{leche}}{H} = (234.24) \cdot \frac{0.6423 \frac{W}{m \cdot K}}{0.56 m} = 2.874 \cdot 10^3 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

La resistencia interna se la obtuvo de acuerdo a la ecuación 37.

$$R_{i01} = \frac{1}{h_{i0} \cdot \pi \cdot D \cdot H} = \frac{1}{(2.874 \cdot 10^3 \frac{W}{K \cdot m^2}) \cdot \pi \cdot (0.5 m) \cdot (0.56 m)} = 3.95 \cdot 10^{-4} \frac{K}{W}$$

$$R_{i02} = \frac{4}{h_{i0} \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4}{(2.874 \cdot 10^3 \frac{W}{K \cdot m^2}) \cdot \pi \cdot (0.5 m)^2} = 0.00177 \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica total es la siguiente:

$$R_{Tio} = R_{i01} + R_{i02} = (3.95 \cdot 10^{-4} + 0.00177) \frac{K}{W} = 2.165 \cdot 10^{-3} \frac{K}{W}$$

Para la obtención de la transferencia de calor externa se la obtuvo con respecto a la correlación de Churchill y Chu de convección natural externa, y se obtuvo el siguiente resultado con la ecuación 3.

$$N_{ue\_0} = \left\{ 0.825 \frac{0.387 \cdot Ra_i^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr_i} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0.825 \frac{0.387 \cdot (5.215 \cdot 10^{12})^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{(10.31)} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = 2.874 \cdot 10^3$$

Con los datos obtenidos se pudo encontrar el coeficiente de transferencia de convección en la ecuación 33.

$$h_{e1} = N_{ue\_0} \cdot \frac{K_{leche}}{H} = (2.874 \cdot 10^3) \cdot \frac{0.64023 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]}{0.56 m} = 2.783 \cdot 10^3 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

La resistencia térmica resultante reemplazando en la ecuación 37, es la siguiente:

$$R_{e10} = \frac{1}{h_{i1} \cdot \pi \cdot D \cdot H} = \frac{1}{(2.783 \cdot 10^3 \frac{W}{K \cdot m^2}) \cdot \pi \cdot (0.5 m) \cdot (0.56 m)} = 4.084 \cdot 10^{-4} \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica externa de la superficie está dada por:

$$R_{e20} = \frac{4}{h_{i1} \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4}{(2.783 \cdot 10^3 \frac{W}{K \cdot m^2}) \cdot \pi \cdot (0.5 m)^2} = 0.026 \frac{K}{W}$$

$$R_{Ti1} = R_{i0} + R_{i1} = (4.084 \cdot 10^{-4} + 0.026) \frac{K}{W} = 0.0264 \frac{K}{W}$$

Con los resultados obtenidos se obtuvo el calor total:

$$q_1 = \frac{(T_{\infty, i_0} - T_{s_0})}{R_{Ti0} + R_{Ti1}} = 1750.39 W$$



#### **6.4.3. Cálculo de Calor Total Requerido**

Para la selección de la potencia calorífica necesaria de las resistencias térmicas para el calentamiento térmico del fluido se consideró las pérdidas por transferencia de calor más la potencia mínima requerida debido al efecto de calor sensible del fluido.

$$\dot{Q}_{TOTAL} = \dot{Q} + q_1$$

$$\dot{Q}_{TOTAL} = (3700 + 1750.39) W$$

$$\dot{Q}_{TOTAL} = 5450.39 W$$

Para establecer las resistencias térmicas comerciales se seleccionó en este caso la más próxima o superior que es de 5.5 KW. Vale señalar que en el cálculo de las condiciones para el calor total corresponden con la de una habitación de temperatura de 15 °C y no presenta flujos de aire.

#### **6.4.4. Análisis del Proceso de enfriamiento**

Dentro del cálculo para el sistema de enfriamiento se consideró la transferencia de calor por convección natural, sin embargo, se propone un análisis matemático para considerar el cambio de los parámetros en tanto se desee mejorar dicho comportamiento y llegar a la temperatura deseada, proponiendo condiciones en la transferencia de calor.

De acuerdo al circuito térmico se estableció el siguiente análisis como se observa en la figura 52.

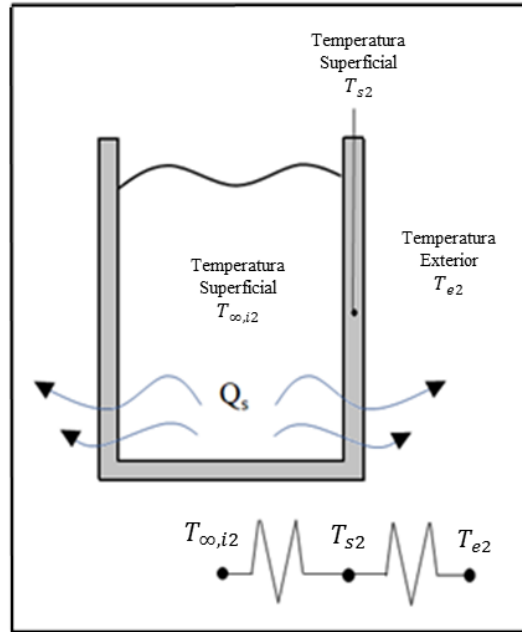


Figura. 52. Circuito térmico de transferencia de calor. Fuente: Propia

El primer análisis que se realizó fue del comportamiento de la transferencia de calor por convección natural interna del tanque.

En donde la temperatura interna está dada por:

$$T_{fi2} = \frac{T_{\infty,i2} + T_{s2}}{2} = \frac{40 + 39}{2} = 39.5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 312.65 \text{ K}$$

Las propiedades de la leche en este caso son:

- Viscosidad dinámica: 0.0017 Pa·s
- Densidad: 1013 Kg/m<sup>3</sup>
- Conductividad de la leche: 0.64023 W/m·K
- Calor específico: 3885.56 J/Kg·K

La difusividad térmica está dada por la ecuación 32.

$$\alpha_{t2} = \frac{0.64023 \text{ [W/m} \cdot \text{K]}}{1013 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 3885.56 \left[ \frac{\text{J}}{\text{Kg}} \cdot \text{K} \right]} = 1.625 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

La viscosidad cinemática se la obtuvo con la ecuación 35.

$$\nu_{lci2} = \frac{0.0017 \text{ [Pa} \cdot \text{s]}}{1013 \text{ Kg/m}^3} = 1.677 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

El valor del número de Prandtl (interno) reemplazando en la ecuación 4.

$$Pr_{i2} = \frac{1.677 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}{1.625 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}} = 10.31$$

Para el cálculo del flujo por convección natural interna se calculó con el número de Grashof con la ecuación 34, en donde y “H” es la altura del tanque 0.56 metros.

$$Gr_{i2} = \frac{g \cdot (T_{\infty,i2} - T_{s2}) \cdot H^3}{(T_{f,i2} + 273) \cdot (\nu_{lci2})^2} = 1.116 \cdot 10^{10}$$

Adicionalmente se obtuvo el número de Rayleigh con la ecuación 36.

$$Ra_{i2} = Gr_{i2} \cdot Pr_{i2} = 1.151 \cdot 10^{11}$$

De acuerdo con la correlación se estableció la siguiente condición en donde “D” es el diámetro del cilindro y “H” su altura:

$$\frac{D}{H} \geq \frac{35}{Gr_{i2}^{1/4}}$$

$$0.893 \geq 0.108$$

La condición anteriormente calculada cumplió con la relación establecida, por lo tanto, se cumple la condición.

Respecto a la correlación de Churchill y Chu de convección natural interna establece la siguiente relación con la cual se obtuvo el siguiente resultado con la ecuación 3.

$$N_{ui2} = \left\{ 0.825 \frac{0.387 \cdot Ra_{i2}^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr_{i2}} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0.825 \frac{0.387 \cdot (1.151 \cdot 10^{11})^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{(10.31)} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = 703.439$$

Con los datos obtenidos se pudo encontrar el coeficiente de transferencia de convección en la ecuación 33.

$$h_{i2} = N_{ui2} \cdot \frac{K_{leche}}{H} = (703.439) \cdot \frac{0.64023 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]}{0.56 m} = 804.219 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

La resistencia térmica interna resultante reemplazando en la ecuación 37, es la siguiente:

$$R_{i20} = \frac{1}{h_{i2} \cdot \pi \cdot D \cdot H} = \frac{1}{(804.219 \frac{W}{K \cdot m^2}) \cdot \pi \cdot (0.5 m) \cdot (0.56 m)} = 0.001 \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica interna de la superficie está dada por:

$$R_{e21} = \frac{1}{h_{e2} \cdot \pi \cdot D \cdot H} = \frac{1}{(46.786 \frac{W}{K \cdot m^2}) \cdot \pi \cdot (0.5 m) \cdot (0.56 m)} = 0.025 \frac{K}{W}$$

El flujo de calor interno está dado por:

$$q_{31} = \frac{(T_{\infty, i2} - T_{e2})}{R_{i20} + R_{i21}} = 1.361 \cdot 10^3 W$$

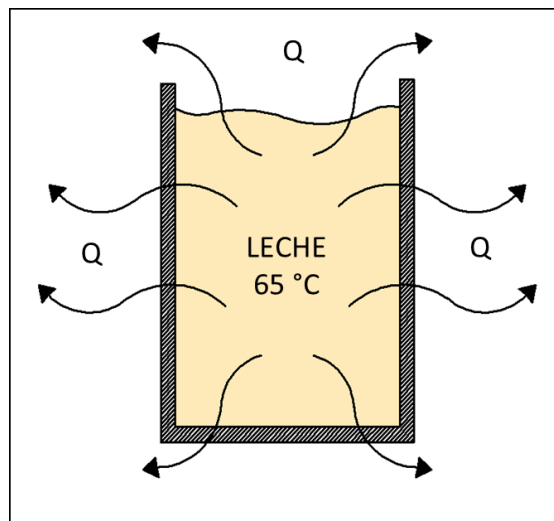


Figura 53. Disipación del calor del tanque hacia el exterior. Fuente: Propia

Se realizó el análisis de transferencia de calor por convección forzada externa ( $T_{fe}$ ) por efecto del aire en donde se muestra la disipación en la figura 53, para ello se planteó el análisis correspondiente:

En donde:

$$T_{fe3} = \frac{T_{e2} + T_{s2}}{2} = \frac{5 + 39}{2} = 22 \text{ } ^\circ\text{C} = 295.15 \text{ K}$$

Las propiedades del aire a la temperatura final externa ( $T_{fe}$ ) son:

- Viscosidad cinemática ( $\nu_l$ ):  $14.3325 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Densidad:  $1.243055 \text{ Kg/m}^3$
- Conductividad del aire:  $24.9 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Calor específico:  $106.65 \text{ J/Kg}\cdot\text{K}$
- Número de Prandtl:  $0.71155$

El flujo externo está dado por el número de Reynolds ( $Re_e$ ) en donde se consideró una velocidad ( $\vartheta_v$ ) de  $20 \text{ m/s}$  y el diámetro ( $D$ ) del tanque y se obtuvo con la ecuación 22.

$$Re_{e3} = \frac{\vartheta_v \cdot D}{\nu_l} = \frac{(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \cdot (0.5\text{m})}{(14.3325 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})} = 697714.98$$

Para flujo externo sobre un cilindro se aplicó la correlación de Churchill y Bernstein de la siguiente manera de acuerdo a la ecuación 38.

$$N_{ue3} = 0.3 + \frac{0.62 \cdot Re_{e3}^{\frac{1}{2}} \cdot Pr_{e3}^{\frac{1}{2}}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr_{e3}}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Re_{e3}}{282.000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}}$$

$$N_{ue3} = 0.3 + \frac{0.62 \cdot (697714.98)^{\frac{1}{2}} \cdot (0.71155)^{\frac{1}{2}}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{0.71155}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \cdot \left[1 + \left(\frac{697714.98}{282.000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}} = 915.43$$

Consecuentemente se obtuvo el coeficiente de convección externo.

$$h_{e3} = N_{ue3} \cdot \frac{K_{aire}}{D} = 875.173 \cdot \frac{24.9 \frac{W}{m} \cdot K}{0.5 m} = 46.299 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

Para comprobar el resultado de la convección se aplicó la siguiente relación para obtener el número de Grashof (externo) con la ecuación 34.

$$Gr_{e3} = \frac{g \cdot (T_{s2} - T_{e2}) \cdot H^3}{(T_{fi3} + 273) \cdot (\nu_l)^2} = \frac{9.81 m/s^2 \cdot (39 - 5) \cdot (0.56)^3}{(9.5 ^\circ C + 273) \cdot (14.3325 \cdot 10^{-6})^2} = 5.504 \cdot 10^9$$

Comprobando que se cumpla la condición se dio la relación entre el número de Grashof y en número de Reynolds que debe ser menor a 1.

$$\frac{Gr_e}{Re_{e3}^2} = 0.011$$

Por lo tanto, el cálculo de la transferencia por convección externa se cumplió.

La resistencia térmica externa del cilindro resultante es la siguiente según la ecuación 37.

$$R_{e30} = \frac{4}{h_{i2} \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{1}{(804.219 \frac{W}{K \cdot m^2}) \cdot \pi \cdot (0.5 m)^2} = 0.006 \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica externa de la superficie está dada por:

$$R_{e31} = \frac{4}{h_{e3} \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4}{(46.299 \frac{W}{K \cdot m^2}) \cdot \pi \cdot (0.5 m)^2} = 0.11 \frac{K}{W}$$

El flujo de calor exterior está dado por:

$$q_{32} = \frac{(T_{\infty,i2} - T_{e2})}{R_{e30} + R_{e31}} = 300.858 \text{ W}$$

El calor que se requiere extraer se estableció de acuerdo a la temperatura ( $T_i$ ) y ( $T_f$ ) de 65 °C y 40 °C respectivamente, así como el calor específico ( $C_{pf}$ ) del fluido y masa (103 Kg) reemplazando en la ecuación 1.

$$Q_s = m_f \cdot C_{pf} \cdot (T_i - T_f) = (103 \text{ Kg}) \cdot \left( 3885.56 \frac{\text{J}}{\text{Kg}} \cdot \text{K} \right) \cdot (65 \text{ °C} - 40 \text{ °C}) = 1.001 \cdot 10^7 \text{ J}$$

El tiempo estimado de acuerdo a las condiciones establecidas es el siguiente:

$$t_e = \frac{Q_s}{(q_{31} + 2q_{32}) \cdot 60} = 85.53 \text{ minutos}$$

En el análisis establecido se propuso ciertas variables que pueden ser consideradas dependiendo las condiciones que se deseen agregar o a su vez cambiar para obtener un resultado idóneo con respecto al tiempo de enfriamiento.

## 6.5. Selección de la Bomba

En la selección de la bomba se consideró el uso de un caudal correspondiente a la mínima cantidad requerida para la alimentación del ternero, que es de 2 litros en un tiempo de 12 segundos de acuerdo con el Anexo 16; para la disposición de la disposición del alimento al ternero en un tiempo prudente considerando una distancia desde el tanque hacia el animal tal como se muestra en la figura 54, con un alcance a través de una manguera flexible de dos metros hasta donde se encuentra el recipiente de alimentación del ternero.

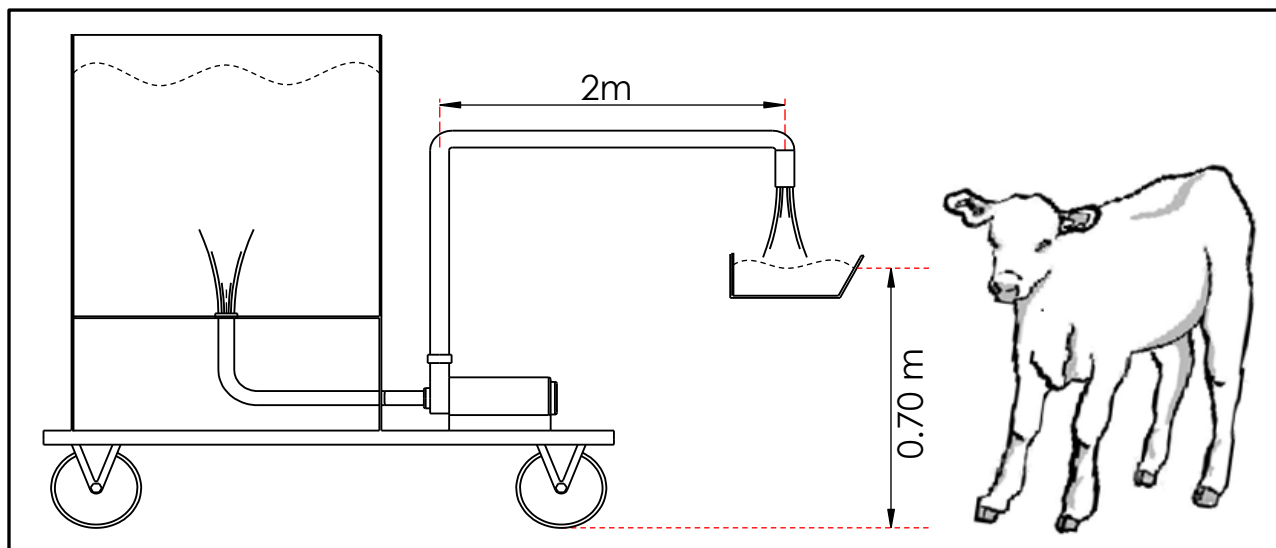


Figura 54. Estimación de la distancia entre la bomba y el ternero. Fuente: Propia. Nota: Bosquejo de las distancias entre el tamaño del animal y la ubicación de la bomba.

Para el cálculo de la bomba se utilizan las distancias entre elementos coherentes y apropiados para la obtención de los resultados que permitirá el adecuado dimensionamiento de la bomba como se puede observar en la figura 55.

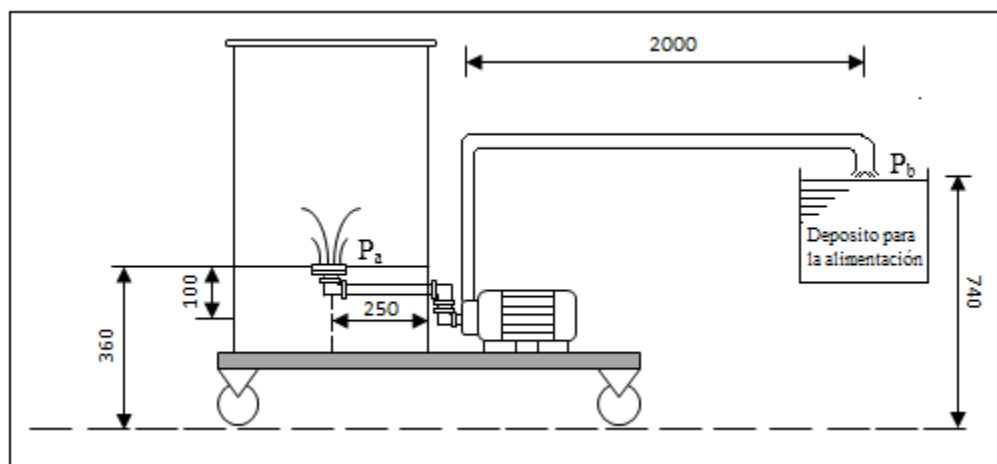


Figura 55. Ubicación de elementos y distancia entre la bomba y el depósito. Fuente: Propia. Nota:  $P_a$  y  $P_b$  son puntos de referencia para la ecuación de Bernoulli y los valores dados en milímetros.

Para el cálculo se considera la siguiente información:

- Longitud de aspiración: 0.350 m



- Longitud de impulsión: 2.48 m
- $\varnothing_{asp.} = \varnothing_{imp} = 0.015 \text{ m}$
- $Q_l = 0.16 \text{ l/s}$
- $v = 0.9054 \text{ m/s}$
- $\nu_l = 1.9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

En el cálculo de la potencia requerida de la bomba primero se calcula el número de Reynolds con la siguiente ecuación 22.

$$Re = \frac{v \cdot \varnothing}{\nu_l}$$

$$Re = \frac{0.905 \text{ m/s} \cdot 0.015 \text{ m}}{1.9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 7148.01$$

El número de Reynolds nos da como resultado el flujo es turbulento ya que es mayor a 4000 el valor obtenido.

Se obtiene el valor de (f) mediante la ecuación 4 (Streeter, 2000).

$$f = \frac{1.325}{\ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7\varnothing} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)^2}$$

En donde:

- $\varepsilon$  = valor de la rugosidad de acuerdo el material PVC de 0.0007 cm

$$f = \frac{1.325}{\ln\left(\frac{0.0007}{3.7(1.5)} + \frac{5.74}{(7148.01)^{0.9}}\right)^2}$$

$$f = 0.0347$$

Ahora considera que el tramo de aspiración contará con los siguientes accesorios de tabla 9.

Tabla 9. Constante “K” de los accesorios en tubería

Accesorios	cantidad	K	Total
Codo 90°	2	0.75	1.5
Filtro	1	2.5	2.5
Unión empalme en “T”	1	1.8	1.8

*Fuente:* (Almandoz Berrondo et al., 2015). *Nota:* El valor total de la constante “K” varía acorde a la cantidad de accesorios.

Se aplicó la ecuación 39, de Bernoulli desde el punto a-b

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{v_a^2}{2g} + Z_a + H_b = \frac{P_b}{\rho} + \frac{v_b^2}{2g} + Z_b + hf_{p-s}$$

$$H_b = Z_b - Z_a + \frac{v_b^2}{2g} + hf_{p-s}$$

Primero obtenemos los valores correspondientes a las pérdidas primarias con la ecuación 40.

$$hf_p = f \frac{L_{total}}{\phi} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

En donde:

$$L_{total} = L_{impulsión} + L_{aspiración} = (0.35 + 2.48) \text{ m} = 2.83\text{m}$$

$$hf_p = 0.0347 \frac{2.83\text{m}}{0.015\text{m}} \cdot \frac{(0.905\text{m/s})^2}{2(9.81\text{m/s}^2)}$$

$$hf_p = 0.273 \text{ m}$$

Las pérdidas secundarias se obtuvieron con la ecuación 42, en donde la sumatoria de “K” corresponde a los accesorios de la tubería de la tabla 9.

$$hf_s = \sum K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$hf_s = 5.8 \cdot \frac{(0.905 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$hf_p = 0.2421 m$$

Consecuentemente se suma las pérdidas totales.

$$\sum hf_{p-s} = hf_p + hf_s$$

$$\sum hf_{p-s} = 0.273m + 0.2421m = 0.5151m$$

Remplazamos los valores anteriormente calculados para obtener (Hb)

$$H_b = (0.48m - 0.10m) + \frac{(0.905m/s)^2}{2(\frac{9.81m}{s^2})} + 0.5151m$$

$$H_b = 0.9368 m$$

Finalmente, se obtuvo la potencia requerida de la bomba con la ecuación 43.

$$Pot.bomba = \varphi \cdot H_b \cdot Q_{caudal}$$

$$\gamma = \rho \cdot g = 1032 \frac{kg}{m^3} \cdot \left( \frac{9.81m}{s^2} \right) = 10123.92 \frac{N}{m^3}$$

$$Pot.bomba = 10123.91 \frac{N}{m^3} \cdot 0.9368m \cdot 1.6 \cdot 10^{-4} m^3/s$$

$$Pot.bomba = 1.517 W$$

Por lo tanto, se escogió la bomba que se muestra en la figura 56.



*Figura 56.* Bomba centrífuga de 12 V. *Fuente:* Modelo de bomba (Close-Coupled DC Centrifugal Pumps 316).

En el Anexo 5, se pueden observar las características de la bomba.

## **6.6. Diseño del Equipo Pasteurizador**

Para el diseño del equipo pasteurizador se evaluó los parámetros ya dimensionados permitiendo corroborar los cálculos obtenidos, de esta forma se podrá establecer el diseño adecuado de manera que el equipo sea lo más funcional posible para que cumpla con las funciones requeridas.

### ***6.6.1. Análisis de la Resistencia del Tanque Pasteurizador***

Como se puede observar en la figura 57, el tanque tiene un alto factor de seguridad que garantiza no sufrir fallas por parte del líquido a contener en este caso la leche.

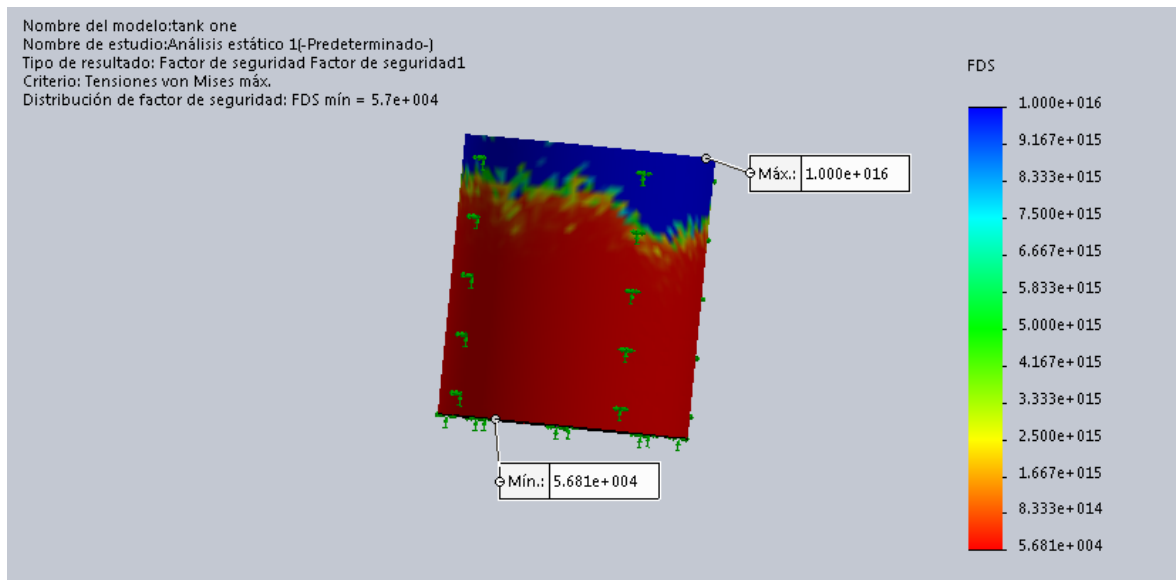


Figura 57. Análisis de la fuerza sometida por el líquido. Fuente: Solidworks®.

Además, no existirá una deformación considerable por el peso estableciendo que el espesor de 1.2 mm es adecuado para el diseño del tanque bajo las condiciones requeridas.

De igual manera, se evaluó la resistencia del tanque para el calentamiento térmico y se obtuvo un factor de seguridad elevado lo que permite corroborar el adecuado dimensionamiento, garantizando su resistencia.

### 6.6.2. Dimensionamiento de la Base de Soporte

Para el dimensionamiento de la base que soportará el peso total del equipo pasteurizador se establece el presente análisis de carga para la selección correcta del material considerando las masas críticas de acuerdo a la figura 58.

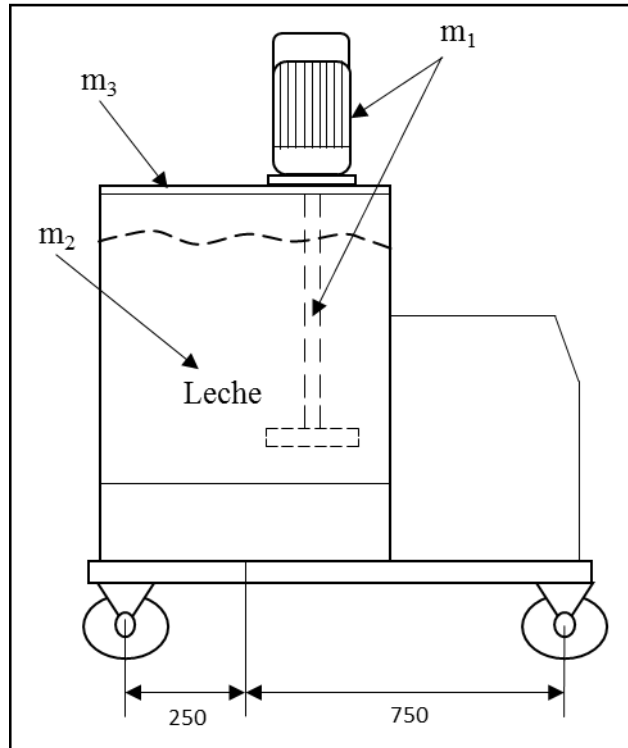


Figura 58. Disposición de los elementos del equipo. Fuente: Propia. Nota: Se consideró las principales masas para el dimensionamiento de la base del equipo.

En donde:

- $m_1$ : Masa del motor y el agitador [12.3 kg]
- $m_2$ : Masa de leche que contiene el tanque de 100 litros de capacidad [103 kg]
- $m_3$ : Masa del tanque [14.31 kg]

Así también, se consideró la masa de la estructura del tanque de acero inoxidable obtenido por el *software* Solidworks® es de 13 kg aproximadamente.

$$masa_{total} = m_1 + m_2 + m_3$$

$$masa_{total} = (12.3 + 103 + 14.31)kg$$

$$masa_{total} = 129.61 \text{ kg}$$

La fuerza y reacciones que actúan sobre la base permitió dimensionar correctamente el tipo de estructura que se estableció, la disposición de dicha fuerza producida por el peso sometido al soporte, así como sus correspondientes reacciones se presentan en la figura 59.

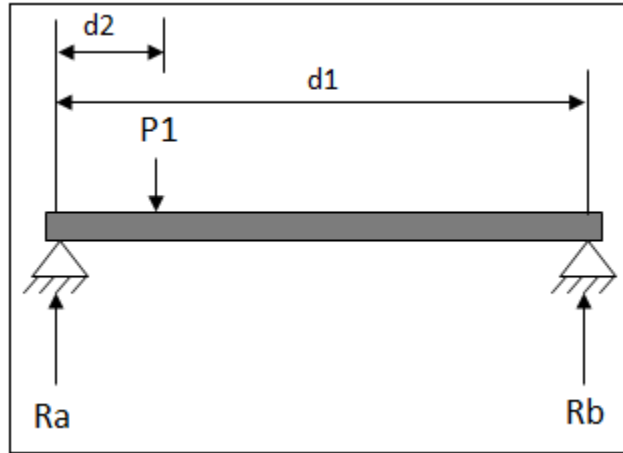


Figura 59. Fuerza y reacciones que actúan sobre la base. Fuente: Propia. Nota: Se establecen los parámetros como son: peso, distancias y reacciones correspondientes Elaboración propia.

En donde:

- $P_1 = 1271.47 \text{ N}$

Para el análisis se consideró la fuerza y las reacciones únicamente en el eje “Y” ya que todas actúan perpendicular a la base donde se coloca la carga, producida por la capacidad llena del tanque pasteurizador considerándola como la masa crítica de todo el equipo.

$$\sum M_A = 0$$

$$P_1(d_1 - d_2) - R_a d_1 - R_b = 0$$

$$129.64 \text{ kg}(0.75 \text{ m}) - R_a(1) - R_b(0) = 0$$

$$R_a = 97.20 \text{ kg}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$P_1 - R_a - R_b = 0$$

$$129.64 \text{ kg} - 97.20 \text{ kg} - R_b = 0$$

$$R_b = 32.43 \text{ kg}$$

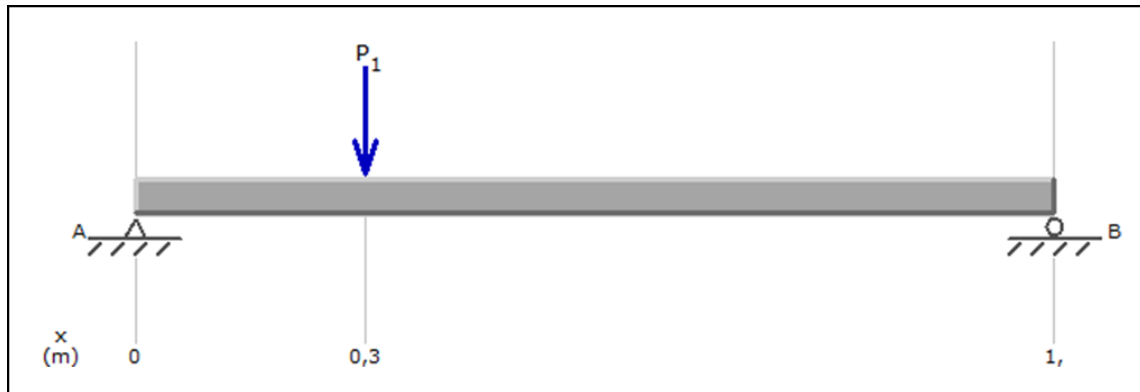


Figura 60. Diagrama de carga vertical. Fuente: Software MDSolid.

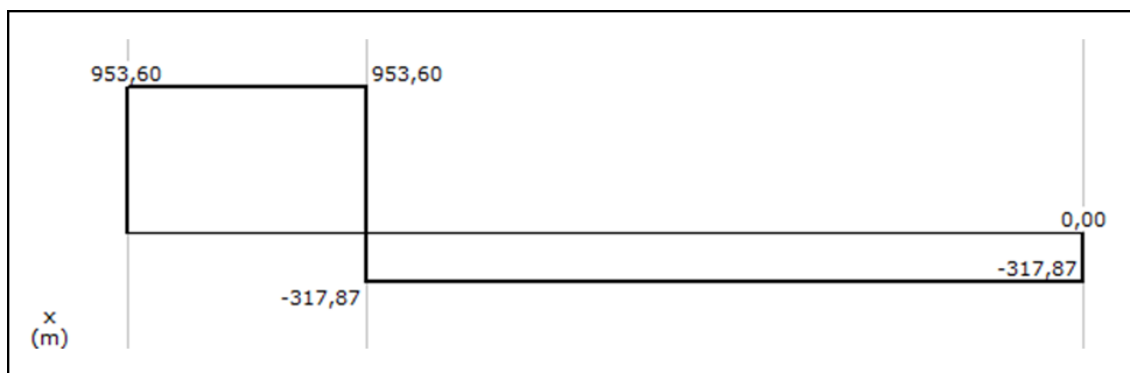


Figura 61. Diagrama de cargas cortantes. Fuente: Software MDSolid.

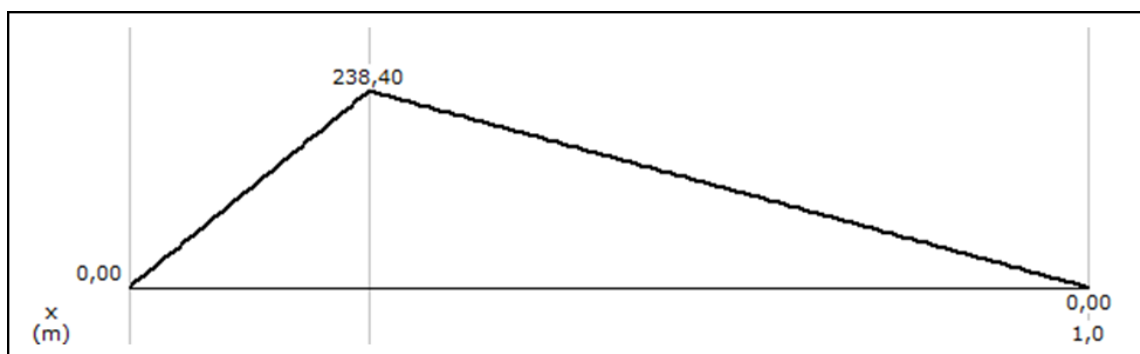


Figura 62. Diagrama de momento flector. Fuente: Software MDSolid.



Con los datos obtenidos en las figuras 60, 61 y 62 se pudo seleccionar el momento flector máximo de 238.40 N·m para elegir el tipo de perfil para el diseño de la base que soporta toda la carga del equipo.

Se escogió un perfil de tipo cuadrado de tubería estructural ASTM A-500 el cual cuenta con un límite de fluencia mínimo de 2743.03 (Kg/cm<sup>2</sup>) y adicionalmente se consideró un factor de seguridad de 1.5 reemplazando en la ecuación 44, se obtuvo lo siguiente

$$\delta_a = \frac{\delta_f}{n_s} = \frac{2743.03 (\frac{Kg}{cm^2})}{1.5}$$

$$\delta_a = 1828.68 (\frac{Kg}{cm^2})$$

Consecuentemente, se obtuvo el módulo de la sección del perfil correspondiente en donde momento flector máximo es equivalente a 2431 (Kg·cm) reemplazando en la ecuación (45) se obtuvo lo siguiente:

$$W_s = \frac{M_f}{\delta_a} = \frac{2431 (Kg \cdot cm)}{1828.68 (\frac{Kg}{cm^2})}$$

$$W_s = 1.329 cm^3$$

Con el resultado obtenido se pudo seleccionar la dimensión necesaria del perfil cuadro seleccionándola de la tabla 10:

Tabla 10. *Características del perfil cuadrado*

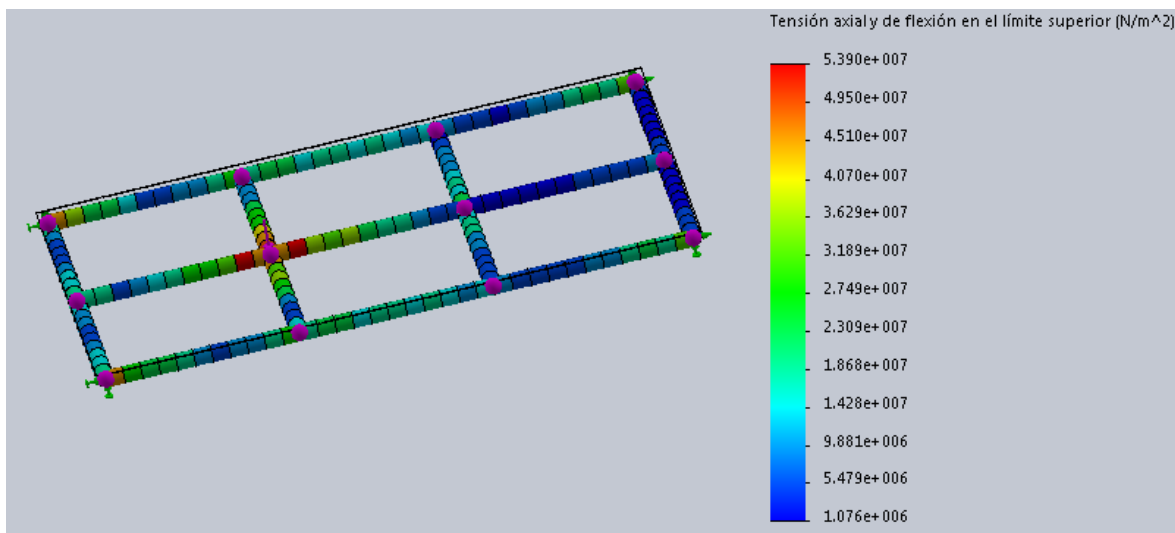
Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y	
A mm	Espesor mm "e"	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87

25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19

*Fuente:* Adaptado de Dipac, Fabricante de aceros

Tomando el valor próximo de 1.46 cm<sup>3</sup> que se encontró disponible cuya dimensión es de 30 mm por lado y espesor de 1.5 mm. Ver (Anexo 6)

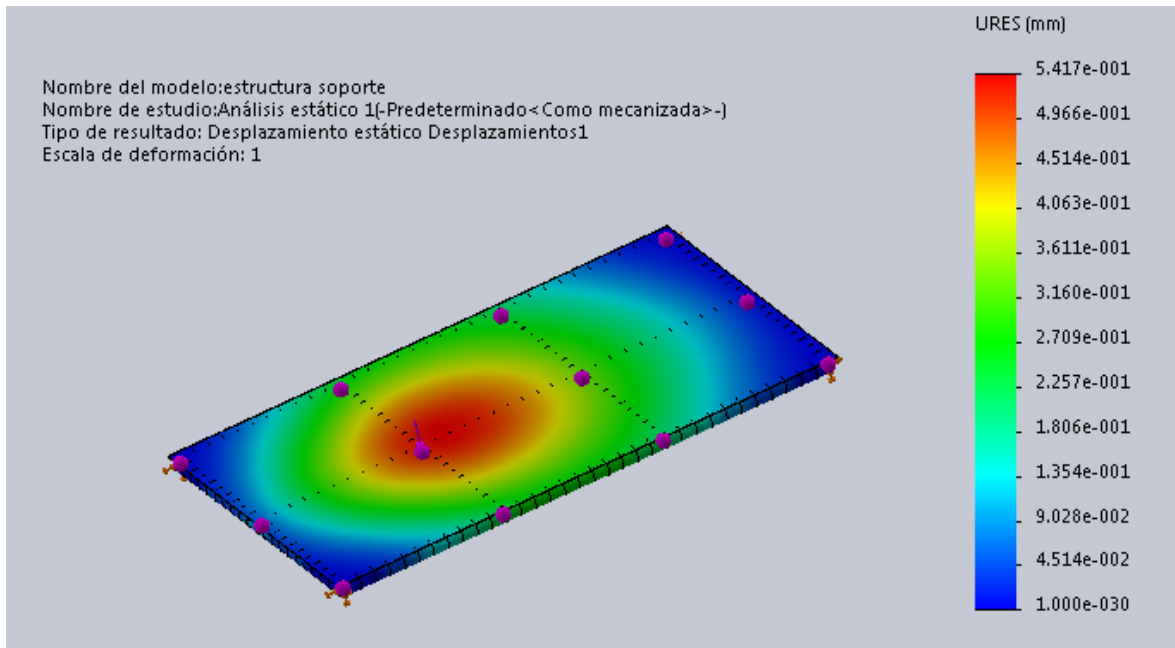
Se definió la estructura como se muestra en la Tabla 10 y mediante la simulación estática de la estructura de la figura 63, se puede demostrar que no existe una deformación significativa con respecto a la carga que será sometida.



*Figura 63.* Simulación del comportamiento de la estructura. *Fuente:* Realizado en el software Solidworks®.

Se emplea la colocación de una lámina de acero inoxidable AISI 304 de 1.2 mm mismo material empleado para el diseño del tanque, esta lámina se coloca en la superficie de la estructura facilitando la colocación del tanque y los diferentes dispositivos del equipo pasteurizador.

Consecuentemente, se evaluó el comportamiento entre la lámina de acero y la estructura juntos con respecto a la carga sometida como se muestra en la figura 64.



*Figura 64.* Comportamiento del desplazamiento de la estructura. *Fuente:* Realizado en el software Solidworks®.

El desplazamiento producido por la carga será mínimo por lo que no tendrá falla debida a la carga sometida.

Para corroborar el correcto diseño se puede apreciar en la figura 65, que el factor de seguridad mínimo es de 4.6 lo que garantiza que soporta la carga sometida de la estructura sin ningún problema.

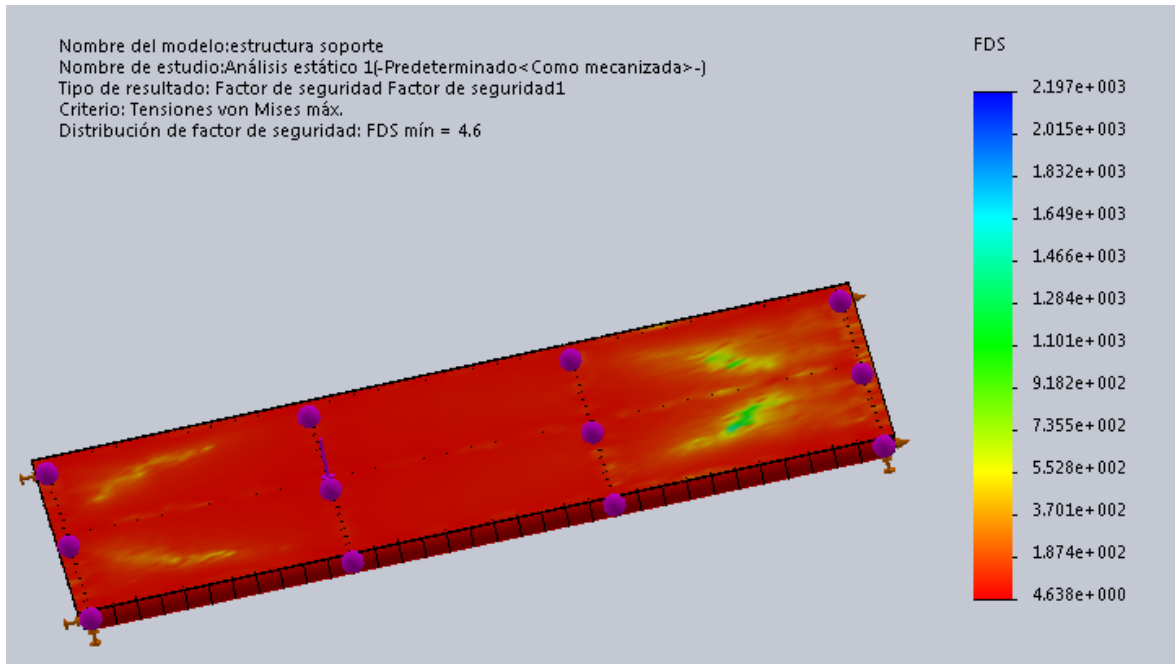


Figura 65. Factor de seguridad de la estructura de soporte. Fuente: Realizado en el software Solidworks®. Elaboración propia.

### 6.6.3. Selección de las Ruedas para el Soporte

Considerando que el equipo de pasteurización debe ser portable se realizó el siguiente análisis para la selección de las ruedas correspondientes considerando las cargas a las cuales se someterán, dado el peso total del equipo pasteurizador.

Se consideró el uso de cuatro ruedas, dos fijas y dos móviles. Para el cálculo de las ruedas se estableció mediante el siguiente criterio de referencia (Ruedas industriales, s.f.):

$$Q_{1\_total} = \text{Peso de la carga} + \text{peso del equipo}$$

En donde:

- Peso de la carga: 103 [Kg]
- Peso del equipo: 39.51 [Kg]

$$Q_{1\_total} = 103 \text{ kg} + 39.51 \text{ kg}$$

$$Q_{1\_total} = 142.51 \text{ kg}$$

Para el cálculo de las ruedas fijas se utilizó la ecuación 46.

$$Q_{r\_F} = \frac{Q_{1\_total}}{N_f}$$

$$Q_{r\_F} = \frac{142.51 \text{ kg}}{2}$$

$$Q_{r\_F} = 71.25 \text{ Kg}$$

Con el resultado obtenido se selecciona la rueda MPF6 400 ENB6 (ver anexo 7) cuyo valor es superior al obtenido adicionalmente se consideró su uso para terrenos irregulare.

Para la selección de las ruedas móviles se aplicó la ecuación 47.

$$Q_{r\_G} = \frac{Q_{1\_total}}{N_f + N_g + 1}$$

$$Q_{r\_G} = \frac{142.51 \text{ kg}}{2 + 2 - 1}$$

$$Q_{r\_G} = 47.50 \text{ kg}$$

La rueda que se seleccionó es la de referencia MPG4 200 PGL4 (ver Anexo 7) cuyo valor está por encima del mínimo requerido a soportar.



									
Rotante modelo HPG		Ruedas (mm.):		Kg		Rotante modelo HPF			
Código	Referencia	A	B	Coj.		Código	Referencia		
36-220	HPG6 400 ENB6	400	100	II	250	36-221	HPF6 400 ENB6	<b>Rueda Fija</b>	
									
Ruedas (mm.):		Kg		Rotante modelo MPG		Rotante modelo MPF			
A	B	Coj.		Código	Referencia	Código	Referencia		
200	50	III	75	34-098/0	MPG4 200 PNR3	34-099/0	MPF4 200 PNR3	<b>Rueda Movil</b>	
260	85	II	200	34-098/84	MPG4 260 ENR4	34-099/84	MPF4 260 ENR4		

Figura 66. Referencia y característica de las ruedas. Fuente: Catálogo Sitasa S.A.

## 6.7. Control Automático de las Funciones del Pasteurizador

Dentro del proceso de control automático se consideró las principales funciones que se desea que cumpla el equipo pasteurizador, tal es el caso del control de la temperatura, el proceso de dosificación y la agitación, que son las principales funciones a cumplir.

### 6.7.1. Control del proceso de calentamiento

Para el desarrollo del control de temperatura se estableció un sistema de lazo cerrado, que permita la estabilización del proceso a través de la referencia del valor de temperatura deseado tomada por el sensor PT-100 que permita la comparación con el valor previsto por el sensor de temperatura que a su vez emita la debida señal de error hacia el controlador (PLC) para ejecutar el funcionamiento del elemento final de control como es la resistencia calefactora y el proceso de acuerdo la figura 67.

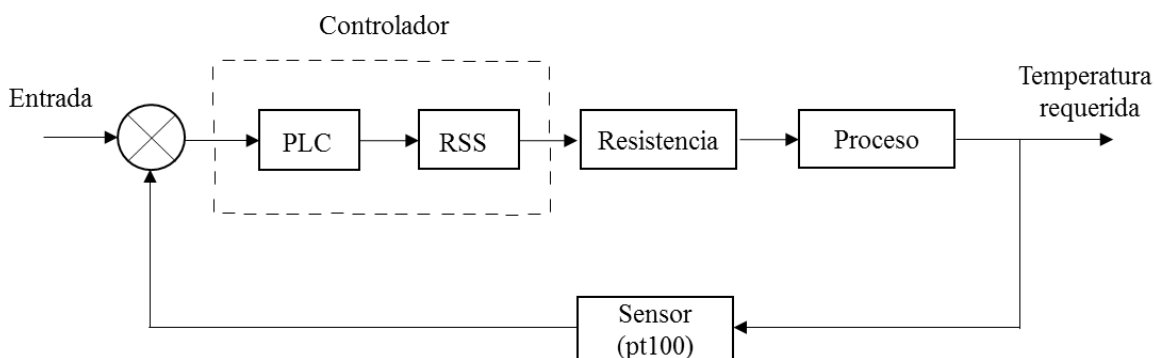


Figura 67. Control lazo cerrado de temperatura. Fuente: Propia. Nota: El RSS (relé de estado sólido).

#### 6.7.1.1. Descripción del Sistema de Calentamiento del Tanque.

En la figura 68, se puede observar el proceso de control que consiste en elevar la temperatura del fluido hasta los 65 °C y mantener dicha temperatura constante durante un tiempo determinado debido al calor que se producido por la resistencia eléctrica, mientras dicha temperatura en el fluido será controlada por el sensor de temperatura.

Para el uso del sensor se lo considero de tipo analógico (termocupla) Pt-100 que permitirá conocer el valor de la temperatura en todo momento del proceso de calentamiento, así como el uso de un relé de estado sólido (SSR) recomendado para procesos de control de temperatura que permitirá el funcionamiento de la resistencia eléctrica.

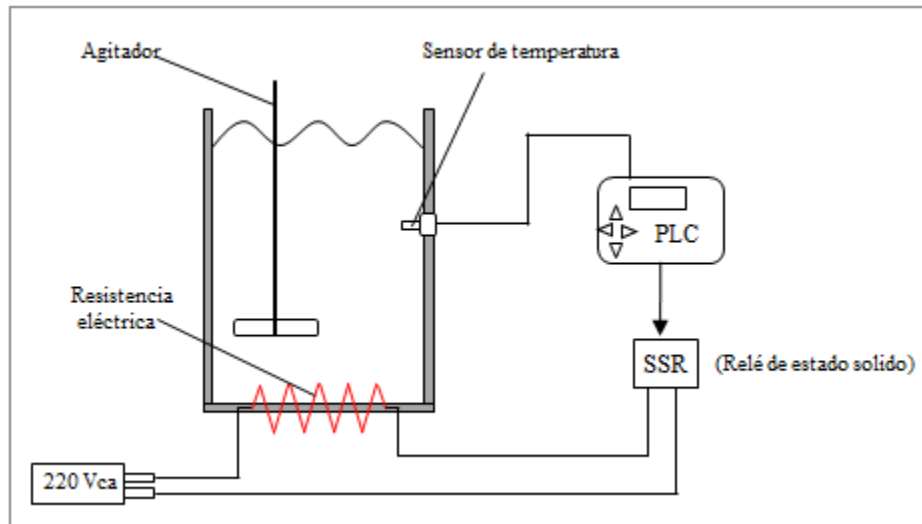


Figura 68. Diagrama de control de temperatura. Fuente: Propia. Nota: Representación básica de los elementos de control y actuadores.

### 6.7.1.2. Diagrama de Bloques del Control de Temperatura

Dentro del control de temperatura se consideró un sistema de realimentación (*feedback*) como se muestra en la figura 69.

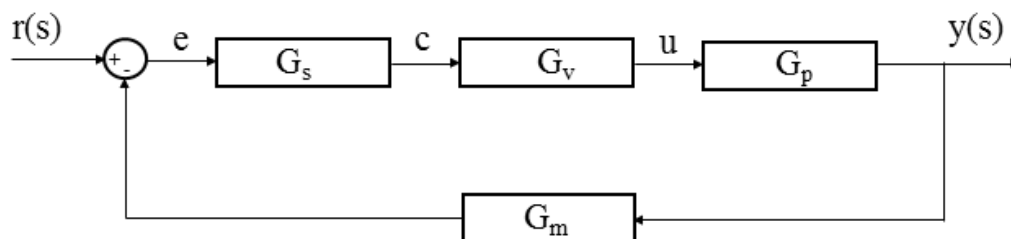


Figura 69. Diagrama de proceso de control de temperatura. Fuente: Adaptada de Hernández (2010). Nota: e, c, u son señal de: entrada, de variable ajustada y variable manipulada respectivamente.

En donde:

- $G_s$ : Controlador.
- $G_v$ : Elemento final de control.
- $G_p$ : Planta/Proceso.
- $G_m$ : Sensor.

Para el modelo simplificado de un sistema genérico de proceso de lazo cerrado esta dado por la figura 70.

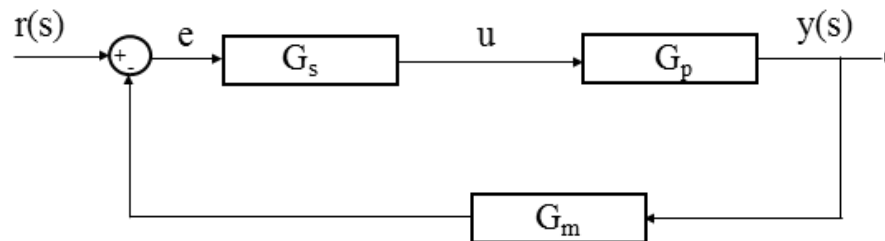


Figura 70. Diagrama de proceso simplificado de control de temperatura. Fuente: Propia. Nota: forma básica mediante bloques para un proceso de retroalimentación.

#### 6.7.1.3. Modelo Matemático del Calentamiento del Tanque

Para el modelo matemático se consideró los distintos aportes de transferencia de calor que se generan dentro del proceso para elevar la temperatura del fluido, para ello se consideró en primer lugar el aporte calorífico que se da por parte de la resistencia térmica que es el siguiente:

$$q_{nt} = m_{nt} \cdot C_{pnt} \cdot \frac{dT}{dt}$$

En donde:

- $m_{nt}$ : Masa total que tiene el tanque, el fluido, resistencia térmica, sensor de temperatura, agitador que engloban el tanque
- $C_{pnt}$ : Son todos los calores específicos que se pueden considerar en el proceso de calentamiento.



Se consideró las distintas formas de transferencia de calor producidas dentro del proceso de calentamiento las cuales son:

Por convección del fluido:

$$q_{nt\_2} = h \cdot A \cdot (T - T_{\infty})$$

Se pudo considerar que la temperatura ambiente ( $T_{\infty}$ ) puede ser constante, por lo que el balance de energía queda de la siguiente manera:

$$q_{nt\_1} + q_{nt\_2} = Q_{nt}$$

$$(h \cdot A \cdot T) \cdot m_{nt} \cdot C_{p_{nt}} \cdot \frac{dT}{dt} = Q_{nt}$$

Se resolvió la ecuación diferencial aplicando la transformada de Laplace y se obtiene lo siguiente:

$$Q(s) - HAT(s) = mC_p T(s)$$

$$Q(s) = mC_p T s(s) + HAT(s)$$

$$Q(s) = T(s) \cdot [mC_p s(s) + HA]$$

Se puede asumir a “ $mC_p$ ” y “ $HA$ ” como constante  $C_1$  y  $C_2$  respectivamente.

Por lo tanto, la función de transferencia de transferencia resultante es la siguiente:

$$\frac{T(s)}{Q(s)} = \frac{1}{C_1 s + C_2}$$

Como resultado se tiene una función de transferencia de primer orden.

#### **6.7.1.4. Función de Transferencia de Calentamiento.**

Para el desarrollo de la función de transferencia del sistema se consideró el método de Ziegler-Nichols que permite obtener a través de la etapa de calentamiento del fluido. Para la obtención de dicha función se implementó una gráfica con la dinámica de comportamiento del calentamiento del fluido tal como se puede observar en la figura 71.

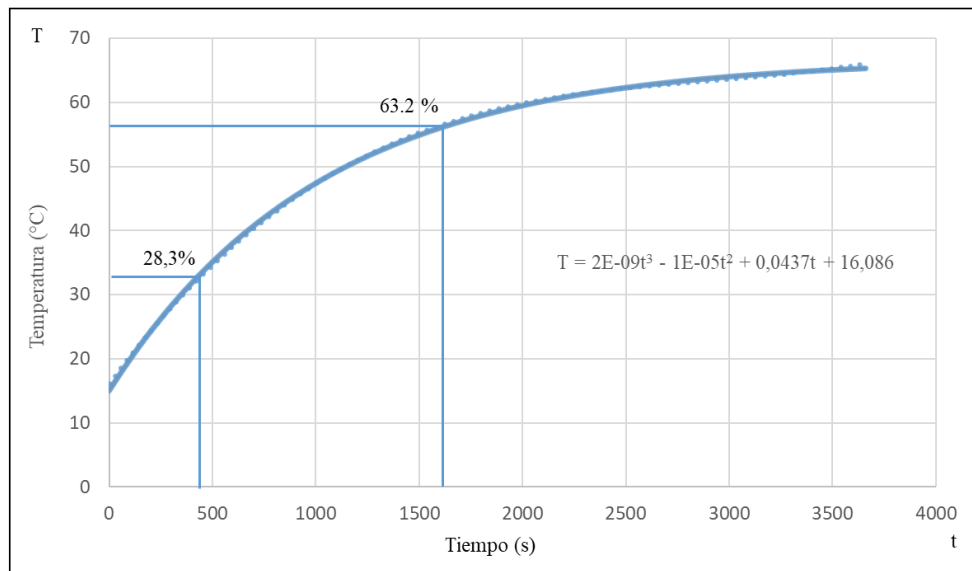


Figura 71. Diagrama de proceso de incremento de temperatura. Fuente: Propia. Nota: El diagrama muestra una función resultante.

Con la curva establecida según la figura 71, se aplicó el método de los puntos de Smith que establece el 28.3% y 63.2% para los valores de  $t_1$  y  $t_2$  respectivamente representados en la curva que permitió determinar los parámetros correspondientes a la función de transferencia de primer orden para lo cual se estableció los valores requeridos.

Dada la figura 71, se pudo establecer el valor de tiempo ( $t$ ) expresado en función de la temperatura ( $T$ ).

En donde la constante “ $t$ ” de la función resultante de la figura 71, sirvió para obtener los valores de  $t_1$  y  $t_2$ , reemplazando los valores correspondientes se tiene lo siguiente:

$$t_1 = 461.73$$

$$t_2 = 1600.80$$

Se reemplazó los valores de  $t_1$  y  $t_2$  en la ecuación 50, y se tuvo lo siguiente:

$$\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1)$$

$$\tau = \frac{3}{2}(1600.80 - 461.73)$$

$$\tau = 1708.60$$

Luego se obtiene el valor  $t_m$  de la ecuación 51, se obtuvo lo siguiente:

$$t_m = t_2 - \tau$$

$$t_m = 1600.80 - 1708.60$$

$$t_m = 108.6$$

Para el valor de la ganancia  $K$  se estableció el valor de 65, debido a que es el punto en que la recta corta al eje de tiempo transcurrido el proceso de calentamiento.

Finalmente se obtuvo la función de transferencia con los valores obtenidos en la siguiente ecuación.

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-t_m s}}{\tau \cdot s + 1}$$

$$G(s) = \frac{65 \cdot e^{-108.6s}}{1708.60 \cdot s + 1}$$

Una vez obtenida la función de transferencia se puede observar el comportamiento del calentamiento en mostrado en la figura 72.

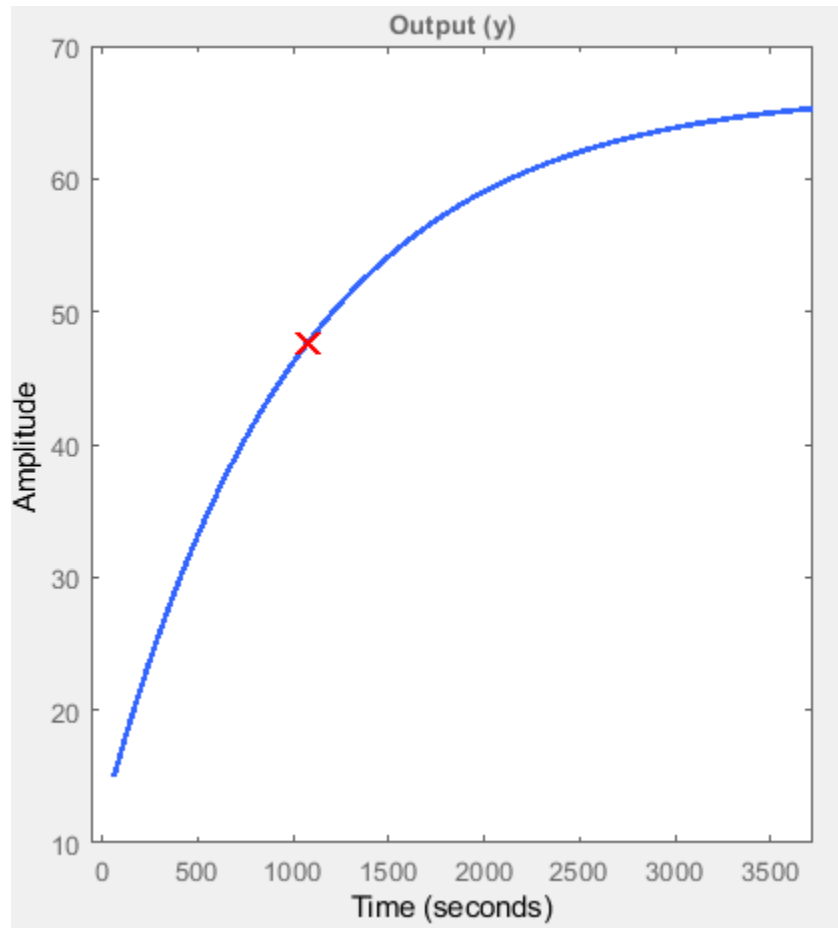


Figura 72. Comportamiento en proceso de calentamiento. Fuente: Elaboración propia en el software MATLAB.

#### 6.7.1.5. Control PID para Control de Temperatura

Para obtener una estabilidad dentro del proceso de calentamiento se estableció un control PID de tal manera que se determinó los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  a través del método Ziegler-Nichols expresados en la tabla 11.

$$K_p = 1.2 \left( \frac{1708.60}{108.6} \right) = 18.87$$

$$T_i = 2 \cdot (108.6) = 217.2$$

$$T_d = 0.5 \cdot (108.6) = 54.3$$

Tabla 11. *Constantes del controlador PID*

Controlador	Kp	Ti	Td
PID	18.87	217.2	54.3

*Fuente:* Propia.

Para obtener la respuesta con del controlador PID se hizo uso del *software* Simulink, para la simulación de dicho control se estableció el siguiente diagrama de bloques para el control de temperatura requerido de acuerdo a la figura 73.

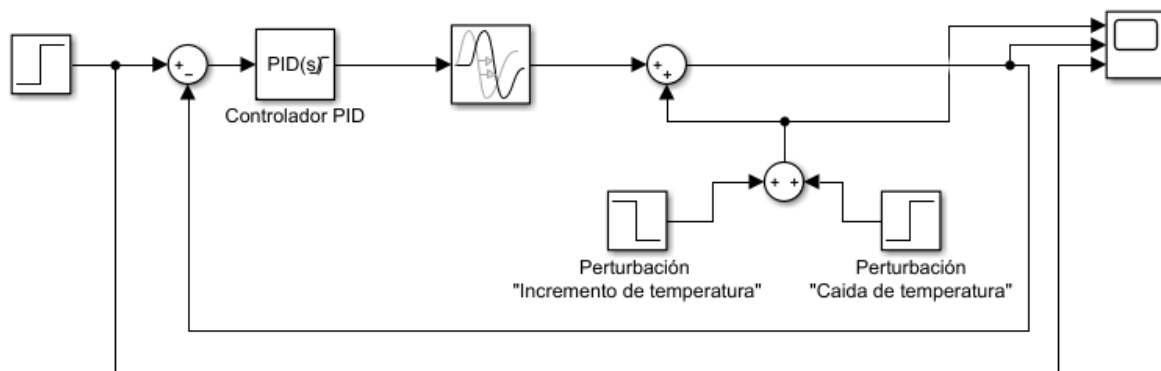


Figura 73. Simulación del proceso en el software Simulink. *Fuente:* Elaborado en software Simulink Matlab. *Nota:* Se consideró posibles perturbaciones en el proceso de calentamiento.

Como respuesta del diagrama de bloques se obtuvo una gráfica en donde se muestra el comportamiento de dicho proceso mostrado en la figura 74.



Figura 74. Respuesta del control PID. Fuente: Elaborado en el software Simulink Matlab.

Para mejorar la respuesta del control PID se adecuó el comportamiento de la curva para estabilizar a la temperatura de Set-Point requerida y de esta forma evitar alteraciones en el proceso de calentamiento tal como se observa en la figura 75.

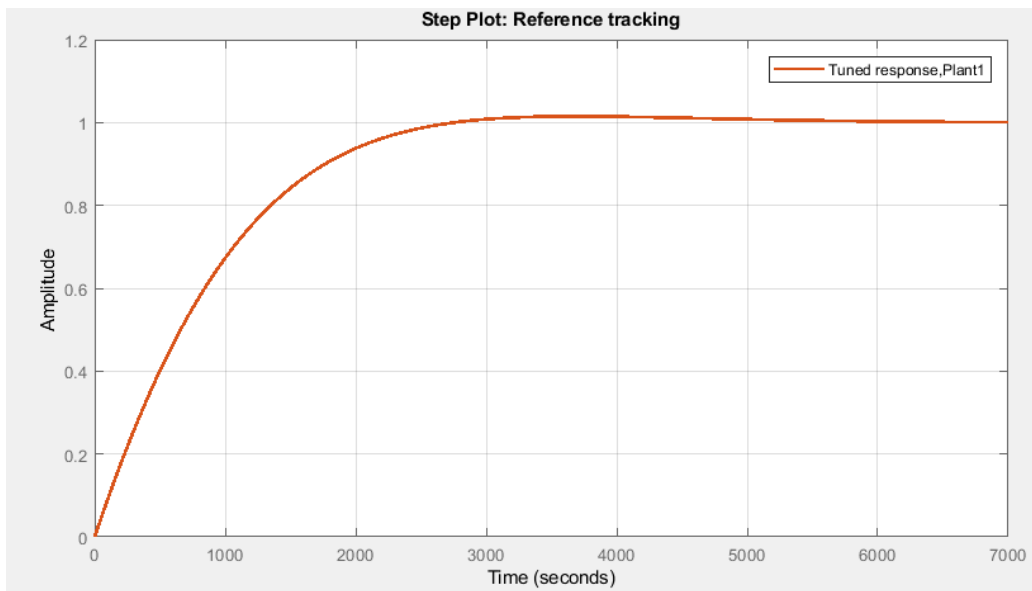
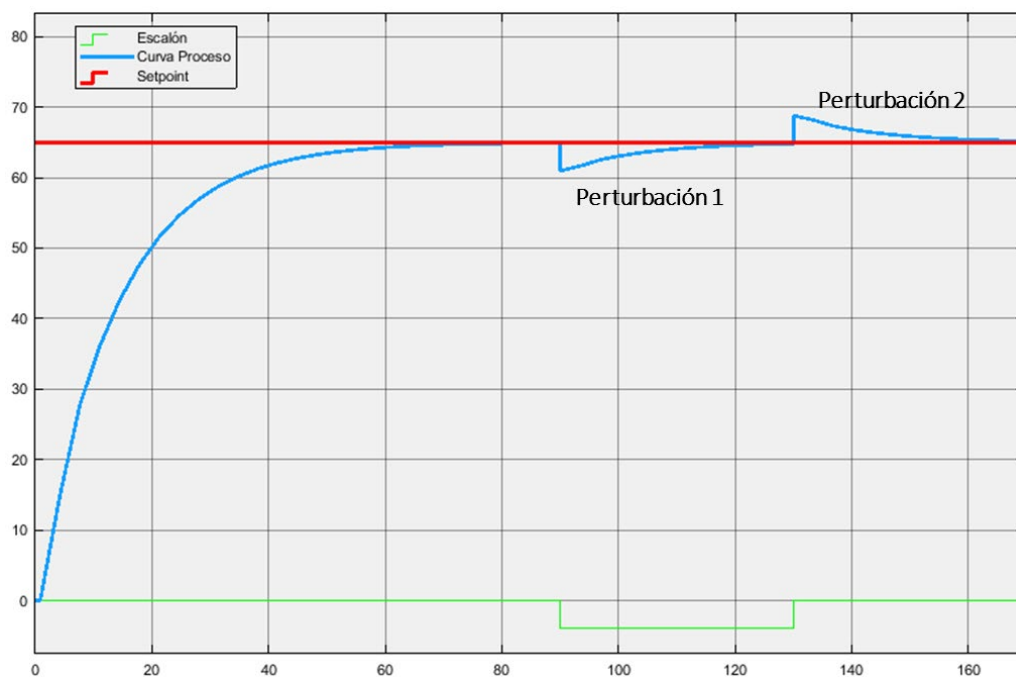


Figura 75. Estabilización de la respuesta del control PID. Nota: Elaborado en el software Simulink Matlab.

Adicionalmente se consideró “posibles perturbaciones” dentro del proceso de calentamiento, que pueden darse por cambios bruscos, sin embargo, el sistema mostró como respuesta la estabilización del proceso.



*Figura 76.* Estabilización del proceso luego de perturbaciones. *Nota:* Elaborado en el software Simulink Mathlab

En la figura 76, se obtuvo la respuesta del sistema ante posibles perturbaciones en donde la perturbación 1 y perturbación 2 representan la caída y subida de temperatura respectivamente, así como la respuesta del controlador para mantener la estabilidad del proceso.

Mediante el siguiente el diagrama de flujo de la figura 77, se estableció la dinámica de su funcionamiento.

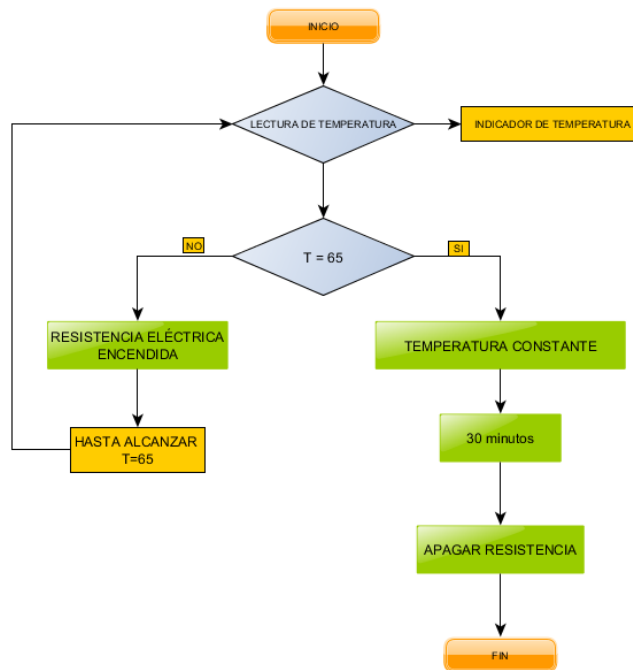


Figura 77. Descripción del control de temperatura. Fuente: Elaborado en el software yEd Graph Editor.

### 6.7.2. Control de la Bomba Dosificadora

Para poder proveer de la cantidad de alimento se estableció el uso de un control de flujo que permite establecer la cantidad requerida de alimento que desee dosificar al momento de alimentar al animal, por tal razón se estableció un sistema de control de lazo abierto para dicha acción según como se muestra en la figura 78.

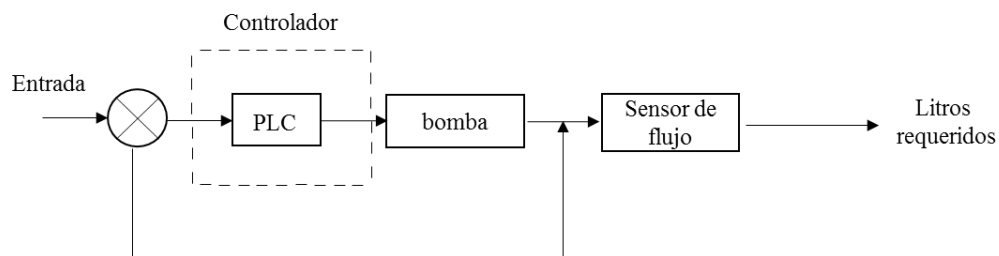


Figura 78. Control lazo abierto de la bomba para la dosificación. Fuente: Propia.



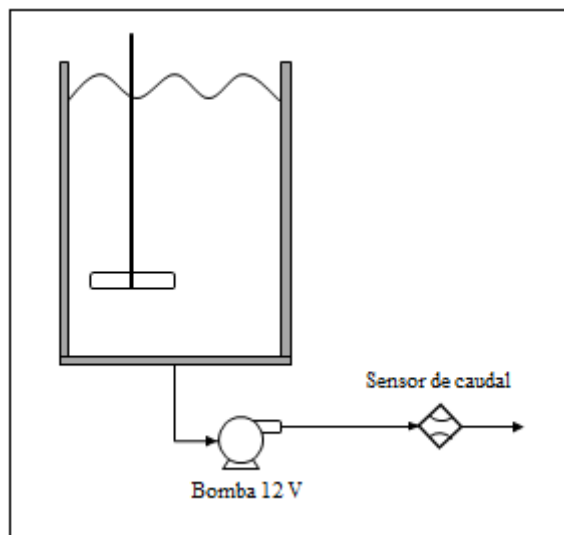


Figura 79. Elementos para el proceso de dosificación. Fuente: Propia.

Para controlar la cantidad requerida de alimento se consideró un sensor de flujo el cual funciona mediante el efecto Hall que estableció el conteo de un determinado número de impulsos para la cantidad de fluido requerido y elementos que intervienen se muestran en la figura 79. Para dicha consideración se determinó el uso de un sensor de flujo acorde a la características y resultados anteriormente calculados con respecto a la bomba, sin embargo con la información prevista por el *data-sheet* de la bomba seleccionada establece que su caudal es de 1.3 - 21 GPM para un flujo libre sin embargo en el cálculo hidráulico se estableció 2 metros de manguera desde la bomba hasta su punto final de dosificación, por ende existirá una caída de caudal final y para obtener el número de impulsos requeridos se necesita del caudal real, para ello el fabricante estableció el rango de caudal con respecto a la distancia para obtener el valor necesario con las condiciones obtenidas se estableció una interpolación y como resultado se obtuvo lo siguiente:

$$Q_{bomba\_real} = 17.37 \text{ GPM}$$

Con el dato obtenido del caudal real se pudo establecer el tipo de Sensor de flujo industrial de la marca “SUZZARABLU” (Ver anexo 8) con un rango de 5-80 LPM ideal para el caudal requerido.

Para obtener el en número de pulsos requeridos y poder limitar la cantidad de líquido requerido el fabricante provee la información del número de pulsos por litro suministrado de acuerdo con Piusi (s.f.) fabricante de equipos industriales alimenticios.

$$N^{\circ}_{pulsos} = 87.73 \text{ pulsos/litro}$$

El valor anterior correspondiente al número de impulsos permitió establecer en el autómata programable para la cantidad requerida a dosificar.

Para el control y descripción de la dosificación se estableció el diagrama de flujo de la figura 80.

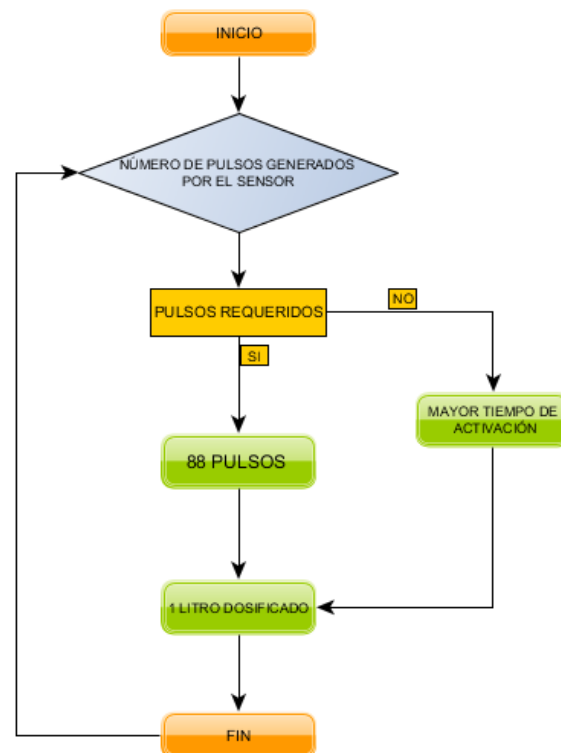


Figura 80. Descripción de la dosificación para la entrega de 1 litro. Fuente: Elaborado en software yEd Graph Editor.

### 6.7.3. Control del Agitador

Para el sistema de agitación se consideró el uso de un variador de frecuencia para el control de las RPM previstas por el motor del agitador el cual estará gobernado por el PLC que determina su estado de funcionamiento, por lo tanto, se estableció un control como se muestra en la figura 81.

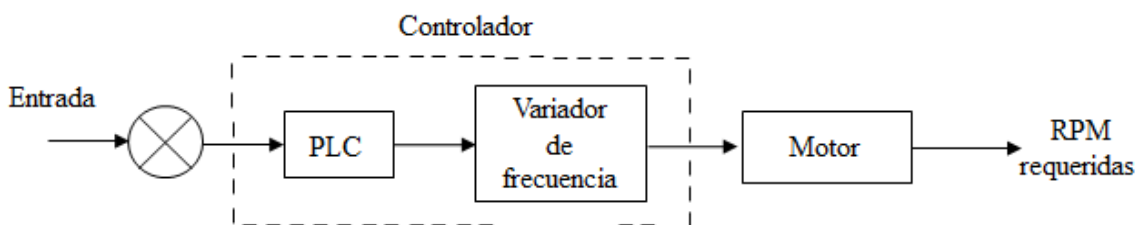


Figura 81. Control del proceso a controlar del agitador. Fuente: Propia.

Para la selección del variador de frecuencia se consideró la potencia del motor dado que este es de 1/2 de HP y en el mercado existen variadores a partir de ½ HP representados en la figura 82, por lo tanto, se escogió dicho un variador de frecuencia que cumpla con las características requeridas (Anexo 9).

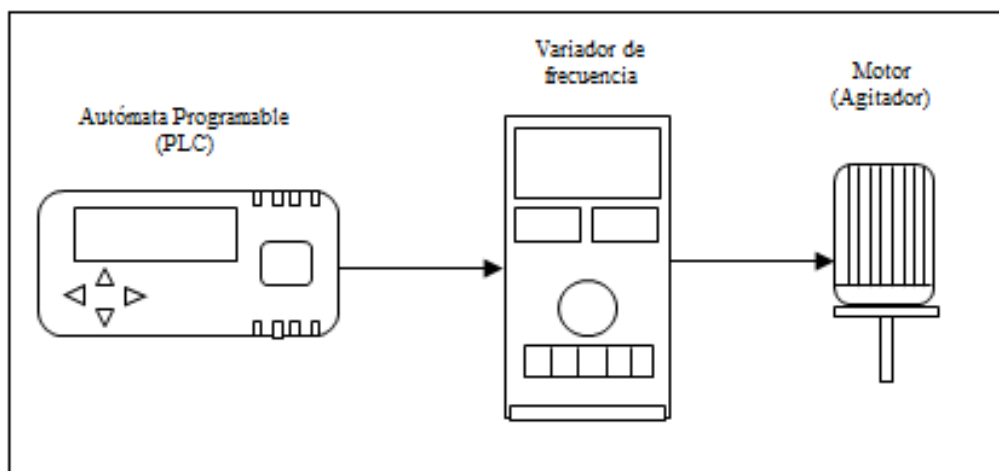


Figura 82. Esquema de los controladores. Fuente: Propia

Para obtener la frecuencia requerida para las rpm necesarias se aplicó la ecuación (54).

Despejando “f” se obtuvo lo siguiente:

$$f = \frac{n_r \cdot 2p}{60}$$

Para el funcionamiento se estableció el siguiente motor monofásico con las siguientes características:

- 60 Hz de frecuencia de red
- 50 rpm
- 2 pares de polos

Reemplazando se obtiene lo siguiente:

$$f = \frac{50 \cdot 2}{60} = 1.67 \text{ Hz} \approx 2 \text{ Hz}$$

Con el diagrama de flujo de la figura 83, se describió el proceso de ejecución del proceso de agitación.

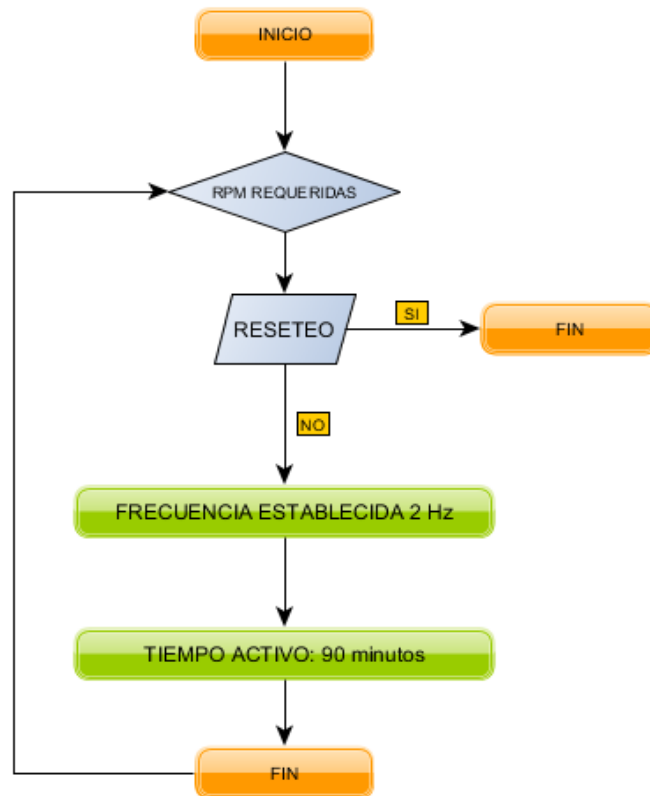


Figura 83. Descripción del funcionamiento del agitador.

Fuente: Elaborado en el software yEd Graph Editor.

#### 6.7.4. Función Básica de los Procesos de Control Mediante el Autómata

Para el control de los diferentes procesos se estableció el uso de una Autómata programable como es el PLC de la serie SIMATIC S7-200 de la marca SIEMENS®, para lo cual se usó del software STEP-7 WICROWIN para establecer un modelo de programación estándar que permita la configuración para el control de las principales funciones.

Al momento de establecer las funciones dentro de la lógica de control se generó los siguientes símbolos para establecer los parámetros de control tal como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Nomenclatura de los comandos

Nombre	Dirección de parámetro	Comentario
k	Q0.1	Resistencia calefactora
Valor_requerido	AIW8	Valores de temperatura
SENSOR_TEMPERATURA	AIW10	Sensor de temperatura del tanque

Fuente: Propia.

Para el control de la temperatura se estableció un controlador tipo PID para lo cual se lo configura mediante la función establecida dentro del mismo programa mostrado en la figura 84.

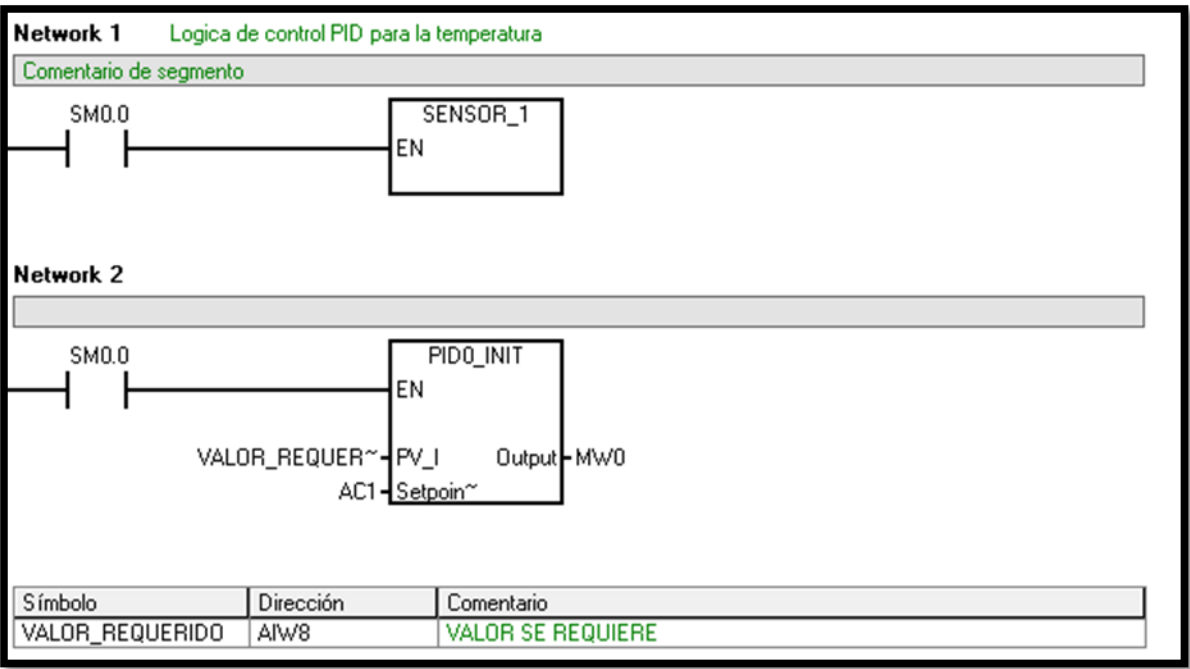


Figura 84. Control KOP de temperatura. Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

Dentro del panel principal se indicó la entrada analógica del sensor de temperatura (SM0.0) consecuentemente, se estableció el controlador PID el cual reconocerá la entrada de los valores

proporcionados por el sensor de temperatura hasta alcanzar a la temperatura requerida del Set-Point.

Para la salida del controlador PID se estableció una señal PWM que permite generar un ancho de pulso en modo “Duty-cycle” para la regulación en el calentamiento como se muestra en la figura 85.

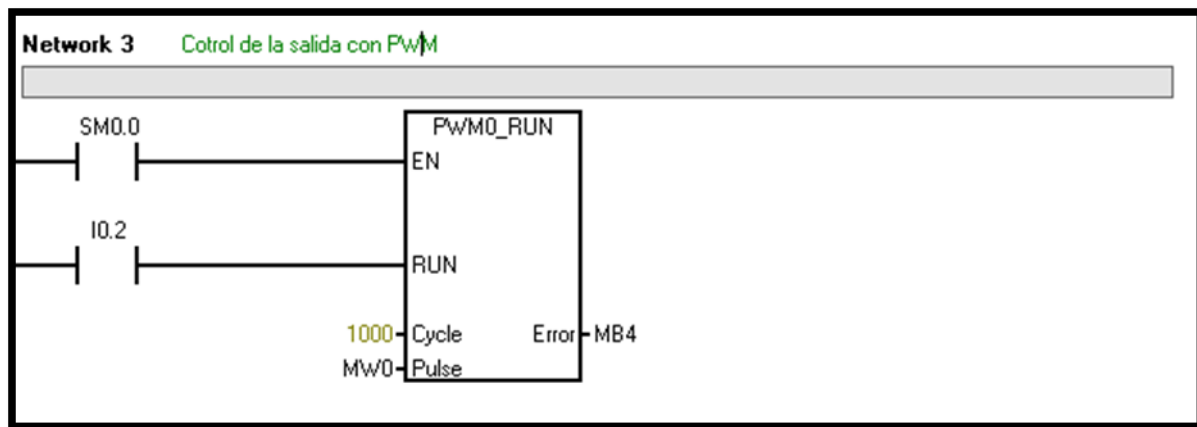
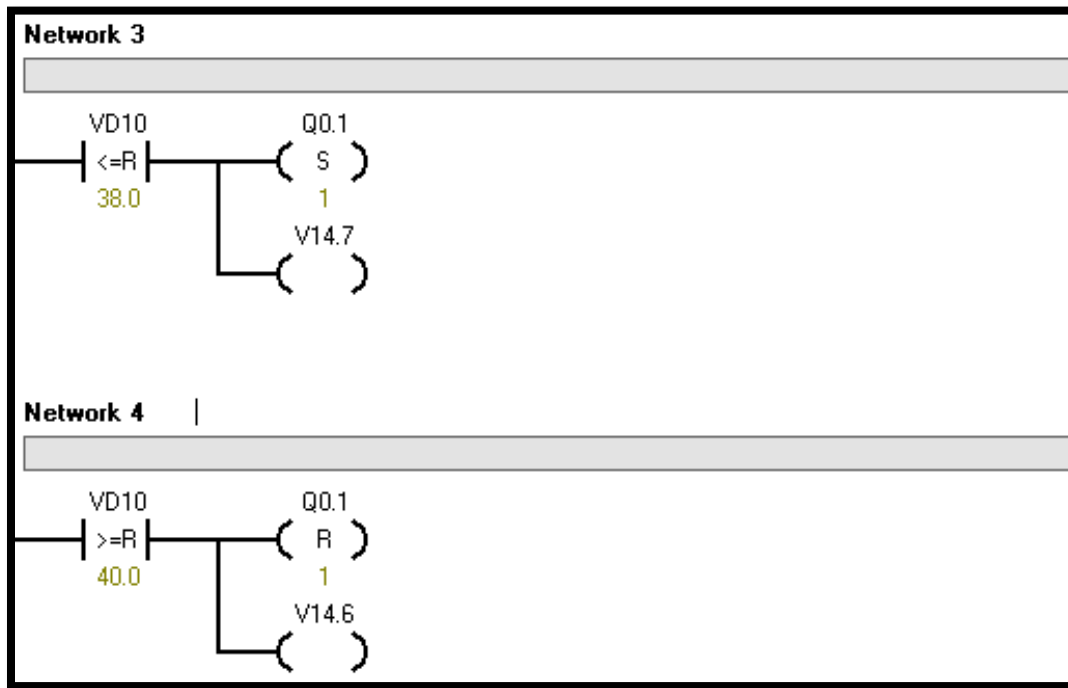


Figura 85. Control de salida PWM. Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

Una vez establecido el control PID que permite el control hacia el relé de estado sólido SSR, mismo que está controlado por la salida PWM para su ejecución, hacia el actuador final en este caso la resistencia eléctrica.

En caso que se desee mantener la leche a una temperatura aproximada de 40 °C debido a que no se pudo alimentar de manera oportuna al animal en cuanto se encuentre a dicha temperatura mencionada, se puede permitir un rango de entre 38 °C y 40 °C para ello se estableció un control *On-Off* mostrado en la figura 86, de manera alternativa en caso de ser requerido, dicho control es adecuado para un proceso que no requiere una estricta estabilidad ya que no afecta las propiedades del alimento.



*Figura 86.* Control On-Of de temperature. *Fuente:* Elaborado en el software MicroWin Step 7. *Nota:* VD10 activará Q0.1 cuando la temperatura se encuentre por debajo de los 38 °C y se reseteará cuando sea mayor a 40 °C.

El diagrama de flujo del control *On-Off* se puede observar en Anexo 17.

Para la activación de la bomba dosificadora se estableció un contador de pulsos, dichos pulsos son generados por el sensor de flujo, se estableció como inicio de conteo la cantidad de 1 litro de líquido equivalente a 88 pulsos tal como se muestra en la figura 87.



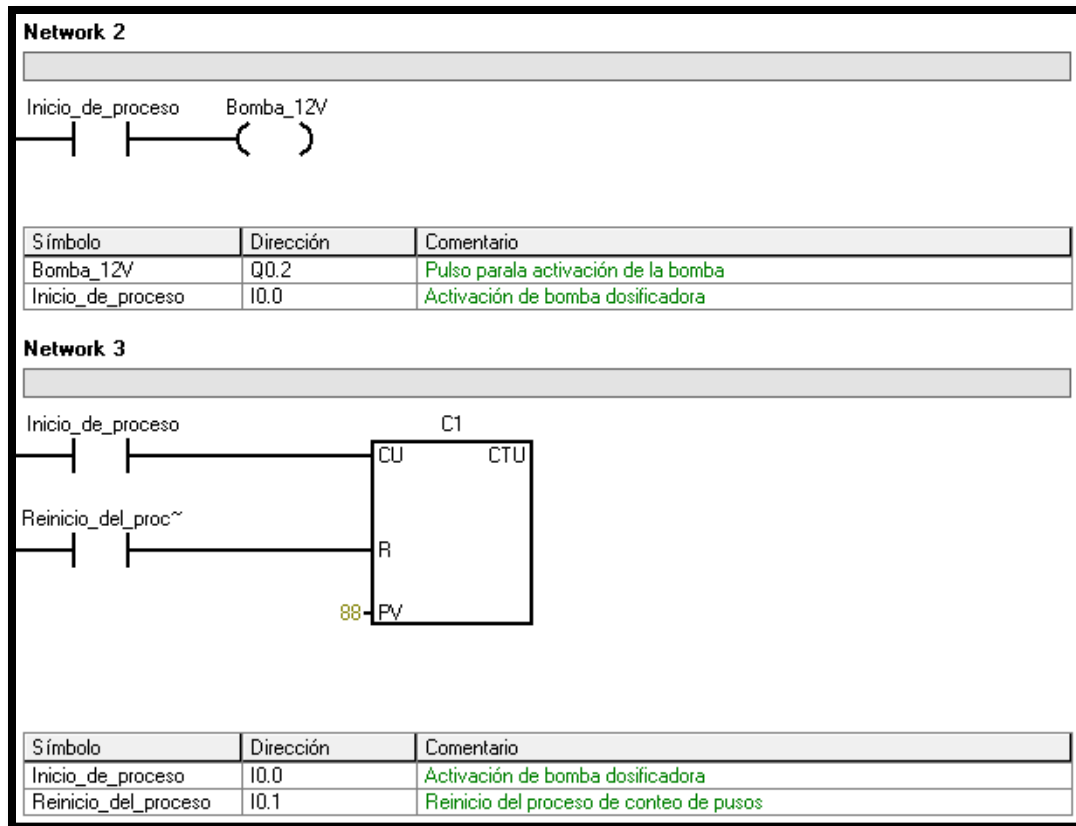


Figura 87. Control de dosificación requerida. Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

El contador se genera a partir del pulso I0.0 que activa la bomba dosificadora, una vez generado los pulsos necesarios se desactivará y hasta que no genere nuevamente la señal del pulsador I0.0 no se activará nuevamente. Mientras que con un pulsador I0.1 reinicia el proceso en caso de ser requerido.

Para el control del agitador se estableció como conveniente la designación de un variador de frecuencia que dada las funciones que provee cada una de sus conexiones se puede realizar la comunicación desde una salida del autómatas hasta el variador como se muestra en la figura 88.

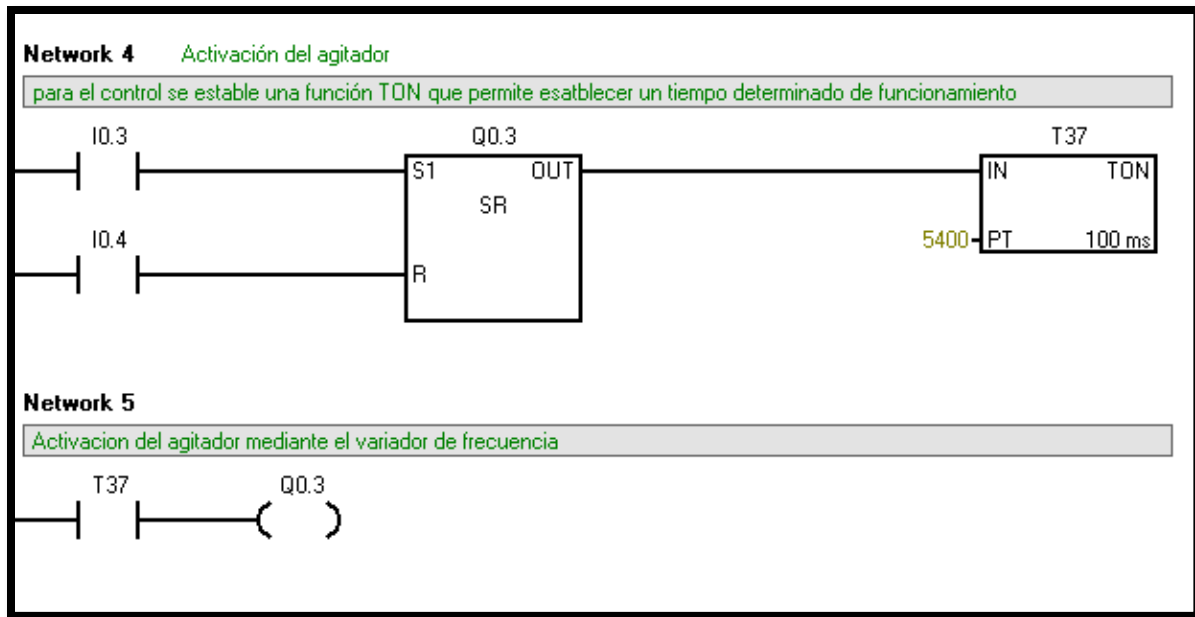


Figura 88. Control de dosificación requerida. Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

Para la función del agitador se estableció un control mediante el cual, un pulsador I0.3 de activación genera el funcionamiento a través del control SR, que a su vez activa un temporizador para el funcionamiento de Q0.3 que es la salida hacia el variador que controla el agitador.

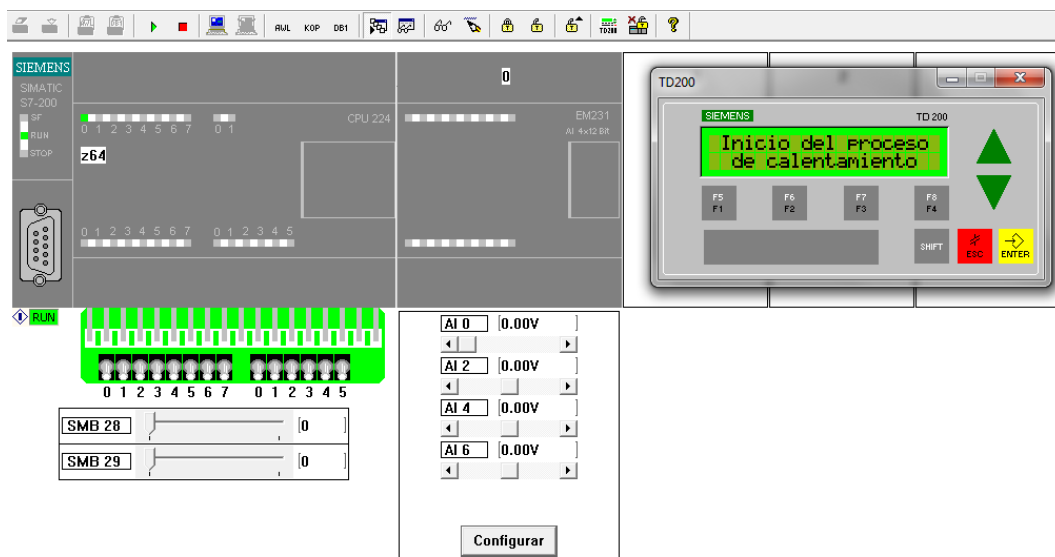


Figura 89. Adaptación de un HMI para el aviso del proceso ha ejecutarse.

Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

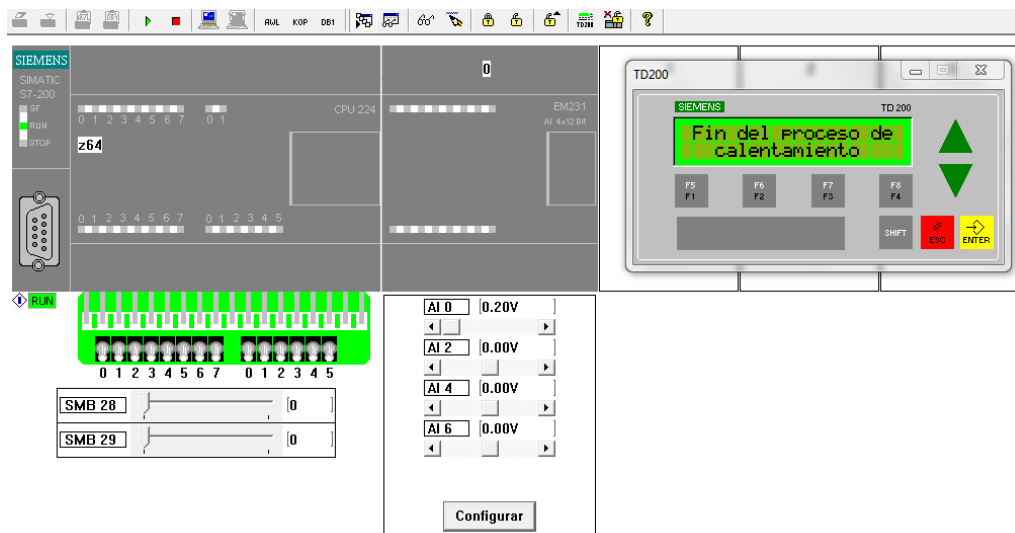


Figura 90. Aviso de fin de proceso del calentamiento.

Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

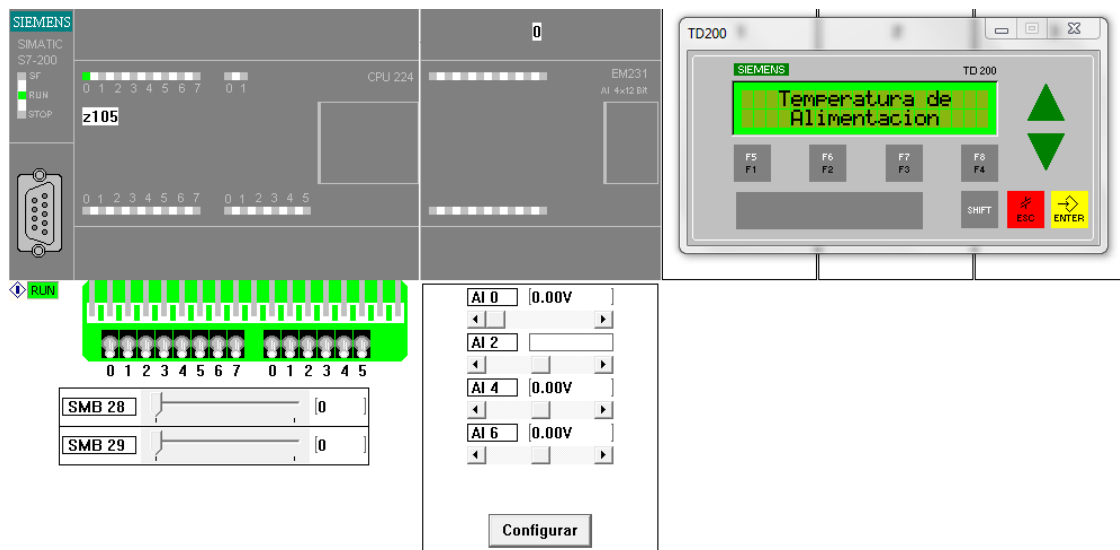


Figura 91. Aviso de la temperatura que se mantiene para la alimentación. Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7. Nota: Indica que la temperatura está a una temperatura de entre 38 °C y 40 °C.

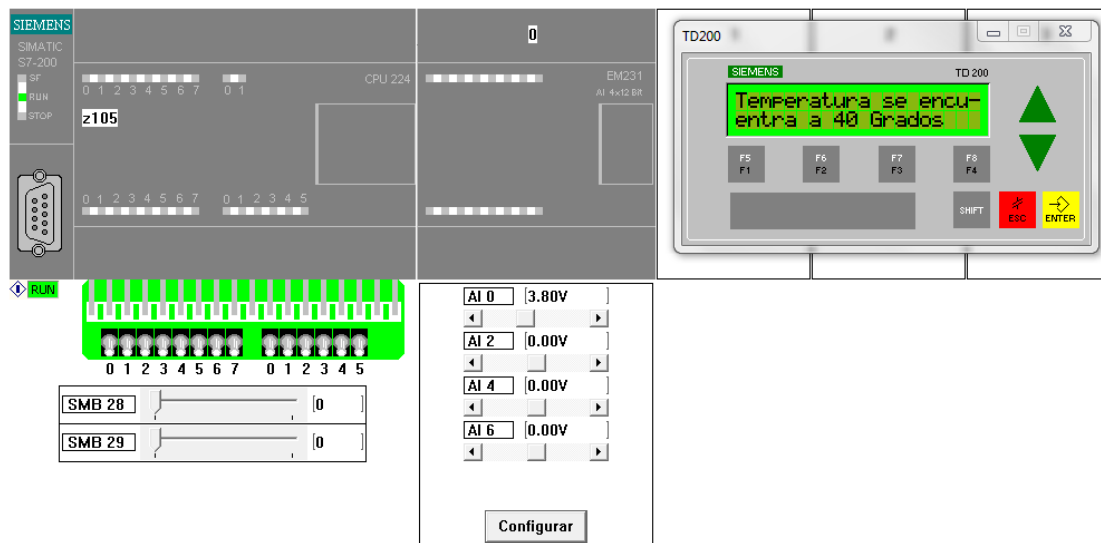


Figura 92. Aviso de temperatura adecuada para la alimentación. *Fuente:* Elaborado en el software MicroWin Step 7. *Nota:* Se indica que la temperatura del alimento se encuentra en máximo 40 °C.

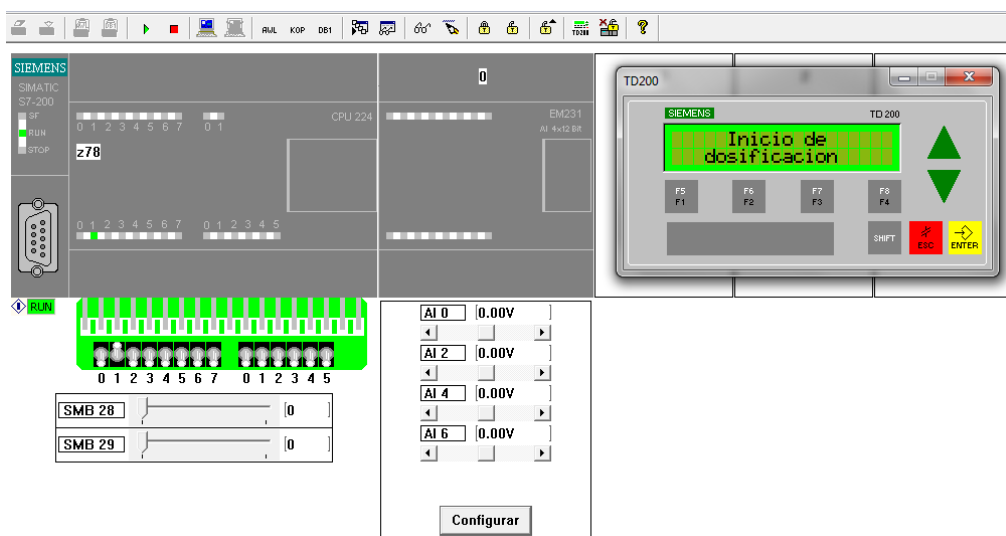


Figura 93. Aviso del inicio del proceso de dosificación. *Fuente:* Elaborado en el software MicroWin Step 7.

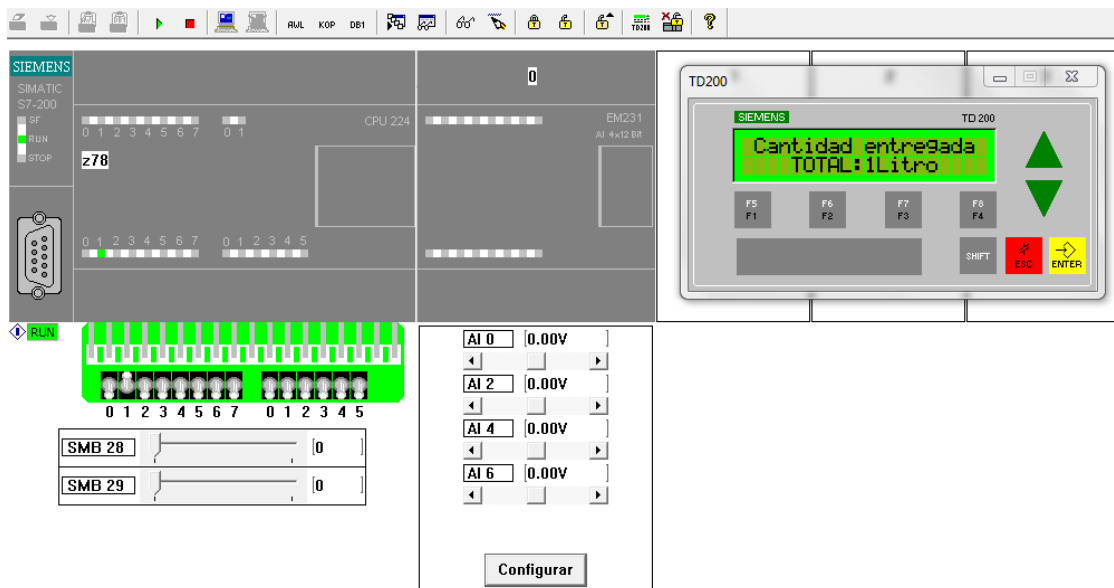


Figura 94. Aviso de la cantidad de litros a dosificar.

Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

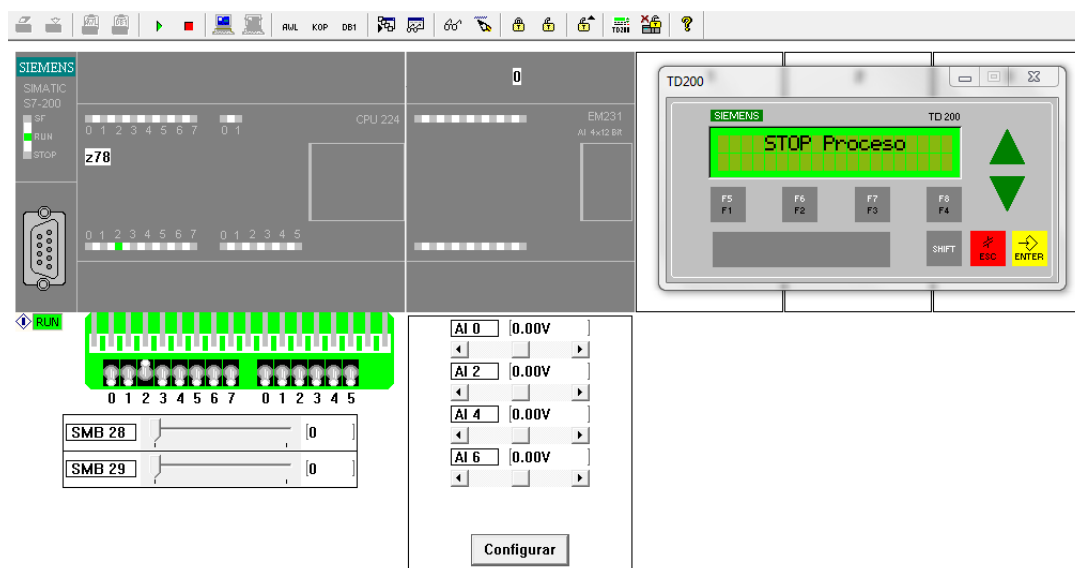


Figura 95. Aviso de fin de proceso de dosificación.

Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

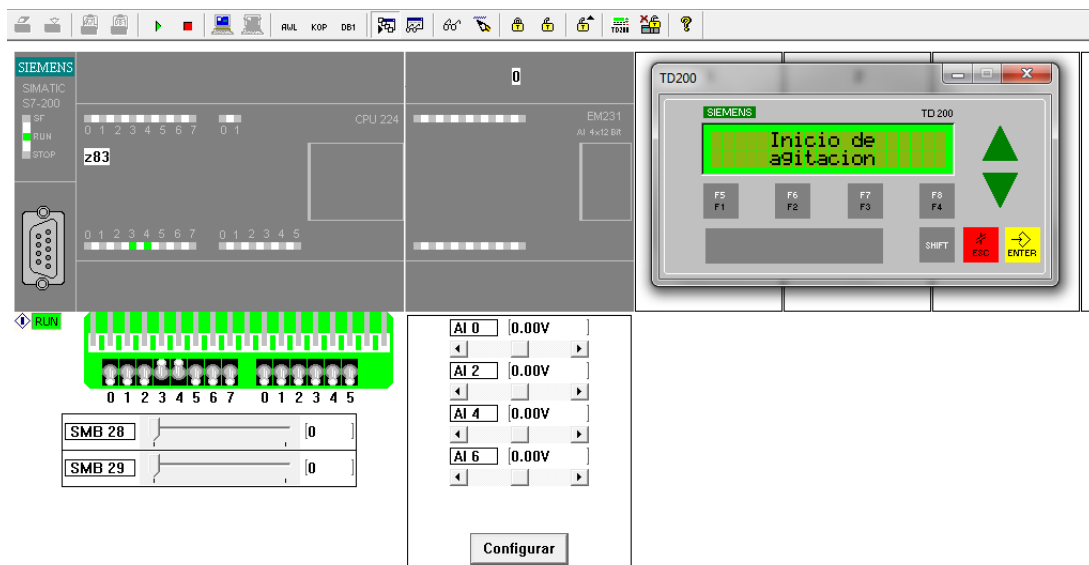


Figura 96. Aviso del proceso agitacion.

Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

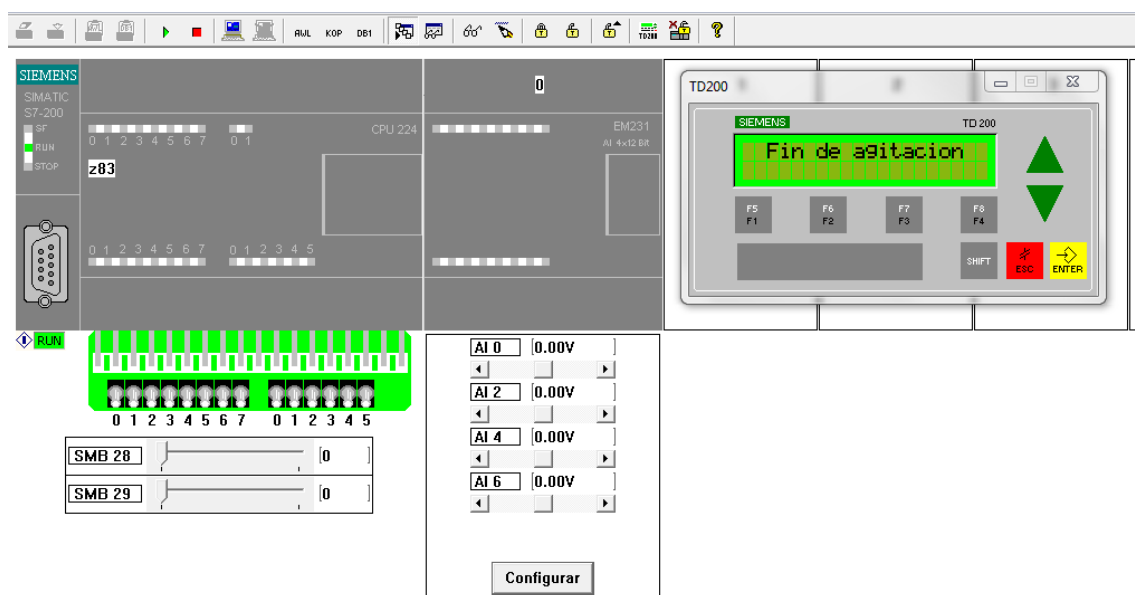
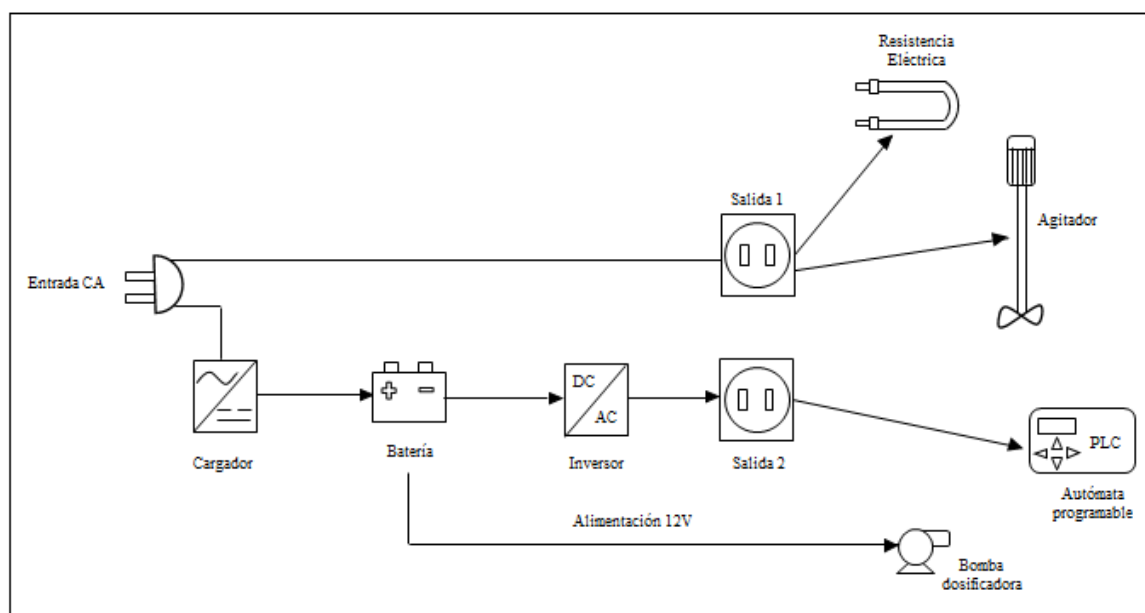


Figura 97. Aviso de fin de proceso de agitacion.

Fuente: Elaborado en el software MicroWin Step 7.

## 6.8. Cálculo de la Autonomía para las Funciones Establecidas sin Conexión

Se estableció dos canales principales de alimentación según la figura 98, dado los diferentes tipos de actuadores establecidos, para el caso de la resistencia térmica y el agitador, su alimentación es directa a una conexión de CA a 220V al momento de su funcionamiento. Por otro lado, el autómata programable PLC está alimentado por una batería que a través de un inversor de corriente permite su funcionamiento a 220 V, sin embargo, la bomba dosificadora requerida es de 12 V. Por lo tanto, se estableció que puede ser alimentada directamente a la batería de 12 V de CD.



*Figura 98.* Alimentación para el funcionamiento de los distintos dispositivos. *Fuente:* Propia. *Nota:* Se alimentará a los depósitos a 12V CD y 220 CA.

### 6.8.1. Dimensionamiento de la Batería Requerida

Para la estimación de la capacidad requerida de la batería se estableció un consumo promedio acorde al requerido para su funcionamiento, tanto la bomba que es la principal carga, seguido del PLC como controlador para la dosificación, por lo tanto, se estableció la tabla 13 de consumo.

Tabla 13. *Consumo por energético por dispositivo*

Dispositivo	Tiempo de funcionamiento Horas (h)	Potencia requerida (W)	Energía TOTAL (Wh)	Factor de seguridad + 20%
Bomba dosificadora	2	93.21	186.42	223.704
PLC	4	24	96	115.2
TOTAL			282.42	338.904

*Fuente:* Propia.

Con los datos obtenidos en la tabla anterior se calculó el consumo medio diario requerido de energía, sin embargo, se recomienda establecer adicionalmente los siguientes rendimientos.

- Rendimiento de la batería (95%)
- Inversor de corriente (90%)
- Rendimiento de los conductores (100%)

Con la información antes mencionada se reemplazó en la ecuación (52):

$$C_{md} = \frac{C_{md,DC} + \frac{C_{md,AC}}{\eta_{inversor}}}{\eta_{conductor} \cdot \eta_{bateria}}$$

Se consideró como consumo de energía diaria en corriente continua y alterna a  $C_{md,DC}$  para la bomba, y  $C_{md,AC}$  para el PLC respectivamente.

$$C_{md} = \frac{223.704 + \frac{115.2}{0.9}}{1 \cdot 0.95}$$

$$C_{md} = 370.21Wh$$



Para obtener el consumo de energía en A-h (Amperio-hora) se reemplazó en la ecuación 53, en donde  $V_{batería}$  (voltaje de la batería) es 12V.

$$Q_{A-h} = \frac{C_{md}}{V_{bateria}}$$

$$Q_{A-h} = \frac{370.21 Wh}{12 V}$$

$$Q_{A-h} = 30.85 Ah$$

Con el valor obtenido anteriormente se estableció la selección de una batería cuya capacidad de amperio-hora sea igual o mayor a la calculada, en este caso la más próxima al valor obtenido es de 35 A-h como se observa en la figura 99.



Figura 99. Batería recargable (FL12350-M de 12V a 35 A-h). Fuente: “Valve regulated lead-acid rechargeable battery” fabricante de baterías recargables.

### 6.8.2. Cálculo de Inversor de Corriente

Para la selección del inversor de corriente de 12V DC a 220VCA únicamente se consideró la carga requerida por el PLC para el dimensionamiento, por lo tanto, se debe establecer una

eficiencia adicional equivalente a la pérdida de eficiencia del inversor en este caso del 10% pero por cuestiones de seguridad se puede agregar un 10% adicional, es decir un 20% total de la carga en CA del PLC.

$$P_{inversor}=P_{CA} \cdot 1.2$$

$$P_{inversor}=138.24 \cdot 1.2$$

$$P_{inversor}=138.24 \text{ W}$$

Por lo tanto, se escogió un valor comercial próximo de 150W para el inversor de corriente de disponibilidad en el mercado como se observa en la figura 100.



*Figura 100.* Inversor de corriente NV-M150 de 150W. Fuente: “NOVA NEW ENERGY”, fabricante de inversores de corriente.

## 6.9. Diagramas de Potencia de los Componentes

### 6.9.1. Diagrama de potencia de control de temperatura

Para el diagrama de potencia correspondiente al control de la resistencia calefactora que se muestra en la figura 100, se estableció que debe funcionar a 220v, de igual manera se estableció el uso de un relé de estado sólido SSR para su control debido a la aplicación a la cual es destinado.

También se consideró el uso de un Sensor de temperatura PT-100 tipo K ideal para el rango de trabajo de la temperatura a obtener.

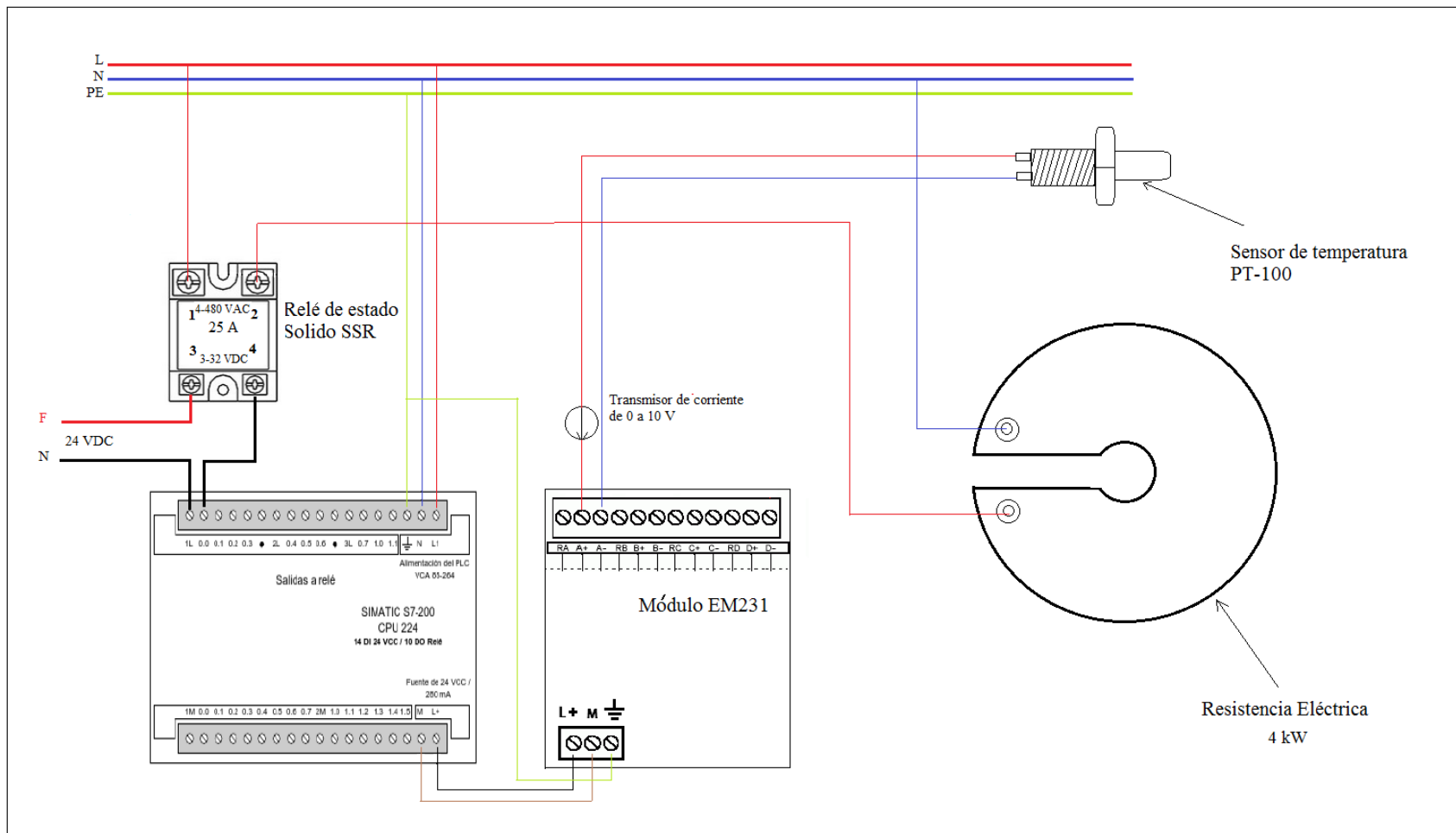
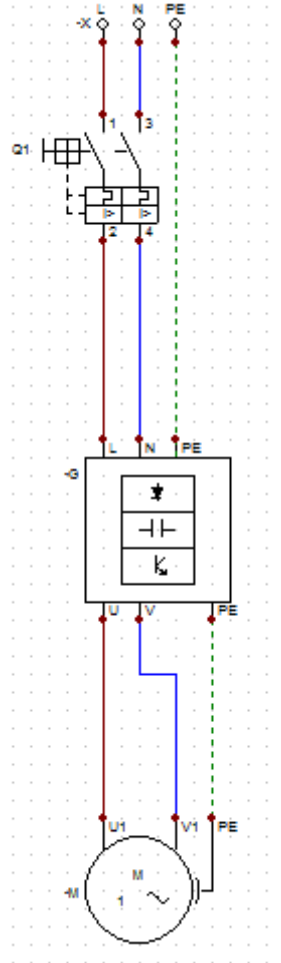


Figura 101. Esquema de potencia de resistencia eléctrica y sus elementos de control. Fuente: Propia (PLC adaptado de Siemens®)

### 6.9.2. Diagrama de Potencia de con Variador de Frecuencia

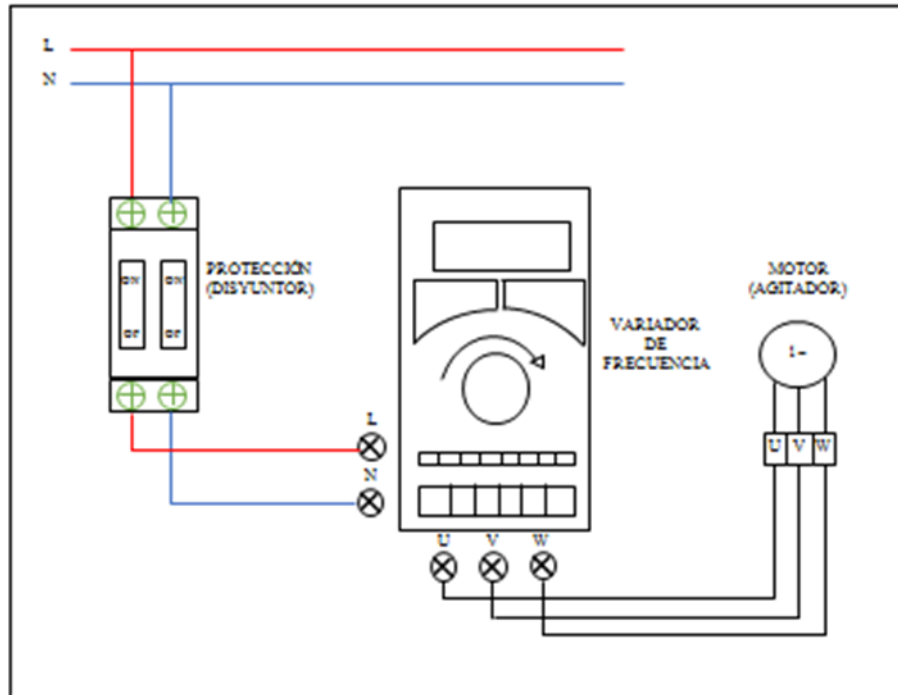
Para obtener las RPM a través del variador de frecuencia que estará controlado para su funcionamiento a través de un PLC se estableció primeramente la conexión entre el motor y el variador de frecuencia tal como se puede observar en la figura 102.



*Figura 102.* Esquema de control de motor con variador de frecuencia.

*Fuente:* Elaborado en el software CAdESIMU.

En el diagrama de la figura 103, se puede apreciar mejor la forma de conexión y elemento de protección para su funcionamiento.



*Figura 103.* Esquema de elementos básicos para un arranque con variador de frecuencia.

Fuente: Propia.

Consecuentemente se estableció la conexión entre el PLC y el variador de frecuencia, para ello previamente se debe configurar dicho variador con los parámetros de frecuencia y modo de activación necesarios para obtener las RPM requeridos como se muestra en la figura 104.

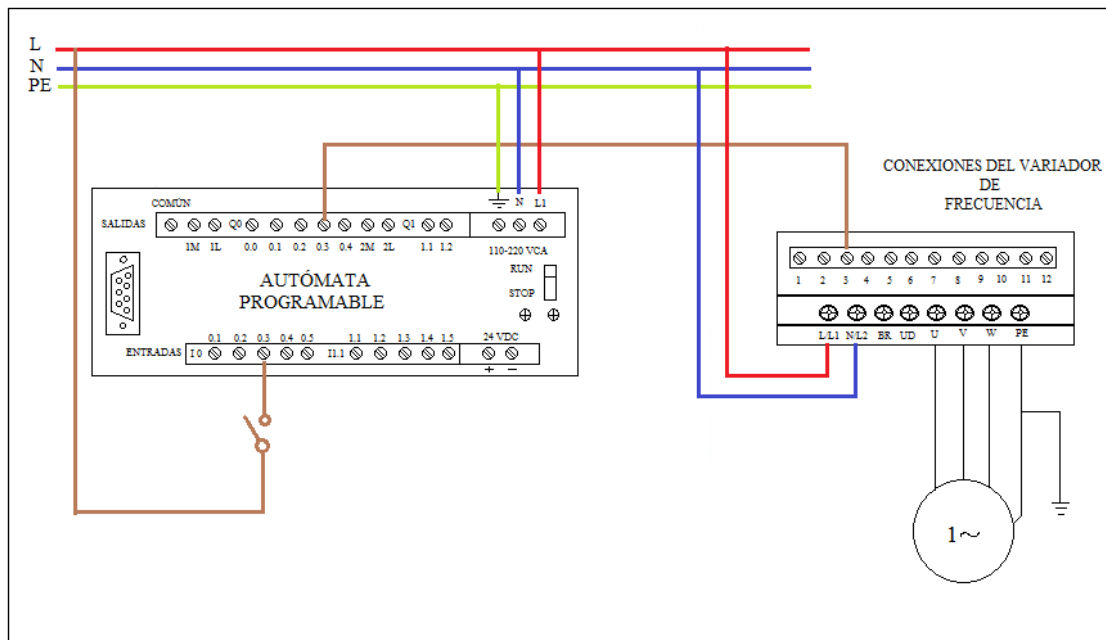


Figura 104. Esquema de conexión del PLC al variador de frecuencia. Fuente: Propia.

### 6.9.3. Diagrama de Potencia y Control para la Dosificación

En el proceso de dosificación se estableció la selección de una bomba dosificadora de 12V, dicha bomba va a ser alimentada a través de una batería de 12V DC, para la activación de su funcionamiento se consideró una pistola dosificadora que al oprimir su pulsador activa la bomba, sin embargo, el sensor de flujo detecta el número de pulsos emitidos correspondientes a cantidad de líquido requerido y una vez completado emitirá la señal para detener el funcionamiento de la bomba.

Las características completas del sensor y la pistola dosificadora se pueden ver en el Anexo 8, considerando que el sensor de flujo funciona de 5-24 VDC al igual que el pulsador de la pistola dosificadora, en cuanto a las características GND y SIG del sensor representa la puesta a tierra y la señal que emite el número de pulsos respectivamente, la disposición de los componentes se muestra en la figura 105.

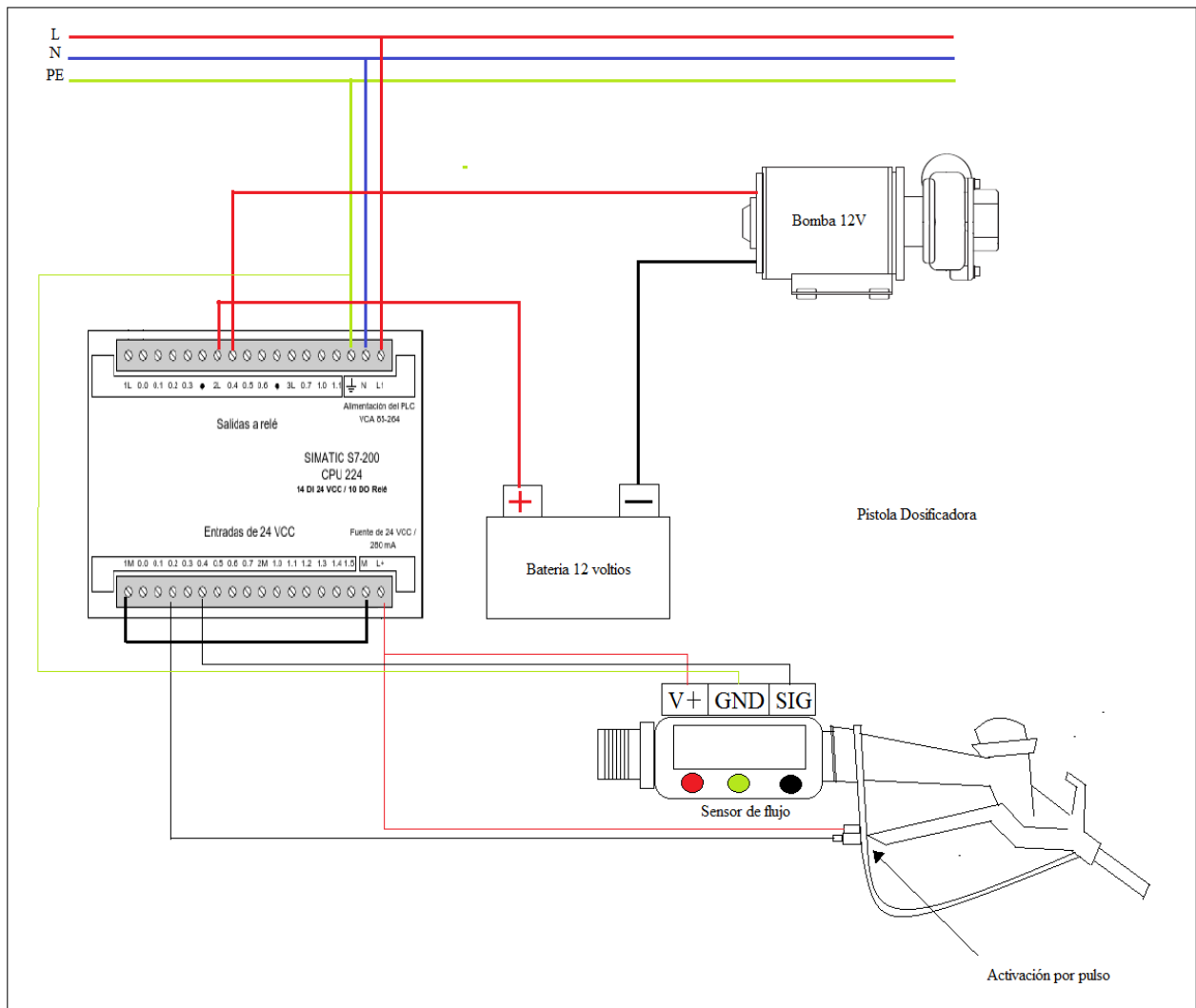


Figura 105. Esquema de conexión del PLC a los elementos de control y activación para la dosificación. Fuente: Propia.

### 6.10. Tabla de Costo Final.

Para obtener el costo total de cada uno de los componentes o elementos requeridos para el equipo se estimó con valores acordes a los disponibles en la actualidad y en el medio local presentados en la tabla 14, por tal motivo que su valor podría variar de un lugar a otro y del tipo de fabricante a obtener.

Tabla 14. *Tabla de costos de los distintos componentes*

Elementos	Cantidad	Costo unitario	Valor total
Motor Monofásico 1/4 Hp	1	105	105
Bomba 12V 1/8Hp	1	70	70
Batería 12V 35A-h	1	117	117
Relé de estado sólido 25A	1	9	9
Variador de frecuencia 0.5Hp	1	120	120
Resistencia eléctrica de 5.5kW	1	350	350
Inversor de corriente	1	15	15
Cargador de batería 12V	1	15	15
PLC S7-200	1	300	300
HMI TDE	1	130	130
Módulo de salidas analógicas	1	100	100
Tubo cuadrado estructural	5.40 m	3	19.50
Ruedas delanteras	2	16	32
Conector a 220V	1	20	20
Ruedas traseras	2	12	24
Plancha de acero inoxidable de 1.2 mm de espesor	1	150	150
Sensor de flujo ¾"	1	221,21	221.21
Sensor de temperatura PT-100	1	25	25
Tanque 100 L de capacidad	1	430	430
Total de componentes			2122.71
30% por costo de elaboración			636.81
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>2759.52 \$</b>

*Fuente:* Propia. *Nota:* Valores referenciados de acuerdo a la disponibilidad local.



## 7. Discusión

El diseño de un equipo pasteurizador de leche para la alimentación de terneros, se lo pudo establecer debido a la necesidad para mejorar en la alimentación de los terneros desde su inicio de vida, la propuesta va para la localidad ganadera existente en la región sur del país, pese a su gran cantidad de ganado vacuno, la cual no cuentan con un equipo para satisfacer las necesidad de alimentar desde su inicio de vida a los terneros por lo cual se presentó como una propuesta el diseño de un equipo pasteurizador de leche transportable para la alimentación de ternero que garantice la temperatura adecuada para su alimentación.

Dentro del presente trabajo se planteó tres objetivos, para su cumplimiento se realizó la búsqueda de información pertinente de las características de las partes y elementos que conforman un equipo para la alimentación de terneros, lo que dio como resultado la base teórica para el desarrollo del primer objetivo que es definir los componentes del equipo pasteurizador y de esa manera se tomó en cuenta el diseño de tanque a presión, selección del agitador de tipo paletas planas y a su vez la transmisión de potencia correspondiente. Por lo tanto, se seleccionó la resistencia de 5.5 kW en base al análisis térmico obtenido. La bomba dosificadora de 12 V. se la seleccionó en base al requerimiento de disponibilidad para ser transportado el alimento hacia donde se encuentra el ternero.

El diseño del equipo correspondiente al segundo objetivo se planteó estableciendo la base de estructura para la carga del equipo y sus componentes, así como, la resistencia del tanque. Se seleccionó el tipo de ruedas giratorias y fijas de 60 kg y 75 kg de capacidad respectivamente.

Se realizó la propuesta de un control automático de las principales funciones del equipo como tercer objetivo, el cual consiste como primer punto el mantener la temperatura estable a 65 °C durante 30 minutos, el proceso es controlado a través de un controlador

PID mediante la propuesta de configuración en el *software* V0.4 STEP 7 MicroWin para un autómatas programable PLC S7-200 mismo que cuenta con las características para dicho control así mismo, se estableció un control para la bomba dosificadora y el sistema de agitación, proponiendo el uso de un variador de frecuencia para el funcionamiento del agitador, y como propuesta de visualización de proceso de control se consideró un HMI TDE-200 establecido dentro de la configuración debido a la compatibilidad con el PLC S7-200 tomando en cuenta que dicho autómatas ofrece una mayor confianza y durabilidad de trabajo.

El control automático propuesto puede ser mejorado si se desea implementar un sistema SCADA incorporando una interfaz más llamativa e intuitiva incluso con la posibilidad de añadir otras funcionalidades de forma amigable con el usuario común.

Uno de los aspectos importantes a considerar fue la aplicación teórico-científica para el diseño y dimensionamiento de los distintos componentes, quedando como aspecto a definir la parte constructiva del equipo, así como la implementación del sistema de control automático con los componentes a controlar, siendo estos aspectos de temas de interés para futura aplicación o implementación.

De acuerdo con el equipo pasteurizador diseñado en comparación con los existentes en el mercado cumple con las características indispensables para la alimentación del ternero tales como: procesos de pasteurización, autonomía, alimentación dosificada, mantener una temperatura adecuada, de acuerdo a la capacidad seleccionada se tomó como referencia a partir de la oferta más baja propuesta por ciertos fabricantes, dado que se considera una propuesta económica.

En comparación a los equipos existentes en el mercado de marcas conocidas como Calf-Star y TiendaOrdeño.com los cuales mantiene características indispensables iguales con respecto para la alimentación de terneros, tienen un coste de \$7.500 y \$3606.4

respectivamente (Anexo 18 y Anexo 19), por lo tanto se evidencia una diferencia económica de un 23.48% con respecto a la propuesta más económica comparada, conociendo que el diseño propuesto tiene un coste de 2759.52 \$;

Contribuyendo una alternativa atractiva para el ganadero.

## **8. Conclusiones**

- Se estableció un diseño acorde a las principales funciones y requerimientos para la alimentación de terneros en base a propuestas existentes en el mercado en donde se priorizo el sistema de calentamiento, agitación y dosificación y que se pueda transportar.
- Se obtuvo el dimensionamiento de cada una de las partes que constituye el equipo para que se cumplan los procesos del calentamiento, la agitación, y la dosificación y así como también para su transportación de acuerdo a una capacidad del tanque de 100 litros.
- Se obtuvo un diseño simple pero que cumple con su función principal para tratamiento del alimento de los terneros, así como la facilidad de implementación de sus componentes mecánicos y de control que engloban el equipo.
- Se estableció un sistema de control para las principales funciones mediante la designación de un PLC ya que posee los requerimientos necesarios para cumplirlas.

## **9. Recomendaciones**

- Se recomienda para el dimensionamiento de un equipo de mayor capacidad se vuelva a calcular los componentes, ya que van a variar según sean mayor o menor capacidad de asignación de calentamiento.
- Para la implementación en lugares donde la temperatura es demasiado baja, o en su defecto el fluido entra muy frío para su proceso de calentamiento, se recomienda realizar el estudio correspondiente para dimensionar correctamente la potencia calorífica.
- Realizar el análisis para la implementación de un sistema móvil automático es decir que pueda moverse de manera autónoma sin necesidad de ser empujado.
- Implementar al control automático un sistema SCADA que permita tener una de interfaz de visualización través de un HMI interactivo con opción del control del proceso a distancia para una mayor comodidad.
- Se recomienda realizar la construcción del equipo para su implementación de acuerdo a quien considere pertinente su uso.

## 10. Bibliografía

- AgitMIM. (2019). Capítulo 16. Agitación. *AgitMIM*, 182–215. Retrieved from <https://librosdrvaliente.files.wordpress.com/2015/09/capc3adtulo-16-agitacic3b3n.pdf>
- Alfaro, V. M. (2001). *Sobreamortiguados Utilizando*. 11, 11–25.
- Almandoz Berrondo, J., Jimenez Redal, R., Mongelos Oquiñena, B., & Pellejero Salaberria, I. (2015). Cuadros y Ábacos. *Universidad Del País Vasco*.
- Andalucia, J. de. (n.d.). *Efecto joule* (p. 1). p. 1. Secretaria de educación.
- Andrew Pytel. Ferdinand L. Singer. (1994). *Resistencia de materiales* (Cuarta). Mexico: Alfaomega.
- Arian. (2013). Control y Instrumentación. *Arian S.A Santiago de Chile*, 10. Retrieved from <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- Balcells, J. J. L. R. (n.d.). *Autómatas Programables* (marcombo; B. Editores, Ed.). Barcelona.
- BARCELONA, U. A. DE. (n.d.). TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS. *OSMAN INDUSTRIES, Capítulo 4*.
- BOHMAN, I. (n.d.). *CATÁLOGO DE PRODUCTOS* (p. 35). p. 35. Retrieved from <http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/01/catalogo-general-IBCA.pdf>
- BUDYNAS, RICHARD G. NISBETT, K. J. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. In L. cCampa R. Roig, Pablo Vázquez (Ed.), *Igarss 2014* (octava). Mexico D.F.
- Carrillo, A. (2011). *Sistemas Automáticos de Control Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado*. Retrieved from [http://150.185.9.18/fondo\\_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA](http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA) DE

- Cengel, Y. a. (2011). Transferencia de Calor y Masa Fundamentos y Aplicaciones. In *Termodinamica*. <https://doi.org/10: 0-8400-5444-0>
- Christie J. Geankoplis. (1998). *PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS* (TERCERA ED). MÉXICO: COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A. DE C.V.
- Cotos Morales, R. C. (2019). Mecánica de fluidos. Impulsión de fluidos. *Mecánica De Fluidos*, 1–623. Retrieved from <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/>
- CRN, T. part S. A. (2019). *Resistencias calefactoras*.
- Daneri, P. A. (2008). *PLC Automatizacion y Control Industrial* (p. 184). p. 184.
- Díaz Del Castillo Rodriguez, F. (2019). Perfiles Estructurales. *Laboratorio De Tecnología De Materiales Lecturas De Ingeniería*, 32, 33. Retrieved from [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m5/Perfiles\\_estructurales\\_2019-1.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/Perfiles_estructurales_2019-1.pdf)
- Domingo, A. M. (2011). Apuntes de transmision de calor. *Universidad Politecnica de Madrid*, 34–37.
- Electricfor, S. . (n.d.). Resistencias para inmersión. Retrieved May 19, 2020, from Resistencias electricas website: <https://www.electricfor.es/es/333142/Resistencias-para-inmersion.htm>
- Enrique Carnicer Royo, C. M. hasta. (2004). *Bombas Centrífugas* (Segunda ed; C. G. A. Rojas, clara de fuente rojo, Ed.). Madrid: Thomson Paraninfo.
- Estrada, I. J. manuel L. (2001). *Diseño y calculo de recipientes a presión*.
- Everest. (n.d.). *Sistemas automáticos de control*. 1–60.
- Fernandez, A. (n.d.). *Ruedas Industriales*. 20. Retrieved from

<http://www.fernandezantonio.com.ar/documentos/017.pdf>

Fernández Díez, P. (2015). Bombas centrífugas: Curvas características. *Bombas Centrífugas y Volumétricas*, 127.

González, J. C. R. R. A. R. (2006). *Fórmulas , Tablas Y Figuras De*. (34), 52.

Hall, Allen S., Alfred R. Holowenko., H. G. L. (1971). *DISEÑO DE MAQUINAS* (Primera; SCHAUUM, Ed.). México, S. d de C. V.: McGRAW-HILL.

Hamrock, B. J., Jacobson, B. O., & Schmid, S. R. (2000). *Elementos De Maquinas Hamrock*.

Hamrock, B. J., Jacobson, B. O., & Schmid, S. R. (2000). *Elementos\_De\_Maquinas.PDF* (p. 8). p. 8.

Heras, A. (2004). Diseño de Tanque de Agitación. *Udlap*, 6.

Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, D. S. (2017). Curso de Arduino Leccion 1. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 8(9), 1–58.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Hernandez Benedi, J. M. (1975). La Refrigeracio de la leche. *Hojas Divulgadoras*, (4–5), 10–11.

Hernandez, R. (2010). *Introduccion a los sistemas de control. Conceptos, aplicación y simulación con MATLAB*. Retrieved from  
[file:///C:/Users/DJTICO/Desktop/conceptual/1 Control.pdf](file:///C:/Users/DJTICO/Desktop/conceptual/1%20Control.pdf)

Hernandez Romero, A. (2016). Análisis económico de un sistema de almacenamiento para la disminución de desvíos de producción en un parque eólico. *Universidad De Sevilla*, 228.

Jaime Héctor Sotero Solís, O. M. A. R. (n.d.). *Sistema de control para mantener la temperatura constante del agua en un tanque de teknopor*. 37–47.

Jaramillo, J., & Cardenas, H. (2015). Número de Reynolds. *Journal of Chemical*

- Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. Retrieved from [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/4849/T.IC\\_JARAMILLO\\_DIAZ\\_JULIAN\\_DAVID.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/4849/T.IC_JARAMILLO_DIAZ_JULIAN_DAVID.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jesús Manuel Sobrado Vallecillo. (n.d.). *Instrumentación*.
- Lanuza, F. (2006). Crianza De Terneros Y Reemplazos De Lechería \*. *Boletín INIA*, 148, 109–128. Retrieved from [.cl/medios/biblioteca/boletines/NR33823.pdf](http://medios/biblioteca/boletines/NR33823.pdf)
- LEÓN ESTRADA, J. M. (2001). *DISEÑO Y CALCULO DE RECIPIENTES A PRESIÓN*. 190.
- Lorenzo, D. (2000). *Always leading the pack*.
- Lorenzo, J. A. A. (2015). Instalación Fotovoltaica Aislada. Retrieved July 28, 2021, from Sunfields website: <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>
- Luna, R. G., Nolasco, A. Q., Chávez, L. T., & Popoca, M. C. (2015). Sistema de adquisición de datos meteorológicos en tiempo real con PLC. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol.6. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000801701](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801701)
- M. Moreno. (2002). Controlador Lógico Programable. *Automación Micromecánica s.a.i.C*, I, 84. Retrieved from <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLogicoProgramablePLC.pdf>
- Martinez, A., & Rosenberger, M. (2013). *Modelado Numérico de Pasteurización Artesanal de Leche y Jugos Naturales*. XXXII, 19–22.
- Mayori, A. M. (2012). Resistencia de Materiales Aplicada. *Universidad Mayor de San Andrés*, 306.
- Medicine, U. of M. C. of V. (2014). *Laboratory for Udder Health Factsheet Pasteurized*



- Milk Systems for Calves Overview of Processing & Monitoring*. 5(April), 2014.
- Models, B. (n.d.). *SHURflo Small Close-Coupled DC Centrifugal Pumps 316 Stainless Steel and Bronze Models SHURflo Small Close-Coupled DC Centrifugal Pumps 316 Stainless Steel and Bronze Models*. 4096.
- Moreno, L. E., & Garrido, S. (2020). *Apuntes de Control de Sistemas II Departamento de Ingenieria de Sistemas y Automatica*. (March).
- Nathaly, M. (n.d.). *Agitación*.
- Pérez-Molina, C., Gomez, M. J. A., Gil, R., Orueta, G. D., Sancristobal, E., Martin, S., ... Loro, F. G. (2013). Performance-centered adaptive curriculum for employment needs. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 1–21. <https://doi.org/10.1109/taee.2012.6235460>
- Pirobloc. (n.d.). Sistemas de fluido térmico: la guía completa. Retrieved May 18, 2020, from Capítulo 1 website: <https://www.pirobloc.com/sistemas-de-fluido-termico-la-guia-completa/>
- Piusi S.p.A. (n.d.). K24 SUZZARABLUÉ MANUAL NOZZLE.
- Riba, C. (2008). *Selección de materiales en el proceso de diseño de maquinas*. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36844/9788498804065.pdf>
- Rojo, F. C. (2003). *Sistema de control de temperatura*. 16.
- Ruedas industriales*. (n.d.). 1–20.
- Sataloff, R. T., Johns, M. M., & Kost, K. M. (n.d.). *CONVECCIÓN*.
- Serope Kalpakjian, S. S. (2008). *MANUFACTURA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA* (Quinta edi; L. M. C. Castillo, Ed.). Mexico: Pearson educación.
- Sevillano. (2011). Variadores de frecuencia. *Sistemas de Regulacion y Control Automaticos*, 143–152. Retrieved from

[http://s8e034de22b40c2e9.jimcontent.com/download/version/1390409720/module/5858319664/name/Variadores\\_de\\_frecuencia\\_TIDA\\_13-14.pdf](http://s8e034de22b40c2e9.jimcontent.com/download/version/1390409720/module/5858319664/name/Variadores_de_frecuencia_TIDA_13-14.pdf)

Sieiro Pererira, B., Garcia Casassas, G., Margalida, S. M., Tkatchenko, R., & Ferra Gimenez de la Fuente, D. (2016). *Manual de cálculo. Planta de producción de ácido fórmico*. 76.

Soportes, P., Clavijas, H., & Espana, H. (n.d.). *Section 2- Régulation de température*  
*Sección 2 - Regulación de temperatura*.

Vulcanic. (2015). Calentamiento de líquidos. Retrieved May 18, 2020, from <https://www.vulcanic.com/es/calentamiento-liquidos/>

WEG. (n.d.). *Maual de uso del variador WEG serie CFW-10*.

William, D., & Callister, J. (1995). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. *Reverté*, p. 804.

## 11. Anexos

### Anexo 1: Características para la selección de factor de seguridad

**Tabla 1.1** Características de factor de seguridad A, B y C.

Característica <sup>a</sup>		B =			
		mb	b	r	p
A = mb	C = { mb	1.1	1.3	1.5	1.7
	C = { b	1.2	1.45	1.7	1.95
	C = { r	1.3	1.6	1.9	2.2
	C = { p	1.4	1.75	2.1	2.45
A = b	C = { mb	1.3	1.55	1.8	2.05
	C = { b	1.45	1.75	2.05	2.35
	C = { r	1.6	1.95	2.3	2.65
	C = { p	1.75	2.15	2.55	2.95
A = r	C = { mb	1.5	1.8	2.1	2.4
	C = { b	1.7	2.05	2.4	2.75
	C = { r	1.9	2.3	2.7	3.1
	C = { p	2.1	2.55	3.0	3.45
A = p	C = { mb	1.7	2.15	2.4	2.75
	C = { b	1.95	2.35	2.75	3.15
	C = { r	2.2	2.65	3.1	3.55
	C = { p	2.45	2.95	3.45	3.95

<sup>a</sup> mb = muy bien, b = bien, r = regular y p = pobre.

A = calidad de los materiales, mano de obra, mantenimiento e inspección.

B = control sobre la carga aplicada a la parte.

C = exactitud del análisis de esfuerzos, de la información experimental o de la experiencia con partes similares.

**Tabla 1.2** Características del factor de seguridad D y E.

Característica <sup>a</sup>		D =		
		ns	s	ms
E = {	ns	1.0	1.2	1.4
	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6

<sup>a</sup> ms = muy serio, s = serio y ns = no serio.

D = peligro para el personal.

E = impacto económico.

Fuente: (Hamrock, Jacobson, y Schmid, 2000)

**Anexo 2:** Selección del tamaño de la cuña.

Diámetro del eje		Tamaño de la cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta (inclusive)	w	h	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

Fuente: información extraída de (BUDYNAS et al., 2008).

### Anexo 3: Espesor de la plancha de acero inoxidable.

#### ACEROS

#### Acero Inoxidable

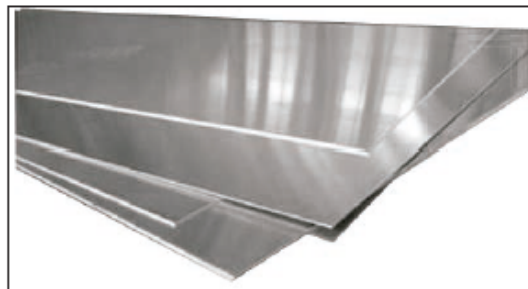
#### ► Planchas - ASTM A240/A480

##### Información general

**Acabado 2B:** Planchas laminadas en frío, tratadas térmicamente, decapadas químicamente y tenue paso final en cilindros brillantes.  
**Acabado N° 1:** Planchas laminadas en caliente, tratadas térmicamente, decapadas química y mecánicamente.  
**Acabado N° 4:** Planchas esmeriladas con grif 180-220 por una cara, la otra cara en acabado 2B. La cara esmerilada viene protegida con film de PVC.  
**Acabado BA:** Planchas laminadas en frío, con brillo reflectivo similar a un espejo con buena calidad de imagen.

##### Tabla de referencia

(Espesor) mm	Ancho x longitud mm	Peso apróx. kg	304	316-L	430	Acabado
0.4	1220 x 2440	9.3			*	BA, N° 4
0.5	1220 x 2440	11.5	*		*	BA, 2B, N° 4
0.6	1220 x 2440	13.8	*		*	BA, 2B, N° 4
0.7	1220 x 2440	17.0	*		*	BA, 2B, N° 4
1.0	1220 x 2440	24.0	*		*	BA, 2B, N° 4
1.2	1220 x 2440	28.4	*			2B, N° 4
1.5	1220 x 2440	35.5	*			2B, N° 4
2.0	1220 x 2440	48.0	*			2B, N° 4
2.5	1220 x 2440	60.0	*			2B
3.0	1220 x 2440	71.0	*	*		2B
4.0	1220 x 2440	96.0	*			N° 1
5.0	1220 x 2440	119.0	*			N° 1
6.0	1220 x 2440	142.0	*			N° 1
7.93	1220 x 2440	188.0	*			N° 1
8.0	1220 x 2440	189.0	*			N° 1
10.0	1220 x 2440	236.5	*			N° 1
12.0	1220 x 2440	284.0	*			N° 1



Fuente: BOHMAN, (s.f.). Nota: características de la plancha de acero inoxidable

Anexo 4: Características y diámetro del eje.

# EJES

## Acero Inoxidable



### Especificaciones Generales

Calidad	AISI 304
Descripción	Acero inoxidable austenítico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono. Resiste a la corrosión intercristalina hasta 300°C. Resiste al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, así como de soluciones alcalinas si se emplea con la superficie pulida espejo.
Aplicaciones	Industrias alimenticias, cerveceras, azucarera, utensilios domésticos, industria del cuero, farmacéutica, dental etc...
Longitud	6 m

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10,5	18 - 20

Resistencia Mecánica (N/mm2)	Punto de fluencia (N/mm2)	Alongación %Min.	Dureza ROKWELL B
520	220	20	249 - 278

Diámetro
3/16"
1/4"
5/16"
3/8"
1/2"
5/8"
3/4"
1"
1 1/4"
1 1/2"
2"
2 1/2"
3"
3 1/2"
4"
5"



Fuente: Dipac fabricante de aceros

# SHURflo Small Close-Coupled DC Centrifugal Pumps 316 Stainless Steel and Bronze Models

## Model Ordering Codes and Options



Model Number: COMSV012D

Example Model: COMSV012D

	(1) C	(2) M	(3) S	(4) V	(5) 0	(6) 12D
1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	
Series	Mounting	Material	Seal (Mech)	Impeller Size (Ports)	Motor Options	
CO: Centrifugal Semi-Open Impeller	M: Motor Mount	S: 316 Stainless Steel B: Bronze	V: Viton Mechanical Seal (for SS models only) L: Viton Lip Seal (for bronze models only)	0 (3/4" - 3/4")	12D: 12 Volt DC 24D: 24 Volt DC 36D: 36 Volt DC	

# SHURflo Small Close-Coupled DC Centrifugal Pumps

## 316 Stainless Steel and Bronze Models

### Specifications

Model	HP*	Type	DC Motor Voltage	Shaft Rotation**	Full Load Amps	Max. Amps	Overload Protection***	Pump Shaft Size	Motor Shaft Type	Ports (NPT)	PUMP CONSTRUCTION (Wet End)				Ship Wt. (lbs.)
											Body/Adapter & Cover Castings	Impeller	Shaft	Seals & O-Rings	
Stainless Steel Motor-Mounted Models															
COMSV012D	1/8	TENV	12	CW	8.5	10.5	Fuse	8mm	Flat	3/4"	316 SS	316 SS	300 SS	Viton <sup>†</sup>	4.1
COMSV024D	1/8	TENV	24	CW	5.4	7.8	Fuse	8mm	Flat	3/4"	316 SS	316 SS	300 SS	Viton <sup>†</sup>	4.1
COMSV036D	1/8	TENV	36	CW	3.2	5.0	Fuse	8mm	Flat	3/4"	316 SS	316 SS	300 SS	Viton <sup>†</sup>	4.1
Bronze Motor-Mounted Models															
COMBL012D	1/8	TENV	12	CW	8.5	10.5	Fuse	8mm	Flat	3/4"	BR/BZ	BR/BZ	300 SS	Viton <sup>‡</sup>	4.3
COMBL024D	1/8	TENV	24	CW	5.4	7.8	Fuse	8mm	Flat	3/4"	BR/BZ	BR/BZ	300 SS	Viton <sup>‡</sup>	4.3
COMBL036D	1/8	TENV	36	CW	3.2	5.0	Fuse	8mm	Flat	3/4"	BR/BZ	BR/BZ	300 SS	Viton <sup>‡</sup>	4.3

TENV = Totally-Enclosed Non-Ventilated SS = Stainless Steel BZ = Bronze BR = Brass

(\*) Approximate HP

(\*\*) Standing behind the motor

(\*\*\*) Replaceable fuse

(†) Mechanical seal: Standard shaft seal also contains 316 series stainless steel, carbon and ceramic.

(‡) Lip seal: Standard shaft seal also contains 300 series stainless steel.

NOTES: Driver data is subject to change without notice; see label on driver for actual information.

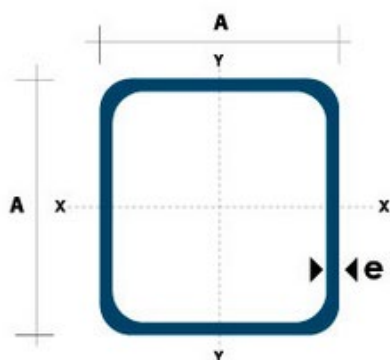
Manufacturer reserves the right to change specifications without notification.

All dimensions are in inches unless otherwise specified.

*Fuente:* Models (s.f.). *Nota:* Características previstas por el fabricante














**Anexo 6: Tubo estructural cuadrado.**










Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm <sup>3</sup>
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84


*Fuente:* Dipac, fabricante de aceros. *Nota:* Características de tubo estructural.

**Anexo 7:** *Tipos de ruedas para diversas cargas.*

							
Rotante modelo MTG		Rueda (mm.):		Rotante modelo MPG		Rotante modelo MPF	
Código	Referencia	A	B	Coj.	Kg	Código	Referencia
34-088/0	MTG4 200 PNR3					34-098/0	MPG4 200 PNR3
-	-	200	50		75	34-098/84	MPG4 260 ENR4
-	-	260	85		200	34-098/86	MPG4 260 ENB4
-	-	260	85		200	34-098/86	MPF4 260 ENB4
-	-	260	85		225	34-098/90	MPG4 260 ENB5
-	-					34-099/0	MPF4 200 PNR3
-	-					34-099/84	MPF4 260 ENR4
-	-					34-099/86	MPF4 260 ENB4
-	-					34-099/90	MPF4 260 ENB5

					
Rotante modelo HPG					
Código	Referencia				
36-220	HPG6 400 ENB6				

			
Ruedas (mm.):			
A 	B 	Coj. 	Kg 
400	100		250

					
Rotante modelo HPF					
Código	Referencia				
36-221	HPF6 400 ENB6				

*Fuente:* Sitasa S.A. (s.f.). *Nota:* Características de las ruedas recomendadas.

Anexo 8: Tipo de sensor de flujo.

K24 SUZZARABLUE MANUAL NOZZLE

CARACTERÍSTICAS

- LISTO PARA USAR
- AGARRE ERGONÓMICO
- PESO LIGERO

La PIUSI K24 SUZZARABLUE MANUAL NOZZLE es la versión básica de las pistolas Suzzarablu diseñadas para dispensar AdBlue®, y líquido limpiaparabrisas. Viene con la versión en plástico del medidor K24.

RENDIMIENTO

HASTA <b>80 L/MIN</b> DE CAUDAL	MÁX <b>3,4 BAR</b> SUMINISTRO DE AIRE PRESIÓN
<b>±1%</b> PRECISIÓN	MINORE DI <b>1 KG</b> PESO PISTOLA



FICHA TÉCNICA

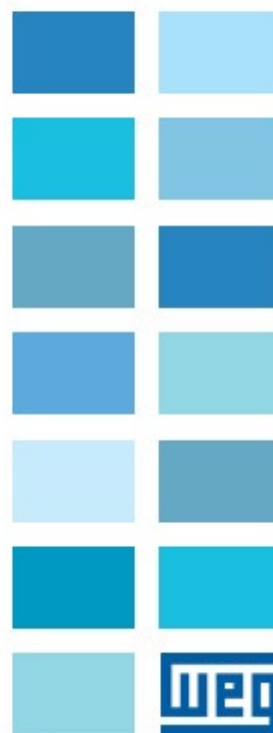
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	TIPO DE FLUIDO	CAUDAL		PRESIÓN	ENTRADA	RACOR GATATORIO	BOQUILLA
			L/MIN	GPM				
FO0870020	K24 SUZZARABLUE MANUAL NOZZLE		5 - 80	1,3 - 21	3,4	3/4"	HO	3/4"

Fuente: PIUSI, fabricante de sensores de flujo

**Anexo 9:** *Características del variador de frecuencia.*

CFW-10

User's Manual  
Manual del Usuario  
Manual do Usuário  
Bedienungsanleitung  
Manuel d'utilisation  
Användarinstruktioner



### 3.2.1 Terminales de Potencia y Puesta a Tierra

Descripción dos terminales de conexión de la potencia:

☑ L/L1, N/L2, L3 : Red de alimentación CA.

☑ U, V y W: Conexión para el motor.

☑ PE: Conexión para tierra.

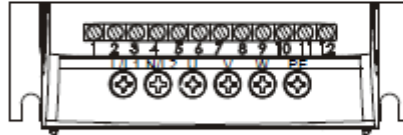
☑ BR: Conexión para resistor de frenado.

No disponible en los modelos 1.6 A, 2.6 A y 4.0 A / 200-240 V y 1.6 A y 2.6 A / 110-127 V y 7.3 A / 200-240 V trifásico.

☑ +UD: Polo Positivo da tensión del circuito intermediario (Link CC). Es utilizado para conectar el resistor de frenado (juntamente con el terminales BR).

No disponible en los modelos 1.6 A, 2.6 A y 4.0 A / 200-240 V y 1.6 A y 2.6 A / 110-127 V y 7.3 A / 200-240 V trifásico.

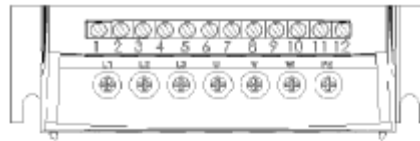
a) modelos 1.6 A, 2.6 A y 4.0 A / 200-240 V y 1.6 A y 2.6 A / 110-127 V (monofásico)



b) modelos 7.3 A y 10 A / 200-240 V y 4.0 A / 110-127 V (monofásico)



c) modelos 1.6 A, 2.6 A, 4.0 A y 4.3 A / 200-240 V (trifásico)



d) modelos 10.0 A y 15.0 A / 200-240 V (trifásico)

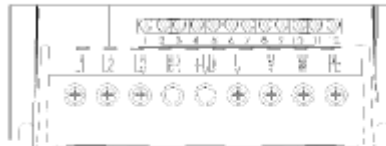


Figura 3.4 a) a d) - Terminales da potencia

### 3.2.2 Localización de las Conexiones de Potencia, Puesta a Tierra y Control

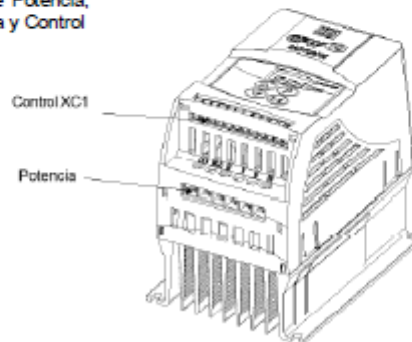
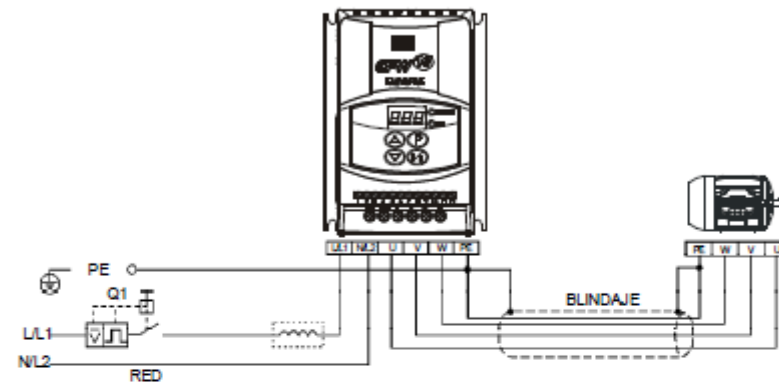


Figura 3.5 - Localización de las conexiones de potencia y control

### 3.2.4 Conexiones de Potencia

a) Modelos 1.6 A, 2.6 A y 4.0 A / 200-240 V y 1.6 A y 2.6 A / 110-127 V (monofásico)



b) Modelos 7.3 A a 10 A / 200-240 V y 4.0 A / 110-127 V (monofásico)

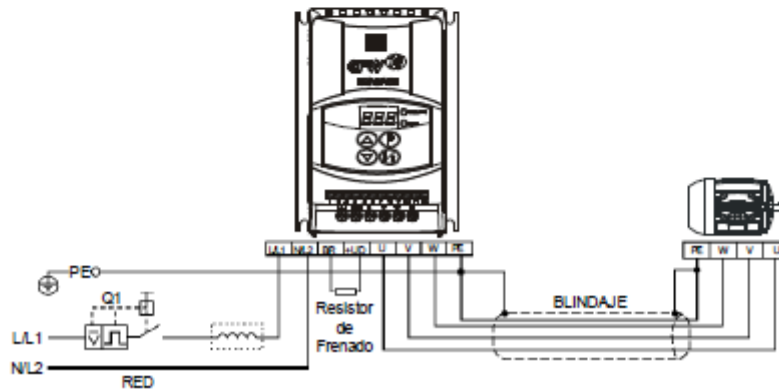


Figura 3.6 a) b) - Conexiones de potencia y puesta a tierra

No disponible en la versión Clean

0 a 200 mA  
(4 a 20) mA

Conector XC1	Descripción		Especificaciones
	Función Padrón de Fabrica		
1	DI1	Entrada Digital 1	4 entradas digitales aisladas
2	DI2	Habilita General (remoto)	Nivel alto mínimo: 10 Vcc
		Entrada Digital 2	Nivel alto máximo: 30 Vcc
3	DI3	Sentido de Giro (remoto)	Nivel bajo máximo: 3 Vcc
		Entrada Digital 3	Corriente de Entrada:
4	DI4	Local/Remoto	-11 mA @ 0 Vcc
		Entrada Digital 4	Corriente de Entrada Máxima:
5	GND	Gira/Para (remoto)	-20 mA
		Referencia 0 V	No Interligado con el PE
6	AI1	Entrada Analógica 1 (corriente)	En corriente (0 a 20) mA o (4 a 20) mA
		Referencia de frecuencia (remoto)	Impedancia: 500 Ω
7	GND	Referencia 0 V	Resolución: 7bits
		No Interligado con el PE	
8	AI1	Entrada Analógica 1 (tensión)	En tensión (0 a 10) Vcc.
		Referencia de frecuencia (remoto)	Impedancia: 100kΩ. Resolución: 7bits
9	+10 V	Tensión máxima de entrada: 30 Vcc	
		Referencia para Potenciometro	+10 Vcc, ± 5 %, capacidad: 2 mA
10	NF	Capacidad de los contactos:	
		Contacto NF del Relé 1	0.5 A / 250 Vca
11	Común	1.0 A / 125 Vca	
		Punto Común del Relé 1	2.0 A / 30 Vcc
12	NA	Contacto NA del Relé 1	
		Sin Error	

Figura 3.8 - Descripción del conector XC1 de la tarjeta de control

ACCIÓN	DISPLAY HMI	DESCRIPCIÓN
Energizar Convertidor		Convertidor listo para operar
Presionar		Motor acelera de 0 Hz a 3 Hz* (frecuencia mínima), en el sentido horario <sup>(1)</sup> * 90 rpm para motor 4 pólos
Presionar  y mantener hasta attingir 60 Hz. En la versión Plus, variar el potenciómetro de la HMI		Motor acelera hasta 60 Hz* <sup>(2)</sup> * 1800 rpm para motor 4 pólos
Presionar		Motor desacelera hasta parar <sup>(3)</sup>

ACCIÓN	DISPLAY HMI	DESCRIPCIÓN
Ver figura 3.10 Llave S1 (Antihorario/Horario) = Abierta Llave S2 (Local/Remoto) = Abierta Llave S3 (Girar/Parar) = Abierta Potenciómetro R1 (Ref.) = Totalmente antihorario Energizar Convertidor		Convertidor listo para operar.
Cerrar S2 – Local/Remoto		El comando y la referencia son conmutados para la situación REMOTO (vía terminales).
Cerrar S3 – Girar / Parar		Motor acelera de 0 Hz a 3 Hz* (frecuencia mínima), en el sentido horario <sup>(1)</sup> * 90 rpm para motor 4 pólos La referencia de frecuencia pasa a ser dada pelo potenciómetro R1.
Girar potenciómetro en el sentido horario hasta el fin.		Motor acelera hasta la frecuencia máxima (P134 = 66 Hz) <sup>(2)</sup>
Cerrar S1 – Antihorario / Horario		Motor desacelera <sup>(3)</sup> hasta llegar a 0Hz, Inverte el sentido de rotación (horario → antihorario) y reacelera hasta la frecuencia máxima (P134 = 66 Hz).
Abrir S3 – Girar / Parar		El motor desacelera <sup>(3)</sup> hasta parar.

Fuente: WEG (s.f.). Nota: Características del variador de frecuencia.



## Anexo 10: Característica de la batería de 12V.

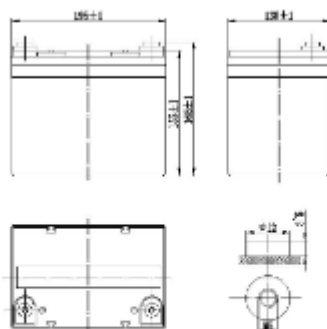


### Valve Regulated Lead-Acid Rechargeable Battery

General Series

#### FL12350-M

(12V35Ah/10hr)



#### General Series

General Series Valve Regulated Lead Acid batteries are designed with AGM (Absorbent Glass Mat) technology, high performance plates and electrolyte to gain extra power output for common power backup system applications widely used in the field of UPS, Emergency Lighting System.

#### Application

- Alarm System
- Cable Television
- Power tools
- Emergency Power System
- Security System
- Medical Equipment
- UPS
- Communication Equipment
- Control Equipment
- Toys

#### General Features

- Sealed and maintenance free operation.
- Non-Spillable construction design.
- ABS containers and covers (UL94HB, UL94V-0) optional.
- Safety valve installation for explosion proof.
- High quality and high reliability.
- Exceptional deep discharge recovery performance.
- Low self discharge characteristic.
- Flexibility design for multiple install positions.

#### CONSTRUCTION

Component	Positive plate	Negative plate	Container	Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	Rubber	Copper	Fiberglass	Sulfuric acid

#### TECHNOLOGY PARAMETER

Battery model	FL12350-M			
Designed Floating Life	8-10 Years			
Capacity (25°C)	20hR(1.75A, 10.8V)	10hR(3.30A, 10.8V)	5hR(5.57A, 10.5V)	1hR(22.2A, 9.60V)
	35Ah	33Ah	27.85Ah	22.2Ah
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	195±2mm	130±2mm	155±2mm	165±2mm
Approx. weight (±5%)	11.2Kg (24.7 lbs)			
Internal resistance	Full charged at 25°C: Approx. 8.5mOhms			
Self discharge	3% of capacity declined per month at 25°C (average)			
Capacity Affected by Temp.(10HR)	40 °C	25 °C	0 °C	-15 °C
	102%	100%	85%	65%
Charge Voltage (25°C)	Cycle use		Float use	
	14.4-14.7V(-30mV/°C), max. Current: 8.75A		13.6-13.8V(-20mV/°C)	

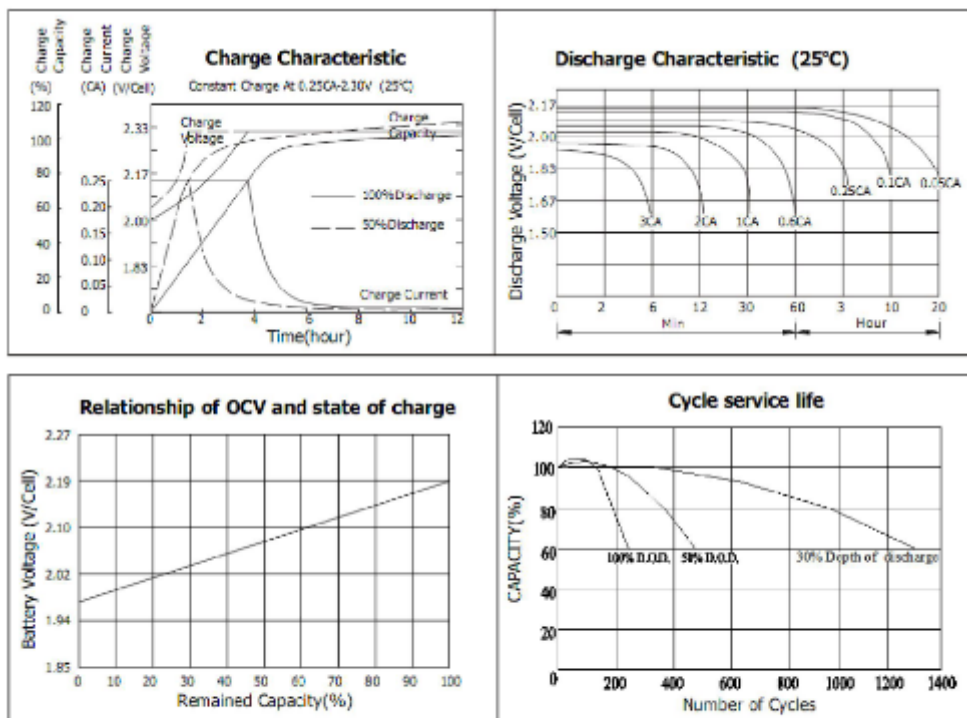


Constant current discharge ratings-amperes at 25°C

End Point Volts/Cell	5min	10min	15min	30min	1h	3h	5h	10h	20h
1.60V	130	91.1	69.4	39.0	22.2	9.31	6.08	3.40	1.80
1.65V	124	87.0	66.0	37.5	21.8	9.01	5.91	3.38	1.79
1.70V	116	82.2	62.6	35.9	21.3	8.71	5.74	3.34	1.77
1.75V	109	77.3	59.2	34.1	20.4	8.33	5.57	3.32	1.76
1.80V	102	73.2	55.8	32.4	19.4	7.96	5.40	3.30	1.75

Constant power discharge ratings-watts at 25°C

End Point Volts/Cell	5min	10min	15min	30min	1h	3h	5h	10h	20h
1.60V	234	165	126	71.4	40.9	17.2	11.3	6.36	3.38
1.65V	221	157	119	68.2	39.9	16.6	10.9	6.28	3.34
1.70V	207	147	113	64.9	38.7	15.9	10.6	6.18	3.30
1.75V	193	138	106.0	61.3	36.8	15.2	10.2	6.07	3.25
1.80V	179	130	99.4	57.9	34.9	14.4	9.83	5.92	3.21



Nota: “Valve regulated lead-acid rechargeable battery”

**Anexo 11:** *Característica del inversor de corriente.*



<b>Información Básica</b>			
No. de Modelo.	NV-M150	Naturaleza de flujo Fuente	inversor pasivo
Proceso de dar un título	ISO 9001 , RoHS , CE	Tipo de cuadrícula	fuera de la red inversor
Tipo de salida	Soltero	Las topologías de circuitos	Tipo de puente completo
Naturaleza de la onda de cuerdas	Inversor de onda sinusoidal	Tipo	DC / AC Inverters
<b>Información Adicional</b>			
Marca	NOVA	Embalaje	Color Box
Estándar	14*11.3*5.7cm	Origen	Zhejiang, China
Código del HS	8504403090	Capacidad de Producción	10000

<b>El modelo</b>	<b>150W-121</b>	<b>150W-122</b>	<b>150W-241</b>	<b>150W-242</b>
<b>La potencia nominal</b>	<b>150W</b>			
<b>Pico de potencia</b>	<b>300W</b>			
<b>La tensión de entrada</b>	<b>Cc12V</b>		<b>DC24V</b>	
<b>El voltaje de salida</b>	<b>110V</b>	<b>220V</b>	<b>110V</b>	<b>220V</b>
<b>La forma de onda de salida</b>	<b>Onda senoidal modificada</b>			
<b>La tensión de entrada</b>	<b>Cc12V o DC24V</b>			
<b>El voltaje de salida</b>	<b>110-120 V O 220-240 V AC</b>			
<b>Frecuencia de salida</b>	<b>50/60Hz±3</b>			
<b>Puerto USB</b>	<b>5V 500mA (opcional).</b>			
<b>La máxima eficiencia</b>	<b>El 90 %</b>			
<b>No hay corriente de carga</b>	<b>A menos de 0, 3 A</b>			
<b>Alarma de batería baja</b>	<b>DC 10.5~11. 5V , 21.5~23V</b>			
<b>Auto apagado por batería baja</b>	<b>DC 9.5~10. 5V, 20.5~22V</b>			
<b>Ventilador de refrigeración</b>	<b>Solo</b>			
<b>Los recipientes de CA</b>	<b>Solo</b>			
<b>La certificación</b>	<b>, RoHS CE, FCC</b>			
<b>N. W. /unidad</b>	<b>0.5Kg</b>			
<b>El embalaje</b>	<b>20pcs/caja de cartón, caja de regalo</b>			
<b>La garantía</b>	<b>12 Meses</b>			

*Fuente:* Características obtenidas de “NOVA NEW ENERGY”, fabricante de inversores de corriente.

# Anexo 12: Características del sensor de temperatura.

## Thermocouples de buse / Termopares de boquilla

1/4"-28NPT, 6 mm ou 8 mm.  
Toutes les buses BMS acceptent les modèles 1/4"-28NPT.  
1/4"-28NPT, 6 mm, o 8 mm.  
Todas las boquillas BMS se acoplan a unidades de 1/4"-28.



Réf. Coda	Long. Long. (m)	Prix en euros / Precios en euros			
		Type J / Tipo J		Type K / Tipo K	
		1 à 9	10 et +	1 à 9	10 et +
NA36	0,9	20,65	19,60	21,65	20,55
NA48	1,2	23,40	22,25	24,40	23,20
NA60	1,5	25,90	24,60	26,90	25,55
NA72	1,8	28,40	26,98	29,40	27,95
NA84	2,0	30,90	29,35	31,90	30,30



CRÉEZ VOTRE RÉFÉRENCE / CREE SU REFERENCIA

Ajouter la réf. suivante pour les filetages :  
Añadir especificación para la rosca de la sonda :

Filetage / Rosca	Réf. / Coda
1/4"-28	STD
6 mm	P6
8/1,25 mm	P8
10/1 mm	P10

Ajouter la réf. K pour Type K. ex. : - NA72 K P8  
Añadir la letra K para el tipo K. ej. : - NA72 K P8

### Type J et K

Toutes les buses BMS sont fournies avec un méplat percé et fileté pour recevoir ces thermocouples économiques avec une gaine 1/4"-28.

- > Type à visser sur Plat
  - > Type Collier
  - > Type Pelle
  - > Thermocouple avec collier de serrage
- Tout modèle réalisé suivant vos spécifications.  
Dimensionnels standards des thermocouples :

- > 1/4"-28
  - > 6 mm
  - > 8/1,25 mm
- Pour les modèles Arburg 10/1 mm, voir page 98.

### Plage de température :

Type J jusqu'à 750°C - Type K jusqu'à 1100 °C.  
Toutes longueurs disponibles. Pour des longueurs supérieures, rajouter 2 euros (couples J) et 2,50 euros (couples K) par longueur de 300 mm.  
Livraison standard : sortie fils simple avec tresse blindée.

Thermocouple de buse avec embout longueur 3/8" et filetages 1/4"-28, 6, 8 ou 10 mm pour la mesure de température des buses d'injection.

### Tipo J y K

Todas las boquillas BMS se sirven con orificio y rosca macho de cabeza hexagonal para poder acoplar este termopar de bajo coste a una sonda de 1/4"-28.

- > Tipo Placa
  - > Tipo Anillo
  - > Tipo Paleta
  - > Termopar con collar de presión
- Todos los modelos se realizan siguiendo vuestras especificaciones.  
medidas estándar de los termopares :

- > 1/4"-28
  - > 6 mm
  - > 8/1,25 mm
- Para los modelos Arburg 10/1 mm, véase la página 98.

### Rango de temperaturas :

Tipo J hasta 750°C. - Tipo K hasta 1100°C.  
Todas las longitudes disponibles. Para longitudes mayores, añadir por cada 300 mm: 1,98 euros para el tipo J y 2,52 euros para el tipo K.  
Entrega estándar : salida de cables simple con trenza blindada

Termopar de boquilla con punta de 3/8", de longitud con adaptador/con rosca de 1/4"-28 NPT, 6 mm, 8 mm o 10 mm, para medir la temperatura de las boquillas de inyección.

Nota: Características obtenidas de (Soportes, Clavijas, y Espana, s.f.)

## Anexo 13: Características del PLC S7-200.

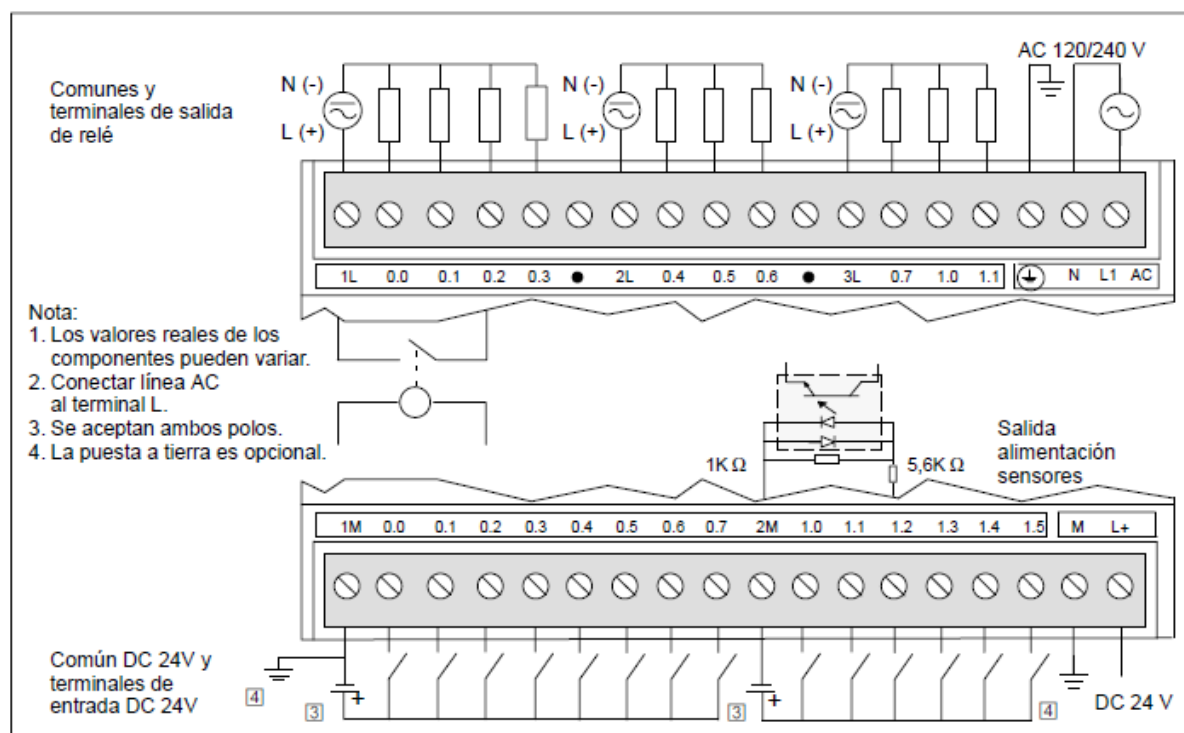


Figura A-7 Identificación de terminales de conexión para la CPU 224 AC/DC/Relé

Tabla A-4 Datos técnicos de la CPU 224 DC/DC/DC y de la CPU 224 AC/DC/Relé (continuación)

Descripción Nº de referencia	CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD21-0XB0	CPU 224 AC/DC/Relé 6ES7 214-1BD21-0XB0
Comunicación integrada		
Nº de puertos	1 puerto	1 puerto
Puerto eléctrico	RS-485	RS-485
Aislamiento (señal externa a circuito lógico)	Sin aislamiento	Sin aislamiento
Velocidades de transferencia PPI/MPI	9,6, 19,2 y 187,5 kbit/s	9,6, 19,2 y 187,5 kbit/s
Velocidades de transferencia Freeport	0,3, 0,6, 1,2, 2,4, 4,8, 9,6, 19,2 y 38,4 kbit/s	0,3, 0,6, 1,2, 2,4, 4,8, 9,6, 19,2 y 38,4 kbit/s
Longitud máx. del cable por segmento hasta 38,4 kbit/s 187,5 kbit/s	1200 m 1000 m	1200 m 1000 m
Nº máximo de estaciones		
Por segmento	32 estaciones	32 estaciones
Por red	126 estaciones	126 estaciones
Nº máximo de maestros	32 maestros	32 maestros
Modo maestro PPI (NETR/NETW)	Sí	Sí
Enlaces MPI	4 en total; 2 reservados: 1 para PG y 1 OP	4 en total; 2 reservados: 1 para PG y 1 OP
Cartuchos opcionales		
Cartucho de memoria (almacenamiento permanente)	Programa, datos y configuración	Programa, datos y configuración
Cartucho de pila (tiempo de respaldo de datos)	típ. 200 días	típ. 200 días

Descripción Nº de referencia	CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD21-0XB0	CPU 224 AC/DC/Relé 6ES7 214-1BD21-0XB0
<b>Características de las entradas</b>		
Nº de entradas integradas	14 entradas	14 entradas
Tipo de entrada	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC)	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC)
Tensión de entrada		
Tensión máx. continua admisible	DC 30 V	DC 30 V
Sobretensión transitoria	DC 35 V, 0,5 s	DC 35 V, 0,5 s
Valor nominal	DC 24 V a 4 mA, nominal	DC 24 V a 4 mA, nominal
Señal 1 lógica (mín.)	mín. DC 15 V a 2,5 mA	mín. DC 15 V a 2,5 mA
Señal 0 lógica (máx.)	máx. DC 5 V a 1 mA	máx. DC 5 V a 1 mA
Aislamiento (campo a circuito lógico)		
Separación galvánica	AC 500 V, 1 minuto	AC 500 V, 1 minuto
Grupos de aislamiento de:	8 y 6 E/S	8 y 6 E/S
Tiempos de retardo de las entradas		
Entradas filtradas y entradas de interrupción	0,2 a 12,8 ms, seleccionable por el usuario	0,2 a 12,8 ms, seleccionable por el usuario
Entradas de reloj de los contadores rápidos		
Fase simple		
Nivel 1 lógico = DC 15 V a DC 30 V	20 kHz	20 kHz
Nivel 1 lógico = DC 15 V a DC 26 V	30 kHz	30 kHz
Contadores A/B		
Nivel 1 lógico = DC 15 V a DC 30 V	10 kHz	10 kHz
Nivel 1 lógico = DC 15 V a DC 26 V	20 kHz	20 kHz
Conexión de sensor de proximidad de 2 hilos (Bero)		
Corriente de fuga admisible	máx. 1 mA	máx. 1 mA
Longitud del cable		
No apantallado (no HSC)	300 m	300 m
Apantallado	500 m	50 m
Entradas HSC, apantalladas	50 m	50 m
Nº de entradas ON simultáneamente		
40° C	14	14
55° C	14	14

*Fuente:* información obtenida de ( Lorenzo, 2000).

**Anexo 14:** *Datos obtenidos de la temperatura y tiempo para el proceso de control.*

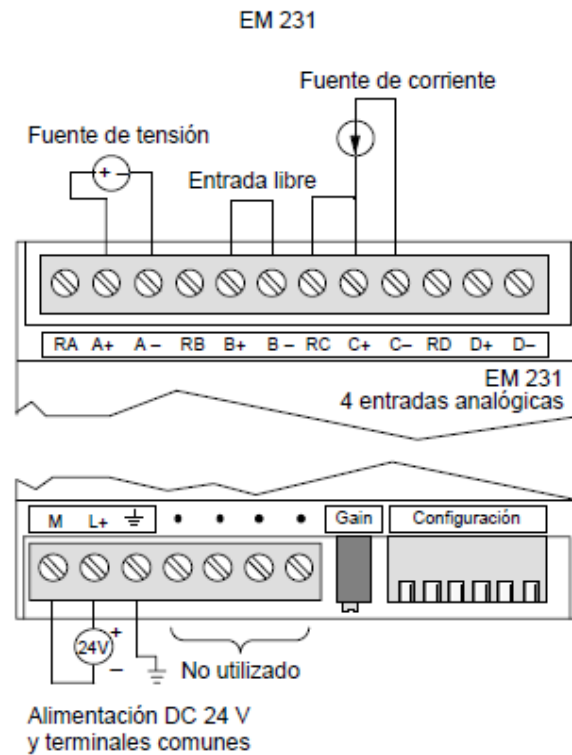
Tiempo	Temperatura
0	15
60	17,96
120	20,76
180	23,4
240	25,85
300	28,22
360	30,43
420	32,51
480	34,47
540	36,32
600	38,07
660	39,71
720	41,26
780	42,72
840	44,1
900	45,39
960	46,62
1020	47,77
1080	48,86
1140	49,88
1200	50,85
1260	51,76
1320	52,61
1380	53,42
1440	54,18
1500	54,9
1560	55,58
1620	56,22
1680	56,82
1740	57,39
1800	57,92
1860	58,43
1920	58,91
1980	59,36
2040	59,78
2100	60,18
2160	60,55
2220	60,91
2280	61,24
2340	61,55



2400	61,85
2460	62,13
2520	62,39
2580	62,64
2640	62,87
2700	63,09
2760	63,3
2820	63,5
2880	63,68
2940	63,86
3000	64,02
3060	64,18
3120	64,32
3180	64,46
3240	64,59
3300	64,71
3360	64,83
3420	64,93
3480	65,04
3540	65,13
3600	65,22
3660	65,31



**Anexo 15:** Características de módulo de E/S analógicas.



Descripción	EM 231, 4 entradas analógicas x 12 bits
Nº de referencia	6ES7 231-0HC20-0XA0
Datos de las entradas	
Datos generales	
Dimensiones (l x a x p)	71,2 mm x 80 mm x 62 mm
Peso	183 g
Pérdida de corriente (disipación)	2 W
Cantidad de E/S físicas	4 entradas analógicas
Consumo de corriente	
De +DC 5 V (del bus de ampliación)	20 mA
De L+	60 mA
Margen de tensión L+, clase 2 o alimentación de sensores DC	20,4 a 28,8
Indicador LED	Alimentación DC 24 V, ON = correcta, OFF = sin corriente DC 24 V
Datos de las entradas analógicas	
Formato palabra de datos	(v. figura A-21)
Bipolar, margen máx.	-32000 a +32000
Unipolar, margen máx.	0 a 32000
Impedancia de entrada	≥10 MΩ
Atenuación filtro de entrada	-3 db @ 3,1 kHz
Tensión de entrada máxima	DC 30 V
Corriente de entrada máxima	32 mA
Resolución	Convertidor A/D de 12 bits
Aislamiento (campo a circuito lógico)	Ninguno
Tipo de entrada	Diferencial
Márgenes de las entradas	
Tensión (unipolar)	0 a 10 V, 0 a 5 V
Tensión (bipolar)	±5 V, ± 2,5 V
Corriente	0 a 20 mA
Resolución de las entradas	(v. tabla A-5)
Tensión (unipolar)	
Tensión (bipolar)	
Corriente	
Tiempo de conversión analógica/digital	< 250 μs
Respuesta de salto de la entrada analógica	1,5 ms a 95%
Rechazo en modo común	40 dB, DC a 60 Hz
Tensión en modo común	Tensión de señal más tensión en modo común (debe ser ≤ 12 V)

*Fuente:* Información obtenida de (Lorenzo, 2000)

# Relés de Estado Sólido

## Alta Fiabilidad, Entrada Vcc/Salida Vca, Entrada Vca/Salida Vca

### Serie SSRL

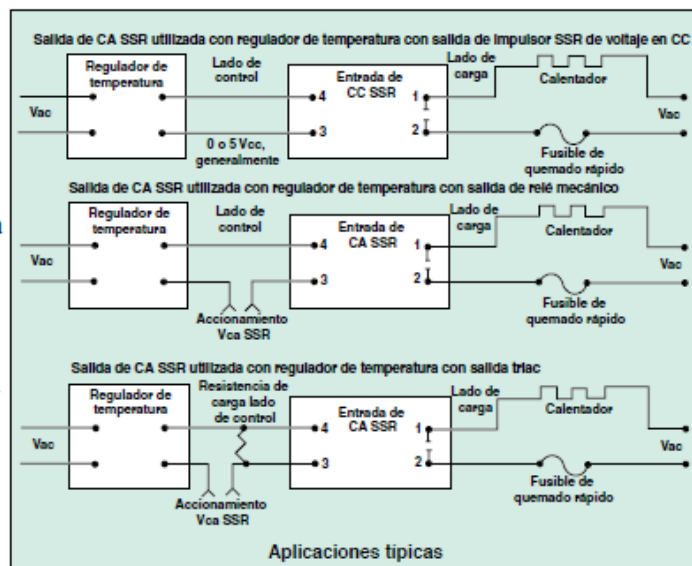


- ✓ Corriente máxima de hasta 100 A
- ✓ Múltiples millones de ciclos de vida
- ✓ Compatible con reguladores de temperatura
- ✓ Estado sólido, diseño SCR
- ✓ Conmutación por voltaje cero
- ✓ Líneas de control CA hasta 660 Vca
- ✓ Modelos de señal de control CA y CC
- ✓ Indicador de estado de entrada LED
- ✓ Zapata conductora térmica incluida

Los relés de la serie SSRL se utilizan para controlar calentadores de gran resistencia junto con reguladores de temperatura. Los relés de estado sólido son SPST, dispositivos conmutadores normalmente abiertos sin partes móviles, capaces de realizar millones de ciclos de operaciones. Aplicando una señal de control, un SSR enciende la corriente de carga CA, del mismo modo que los contactos móviles actúan en un contactor mecánico. Las cargas trifásicas pueden controlarse utilizando 2 o 3 SSR. Utilice 3 SSR para cargas trifásicas con conexión en "Y" o "estrella" utilizando una línea neutra. Dos SSR controlarán cargas "delta" sin ninguna línea neutra. Tres relés de estado sólido se utilizan también cuando no hay una carga neutra que proporcione redundancia y garantía de control adicional.

La "conmutación" tiene lugar en el punto de cambio de voltaje 0 del ciclo de corriente alterna. Por esta razón, no se genera ningún ruido electrónico apreciable, por lo que los SSR son ideales para entornos en los que hay aparatos susceptibles a RFI.

SSRL240AC10 se muestra en su tamaño real.



### Especificaciones comunes

Temperatura de funcionamiento: -20 a 80 °C (-5 a 175 °F)

Temperatura de almacenamiento: -40 a 80 °C (-40 a 175 °F)

Aislamiento: 4000 Vrms, de entrada a salida; 2500 Vrms de entrada/salida a tierra

Capacitancia: 8pF, de entrada a salida (máx.)

Rango de frecuencia: 47 a 63 Hz

Tiempo de encendido: 20 mseg., CA;

05 ciclos CC

Tiempo de apagado: 30 mseg., CA;

05 ciclos CC

### Especificaciones de salida para modelos de entrada Vca y Vcc

Especificaciones	10 amperios	25 amperios	50 amperios	75 amperios	100 amperios
Máxima corriente en estado de encendido	10 A	25 A	50 A	75 A	100 A
Minima corriente en estado de encendido	100 mA				
Máxima sobretensión en un ciclo	150 A	300 A	750 A	1000 A	1200 A
Máxima sobretensión en un segundo	30 A	75 A	150 A	225 A	300 A
1 <sub>T</sub> (60 Hz), A <sub>US</sub>	416	937	2458	5000	6000

**Serie SSR240**  
**Especificaciones eléctricas**

N.º de modelo	Tipo	Señal de control de entrada				Salida
		Señal de control de voltaje	Señal de control de encendido	Señal de control de apagado	Corriente de entrada máxima	Pico de voltaje* (Máx. 60 seg.)
SSRL240AC10 SSRL240AC25 SSRL240AC50 SSRL240AC75 SSRL240AC100	Señal de control CA	90 a 280 Vca	90 Vca	10 Vca	10 mA	800V
SSRL240DC10 SSRL240DC25 SSRL240DC50 SSRL240DC75 SSRL240DC100	Señal de control CC	3 a 32 Vcc	3 Vcc	1 Vcc	14 mA	800V
SSRL660AC50 SSRL660AC75 SSRL660AC100	Señal de control CA	90 a 280 Vca	90 Vca	10 Vca	10 mA	1200V
SSRL660DC50 SSRL660DC75 SSRL660DC100	Señal de control CC	4 a 32 Vcc	4 Vcc	1 Vcc	14 mA	1200V

\* Las transitorias por encima de los valores de la tabla deberían suprimirse.

*Fuente:* Información obtenida de OMEGA, fabricante de relés y protecciones eléctricas

**Anexo 17:** *Prueba de flujo de leche.*

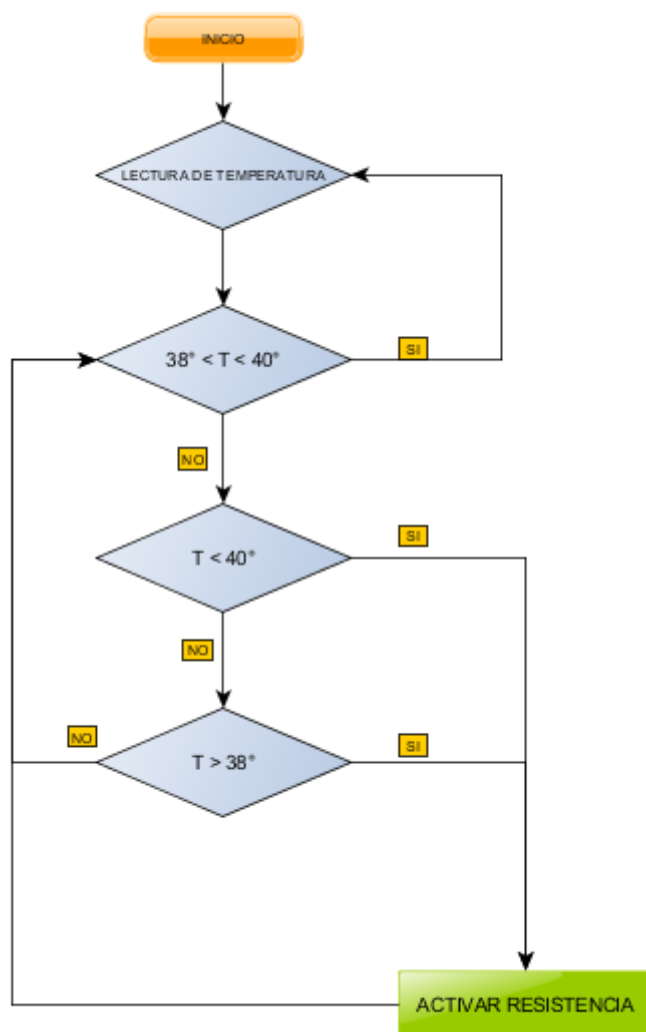




*Fuente: Propia. Nota:* En la prueba de flujo se realizó con 2 Litros dosificados en un tiempo de 12 segundos



**Anexo 18:** Diagrama de control temperatura *On-Of*.



*Fuente:* Elaborado en el software yEd Graph Editor

**Anexo 19:** *Costo de un equipo pasteurizador para alimentación de terneros.*

## Milktaxi carro calentador , alimentador de terneros.

Carro alimentador de terneros apto para el uso de leche fresca y  
leche en polvo , con agitacion regulable en velocidad , termostato  
con corte y parada automatica , pistola dosificadora y bateria

**Disponibilidad: En Stock**

3.050,00 €

Und:

1

AÑADIR AL CARRITO



Fuente: tiendaordeño.com, sitio de ventas de equipos ganaderos. *Nota:* El precio  
estimado de este equipo es de 3606.40 \$ dólares.

**Anexo 20:** Costo de un equipo pasteurizador para alimentación de terneros.



**TAXI DE LECHE 4.0**

PARA CONOCER LOS PRECIOS, POR FAVOR

ENVÍENOS UN CORREO ELECTRÓNICO

LLÁMANOS

(\*\* PRECIOS A PARTIR DE \$ 7500. ¡FINANCIAMIENTO AHORA DISPONIBLE! \*\*)

Fuente: Obtenido de la página de venta de la marca Calf- Star. *Nota:* Precio de equipo pasteurizador para la alimentación de terneros.



**Anexo 21:** Precios cotizados en el mercado local.

Componente	Característica	Precio
	Motor Monofásico 1/4 Hp	103 \$
	Bomba 12V 1/8Hp	70 \$
	Batería 12V 35A-h	117\$
	Relé de estado sólido 25A	9 \$



Variador de frecuencia

0.5Hp

120 \$



Resistencia eléctrica

de 5.5kW

350 \$



Inversor de corriente

15 \$



Cargador de batería

12V

De la marca

ComingData

15 \$



PLC S7-200

300 \$



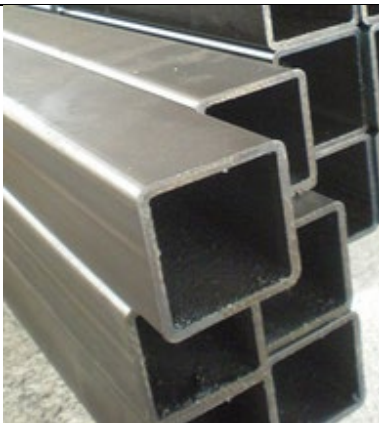
HMI TD 200

130 \$



Módulo de analógico  
para temperatura

100 \$



Tubo cuadrado  
estructural  
(Fabricante Dipac)

19.50 \$



Plancha de acero  
inoxidable AISI 304  
(Fabricante Dipac)

140 \$



2 Ruedas delanteras

32 \$



2 Ruedas traseras

24 \$



Conector a 220V

20 \$



Sensor de flujo 3/4"

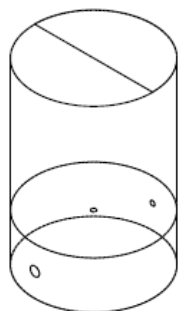
221,21 \$



Sensor de temperatura

PT-100

100 \$



Fabricación de tanque  
de 100 litros

Nota: De acuerdo a las 430 \$  
especificaciones  
establecidas

---

*Nota:* los valores fueron obtenidos en base a la disponibilidad local mediante (Mercado  
libre.com) a excepción de los que se menciona el fabricante directo.

**Anexo 22:** Evaluación del peso correspondiente a cada criterio.

3 =Importante 2=Poco importante 1= No importante (ninguna relación)	Económica	Facilidad de construcción	Simplicidad de modelo	Materiales disponibles	Cumplimiento de función principal	Aprovechamiento de ahorro energético	Portabilidad del equipo	Disponibilidad de enfriamiento por agua	Chaqueta de aislamiento	Sistema de movilidad automática	Sumatoria	Ponderación
Económica		3	3	3	3	2	3	1	1	1	20,00	17,99%
Facilidad de construcción	0,33		3	3	3	2	2	1	1	1	16,33	14,69%
Simplicidad de modelo	0,33	0,33		3	3	1	3	1	1	1	13,67	12,29%
Materiales disponibles	0,33	0,33	0,33		3	2	3	1	1	1	12,00	10,79%
Cumplimiento de función principal	0,33	0,33	0,33	0,33		1	2	1	1	1	7,33	6,60%
Aprovechamiento de ahorro energético	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00		1	1	3	1	9,50	8,55%
Portabilidad del equipo	0,33	0,50	0,33	0,33	0,50	1,00		1	1	1	6,00	5,40%
Disponibilidad de enfriamiento por agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1	1	9,00	8,10%
Chaqueta de aislamiento	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00	1,00		1	8,33	7,50%
Sistema de movilidad automática	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		9,00	8,10%
											111,17	100,00%

Marca	Modelo	Version
Holm & laue	Milk-Tech	Full-equipación
Kurtsan	Deboer	Equipación - media
Galia Exportaciones	Milk-taxi	Estándar

**Anexo 23:** *Planos de las partes del equipo pasteurizador.*

**(Ubicado en CD 1)**

**Anexo 24:** *Certificación de la traducción al idioma inglés del resumen.*



**CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN**

**EDGAR M. CASTILLO C.**

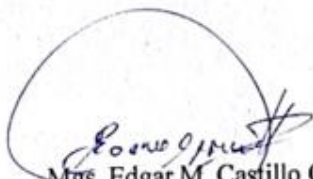
**DOCENTE DE LA CARRERA DE PEDAGOGÍA DE LOS IDIOMAS NACIONALES Y  
EXTRANJEROS**

**CERTIFICA:**

Que la traducción al idioma inglés del resumen de la tesis denominado **“DISEÑO DE UN PASTERURIZADOR DE LECHE DE 100 LITROS PARA LA ALIMENTACIÓN DE TERNEROS”**; correspondiente al Señor: **SANTIAGO DAVID QUIROLA MANCHAY** con cedula de identidad **1105149874**, ha sido revisado y supervisado según se me ha solicitado, por lo cual cumple con la correcta traducción al idioma inglés.

Esto es lo que puedo mencionar y certificar en honor a la verdad para fines pertinentes.

Loja, 6 de mayo de 2022

  
Mgs. Edgar M. Castillo C.  
C.I.: 1105149874  
**DOCENTE (P.I.N.E.)**