



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA.**

**AUTORES: BURBANO VOZMEDIANO, VLADIMIR ERNESTO  
CABEZAS PAZMIÑO, SEBASTIÁN ALEJANDRO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL PROCESO DE  
COCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL EN LA EMPRESA  
CERVECERÍA GOURMET**

**DIRECTOR: CARRIÓN MATAMOROS, LUIS MIGUEL**

**SANGOLQUÍ, NOVIEMBRE DEL AÑO 2015.**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL PROCESO DE COCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL EN LA EMPRESA CERVECERÍA GOURMET”**, realizado por los señores Vladimir Ernesto Burbano Vozmediano y Sebastián Alejandro Cabezas Pazmiño, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores Vladimir Ernesto Burbano Vozmediano y Sebastián Alejandro Cabezas Pazmiño para que lo sustenten públicamente.

---

Ing. Luis Carrión Matamoros.  
**Director**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Vladimir Ernesto Burbano Vozmediano con CI 0401629597 y Sebastián Alejandro Cabezas Pazmiño con CI 1723684195, declaramos que el trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL PROCESO DE COCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL EN LA EMPRESA CERVECERÍA GOURMET”**, ha sido realizado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se han respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables de su contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada. Sangolquí, 30 de Noviembre del año 2015.

Vladimir Burbano  
CI: 0401629597

Sebastián Cabezas  
CI: 1723684195



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**AUTORIZACIÓN**

Nosotros: Vladimir Ernesto Burbano Vozmediano.

Sebastián Alejandro Cabezas Pazmiño.

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución el trabajo de titulación denominado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO QUE PERMITA MEJORAR EL PROCESO DE COCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL EN LA EMPRESA CERVECERÍA GOURMET”**, cuyo contenido ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 30 de Noviembre del año 2015

Vladimir Burbano  
CI: 0401629597

Sebastián Cabezas  
CI: 1723684195

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a todo el esfuerzo realizado por nuestros padres, para que en pequeñas cosas sientan satisfacción de las metas logradas por sus hijos.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres y hermanos por habernos apoyado durante nuestra formación profesional y habernos acompañado durante toda la vida siendo nuestro soporte para llegar a alcanzar todas nuestras metas.

Agradecemos a Dios por siempre cuidarnos y estar con nosotros en todo momento y a través de su palabra guiarnos con una de las promesas más hermosas:

*“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni te intimides porque Yo Jehová tu Dios estaré contigo por donde quiera que vayas. Josué 1:9”.*

# Índice General

Certificado	i
Autoría de responsabilidad	ii
Autorización	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice General	vi
Índice de figuras	xii
Índice de tablas	xv
Resumen	xviii
Abstract	xix
Simbología	xx
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes. ....	1
1.2 Justificación e importancia.....	2
1.3 Objetivo General .....	3
1.4 Objetivos específicos. ....	3
1.5 Alcance del proyecto.....	4

1.5.1 Componentes mecánicos .....	5
1.5.2 Componentes eléctricos/ electrónicos .....	6
1.5.3 Componentes de control y monitoreo .....	7
<b>Elaboración de Cerveza Artesanal .....</b>	<b>8</b>
2.1 Proceso para la elaboración de cerveza artesanal. ....	8
2.2 Proceso de mezclado de los ingredientes de cerveza artesanal.....	8
2.2.1 Preparación del agua para la maceración .....	8
2.2.2 Ingredientes utilizados en la elaboración de cerveza artesanal .....	9
2.2.2.1 Lúpulo .....	9
2.2.2.2 Cereales malteados o malta.....	10
2.2.3 Propiedades de los ingredientes de la cerveza artesanal. ....	10
2.2.3.1 Propiedades del lúpulo. ....	10
2.2.3.2 Propiedades de la malta.....	11
2.2.3.3 Proporciones de cebada malteada y agua. ....	12
2.2.3.4 Proceso de cocción de cerveza artesanal.....	12
2.2.4 Mezclado de ingredientes.....	13
2.2.5 Etapa de recirculación de la mezcla .....	14
2.2.6 Etapa de filtrado .....	14
2.2.7 Características de la mezcla .....	15
2.3 Proceso de cocción de cerveza en el tanque de cocción .....	15
<b>Diseño Mecánico.....</b>	<b>16</b>
3.1 Determinación de las necesidades para el diseño mecánico. ....	16
3.1.1 Metodología para la selección de componentes mecánicos.....	17
3.2 Sistema de distribución de fluidos. ....	18
3.2.1 Diseño del sistema de tuberías. ....	18
3.2.1.1 Selección del material de la tubería. ....	18
3.2.1.2 Diámetro de la tubería.....	22
3.2.2 Selección del tipo de válvula para el sistema.....	22
3.2.3 Determinación de la presión del sistema.....	29
3.2.3.1 Aplicación de la ecuación de Bernoulli. ....	30



3.2.3.2 Ecuación de la energía para el flujo de fluidos. ....	32
3.2.3.2.1 Análisis para la selección de bomba hidráulica. ....	34
3.2.3.2.2 Determinación del régimen de flujo.....	39
3.2.3.3 Ecuación de la energía aplicada al proceso de cocción.....	41
3.2.3.3.1 Determinación de la presión en posición 1 y 2. ....	41
3.2.3.3.2 Determinación de la presión en la posición 3 y 4. ....	45
3.3 Control de apertura y cierre de válvulas. ....	47
3.3.1 Selección de actuadores para válvulas. ....	47
3.3.1.1 Actuador manual. ....	47
3.3.1.2 Actuadores neumáticos ....	48
3.3.1.2.1 Actuadores neumáticos de giro limitado.....	48
3.3.1.3 Actuadores eléctricos. ....	50
3.3.2 Determinación del torque de válvula. ....	53
3.3.2.1 Características del actuador.....	57
3.3.2.2 Selección de la válvula comercial. ....	58
3.3.3 Sistema Neumático y componentes. ....	59
3.3.3.1 Componentes del sistema neumático. ....	60
3.3.3.1.1 Válvulas de control direccionales neumáticas. ....	60
3.3.3.1.2 Fuente de energía neumática. Compresor. ....	63
3.3.3.1.3 Unidad de mantenimiento FRL.....	68
3.3.3.1.4 Conexiones neumáticas. ....	68
3.4 Sistema de agitación para maceración de cerveza. ....	70
3.4.1 Tipos de mezcladores. ....	71
3.4.2 Características generales de un agitador de paletas. ....	74
3.4.2.1 Agitador de paletas tipo reja ....	75
3.4.3 Análisis mecánico del agitador. ....	75
3.4.3.1 Cálculo de la potencia para el motor.....	76
3.4.3.1.1 Cálculo de la densidad de la Mezcla. ....	76
3.4.3.1.2 Obtención de la viscosidad dinámica de la Mezcla ....	77
3.4.3.1.3 Determinación de la potencia del motor. ....	82
<b>Diseño electrónico e instrumentación.....</b>	<b>85</b>

4.1 Determinación de necesidades en el diseño electrónico e instrumentación.....	85
4.2 Instrumentación y sensores .....	86
4.2.1 Medición de temperatura.....	86
4.2.1.1 Temperatura en el tanque de calentamiento de agua. ....	86
4.2.1.2 Temperatura en el tanque de maceración.....	88
4.2.1.3 Temperatura en el tanque de cocción.....	89
4.2.1.4 Sensores de temperatura.....	90
4.2.1.4.1 Sensores de temperatura resistivos RTD.....	91
4.2.1.4.2 Sensores de temperatura digitales. ....	92
4.2.1.4.3 Sensores de temperatura tipo termocupla. ....	92
4.2.1.4.4 Ponderación para la selección del sensor de temperatura. ....	94
4.2.2 Medición de nivel de líquido. ....	97
4.2.2.1 Nivel de líquidos en el tanque de calentamiento de agua. ....	97
4.2.2.2 Selección del sensor de nivel de líquidos.....	98
4.2.2.2.1 Sensor de líquidos por presión diferencial. ....	99
4.2.2.2.2 Sensor de medición de líquidos capacitivo. ....	100
4.2.2.2.3 Sensor de medición de líquidos ultrasónico.....	101
4.2.2.2.4 Sensor de medición de líquidos de flujo recto. ....	101
4.2.2.2.5 Ponderación para la selección del sensor de nivel. ....	102
4.3 Componentes eléctricos. ....	106
4.3.1 Dispositivos del sistema de control.....	106
4.3.1.1 Controlador lógico programable PLC.....	106
4.3.1.1.1 Selección del Controlador lógico programable.....	108
4.3.1.1.2 Ponderación para la selección del Controlador.....	109
4.3.1.2 Módulo de señales analógicas SM1231 TC.....	112
4.3.2 Elementos eléctricos de maniobra, mando y señalización.....	113
4.3.2.1 Relés de maniobra auxiliares. ....	114
4.3.2.2 Contactores eléctricos. ....	115
4.3.2.2.1 Contactor eléctrico K1. ....	115
4.3.2.2.2 Contactor eléctrico K2. ....	116
4.3.2.3 Componentes eléctricos para el mando y señalización.....	117

4.3.3 Suministro de energía eléctrica. ....	118
4.3.3.1 Fuente de voltaje DC.....	119
4.3.4 Componentes eléctricos de protección.....	120
4.4 Instalación del tablero de control y sensores. ....	122
4.4.1 Diseño e instalación del tablero de control. ....	122
4.4.1.1 Montaje del tablero de control. ....	124
4.4.2 Diseño e instalación de sensores. ....	124
4.4.2.1 Instalación de sensores de nivel. ....	125
4.4.2.2 Instalación de sensores de temperatura. ....	125
<b>Automatización y diseño de HMI .....</b>	<b>127</b>
5.1 Automatización del proceso de cocción de cerveza artesanal. ....	127
5.1.1 Diagrama de flujo del Proceso para la Automatización.....	129
5.1.2 Descripción de automatización del proceso.....	133
5.2 Configuración del controlador, comunicación e interfaz. ....	134
5.2.1 Configuración de controlador y módulo. ....	134
5.2.2 Configuración del PC general para desarrollo del HMI. ....	136
5.2.3 Comunicación Ethernet entre PLC y estación PC.....	136
5.3 Diseño de la interfaz Humano máquina HMI. ....	137
5.3.1 Pantalla para modo de operación ..... 139	
5.3.2 Pantalla modo de operación manual ..... 140	
5.3.3 Pantalla de configuración de temperaturas. .... 141	
5.3.4 Pantalla modo de operación automático. .... 142	
5.3.5 Pantalla Visor de curvas..... 143	
5.4 Comunicación HMI y PLC Siemens S7 1200. ....	144
5.5 Creación de ficheros.....	145
<b>Resultados .....</b>	<b>146</b>
6.1 Resultados obtenidos en el diseño mecánico. ....	146
6.2 Resultados obtenidos en el diseño electrónico.....	148
6.3 Resultados obtenidos a través de sensores. ....	149
6.4 Archivo de escalas de temperatura.....	152

6.5 Costo de equipos adquiridos para el proceso de automatización.....	154
<b>Conclusiones .....</b>	<b>158</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>160</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>161</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>163</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Cervezas artesanales .....	2
Figura 1.2: Componentes mecánicos .....	5
Figura 1.3: Sistema eléctrico/ electrónico .....	6
Figura 1.4: Sistema de control y monitoreo .....	7
Figura 2.1: Lúpulo.....	9
Figura 2.2: Cereales malteados. ....	10
Figura 2.3: Mezcladora. ....	13
Figura 2.4: Bagazo. ....	14
Figura 2.5: Malla.....	15
Figura 3.1: Acero inoxidable. ....	21
Figura 3.2: Válvula de compuerta.....	23
Figura 3.3: Válvula tipo globo. ....	24
Figura 3.4: Válvula tipo bola. ....	25
Figura 3.5: Válvula de diafragma. ....	25
Figura 3.6: Válvula tipo mariposa.....	26
Figura 3.7: Válvula tipo mariposa de grado alimenticio.....	29
Figura 3.8: Medición de flujo volumétrico .....	34
Figura 3.9: Altura de presión del sistema.....	36
Figura 3.10: Curva de proceso .....	37
Figura 3.11: Curva del sistema.....	37
Figura 3.12: Esquema planta de cocción cervecería gourmet.....	41
Figura 3.13: Coeficiente de pérdida en accesorios.....	42
Figura 3.14: Curva característica bomba liverani ep neos. ....	43
Figura 3.15: Esquema planta de cocción cervecería gourmet.....	45
Figura 3.16: Actuador piñón cremallera. ....	49
Figura 3.17: Actuador de giro limitado tipo paleta. ....	49
Figura 3.18: Actuador de giro tipo muelle.....	50
Figura 3.19: Actuador de giro tipo eléctrico. ....	50
Figura 3.20: Disco de válvula tipo mariposa. ....	54
Figura 3.21: Determinación del esfuerzo generado en disco de válvula.....	55
Figura 3.22: Dcl placa disco.....	56

Figura 3.23: Sistema neumático .....	60
Figura 3.24: Denotación de vías de válvulas direccionales. ....	61
Figura 3.25: Unidad de mantenimiento neumática. ....	68
Figura 3.26: Velocidades generadas por un agitador .....	71
Figura 3.27: Mezcladores o agitadores .....	71
Figura 3.28: Agitador de paletas .....	74
Figura 3.29: Agitador de paletas tipo reja.....	75
Figura 3.30: Reómetro ta instruments.....	78
Figura 3.31: Rotor de velero .....	79
Figura 3.32: Gráfica de velocidad angular vs viscosidad dinámica.....	80
Figura 3.33: Número de reynolds vs número de potencia .....	83
Figura 4.1: Válvula v1 de ingreso de agua.....	87
Figura 4.2: Apertura de válvulas v2, v3 y bomba b1.....	87
Figura 4.3: Medición de temperatura en el tanque de calentamiento de agua. ....	88
Figura 4.4: Medición de temperatura en el tanque de maceración. ....	89
Figura 4.5: Medición de temperatura en el tanque de cocción boil kettle. ....	90
Figura 4.6: Componentes de un sensor rtd.....	91
Figura 4.7: Termocupla tipo j. ....	94
Figura 4.8: Accesorios y termocupla tipo j. ....	96
Figura 4.9: Sensor de medición de nivel por presión diferencial.....	99
Figura 4.10: Medición de nivel por sensor tipo capacitivo.....	100
Figura 4.11: Sensor de nivel de fluidos ultrasónico.....	101
Figura 4.12: Sensor de medición de líquidos de flujo recto tipo magnético.....	102
Figura 4.13: Sensor de nivel de flujo recto magnético.....	105
Figura 4.14: Diagrama P&ID Proceso de cocción de cerveza. ....	106
Figura 4.15: Estructura de un plc. ....	107
Figura 4.16: Tablero de control proceso de cocción de cerveza. ....	123
Figura 4.17: Plataforma móvil para tablero de control. ....	124
Figura 5.1: Sensores actuadores, comunicación y módulos.....	128
Figura 5.2: Configuración de dispositivos cpu y módulos.....	135
Figura 5.3: Protocolo IP. CPU 1214C.....	135
Figura 5.4: Configuración de termopares en módulo SM1231TC.....	136

Figura 5.5: Configuración estación PC. ....	136
Figura 5.6: Configuración protocolo IP para la estación PC. ....	136
Figura 5.7: Red entre PLC y estación PC. ....	137
Figura 5.8: Industrial Ethernet. ....	137
Figura 5.9: Configuración HMI. ....	138
Figura 5.10: Pantalla de Inicio de Proceso. ....	139
Figura 5.11: Pantalla modo de operación. ....	140
Figura 5.12: Pantalla modo manual. ....	141
Figura 5.13: Configuración de parámetros de temperatura. ....	142
Figura 5.14: Pantalla modo de operación automático. ....	143
Figura 5.15: Pantalla visor de curvas. ....	144
Figura 5.16: Comunicación hmi y plc. ....	144
Figura 5.17: Creación de ficheros de variables. ....	145
Figura 6.1: Sistema de tuberías. ....	146
Figura 6.2: Ingreso de fluidos en el tanque de calentamiento de agua. ....	147
Figura 6.3: Circuito neumático. ....	147
Figura 6.4: Tablero de control. ....	148
Figura 6.5: Controlador de nivel de agua para 500 [lt.] ....	149
Figura 6.6: Controlador de nivel en tanque de calentamiento de agua. ....	150
Figura 6.7: Sensor de temperatura tipo termocupla. ....	150
Figura 6.8: Sensor de temperatura en tanque de maceración. ....	151
Figura 6.9: Generación de gráfica de escalado de temperaturas. ....	152
Figura 6.10: Medición de escalas de temperatura a escala experimental. ....	154

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Definición de necesidades en el diseño mecánico .....	17
Tabla 3.2 Tuberías Uso industrial y aplicaciones .....	19
Tabla 3.3 Ponderación de criterios para selección de material de tubería .....	20
Tabla 3.4 Ponderación de costo para selección de material de tubería.....	20
Tabla 3.5 Ponderación del criterio de aplicación de industria alimenticia .....	20
Tabla 3.6 Ponderación del criterio instalación de tuberías .....	20
Tabla 3.7 Conclusiones para selección de material de tubería.....	21
Tabla 3.8 Dimensiones y características de la tubería .....	22
Tabla 3.9 Ponderación de criterios de evaluación para selección de válvula .....	27
Tabla 3.10 Ponderación de criterio activación de válvula .....	27
Tabla 3.11 Ponderación del criterio caída de presión .....	27
Tabla 3.12 Ponderación del costo para selección de válvula.....	28
Tabla 3.13 Conclusión en la selección de válvula .....	28
Tabla 3.14 Flujo volumétrico con bomba hidráulica Liverani EP SENIOR .....	35
Tabla 3.15 Flujo volumétrico con Bomba hidráulica Liverani EP NEOS.....	38
Tabla 3.16 Viscosidad cinemática de agua y cerveza .....	40
Tabla 3.17 Ventajas y desventajas de actuadores .....	51
Tabla 3.18 Ponderación de criterios para selección de actuadores de válvulas.....	52
Tabla 3.19 Ponderación para el criterio de costo del actuador .....	52
Tabla 3.20 Ponderación para el criterio de control del actuador.....	52
Tabla 3.21 Ponderación para el criterio de instalación del actuador.....	53
Tabla 3.22 Conclusión para selección del actuador .....	53
Tabla 3.23 Datos generales de la válvula tipo mariposa de grado alimenticio .....	58
Tabla 3.24 Datos generales del actuador neumático .....	59
Tabla 3.25 Simbología de vías de trabajo de válvulas de control direccional .....	62
Tabla 3.26 Datos técnicos válvula de control de direccionamiento neumática .....	63
Tabla 3.27 Clasificación general de los compresores industriales.....	64
Tabla 3.28 Requerimientos de fuente de energía neumática.....	67
Tabla 3.29 Selección del compresor .....	67
Tabla 3.30 Conectores neumáticos .....	69



Tabla 3.31 Mezcladores. Ventajas y desventajas.....	72
Tabla 3.32 Ponderación de criterios para selección del agitador.....	73
Tabla 3.33 Ponderación para criterio velocidad baja para el agitador.....	73
Tabla 3.34 Ponderación para criterio Homogenización de mezcla para el agitador..	73
Tabla 3.35 Ponderación para criterio instalación para el agitador.....	74
Tabla 3.36 Conclusión para la selección del agitador.....	74
Tabla 3.37 Viscosidad dinámica de mezcla a 50 °C.....	81
Tabla 3.38 Características del motor para el sistema de agitación.....	84
Tabla 4.1 Definición de necesidades en el diseño electrónico e instrumentación.....	85
Tabla 4.2 Tipos de termocuplas.....	93
Tabla 4.3 Ponderación de criterios para selección de sensores de temperatura.....	95
Tabla 4.4 Ponderación del criterio de costo para sensor de temperatura.....	95
Tabla 4.5 Ponderación del criterio de montaje para sensor de temperatura.....	95
Tabla 4.6 Ponderación del criterio rango para sensor de temperatura.....	95
Tabla 4.7 Conclusión para la selección del sensor de temperatura.....	96
Tabla 4.8 Sensor de temperatura Tipo J.....	96
Tabla 4.9 Ponderación de criterios para selección de sensor de nivel.....	103
Tabla 4.10 Ponderación del criterio de costo para sensor de nivel.....	103
Tabla 4.11 Ponderación del criterio de montaje para sensor de nivel.....	104
Tabla 4.12 Ponderación de resistencia a la temperatura para sensor de nivel.....	104
Tabla 4.13 Ponderación de resolución en base al medio para sensor de nivel.....	104
Tabla 4.14 Conclusión para selección de sensor de nivel.....	104
Tabla 4.15 Características del sensor de nivel.....	105
Tabla 4.16 Ponderación de criterio de evaluación para selección de PLC.....	109
Tabla 4.17 Ponderación del criterio de costo para PLC.....	109
Tabla 4.18 Ponderación del criterio de expansión para PLC.....	110
Tabla 4.19 Ponderación del criterio de plataforma integral para PLC.....	110
Tabla 4.20 Conclusiones para selección de PLC.....	110
Tabla 4.21 Dispositivos de entradas.....	111
Tabla 4.22 Dispositivos de salida.....	111
Tabla 4.23 Características técnicas PLC Siemens S7 1200 CPU 1214 C.....	112
Tabla 4.24 Características técnicas SM 1231 TC.....	113

Tabla 4.25 Conexión de relés auxiliares .....	114
Tabla 4.26 Características técnicas contactor K1 .....	116
Tabla 4.27 Características técnicas del contactor K2.....	117
Tabla 4.28 Dispositivos de Alimentación DC .....	119
Tabla 4.29 Protecciones eléctricas .....	121
Tabla 5.1 Variables de entrada y salida .....	128
Tabla 6.1 Datos obtenidos por sensores de temperatura .....	151
Tabla 6.2 Costo de los componentes eléctricos .....	155
Tabla 6.3 Costo de equipos mecánicos .....	156

## RESUMEN

En el presente proyecto se diseñó e implementó un sistema automatizado para la elaboración de cerveza artesanal en la empresa “Cervecería Gourmet”.

En el proyecto se realiza un análisis mecánico para diseñar un sistema de distribución de fluidos, el análisis de un sistema de agitación que sea capaz de homogenizar la etapa de maceración. Se diseñó un sistema neumático para realizar el control sobre tres actuadores neumáticos giratorios de simple efecto. Se seleccionaron termocuplas tipo J para la medición de temperatura y sensores de flujo recto magnéticos para la detección puntual de nivel. Mediante un controlador lógico programable PLC Siemens S7-1200 se procesan las señales emitidas por los sensores y de esta manera se operan tres válvulas solenoide muelle neumáticas, una válvula de diafragma para controlar el ingreso de agua, el motor de una bomba hidráulica y el motor de un agitador. La información es enviada del controlador a una estación PC en la que se diseñó e implementó una interfaz humano-máquina HMI para que los operadores puedan manipular de manera sencilla el proceso. Se implementó una base de datos que se registra en Excel con la finalidad de mantener históricos de los diferentes procesos de cocción que se pueden realizar.

### **Palabras clave:**

- TERMOCUPLA.
- SOLENOIDE.
- BOMBA HIDRÁULICA
- HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA).
- PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE).

## ABSTRACT

This draft has designed and implemented an automated system for craft beer production. It was made in “Cervecería Gourmet” Company.

Therefore, it has performed a fluid distribution analysis to design this system; the analysis of a stirrer which is able to homogenize the maceration stage. In addition, a pneumatic system was designed to control three rotating single acting pneumatic actuators. “J” thermocouples were selected to measure the temperature, to detect the liquid level were used magnetic flow sensors. A programmable logic controller PLC Siemens S7-1200 processes signals issued by sensors, in such a way three pneumatic solenoid valves are operated, one diaphragm valve to water access control, another one the engine of a hydraulic pump and the last one the motor operated stirrer. The information is sent from the controller to a PC station where was designed and implemented a HMI human-machine interface, so that operators can manage the process easily. Finally, a database was registered in Excel in order to keep the cooking process that can be created by the company.

### **Key words:**

- THERMOCOUPLE.
- SOLENOID.
- HYDRAULIC PUMP
- HMI (HUMAN MACHINE INTERFACE).
- PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER).

## Simbología

$\Sigma$ :	Sumatoria.
$\emptyset$ :	Diámetro.
$P$ :	Presión.
$\rho$ :	Densidad.
$V$ :	Volumen.
$g$ :	Gravedad.
$z$ :	Altura de presión.
$E$ :	Energía.
$hl$ :	Carga de ganancia o carga de pérdida.
$Q$ :	Flujo volumétrico.
$A$ :	Área.
$H_{sist}$ :	Carga del sistema.
$K_L$ :	Coefficiente de pérdida de carga.
$P_{B2}$ :	Potencia de la bomba.
$v$ :	Velocidad lineal.
$\gamma$ :	Viscosidad cinemática.
$N_R$ :	Número de Reynolds.
$P_{elec}$ :	Potencia eléctrica.
$F$ :	Fuerza.
$\sigma$ :	Esfuerzo de Von mises.
$T[\text{N}\cdot\text{m}]$ :	Torque.
$r_{disco}$ :	Radio del disco.
$m$ :	Masa.
$\mu$ :	Viscosidad dinámica.
$^{\circ}$ :	Grados de temperatura.
$I_E$ :	Corriente inicial de irrupción.
$I_w$ :	Corriente nominal de trabajo.
$I_{WDC}$ :	Corriente necesaria de operación.
$I_{wi}$ :	Corriente de operación de cada dispositivo.
$T[^{\circ}]$ :	Temperatura.

## CAPÍTULO I

### Introducción

En el presente capítulo se detallan los antecedentes del proceso de cocción en la empresa Cervecería Gourmet y los problemas encontrados en el mismo que conllevan a su automatización. Se realiza un análisis de viabilidad del presente proyecto para finalmente plantear los objetivos y el alcance del proyecto.

#### 1.1 Antecedentes.

Cervecería Gourmet ha buscado crear cervezas desde la innovación y experimentación. Este proceso de descubrir y crear cervezas con elementos diferentes y con identidad permite conjuntar elementos artesanales para crear productos de la mejor calidad manteniendo estándares altos de eficiencia, producción y sobre todo calidad. Cervecería Gourmet trata de ofrecer un producto excelente y una experiencia totalmente nueva en lo que a cervezas se refiere. En la actualidad la empresa cervecería Gourmet se encuentra produciendo 500 litros de cerveza artesanal al mes. Cuenta con un almacén de distribución en la parroquia de Pomasqui y mantiene convenios de negocios con algunos locales comerciales para la venta de cerveza artesanal. La empresa desde su funcionamiento ha buscado mejorar día a día los procesos de producción de cerveza. Para llegar a cumplir el objetivo de tener un producto mejor es necesario utilizar la tecnología y la ingeniería, para mejorar este proceso. El primer proceso que Cervecería Gourmet busca mejorar es la etapa de cocción de cerveza. Para ello se implementará un sistema automatizado en el proceso de cocción de cerveza, con el fin de obtener un producto de calidad y facilitar el trabajo del operador de la planta. Así mismo buscará reducir el tiempo empleado en la cocción de cerveza artesanal, ver figura 1.1.



Figura 1.1: Cervezas Artesanales

Fuente: (Cervecería Gourmet, 2015).

El presente proyecto pretende utilizar los conocimientos de ingeniería en mecatrónica, con el fin de implementar un sistema óptimo en la elaboración de cerveza artesanal. Así mismo se desea ampliar el campo de acción de la ingeniería mecatrónica en la industria alimenticia ecuatoriana.

### **1.2 Justificación e importancia.**

En el Ecuador es muy popular el consumo de productos alimenticios que se elaboran de manera artesanal. Para que estos productos trasciendan en el mercado nacional es necesario establecer parámetros de calidad que por lo general deben cumplir normas, en el caso del Ecuador se ha establecido la Norma INEN la cual determina parámetros de calidad en diferentes áreas. Para la elaboración de cerveza artesanal, clasificada como un producto de consumo alimenticio, es necesario que se cumplan pasos que garanticen al consumidor que la bebida no será dañina para su salud. Para ello es necesario regirse a la Norma INEN 2262. La empresa Cervecería Gourmet cumple con las normas alimenticias y de procesos que permiten la elaboración con los siguientes parámetros que están dentro de dicho reglamento:

- La cerveza no debe ser turbia ni poseer sedimentos apreciables a simple vista. (Norma INEN 2262, 2003).
- La levadura y cebada empleada en la elaboración de la cerveza debe provenir de un cultivo puro de levadura cervecera, libre de cualquier otro tipo de microorganismo patógeno. (Norma INEN 2262, 2003).
- El agua debe ser potable (NTE INEN 1 108, 2011).

La empresa Cervecería Gourmet, cumple con los requisitos necesarios para la elaboración de cerveza artesanal, sin embargo todo el proceso de elaboración de cerveza se lo realiza manualmente, lo cual genera que la cerveza no tenga la misma consistencia y sabor en las distintas cocciones, además de que en ocasiones el preparador de cerveza puede olvidar alguna parte del proceso dañando toda la elaboración de cerveza artesanal y generando pérdidas económicas a la empresa. En base a lo expuesto se establece la necesidad de mejorar la calidad y producción de su cerveza, poniendo en práctica los conocimientos de ingeniería mecatrónica que mejoren el proceso y mantengan altos niveles de calidad. Posteriormente, y viendo los resultados de las aplicaciones tecnológicas que se realizarán con este proyecto planteado, se automatizará toda la planta de producción de cerveza artesanal.

### **1.3 Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema automatizado, que mejore el proceso de producción de cerveza artesanal, facilitando al operador el proceso de cocción y mejorando la calidad del producto manejando variables de temperatura y nivel de agua ideales para los distintos tipos de cerveza artesanal.

### **1.4 Objetivos específicos.**

- Diseñar y construir un sistema hidráulico óptimo para la distribución de fluidos, con la correcta selección de electroválvulas, tuberías, acoples y dimensionamiento para la selección adecuada de una bomba.
- Analizar un sistema de mezclado mecánico para el tanque de maceración que permita tener una mezcla homogénea de los ingredientes y la cantidad exacta de agua para elaborar cerveza, y el dimensionamiento de un motor para el sistema.



- Diseñar y construir un sistema de control mediante PLC (Controlador lógico programable) y un HMI (Interface hombre maquina), para realizar el control de cocción de la cerveza artesanal.
- Diseñar y construir los circuitos con elementos de potencia para el accionamiento seguro tanto de la bomba hidráulica como del motor para el sistema de mezclado y las electroválvulas.
- Diseñar y construir un panel de control industrial desmontable que permita al operador manipular y elaborar cerveza de manera automática y sencilla.

### **1.5 Alcance del proyecto**

Se busca obtener un sistema de control mediante PLC (Controlador lógico programable) y HMI (Interface humano máquina), que permitirán visualizar el proceso de cocción de cerveza artesanal mediante dos modos de trabajo los cuales son manual y automático. Las señales de sensores de temperatura distribuidos en cada uno de los tanques de acero inoxidable. Cuatro detectores de nivel ubicados estratégicamente en el tanque de calentamiento de agua que medirán la cantidad de volumen exacta que deberá pasar hacia la mezcla en sus diferentes etapas donde se homogenizan agua y los ingredientes para la cocción de la cerveza, en base a estos dos parámetros de temperatura y nivel se realiza el control de cuatro válvulas solenoide, una bomba de agua, y motor reductor de velocidad. El motor reductor de velocidad se encuentra conectado a un sistema de agitación mecánica. Debido a la nueva aplicación se realizará un análisis mecánico y de ser necesario se rediseñará un sistema de agitación para que los elementos que vayan a ser colocados dentro del tanque no sean dañados por este mecanismo.

Se diseñará y construirá un nuevo sistema de distribución de fluidos, que sea más óptimo, no tenga fugas de líquido en sus tuberías con la selección adecuada de sus componentes cumpliendo normas sanitarias necesarias en este proceso.

Se diseñará y construirá un módulo industrial compacto, móvil y de fácil desmontaje de la planta, ya que al finalizar el proceso de cocción los tanques son lavados y toda la parte electrónica y de instrumentación tiene que ser desmontada de forma sencilla y en el menor tiempo posible. Diseño mecatrónico mediante herramientas CAD de la primera fase de la planta cervecera.

### 1.5.1 Componentes mecánicos

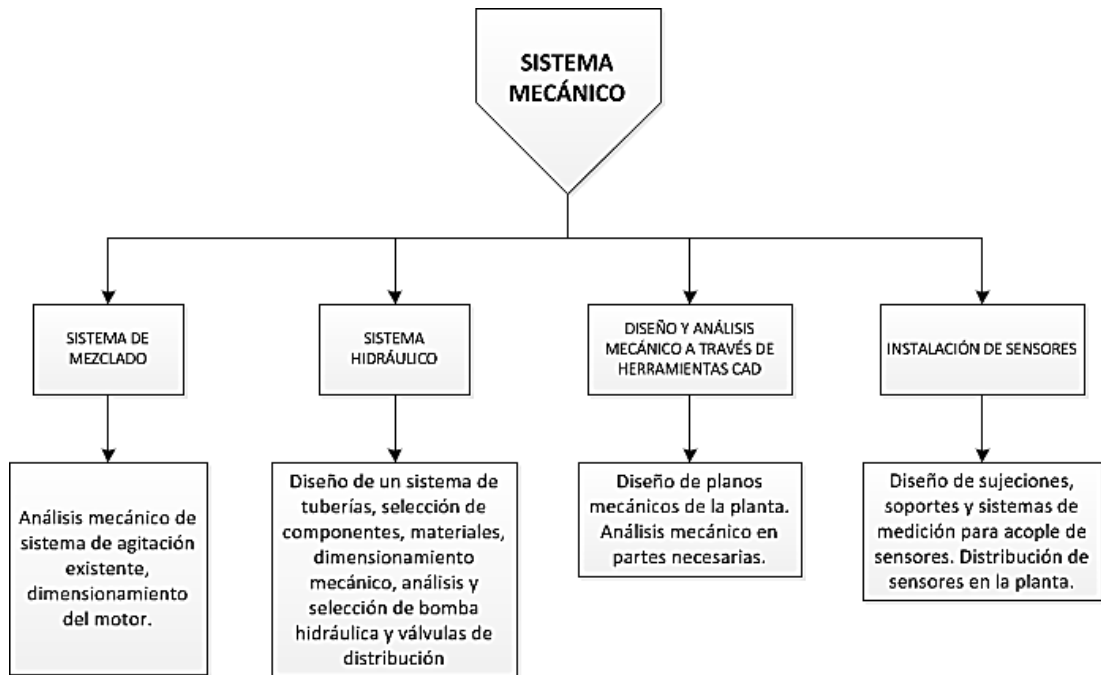


Figura 1.2: Componentes mecánicos

#### **Sistema de mezclado:**

Análisis mecánico del sistema de agitación basado en la mezcla de cebada y agua.

#### **Sistema hidráulico:**

Diseño de un sistema de tuberías en acero inoxidable para la distribución de fluidos. Análisis mecánico de la bomba de distribución de fluidos.

#### **Diseño y simulación de la planta a través de software:**

Diseño de la planta de cocción mediante herramientas CAD.

#### **Instalación de sensores:**

Distribución correcta de sensores en los recipientes de cocción de cerveza. Esto permitirá que los sensores obtengan de forma correcta las señales emitidas por los mismos de forma adecuada.

### 1.5.2 Componentes eléctricos/ electrónicos.

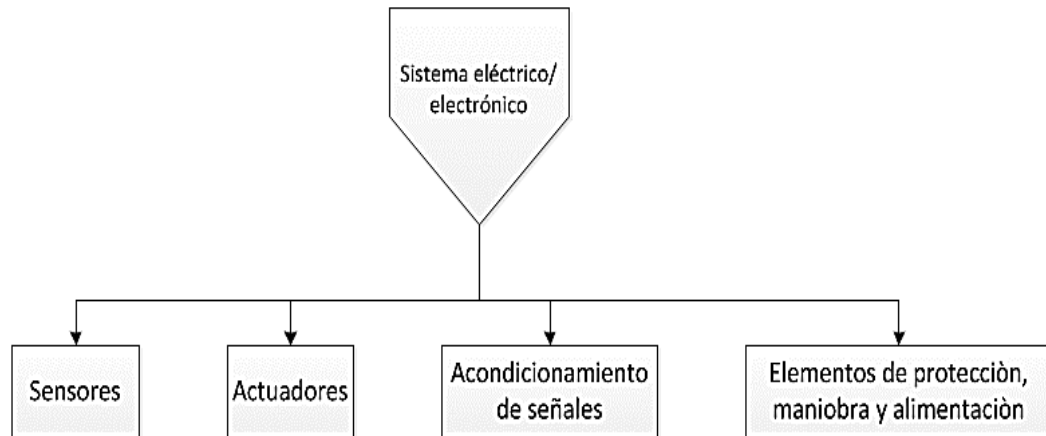


Figura 1.3: Sistema eléctrico/ electrónico

#### **Sensores:**

Selección de sensores de temperatura para medición y monitoreo tanto del agua en el tanque de calentamiento de agua como de la mezcla en el tanque de maceración.

Detectores de nivel que permitirán medir en el tanque de almacenamiento de agua la cantidad de volumen correspondiente a un nivel del mismo fluido necesario para las diferentes etapas del proceso.

#### **Actuadores:**

- Selección de válvulas para el manejo de fluidos.
- Motor monofásico para transmisión de movimiento a sistema de agitación.
- Bomba de succión de fluidos.
- Electroválvula para ingreso de agua en el tanque de calentamiento de agua.

#### **Módulos de acondicionamiento de señales:**

Módulo para detección y acondicionamiento de señales para sensores analógicos.

#### **Elementos de protección, maniobra y alimentación:**

Selección de fuentes eléctricas para los distintos componentes. Diseño de protecciones eléctricas para tablero de control, aparatos de maniobra para accionamiento de actuadores.

### 1.5.3 Componentes de control y monitoreo

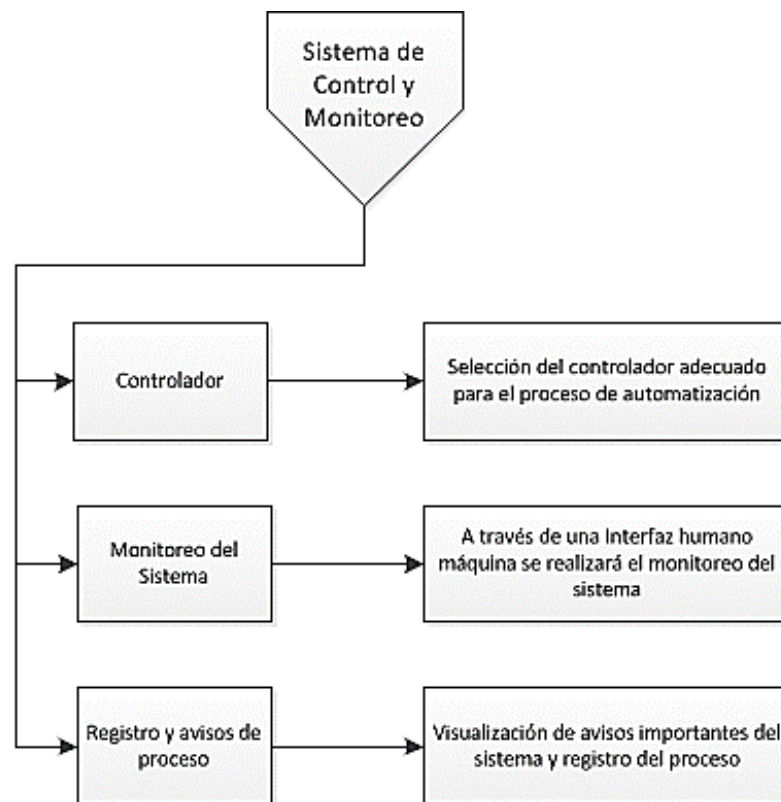


Figura 1.4: Sistema de control y monitoreo

#### **Controlador:**

Se utilizará un controlador lógico programable (PLC), en el que se programará el control del proceso de cocción y accionará los componentes eléctricos de acuerdo a la secuencia del proceso. Se seleccionará este componente investigando los factores necesarios para el uso de este equipo.

#### **Monitoreo del sistema:**

El monitoreo del proceso se realizará mediante el uso de software que permita el desarrollo de una Interfaz Humano Máquina (HMI).

#### **Registro y avisos del proceso:**

Avisos que indican la evolución del proceso a medida que vayan ocurriendo los eventos y registro del comportamiento de la temperatura con relación al tiempo.

## CAPÍTULO II

### **Elaboración de cerveza artesanal.**

En el presente capítulo se detalla el proceso de cocción de cerveza artesanal con el que trabaja la empresa Cervecería Gourmet. Se especifica el proceso, los elementos a utilizar y la elaboración varios tipos de cerveza artesanal que comúnmente se realizan en dicha empresa. A través de esta información se realiza el proyecto que se describe en capítulos posteriores.

#### **2.1 Proceso para la elaboración de cerveza artesanal.**

El proceso de elaboración de cerveza utilizado en la empresa Cervecería Gourmet se describe a continuación, indicando los pasos de acuerdo a un orden específico:

- Preparación del agua base para la mezcla.
- Mezclado de los ingredientes.
- Recirculación de la mezcla.
- Filtrado de la mezcla.
- Cocción de la Cerveza.

#### **2.2 Proceso de mezclado de los ingredientes de cerveza artesanal.**

Para este proceso se cuenta con equipos y mecanismos acoplados a los mismos, así como parámetros fundamentales propios de la mezcla, los cuales se podrán visualizar en los siguientes numerales.

##### **2.2.1 Preparación del agua para la maceración**

Ingresa el agua base para la mezcla al tanque de calentamiento de agua el cual debe encontrarse con 500 litros de agua al inicio y 450 litros después. Para la mezcla es indispensable hervir el agua que será usada en el proceso, y al ser este un proceso alimenticio debe tener estándares de higiene donde la misma debe estar libre de

bacterias, por esto el agua debe hervirse en un tanque de acero inoxidable, la temperatura en el tanque de agua se calentará a 90 °C, para el lavado de granos se precalentará el segundo volumen de agua hasta llegar a los 75°C. Una vez que ha hervido el agua, esta puede ser distribuida a donde se requiera dentro de la línea del proceso.

## 2.2.2 Ingredientes utilizados en la elaboración de cerveza artesanal.

Los siguientes son los ingredientes esenciales para la preparación de la cerveza artesanal, los cuales le dan a la cerveza las características particulares de la misma como su color, olor, textura y sabor.

### 2.2.2.1 Lúpulo



Figura 2.1: Lúpulo.

Fuente: (Dry Hopping, 2015).

Es una planta trepadora de la familia de las cannabáceas. Su principal propiedad es producir el amargor típico de esta bebida, aunque también proporciona sabores y aromas. Existen de flor masculina y femenina, para la elaboración de la cerveza se emplea la flor femenina denominada “conos de lúpulo”, está formada por pequeñas hojas verdes en forma de piña y carece de pétalos de colores vistosos.

### 2.2.2.2 Cereales malteados o malta



Figura 2.2: Cereales Malteados.

Fuente: (Tierra de cerveza, 2015).

La cebada es una planta gramínea anual, originaria de Asia occidental. Hay dos variedades de cebada: Cebada cervecera o de dos carreras que presenta dos hileras de semillas y la de cebada de seis carreras con seis hileras de semillas. La variedad de dos carreras es más apta para la elaboración de la cerveza porque produce más azúcares fermentables y tiene menos proteína (Suarez, 2013).

### 2.2.3 Propiedades de los ingredientes de la cerveza artesanal.

Es muy importante conocer las propiedades de los ingredientes que van a ser utilizados para la elaboración de la cerveza artesanal puesto que por estas características se puede conocer el porqué del sabor, textura, color y olor de la cerveza elaborada.

#### 2.2.3.1 Propiedades del lúpulo.

Los componentes principales del lúpulo son: alfa-ácidos, beta-ácidos, resinas y aceites esenciales.

Los alfa-ácidos o Humulonas: son resinas del lúpulo responsables de su amargor y otras propiedades sicoactivas que se mide de acuerdo por el porcentaje que contiene de esta sustancia que varía de una cosecha a otra y según la variedad de planta. Estas resinas son transformadas por temperatura (isomerización) durante el proceso de cocción del mosto en iso-alfa-ácidos.

Los beta-ácidos o Lupulonas: son resinas similares pero de amargor muy bajo pero pueden estropearse fácilmente en presencia de oxígeno y tornarse extremadamente amargos y desagradables.

Los Taninos y los aceites esenciales: Los taninos tienen las propiedades clarificantes y bacterioestáticas importantes en la fermentación y los aceites esenciales son sustancias aromáticas de fácilmente evaporables que dan las propiedades de sabor y olor a la cerveza.

Conos de lúpulo: Las flores de lúpulo son secadas con aire caliente a 60-65°C durante 10 horas.

El producto final es compactado y envasado preservándolo de la oxidación del aire y de la luz. Este producto es el más natural y el más empleado en la elaboración tradicional. Al finalizar la cocción del mosto, se realiza un proceso de filtrado natural a través de las flores de lúpulo sedimentadas en la caldera, de gran importancia para la claridad final de la cerveza (El Lúpulo, 2013).

### **2.2.3.2 Propiedades de la malta**

Este proceso de malteado activa los encimas (amilasas) del cereal que realizan el proceso natural de degradación (sacarificación) de almidón en azúcares fermentables (maltosa). Habitualmente se maltea la cebada y minoritariamente el trigo.

Las maltas Base: se emplean dentro de una receta cervecera en proporción mayoritaria porque son las que aportan la fuente de azúcar para fermentar, y por ello mismo son maltas con poder diastático o enzimático.

Las maltas Coloreadas: se emplean en pequeñas cantidades para aportar sabores y colores diferentes según el estilo de cerveza que se desea elaborar (CervezasInfo, 2015).



### **2.2.3.3 Proporciones de cebada malteada y agua.**

Cervecería Gourmet posee una planta de cocción con una capacidad de producción de hasta 500 litros de cerveza. Para ello se utilizan los siguientes ingredientes y en las siguientes cantidades:

125 [Kg] de cebada malteada, Con el fin de mantener una relación de agua y cebada de 1:4 es decir que por cada 4 litros de agua se puedan utilizar 1 [Kg] de cebada malteada.

25[Kg] de cebada malteada procesada según el tipo de cerveza a elaborar. Los tipos de cerveza que se elaboran son:

- Cerveza negra la cual utiliza 25 [Kg] de cebada malteada tostada, el cual le da su color oscuro en comparación al resto de cervezas.
- Cerveza Roja (Lager Ale) la cual utiliza 25 [Kg] de cebada malteada acaramelada con el fin de obtener un aspecto rojizo y un sabor más ácido.
- Cerveza Stout la cual utiliza 25 [Kg] de cebada malteada tipo Roasted malt o cebada asada.
- Cerveza rubia la cual utiliza 25 [Kg] de cebada malteada base tipo Pilsen.
- Cerveza negra con sabor a café la cual utiliza 25 [Kg] de cebada malteada tipo negro perla (Roasted Barley).

Se añaden 450 litros de agua a 75 °C en el proceso denominado lavado de granos. El objetivo de esta acción es extraer los azúcares y proteínas que no pudieron ser extraídos en el proceso de maceración y que a través del lavado de granos se obtiene llevar estos nutrientes del tanque de maceración al tanque de cocción.

Lúpulo El lúpulo se añade en el tanque de cocción en el momento en el que se encuentra toda la mezcla dentro de este tanque. La cantidad añadida para 500 [lt] de cerveza es de 2 [Kg].

### **2.2.3.4 Proceso de cocción de cerveza artesanal.**

El proceso que se describirá a continuación aplica para las dos recetas indicadas en el numeral anterior.

- 1 Moler la malta.
- 2 Empastar la malta con el agua.
- 3 Escalar la temperatura hasta el valor máximo.
- 4 Recirculación.
- 5 Sacar primer mosto y enviar a boil kettle.
- 6 Lavar los granos con agua a una temperatura de 75°C.
- 7 Sacar todo el mosto y enviarlo al boil kettle.
- 8 Elevar la temperatura al punto de ebullición 80°C.
- 9 Hervir durante 90 min.
- 10 Agregar Lúpulo de Amargor a los 90 min de haber comenzado a hervir.
- 11 Agregar lúpulo de aroma.
- 12 Enfriado y envío a fermentador.

#### 2.2.4 Mezclado de ingredientes

Una vez que han sido ingresados los ingredientes para la elaboración de la cerveza artesanal en el tanque de mezclado, se procede a encender el mezclador que consiste de una estructura de acero inoxidable conformada por un conjunto de ejes y de aspas.

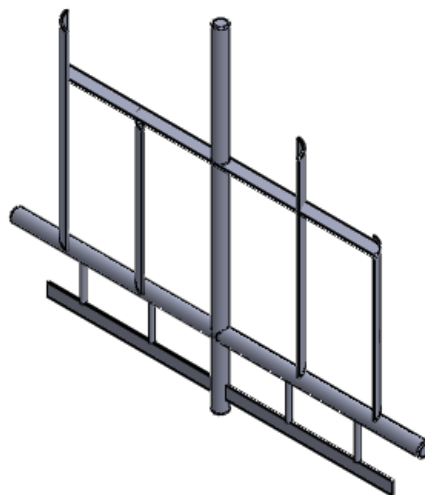


Figura 2.3: Mezcladora.

La mezcladora debe estar acoplada a un motor capaz de generar el torque necesario que le permita moverse entre la mezcla que es muy espesa por efecto de la gran cantidad de ingredientes en la misma.

### **2.2.5 Etapa de recirculación de la mezcla**

El proceso de recirculación de la mezcla se realiza para que vuelva a macerarse con el sedimento que queda durante este proceso, y de esta forma obtener todos los beneficios que se requieren; además permite que el mosto tenga mayor homogeneidad.

### **2.2.6 Etapa de filtrado**

La mezcla se filtra por medio de una malla ubicada en el tanque de maceración, en la parte superior de la malla queda atrapado todo el bagazo producto de la mezcla de los ingredientes.



Figura 2.4: Bagazo.

Fuente: (Cerveza artesana, 2015).



Figura 2.5: Malla.

Fuente: (Cerveza artesana, 2015).

### **2.2.7 Características de la mezcla**

La mezcla es realizada en el tanque de maceración mediante un sistema de agitación. En este tanque se realizan escalas de temperatura, es decir que inicialmente se mantiene un valor mínimo y la temperatura se incrementa de manera continua hasta alcanzar la temperatura máxima de escalado, el cual depende de cada receta.

### **2.3 Proceso de cocción de cerveza en el tanque de cocción**

Una vez realizadas el mezclado, se ha hecho recircular y se ha filtrado el mosto, el mismo pasa hacia el tanque de cocción por efecto de la bomba hidráulica, la cantidad de mosto que pasa al tanque de cocción esta entre los 400 y 500 litros. El mosto debe hervir a una temperatura de 80°C en el tanque de cocción.

## CAPÍTULO III

### Diseño mecánico

En el presente capítulo se realiza el diseño para la construcción del sistema de distribución de fluidos a través de la teoría de la mecánica de fluidos con el objetivo de determinar los parámetros físicos necesarios para la selección de componentes mecánicos en el proceso. Además se realiza un análisis del agitador con la finalidad de determinar si este elemento que posee la empresa es el adecuado para el proceso, se dimensionará el motor para la generación de movimiento a través de cálculos específicos en sistemas de agitación. La metodología utilizada para la selección de componentes mecánicos se basa en el método ordinal corregido de criterios ponderados, herramienta que permitirá decidir entre diversas soluciones.

#### **3.1 Determinación de las necesidades para el diseño mecánico.**

Es necesario establecer un cuadro de necesidades las cuales se basan en requerimientos establecidos por el operador y el diseñador del sistema. Al establecer las necesidades basándose en las funciones que presentan cada uno de las partes que componen el sistema se puede determinar las alternativas de solución de los requerimientos presentados para el diseño mecánico.

En la tabla 3.1 se presentan los requerimientos que conforman el diseño mecánico estableciendo la necesidad en el diseño, la función que se desempeña en cada uno de los componentes y la propuesta la cual se hace por medio del operador de la planta y el diseñador del sistema

Tabla 3.1

Definición de necesidades en el diseño mecánico

No.	Necesidad	Función	Propuesta
1	Sistema de distribución de fluidos	Distribuir fluidos líquidos como agua y mosto de un recipiente a otro cumpliendo con las normas técnicas y funcionales adecuadas.	Operador/Diseñador
2	Control de apertura y cierre de válvulas	Control de válvulas mediante el sistema automático.	Diseñador
3	Sistema de agitación para maceración de cerveza	Sistema de mezclado de cebada y agua con la finalidad de realizar una mezcla homogénea en todo el recipiente.	Diseñador

### 3.1.1 Metodología para la selección de componentes mecánicos.

Dado que en todas las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que hay que considerar de forma global, en todos los métodos de evaluación aparece el problema de ponderación de criterios para ello es necesario basarse en un método que permita la selección adecuada de los componentes del sistema (Riba Romeva, 2002).

#### Método ordinal corregido de criterios ponderados.

La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas soluciones basta conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Se basa en tablas donde cada criterio o solución se confronta con los demás criterios y se asignan los siguientes valores:

- “1” si el criterio de las filas es superior que el de las columnas.
- “0.5” si el criterio de las filas es igual que el de las columnas.
- “0” si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas.

Luego para cada uno de los criterios o soluciones se suman los valores asignados y se añade la unidad para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula. Finalmente la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico de cada criterio.

## **3.2 Sistema de distribución de fluidos.**

### **3.2.1 Diseño del sistema de tuberías.**

La cerveza es una bebida alcohólica de consumo humano, por tal motivo es necesario que su elaboración se realice cumpliendo normas sanitarias que garanticen al consumidor que el producto es apto para su consumo y está libre de impurezas y bacterias (Norma INEN 2262. Bebidas Alcohólicas, cerveza 3.3 Prácticas permitidas). Uno de los aspectos fundamentales en la elaboración de cerveza es la conducción de fluidos. Para poder realizar la transportación de fluidos de un recipiente a otro en Cervecería Gourmet, es necesario establecer un sistema de tuberías óptimo que cumpla con las siguientes funciones:

- Transportar agua, mosto, cerveza, sanitizante, de un recipiente a otro.
- Adaptación de dispositivos mecánicos como válvulas, bombas de fluidos, codos, filtros, visores, etc.
- Reducir el consumo energético en el sistema.
- Prevenir la acumulación de bacterias en las tuberías.
- Utilizar un espacio físico adecuado dentro de la planta de producción.
- Evitar riesgos de accidentes a operadores de la planta.
- Utilizar tuberías con materiales que existan en el mercado nacional.
- Reducir la resistencia de fricción en las tuberías.
- Resistencia a presión y temperatura.
- Fácil desmontaje para la limpieza de las tuberías, accesorios y equipos.

#### **3.2.1.1 Selección del material de la tubería.**

Existe gran variedad de materiales para la instalación de tuberías. Cada material o aleación de materiales se utilizan para distintas clases de fluidos, en la tabla 3.2 se presenta una descripción general del material de la tubería y el fluido que se utiliza de manera común.

Tabla 3.2

Tuberías Uso industrial y aplicaciones

<i>No.</i>	<i>Material</i>	<i>Aplicación</i>
1	Acero Galvanizado	Extracción de olores. Recirculación de aire.
2	Acero inoxidable	Transporte de agua. Vapor. Aceites. Combustibles. Bebidas y alimentos. Leche.
3	Cerámicos	Transporte desechos orgánicos. Fluidos a temperaturas elevadas.
4	Cobre	Sistemas con fluidos sometidos a presiones y temperaturas elevadas. Sistemas de distribución de agua en residencias.
5	Hierro fundido	Servicios de agua y desagüe. Tuberías que tengan contacto directo con la tierra.
6	Hormigón y hormigón armado.	Alcantarillado. Sistemas de riego.
7	Polietileno	Aceites.
8	PVC	Transportación de agua. Sistemas de riego.

Fuente: (INOXPA, 2015).

Para la selección del material de la tubería se tomó como posibles soluciones basadas en el método ordinal corregido de criterios ponderados las siguientes alternativas:

- Solución A: Tubería de acero inoxidable.
- Solución B: Tubería de cobre.
- Solución C: Tubería de PVC.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- Costo de la tubería.
- Aplicación en la industria alimenticia.
- Facilidad de instalación.



Tabla 3.3

Ponderación de criterios para selección de material de tubería.

Criterio	Costo	Industria alimenticia	Instalación	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	–	0	1	2	0.31
Aplicación en la Industria alimenticia	1	–	1	3	0.46
Facilidad de instalación	0.5	0	–	1.5	0.23
			Suma	6.5	1.00

Tabla 3.4

Ponderación de costo para selección de material de tubería.

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	0	2	0.33
Solución B	0	–	0	1	0.17
Solución C	1	1	–	3	0.50
			Suma	6	1.00

Tabla 3.5

Ponderación del criterio de aplicación de industria alimenticia.

Industria alimenticia	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	1	3	0.50
Solución B	0	–	1	2	0.33
Solución C	0	0	–	1	0.17
			Suma	6	1.00

Tabla 3.6

Ponderación del criterio instalación de tuberías.

Instalación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	–	1	1	3	0.50
Solución B	0	–	0	1	0.17
Solución C	0	1	–	2	0.33
			Suma	6	1.00

Tabla 3.7

Conclusiones para selección de material de tubería.

	Costo	Industria alimenticia	Instalación	$\Sigma$	Orden de selección
Solución A	0.10	0.23	0.12	0.4	<b>1</b>
Solución B	0.05	0.15	0.04	0.2	3
Solución C	0.15	0.08	0.08	0.3	2

Luego de realizar el análisis a través de la metodología explicada se determinó que el material adecuado para la tubería es de acero inoxidable equivalente a la solución A. La tubería de acero inoxidable es un tipo de tubería que posee una aleación de níquel (Ni) y cromo (Cr), que le da las siguientes características:

- Superficie lisa que evita que se acumulen bacterias y desechos que puedan afectar en la cocción de cerveza.
- Resistente a altas temperaturas y presión.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Utilizadas para conducir fluidos alimenticios como bebidas alcohólicas.
- Fácil acople en un sistema de distribución de fluidos.
- Fácil desmontaje para limpieza de ductos.
- Larga vida útil.
- Ideal para trabajar con fluidos de tipo laminar y de tipo turbulento.
- Costo relativamente bajo en comparación a tuberías de otro tipo de metal.

Debido a las características que presenta el material de la tubería de acero inoxidable Se seleccionó una tubería de acero inoxidable tipo A - 304, de superficie lisa.



Figura 3.1: Acero inoxidable.

Fuente: (HGB, 2015).

### 3.2.1.2 Diámetro de la tubería.

Es necesario establecer un diámetro de tubería para una aplicación en particular. Para ello se analizó las tuberías comerciales utilizadas en los procesos alimenticios.

Para poder seleccionar el diámetro de una tubería adecuada es necesario saber el tipo de fluido que pasará a través de la misma, su viscosidad, el flujo volumétrico y las caídas de presión que permiten trasladar el fluido a través de tuberías. Es muy común utilizar tuberías de sección circular en la mayoría de procesos, debido a que esta forma de sección ofrece alta fuerza estructural, y mayor área de sección por unidad de superficie de pared. (Crane, 2010).

Seleccionado el material de la tubería y la geometría de la sección a utilizar de acuerdo al fluido que transportará y la aplicación industrial, es necesario seleccionar el diámetro de la tubería. Los tamaños estándar de tuberías se denominan por medio de su tamaño nominal. Para seleccionar la tubería se determinó un diámetro comercial de  $\varnothing_{exterior} = 1.5[in]$  con el que se realizará el análisis de flujo, en caso de no ser el diámetro indicado mediante los cálculos a realizar se deberá seleccionar una nueva medida de sección. Esto permite realizar el análisis para determinar los parámetros físicos como presión, caudal y velocidad de flujo generados en el proceso. Las características de la tubería a utilizar se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8

Dimensiones y características de la tubería.

<i>No.</i>	<i>Características</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
1	<i>Material</i>	/	Acero inoxidable A 304.
2	$\varnothing_{ext}$	[plg.]-[mm]	1.5- 38.1
3	$\varnothing_{int}$	[plg.]-[mm]	1.375- 35
4	<i>Espesor</i>	[plg.]-[mm]	0.0625-1.65
5	<i>Máxima presión de operación</i>	[psi]-[Kpa]	200-1380

Fuente: (HGB, 2015).

### 3.2.2 Selección del tipo de válvula para el sistema.

Las válvulas son dispositivos mecánicos con los cuales se puede iniciar, detener, o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza movable, que abra cierre u obstruya el paso de fluidos de forma parcial uno o más orificios o conductos.

El tamaño de una válvula va desde una fracción de pulgada, hasta tamaños demasiado grandes superiores a las 50 pulgadas de diámetro o mucho más. Las válvulas son diseñadas de diferentes tipos de materiales entre ellos plásticos, metales, cerámicos, entre otros; la selección de ellas será de acuerdo a su aplicación y uso. Las válvulas utilizadas en el campo industrial de igual manera difieren de su aplicación unas de otras.

### **Válvulas de compuerta:**

La válvula de compuerta es una válvula de flujo rectilíneo. Posee en su interior un mecanismo en forma de disco o una represa en forma de cuña, la cual funciona como barrera del fluido. Esta se desliza en un ángulo recto con el sentido del flujo y tiene asentamiento hermético en el cuerpo.

Las válvulas del tipo compuerta ofrecen algunas ventajas:

- Facilidad de instalación.
- Baja caída de presión ya que su flujo es rectilíneo y sin derivaciones.
- No requiere lubricación de las piezas internas.

Las desventajas que presentan

- Apertura muy lenta de compuerta.
- Requieren de un alto torque.

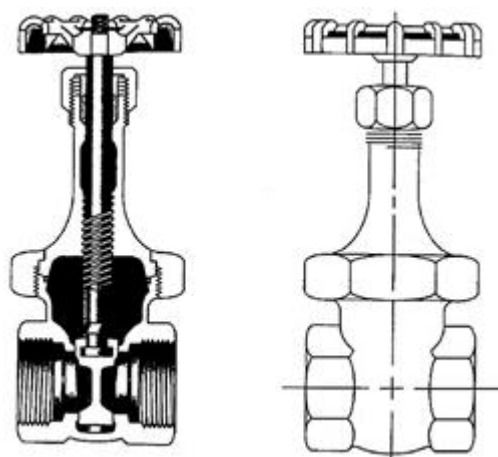


Figura 3.2: Válvula de compuerta.

Fuente: (Cengel & Cimbala, 2011).

### Válvulas de globo

Las válvulas tipo globo a diferencia de las válvulas de compuerta, permiten aplicarlas en regulación de fluidos mediante un asiento flexible. En esta clase de válvulas el fluido no circula de manera directa, sino que el fluido entra y sube dentro del cuerpo de la válvula, es estrangulado según qué tan abierta o cerrada este la válvula. Las ventajas que ofrecen las válvulas tipo globo son:

- Permiten regular el caudal del flujo.

Las desventajas que presentan son:

- Son válvulas costosas debido a sus mecanismos internos.
- Producen una caída de presión considerable.

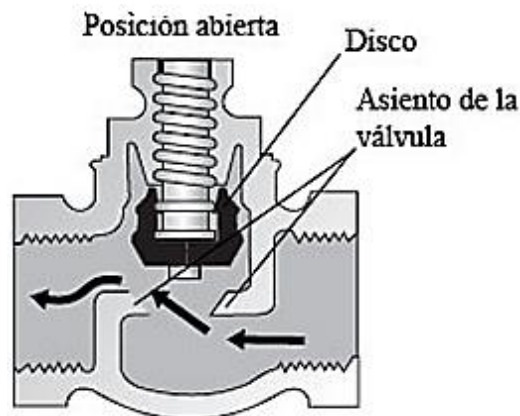


Figura 3.3: Válvula tipo Globo.

Fuente: (Cengel & Cimbala, 2011).

### Válvulas de bola

Las válvulas de bola son de  $1/4$  de vuelta, en las cuales una bola agujerada gira entre asientos elásticos, esto permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola  $90^\circ$  y cierra el conducto.

Las válvulas de bola poseen múltiples ventajas como son:

- Bajo costo.
- Corte bidireccional.
- Circulación en línea recta.
- Pocas fugas de agua.

- No requiere lubricación.

Las desventajas que presentan son:

- Las válvulas de bola requieren mayor torque de apertura.
- Apertura lenta en relación a otro tipo de válvulas.

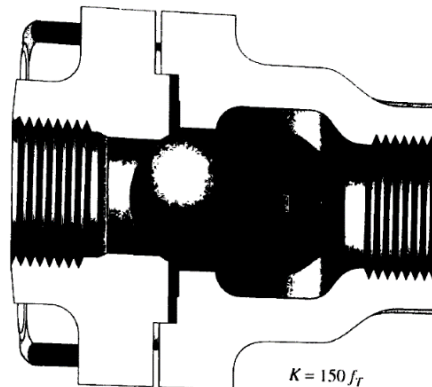


Figura 3.4: Válvula tipo Bola.

Fuente: (Cengel & Cimbala, 2011).

### Válvulas de diafragma

Es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar y detener la circulación (paso) de líquidos o gases mediante un diafragma que sirve de obturador.

Las ventajas que ofrece la válvula tipo diafragma son:

- No posee empaquetaduras.
- No hay posibilidad de fugas por el vástago.
- Flujo rectilíneo.

Las desventajas que posee esta válvula son:

- Alto costo.

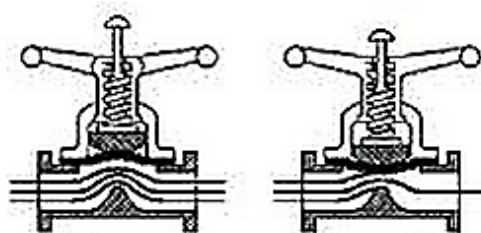


Figura 3.5: Válvula de diafragma.

Fuente: (Cengel & Cimbala, 2011).

### Válvula tipo mariposa

La válvula de mariposa es una válvula de  $\frac{1}{4}$  de vuelta y controla la circulación de flujo de fluido por medio de un disco circular. Poseen una gran área de sección de apertura y baja resistencia al flujo de un fluido.

Las ventajas que ofrece esta válvula son:

- Apertura total o cierre total del paso de flujo.
- Es más utilizado con fluidos incompresibles.
- No produce pérdidas de presión en el sistema.

Las desventajas que presenta son:

- No son válvulas utilizadas en ciclos de trabajos continuos.

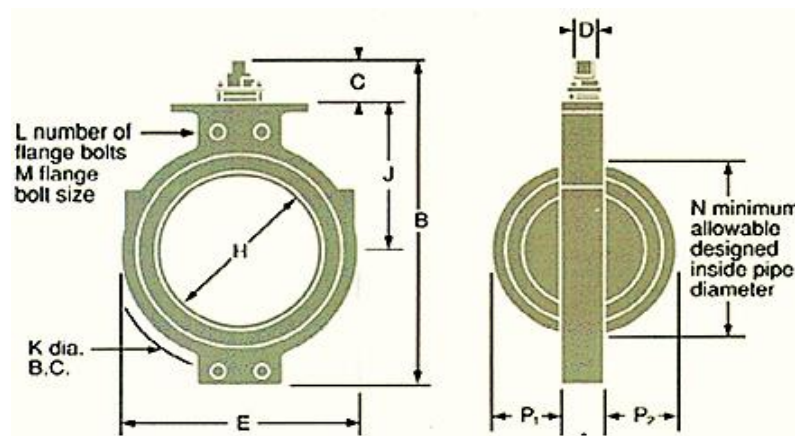


Figura 3.6: Válvula tipo mariposa.

Fuente: (Alfalaval, 2015).

Mediante la información general presentada se puede observar que en la industria existen varios tipos de válvulas que podrían ser utilizadas. Para realizar la selección se utilizó el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Las posibles soluciones para realizar el análisis son las siguientes:

- Solución A: Válvula de compuerta.
- Solución B: Válvula de globo.
- Solución C: Válvula de bola.
- Solución D: Válvula de diafragma.
- Solución E: Válvula tipo mariposa.

Los criterios considerados para determinar la válvula adecuada son:

- Control de actuadores de válvulas.
- Caída de presión.
- Costo.

Tabla 3.9

Ponderación de criterios de evaluación para selección de válvula.

Criterios	Control de actuadores de válvulas	Caída de presión	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Control de actuadores de válvulas.	-	0.5	1	2.5	0.38
Caída de presión	1	-	1	3	0.46
Costo	0	0	-	1	0.15
			Suma	6.5	1

Tabla 3.10

Ponderación de criterio activación de válvula.

Activación de válvula	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	0	0	1	0.07
Solución B	1	-	0	0	0	2	0.13
Solución C	1	1	-	0	0	3	0.20
Solución D	1	1	1	-	0	4	0.27
Solución E	1	1	1	1	-	5	0.33
					Suma	15	1

Tabla 3.11

Ponderación del criterio caída de presión.

Caída de presión	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	0	0	0	1.5	0.10
Solución B	0.5	-	0.5	0	0	2	0.14
Solución C	0.5	0.5	-	0	0	2	0.14
Solución D	1	1	1	-	0	4	0.28
Solución E	1	1	1	1	-	5	0.34
					Suma	15	1



Tabla 3.12

Ponderación del costo para selección de válvula.

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	0	0	3	0.20
Solución B	0	-	0.5	0	0	1.5	0.10
Solución C	0	0.5	-	0	0	1.5	0.10
Solución D	1	1	1	-	0	4	0.27
Solución E	1	1	1	1	-	5	0.33
					Suma	15	1

Tabla 3.13

Conclusión en la selección de válvula.

	Activación de válvula	Caída de presión	Costo	$\Sigma$	Orden de selección
Solución A	0.03	0.05	0.03	0.10	5
Solución B	0.05	0.06	0.05	0.16	4
Solución C	0.08	0.06	0.05	0.19	3
Solución D	0.10	0.13	0.12	0.35	2
Solución E	0.13	0.16	0.15	0.44	<b>1</b>

Para el proceso de cocción de cerveza artesanal se seleccionó las válvulas tipo mariposa equivalente a la solución E. Las válvulas sanitarias son un grupo de válvulas diseñadas para cumplir con los más altos estándares higiénicos de la industria alimenticia e industria farmacéutica.

Las válvulas de tipo sanitario son diseñadas en acero inoxidable, y se las clasifica denominándolas:

- Válvulas de grado alimenticio.
- Válvulas de grado farmacéutico.

Para el sellado de las juntas de las válvulas y conexiones a los ductos, poseen empaques que deben cumplir con algunas normas sanitarias internacionales proporcionadas por la FDA (Food and Drug Administration). El material del cual deben ser construidos las juntas y empaques es de EPDM (Etileno propileno). Las válvulas de Grado alimenticio tipo mariposa que se emplearán en el proceso de cocción en la empresa Cervecería Gourmet poseen las siguientes características:

- El diámetro nominal será de  $\phi_n = 1.5[plg]$ .
- El control que se desarrolló es de apertura y cierre de válvulas, de esta manera las válvulas tipo mariposa son adecuadas para desarrollar este trabajo.
- Fácil montaje y desmontaje de la planta.
- Las válvulas pueden ser operadas mediante actuadores eléctricos, mecánicos, hidráulicos, neumáticos o de modo manual, según sea la aplicación requerida.

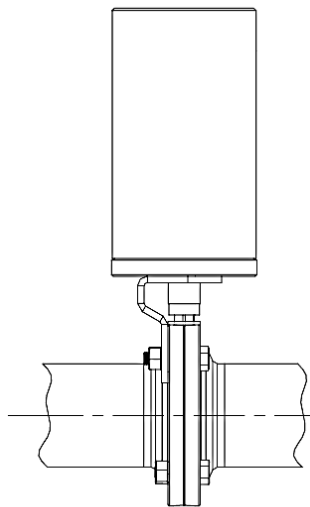


Figura 3.7: Válvula tipo mariposa de grado alimenticio.

Fuente: (INOXPA, 2015).

### 3.2.3 Determinación de la presión del sistema.

#### Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una relación entre la presión, la velocidad y la elevación en un sistema de fluidos. La ecuación de Bernoulli es una herramienta muy potente en el uso de sistemas de fluidos, mas es necesario conocer las características de esta para su correcta aplicación dado que no se puede emplear la ecuación en todos los sistemas de fluidos. La característica principal del uso de la ecuación de Bernoulli es que es aplicable a un flujo estacionario e incompresible. La ecuación de Bernoulli relaciona la suma de la energía cinética, potencial y de flujo de una partícula de fluido a lo largo de una línea de corriente en el transcurso del flujo estacionario, cuando los

efectos de compresibilidad y de fricción de un fluido son despreciables. (Cengel & Cimbala, 2011).

### **Presiones estática, dinámica e hidrostática.**

La ecuación de Bernoulli determina que la suma de la energía de flujo, la cinética y la potencial de una partícula de fluido a lo largo de una línea de corriente es constante. Por lo tanto la energía cinética y la potencial del fluido pueden convertirse a energía de flujo provocando el cambio de presión en el sistema.

$$P + \frac{\rho V^2}{2} + \rho g z = \text{constante} \quad (3.1)$$

Cada término de esta ecuación tiene unidades de presión y por tanto, cada uno representa un tipo de presión.

Donde:

$P$ : Es la carga de presión del fluido, no incorpora efectos dinámicos.

$\frac{\rho V^2}{2}$ : Es la carga de energía cinética del fluido. Aumento de la presión cuando el fluido varía la velocidad de flujo a lo largo de una línea de corriente.

$\rho g z$ : Representa la altura de presión.

### **Ecuación de Bernoulli entre dos puntos de análisis.**

Cuando es flujo es irrotacional, es decir que entre dos puntos el flujo va a seguir una línea de corriente, la ecuación de Bernoulli es aplicable para cualquiera de los dos puntos permitiendo relacionarlos entre sí de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (3.2)$$

#### **3.2.3.1 Aplicación de la ecuación de Bernoulli.**

Es necesario saber si esta ecuación es aplicable en este sistema con el fin de conocer parámetros de presión, velocidad de flujo, caudal. Mediante estos parámetros se diseñarán los actuadores que permitirán la apertura y cierre de válvulas.

Previo a esto el sistema debe cumplir con las siguientes condiciones para el uso de la ecuación de Bernoulli.

- **Flujo estacionario**  
La ecuación de Bernoulli es aplicable en flujo estacionario, es decir no debe aplicarse en condiciones de arranque y de paro, o durante procesos de cambio de condiciones de flujo. Elementos como válvulas, tubos angostos, ventiladores, intercambiadores de calor; provocan perturbaciones en el flujo del sistema.
- **Flujo sin fricción**  
Causadas por los ductos válvulas y accesorios que existen en el sistema. Por lo general en sistemas de distribución corta los efectos de fricción son despreciables.
- **Fuentes de energía mecánica**  
La ecuación de Bernoulli no es aplicable cuando existe un elemento mecánico que entregue energía al sistema o utilice energía del sistema, entre ellos tenemos a bombas, turbinas, compresores.
- **Flujo incompresible**  
La ecuación de Bernoulli es aplicable cuando el fluido es incompresible, esta condición la satisfacen los líquidos, es decir que durante el proceso su densidad  $\rho = cte.$ , es constante.
- **No exista transferencia de calor**  
La ecuación de Bernoulli no deberá usarse en secciones de flujo en el que se tengan cambios significativos en la temperatura.  
Se analizó las condiciones para la aplicación de esta fórmula en el proceso, obteniendo las siguientes consideraciones:
- Se puede considerar que no existe fricción en los ductos debido a que el sistema no posee longitudes extensas es decir el sistema es de distribución corta y al ser de acero inoxidable ofrece una superficie lisa con rugosidad casi nula.
- Existen fuentes de energía externa, ya que en el sistema se requiere de una bomba para trasladar el fluido de un recipiente a otro.
- Se considera flujo incompresible ya que la densidad de los dos fluidos agua y es constante.

- Existe transferencia de calor ya que en los recipientes se colocan calentadores que permiten variar la temperatura de los fluidos para el proceso de cocción de cerveza.
- Luego de verificar las condiciones podemos observar que en el sistema no puede ser utilizada la ecuación de Bernoulli ya que al utilizar no se considerarían todas las variables que intervendrían en el proceso. Para ello será necesario utilizar la ecuación de conservación de la energía.

### 3.2.3.2 Ecuación de la energía para el flujo de fluidos.

El principio de conservación de la energía proporciona una base sólida para el estudio de las relaciones entre las diversas formas de energía. Esta ley expresa que la energía no se puede crear ni destruir en el transcurso de un proceso; solo puede cambiar de forma. Por lo tanto en un proceso debe considerarse toda pequeña parte de energía.

$$E_{entrada} = E_{salida} + \Delta_{energía} \quad (3.3)$$

Aplicando la ecuación 3.3, denominada ecuación de la energía y relacionándola con la ecuación de Bernoulli en la que se consideran las pérdidas y ganancias de energía entre dos puntos, se tiene:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + hl_{bomba} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + hl_{perdidas} \quad (3.4)$$

Donde:

$\frac{P_1}{\rho g}$ : Carga de presión.                       $\frac{V_1^2}{2g}$ : Carga de velocidad.

$z_1$ : Altura de presión.

$hl_{bomba}$ : Carga de presión suministrada por la bomba.

$hl_{perdidas}$ : Caída de presión debido a elementos mecánicos.

### Determinación del flujo volumétrico en el sistema

Es necesario obtener el flujo en el sistema realizando mediciones experimentales. La cantidad de fluido que pasa por unidad de tiempo puede expresarse por medio de los siguientes términos:

**Flujo volumétrico  $Q$ :** Es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

**Flujo másico  $M$ :** Es la masa de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

El término utilizado con mayor frecuencia es el flujo volumétrico  $Q$  que se calcula de la siguiente manera:

$$Q = A \cdot v \quad (3.5)$$

Donde:

$A$ : Es el área de sección transversal en la zona analizada.

$v$ : Es la velocidad promedio de flujo.

$$Q [m^3/s]$$

#### **Medición experimental para medición de caudal:**

Existen varios métodos que permiten medir el caudal de forma experimental, a continuación se enuncian algunos de esos métodos:

- Método del flotador.
- Método volumétrico.
- Método de la trayectoria.

Para la medición de caudales en este trabajo se utilizó el método volumétrico, ya que es de gran utilidad en la medición de caudales para sistemas de tuberías y bombas. Consiste en llenar recipientes a un volumen constante y vaciarlos tomando el tiempo que necesitan para quedar totalmente vacíos mediante la energía que tiene la bomba. Esta prueba debe ser realizada varias ocasiones para tomar tiempos y de esta forma poder calcular la velocidad promedio de flujo.

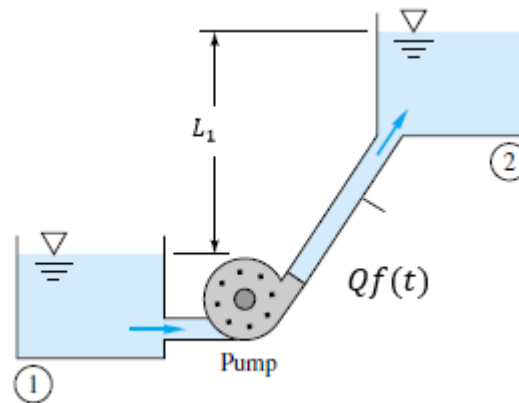


Figura 3.8: Medición de flujo volumétrico

Fuente: (White).

### 3.2.3.2.1 Análisis para la selección de bomba hidráulica.

Las bombas hidráulicas son ampliamente utilizadas en la industria. Se clasifican en dos grandes grupos dependiendo de la función que van a desempeñar, estos grupos son:

- Bombas de trabajo.
- Bombas de transferencia.

Las bombas de trabajo, como su nombre lo indica sirven para utilizar la energía entregada por un fluido y transformarlo en trabajo mecánico.

Las bombas de transferencia son elementos que entregan energía a un sistema para llevar un fluido desde un punto a otro.

En el proceso de cocción se utilizó una bomba de transferencia, puesto que la función que debe cumplir la bomba es entregar energía para llevar el agua y la cerveza de un recipiente a otro.

Anteriormente Cervecería Gourmet tenía instalada una bomba hidráulica Liverani EP Senior 1 ½" de diámetro de succión y de 1 ½" de diámetro de descarga con un consumo de potencia eléctrica de  $P_{B1} = 1300[\text{watts}]$ , sin haber realizado el análisis mecánico y selección de la misma. Esto ocasionaba varios problemas al operador de la planta y a la instalación. Para determinar si la bomba hidráulica es la adecuada o si la instalación requería el cambio de la bomba se realizó el siguiente análisis.

Se realizó la medición de flujo volumétrico para obtener el dato de la velocidad de flujo.

Tabla 3.14

Flujo volumétrico con bomba hidráulica Liverani EP SENIOR.

No.	Recipientes	Tiempo de vaciado [s]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Caudal promedio [m <sup>3</sup> /min]	Caudal promedio [lt/min]
1	<i>Tanque de calentamiento de agua</i>	6.324	0.012	0.115	115
		226	0.5	0.115	115
		6.324	0.013	0.115	155
2	<i>Tanque de mezclado</i>	6.324	0.013	0.115	115
		226	0.5	0.115	115
		6.324	0.013	0.115	115

Se logró determinar de forma experimental el caudal de la bomba  $Q_{b1} = 115 \left[ \frac{lt}{min} \right]$ , y de esta manera calcular la velocidad del fluido con un diámetro de tubería de 0.034 [m] a la salida de la bomba.

Despejando la ecuación 3.5 se obtiene la velocidad de flujo:

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0.002213 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{0.00096 [m^2]} = 2.3 [m/s]$$

$$v_{B1} = 2.3 [m/s]$$

Realizados los cálculos podemos observar que la velocidad promedio del flujo es de  $v_{B1} = 2 [m/s]$ . Esta velocidad no es adecuada para un proceso en el que el fluido se traslada distancias muy cortas. Al tener una velocidad muy elevada se genera gran cantidad de energía cinética en el sistema y esta no es utilizada de manera correcta ocasionando los problemas siguientes:

- Fugas de agua en uniones de tubería.
- Mayor consumo de energía eléctrica.
- Daños en válvulas de paso.

Luego de conocer los efectos negativos que puede ocasionar una velocidad de flujo elevada es necesario verificar si el comportamiento de la bomba y del sistema es el adecuado.



Para ello se realizó el siguiente análisis. Se necesita elevar agua desde un punto de referencia establecido por el usuario mostrado en la figura 3.9.

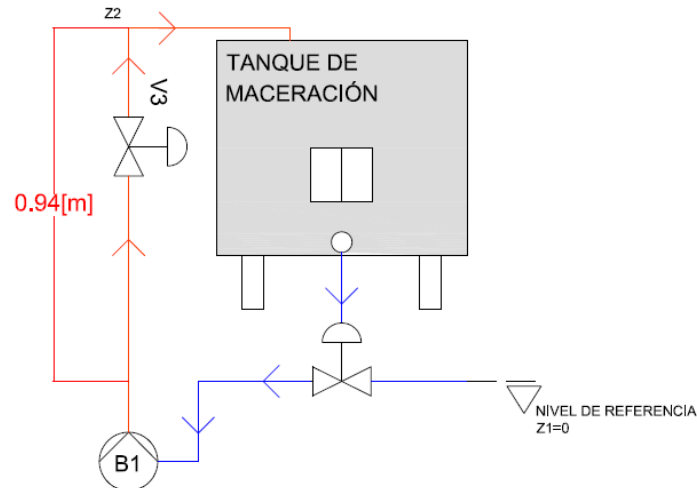


Figura 3.9: Altura de presión del sistema

Se requiere elevar una altura de 0.94 [m] sobre el nivel de referencia. Es necesario realizar la curva del sistema mediante la ecuación 3.6:

$$H_{sist} = a + b \cdot Q^2 \quad (3.6)$$

Donde:

$H_{sist}$ : Altura de presión del sistema.

$a$ : Representa la diferencia de altura entre el punto de referencia  $z_1$  y  $z_2$  equivalente a  $Z_2 - Z_1$ .

$b$ : Representada por la siguiente expresión:

$$\frac{\sum k}{2 \cdot g \cdot A^2}$$

Se reemplazan los valores de  $a$  y  $b$  en la ecuación 3.6 y se obtiene:

$$H_{sist} = (z_2 - z_1) + \frac{\sum k}{2 \cdot g \cdot A^2} \cdot Q^2$$

Para determinar la curva del sistema se varía el flujo volumétrico de 0 a  $150 \frac{l}{min}$

A través de una hoja de datos se obtiene la curva de este sistema que mostrado en la figura 3.10:

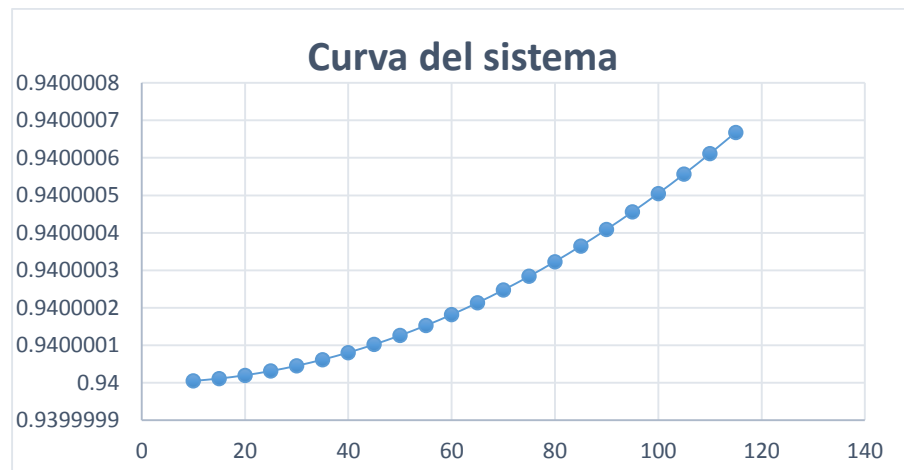


Figura 3.10: Curva de proceso

Al relacionar la curva de procesos con la curva característica de la bomba se debe obtener un punto de operación como se muestra en la figura 3.11.

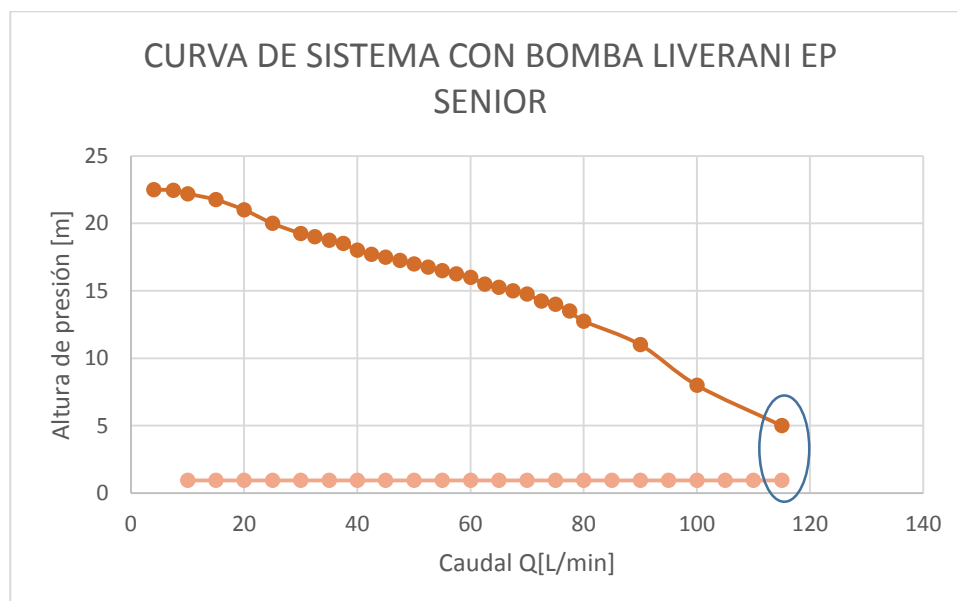


Figura 3.11: Curva del sistema

En la figura 3.11 se observa que la curva de la bomba Liverani EP Senior con la curva del sistema no se cruzan en un punto de operación por lo que se puede afirmar

que la bomba mencionada está sobredimensionada para el proceso y deberá ser reemplazada.

De esta forma se puede concluir, que la bomba utilizada anteriormente, no es la adecuada para el proceso y deberá ser reemplazada.

Para reemplazar la bomba hidráulica, el factor más importante a considerar es la reducción de la velocidad del fluido para de esta manera disminuir la energía cinética que el fluido está entregando al sistema. Esto se consigue utilizando una bomba que proporcione un caudal menor. También se debe considerar que no necesariamente la presión del sistema se disminuirá al reducir la velocidad del fluido.

Se seleccionó una nueva bomba marca Liverani modelo EP NEOS 1  $\frac{1}{2}$ " de diámetro de carga y de 1  $\frac{1}{2}$ " de diámetro de descarga. Esta bomba consume una potencia de  $P_{B2} = 225$  [watts].

Instalada la bomba en el sistema es necesario realizar mediciones de flujo volumétrico para determinar el caudal de trabajo de la bomba.

Tabla 3.15

Flujo volumétrico con Bomba hidráulica Liverani EP NEOS.

No.	Recipientes	Tiempo de vaciado [s]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Caudal promedio [m <sup>3</sup> /min]	Caudal promedio [lt/min]
1	Tanque de calentamiento de agua	6	0.00368	0.03496	35
		856	0.5	0.03496	35
		6	0.013	0.03496	35
2	Tanque de mezclado	6	0.013	0.03496	35
		856	0.5	0.03496	35
		6	0.013	0.03496	35

Se determinó que el caudal de trabajo de la bomba es de  $Q_{B2} = 35$  [lt/min]. Con este dato obtendremos la presión de trabajo de la bomba y la velocidad del flujo para hallar la presión final a la que estaría trabajando el sistema.

Se utilizó la ecuación 3.5 para determinar la velocidad del fluido:

Despejando la ecuación se obtiene la velocidad del flujo:

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0.00058 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{0.00096 \left[ m^2 \right]} = 0.60 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

La velocidad con la que trabajará el sistema será de  $v_{B2} = 0.6083 \text{ m/s}$ . Esto permite al sistema trabajar de forma adecuada para que sus componentes no sufran daños.

### 3.2.3.2.2 Determinación del régimen de flujo.

Es necesario conocer el comportamiento de un fluido, para poder determinar las pérdidas de energía que puede generar en un sistema. Para ello es necesario verificar si el flujo a tratar es de tipo laminar o de tipo turbulento. Para ello se utiliza el Número de Reynolds cuya ecuación es la siguiente.

$$N_{reynolds} = \frac{v \cdot \phi_{int}}{\gamma} \quad (3.7)$$

Donde:

$v$ : Es la velocidad promedio de flujo.

$\phi_{int}$ : Es el diámetro interior sección circular de la tubería.

$\gamma$ : Viscosidad cinemática del fluido.

El número de Reynolds nos permitirá determinar el tipo de flujo que se genera al determinar su valor y cumpliendo las siguientes condiciones:

Si  $N_r < 2000$ : Trataremos con un flujo laminar.

Si  $N_r > 4000$ : Se trata de un flujo turbulento.

$2000 < N_r < 4000$ : Al estar en este rango se dice que el flujo está en etapa de transición.

Para determinar el tipo de flujo con el que se trabaja en el proceso de cocción, es necesario realizar mediciones prácticas de velocidad y determinar la viscosidad cinemática de agua y cerveza mediante tablas.

### Viscosidad Cinemática

La viscosidad cinemática es conocida como la razón existente entre la viscosidad dinámica de un fluido y su densidad.

Un fluido con mayor viscosidad ofrece más resistencia al cambio de movimiento, mientras que un fluido con menos viscosidad ofrecerá menos resistencia a fluir.

Los datos de viscosidad cinemática del agua y la mezcla de cerveza se muestra en la tabla 3.16.

Tabla 3.16

Viscosidad cinemática de agua y cerveza.

Fluido	Viscosidad [cst (centistokes)]	Viscosidad [m <sup>2</sup> /s]
<i>Cerveza 10°</i>	1.8	0.0000018
<i>Agua Fresca 20°C</i>	1.13	0.00000113

Fuente: (Picado, Mendieta, Porras, & Martínez, 2002).

Con los datos obtenidos se calcula el número de Reynolds, cuando circula agua en el sistema y cuando circula cerveza.

$$Re_{agua} = \frac{v \cdot \phi_{tubería}}{\gamma}$$

$$Re_{agua} = \frac{0.6083 \left[ \frac{m}{s} \right] \cdot 0.035[m]}{0.0000018 \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_{agua} = 11803$$

$$Re_{cerveza} = \frac{0.6083 \left[ \frac{m}{s} \right] \cdot 0.035[m]}{0.00000113 \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_{cerveza} = 18801$$

Al determinar los valores de Reynolds para los dos tipos de fluidos que circulan en el sistema se obtiene que  $Re_{agua} > 4000$  y que  $Re_{cerveza} > 4000$ ; podemos decir que tratamos un régimen turbulento.

### 3.2.3.3 Ecuación de la energía aplicada al proceso de cocción.

Se realiza el análisis utilizando como fluido incompresible el agua. Para ello se divide el proceso en tres etapas con el fin de determinar los parámetros necesarios en cada una de las ecuaciones. El objetivo principal del uso de la ecuación de la energía será determinar la caída de presión producida por los fluidos en el sistema, para determinar el torque que deberán tener los actuadores de las válvulas de paso tipo mariposa.

#### 3.2.3.3.1 Determinación de la presión en posición 1 y 2.

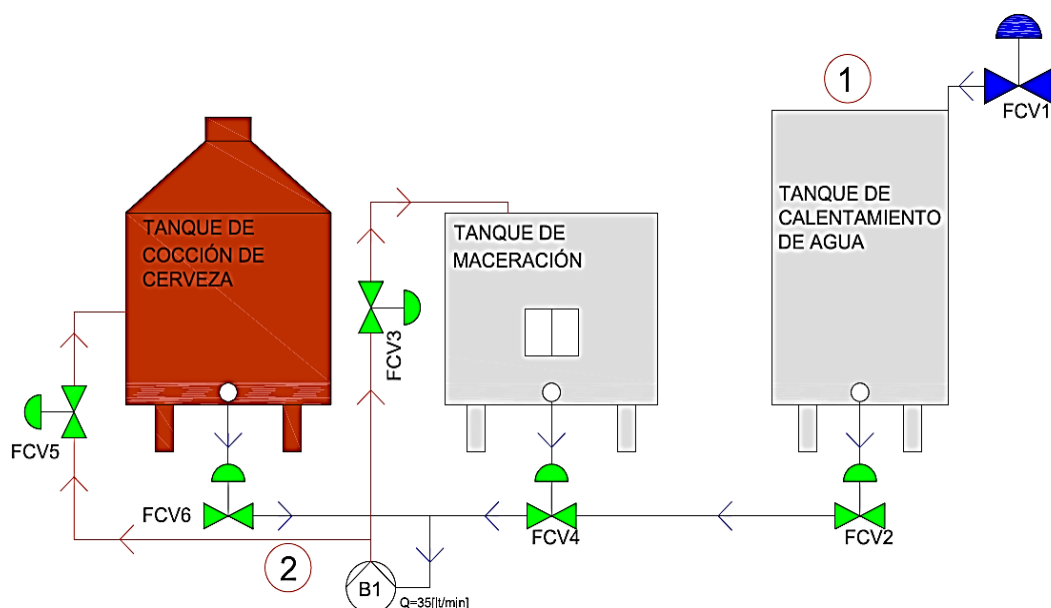


Figura 3.12: Esquema planta de cocción Cervecería Gourmet.

Los elementos que intervienen en el primer lazo de análisis son como fluido el agua, una válvula tipo mariposa, un codo de  $90^\circ$ , una conexión en T, una bomba hidráulica, y tres tuberías rectas. El fluido en un sistema de tubería típico pasa a través de varias uniones, válvulas, flexiones, codos, ramificaciones, etc. Estos componentes interrumpen el suave flujo del fluido y provocan pérdidas. Estas pérdidas son conocidas como pérdidas menores. Las pérdidas menores se expresan en términos del coeficiente de pérdida  $K_L$ , conocido como coeficiente de pérdida y se define de la siguiente manera:

$$K_L = \frac{h_L}{\frac{v^2}{2g}} \quad (3.8)$$

Donde:

$h_L$ : Es la pérdida de carga en un componente.

$\frac{v^2}{2g}$ : Representa la energía cinética adquirida por el fluido.

De esta manera se puede determinar la pérdida de carga despejando la ecuación 3.8.

El coeficiente de carga depende de la geometría del accesorio y del número de Reynolds, tal como factor de fricción. Sin embargo, usualmente se supone que es independiente del número de Reynolds.

Esta es una solución razonable porque, en la práctica, la mayoría de los flujos tienen números de Reynolds grandes y los coeficientes de pérdida tienden a ser independientes del número de Reynolds. (Cengel & Cimbala, 2011). Se han determinado coeficientes de pérdida para varios accesorios que se presentan en la figura 3.13.

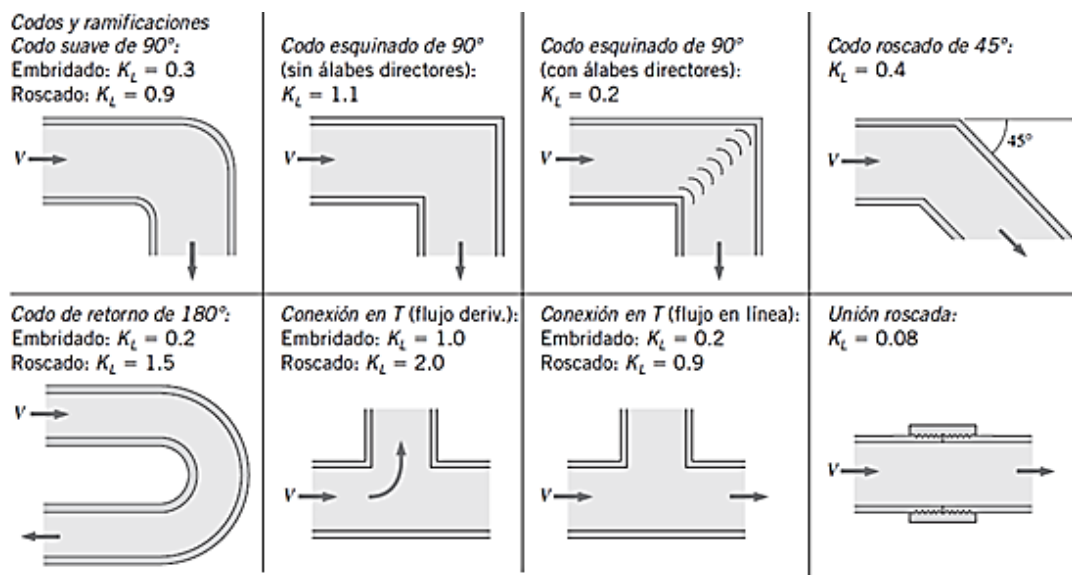


Figura 3.13: Coeficiente de pérdida en accesorios.

Fuente: (Cengel & Cimbala, 2011).

La altura a la que se encuentra el agua, en el que se colocará el punto 1 de análisis es de  $z_1 = 1.07[m]$  en el tanque de calentamiento de agua.

La altura a la que llegará será  $z_2 = 0 [m]$ , que será el punto 2 de análisis.

La carga que entrega la bomba hidráulica al sistema depende del caudal al que trabaja y se obtiene de su catálogo. La bomba que se utilizará en el sistema es una bomba de marca Liverani EP NEOS  $1\frac{1}{2}''$ . Las características principales de esta bomba es que trabaja con una potencia eléctrica  $P_{elec} = 0.25[Kw]$ , a  $220 [VAC]$ . En las mediciones se obtuvo que la bomba en el sistema trabaja a un caudal  $Q = 35[\frac{lt}{min}]$ . Con el dato obtenido de caudal podemos ver la curva de trabajo de la bomba hidráulica en la figura 3.14:

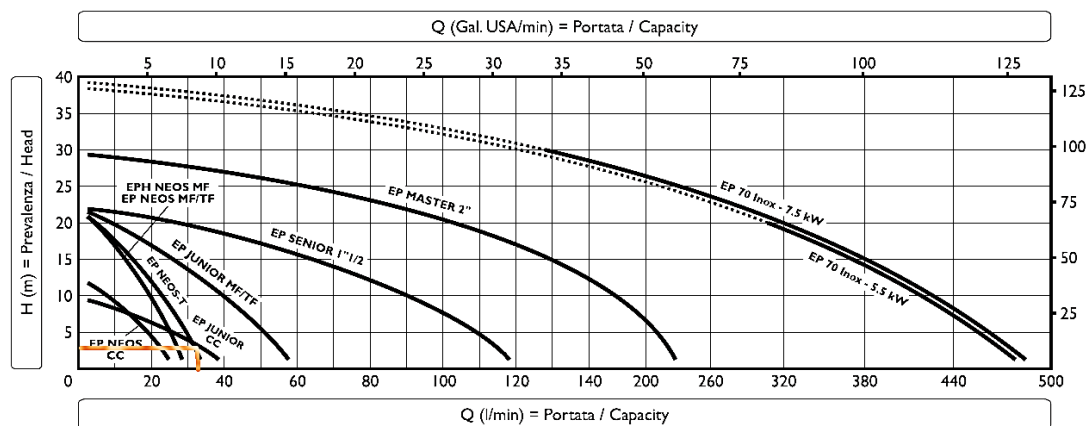


Figura 3.14: Curva Característica Bomba Liverani EP NEOS.

Fuente: (Liverani, 2015).

Se puede observar que la carga que entregará la bomba con un caudal promedio de  $Q = 35 \frac{lt}{min}$  será de  $h_{bomba} = 3[m]$ . Cada accesorio produce pérdidas menores en el sistema para ello es necesario determinar las cargas que se pierden por elemento.

Carga de pérdida en codos:

$$h_{LCodo90^\circ} = k_{LCodo} \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

Según la figura 3.13, el coeficiente de pérdida para codos suaves a  $90^\circ$  es de  $k_{LCodo} = 0.3$ .



$$h_{LCodo90^\circ} = 0.3 \cdot \frac{(0.6083 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{LCodo90^\circ} = 0.0056[m]$$

Existe una conexión soldada en T, la cual genera dos pérdidas una pérdida debido al flujo en línea y la otra pérdida debida al flujo derivado.

Pérdida de carga en conexión T de flujo en línea.

$$h_{LTLinea} = k_{LTlinea} \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{LTlinea} = 0.2 \cdot \frac{(0.6083 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.0037[m]$$

Pérdida de carga en conexión T de flujo derivado.

$$h_{LTderiv} = k_{LTderiv} \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{LTderiv} = 1 \cdot \frac{(0.6083 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{LTderiv} = 0.018[m]$$

Para permitir el paso del fluido del tanque de calentamiento de agua al tanque de mezclado, existe una válvula tipo mariposa a la entrada de la bomba. Esta válvula genera pérdidas de carga en el sistema. Las válvulas tipo mariposa tienen un coeficiente de pérdida de  $k_{LValv.} = 0.945$ .

$$h_{Lvalv} = k_{LValv.} \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{Lvalv} = 0.945 \cdot \frac{(0.6083 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{Lvalv} = 0.01782[m]$$

Con los datos obtenidos, se aplicó la ecuación de la conservación de la energía, entre los puntos seleccionados.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{bomba} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{LCodo90^\circ} + h_{LTLinea} + h_{LTderiv} + h_{Lvalv}$$

$$1.071[m] + 3[m] = \frac{P_2}{\rho g} + 0.018[m] + 2 \cdot 0.0056[m] + 0.0037[m] + 0.018[m] + 0.01782[m]$$

$$\frac{P_2}{\rho g} = 4.00036[m]$$

Por lo tanto la presión en el punto 2 será:

$$P_2 = 39.2[Kpa]$$

$$P_2 = 5.68[psi]$$

### 3.2.3.3.2 Determinación de la presión en la posición 3 y 4.

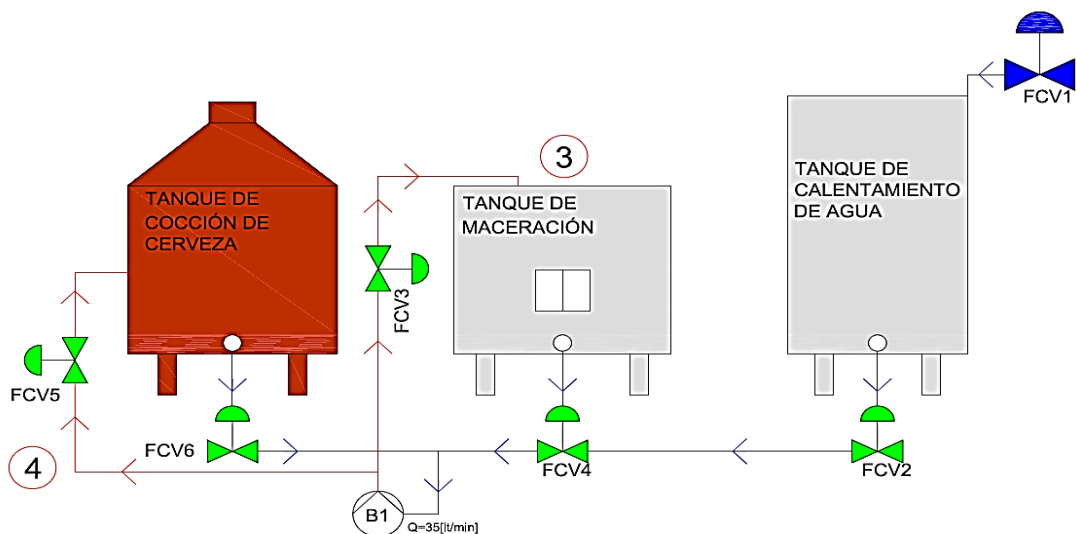


Figura 3.15: Esquema planta de cocción Cervecería Gourmet.

En el segundo lazo de control el fluido cerveza, pasa del tanque de mezclado al tanque de cocción. Este es el último paso de la cocción de cerveza.

Para ello intervienen dos uniones en T, 3 codos de 90°, dos válvulas tipo mariposa y la bomba hidráulica. Se aplica el mismo procedimiento utilizado en la sección 3.2.3.3.1, para determinar la presión en el punto 4.

La carga entregada por la bomba será la misma carga, ya que el sistema trabaja con el mismo caudal  $Q = 35 \frac{lt}{min}$ . En estas condiciones la carga entregada por la bomba será de  $h_{bomba} = 3[m]$

Pérdida de carga en conexión T de flujo en línea.

$$h_{LTderiv} = k_{LTderiv} \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{LTderiv} = 1 \cdot \frac{(0.6083 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{LTderiv} = 0.018[m]$$

Según la figura 3.14, el coeficiente de pérdida para codos suaves a 90° es de  $k_{LCodo} = 0.3$ .

$$h_{LCodo90^\circ} = 0.3 \cdot \frac{(0.6083 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.0056[m]$$

Pérdida de carga en la válvula.

$$h_{Lvalv} = k_{Lvalv} \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{Lvalv} = 0.945 \cdot \frac{(2 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{Lvalv} = 0.017[m]$$

Al haber hallado los datos planteamos la ecuación de la conservación de la energía.

$$\frac{P_3}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g} + z_3 + h_{bomba} = \frac{P_4}{\rho g} + \frac{V_4^2}{2g} + z_4 + h_{LCodo90^\circ} + h_{LTLinea} + h_{LTderiv} + h_{Lvalv}$$

$$0.72[m] + 3[m] = \frac{P_4}{\rho g} + 0.018[m] + 3 \cdot 0.0056[m] + 0.018[m] + 2 \cdot 0.017[m]$$

$$\frac{P_4}{\rho g} = 3.64[m].$$

$$P_4 = 35.75[KPa]$$

$$P_4 = 5.18[psi].$$

Determinadas las presiones a la salida de la bomba en los dos procesos 3.2.3.3.1 y 3.2.3.3.2, principales de la planta de cocción, se tiene:

$$P_2 = 39.2[KPa]$$

$$P_2 = 5.68[psi]$$

$$P_4 = 35.75[KPa]$$

$$P_4 = 5.18[psi].$$

Por lo tanto se puede decir que el los actuadores de las válvulas tipo mariposa deben tener la capacidad de vencer la presión determinada para que se realice la apertura de las válvulas, así como también el sistema neumático debe suministrar la presión de aire necesario para la apertura de las válvulas. Se considerará un margen de

error de un 10 % para garantizar que funcionen de forma adecuada por lo tanto consideramos presión deberá ser de:

$$P_{valvula} \geq 5.68[psi] \approx 6[psi] = 41.3[KPa].$$

Los planos de tuberías y componentes mecánicos se encuentran detallados en el Anexo 02.

### **3.3 Control de apertura y cierre de válvulas.**

Para poder realizar la transferencia de agua y cerveza de un recipiente a otro es necesario tener una instalación hidráulica que permita a los fluidos ser transportados de forma eficiente.

Para ello existen componentes mecánicos necesarios para realizar esta operación. Entre ellos tenemos las tuberías, codos, uniones en T, bombas capaces de entregar energía a los sistemas, y válvulas.

Luego de realizar el análisis de tuberías, válvulas, bombas y determinar los parámetros físicos tales como la presión del sistema, la velocidad de flujo, el flujo volumétrico, el área de las tuberías y la energía suministrada por la bomba, es necesario determinar el sistema de activación de las mismas.

#### **3.3.1 Selección de actuadores para válvulas.**

Los actuadores de la válvula de grado alimenticio tipo mariposa permiten la apertura y cierre de la misma al cambiar la posición del disco de la válvula. La válvula gira ¼ de vuelta dejando completamente abierta la válvula. Para ello existen varios métodos que permiten realizar la apertura y cierre de la válvula dependiendo del actuador a utilizar.

##### **3.3.1.1 Actuador manual.**

El actuador manual consiste en un mecanismo que permite al operador realizar la apertura y cierre de las válvulas a través de una perilla. Los actuadores manuales se dividen de la siguiente manera:

- Maneta de dos posiciones
- Maneta multi – posición.

Las ventajas que ofrecen Los actuadores manuales son:

- Bajo costo.
- Fácil manipulación.

Las desventajas que poseen estos actuadores son:

- No pueden ser utilizadas en un proceso de automatización.
- Requieren de la manipulación de un operador.

### **3.3.1.2 Actuadores neumáticos**

Los actuadores neumáticos transforman la energía entregada por el aire comprimido a un sistema en energía mecánica. Existen dos tipos de actuadores neumáticos los cuales son actuadores neumáticos lineares y actuadores neumáticos de giro. Para la apertura y cierre de válvulas se utilizan actuadores giratorios.

Los actuadores neumáticos giratorios se clasifican en dos grupos, los actuadores de giro limitado y actuadores de giro ilimitado o motores.

Los actuadores neumáticos de giro limitado producen el movimiento de giro pero no son capaces de realizar una revolución completa.

Los actuadores neumáticos de giro ilimitado o motores neumáticos son capaces de producir el movimiento de giro constante.

Las válvulas de grado alimenticio tipo mariposa deben girar  $\frac{1}{4}$  de vuelta, por tal motivo utilizan actuadores neumáticos de giro limitado para su operación.

#### **3.3.1.2.1 Actuadores neumáticos de giro limitado.**

##### **Actuador piñón cremallera**

En esta ejecución de cilindro de doble efecto, el vástago es una cremallera que acciona un piñón y transforma el movimiento lineal en un movimiento giratorio, hacia la izquierda o derecha, produciendo de esta manera el cambio de posición del disco de la válvula en apertura o cierre de la misma.

Los ángulos de giro que se pueden obtener con este tipo de actuadores es regulable y va desde los  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ , sin embargo en este tipo de válvulas en las que solo se puede producir  $\frac{1}{4}$  de vuelta es necesario solo girar el actuador  $45^\circ$ .

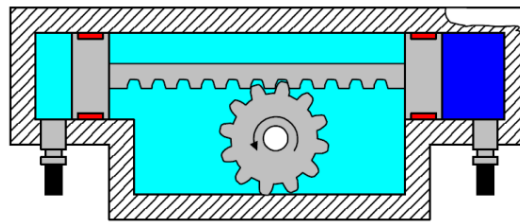


Figura 3.16: Actuador piñón cremallera.

Fuente: (Parr, 2010).

### Actuador de giro limitado tipo paleta

El actuador neumático de giro tipo paleta posee dos entradas de aire comprimido, cambiando de esta manera la posición del actuador en apertura y cierre de la válvula. Posee dos entradas de aire en el sistema.

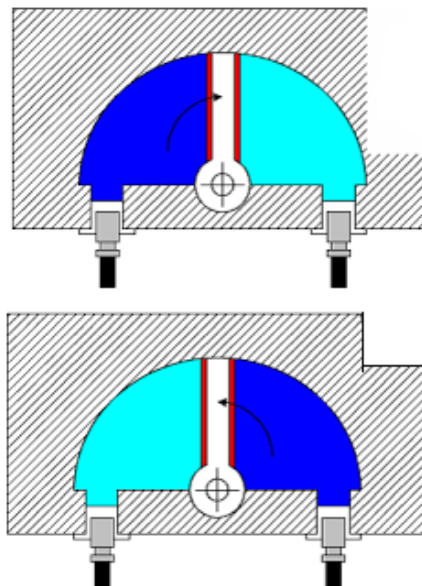


Figura 3.17: Actuador de giro limitado tipo paleta.

Fuente: (Parr, 2010).

### Actuador de giro limitado de simple efecto

Este tipo de actuador produce un giro al comprimir un muelle en su interior. Posee una única entrada de aire en el sistema. La ventaja de este tipo de actuador es que consume menos cantidad de aire de embolada al ser activado, más posee un tiempo de vida útil de trabajo menor al de un cilindro de doble efecto por el desgaste del muelle.

No son mecanismos utilizados en modos de trabajo continuo sino para aperturas y cierres de válvulas ocasionales.

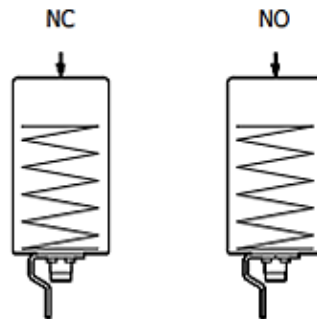


Figura 3.18: Actuador de giro tipo muelle.

Fuente: (INOXPA, 2015).

### 3.3.1.3 Actuadores eléctricos.

Los actuadores eléctricos permiten realizar el giro del disco, mediante la transformación de energía eléctrica suministrada por un motor en energía mecánica para realizar la apertura y cierre de la válvula tipo mariposa.

Para reducir la velocidad del motor acoplado utilizan un mecanismo tipo caja reductora para de esta manera reducir la velocidad de apertura, y mediante un final de carrera o micro switch se detienen en la posición indicada. Debido a que poseen una reductora de velocidad, la apertura y cierre de las válvulas es lento en comparación al trabajo mecánico realizado por una válvula con actuador neumático. El costo de los actuadores eléctricos es elevado y posee menos protección al contacto con agua que un actuador neumático.



Figura 3.19: Actuador de giro tipo eléctrico.

Fuente: (Genebre, 2015).

Se han descrito en las secciones mencionadas anteriormente los actuadores que se podrían utilizar en el proceso de cocción en la tabla 3.17 se presentan las ventajas y desventajas que poseen estos dispositivos.

Tabla 3.17

Ventajas y desventajas de actuadores.

<b>Tipo de Actuador</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
	Relativamente de bajo costo.	
<b>Manual</b>	Fácil montaje y desmontaje.	Trabaja con flujos a bajas velocidades.
	No se producen daños al contacto con agua.	No utilizado para automatización.
	Permite la regulación del flujo.	
	Utilizado en procesos de control y automatización.	Costo elevado
<b>Eléctrico</b>		Requiere de protección a la exposición de líquidos.
	Apto para trabajar a altas velocidades.	Mayor peso de la válvula.
		Requiere del diseño de una instalación eléctrica adecuada para el arranque y paro.
		Mayor consumo de energía eléctrica.
	Utilizado en procesos de automatización y control.	
	Fácil instalación.	
	Menor costo en comparación a un actuador eléctrico	
<b>Neumático</b>	Mayor variedad para selección.	Requieren de una fuente de aire comprimido.
	Pueden ser expuestos al agua sin producirse daños.	
	Fácil mantenimiento.	
	Apertura y cierre rápidos	
	Posibilidad de trabajo con fluidos a altas y bajas velocidades.	

Fuente: (Parr, 2010)



Para realizar la selección del actuador requerido para la apertura y cierre de la válvula tipo mariposa se utilizó el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Las posibles alternativas para este caso son:

- Solución A: Actuador manual.
- Solución B: Actuador neumático.
- Solución C: Actuador eléctrico.

Los criterios utilizados para la selección son:

- Costo del actuador.
- Control.
- Instalación.

Tabla 3.18

Ponderación de criterios para selección de actuadores de válvulas.

Criterio	Costo	Control	Instalación	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	0	0	1	0.2
Control	1	-	1	3	0.6
Instalación	0	0	-	1	0.2
			Suma	5	1

Tabla 3.19

Ponderación para el criterio de costo del actuador.

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0.5
Solución B	0	-	1	2	0.3
Solución C	0	0	-	1	0.2
			Suma	6	1.0

Tabla 3.20

Ponderación para el criterio de control del actuador.

Control	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0.2
Solución B	1	-	1	3	0.5
Solución C	1	0	-	2	0.3
			Suma	6	1.0

Tabla 3.21

Ponderación para el criterio de instalación del actuador.

Instalación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	1	2.5	0.4
Solución B	0.5	-	1	2.5	0.4
Solución C	0	0	-	1	0.2
			Suma	6	1.0

Tabla 3.22

Conclusión para selección del actuador.

	Costo	Control	Instalación	$\Sigma$	Orden de selección
Solución A	0.1	0.1	0.1	0.28	2
Solución B	0.1	0.3	0.1	0.45	1
Solución C	0.03	0.20	0.03	0.27	3

Luego de realizar el análisis se puede determinar que el actuador adecuado para el proyecto es el actuador neumático denominado solución B.

### 3.3.2 Determinación del torque de válvula.

Mediante el esfuerzo generado por un operador manual o la energía suministrada por el aire comprimido para la apertura de válvulas o mediante la energía eléctrica, se desea obtener energía mecánica en el eje de giro del disco de la válvula tipo mariposa.

Esta energía es transferida en forma de energía mecánica al eje del disco de la válvula mediante el torque generado en el mismo. El actuador neumático a través de la presión de aire suministrado realizará la apertura y cierre de la válvula, pero es necesario determinar la presión de aire mínima y máxima para realizar este trabajo en el proceso de cocción de cervecera Gourmet. El aire hará girar la válvula entregando el torque suficiente para realizar esta operación.

Para ello es necesario conocer la presión generada por el fluido a las válvulas. Es necesario conocer la máxima presión de trabajo del fluido y esta presión fue determinada mediante la ecuación 3.4 denominada ecuación general de la energía.

$$P_{sistema} = 6[psi] = 41.3[KPa]$$

La presión del sistema es de  $P_{sistema} = 6[psi]$ , esta presión es aplicada en toda el área de sección del disco de la válvula. Una placa expuesta a un líquido, como el disco de una válvula tipo mariposa la cual se encuentra cerrada, queda sometida a la presión que posee un fluido la cual se encuentra distribuida sobre su superficie. Al ser una superficie plana estas fuerzas forman un sistema de fuerzas paralelas. Por tal motivo es necesario determinar su magnitud y el punto de aplicación denominado centro de presión. (Cengel & Cimbala, 2011).

El centro de presión es el punto efectivo de aplicación de fuerza de presión distribuida sobre una superficie. La presión en un punto del disco de la válvula es la misma en todas las direcciones, es decir que posee una magnitud pero no tiene dirección ni sentido, por lo tanto es una magnitud escalar.

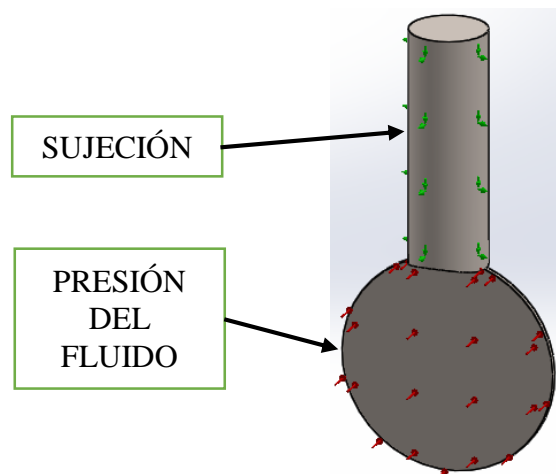


Figura 3.20: Disco de válvula tipo mariposa.

Para determinar la fuerza ejercida sobre la cara plana del disco de la válvula se aplicó la ecuación 3.8

$$F_{fluido} = \int P_{sistema} \cdot dA \quad (3.9)$$

Donde:

$F_{fluido}$ : Es la fuerza generada por la presión sobre la superficie de la placa.

$P_{sistema}$ : Es la presión obtenida mediante la aplicación de la ecuación de la energía para fluidos incompresibles.

$dA$ : Es el diferencial de área, es decir el área infinitesimal sobre la cual es aplicada una fuerza generada por la presión del fluido.

Para determinar el área total se deberá integrar todos los puntos que conforman la sección. Como se explicó la válvula tipo mariposa posee una sección circular. La integral del área de una circunferencia es igual a:

$$A_{\text{circunferencia}} = \pi r^2$$

Se aplicó la ecuación 3.9, para determinar la fuerza ejercida sobre el punto crítico de la sección del disco de la mariposa.

$$F_{\text{fluido}} = P_{\text{sistema}} \cdot A_{\text{sección del disco}}$$

$$A_{\text{sección del disco}} = \frac{\pi \cdot \Phi_{\text{disco}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot (1.375 [plg])^2}{4} = 1.48 [plg^2]$$

$$F_{\text{fluido}} = 6 \left[ \frac{lb}{plg^2} \right] \cdot 1.48 [plg^2]$$

$$F_{\text{fluido}} = 8.90 [lbf]$$

$$F_{\text{fluido}} = 39.58 [N]$$

Para demostrar que el resultado de fuerza obtenido de manera teórica es el correcto, se utilizó la herramienta Solidworks para determinar el esfuerzo de tensiones en los puntos extremos de la placa circular utilizando como parámetros de entrada el área, el espesor y la caída de presión aplicada en la superficie del disco de la válvula tipo mariposa. Se determinó que el esfuerzo en la parte externa del disco es de  $\sigma_{\text{disco}} = 39102.4 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$  (ver figura 3.21).

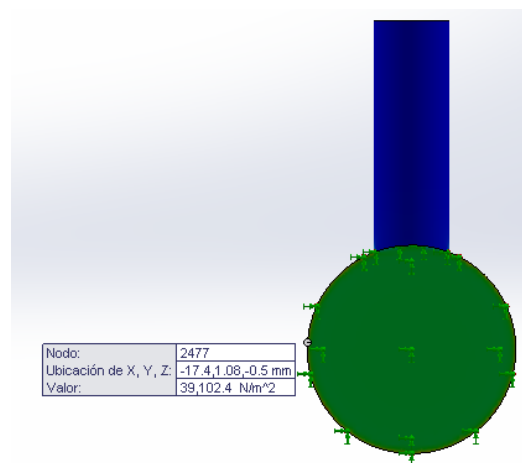


Figura 3.21: Determinación del esfuerzo generado en disco de válvula.

Con el valor del esfuerzo generado en ese punto se puede determinar la fuerza utilizando la ecuación 3.9.

$$\sigma_{disco} = \frac{F_{fluido}}{A_{sección\ circular}} \quad (3.10)$$

Donde:

$\sigma_{disco}$ : Es el esfuerzo generado por la presión del fluido en el punto externo del disco de la válvula.

$F_{fluido}$ : Es la fuerza del fluido que se busca determinar.

$A_{sección\ circular}$ : Es el área del disco sobre la cual actúa la presión del fluido.

Despejando la ecuación 3.10 se obtiene la fuerza:

$$F_{fluido} = 39102.4 \cdot 0.00095 [m^2] = 37.4 [N] = 8.43 [lbf]$$

Como se puede observar a través de software y mediante cálculos teóricos los valores de fuerza son similares entre sí. Al haber hallado la fuerza que ejerce el fluido se obtuvo la distancia de la línea de acción para calcular el torque necesario para vencer la fuerza.

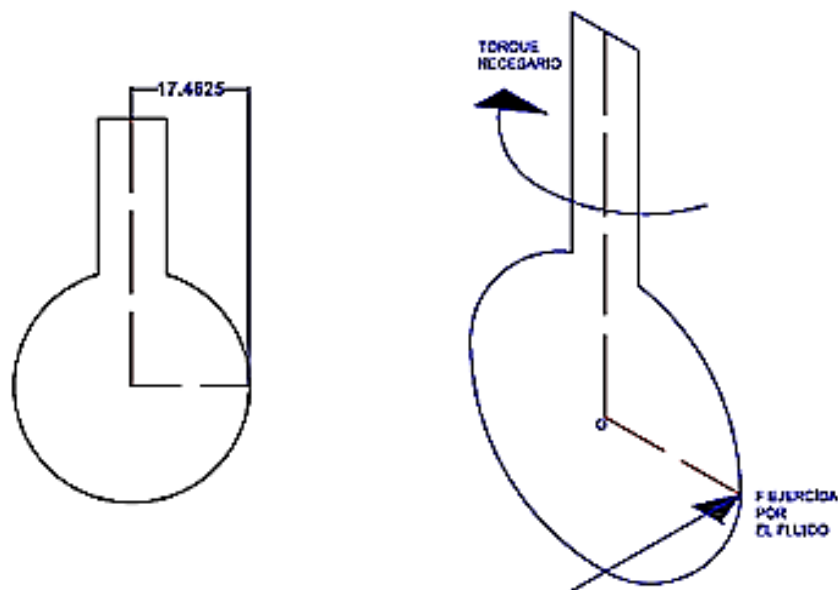


Figura 3.22: DCL placa disco.

Se halló el torque utilizando la ecuación 3.11

$$T = F \cdot d [Nm] \quad (3.11)$$

$$T_1 = F_{fluido} \cdot r_{disco}$$

Donde:

$T_1$ : Es el torque que se deberá generar contrario a la fuerza que ejerce el fluido, para cambiar el estado de movimiento del disco de la válvula.

$F_{fluido}$ : Es la fuerza que ejerce el fluido en la cara del disco ocasionado por la presión generada en el sistema.

$r_{disco}$ : Es la distancia perpendicular al eje de giro del disco de la válvula.

$$T_1 = 39.58[N] \cdot 0.017[m] = 0.5937[Nm]$$

$$T_1 = 0.5937[N \cdot m]$$

$$T_1 = 12.2375[lbf \cdot plg]$$

El torque que se determinó debe ser menor al torque necesario que entrega como dato el fabricante. La válvula para la apertura del mecanismo del disco y vástago requiere generar un torque mayor para cambiar el estado de movimiento de sus partes mecánicas.

$$T_1 \ll M_{girofabricante}$$

$$0.59[Nm] \ll 15[Nm]$$

### 3.3.2.1 Características del actuador.

Las características que cumplirá el actuador neumático giratorio de simple efecto en el proceso de cocción para garantizar el trabajo serán las siguientes:

Las válvulas no realizan un trabajo continuo, cada válvula realiza el proceso de apertura en aproximadamente un promedio de 5 veces en todo el proceso de cocción.

Se utilizarán 3 válvulas con actuador neumático, lo cual hace que en promedio se realicen 15 procesos de apertura. Por esta razón se seleccionó un actuador neumático giratorio de simple efecto.

- Los actuadores neumáticos pueden ser controlados mediante el controlador lógico programable a través electroválvulas direccionales, siendo aptos para la aplicación de automatización en el proceso de cocción.
- Al poder estar en contacto con el agua no deben poner en riesgo a los operadores de la planta ni a los distintos equipos que se encuentran en ella. Por tal motivo son aptos para el trabajo.

- Deben ser desmontadas de la planta con facilidad. Al tener uniones clamp es muy simple desmontar de la planta a las válvulas.
- El actuador neumático debe ser liviano y no requerir de mecanismos extra para la sujeción del mismo.

### 3.3.2.2 Selección de la válvula comercial.

Después de haber realizado los cálculos de presión de trabajo del sistema, y el torque generado por la presión del fluido, se seleccionó la válvula de grado alimenticio tipo mariposa. En la tabla 3.23 se presentan los datos generales de la válvula.

Tabla 3.23

Datos generales de la válvula tipo mariposa de grado alimenticio.

<i>No.</i>	<i>Denominación</i>	<i>Valores</i>
1	Marca	INOXPA
2	Código	DN 10
3	Diámetro nominal de la válvula [plg]	1 1/2 "
4	Presión máxima de trabajo [psi]- [Kpa]	145-1000
5	Temperatura máxima de trabajo [°C]	121
6	Torque máximo de maniobra [Nm]	15
7	Material	AISI 316 L
8	Tipo de conexión	Clamp.
9	Juntas en contacto con el producto	EPDM

Fuente: (INOXPA, 2015).

En la tabla 3.24 se presentan los datos técnicos del actuador neumático que utilizará la válvula.

Tabla 3.24

Datos generales del actuador neumático.

<i>No.</i>	<i>Denominación</i>	<i>Valor</i>
1	Tipo	SIMPLE EFECTO
2	Consumo de aire comprimido/ Ciclo [L]- [m <sup>3</sup> ]	0.15-0.00015
3	Presión de aire Comprimido [PSI]-[KPa]	87-600
4	Momento de giro [Nm]	15
5	Peso [Kg]	2.13

Fuente: (INOXPA, 2015).

Como se puede observar en la tabla 3.24 numeral 4 el momento de giro que entrega el actuador a la válvula, es mucho mayor que el torque requerido para vencer la presión de operación del fluido, garantizando la apertura y cierre de los mismos de manera adecuada.

### 3.3.3 Sistema Neumático y componentes.

El aire es un fluido que se encuentra en la atmosfera de la Tierra, es uno de los fluidos más abundantes que existen en el planeta. En la ingeniería ha sido utilizado en múltiples funciones, una de ellas son los sistemas neumáticos.

El aire es conducido a través de un filtro mediante un dispositivo denominado compresor. El aire es comprimido y almacenado en un recipiente cerrado entregando presión al aire comprimido.

El aire comprimido para poder ser utilizado con actuadores neumáticos pasa por una unidad de mantenimiento, la que se encarga de filtrar y regular el aire que será transportado hacia los actuadores. En el filtrado se condensan las partículas de agua e impurezas que pueda poseer el aire.

Luego de que el aire comprimido pasa por la unidad de mantenimiento puede ser distribuido a los distintos dispositivos mediante válvulas, tuberías, codos, elementos de regulación, entre otros.



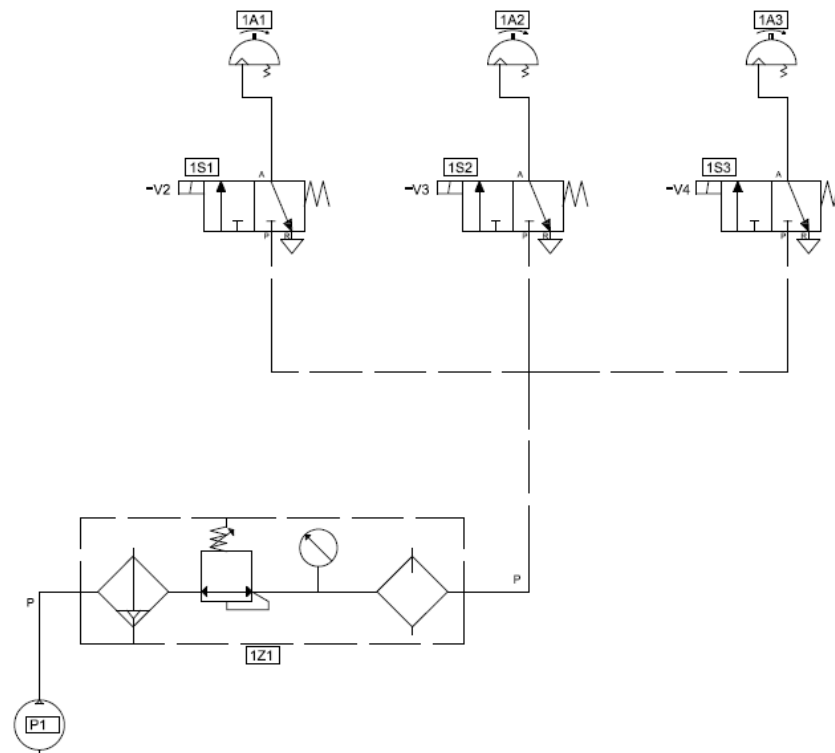


Figura 3.23: Sistema neumático

### 3.3.3.1 Componentes del sistema neumático.

Para realizar el trabajo mecánico utilizando la energía proporcionada por el aire comprimido, es necesario utilizar componentes mecánicos que permitan realizar esta operación. Entre los componentes más importantes se encuentran los siguientes.

#### 3.3.3.1.1 Válvulas de control direccionales neumáticas.

El proceso de apertura y cierre de las válvulas se realiza mediante el suministro de aire a los actuadores giratorios de simple efecto. El control de los actuadores en el proceso automático de cocción se lo debe realizar a través de un interfaz humano máquina HMI y el controlador. Para realizar el control sobre los actuadores mediante el controlador lógico programable y el HMI, se requieren de electroválvulas direccionales. Una válvula direccional neumática es una válvula que permite direccionar el aire comprimido necesario hacia los dispositivos de trabajo. (Parr, 2010).

Existen varias configuraciones para las válvulas y todas ellas dependen del actuador neumático al cual serán conectadas o la función que realizarán.

Si un dispositivo neumático es de doble efecto será necesario conectar el actuador neumático (pistones, motores, herramienta, etc.) a una válvula direccional que permita suministrar aire comprimido a las dos vías del dispositivo.

Si un dispositivo neumático es un dispositivo de simple efecto, será necesario conectar el actuador neumático a una válvula de control direccional que permita suministrar aire comprimido a la única vía del actuador.

Las vías de una válvula de control direccional según la norma ISO 1219-1, ISO1219-2, se identifican mediante letras mayúsculas y se enuncian con las primeras letras del abecedario. Las vías de suministro de aire se denotan con la letra P y la vía de retorno o escape de aire se denota con las letras R, S, T.

Las válvulas de control direccional neumático también pueden ser manipuladas mediante suministro de aire, estas vías de mando se denotarán con las letras X, Y, Z.

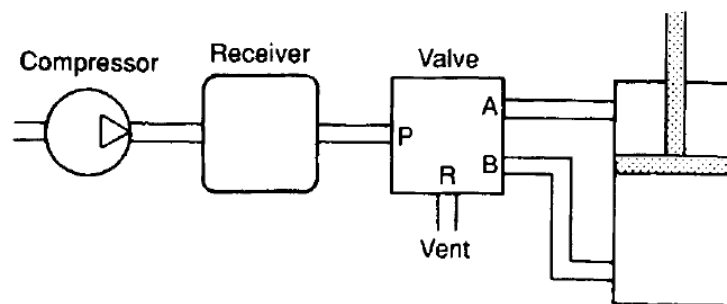


Figura 3.24: Denotación de vías de válvulas direccionales.

Fuente: (Parr, 2010).

Según la Norma ISO 5599-1 las letras denotadas en la sección anterior podrán ser identificadas mediante números. La elección entre una simbología u otra dependerá de del constructor o diseñador. En la tabla 3.25 se describe la simbología a través de letras y a través de números.

Tabla 3.25

Simbología de vías de trabajo de válvulas de control direccional.

<b>Designación de conexiones</b>	<b>Letras</b>	<b>Números</b>
Conexiones de trabajo.	A, B, C	2, 4, 6
Conexión de presión, alimentación de energía.	P	1
Escapes, retornos.	R, S, T	3, 5, 7
Descarga	L	
Conexiones de mando	X, Y, Z	10, 12, 14

Fuente: (Festo, 2015).

### **Control de válvulas direccionales**

Las válvulas de control direccionales para cambiar su posición de control deben ser pilotadas por un elemento de pilotaje externo para el cambio de posición de las válvulas. Para ser pilotadas existen elementos que permiten realizar su control. En neumática los elementos de pilotaje son simbolizados gráficamente dependiendo de su forma de operación.

Los elementos pilotados son los siguientes:

Accionamiento manual.

- Por pulsador.
- Por pedal.
- Por palanca.
- Muelle.

Accionamiento eléctrico.

- Solenoide.
- Servopilotada.

Accionamiento neumático.

- Por aplicación de presión.
- Presión diferencial.

### **Selección de válvula de control direccional neumática.**

Se han descrito las características generales de las válvulas de control direccionales. Esto permite seleccionar de manera adecuada la válvula de control para

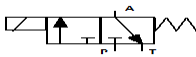
los actuadores que se requieren en el proyecto. La presión de operación de la válvula deberá ser mayor que la presión de trabajo del actuador, para evitar daños en la válvula de control direccional.

Los actuadores neumáticos de giro son de simple efecto por tal motivo se seleccionó una válvula de 3 vías y 2 posiciones “3/2”. Para ser activadas mediante el controlador se utilizará una válvula pilotada mediante un solenoide y para el retorno a su posición un muelle mecánico.

En la tabla 3.26 se describen las características de la válvula a utilizar.

Tabla 3.26

Datos técnicos válvula de control de direccionamiento neumática.

<i>Designación</i>	<i>Características</i>
Fabricante	CHANTO
Orificio [mm <sup>2</sup> ] - (Cv)	14-0.78
Fluido de operación	Aire comprimido
Rango de presión [psi]	0- 101
Número de vías	3
Posiciones	2
Elemento piloto posición 1	Solenoide 24 [Vdc].
Elemento piloto posición 2	Muelle.
Estado Inicial	NC (Normalmente cerrada).
Símbolo	

Fuente: (Chanto, 2015).

Se seleccionó el modelo de válvula direccional de control neumática, en base a las necesidades del proyecto y la aplicación. En el proceso de cocción se utilizarán 3 electroválvulas direccionales de control neumático.

### 3.3.3.1.2 Fuente de energía neumática. Compresor.

El compresor es un dispositivo utilizado para comprimir el aire, trabaja como una bomba de gas diseñada para entregar caudales, desde bajos hasta moderados, a una presión muy alta. Esto permite realizar trabajos como desplazar un pistón, mover una

herramienta neumática como un taladro, o llenar las llantas con aire en un vehículo, entre otras. Los compresores se clasifican en varios tipos según las aplicaciones requeridas. En la tabla 3.27 se observan los diferentes tipos de compresores y sus aplicaciones.

Tabla 3.27

Clasificación general de los compresores industriales.

<b>Tipos</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicaciones</b>
Compresor de pistón	Está compuesto por un pistón. Este pistón desciende en el momento de la admisión de aire y se abre una válvula de ingreso lo que permite que el aire sea almacenado en el cilindro.	Utilizado en procesos con presiones elevadas y volúmenes relativamente bajos.
Compresor de tornillo.	El compresor de tornillo es un compresor rotativo, que está compuesto mediante dos tornillos con una separación mínima (0.05mm). En el momento en que los tornillos giran, el aire es conducido a través de los tornillos y transportado hacia el tanque de acumulación.	Utilizado en procesos en los que se requieran presiones medias (< 10bar) y con flujos de alrededor a 10000 m <sup>3</sup> /h
Compresor rotativo de paletas	El compresor giratorio de paletas es capaz de generar presiones bajas (< 3bar). Comúnmente, no poseen un tanque de acumulación.	Este tipo de compresores es utilizado para trabajar con aire a bajas presiones. Utilizado para procesos de pintura y limpieza.
<i>Compresores dinámicos</i>	Los compresores dinámicos son capaces de generar mayor flujo de aire (sobre los 5000 m <sup>3</sup> /min), a bajas presiones.	Los compresores son utilizados en procesos industriales que requieran caudales sobre los 1000 m <sup>3</sup> /min.

Fuente: (Parr, 2010).

El proceso requiere de tres válvulas de grado alimenticio tipo mariposa con actuador neumático de simple efecto, la presión de trabajo requerida por cada válvula será de 90 psi y el consumo de aire por ciclo será de  $0.15 \text{ lt}/\text{ciclo}$ . Un ciclo de trabajo del actuador conlleva utilizar la cantidad de aire mostrada durante la apertura y cierre de la válvula.

Para determinar un caudal volumétrico de aire es necesario realizar las siguientes suposiciones, caso contrario no se podría determinar un flujo volumétrico del compresor:

- El flujo de trabajo será el aire, el cual se comportará como un gas ideal, y trabajará a presión constante.
- Se considerará que cada válvula en condiciones de trabajo máximas realizará 6 ciclos de trabajo por minuto.

Al tomar en cuenta estas consideraciones, se puede determinar el caudal de aire requerido por minuto por cada válvula operando a 6 ciclos por minuto.

$$Q_{airev} = \frac{[l]}{\text{ciclo}} \cdot \frac{\#\text{ciclos}}{\text{min}} \quad (3.12)$$

Donde:

$Q_{airev}$ : Es el Flujo volumétrico de aire comprimido expresado en  $[l]/\text{min}$ .

$\frac{[l]}{\text{ciclo}}$ : Son los litros de aire comprimido necesarios para realizar un ciclo de trabajo en la válvula.

$\frac{\#\text{ciclos}}{\text{min}}$ : Son los ciclos de trabajo que realiza el actuador durante un minuto.

En la ecuación 3.11 se reemplazan los datos del fabricante y el número de ciclos por minuto establecidos y se obtiene el caudal consumido por cada válvula:

$$Q_{airev} = \frac{0.15[l]}{\text{ciclo}} \cdot \frac{6\text{ciclos}}{\text{min}}$$

$$Q_{airev} = 0.9 \frac{[l]}{\text{min}}$$

Existen tres válvulas de grado alimenticio con actuador neumático, por lo tanto será necesario multiplicar este caudal por las tres válvulas:

$$Q_{aire} = 0.9 \frac{[l]}{\text{min}}$$

$$Q_{airev} = 0.9 \frac{[l]}{\text{min}} \cdot 3$$

$$Q_{aireVT} = 2.7 \frac{[l]}{min}$$

Para la distribución de fluidos se utilizará tubo de poliuretano. El módulo en el que se recomienda conectar las válvulas estará a una distancia de 3 metros. El diámetro de tubo a utilizar será de 4 [mm], la cual es una medida estándar comercial. De igual manera se hará la suposición que el aire circulará a través de ellas durante un minuto continuo y se determinará el flujo de aire que se consumiría en un minuto. La presión máxima de trabajo que soporta el tubo es de 150 [psi].

El área del tubo será de:

$$A_{tubopoliuretano} = 0.00001256[m^2]$$

La cantidad de manguera será de tres metros desde el módulo hacia cada válvula, por tal motivo se utilizarán 9 metros de tubo.

El volumen de aire que circulará a través de los tubos será de:

$$V_{aire tubería} = 0.00001256[m^2] \cdot 9[m]$$

La cantidad de flujo volumétrico en los ductos de aire será de:

$$Q_{aire tubería} = 0.0000282645 \left[ \frac{m^3}{min} \right] = 0.1130 \frac{[l]}{[min]}$$

Se suman los flujos obtenidos para determinar el flujo total de aire requerido por el sistema:

$$\begin{aligned} Q_{totalde\ aire} &= Q_{aire\ tubería} + Q_{aireVT} \\ Q_{totalde\ aire} &= 0.1130 \frac{[l]}{[min]} + 2.7 \frac{[l]}{min} \\ Q_{totalde\ aire} &= 2.813 \frac{[l]}{min} \end{aligned}$$

Los compresores en general expresan el flujo volumétrico en cfm (pies cúbicos por minuto), por lo tanto el caudal total de aire es equivalente a 0.1 cfm .

El compresor deberá suministrar más del caudal volumétrico requerido para operar en condiciones adecuadas. A nivel comercial no existen compresores que entreguen el caudal volumétrico calculado, por tal motivo se seleccionará un compresor que cumpla con el requisito de entregar un caudal mayor al calculado, pero que no exceda su capacidad.

La presión de operación del sistema es de 87 [psi]. El compresor a seleccionar deberá cumplir con este requisito.

Deberá poseer un tanque de almacenamiento de aire comprimido que cumpla con las condiciones calculadas. Dado que el ciclo de trabajo no es continuo requiere de un compresor con un tanque de almacenamiento de bajo volumen.

Al haber realizado el estudio para seleccionar el compresor adecuado, se pueden presentar las condiciones necesarias de funcionamiento que se describen en la tabla 3.28.

Tabla 3.28

Requerimientos de fuente de energía neumática.

<i>No.</i>	<i>Características</i>	<i>Valor</i>
1	Tipo de trabajo	No continuo
2	Presión de trabajo [psi]	87
3	Caudal volumétrico mínimo [cfm]	0.1
4	Almacenamiento de aire	Medio

El compresor seleccionado para la aplicación que cumple con los requerimientos establecidos se indica en la tabla 3.29:

Tabla 3.29

Selección del compresor.

<i>Designación</i>	<i>Características</i>
Fabricante	Porten
Tipo	Pistón
Potencia [HP]	2
Voltaje AC	110/230
Almacenamiento [L]	25
CFM (pies cúbicos por minuto)	3.4
Presión máxima de trabajo [psi]	116

Fuente: (Porten, 2015).

Se ha determinado el compresor necesario para realizar el trabajo y tener la energía neumática requerida para realizar el trabajo.



### 3.3.3.1.3 Unidad de mantenimiento FRL.

El aire en un sistema neumático deberá ser limpio y contener porcentajes de humedad muy bajos para garantizar el correcto trabajo del sistema y mantener periodos de servicio óptimos reduciendo el mantenimiento. El aire que se toma de la atmosfera contiene muchas impurezas como humo, polvo vapor de agua y necesita un tratamiento para poder ingresar a los actuadores y distintos elementos que componen un sistema neumático.

En general, el tratamiento de aire consta de tres etapas:

- Filtrado: En la etapa de filtrado remueve las partículas que pueden dañar los componentes neumáticos del sistema o adherirse a ellos de forma permanente.
- Secado: El secado consiste en eliminar gran cantidad de la humedad que posee el aire comprimido para permitir mandar aire seco hacia los componentes del sistema neumático.
- Regulación: En la etapa de regulación se podrá regular la presión de trabajo del sistema sin modificar ningún parámetro en la fuente de energía neumática (compresor).

Estas tres etapas por las cuales el aire comprimido tiene que pasar para su utilización forman un solo conjunto y se denominan Unidad de mantenimiento neumática. (Parr, 2010).

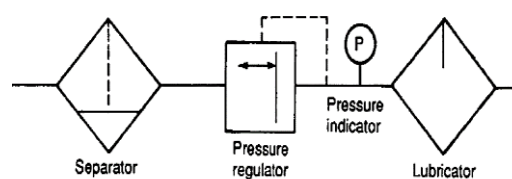


Figura 3.25: Unidad de mantenimiento neumática.

Fuente: (Parr, 2010).

Se seleccionó una unidad de mantenimiento para el sistema que garantice el correcto funcionamiento del mismo. El fabricante de la unidad de mantenimiento es Truper.

### 3.3.3.1.4 Conexiones neumáticas.

Se han seleccionado todos los componentes principales para el funcionamiento del sistema neumático. Sin embargo para realizar las conexiones de todos ellos se

requieren de elementos de conexión rápida para la distribución del aire comprimido, entre los elementos tenemos:

- Racor: El racor es un componente de conexión que permite la unión de una válvula con el tubo o manguera de poliuretano.
- T: Las T derivan el flujo del aire en dos direcciones, permitiendo adaptar dos o más componentes a la misma conexión de aire.
- Tubo de poliuretano: El tubo de poliuretano es el ducto por el cual circulará el aire comprimido.
- Silenciador El silenciador permite enviar hacia la atmosfera el aire que se expulsa al terminar un ciclo de cada válvula.

En la tabla 3.30 se determina la cantidad que se requiere de cada uno de los elementos para esta aplicación.

Tabla 3.30

Conectores neumáticos.

<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Requerimiento</b>
Racor a 90°	3	Se deberán conectar dos racores a 90 ° en cada una de las líneas de trabajo de la electroválvula 3/2	Necesario
Racor recto	6	Se deberán conectar 1 racor en la entrada de presión de la válvula y un racor en la salida de la válvula	Necesario
T	2	Se deberán conectar las T para derivar el flujo de fluido de la entrada principal a cada una de las electroválvulas direccionales 3/2	Necesario
Silenciador	1	Purga de aire.	Opcional
Tubo de poliuretano [m]	9	Son los ductos por los cuales circulará el aire comprimido.	Necesario

Se han descrito en esta sección todos los requerimientos necesarios para el funcionamiento de los actuadores neumáticos, ninguno de los componentes mencionados podrá ser obviado del sistema salvo si en el documento lo dice.

El plano de instalación neumática y control electro- neumático se encuentra en el Anexo 03.

### **3.4 Sistema de agitación para maceración de cerveza.**

El mezclado de fluidos es necesario en algunos de los procesos industriales, en ellos se incluye el mezclado de líquidos con líquidos, gases y líquidos y sólidos con líquidos.

El proceso de agitación se lo realiza dentro del tanque de maceración. Este proceso permite homogenizar la mezcla de cebada con agua y mantener una temperatura uniforme en toda la mezcla.

El proceso de mezclado consiste en generar una turbulencia en el interior del recipiente para poder mezclar de forma homogénea la cebada y el agua y a la vez distribuir el calor en toda la mezcla. Esto permite extraer de forma adecuada las proteínas y azúcares necesarios para la elaboración de cerveza.

Para generar la turbulencia será necesario insertar en el recipiente un agitador mecánico capaz de generar la mezcla.

El mezclado de fluidos y mezclas se realiza generando tres tipos de velocidades:

- Velocidad longitudinal A.
- Velocidad rotacional B.
- Velocidad radial C.

La velocidad longitudinal A permite mezclar el fluido en dirección paralela al eje del agitador.

La velocidad rotacional B permite mezclar el fluido alrededor del eje del agitador.

La velocidad radial C permita mezclar el fluido de forma perpendicular al eje de rotación.

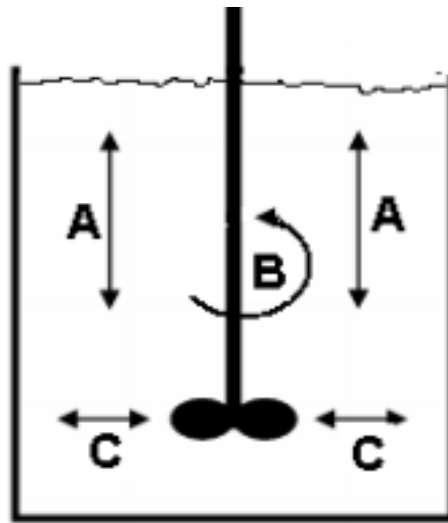


Figura 3.26: Velocidades generadas por un agitador

Fuente: (Colina, 2015).

### 3.4.1 Tipos de mezcladores.

Existen tres tipos de agitadores para fluidos con viscosidades medianas o bajas:

- Mezcladores de paletas o palas.
- Mezcladoras de hélice.
- Mezcladoras de turbina.

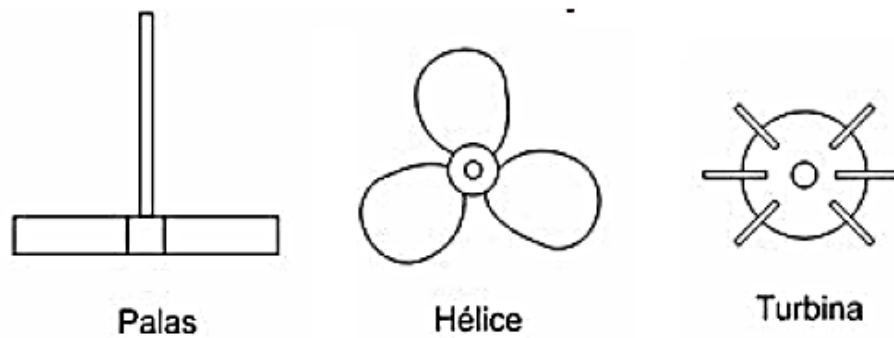


Figura 3.27: Mezcladores o agitadores

Fuente: (Colina, 2015).

Los mezcladores deben ser seleccionados de acuerdo a la aplicación que se requiera. Existen ventajas y desventajas que ofrece cada modelo.

Tabla 3.31

Mezcladores. Ventajas y desventajas.

<b>Tipo de mezclador</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Paletas</b>	Económico. Construcción mecánica sencilla. Óptimo para velocidades bajas. Utilizado en fluidos de mediana y alta viscosidad. Flujo rotacional.	No es efectivo en fluidos de baja viscosidad.
<b>Hélice</b>	Flujo radial longitudinal y rotacional. Utilizado en fluidos de baja y mediana viscosidad. Utilizado en velocidades altas.	Costo de elaboración elevado.
<b>Turbina</b>	Ofrece flujo en todas las direcciones. Puede ser colocado de forma vertical o inclinado al eje vertical. Ideal para fluidos de viscosidad alta.	Elevado costo de implementación.

Fuente: (Colina, 2015).

Lo que se requiere en Cervecería Gourmet es mejorar su sistema de agitación ya existente añadiendo al sistema un mecanismo que permita realizar la agitación. Cervecería Gourmet posee un agitador, tipo paleta. No es utilizado debido a que no tiene un equipo que permita realizar el movimiento del mecanismo. Para ello será necesario instalar un sistema de transmisión de movimiento capaz de entregar velocidades de giro muy bajas, ya que lo que se busca no es generar una gran turbulencia sino que todos los ingredientes se mezclen en proporciones iguales a lo largo del recipiente.

Para determinar que el agitador que posee la empresa es el adecuado se utilizó el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Las alternativas posibles para selección del agitador son:

- Solución A: Agitador de paletas.
- Solución B: Agitador de hélice.
- Solución C: Agitador de turbina.

Los criterios utilizados para la selección del agitador son:

- Velocidad de operación baja.
- Homogenizar mezcla de cebada y agua.
- Fabricación.

Tabla 3.32

Ponderación de criterios para selección del agitador.

Criterio	Velocidad baja	Homogenización de mezcla	Fabricación	$\Sigma+1$	Ponderación
Velocidad baja	-	0	1	2	0.33
Homogenización de mezcla	1	-	1	3	0.50
Fabricación	0	0	-	1	0.17
			Suma	6	1

Tabla 3.33

Ponderación para criterio velocidad baja para el agitador.

Velocidad baja	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0.5
Solución B	0	-	1	2	0.3
Solución C	0	0	-	1	0.2
			Suma	6	1

Tabla 3.34

Ponderación para criterio Homogenización de mezcla para el agitador.

Homogenización de mezcla	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	0.5	2	0.3
Solución B	0.5	-	0.5	2	0.3
Solución C	0.5	0.5	-	2	0.3
			Suma	6	1

Tabla 3.35

Ponderación para criterio fabricación para el agitador.

Fabricación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0.5
Solución B	0	-	1	2	0.3
Solución C	0	0	-	1	0.2
			Suma	6	1

Tabla 3.36

Conclusión para la selección del agitador.

	Velocidad baja	Homogenización de mezcla	Fabricación	$\Sigma$	Orden de selección
Solución A	0.17	0.17	0.08	0.42	<b>1</b>
Solución B	0.11	0.17	0.06	0.33	2
Solución C	0.06	0.17	0.03	0.25	3

Luego de realizar el análisis se determinó que la solución óptima es el agitador tipo paleta denominado solución A.

### 3.4.2 Características generales de un agitador de paletas.

El agitador de paletas es la forma más simple de agitador, que consiste de barras planas paralelas o perpendiculares al eje de agitación, es un mecanismo ideal para girar a velocidades de giro bajas que van entre las 10 rpm hasta las 50 rpm.

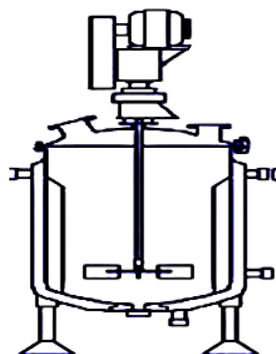


Figura 3.28: Agitador de paletas

Fuente: (Colina, 2015).

### 3.4.2.1 Agitador de paletas tipo reja

El agitador de paleta tipo reja está diseñado para materiales de alta viscosidad y opera a velocidades bajas de revoluciones. Tiene una amplia aplicación en la industria alimenticia, para tanques anchos y donde el bajo cizallamiento es un requisito. Ideal para remover todo el fluido y mezclar de manera uniforme los ingredientes utilizados para la preparación de cerveza.



Figura 3.29: Agitador de paletas tipo reja

### 3.4.3 Análisis mecánico del agitador.

El rendimiento de un agitador en un recipiente dependerá de los siguientes factores:

- El tiempo de mezclado requerido.
- La potencia empleada.
- Las propiedades del producto (viscosidad, densidad, peso específico, número de potencia, número de Reynolds de la mezcla).

Estas características son necesarias para evaluar el correcto funcionamiento de un agitador.



### 3.4.3.1 Cálculo de la potencia para el motor

Para determinar la potencia requerida lo primero que se deberá analizar es el número de revoluciones a la que va a trabajar. Se desea realizar una mezcla homogénea, y que la temperatura se distribuya de manera uniforme dentro del tanque de cocción. Otro factor importante a tratar es verificar que al realizar el proceso de agitación los sensores que se colocarán en el recipiente no sean dañados por causa de choque con el agitador o por exceso de turbulencia. Para poder mantener este parámetro se trabajará con una caja de reducción que nos brinde una reducción entre  $15 < rpm < 25$ .

#### Tipo de motor

Para la selección fue necesario determinar las condiciones de trabajo a las que estará sometido y las condiciones de instalación. Es habitual que en agitadores de recipientes se utilicen motores eléctricos. El motor eléctrico es capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Por esta razón se decidió la utilizar este componente.

#### 3.4.3.1.1 Cálculo de la densidad de la Mezcla.

Para el cálculo de la densidad de la mezcla se toma los datos de la densidad del agua y de la cebada triturada:

Densidad del agua:

$$\rho_a = 1 \frac{kg}{lt}$$

Densidad de la cebada:

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c}$$

Los datos experimentales indican que 1 kg de cebada triturada ingresa en un recipiente de 2,1 [lts] de volumen.

$$m_c = 1 [kg] \quad Y \quad V_c = 2.1 [lt]$$

Por lo tanto:

$$\rho_c = \frac{1 \text{ kg}}{2.1 \text{ lt}}$$

$$\rho_c = 0.4762 \frac{\text{kg}}{\text{lt}}$$

Entonces se realiza el cálculo de la densidad de la mezcla en base a los valores de masa y de volumen que ocupan cada una de las sustancias de la mezcla:

Masa de agua

$$m_a = \rho_a \cdot V_a$$

$$m_a = 1 \frac{\text{kg}}{\text{lt}} \cdot 500 \text{ lt}$$

$$m_a = 500 \text{ kg}$$

Masa de cebada triturada según la receta es de 150 kg entonces se procede a calcular el volumen que ocupa la misma.

$$m_c = \rho_c \cdot V_c$$

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_c}$$

$$V_c = \frac{150 \text{ kg}}{0.4762 \frac{\text{kg}}{\text{lt}}}$$

$$V_c = 315 \text{ lt}$$

Entonces se obtiene la densidad de la mezcla:

$$d_{mezcla} = \frac{m_a + m_c}{V_a + V_c}$$

$$d_{mezcla} = \frac{500 \text{ kg} + 150 \text{ kg}}{500 \text{ lt} + 315 \text{ lt}} = \frac{650 \text{ kg}}{815 \text{ lt}}$$

$$\rho = 0.79754 \frac{\text{kg}}{\text{lt}} \cdot \frac{1000 \text{ lt}}{1 \text{ m}^3} \quad \rightarrow \quad \rho = 797.54 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$d_{mezcla} = \rho = 797.54 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### 3.4.3.1.2 Obtención de la viscosidad dinámica de la Mezcla

Para la obtención del valor de viscosidad dinámica de la mezcla se utilizó un equipo llamado Reómetro de TA Instruments (ver figura 3.30), perteneciente al

Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

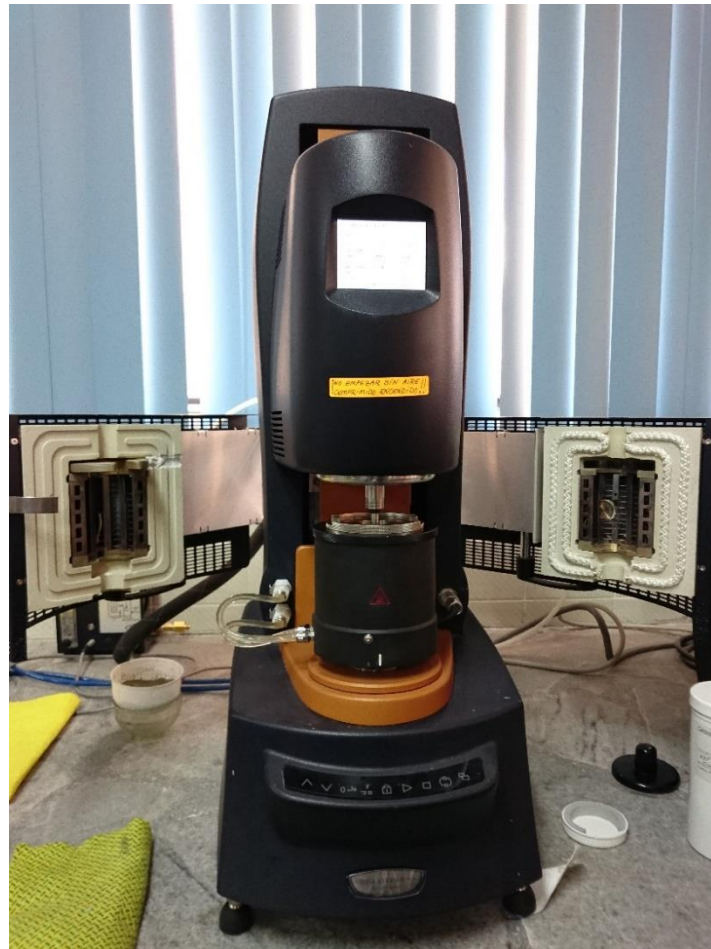


Figura 3.30: Reómetro TA Instruments.

Este equipo sirve para observar el comportamiento de un fluido ya sea este líquido, mezcla o suspensión; sometido a la acción de fuerzas externas, entre sus características se encuentran las mediciones siguientes:

- Ensayos de obtención de viscosidad, tanto en modo estacionario como en aumento lineal de esfuerzo o velocidad de cizalla.
- Ensayos de relajación-esfuerzo.
- Ensayos de creep-recovery.
- Ensayos oscilatorios tanto en modo esfuerzo controlado como deformación controlada (barridos de esfuerzo o deformación, barridos de frecuencia o barridos de tiempo).

- Ensayos de fuerza normal.

El interés para este proyecto es el de obtener el valor de la viscosidad dinámica de la mezcla por lo que se utiliza el ensayo de viscosidad dinámica en modo velocidad de cizalla, con la flexibilidad de analizar a cualquier temperatura dentro de un rango de:  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Existen geometrías especiales que incluyen varias paletas, helicoidal, y rotores de impulsor. Estas geometrías especiales cilindros concéntricos son muy valiosos para la caracterización de dispersiones con estabilidad limitada, evitando el error de deslizamiento en la superficie del material y de materiales con partículas más grandes, para esto el rotor utilizado es de velero (ver figura 3.31).



Figura 3.31: Rotor de velero

Se realizaron 3 ensayos a una temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$  para obtener el dato de viscosidad que se muestra a continuación (ver figura 3.32) y este mismo dato obtenido también mediante la tabla 3.36.

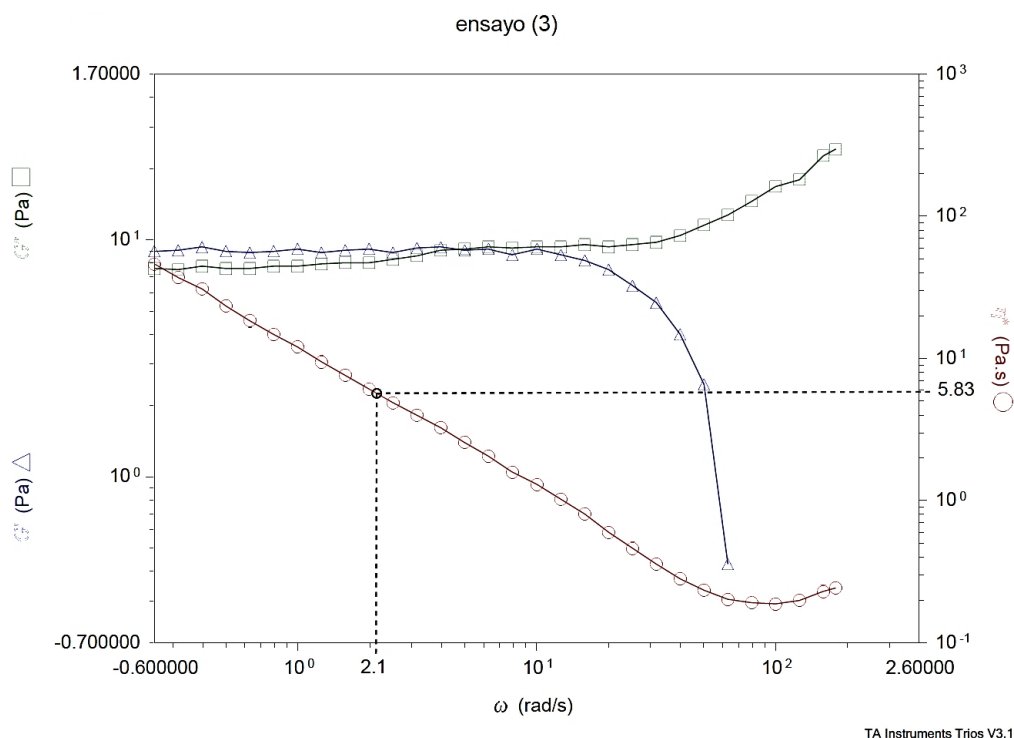


Figura 3.32: Gráfica de velocidad angular vs viscosidad dinámica

En la Figura 3.32 se observan los valores de viscosidad dinámica de la mezcla a medida que se va aumentando la velocidad angular. En la escala logarítmica se ubica el valor de 2.1 rad/s que corresponde a los 20 rpm con los que trabajará el agitador en el tanque de maceración.

De acuerdo a los datos de la Tabla 3.36 obtenidos por el software del Reómetro TA Instruments para obtener el valor de viscosidad a 2.1 rad/s se realiza una interpolación en vista de que en los puntos tomados por el software no hacen referencia exacta a dicho valor.

$$y_2 = \frac{(x_2 - x_1) \cdot (y_3 - y_1)}{(x_3 - x_1)} + y_1 \quad (3.13)$$

En la Tabla 3.37, la variable “x” serán los valores correspondientes a la velocidad angular mientras que Y serán los valores correspondientes a la viscosidad dinámica, se toman los valores de los ítem 14 y 15.

$$y_2 = \frac{(2,1 - 1,99526) \cdot (4,83671 - 6,07791)}{(2,51189 - 1,99526)} + 6,07791$$

$$y_2 = 5.8263$$

Por lo tanto

$$\mu = 5.8263 [Pa \cdot s]$$

Tabla 3.37

Viscosidad dinámica de mezcla a 50 °C.

No.	Angular frequency rad/s	Temperature °C	Complex viscosity Pa.s
1	0,1	50	124,262
2	0,125892	49,998	96,5859
3	0,15849	49,995	75,8966
4	0,199526	50,011	59,4385
5	0,251189	49,997	46,5315
6	0,316228	50,003	37,0898
7	0,398107	50,001	30,5438
8	0,501188	50,002	23,3618
9	0,630957	49,998	18,4535
10	0,794327	49,988	14,8237
11	1	49,987	11,9655
12	1,25892	49,983	9,42741
13	1,5849	49,988	7,6008
<b>14</b>	<b>1,99526</b>	<b>49,995</b>	<b>6,07791</b>
<b>15</b>	<b>2,51189</b>	<b>49,992</b>	<b>4,83671</b>
16	3,16229	50,001	3,98273
17	3,98105	50,003	3,27336
18	5,01186	50,005	2,55822
19	6,30957	50,002	2,06926
20	7,94327	50,004	1,5939
21	10,0001	50,005	1,30519
22	12,5892	50,01	1,00977
23	15,849	50,003	0,794968
24	19,9526	50	0,600182
25	25,1188	49,999	0,459319
26	31,623	49,994	0,353459
27	39,8105	49,999	0,280026
28	50,119	50	0,235066
29	63,0957	49,989	0,2023
30	79,4327	49,995	0,189092
31	100	49,996	0,187193
32	125,892	50,007	0,197764
33	158,488	50,001	0,229037
34	179,999	50,006	0,240085

### 3.4.3.1.3 Determinación de la potencia del motor.

Una vez obtenidos los parámetros se procede a calcular el valor de Reynolds.

$$Re = \frac{N \cdot Da^2 \cdot \rho}{\mu}$$

Datos:

$$N = 20 \text{ [rpm]}$$

Este dato es el promedio de los valores que hacen referencia al parámetro para una mezcla homogénea y que la temperatura se distribuya uniformemente.

$$N = 20 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} \quad \rightarrow \quad N = 2.1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$Da = 680 \text{ [mm]}$$

Este dato es el diámetro efectivo conformado por las paletas del agitador que posee la empresa Cervecería Gourmet.

$$\mu = 5.8263 \text{ [Pa}\cdot\text{s]}$$

Este dato es la viscosidad dinámica obtenida de forma experimental con ayuda del Reómetro TA Instruments.

$$Re = \frac{2.1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot (0.68 \text{ m})^2 \cdot 797.54 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{5.8263 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}}$$

$$\mathbf{Re = 132,92}$$

Una vez obtenido el valor de Reynolds se hace referencia a la Figura 3.36 donde se observa la relación entre el número de Reynolds VS el número Potencia y basado en la curva 14 que corresponde al agitador de paletas en estanques sin placas deflectoras- dato de White y Sumerford, con el valor de Reynolds obtenido se busca la intersección con la curva 14 y se proyecta este punto hacia el eje correspondiente al número de potencia donde se encuentra su valor dado en escala logarítmica, por lo tanto el número de Potencia  $N_p=1.6$ , tal como se indica con un punto de color rojo en la figura 3.33.

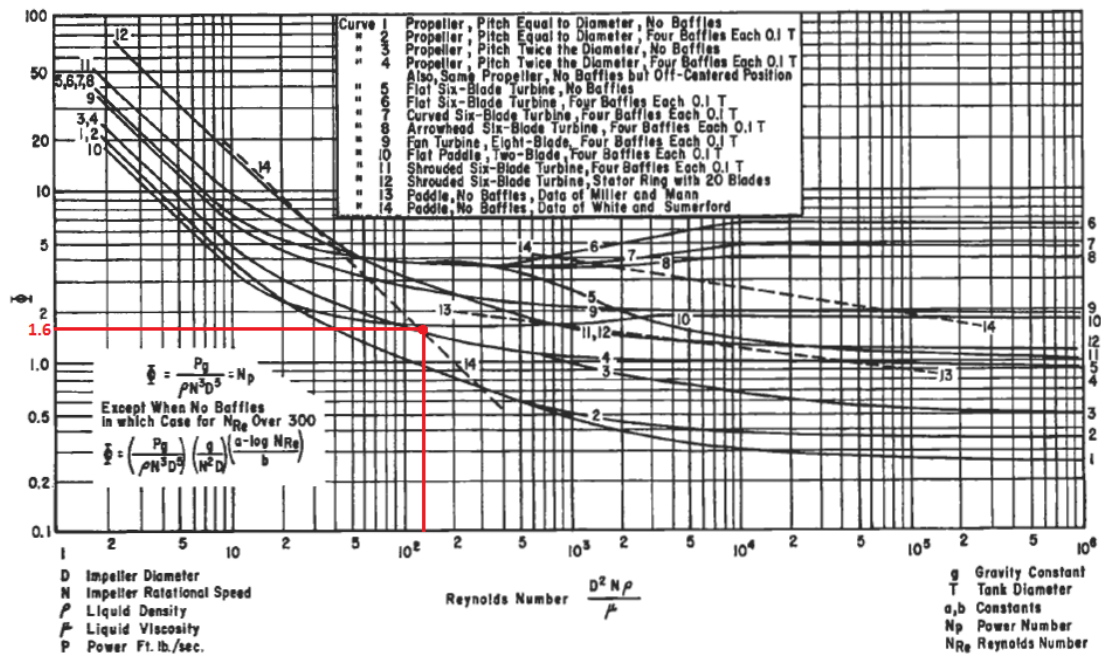


Figura 3.33: Número de Reynolds VS Número de Potencia

Fuente: (Ludwig, 1999).

Una vez obtenidos los datos para calcular la potencia se procede a hacer uso de la ecuación 3.14.

$$P = Np \cdot \rho \cdot D_a^5 \cdot N^3 \quad (3.14)$$

$$P = 1.6 \cdot 797.54 \frac{kg}{m^3} \cdot (0.68 m)^5 \cdot \left(2.1 \frac{rad}{s}\right)^3$$

$$P = 1718,2047 \text{ Watts}$$

$$P = 1718,2047 \text{ Watts} \cdot \frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ Watts}}$$

$$P = 2.3 [\text{HP}]$$

Se debe considerar el factor de rendimiento del motor comercial a seleccionarse por lo tanto se ha elegido un motor de 3 [HP] cuyas características se muestran en la tabla 3.38.



Tabla 3.38:

Características del motor para el sistema de agitación

<b>Motor Monofásico WEG-Usó General</b>		
<b>Norma</b>		IEC
<b>Frecuencia</b>		60 Hz
<b>Voltaje nominal</b>		220/440V
<b>Polos</b>		4
<b>Potencia [HP]</b>		3
<b>Peso</b>		44.0 kg
<b>Rotación nominal [RPM]</b>		1750 rpm
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>50%</b>	77
	<b>75%</b>	81
	<b>100%</b>	81.5
<b>Factor de Potencia</b>	<b>50%</b>	0.68
	<b>75%</b>	0.77
	<b>100%</b>	0.83
<b>Corriente nominal</b>		7.50 A
<b>Protección</b>		IP55

Fuente: (WEG, 2015).

Una vez con el valor del factor de rendimiento del motor comercial seleccionado se procede a hacer el cálculo de la potencia real de trabajo del motor, por lo tanto se toman los valores tanto de eficiencia al 100% como de la potencia del motor de la tabla 3.38:

*% eficiencia*: Porcentaje de eficiencia del motor.

$P_{motor}$ : Potencia del motor.

$$P_{real} = \% \text{ eficiencia} \cdot P_{motor} \quad (3.15)$$

$$P_{real} = 0.815 \cdot 3[HP]$$

$$P_{real} = 2.445[HP]$$

La potencia real que entrega el motor es de 2.445[HP] y la potencia requerida por el sistema de agitación es de 2.3[HP], por lo tanto se observa que el motor seleccionado si abastece para la potencia requerida por el sistema de agitación.

El plano geométrico del agitador se encuentra en el Anexo 4.

## CAPÍTULO IV

### Diseño electrónico e instrumentación

En el presente capítulo se realiza el diseño para la implementación del sistema electrónico de control del proceso mediante la selección del controlador, sensores, elementos de maniobra, mando y señalización con el objetivo de implementar el tablero de control y la correcta instalación de sensores de temperatura y medición de nivel. La metodología utilizada para la selección de componentes electrónicos se basa en el método ordinal corregido de criterios ponderados, herramienta que permitirá decidir entre diversas soluciones para los principales elementos que intervienen en el sistema.

#### 4.1 Determinación de necesidades en el diseño electrónico e instrumentación.

De la misma manera como se planteó en el capítulo III para realizar el diseño mecánico, se deberá establecer las necesidades requeridas por el operador y el diseñador para establecer un óptimo sistema eléctrico y electrónico.

Para ello se plantean las necesidades del sistema eléctrico y de instrumentación, las funciones de cada uno de ellos y la propuesta en la tabla 4.1.

Tabla 4.1

Definición de necesidades en el diseño electrónico e instrumentación.

No.	Necesidad	Función	Propuesta
1	Instrumentación y sensores	sistema de medición de temperatura y nivel seleccionando de manera adecuada los sensores	Operador/ Diseñador
2	Componentes eléctricos	Realizar el control de actuadores mediante controladores y equipos eléctricos necesarios.	Diseñador
3	Instalación del tablero eléctrico	Tablero compacto y móvil	Diseñador

La metodología de selección de componentes se realiza mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados.

## **4.2 Instrumentación y sensores**

En la cocción de cerveza existen dos variables físicas principales que intervienen en el proceso de manera directa, estas variables son la temperatura de los fluidos y mezclas así como el nivel de líquido. La medición de temperatura y nivel de líquidos son fundamentales en el proceso de cocción de cerveza, ya que de ellas dependerá la elaboración de los distintos tipos de cerveza a producir.

Es necesario suministrar energía en forma de calor a los ingredientes que intervienen en el proceso tales como la cebada malteada y el agua con la finalidad de elevar la temperatura. Esto permite extraer las proteínas y azúcares de las sustancias mezcladas con el fin de generar el mosto, del cual se hace la cerveza.

El nivel de líquido a suministrar en el sistema permite realizar la mezcla de cebada y agua formando una sustancia acuosa. Sin embargo, es necesario suministrar cantidades de líquido específicas para realizar la mezcla adecuada.

### **4.2.1 Medición de temperatura.**

La temperatura es una magnitud física escalar relacionada con la energía interna de un cuerpo o partícula, dependiente del cambio de la energía cinética de las partículas que conforman una sustancia o cuerpo. (Cengel & Cimbala, 2011).

En el proceso de cocción de cerveza, esta es una de las variables más críticas a medir. Como se explicó en el capítulo II, dependiendo de la temperatura que tenga la mezcla de cebada y agua se obtienen los distintos tipos y sabores de cada una de las 5 cervezas que se elaboran en la empresa Cervecería Gourmet.

#### **4.2.1.1 Temperatura en el tanque de calentamiento de agua.**

Se entrega calor a través del quemador al tanque mediante el proceso de transferencia de calor. Este calor pasa de las paredes delgadas del recipiente al agua que contiene en su interior. Para llenar el tanque de calentamiento de agua se activa la válvula V1 (ver figura 4.1).

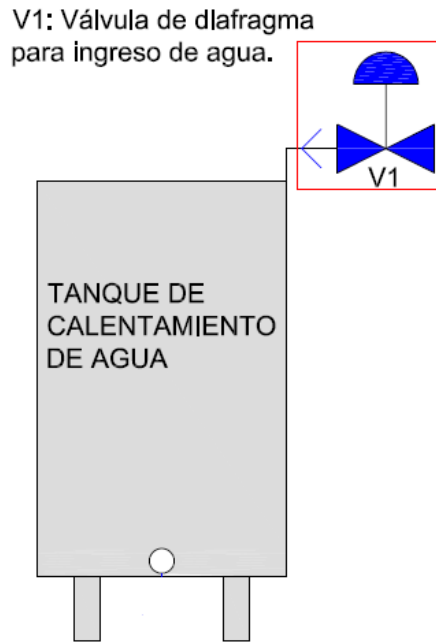


Figura 4.1: Válvula V1 de ingreso de agua.

En el tanque de calentamiento de agua se mide la temperatura de ebullición con el fin de eliminar bacterias que pueden estar presentes en el líquido, llegando a un máximo de 90 °C.

El agua pasa al tanque de maceración mediante el encendido de la bomba de agua B1 y la apertura de las válvulas tipo mariposa V2 Y V3 (ver figura 4.2).

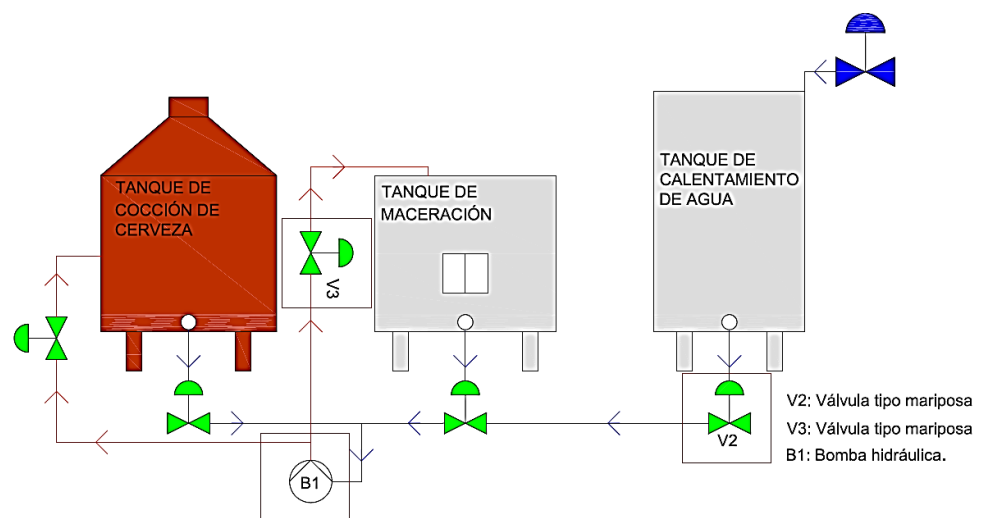


Figura 4.2: Apertura de válvulas V2, V3 y bomba B1.

Luego de este proceso se debe ingresar más agua al tanque de calentamiento para calentarla a 75°C, al llegar a esta temperatura el líquido se utiliza para trasladarla por segunda ocasión hacia el tanque de maceración para lavar la cebada malteada que ha sido hidratada inicialmente.



Figura 4.3: Medición de temperatura en el tanque de calentamiento de agua.

#### 4.2.1.2 Temperatura en el tanque de maceración.

En el tanque de mezclado, se debe ingresar agua del tanque de calentamiento y se mezcla con la cebada malteada y molida. En este recipiente, y dependiendo de la temperatura de escalado de la receta a elaborar, se mide la temperatura hasta el punto marcado por la receta. De esta manera se extraen las proteínas y azúcares de la cebada para diferentes tipos de recetas.

Para obtener una medida de temperatura real se mide a través de dos sensores, un sensor T2, colocado de forma permanente en el recipiente, y el otro dispositivo de medición T3, que se puede medir en cualquier punto del mismo, por lo general en el centro del tanque de mezclado (ver figura 4.4).

Estas temperaturas se comparan, y al medir el valor máximo al que deben llegar y entrar en un rango establecido por el operador se podrán apagar los quemadores. Esto significa que se han extraído los elementos principales de la cebada malteada.

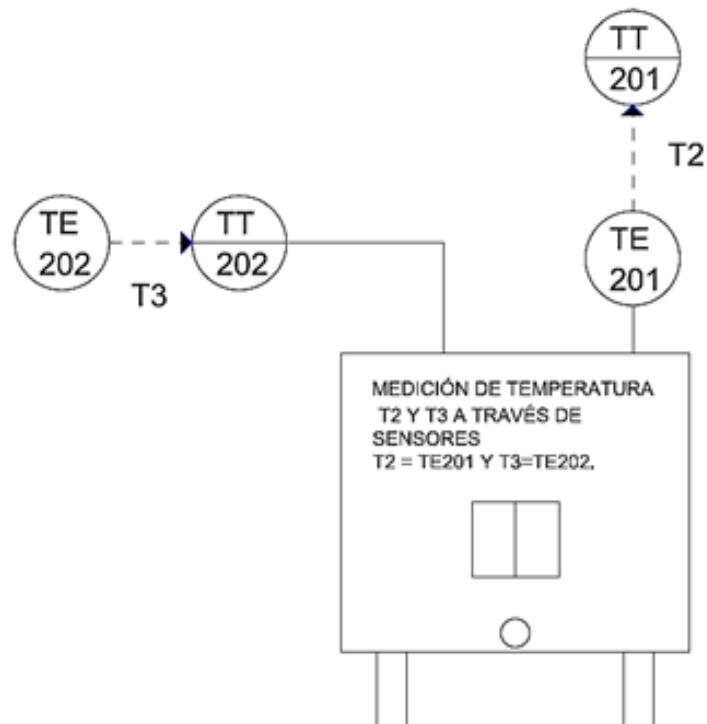


Figura 4.4: Medición de temperatura en el tanque de maceración.

#### 4.2.1.3 Temperatura en el tanque de cocción.

Luego de realizar el mezclado de cebada malteada y agua, realizar la recirculación de líquido, y dejar reposar la mezcla, se deberá trasladar la mezcla al tanque de cocción de cerveza.

En este recipiente se calienta la mezcla hasta llegar a los 80°C. Se añade el lúpulo y levadura para que la cerveza no se contamine con bacterias y adquiera el sabor amargo característico de la cerveza. La levadura se añade con el fin de realizar el fermentado de manera más rápida.

La temperatura se obtiene con el dispositivo de medición móvil introduciéndolo a través de la tapa frontal del mismo, hasta llegar a medir los 80°C, temperatura a la cual se termina la cocción de cerveza.

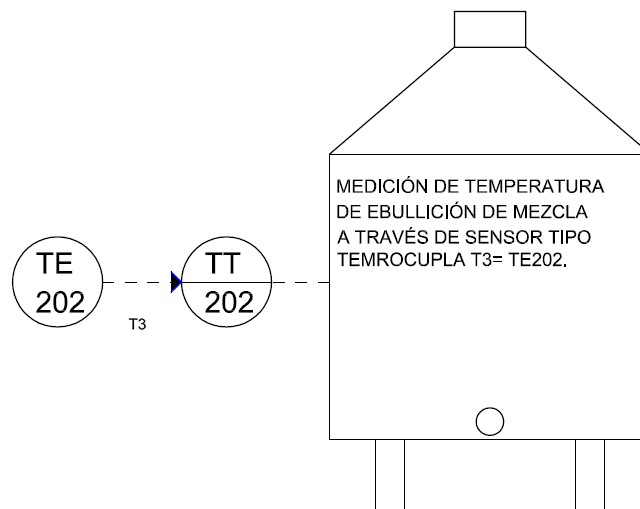


Figura 4.5: Medición de temperatura en el tanque de cocción Boil Kettle.

Se han determinado las temperaturas en los distintos recipientes a medir, para ello se deberá seleccionar un sensor de temperatura óptimo para el proceso.

#### 4.2.1.4 Sensores de temperatura.

Existen diferentes tipos de sensores de medición utilizados en la industria alimenticia y en la industria en general. Estos sensores son capaces de convertir la señal física medida en una señal diferente que puede ser de tipo eléctrica, o puede cambiar alguna propiedad física de los materiales.

Existen diferentes tipos de sensores de temperatura, por tal motivo es necesario estudiar sus características para realizar la selección correcta del dispositivo de medición a utilizarse dentro del proceso.

Para ello, el sensor debe cumplir con los requerimientos dentro del proceso:

- Obtener la medición de temperatura de manera correcta en un rango de alcance entre [25°C a 90°C].
- Ser de fácil montaje y desmontaje dentro del proceso, dado que al terminar la cocción estos sensores deben ser retirados sin mayor dificultad para permitir al operador realizar la limpieza y sanitación de los equipos.
- Permita utilizar las señales emitidas por el sensor a través del controlador lógico programable y utilizarlas en el proceso de automatización.

- La estructura física del sensor debe ser elaborada en un material que al estar en contacto con el fluido, no lo contamine.
- En caso de fallo del sensor este puede ser reemplazado con facilidad.
- La resolución que se sugirió para este proceso será de  $0.1^{\circ}\text{C}$ , esto permite que en el proceso exista menos error en el dato receptado por el controlador. La resolución dependerá también del acondicionamiento de señal.

Estos son los requerimientos necesarios del sensor de temperatura para proceso de cocción automatizado. Se investigó las características de algunos sensores utilizados con frecuencia en la industria alimenticia.

#### 4.2.1.4.1 Sensores de temperatura resistivos RTD.

Este tipo de sensores contienen un resistor, el cual varía su valor cuando la temperatura cambia.

Son muy utilizados en la medición de temperatura en laboratorios, y en la industria en general. Son sensores muy precisos y estables.

Los RTD consisten de una espiral muy fina, enrollada alrededor de un elemento cerámico o de vidrio. Es un elemento muy frágil por lo que es encapsulado dentro de una probeta tubular, que en su gran mayoría es de acero inoxidable (Escalona, 2003).

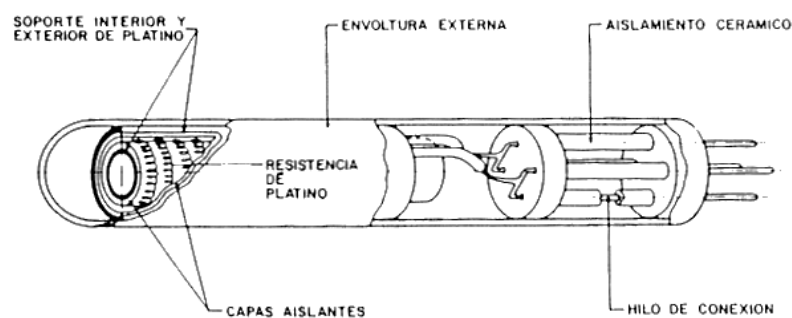


Figura 4.6: Componentes de un Sensor RTD.

Fuente: (Escalona, 2003).

Dentro del grupo de sensores resistivos existen dos tipos de sensores que se clasifican de la siguiente manera:

- NTC: Coeficiente de temperatura negativo.
- PTC: Coeficiente de temperatura positivo.



Las ventajas que ofrece el sensor RTD son:

- Resolución baja.
- Menor porcentaje de histéresis que otros sensores.
- Resistente a altas temperaturas.

Las desventajas que ofrece el sensor RTD son

- Costo elevado del sensor.

#### **4.2.1.4.2 Sensores de temperatura digitales.**

Los sensores de temperatura digitales son conocidos como transductores, puesto que ya emiten una señal de tipo digital. El alcance de medición que poseen es muy bajo, trabajan a temperaturas menores a los 55°C pero poseen una resolución muy alta y poca histéresis. No son comúnmente utilizados en la industria alimenticia, puesto que se han ido desarrollando recientemente.

Pueden ser conectados a varios tipos de controladores como los PLC's, tarjetas de adquisición de datos, microcontroladores, entre otros.

Las ventajas que ofrecen este tipo de sensores son:

- Son muy económicos.
- Tienen la capacidad de enviar valores de temperatura precisos en escalas de temperatura menores a los 20 °C.

Las desventajas que ofrece este tipo de sensores son:

- No son resistentes a altas temperaturas
- Al estar en contacto con fluidos pueden ser averiados.
- No son muy utilizados en la industria alimenticia.

#### **4.2.1.4.3 Sensores de temperatura tipo termocupla.**

La termocupla o termopar es un sensor de temperatura compuesto por dos cables formados por diferentes tipos de metales. Son unidos en un extremo y al estar expuestos al cambio de temperatura genera en el otro extremo un fenómeno denominado efecto termoeléctrico Seebeck (Amrita, 2011). Este fenómeno ocurre debido al cambio de temperatura al que está sometido la unión de los metales. En el

otro extremo se genera un voltaje muy bajo que va en el orden del micro voltio. Este voltaje varía dependiendo de la temperatura.

La señal emitida por estos sensores es de tipo analógica y se puede utilizar con cualquier tipo de controlador, microcontrolador o tarjeta de adquisición de datos. En la industria son los sensores más utilizados ya que poseen un rango de alcance muy elevado en comparación con otros sensores.

Son capaces de medir temperaturas bajo los 0°C y superiores a los 1000°C. Existen diferentes tipos de termocuplas mostrados en la tabla 4.2.

Tabla 4.2

Tipos de termocuplas.

No.	Tipo de termocupla	Metales de formación	Rango de medición de temperatura
1	B	Platino / Rodio.	[0 a 1820°C]
2	E	Niquel Cromo/ Constantan.	[-270a 1300°C]
3	J	Hierro /Constantan.	[-10 a 760°C]
4	K	Niquel Cromo/ Niquel Aluminio.	[-270 a 1372°C]
5	N	Nicrosil / Nisil	[-270 a 1300°C]
6	R	Platino / Rodio.	[-50 a 1768°C]
7	S	Platino / Rodio.	[-50 a 1768°C]
8	T	Cobre/ Constantan.	[-210 a 400° C]

Fuente: (Omega Instruments, 2015).

Una de las termocuplas más comunes utilizadas en la industria alimenticia es la termocupla tipo J, es de menor costo y posee un rango de medición óptimo que va desde los 10 °C hasta los 760°C.

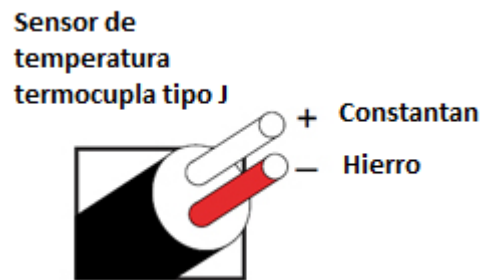


Figura 4.7: Termocupla tipo J.

Fuente: (Omega Instruments, 2015).

El más óptimo para la instalación dentro de procesos industriales alimenticios y utilizados de manera común es la termocupla Tipo J.

Las ventajas que ofrece este tipo de sensor son:

- Bajo costo en comparación con otro tipo de sensores.
- Disponibilidad en el mercado.
- Fácil montaje de sensores.
- Óptimos para el contacto con fluidos.
- Alto rango de medición.
- La resolución del sensor depende del acondicionamiento de señal.

Las desventajas que ofrece son:

- Requieren de protecciones para evitar pérdida de información de la señal.

#### **4.2.1.4.4 Ponderación para la selección del sensor de temperatura.**

Para la selección del sensor de temperatura adecuado se tomó como posibles soluciones basadas en el método ordinal corregido de criterios ponderados tres soluciones siguientes:

- Solución A: Sensor de temperatura Termocupla tipo J.
- Solución B: Sensor de temperatura Resistivo RTD.
- Solución C: Sensor de temperatura Digital.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- Costo.
- Montaje.
- Rango.

Tabla 4.3

Ponderación de criterios para selección de sensores de temperatura.

Criterio	Costo	Montaje	Rango	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	0	1	2	0,36
Montaje	1	-	0	2	0,36
Rango	0,5	0	-	1,5	0,27
			Suma	5,5	1,00

Tabla 4.4

Ponderación del criterio de costo para sensor de temperatura.

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	0	2	0,33
Solución B	0	-	0	1	0,17
Solución C	1	1	-	3	0,50
			Suma	6	1,00

Tabla 4.5

Ponderación del criterio de montaje para sensor de temperatura.

Montaje	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	1	2,5	0,42
Solución B	0,5	-	1	2,5	0,42
Solución C	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1,00

Tabla 4.6

Ponderación del criterio rango para sensor de temperatura.

Rango	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0	1	2	0,33
Solución B	1	-	1	3	0,50
Solución C	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1,00

Tabla 4.7

Conclusión para la selección del sensor de temperatura.

	Costo	Montaje	Rango	$\Sigma$	Orden de selección
<b>Solución A</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,09</b>	<b>0,364</b>	<b>1</b>
Solución B	0,06	0,15	0,14	0,348	2
Solución C	0,18	0,06	0,05	0,288	3

Luego de realizar el análisis a través de la metodología explicada se determinó que el sensor adecuado para la medición de la temperatura es la Termocupla tipo J equivalente a la solución A.

En la tabla 4.8 se presentan las características generales de esta termocupla tipo J, la cual fue seleccionada para el proceso.

Tabla 4.8

Sensor de temperatura Tipo J.

<b>Tipo de sensor</b>	<b>Termocupla Tipo J</b>
Encapsulado	Bulbo de acero inoxidable. A-316
Longitud	30 [cm].
Cable de protección	Cable de protección metálico
Rango de medición	[15°C a 100°C]
Dispositivo de acondicionamiento	Modulo SIEMENS SM 1231 TC
Resolución de medición	0.1°C
Cantidad	3



Figura 4.8: Accesorios y termocupla tipo J.

#### **4.2.2 Medición de nivel de líquido.**

La medición de nivel de líquidos detecta la altura a la que llega un líquido dentro de un recipiente que lo contiene. Cuando se mide determinada altura en un líquido contenido dentro de un recipiente, se puede determinar el volumen de líquido que existe. Es muy importante determinar el nivel de líquidos que se suministra en el proceso de cocción de cerveza por las siguientes razones:

- Cantidades exactas de agua, permiten la producción de cervezas de mejor calidad. Las recetas para la elaboración de cerveza deben contener cantidades de líquido exactas, para evitar mandar menor cantidad de líquido y de esta manera no hidratar correctamente la cebada malteada, o mandar mucho líquido y sobre hidratar la cebada, evitando la extracción de azúcares y proteínas de manera inadecuada.
- Menor consumo de líquido innecesario al no ser medido. De esta manera se consume menos líquido y se utiliza de mejor manera en el proceso.
- Menor gasto de energía eléctrica y energía calórica. Los dispositivos eléctricos trabajarán con un volumen de líquido determinado utilizando la energía necesaria para realizar este trabajo.
- Menor impacto ambiental. Se reduce el consumo excesivo de agua potable, evitando desperdiciar agua de manera innecesaria.

##### **4.2.2.1 Nivel de líquidos en el tanque de calentamiento de agua.**

El agua que se suministra en el proceso de cocción ingresa a través de la válvula V1, al tanque de calentamiento de agua (ver figura 4.1). De este recipiente se suministra líquido tanto al tanque de mezclado como al tanque de cocción.

Para la elaboración de cerveza se deberá suministrar volúmenes de líquido puntuales. Por tal motivo es necesario medir el nivel de líquido de acuerdo a los requerimientos establecidos en las recetas y por el operador que elabora la cerveza. De esta manera se envía líquido en forma proporcional para realizar la mezcla de manera correcta.

El nivel de líquidos detecta la altura que debe tener el agua en el tanque de calentamiento, y de esta forma con las dimensiones del recipiente se calcula el

volumen a suministrar. Por tal motivo, es necesaria la medición del nivel de líquido dentro de este recipiente.

### **Métodos de medición de nivel de líquidos.**

Los métodos de detección de nivel de líquidos se clasifican en dos grupos, medición directa e indirecta.

#### **Métodos directos:**

Los métodos de medición directa, utilizan la altura de líquidos dentro de un depósito, tanque o recipiente estableciendo un nivel de referencia. Deben estar en contacto con el fluido a medir.

#### **Métodos indirectos:**

Los métodos de medición indirecta detectan fenómenos físicos que se producen al cambiar el nivel del líquido, como por ejemplo una onda de ultrasonido que varía al chocar con la superficie de líquido a medir. No suelen estar en contacto con el fluido.

### **4.2.2.2 Selección del sensor de nivel de líquidos.**

Existen diferentes tipos de sensores para la medición de líquidos. Muchos de ellos aprovechan las características físicas del líquido para determinar su nivel.

Para el proceso de cocción se requiere instalar sensores de nivel en el tanque de calentamiento de agua que cumplan con las siguientes características:

- Medición puntual de nivel de líquidos en el tanque.
- Fácil montaje y desmontaje de la planta.
- Capacidad de trabajo a temperaturas de hasta 100°C.
- Los elementos que componen el sensor no deben contaminar el líquido.
- Emitir señales en tiempo real hacia el controlador.
- Permitir la automatización del proceso.
- El sensor deberá detectar la presencia del líquido y enviar una señal digital binaria al controlador.

Se han determinado las necesidades requeridas para la medición de nivel de agua en el tanque de calentamiento.

Para cumplir este requerimiento existen diferentes tipos de sensores. Para la selección de ellos será necesario estudiar las características que poseen.

#### 4.2.2.2.1 Sensor de líquidos por presión diferencial.

Este tipo de sensores utilizan una propiedad física del líquido denominada presión hidrostática, la cual varía según la altura del fluido contenido en un recipiente. Al subir el nivel del líquido también aumentará la presión hidrostática del mismo y de esta forma se relacionará la presión del líquido con su altura.



Figura 4.9: Sensor de medición de nivel por presión diferencial.

Fuente: (Emerson, 2015).

Las ventajas que presenta el sensor de presión diferencial son:

- Es utilizado en recipientes de gran volumen.
- Medición puntual de nivel.

Las desventajas que presentan son:

- Alto costo.
- Sensores de tamaño considerable para aplicaciones de bajo volumen.



#### 4.2.2.2.2 Sensor de medición de líquidos capacitivo.

Este tipo de sensores utilizan una propiedad eléctrica denominada capacitancia. Está compuesto por dos electrodos internos los cuales al estar en contacto con un fluido almacenan cargas eléctricas. Al variar estas cargas cierran contactos internos emitiendo una señal digital. Son capaces de soportar altas temperaturas, pero requieren tener contacto entre la sonda y el fluido a medir. Además deben estar conectados a una fuente de energía eléctrica externa para su funcionamiento y obtención de la señal.

Son muy utilizados en la industria alimenticia.

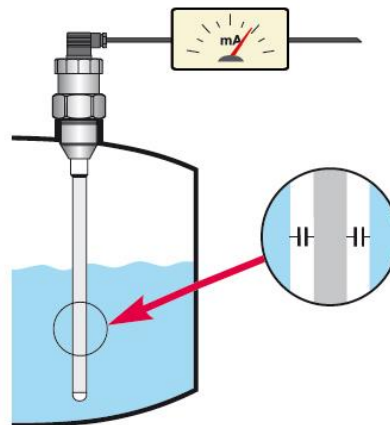


Figura 4.10: Medición de nivel por sensor tipo capacitivo.

Fuente: (DirectIndustry, 2015).

Las ventajas que ofrece este sensor son:

- Medición puntual de nivel.
- Resistente a altas temperaturas de trabajo.
- Fácil montaje.

Las desventajas que ofrece son:

- Alto costo.
- Requieren de una fuente de alimentación para su funcionamiento.

#### 4.2.2.2.3 Sensor de medición de líquidos ultrasónico.

Este tipo de sensores emiten pulsos de sonidos de alta frecuencia por unidad de tiempo, cada pulso se desplaza por el espacio de aire, refleja en la superficie del líquido y regresa hacia el transductor.

De esta manera en un intervalo de tiempo calcula la transmisión y retorno de la onda para determinar la altura que posee el líquido. Es un tipo de sensor de medición continua. Este tipo de sensores no son utilizados en ambientes en el que se genera vapor debido a que la señal podría ser interferida. Son utilizados en recipientes de gran volumen y en procesos de mediciones automáticas.



Figura 4.11: Sensor de nivel de fluidos ultrasónico.

Fuente: (Flowline, 2015).

Las ventajas que ofrece el sensor son:

- Medición de nivel continuo.
- Alta resolución.
- Utilizado en aplicaciones de volúmenes bajos.

Las desventajas que presenta el sensor son:

- Alto costo.
- Requiere de un acondicionamiento de señales.
- No resistente a temperaturas superiores a los 60 °C.

#### 4.2.2.2.4 Sensor de medición de líquidos de flujo recto.

Este tipo de sensor realiza un desplazamiento de un flotador a lo largo de un eje recto. Su funcionamiento se basa en el Principio de Arquímedes, el cual establece que

un cuerpo sumergido en un líquido es empujado hacia arriba por una fuerza que es igual al peso del líquido desplazado. (Cengel & Cimbala, 2011).

El sensor de flujo recto tipo magnético en su interior posee una pieza magnética que al estar cerca del globo flotador cambia el estado de un contacto que posee en su interior. Es fabricado en diferentes materiales entre ellos acero inoxidable.



Figura 4.12: Sensor de medición de líquidos de flujo recto tipo magnético.

Fuente: (EBCHQ, 2015).

Las ventajas que ofrece este sensor son:

- Medición puntual de nivel.
- Resistente a temperaturas superiores a los 121°C
- No requieren de acondicionamiento de señales.
- Envío de señales digitales.
- Resistentes al contacto con fluidos.
- Bajo costo.

Las desventajas que ofrece este sensor son:

- No son utilizados en sistemas de gran volumen.

#### **4.2.2.2.5 Ponderación para la selección del sensor de nivel.**

Para la selección del sensor de nivel adecuado se tomó como posibles soluciones basadas en el método ordinal corregido de criterios ponderados siguientes tres alternativas:

- Solución A: Sensor de medición de líquidos de flujo recto tipo magnético.
- Solución B: Sensor de medición de líquidos a través de un sensor capacitivo.
- Solución C: Sensor de medición de líquidos a través de ultrasonido.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- Costo.
- Montaje.
- Resistencia altas temperaturas.
- Resolución en base al medio.

Tabla 4.9

Ponderación de criterios para selección de sensor de nivel.

Criterio	Costo	Montaje	Resistencia altas temperaturas	Resolución en base al medio	$\sum+1$	Ponderación
Costo	-	1	1	1	4	0,40
Montaje	0	-	0,5	0	1,5	0,15
Resistencia altas temperaturas	0	0,5	-	1	2,5	0,25
Resolución en base al medio	0	1	0	-	2	0,20
				Suma	10	1,00

Tabla 4.10

Ponderación del criterio de costo para sensor de nivel.

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0,50
Solución B	0	-	1	2	0,33
Solución C	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1,00

Tabla 4.11

Ponderación del criterio de montaje para sensor de nivel.

Montaje	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	1	2,5	0,42
Solución B	0,5	-	1	2,5	0,42
Solución C	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1,00

Tabla 4.12

Ponderación de resistencia a la temperatura para sensor de nivel.

Resistencia altas temperaturas	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0,50
Solución B	0	-	0	1	0,17
Solución C	0	1	-	2	0,33
			Suma	6	1,00

Tabla 4.13

Ponderación de resolución en base al medio para sensor de nivel.

Resolución en base al medio	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0,50
Solución B	0	-	1	2	0,33
Solución C	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1,00

Tabla 4.14

Conclusión para selección de sensor de nivel.

	Costo	Montaje	Resistencia altas temperaturas	Resolución en base al medio	$\Sigma$	Orden de selección
<b>Solución A</b>	<b>0,20</b>	<b>0,06</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>	<b>0,49</b>	<b>1</b>
Solución B	0,13	0,06	0,04	0,07	0,30	2
Solución C	0,07	0,03	0,08	0,03	0,21	3

Luego de realizar el análisis a través de la metodología explicada se determinó que el sensor adecuado para la medición del nivel es el sensor de flujo recto tipo magnético

equivalente a la solución A. En la tabla 4.15 se muestran las características técnicas del sensor seleccionado.

Tabla 4.15

Características del sensor de nivel.

<b>Denominación</b>	<b>Características</b>
Marca	EBCHQ
Tipo	Magnético
Medición	Puntual
Máxima temperatura de trabajo °C	[-10°C a 130°C]
Material	Acero Inoxidable AISI A-304
Tipo de señal	L
Cantidad	4

Fuente: (EBCHQ, 2015).



Figura 4.13: Sensor de nivel de flujo recto magnético.

Fuente: (EBCHQ, 2015).

Al haber determinado los sensores que se utilizarán en el proceso se realizó un esquema de distribución P&ID en el que se muestran los sensores y actuadores del proceso.

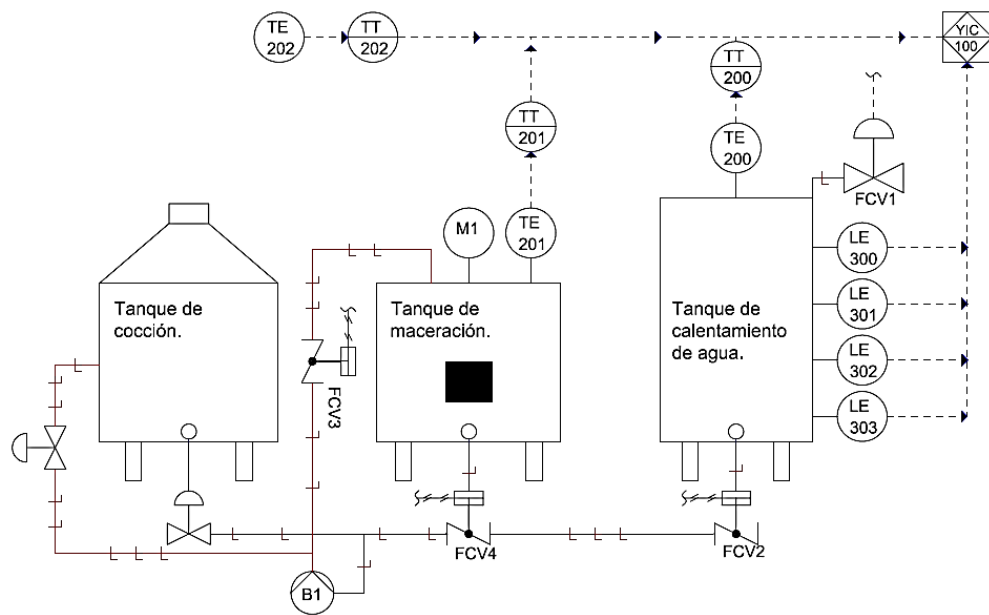


Figura 4.14: Diagrama P&ID Proceso de cocción de cerveza.

### 4.3 Componentes eléctricos.

Para realizar el proceso de cocción de cerveza artesanal de manera automática es necesario utilizar dispositivos eléctricos y electrónicos que permitan realizar esta tarea. Los dispositivos mecánicos tales como agitadores y válvulas requieren ser manipulados a través de un controlador autónomo, para ello será necesario instalar una parte de control eléctrico que permita al controlador y a los dispositivos mecánicos interactuar.

En esta sección se explicará cuáles son los componentes y dispositivos eléctricos, electrónicos seleccionados para el desarrollo del proyecto, la selección adecuada y el dimensionamiento de los mismos.

#### 4.3.1 Dispositivos del sistema de control.

##### 4.3.1.1 Controlador lógico programable PLC.

El PLC, es una computadora utilizada en la ingeniería automática y de control. Es un dispositivo electrónico, que ha podido reemplazar a los circuitos eléctricos físicos

de gran complejidad en un dispositivo pequeño y más robusto. (Siemens S7 1200, 2014).

La estructura básica de este dispositivo es la siguiente (ver figura 4.15):

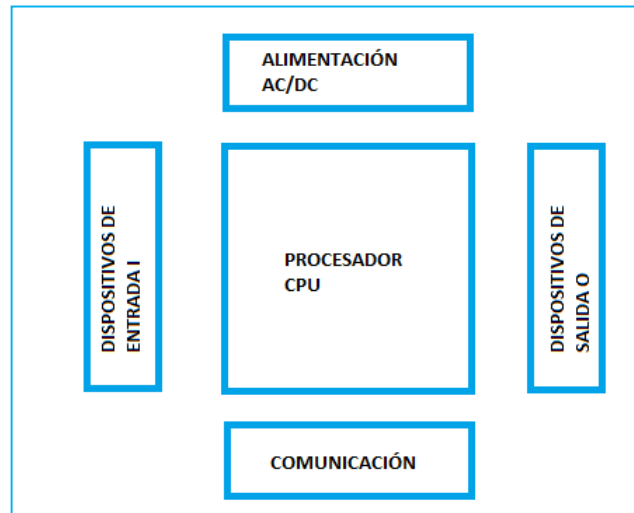


Figura 4.15: Estructura de un PLC.

El PLC, como se muestra en la figura 4.15, se compone de los siguientes parámetros:

- Dispositivos de entrada (I):  
Estos son dispositivos físicos que pueden ser digitales o analógicos, y son enviados hacia el CPU del controlador para realizar alguna función. Los dispositivos de entrada son sensores, botones, transductores, pulsadores, entre otros.
- Dispositivos de salida (O):  
Estos son dispositivos físicos que pueden ser digitales o analógicos, el CPU del controlador envía señales hacia estos dispositivos para su manipulación. Los dispositivos de salida son relés, transistores, indicadores luminosos motores, variadores de frecuencia, pistones, motores, entre otros.
- Fuente de alimentación:  
Suministran energía eléctrica al PLC, para su operación. Estos dispositivos pueden funcionar tanto en voltaje continuo como alterno.



- Comunicación:

El PLC es un dispositivo que permite establecer redes de comunicación industriales entre estaciones PC, HMI, entre otros.

Existen dispositivos como microcontroladores, microprocesadores, plataformas de control, que en la actualidad son muy utilizadas en los procesos de automatización y que posiblemente podrían ser utilizados en el proceso de automatización de cocción de cerveza, no fueron seleccionadas debido a los requerimientos del proceso que se mencionan a continuación:

- Controlador utilizado en procesos industriales.
- Dispositivo capaz de comunicarse con ordenadores o HMI.
- Varios lenguajes de programación para el desarrollo del sistema automatizado.
- Controlador robusto y estable.
- Dispositivo modular capaz de adherirse a ampliaciones en el sistema.
- Dispositivo compacto y de fácil montaje.
- Dispositivo capaz de trabajar durante varias horas de trabajo seguidas.

Los PLC's, son computadores industriales capaces de realizar estas tareas, de manera más sencilla y óptima, además tienen la característica de ampliar su capacidad de trabajo añadiendo módulos de trabajo.

#### **4.3.1.1.1 Selección del Controlador lógico programable.**

Existe una gran cantidad de controladores lógicos programables en la industria desarrollados por varias compañías. Para la selección del controlador fue necesario considerar los siguientes factores:

- Dispositivo de control modular con capacidad de ampliación para varios dispositivos de entrada y salida.
- Software de programación tipo SCL, KOP, FOP.
- Conexión con dispositivos para desarrollo de HMI y ordenadores.
- Disponibilidad en el mercado nacional.
- Económico.
- Fácil montaje.

Otro aspecto fundamental es determinar el número de entradas y salidas que se requieren para el proceso de automatización.

#### 4.3.1.1.2 Ponderación para la selección del Controlador.

Para la selección del controlador adecuado se tomó como posibles soluciones basadas en el método ordinal corregido de criterios ponderados tres soluciones siguientes:

- Solución A: Controlador Siemens S7 1200 1214C.
- Solución B: Controlador Allen Bradley RSLogix 500.
- Solución C: Controlador Xinje.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- Costo.
- Expansión.
- Plataforma Integral.

Tabla 4.16

Ponderación de criterio de evaluación para selección de PLC.

Criterio	Costo	Expansión	Plataforma integral	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	1	0,5	2,5	0,42
Expansión	0	-	0	1	0,17
Plataforma integral	0,5	1	-	2,5	0,42
			Suma	6	1,00

Tabla 4.17

Ponderación del criterio de costo para PLC.

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	0	2	0,33
Solución B	0	-	0	1	0,17
Solución C	1	1	-	3	0,50
			Suma	6	1,00

Tabla 4.18

Ponderación del criterio de expansión para PLC.

Expansión	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	0,5	1	2,5	0,42
Solución B	0,5	-	1	2,5	0,42
Solución C	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1,00

Tabla 4.19

Ponderación del criterio de plataforma integral para PLC.

Plataforma integral	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0,50
Solución B	0	-	0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5	-	1,5	0,25
			Suma	6	1,00

Tabla 4.20

Conclusiones para selección de PLC.

	Costo	Expansión	Plataforma integral	$\Sigma$	Orden de selección
Solución A	0,14	0,07	0,21	0,4166667	1
Solución B	0,07	0,07	0,10	0,2430556	3
Solución C	0,21	0,03	0,10	0,3402778	2

Luego de realizar el análisis a través de la metodología explicada se determinó que el controlador adecuado para automatización del proceso es el PLC Siemens S7 1200 equivalente a la solución A.

En la tabla 4.21 se determinan los dispositivos de entrada requeridos en el proceso.

En la tabla 4.22 se describen los componentes de salida requeridos en el proceso.

Tabla 4.21

Dispositivos de entradas.

<i>Dispositivos de entrada</i>	<i>Tipo de sensor</i>	<i>Tipo de señal</i>	<i>Sensor</i>
<i>1</i>	Sensor de nivel mínimo LS1.	Digital	Sensor de flujo recto magnético.
<i>2</i>	Sensor de nivel intermedio LS2.	Digital	Sensor de flujo recto magnético.
<i>3</i>	Sensor de nivel intermedio LS3.	Digital	Sensor de flujo recto magnético.
<i>4</i>	Sensor de nivel máximo LS4.	Digital	Sensor de flujo recto magnético.
<i>5</i>	Sensor de temperatura T1.	Termocupla	Termocupla Tipo J.
<i>6</i>	Sensor de temperatura T2.	Termocupla	Termocupla Tipo J.
<i>7</i>	Sensor de temperatura T3.	Termocupla	Termocupla Tipo J.

Tabla 4.22

Dispositivos de salida.

<i>Dispositivos de salida</i>	<i>Tipo de actuador</i>	<i>Tipo de señal</i>	<i>Actuador</i>
<i>1</i>	Motor M1	Digital	Bomba hidráulica.
<i>2</i>	Motor M2	Digital	Motor de agitador.
<i>3</i>	V1.	Digital	Válvula para ingreso de agua v1.
<i>4</i>	V2.	Digital	Válvula de grado alimenticio tipo mariposa con actuador neumático V2.
<i>5</i>	V3.	Digital	Válvula de grado alimenticio tipo mariposa con actuador neumático V3.
<i>6</i>	V4.	Digital	Válvula de grado alimenticio tipo mariposa con actuador neumático V4.

Con la información documentada en las tablas 4.21 y 4.22 se determinó que necesitan 4 entradas digitales, 3 entradas del tipo termocupla. Se necesitan de 6 salidas digitales para el control de actuadores. Para el desarrollo del HMI, se requiere de la comunicación tipo Ethernet. Además para poder ampliar el proceso el sistema debe tener la capacidad de ampliación, por tal motivo se requiere de un PLC modular.

El PLC seleccionado cumple con todos los requisitos planteados.

Este controlador tiene las siguientes características técnicas que se muestran en la tabla 4.23.

Tabla 4.23

Características técnicas PLC Siemens S7 1200 CPU 1214 C.

<b>Características técnicas</b>	
Memoria de trabajo [Kb]	75
Entradas digitales integradas.	14
Salidas digitales integradas.	10
Entradas analógicas integradas.	2
Consumo de corriente en cada entrada digital [m A].	4
Tipo de salidas	Relé
Capacidad de ampliación de módulos E/S.	8
Capacidad de ampliación de módulos de comunicación.	3
Corriente máxima en salidas digitales [A].	2
Voltaje salidas digitales [AC]/[DC].	220/24
Comunicación.	Ethernet

Fuente: (Siemens, 2015).

#### **4.3.1.2 Módulo de señales analógicas SM1231 TC.**

Para la detección de temperatura en el sistema, fue necesario seleccionar un módulo capaz de detectar las señales de las termocuplas Tipo J, acondicionarlas y

enviarlas al PLC. Se requería un módulo capaz de realizar esta tarea con tres termocuplas.

Para realizar esta tarea se seleccionó el módulo analógico de termopar SM 1231 TC de Siemens. Este módulo es capaz de medir la tensión conectada en sus entradas. El valor que el dispositivo puede medir es como termopar o voltios. Las características técnicas que ofrece el módulo se muestran en la tabla 4.24.

Tabla 4.24

Características técnicas SM 1231 TC.

<b>Denominación</b>	<b>Características</b>
Tipo.	TC aislado y [m V]
Resolución [°C/°F].	0.1/0.1
Consumo de corriente [m A].	40
Número de entradas.	4
Tipo de procesamiento de dato.	Int (Entero)
Tipo de termocuplas que soporta.	J, K, T, E,R,S.
Alimentación [VDC].	24
Canales de conexión	0, 1, 2, 3

Fuente: (Siemens, 2015).

#### **4.3.2 Elementos eléctricos de maniobra, mando y señalización.**

Los elementos de maniobra son dispositivos eléctricos que permiten cambiar las condiciones de un circuito eléctrico al cambiar su estado. Estos dispositivos permiten alimentar de energía eléctrica y de cortar el suministro de energía eléctrica para dispositivos como motores, válvulas, bobinas, entre otros. Los elementos de maniobra utilizados para la automatización del proceso de cocción de cerveza artesanal, son los siguientes:

- Relés de maniobra auxiliares.
- Contactores eléctricos.

Los elementos de mando utilizados para la automatización del proceso de cocción de cerveza artesanal, son los siguientes:

- Selector tipo llave de dos posiciones.
- Pulsador tipo hongo para paro de emergencia.

Los elementos de señalización utilizados para la automatización del proceso de cocción de cerveza artesanal, son los siguientes:

- Lámpara piloto de color verde.

#### 4.3.2.1 Relés de maniobra auxiliares.

Los relés son dispositivos electromecánicos, constituidos por una bobina y contactos. Al ser estimulados eléctricamente, cambian su estado, es decir sus contactos cambian de posición. (Roldán Vilorio, 2010).

En este proyecto, se utilizaron 6 relés auxiliares. Estos relés están conectados a 6 salidas digitales del PLC, para hacer circular una corriente de 60 [mA] a 24 VDC. Esto se utiliza para abrir y cerrar sus contactos. Son identificados mediante las letras “KA”.

En la tabla 4.25 se indican los dispositivos que se encuentran conectados a los 6 relés auxiliares utilizados.

Tabla 4.25

Conexión de relés auxiliares.

No.	Denominación	Conexión	Dispositivo a controlar	Voltaje de Bobina	Voltaje contacto NA.
1	KA1	Relé auxiliar conectado a la salida Q0.0.	Contactador K1.	24VDC	110VAC
2	KA2	Relé auxiliar conectado a la salida Q0.2.	Contactador K2.	24VDC	110VAC
3	KA3	Relé auxiliar conectado a la salida Q0.5.	Válvula V1 de ingreso de AGUA.	24VDC	110VAC
4	KA4	Relé auxiliar conectado a la salida Q0.6.	Electroválvula neumática V1.	24VDC	24VDC
5	KA5	Relé auxiliar conectado a la salida Q0.7.	Electroválvula neumática V2.	24VDC	24VDC
6	KA6	Relé auxiliar conectado a la salida Q1.0	Electroválvula neumática v3.	24VDC	24VDC

Se seleccionó un relé auxiliar marca HF 10 FH, el cual posee dos contactos normalmente abiertos y dos contactos normalmente cerrados. El voltaje máximo de la bobina es de 30 [VDC] y la corriente máxima de circulación es de 10 [A]. El voltaje AC suministrado a los contactos puede ser de 220 [VAC] y la corriente máxima que puede circular por ellos será de 10 [A].

#### 4.3.2.2 Contactores eléctricos.

Un contactor es un dispositivo electromecánico de maniobra, de motores, válvulas, y permite el suministro y corte de energía eléctrica.

Este dispositivo es capaz de separar la parte de control y de potencia. Permitiendo operar elementos de salida como motores a grandes distancias del control.

En este proyecto existen dos motores. Cada uno de distinta potencia. Por tal motivo es necesario dimensionar los contactores según las especificaciones del motor. La simbología que se utiliza para estos elementos es la letra K acompañada del número de contactor.

##### 4.3.2.2.1 Contactor eléctrico K1.

Este contactor permitirá el arranque y paro del motor M1, controlado por el PLC.

Su dimensionamiento se lo realiza según las características del motor que controla.

Motor M1. Bomba hidráulica EP NEOS 1 ½”.

Voltaje:  $V_{M1} = 220VAC$ .

Potencia eléctrica:  $P_{M1} = 0.25[KW]$ .

Corriente de consumo  $I_W = 1.13[A]$

De los parámetros eléctricos del motor, el más importante para la selección del contactor es la corriente eléctrica. Al arrancar un motor de forma directa, en el momento de arranque tienden a consumir hasta 7 veces la corriente nominal (ABB,2015), esta corriente generada se denomina corriente inicial de irrupción  $I_E$ , por tal motivo el contactor seleccionado deberá ser capaz de soportar más de la corriente inicial de irrupción de arranque generada en el motor.



$$I_E = I_W \cdot 7 \quad (4.1)$$

Donde:

$I_E$ : Corriente inicial de irrupción.

$I_W$ : Corriente nominal de trabajo.

$$I_E = 1.13[A] \cdot 7 = 7.95[A] \approx 8[A]$$

En el mercado existen contactores comerciales de distinto tipo de amperaje, para esta aplicación se seleccionó un contactor comercial capaz de soportar hasta 15 [A], debido a que el costo de un contactor capaz de soportar esta corriente representa el mismo valor que el de un contactor que soporta menos amperaje.

El contactor seleccionado posee las siguientes características mostradas en la tabla 4.26.

Tabla 4.26

Características técnicas contactor K1.

<b>Características técnicas</b>	
Marca	CHINT
Modelo	NTC- 1810
Voltaje Bobina [VAC]	110
Contactos principales NA.	3
Contactos auxiliares NA.	1
Corriente máxima de trabajo [A].	15
Voltaje máximo de trabajo [VAC].	415
Corriente inicial de irrupción $I_E$ [A]	25
Dispositivo de maniobra	Motor M1( Bomba Liverani EP NEOS)

Fuente: (Chint, 2015).

#### 4.3.2.2.2 Contactor eléctrico K2.

Este contactor permitirá el arranque y paro del motor M2, controlado por el PLC.

Su dimensionamiento se lo realiza según las características del motor que controla.

Motor M2. Agitador para tanque de mezclado

Voltaje:  $V_{M2} = 220VAC$ .

Potencia eléctrica:  $P_{M2} = 2.237[KW]$

Corriente de consumo  $I_{W2} = 10.36[A]$

Utilizando la ecuación 4.1 se determinó la corriente inicial de irrupción

$$I_{E2} = I_{W2} \cdot 7$$

$$I_{E2} = 10.36[A] \cdot 7 = 72.5[A]$$

El contactor seleccionado posee las siguientes características mostradas en la tabla 4.27.

Tabla 4.27

Características técnicas del contactor K2.

Características técnicas	
Marca	CHINT
Modelo	NTC- 1820
Voltaje Bobina [VAC]	110
Contactos principales NA.	3
Contactos auxiliares NA.	1
Corriente máxima de trabajo [A].	20
Voltaje máximo de trabajo [VAC].	415
Corriente inicial de irrupción $I_E$ [A]	78.6
Dispositivo de maniobra	Motor M2(Agitador)

Fuente: (Chint, 2015).

### 4.3.2.3 Componentes eléctricos para el mando y señalización.

En este proceso se busca realizar un control automatizado, por tal motivo elementos de mando físicos como botones y pulsadores han sido reducidos.

#### Selector de dos posiciones con accionamiento a través de llave.

Se seleccionó un dispositivo de mando tipo selector con llave para el encendido del controlador lógico programable, fuentes de alimentación y componentes eléctricos. Mediante este dispositivo se acciona toda la etapa de control del proceso.

La característica principal de este dispositivo es que no permite su accionamiento si no se ha colocado la llave; esto como un sistema de seguridad.

#### **Pulsador de paro de emergencia tipo hongo.**

El pulsador de paro de emergencia tipo hongo es utilizado para cortar el suministro de energía eléctrica hacia los relés auxiliares, de esta manera evita que los actuadores como motores y válvulas sean encendidos en caso de ocasionar una falla que ponga en riesgo a las personas que operan la planta y los componentes mecánicos y eléctricos de la planta.

#### **Luz piloto verde.**

La luz piloto es un elemento eléctrico de tipo resistivo. Es utilizado como un indicador visual que ayuda al operador para poder verificar que el sistema ha sido encendido. Al encenderse el sistema de control del proceso se encenderá la luz indicando que pueden comenzar la operación de trabajo.

Este dispositivo puede trabajar con voltajes AC de hasta 230 [VAC]. La corriente máxima que soporta es de 10 [A].

#### **4.3.3 Suministro de energía eléctrica.**

El suministro de energía eléctrica, son los dispositivos eléctricos o líneas de tensión capaces de suministrar la energía necesaria para el proceso. Las fuentes de voltaje DC, son componentes electrónicos capaces de convertir la señal de voltaje alterna y convertirlo en continuo, además de reducir o aumentar el voltaje a través de transformadores eléctricos internos. Las líneas de tensión de voltaje alterno AC son tomados de las redes de distribución eléctrica para suministro de energía eléctrica en las instalaciones.

Para suministrar energía de voltaje continuo DC a los dispositivos es necesario dimensionar el consumo requerido por estos componentes para determinar la fuente de energía que cumpla con los requerimientos necesarios.

El suministro de energía alterno se utilizará de 110 [VAC], para la etapa de control y alimentación de la válvula V1 (Válvula de ingreso de agua), y 220 [VAC] para alimentación de motor M1 (Bomba hidráulica) y M2 (Sistema de agitación).

### 4.3.3.1 Fuente de voltaje DC.

Para la selección adecuada de la fuente de voltaje DC es necesario tomar en cuenta dos factores importantes.

- El voltaje DC requerido por los dispositivos eléctricos o electrónicos que se utilizan en el proceso.
- La corriente de consumo de cada uno de estos dispositivos para determinar la corriente necesaria que deberá suministrar la fuente DC sin ser sobrecargada.

Se determinó el número de componentes eléctricos que requieren alimentación DC, y el voltaje de trabajo de estos elementos y la corriente de consumo de cada dispositivo.

En la tabla 4.28 se indican los datos de voltaje DC y corriente de los dispositivos eléctricos que operan con este tipo de alimentación eléctrica.

Tabla 4.28

Dispositivos de Alimentación DC.

<i>Dispositivo electrónico</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Voltaje DC [VDC]</i>	<i>Corriente de operación por dispositivo [mA]</i>
Módulo SM 1231 TC Siemens para termopar.	1	24	40
Relé auxiliar de propósito general.	6	24	60
Electroválvulas neumáticas 3/2 NC.	3	24	300

Como se puede observar en la tabla 4.28 el voltaje requerido será de 24 VDC.

Para determinar la corriente necesaria de la fuente se aplica la ecuación 4.2, sumando la corriente de cada dispositivo.

$$I_{WDC} = \sum_{i=1}^n I_{wi} \quad (4.2)$$

Donde:

$I_{WDC}$ : Corriente necesaria de operación.

$I_{wi}$ : Corriente de operación de cada dispositivo.

$$I_{WDC} = I_{SM1231} + I_{KA1} + I_{KA2} + I_{KA3} + I_{KA4} + I_{KA5} + I_{KA6} + I_{V2} + I_{V3} + I_{V4}$$

$$I_{WDC} = (40 + 60 + 60 + 60 + 60 + 60 + 300 + 300 + 300)[mA]$$

$$I_{WDC} = 1240[mA]$$

Para determinar que la fuente de voltaje instalada suministre la corriente se debe estimar un porcentaje adicional con el fin de poder utilizar la misma fuente para dispositivos que puedan ser añadidos en un futuro. El porcentaje estimado será de 30%.

$$I_{WDC\ TOTAL} = I_{WDC} + 0.3I_{WDC} = 1340[mA] = 1.34[A]$$

Se seleccionó la fuente de voltaje LOGO Power de Siemens. La fuente seleccionada suministra 24VDC, una corriente máxima de 2.5 [A], cumpliendo los requerimientos del sistema. A nivel comercial existen fuentes de voltaje DC con corrientes nominales inferiores al suministrado por esta fuente, el costo que representa la fuente es el mismo. La potencia eléctrica que es capaz de suministrar la fuente es de 60 watts.

#### 4.3.4 Componentes eléctricos de protección.

Los elementos de protección eléctrica, son utilizados para proteger los componentes que conforman un circuito de posibles fallas inesperadas. Evitan daños permanentes en equipos, plantas industriales y guardan la seguridad de las personas.

Estos dispositivos protegen contra diversos tipos de fallas posibles. Las principales fallas eléctricas que pueden ocurrir en un sistema son debidas a los factores que se indican a continuación:

##### **Sobre cargas eléctricas**

Este tipo de falla ocurre cuando se genera un corto circuito. Esto hace que la corriente tienda a elevarse en forma rápida hasta alcanzar corrientes sumamente elevadas.

Este tipo de fallas son provocadas por malas conexiones eléctricas o debido al desgaste que sufren los dispositivos eléctricos o al mal dimensionamiento de los equipos utilizados.

### Sobre tensiones

Las sobretensiones ocurren cuando el voltaje supera el voltaje normal de trabajo. Este tipo de fallas ocurren debido a malas conexiones o equipos mal dimensionados eléctricamente.

### Descargas eléctricas

Las descargas eléctricas son fenómenos naturales que provocan descargas de corriente inesperadas y que tienden a ser conducidas hacia los circuitos.

Para proteger los equipos eléctricos que conforman el sistema se utilizaron los elementos que se muestran en la tabla 4.29.

Tabla 4.29

Protecciones eléctricas.

<i>Elementos de protección</i>	<i>Máximo Amperaje [A]</i>
Breaker termomagnético 1 Polo.	2
Breaker termomagnético 2 Polos para motor M1.	16
Fusibles para sobrecargas tipo cerámicos para sistema de control.	2
Fusibles para sobrecargas de vidrio.	0.5
Fusible de alto corte para bajas intensidades de vidrio.	0.05
Relé térmico motor M1.	2.5 – 4
Relé térmico motor M2.	7.5 – 14

Se han determinado todos los componentes que componen el sistema eléctrico. Los planos eléctricos del sistema se encuentran en el Anexo 5 -01.

#### 4.4 Instalación del tablero de control y sensores.

##### 4.4.1 Diseño e instalación del tablero de control.

Para realizar la instalación del tablero de control, se utilizaron herramientas CAD para su diseño, de esta manera se pudo determinar las dimensiones necesarias requeridas; y la distribución adecuada de los componentes dentro del tablero.

Para ello se diseñó el plano de distribución que se encuentra en el Anexo 5 - 02.

Las dimensiones internas del tablero necesarias para distribuir los componentes fueron de  $0.5[m] \cdot 0.5[m]$ . La profundidad del tablero depende del componente más saliente, en este caso el PLC, el cual tiene una altura de  $75 [mm]$ , además dentro del tablero deben ir tres electroválvulas direccionales neumáticas, que juntas poseen un espesor de  $75 [mm]$ , por lo tanto se sumaron estas altura para determinar la profundidad del tablero.

$$Profundidad_{Tablero} = Profundidad_{PLC} + Profundidad_{electroválvulas}$$

$$Profundidad_{Tablero} = 75[mm] + 75[mm] = 150[mm]$$

El tablero comercial próximo a cumplir estos requerimientos es de  $600[mm]$  de largo,  $60 [mm]$  de ancho y  $200[mm]$  de profundidad.

Para realizar el diseño del tablero se utilizó la norma IEC 61439 para tableros de baja tensión. Esta norma es utilizada para tableros que poseen una tensión máxima de hasta  $1000 VAC$  o  $1500 VDC$ , de la cual se extraen las características principales que debe tener un tablero eléctrico:

- Grado de protección de los componentes eléctricos. Esta información deberá ser proporcionada por los fabricantes de los equipos eléctricos a utilizar, si los dispositivos a utilizar poseen esta información podrán ser utilizados en el tablero.
- Medición de la continuidad efectiva entre las partes conductoras expuestas del cuadro y el circuito de protección. Realizando una verificación mediante pruebas se verificará que las conexiones de los componentes eléctricos se hayan realizado de manera correcta.
- Instalación de aparatos y componentes de maniobra. Se debe realizar mediante normas de diseño, colocando las partes de maniobra separadas físicamente de las otras partes que conforman el sistema.

- Circuitos y conexiones eléctricas. Las conexiones se realizan utilizando normas de diseño.
- Terminales para conductores externos. Las conexiones y terminales externas deberán poseer conductores externos que puedan ser conectados y desconectados con facilidad del tablero eléctrico.
- Los planos de funcionamiento se diseñarán en estado de reposo, es decir sin tensión aplicada.
- Los planos eléctricos de funcionamiento deben estar divididos tanto la etapa de control como la etapa de potencia. Si los planos de funcionamiento se presentan en un solo plano, el plano de control se ubicará en la parte izquierda y el plano de potencia en la parte derecha.

Los componentes externos del tablero fueron distribuidos como se muestra en la figura 4.16.

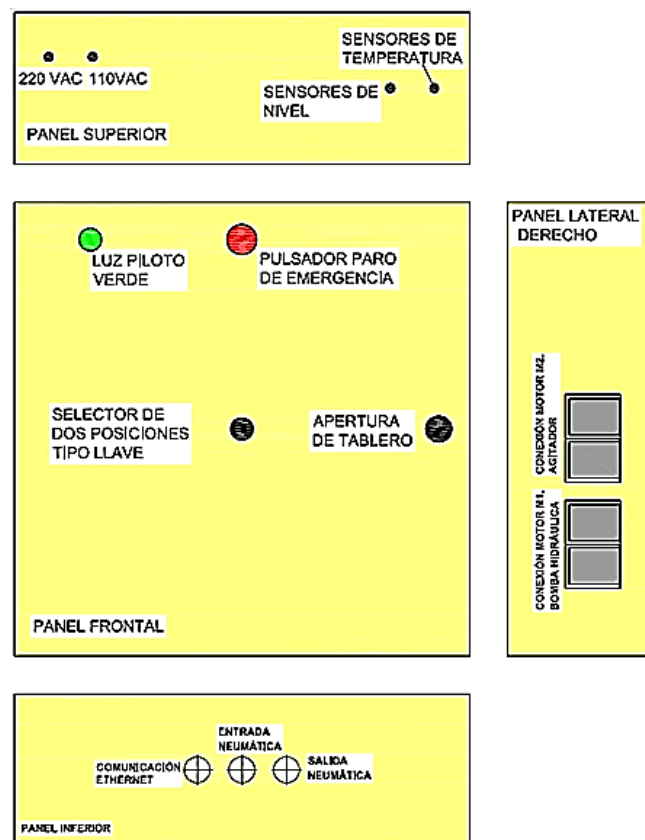


Figura 4.16: Tablero de control proceso de cocción de cerveza.



#### 4.4.1.1 Montaje del tablero de control.

El tablero de control deberá ser retirado al terminar el proceso de cocción de cerveza. Para ello se diseñó una plataforma móvil utilizando herramientas CAD. Esta plataforma es capaz de desplazarse a distintas posiciones y además soporta el peso de todos los componentes que conforman el tablero eléctrico.

En la parte inferior posee 4 ruedas, cada una con la capacidad de soportar 50 [kg] de masa, y desplazan la plataforma de manera simple.

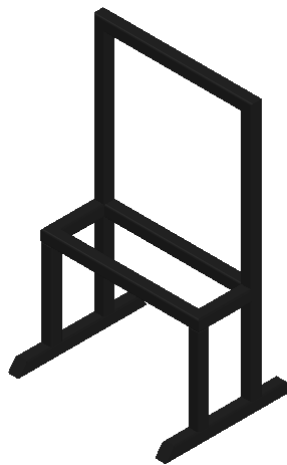


Figura 4.17: Plataforma móvil para tablero de control.

Las sujeciones del tablero eléctrico y de la plataforma móvil es de tipo empernada, se utilizó 6 pernos M6 de 70 [mm] de largo.

El plano mecánico de la plataforma móvil se encuentra en el Anexo 5 – 03.

#### 4.4.2 Diseño e instalación de sensores.

Los sensores de temperatura y nivel seleccionados anteriormente, deberán ser montados en el interior de los tanques de calentamiento de agua y maceración. Existe un sensor móvil que se utilizó tanto para la medición de temperatura en el tanque de maceración, como en el de cocción.

#### 4.4.2.1 Instalación de sensores de nivel.

Los sensores de nivel fueron instalados en el tanque de calentamiento de agua. Para ello fue necesario que la instalación cumpliera con las siguientes condiciones:

- Resistente a temperaturas de 100 ° [C].
- Fácil desmontaje del tanque de calentamiento de agua.
- No contaminante.
- Fácil acople al tablero de control.

Dadas estas condiciones se diseñó un sistema de medición de nivel, que permita cumplir con los requisitos mencionados.

Se utilizó tubería de acero inoxidable AISI A - 304 con un diámetro de  $\varnothing = 0.5[in]$ , CED. 40. De esta manera los cables eléctricos utilizados por cada sensor pasan por el interior de la tubería sin estar en contacto con el fluido. Para unir los sensores de nivel a la tubería se utilizó 3 acoples tipo T de acero inoxidable tipo A 316  $\varnothing = 0.5[in]$ , CED. 40. Un acople tipo codo de 90 ° de acero inoxidable tipo A 316  $\varnothing = 0.5[in]$ , CED. 40. Debido a las dimensiones del sensor fue necesario utilizar reducciones tipo bushing, estos se conectan a los acoples para permitir el acople del sensor al ducto.

Para evitar que exista filtración de agua en las uniones se utilizó un sellante mecánico tipo teflón PTFE, no tóxico y resistente a temperaturas superiores a los 250°C en contacto con fluidos.

Con la finalidad de prevenir que los cables que pasan por el interior del ducto sufran daños debido a la temperatura, fue necesario colocar cables compuestos de fibra polimérica que evita que los cables se derritan o se desintegre.

Las dimensiones del sistema de medición y el plano mecánico se encuentran en el Anexo 5-04.

#### 4.4.2.2 Instalación de sensores de temperatura.

Se instalaron 3 sensores de temperatura en el sistema de automatización. El sensor de temperatura T1, fue instalado en el tanque de calentamiento de agua. El sensor de temperatura T2 fue instalado en el tanque de maceración, y el sensor de temperatura

T3, es utilizado para medir temperatura en el tanque de maceración y en el tanque de cocción.

Para que no ocurran daños en los sensores de temperatura, se diseñaron termo pozos que sean fáciles de desmontar. Para el termo pozo se utilizó tubería de acero inoxidable A304  $\varnothing = 0.5[in]$ , CED. 40. Las termocuplas son sujetas a la tubería mediante reducciones tipo bushing y una sujeción especial con sello mecánico metálico deformable.

Las dimensiones de las sujeciones de las termocuplas se encuentran en el anexo 5-05.

## CAPÍTULO V

### **Automatización y diseño de HMI**

En el presente capítulo se detalla el diagrama de procesos para realizar la automatización, posterior a ello se realiza el graficet que permitirá desarrollar la programación en el software TIA Portal V13. De acuerdo a los requerimientos planteados por el operador se diseña el HMI (Interfaz Humano Máquina) mediante la utilización de las normas adecuadas para el mismo y la generación de ficheros donde se almacenan los datos que demuestran la evolución del proceso en cuanto a la medición de temperaturas.

#### **5.1 Automatización del proceso de cocción de cerveza artesanal.**

Luego de realizar el diseño mecánico y electrónico de la planta es necesario realizar el proceso de automatización. El objetivo de la automatización del proceso es reducir el trabajo realizado por el operador de la planta, además de realizar la medición de parámetros físicos como temperatura y volumen de líquidos de manera adecuada. Otro de los factores importantes a considerar en este proceso es optimizar los recursos para evitar gastos tanto hídricos como eléctricos.

En este proyecto se utilizó la plataforma TIA PORTAL V13 para el desarrollo del proceso de automatización. Este software permite utilizar en un mismo programa la comunicación de dispositivos, la programación de controladores y el diseño de interfaces Humano máquina HMI. Es un software ideal para la programación de PLC's Siemens.

El programa realizado para la automatización es secuencial, es decir se realiza por etapas, teniendo que cumplir transiciones para poder pasar a la siguiente etapa del proceso. Las transiciones por lo general son eventos que se generan debido a la activación de señales externas proporcionadas por los sensores, o por variables internas del PLC.

En la figura 5.1 se muestra la configuración de los sensores y actuadores que intervienen en el proceso.

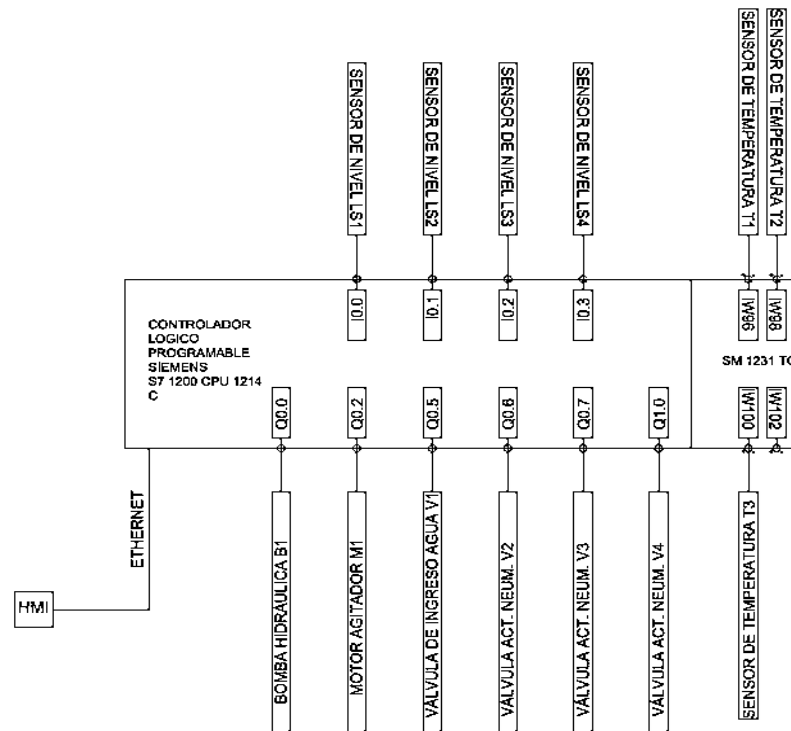


Figura 5.1: Sensores actuadores, comunicación y módulos.

Las señales de entrada y salida que se utilizan en el proceso se presentan a continuación.

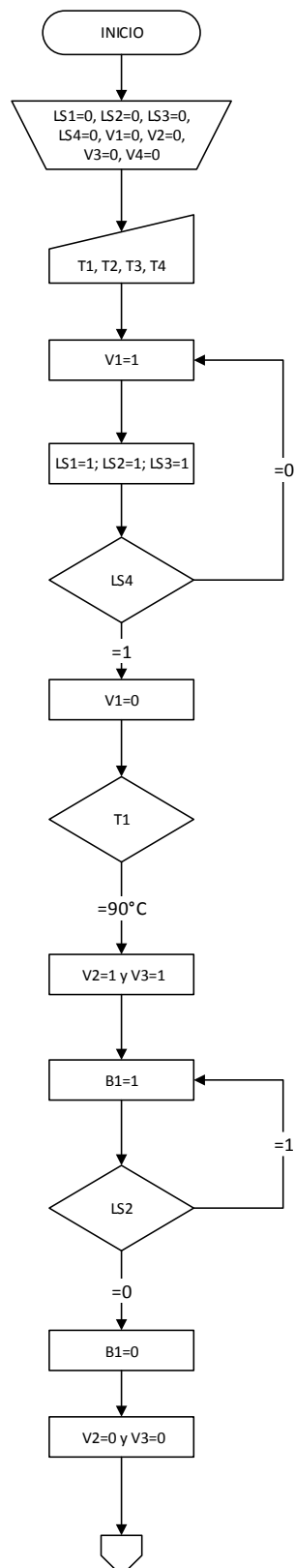
Tabla 5.1

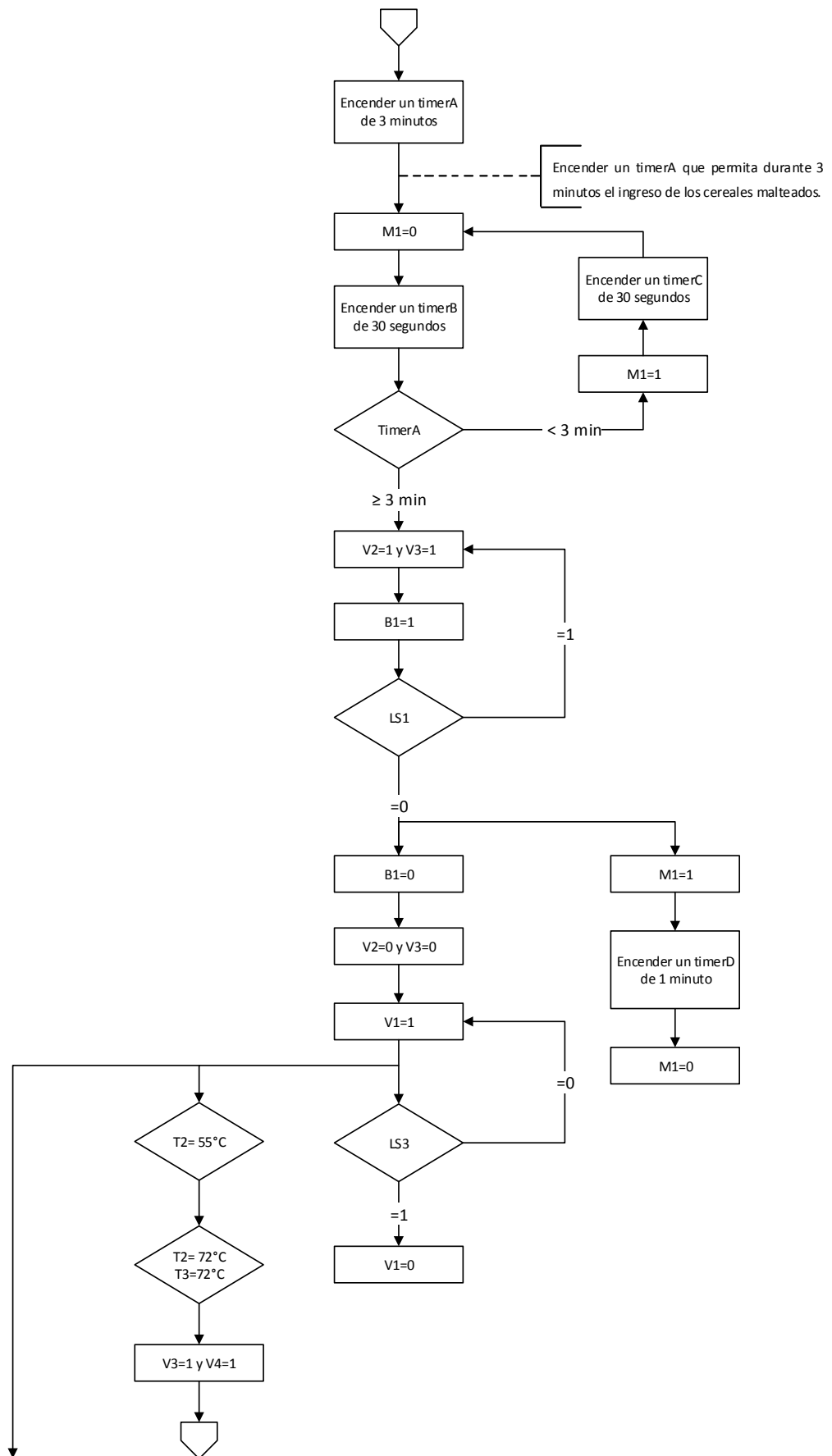
Variables de entrada y salida.

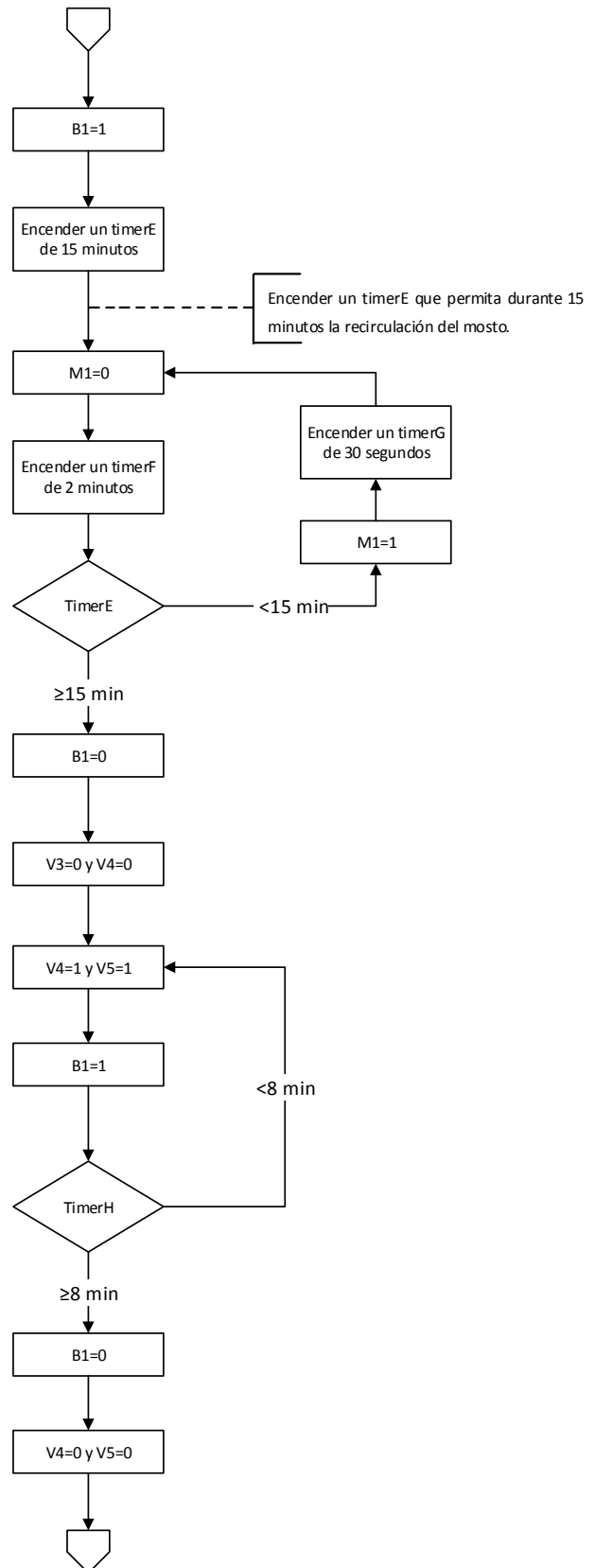
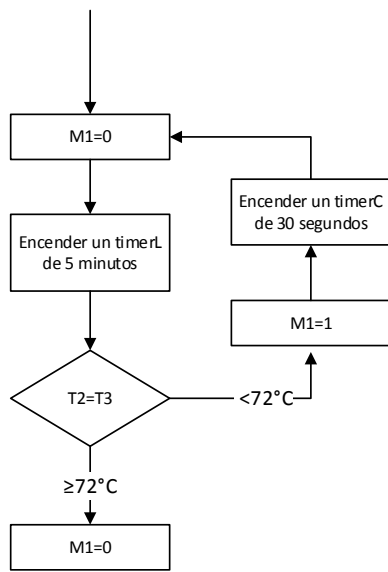
<i>Denominación</i>	<i>Tipo</i>	<i>Tipo de dato</i>	<i>Dirección</i>
LS1	ENTRADA	BOOL	I0.0
LS2	ENTRADA	BOOL	I0.1
LS3	ENTRADA	BOOL	I0.2
LS4	ENTRADA	BOOL	I0.3
T1	ENTRADA	ENTERO INT	IW96
T2	ENTRADA	ENTERO INT	IW98
T3	ENTRADA	ENTERO INT	IW100
B1	SALIDA	BOOL	Q0.0
M1	SALIDA	BOOL	Q0.2
V1	SALIDA	BOOL	Q0.5
V2	SALIDA	BOOL	Q0.6
V3	SALIDA	BOOL	Q0.7
V4	SALIDA	BOOL	Q1.0
COMUNICACIÓN		ETHERNET	

### 5.1.1 Diagrama de flujo del Proceso para la Automatización.

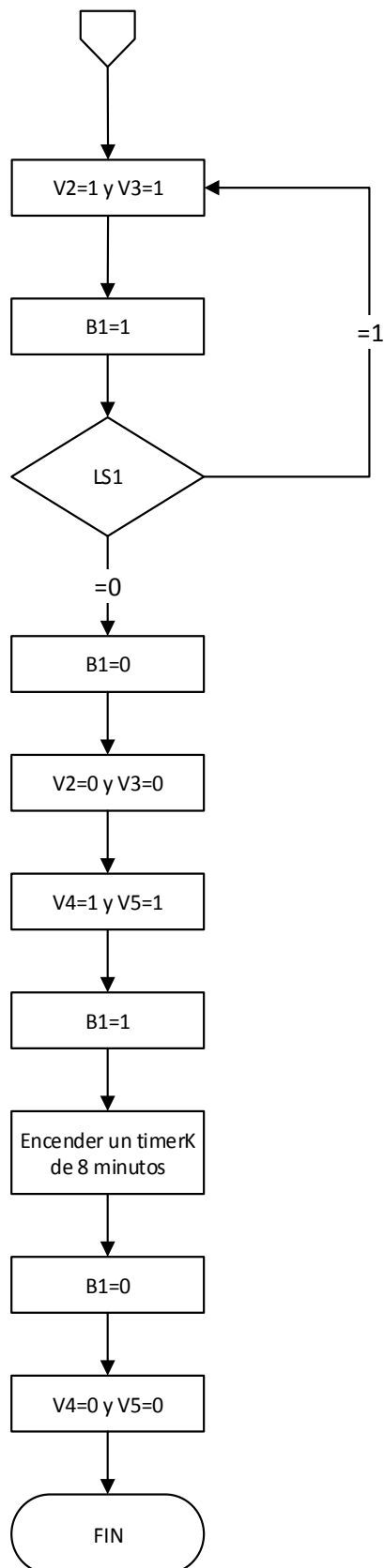
A continuación se describe el proceso mediante el uso de un diagrama de flujo.











### **5.1.2 Descripción de automatización del proceso.**

El proceso se desarrolló considerando los siguientes parámetros:

- Modo de operación automático y modo de operación manual.
- Señales digitales para detección de nivel.
- Señales analógicas para detección de temperaturas.
- Salidas digitales para actuadores.
- Sistema de alarmas tipo avisos para eventos.
- Visualización de comportamiento de sensores y actuadores.
- Paros de emergencia en caso de eventos inesperados.
- Visor de curvas de temperatura.
- Pausa y continuación en el modo de trabajo automático.

El programa se desarrolló en grafcet nivel 1 para describir la lógica de programación y fue codificado en diagrama de escalera y funciones de texto estructurado para simplificar el código del programa.

#### **Modo de operación manual.**

En el modo de operación manual el usuario puede controlar los actuadores mediante interruptores. Para que los actuadores puedan ser encendidos deben cumplir las condiciones descritas en el grafcet.

El operador en la interfaz tendrá la opción de visualizar las señales emitidas por los sensores. Además posee un paro de emergencia capaz de detener el proceso en cualquier momento si el operador ha detectado alguna falla en el proceso.

El esquema grafcet del proceso manual se encuentra en el Anexo 6- 01.

#### **Modo de operación automático.**

En el modo de operación automático el operador deberá configurar los parámetros de temperatura siguientes:

- Temperatura T1 de primer calentamiento de agua: Se ingresa por teclado el dato de la temperatura de calentamiento de agua que por lo general para cada receta es de 90 ° C. Es detectada por el sensor T1 en el tanque de calentamiento de agua.

- Temperatura T1 de segundo calentamiento de agua: Se ingresa el dato por teclado y sirve para detectar el máximo valor de la temperatura de calentamiento de agua para el lavado de granos, por lo general para todas las recetas este valor es de 75 °C.
- Temperatura mínima de escalado T2: Es el valor mínimo de escalas y depende de cada tipo de cerveza a procesar. Es ingresado a través del HMI. Es medida a través del sensor T2 en el tanque de maceración.
- Temperatura máxima de escalado: Determina el valor máximo al cual deberá llegar la escala de temperaturas y de igual manera depende del tipo de cerveza a procesar. Es medida por los sensores T2 y T3 con el fin de medir en dos puntos distintos del tanque de maceración para determinar que la mezcla posee una temperatura homogénea.

Con los datos ingresados el operador puede iniciar el proceso a través de un botón de inicio de operación configurado en el HMI.

Posee un sistema de alarmas visuales que despliegan avisos en etapas importantes del proceso. Estos mensajes se visualizan en un visor de avisos durante 30 segundos por mensaje. Un paro de emergencia que detiene el proceso en caso de una falla detectada en el proceso. Una pausa que detiene el proceso en cualquier momento, esto permite al operador realizar tareas que posiblemente no consideró en el inicio de la cocción.

El esquema graficet del proceso se encuentra en el anexo 6-01.

## **5.2 Configuración del controlador, comunicación e interfaz.**

Es necesario realizar la configuración de los dispositivos y los parámetros necesarios de cada uno de los elementos de control que intervienen en el proceso. Los dispositivos deben poseer una identificación que es proporcionada por una dirección IP. La dirección IP es una etiqueta numérica que identifica a un elemento o componente.

### **5.2.1 Configuración de controlador y módulo.**

El PLC se configuró mediante el software TIA Portal v13, en la sección de dispositivos y redes mediante la herramienta detección automática. De esta forma el software detecta el PLC y se configuró la dirección IP del mismo asignando a este dispositivo la dirección IP 192.168.0.2.

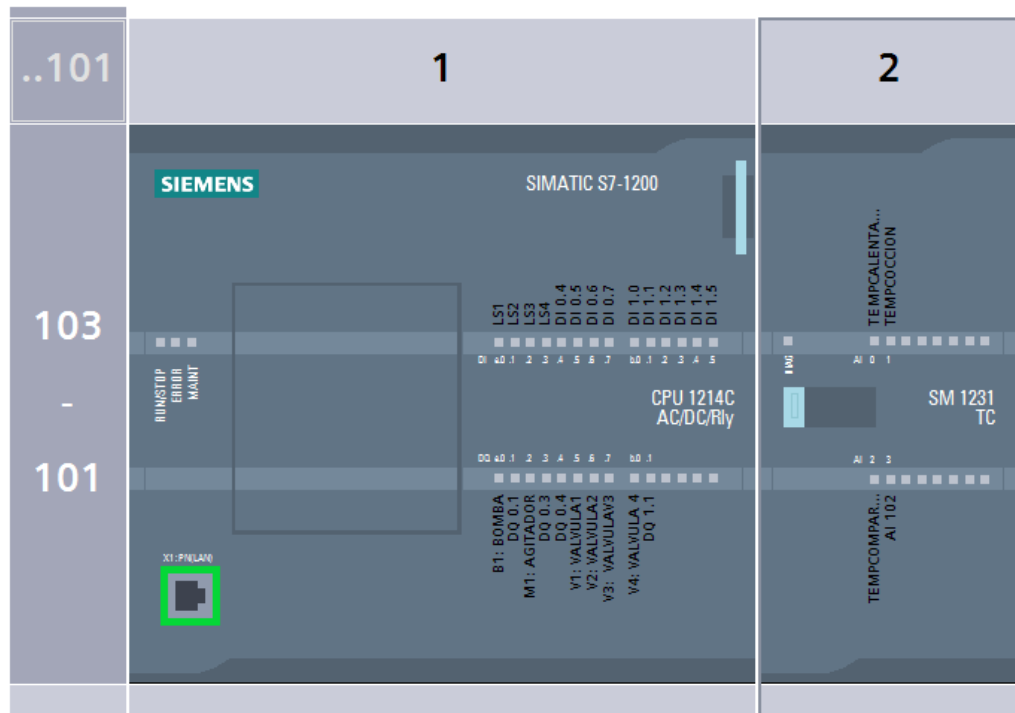


Figura 5.2: Configuración de dispositivos CPU y módulos.

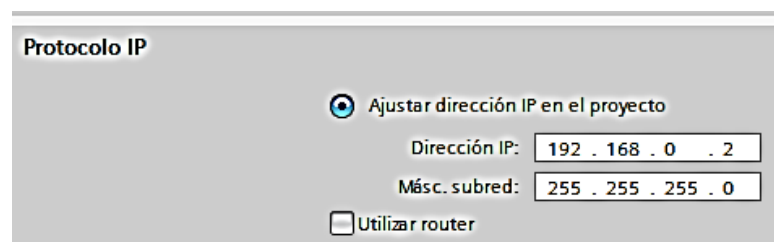


Figura 5.3: Protocolo IP. CPU 1214C.

Para realizar la configuración de dispositivos se deberán desconectar las fuentes de energía eléctrica para evitar daños en los dispositivos. Una vez conectados los sensores se pueden energizar para realizar la configuración.

En el módulo de señales analógicas SM1231 TC, se deberá configurar el tipo de termocupla a utilizar, para este proyecto se utilizaron termocuplas tipo J.

Tipo de medición:	Termopar
Termopar:	Tipo J
Escala de temperatura:	Celsius
Filtrado:	Débil (4 ciclos)
Origen temperatura de referencia:	Referencia interna

Figura 5.4: Configuración de termopares en módulo SM1231TC.

### 5.2.2 Configuración del PC general para desarrollo del HMI.

Fue necesario configurar una estación PC para el desarrollo del HMI, y verificar el funcionamiento del PLC y los dispositivos electrónicos del sistema.

Al igual que el PLC se asignó una dirección IP a la estación PC, esta dirección es 192.168.0.4.

En la figura 5.5 se muestra la configuración del PC general. En este PC se añadió el HMI Win CC Advanced.

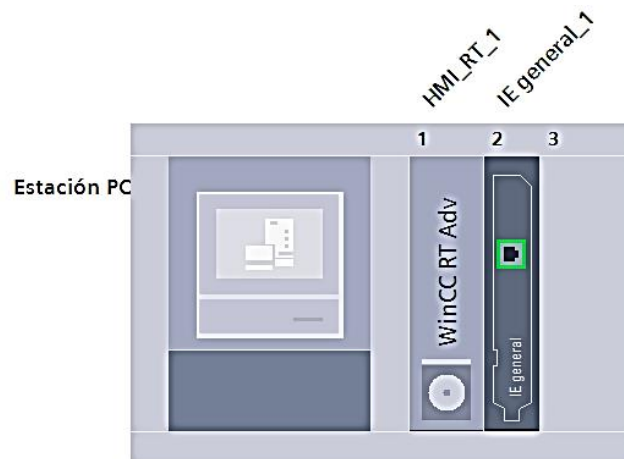


Figura 5.5: Configuración Estación PC.

<b>Protocolo IP</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Utilizar protocolo IP
Dirección IP:	192 . 168 . 0 . 4
Másc. subred:	255 . 255 . 255 . 0
<input type="checkbox"/>	Utilizar router

Figura 5.6: Configuración protocolo IP para la estación PC.

### 5.2.3 Comunicación Ethernet entre PLC y estación PC.

Con los dispositivos previamente configurados se realizó la red interna entre ellos, esto permite enviar y recibir datos entre el PLC y el computador.

El software permite establecer la red de manera automática y visualizar su conexión entre dispositivos.

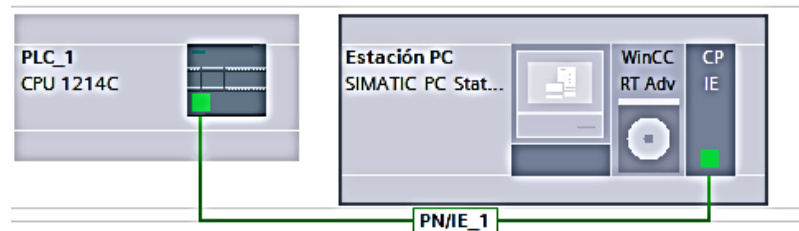


Figura 5.7: Creación de red entre PLC y Estación PC.

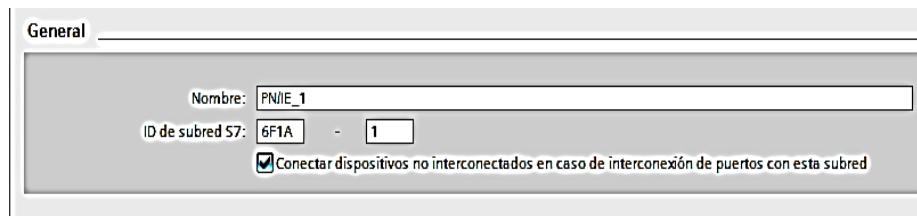


Figura 5.8: Industrial Ethernet.

### 5.3 Diseño de la interfaz Humano máquina HMI.

La interfaz humana máquina se diseñó en la plataforma TIA Portal V13 utilizando WINCC Advanced para su implementación.

El HMI del proceso está compuesto por las siguientes partes que se muestran en la figura 5.9.

Para diseñar la interfaz humano máquina fue necesario seguir las siguientes consideraciones establecidas por la norma NTP226 (Ergonomía de diseño y accesibilidad), que establecen parámetros para el diseño de HMI.

- Los mandos y accionamientos serán visibles e identificables, y si fuera necesario, irán marcados de forma adecuada.
- Deben ser ubicados con la finalidad de que el operador pueda maniobrar con seguridad.
- Estarán ubicados de manera que su maniobra no ocasione cambios adicionales con otros mandos.

- Deberán diseñarse de tal manera que el movimiento del órgano de accionamiento sea coherente con el efecto ordenado.

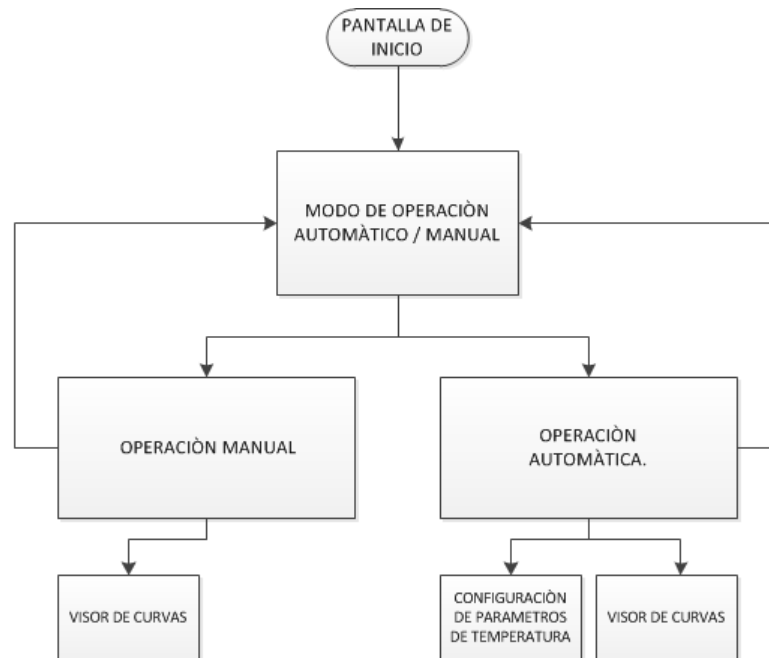


Figura 5.9: Configuración HMI.

### Pantalla de inicio

En la pantalla de inicio se realiza la presentación del proyecto.

Esta pantalla posee un botón que permite al operador pasar al modo de operación.



Figura 5.10: Pantalla de Inicio de proceso.

### 5.3.1 Pantalla para modo de operación

En la pantalla de modo de operación el operador puede seleccionar el modo de trabajo que desea realizar.

En esta pantalla se configuraron tres botones. El botón Modo manual permite al operador ingresar al modo de operación manual.

El botón Modo Automático permite al operador ingresar al modo de operación automático.

El botón Salir cierra el sistema retornando al usuario a la pantalla de Inicio.





Figura 5.11: Pantalla Modo de operación.

### 5.3.2 Pantalla modo de operación manual

En la pantalla modo de operación automático el operador puede visualizar las temperaturas que envían los sensores al HMI, el nivel de líquidos en el tanque de calentamiento.

La pantalla posee un grupo de botones con los cuales se realiza el encendido y apagado de los actuadores. Posee un visor de proceso en el que se muestra la planta de cocción y el proceso que se encuentra realizando.

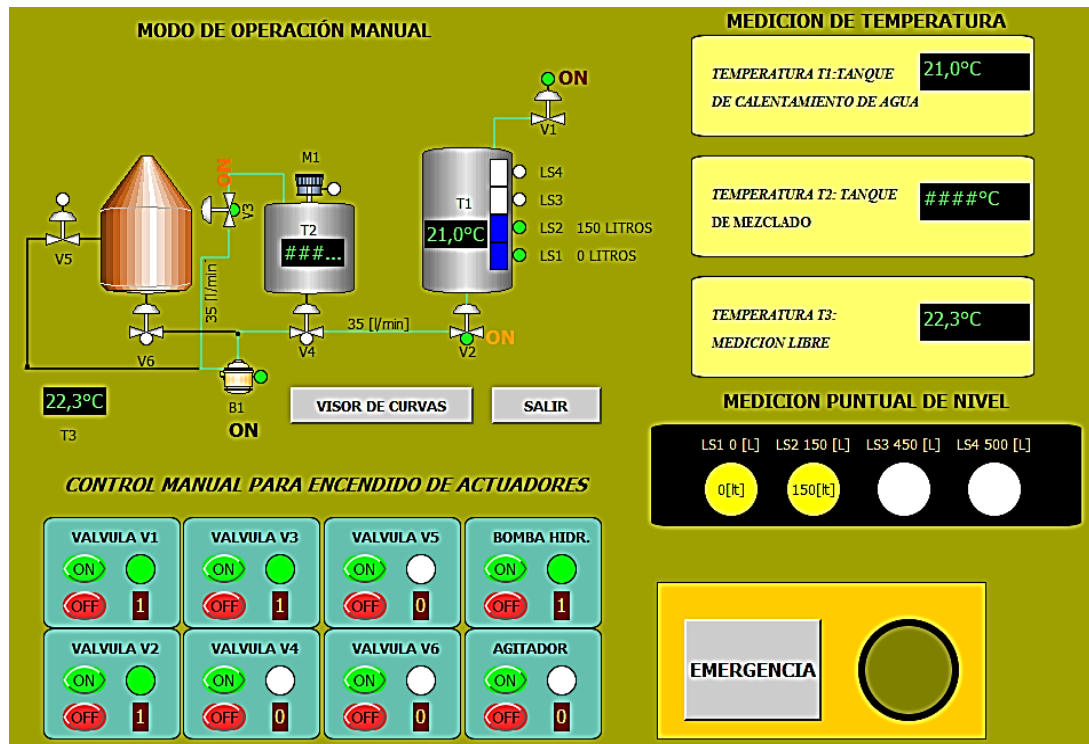


Figura 5.12: Pantalla Modo manual.

El operador deberá conocer el proceso para encender los actuadores, sin embargo en el caso en el que envíe señales para activar los actuadores de forma errónea, estos actuadores no se activarán. El botón de emergencia desconecta las señales emitidas por el PLC apagando todos los actuadores al mismo tiempo.

### 5.3.3 Pantalla de configuración de temperaturas.

Al ingresar en modo automático el operador ingresa a la pantalla de configuración de temperaturas en la que deberá ingresar la temperatura de primer calentamiento de agua, segundo calentamiento de agua para el sensor T1, valor de escala mínimo que se mide a través del sensor T2 y valor máximo de temperatura medido a través de sensor T2 y T3. Además la pantalla posee dos botones, uno de ellos utilizado para regresar a la pantalla de configuración de modos de operación y el siguiente botón que permite al usuario ingresar al modo de trabajo automático.

**CERVECERÍA GOURMET**

**DESIGNACION DE TEMPERATURAS**



TEMPERATURA DE PRIMER CALENTAMIENTO DE AGUA.	<input type="text" value="90°C"/>
TEMPERATURA DE SEGUNDO CALENTAMIENTO DE AGUA.	<input type="text" value="75°C"/>
TEMPERATURA MÍNIMA DE ESCALADO EN MEZCLA.	<input type="text" value="55°C"/>
TEMPERATURA MÁXIMA DE ESCALADO EN MEZCLA.	<input type="text" value="72°C"/>

Figura 5.13: Configuración de parámetros de temperatura.

#### 5.3.4 Pantalla modo de operación automático.

En la pantalla modo de operación automático, el operador posee un visor gráfico del proceso, un visor que indica el estado de los actuadores que intervienen en el proceso, visor de señales de temperatura y nivel, avisos y alarmas que le indican al operador cuales son los procesos que se generan, y un botón de emergencia que detiene el proceso y apaga los actuadores. Posee un botón de inicio de operación para poner en marcha el proceso, un botón de pausa que permite pausar el proceso en cualquier instante de tiempo, un botón de temperaturas que permite al usuario regresar a la pantalla de configuración de temperaturas con el fin de visualizar los datos ingresados.

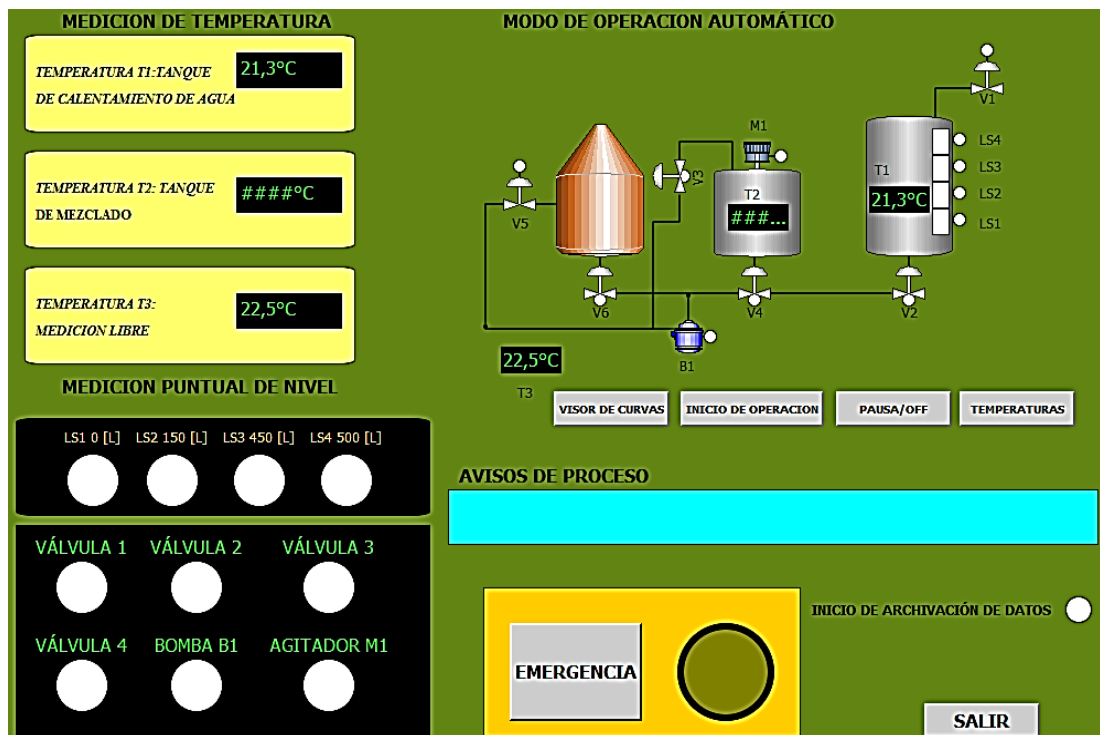


Figura 5.14: Pantalla modo de operación automático.

### 5.3.5 Pantalla Visor de curvas.

El visor de curvas permite al operador ver el comportamiento de la temperatura en un intervalo de tiempo de 2 minutos, este visor está habilitado para los procesos automático y manual. Posee un botón de regreso que permite al operador regresar al modo de operación habilitado que puede ser manual o automático.

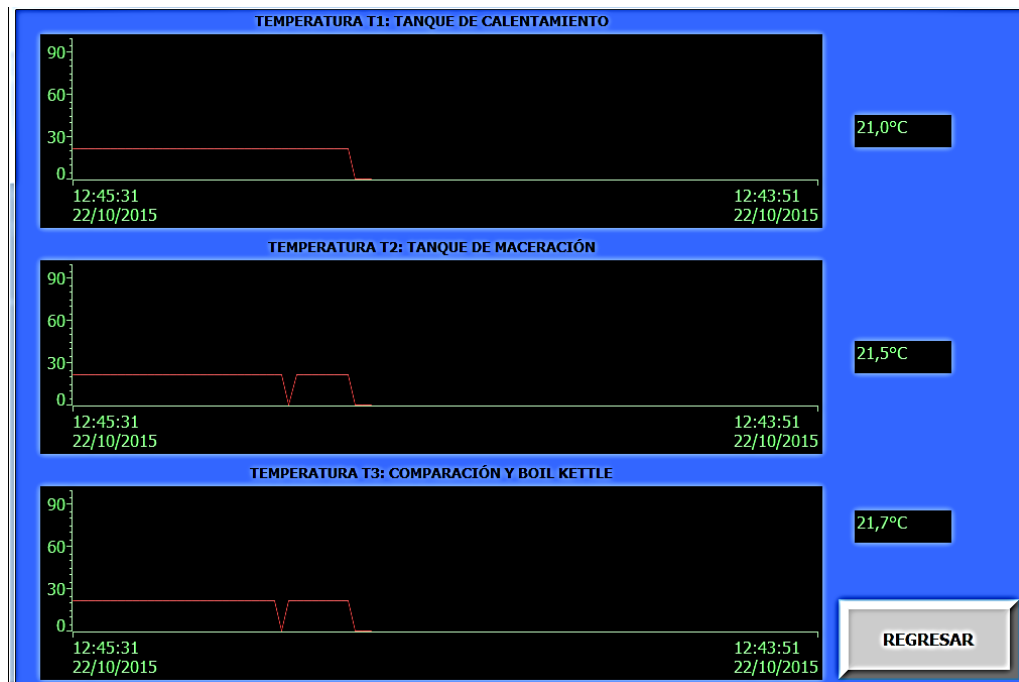


Figura 5.15: Pantalla visor de curvas.

Se diseñó el HMI, el cual brinda al operador las herramientas necesarias para operar la planta, posee la información necesaria con el fin de tener una interfaz que sea fácil de utilizar para el operador

#### 5.4 Comunicación HMI y PLC Siemens S7 1200.

Para poder enviar y recibir datos entre el PLC y el HMI es necesario realizar la conexión que permita enlazar las variables, para realizar esta operación se creó una conexión denominada S7ONLINE el cual será el punto de acceso generado para comunicar la estación PC y el PLC.



Figura 5.16: Comunicación HMI y PLC.

## 5.5 Creación de ficheros.

Con la finalidad de crear curvas que permitan ver el comportamiento del proceso en el escalado de temperaturas, siendo esta parte de mucha importancia para la cocción de cerveza, se creó un fichero para el almacenamiento de datos. A través de estas curvas se podrán comparar resultados y de esta manera comprobar que el proceso para una receta en particular deberá seguir la misma gráfica, si se verifica que no se cumplen con las curvas generadas periódicamente, se deberán analizar las posibles fallas tanto mecánicas como de proceso que puedan generarse. Esto se hace debido a que la planta ya tiene 4 años de operación y posiblemente requiera de cambios para mejorar el rendimiento de la misma.

El fichero creado se denominó Curvas de temperatura y a través del sensor T2 recibe los datos. La ubicación se realizó en un tipo de archivo tipo CSV, este tipo de archivos es compatible con Excel. De esta manera se almacenan en una hoja de Excel. El número de registros que se pueden almacenar es de 10000 y se lo realiza de manera cíclica cada 10 minutos. Se activan a través de un evento generado por una variable binaria interna del HMI, que en conexión con el PLC genera el pulso para inicio de archivado.

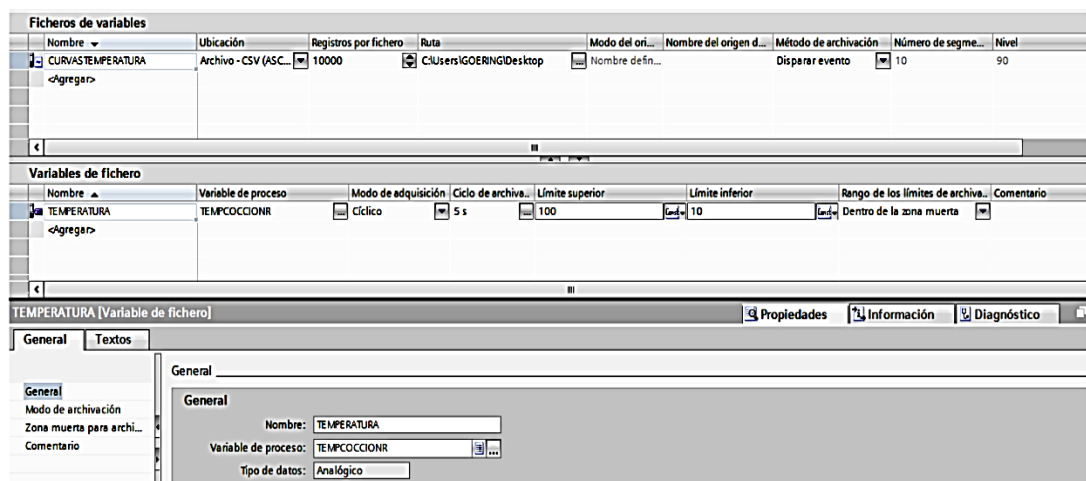


Figura 5.17: Creación de ficheros de variables.

## CAPÍTULO VI

### Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el proyecto, mediante la presentación de los datos almacenados en los ficheros y el respectivo gráfico de la temperatura con relación al tiempo de escalado.

#### 6.1 Resultados obtenidos en el diseño mecánico.

El nuevo sistema de distribución de fluidos trabaja en condiciones adecuadas con velocidades de flujo de  $0.6[m/s]$ , las tuberías instaladas son de acero inoxidable.

Los ductos son ideales para resistir temperaturas elevadas y capaces de soportar la presión del trabajo del sistema.

La presión de trabajo se ha determinado y es equivalente a 6 psi lo que hace que el sistema hidráulico para la transferencia de fluidos sea óptimo.



Figura 6.1: Sistema de tuberías.

Se reemplazó la bomba hidráulica Liverani EP Senior que anteriormente suministraba un caudal de  $115[\frac{l}{min}]$ , por una bomba Ep Neos que trabaja a un caudal de  $35[\frac{l}{min}]$ .

Para el ingreso de agua en el tanque se utilizó una válvula solenoide de agua que permita llenar el tanque a través del HMI el cual es manejado por el operador.



Figura 6.2: Ingreso de fluidos en el tanque de calentamiento de agua.

Se analizó los recipientes determinando las condiciones de trabajo adecuadas de los mismos para este proceso. Para la apertura y cierre de válvulas tipo mariposa se diseñó el sistema neumático que permitirá controlar la apertura y cierre de las mismas a través del controlador.

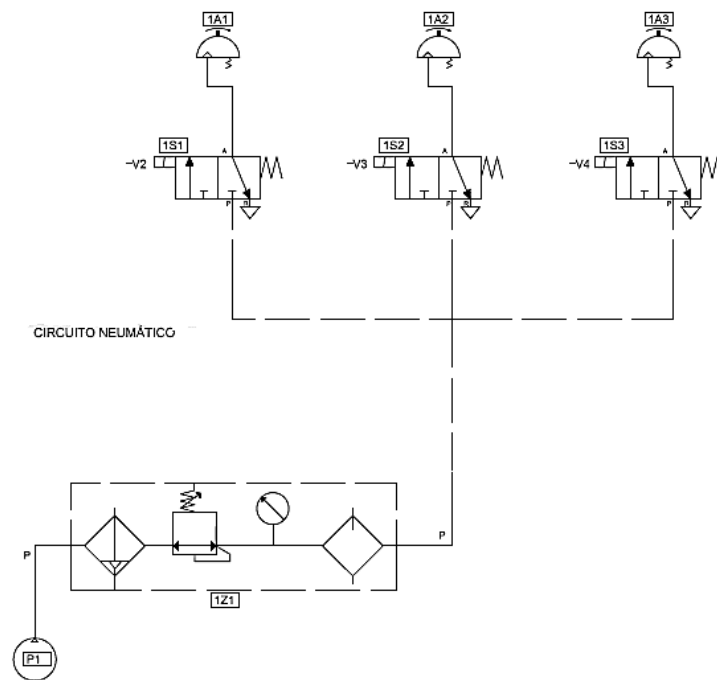


Figura 6.3: Circuito neumático.



El sistema de agitación de mezcla fue analizado determinando que es un sistema adecuado para homogenizar la mezcla de cebada y agua. Para la agitación se realizó el diseño mecánico con el fin de determinar el motor adecuado para el proceso de. Se determinó que el motor deberá tener una potencia eléctrica de 2.5 [HP], el motor debe ser monofásico debido a que la planta no posee una instalación eléctrica de tipo trifásico. La plataforma móvil para el tablero es óptima dado que permite mover el tablero y sus sensores una vez terminado el proceso de cocción para realizar la limpieza del tanque, es fácil de transportar porque en la parte inferior posee ruedas que hacen que la plataforma sea móvil. Se realizó un análisis mecánico de los recipientes y se pudo determinar que los recipientes en las condiciones de trabajo a las que se encuentran, funcionan correctamente.

## 6.2 Resultados obtenidos en el diseño electrónico.

Se diseñó un tablero de control para el proceso de automatización a través del cual se obtienen señales de entrada y se manipulan actuadores con el fin de realizar el proceso.

Para su funcionamiento utiliza un suministro de 110 VAC para la etapa de control, 220 VAC para energizar el motor de la bomba y el motor del agitador y una fuente de voltaje continuo de 24 VDC. El tablero tiene protecciones eléctricas para evitar daños permanentes en los dispositivos que lo componen.

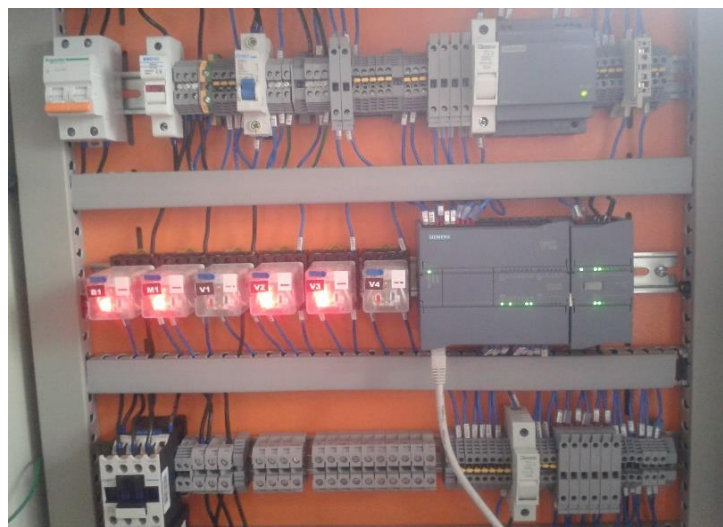


Figura 6.4: Tablero de control.

El tablero ha trabajado de manera continua durante 12 horas seguidas. No ha existido pérdida de información, ni han ocurrido perdidas en la comunicación entre la estación PC y el tablero de control.

### 6.3 Resultados obtenidos a través de sensores.

Los sensores de temperatura y nivel fueron colocados en los tanques a través de sujeciones tipo pinza en el tanque de macerado y cocción, y en el tanque de calentamiento fueron colocados por la parte superior del recipiente y conectados a través de un perfil en C de acero inoxidable. La señal obtenida por los sensores es receptada por la estación PC y visualizada en el HMI. Los sensores de nivel emiten señales digitales las cuales son receptadas por el controlador a través de 4 entradas discretas.



Figura 6.5: Controlador de nivel de agua para 500 [lt.]



Figura 6.6: Controlador de nivel en tanque de calentamiento de agua.

Los sensores de temperatura envían datos de tipo entero al controlador a través de un módulo de señales analógicas para termocuplas, los datos son transformados a datos tipo real a través de una función programada en el controlador.



Figura 6.7: Sensor de temperatura tipo termocupla.



Figura 6.8: Sensor de temperatura en tanque de maceración.

Para determinar que los sensores de temperatura trabajan de manera adecuada se utilizó un sensor bimetalico y se les colocó en el mismo punto a temperatura ambiente obteniendo los siguientes datos:

Tabla 6.1

Datos obtenidos por sensores de temperatura.

Sensores	°C
Termocupla Tipo J T1	21.3
Termocupla Tipo J T2	21.7
Termocupla Tipo J T3	21.7
Sensor bimetalico	21 a 22

Con los datos obtenidos se calculó el promedio de temperatura entre los cuatro sensores a través de la ecuación 6.1:

$$P_{m\text{temperatura}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_{\text{bimetalico}}}{4} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

$$P_m = \frac{21.3 + 21.7 + 21.7 + 21.5}{4} = 21.55[^\circ\text{C}]$$

Las temperaturas varían aproximadamente  $0.2^\circ\text{C}$  de la media calculada, esto nos da un error de  $0.6\%$ . Por tal motivo se puede afirmar que las termocuplas envían datos efectivos en el proceso.

#### 6.4 Archivo de escalas de temperatura.

Este subproceso permite obtener una curva de temperatura en función del tiempo para cada receta con la finalidad de verificar el comportamiento de la función temperatura de escalado. La activación de datos de escalas de temperatura comienza en el instante en que el sensor de temperatura T2, detecta que la mezcla de cebada y agua ha llegado al mínimo valor de escala. El registro de datos finaliza en el momento en que el sensor T2 y T3 detectan la misma temperatura y esta es igual a la máxima temperatura de escalado ingresado en el sistema. Se realizó el proceso de cocción de cerveza tipo rubia. Para la elaboración de esta clase se estableció una temperatura mínima de escalado de 55°C, y una máxima de 72°C. El proceso en el que la temperatura es escalada de un valor mínimo a un máximo duró 2 horas 30 minutos. El modo de registros fue de manera cíclica y se activó por el disparo de un evento. De igual manera para detener el archivado se genera un evento el cual finaliza el proceso de registro de la información. En la figura 6.9 se muestra la gráfica obtenida para el proceso de cocción de cerveza tipo rubia elaborada el 23 de septiembre del año 2015. Los datos son extraídos del fichero una vez finalizado el proceso y en un libro de Excel se generan las curvas.

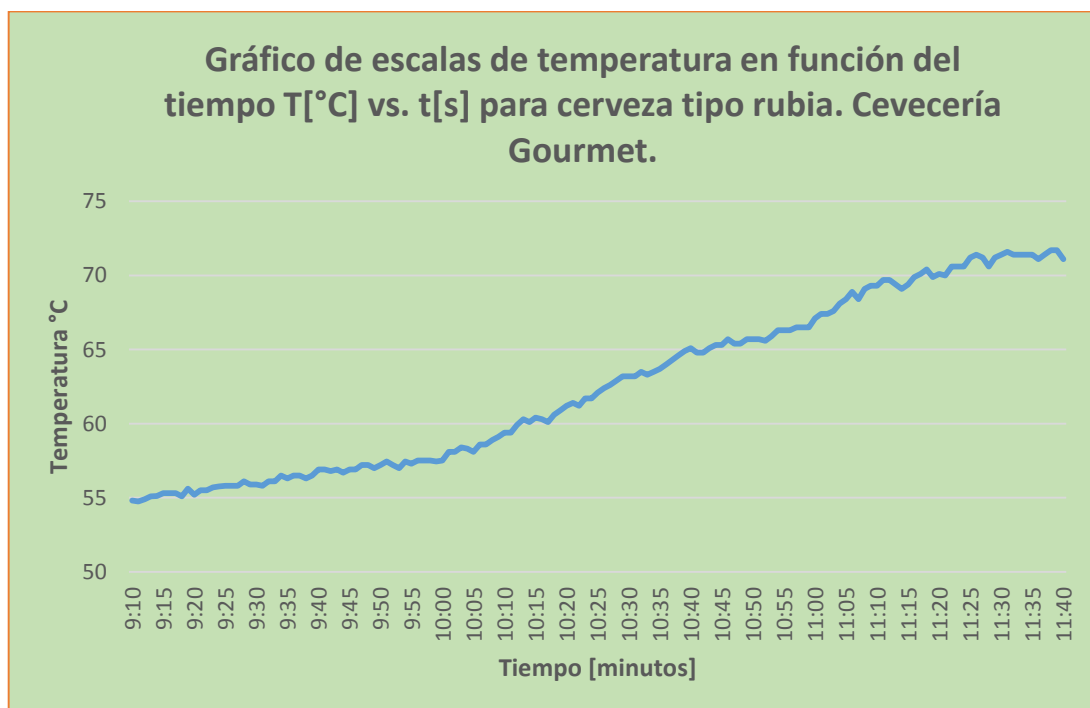


Figura 6.9: Generación de gráfica de escalado de temperaturas.

Como se observa en la figura 6.9 la temperatura es elevada lentamente a través del quemador que se encuentra en la parte inferior del tanque de maceración, el objetivo de la curva es al realizar cocciones del mismo tipo de cerveza generando gráficas en las que se pueda comparar el comportamiento del sistema. Los parámetros que se deberán analizar en el momento de realizar varias cocciones son:

- El tiempo de generación del escalado.
- La forma de la curva.
- La detección de temperaturas.
- Eficiencia del sistema de calentamiento.

Esto permite obtener parámetros técnicos para mejorar la cocción de la cerveza basándose en la información obtenida en los registros.

Se realizó un escalado de temperaturas de manera experimental a través del calentamiento de agua en un volumen menor a  $0.05[m^3]$  para analizar el comportamiento que se obtiene al aumentar la temperatura en un menor tiempo.

El tiempo requerido fue de 4 minutos para realizar el escalado, las temperaturas a escalar partieron desde los  $41^{\circ}\text{C}$  hasta los  $62^{\circ}\text{C}$ . De esta manera se puede determinar que dependiendo del sistema de calentamiento que se utilice se pueden alcanzar las temperaturas deseadas reduciendo el tiempo en el que se realiza la medición.

En la figura 6.10 se presenta la gráfica obtenida a través de este método experimental.

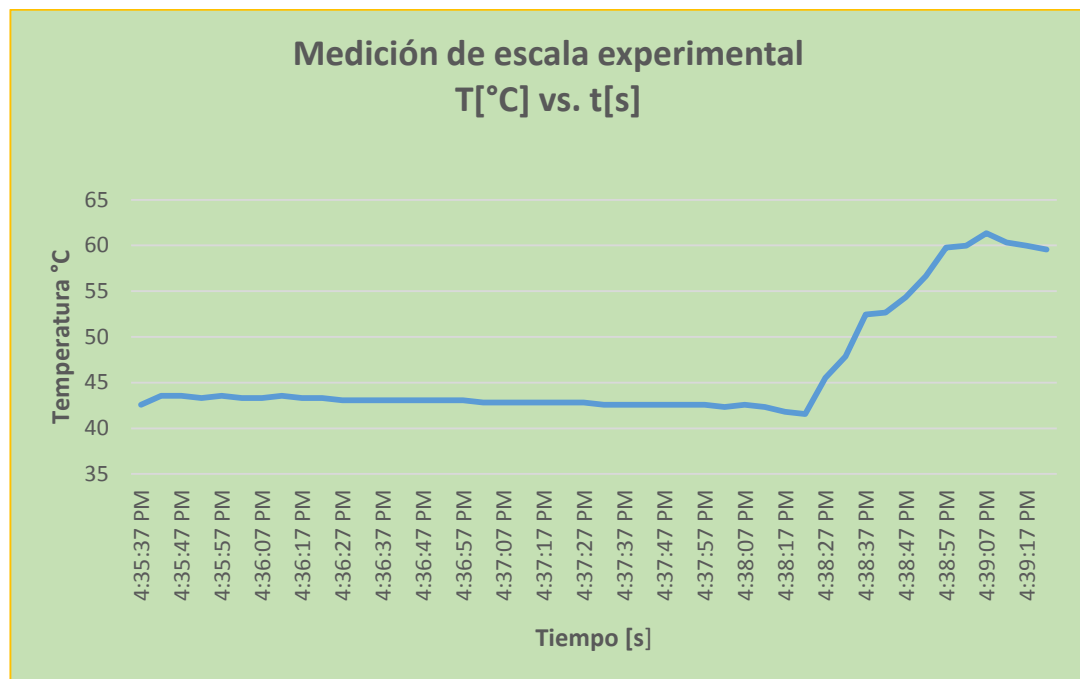


Figura 6.10: Medición de escalas de temperatura a escala experimental.

### 6.5 Costo de equipos adquiridos para el proceso de automatización

Se detallan los costos de los equipos que se adquirieron para el desarrollo del proyecto. El proyecto fue autofinanciado por los autores del mismo. En la tabla 6.2 se detalla el costo de los equipos eléctricos utilizados en el proceso.

Tabla 6.2

Costo de los componentes eléctricos.

No.	EQUIPOS ELÉCTRICOS	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	PLC Siemens s7 1200 CPU 1214 C	1	700.00	700.00
2	Módulo de entradas analógicas SM 1231 TC	1	550.00	550.00
3	Panel Industrial Beaucoup 60 [cm] x 60 [cm]	1	150.00	150.00
4	Fuente de voltaje Siemens LOGO 24 VDC	1	130.00	130.00
5	Sensores de temperatura termocupla tipo J	3	55.00	165.00
6	Multímetro digital Truper	1	70.00	70.00
7	Contactador Chint 110 VAC/220VAC	1	30.00	30.00
8	Guardamotor CHINT 450 VAC	1	45.00	45.00
9	Breaker termomagnetico 2 polos	1	30.00	30.00
10	Breaker termomagnetico 1 polo	1	15.00	15.00
11	Riel DIN	2	10.00	20.00
12	Canaletas 40x40	2	8.00	16.00
13	CANALETAS 30 X30	1	10.00	10.00
14	Pulador paro de emergencia	1	8.00	8.00
15	Selector tipo llave	1	8.00	8.00
16	luz piloto	1	8.00	8.00
17	Bornera AWG 18	30	1.40	42.00
18	Bornera portafusible 0.5[A]	12	3.10	37.20
19	Bornera portafusible 0.05[A]	1	12.00	12.00
20	Puentes tipo peinilla	2	6.00	12.00
21	Puente tipo tornillo	1	9.00	9.00
22	Bornera tipo tierra	1	3.00	3.00
23	Base de relés	6	4.00	24.00
24	Relés	6	6.00	36.00
25	Tornillos de sujeción	20	0.40	8.00
26	Conectores para motor	2	4.00	8.00
27	Tapa para conector de motor	2	3.00	6.00
28	Prensas de estopa	4	2.00	8.00
29	Ferrules AWG 14	1	6.00	6.00
30	Ferrules AWG 18	1	6.00	6.00
31	Frenos de anclaje de borneras	10	1.40	14.00
32	Bornera portafusible	3	4.00	12.00
33	Etiquetas	1	15.00	15.00

Continúa



34	Espiral para envoltura de cables	5	2.00	10.00
35	Cable AWG 14	20	0.70	14.00
36	Cable AWG 18	20	0.70	14.00
37	Enchufe 3 conectores	2	2.00	4.00
38	Cable de fibra polimérica de alta resistencia	6	6.00	36.00
39	Switch de nivel magnético	4	30.00	120.00
<b>Total (\$)</b>				<b>2,411.20</b>

El costo de los equipos eléctricos fue de 2411.20 dólares. Los proveedores de los equipos son nacionales.

Se detalla en la tabla 6.3 el costo de los componentes mecánicos utilizados en el proyecto.

Tabla 6.3

Costo de equipos mecánicos.

No.	EQUIPOS MECÁNICOS	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	Base de soporte para tablero	1	75.00	75.00
2	Ruedas móviles 50 kg	1	2.00	2.00
3	Tubería acero inoxidable CD 40 0.5 [in]	2	45.00	90.00
4	Teflón Tipo PTFE	1	6.00	6.00
5	T acero inoxidable CD. 40 0.5[in]	3	3.00	9.00
6	Codo acero inoxidable CD. 40 0.5[in]	1	3.10	3.10
7	Bushing hembra 1/2 a 1/8	4	2.50	10.00
8	Bushing macho 1/2 a 1/8	4	2.60	10.40
9	Chapa metálica para termocupla tipo J	2	6.00	12.00
10	Perfil en C acero inoxidable	1	30.00	30.00
11	Unión Hembra- hembra 1/2 NPT	3	2.60	7.80
12	Conector para termocupla tipo J	3	17.00	51.00
13	Electroválvula 3/2 NC 24 VDC	3	45.00	135.00
14	Racor rectos	3	1.00	3.00
15	Tapones	3	1.00	3.00
16	Cinta termoencogible	1	2.10	2.10
17	Cinta de unión autosoldable	1	14.00	14.00
18	Válvula de agua 110 VAC	1	30.00	30.00
19	Tubería Acero inoxidable grado alimenticio 1.5 [in]	2	110.00	220.00
20	Conexión tipo CLAMP	12	20.00	240.00
21	Empaque tipo EPDM	12	10.00	120.00
<b>Total (\$)</b>				<b>1,073.40</b>

Los elementos mecánicos fueron adquiridos por proveedores nacionales.

El costo total del proyecto en el que se considera movilización e inversión fue de:

$$Costo_{Proyecto} = Costo_{movilización} + Costo_{C.eléctrico} + Costo_{C.mecánico}$$

$$Costo_{Proyecto} = 1073.40 + 2411.20 + 100 [USD]$$

$$Costo_{Proyecto} = 3484.6[USD]$$

## CONCLUSIONES

- Una vez realizados los cálculos se determinó una velocidad de flujo de  $0.6[m/s]$ , la misma que permite trabajar en condiciones adecuadas para el proceso, por lo tanto, se determinó que el diámetro nominal de la tubería es de  $1.5[in]$  equivalente a  $38.1[mm]$  es el adecuado.

- Se determinó la caída de presión del sistema utilizando la ecuación de conservación de la energía para fluidos incompresibles y su valor es equivalente a  $6 [psi] = 42[KPa]$ . De esta manera se puede afirmar que se trabaja en condiciones óptimas en el proceso de cocción de cerveza artesanal.

- Se reemplazó una bomba hidráulica Liverani EP Senior la cual proporciona un caudal de  $115[\frac{l}{min}]$  a una caída de presión aproximada de  $7.2 [psi]$ , por bomba hidráulica EP Neos, la cual proporciona un caudal de  $35 [\frac{l}{min}]$  con una presión de  $6 [psi]$ , por lo tanto con dicha bomba se redujo la velocidad del fluido para evitar que al cierre de las válvulas no ocurran daños en las partes mecánicas que componen el sistema de distribución de fluidos.

- Para la apertura y cierre de las válvulas tipo mariposa de grado alimenticio se seleccionaron tres actuadores neumáticos giratorios de simple efecto que trabajan a una presión de  $87 [psi]$  equivalente a  $600 [KPa]$  y transfieren un torque de  $15[Nm]$ . El torque generado por el fluido a la presión de  $600[Kpa]$  es de  $0.59 [Nm]$ . Por tal motivo se puede afirmar que las válvulas realizarán una apertura y cierre de forma adecuada.

- Se diseñó un sistema neumático para el trabajo de los actuadores neumáticos giratorios que consta de 3 electroválvulas direccionales 3/2 normalmente cerrada, una unidad de mantenimiento FRL, un compresor de  $1.8 [Kw]$ , presión de trabajo máxima de  $110[psi]$  a  $3.4 cfm$ .

- Mediante el análisis a través del número de Reynolds en un sistema de agitación se determinó que el valor es de  $Re_m = 132$ . Lo que nos permite determinar que el grado de agitación es correcto para la maceración.

- El motor seleccionado para el sistema de agitación posee una potencia de  $3[HP]$ , obtenida mediante cálculos basados en las propiedades físicas como la

viscosidad dinámica, densidad y número de Reynolds y el número de potencia de la mezcla en el tanque de maceración.

- La automatización del proceso de cocción de cerveza se realizó mediante el uso de un controlador lógico programable PLC Siemens S7 1200 CPU 1214C.

- La programación del proceso se realizó a través del software TIA PORTAL v13, con el cual se elaboró el programa y la interfaz humano máquina HMI, operada en una estación PC por el usuario.

- Se instalaron tres sensores termocupla tipo J para la medición de temperaturas en el proceso de cocción de la cerveza. A través de un módulo de señales analógicas Siemens SM 1231 TC se realizó el acondicionamiento de señales que posteriormente son procesados a través del controlador.

- Se diseñó un controlador de nivel de agua en el tanque de calentamiento. Este sistema consta de 4 sensores magnéticos de tipo flotador. La medición se realiza de forma puntual para enviar de manera proporcional el volumen de agua en el proceso. El volumen de trabajo del sistema es de 500[lt]. El controlador de niveles es el adecuado para el control ON/OFF de la bomba.

- Se diseñó un tablero de control eléctrico compacto y móvil con la finalidad de que al terminar el proceso puedan ser retirados los componentes eléctricos para permitir la limpieza de los componentes mecánicos.

## RECOMENDACIONES

- Para el ingreso de sensores de medición de nivel se requiere que el operador no realice una incorrecta manipulación de este sistema para evitar que los componentes internos de este dispositivo como cables, uniones y aislantes térmicos sean averiados.
- El tablero de control debe permanecer cerrado y el operador no debe abrirlo, esto puede ocasionar que ingrese líquido en el tablero y pueda dañar los componentes eléctricos.
- En el caso de que el operador detecte alguna falla en el sistema no debe abrir o manipular los componentes del sistema. Se recomienda contactar a los diseñadores del proyecto para su revisión.
- Para el correcto uso del tablero de control, el operador deberá referirse al manual de usuario.
- El sistema de distribución de fluidos puede ser retirado de la planta después de treinta minutos de haber terminado el proceso de cocción para evitar que el operador sufra quemaduras al contacto con las tuberías.
- En las instalaciones de la empresa se trabaja con quemadores los cuales se utilizan para calentar los tanques de: calentamiento de agua, maceración y de cocción, por lo tanto se recomienda la implementación de un sistema contra incendios para precautelar la integridad tanto de los operadores como de los equipos y elementos existentes.
- Se recomienda además que la empresa adquiriera un plan de evacuación por cualquier eventualidad como pueden ser: eventos naturales, eventos provocados por el hombre o eventos ocurridos durante el proceso.
- El suministro de energía eléctrica no posee una etapa de protección para alimentación de 220 [VAC], por tal motivo es necesario revisar la acometida y realizar una correcta instalación.

## Bibliografía

- Alfalaval. (2015). *Válvulas en la industria*. Obtenido de <http://www.alfalaval.com>
- Amrita. (2011). *Thermo Couple-Seebeck Effect*. Obtenido de <http://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=194&sim=351&cnt=1>
- Bello, M. A. (2011). *Medición de presión y caudal*. Madrid.
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2011). *Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones*. México D. F.: McGraw Hill.
- CervezasInfo. (2015). *La Malta*. Obtenido de <http://www.cervezas.info/ingredientes/el-lupulo/>
- Chanto. (2015). *Catalogo de electroválvula neumática 3/2 D24*. Obtenido de <http://www.chanto.com>
- Chint. (2015). *Contactores eléctricos*. Obtenido de <http://www.chint.com>
- Colina, M. L. (2015). *Mezclado de alimentos fluidos*. Madrid.
- Crane, C. (2010). *Flow of fluids through pipes fittings and valves*. New York.
- DirectIndustry. (2015). *Sensor de nivel capacitivo*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensor-nivel-60830.html>
- Dry Hopping. (2015). *Lúpulo y malta*. Obtenido de Técnicas de uso para cerveceros: <http://www.lupuloymalta.com/2015/01/dry-hopping-tecnicas-de-uso-para.html>
- EBCHQ. (2015). *Catalogo de sensor de flujo recto tipo magnético*. Obtenido de <http://www.ebchq.com>
- El Lúpulo*. (2013). Obtenido de <http://www.cervezas.info/ingredientes/el-lupulo/>
- Emerson. (2015). *Sensor de presión diferencial*. Obtenido de <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/pm%20rosemount%20documents/00813-0109-4016.pdf>
- Escalona, I. (28 de Septiembre de 2003). *RevistaCiencias*. Obtenido de <http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EpyuZlkyIFxBEZLhkT.php>
- Estrada, G. (2015). *Laboratorio hidráulica de canales*.
- Falco, A. (2009). *Despliegue de la función Calidad QFD*. Madrid.
- Festo. (2015). *Pneumatic and electrical systems*. Festo.
- Flowline. (2015). *Sensores de nivel ultrasónico*. Obtenido de <http://www.flowline.com/>
- Genebre. (2015). *Actuador eléctrico rotatorio*. Obtenido de <http://www.genebre.com>
- HGB. (2015). *Aceros Industriales*. Obtenido de <http://acerosindustrialeshgb.blogspot.com/>
- Identificación de componentes neumáticos según norma ISO 1219-1 1219-2*. (2015). Obtenido de [http://www.aventics.com/pneumatics-catalog/Pdf.cfm?Language=EN&file=en/pdf/PDF\\_g61169\\_en.pdf](http://www.aventics.com/pneumatics-catalog/Pdf.cfm?Language=EN&file=en/pdf/PDF_g61169_en.pdf) ISO 5599-1
- INEN NTE 1108. (2011). *Agua Potable*. Quito.
- INEN NTE 2262. (2003). *Bebidas alcohólicas. Cerveza*. Quito.
- INOXPA. (2015). *Food Processing Sector*. Obtenido de <http://www.inoxpa.com>
- Liverani. (2015). *Pompe autoadescanti ad anello liquido*. Obtenido de <http://www.liverani.com>
- Ludwig, E. (1999). *APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS*. Houston, TX.: Butterworth- Heinemann.

- Omega Instruments. (2015). *Sensores de temperatura*. Obtenido de <http://www.omega.com/temperature/>
- Parr, A. (2010). *Hydraulic and Pneumatic Systems*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Picado, A., Mendieta, R., Porras, L., & Martínez, J. (2002). *Diseño de un sistema para la recuperación de cerveza residual y secado de la levadura sobrante*. San Salvador.
- Quispe, M. A. (2015). *Agitación y mezclado*.
- Riba Romeva, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.
- Roldán, J. (2010). *Neumática Hidráulica y electricidad aplicada*. Mexico D. F.: Thomson Paraninfo.
- Suarez, M. (2013). *Cerveza componentes y propiedades*. Oviedo.
- Tierra de cerveza. (2015). *Ingredientes de la cerveza*. Obtenido de La malta: <http://bit.ly/1FuqnWX>
- Truper. (2015). *Catálogo Unidad de mantenimiento FRL*. Obtenido de <http://www.truper.com>
- WEG. (2015). *Selección de Motores Eléctricos*. Obtenido de [http://ecatalog.weg.net/TEC\\_CAT/tech\\_motor\\_dat\\_web.asp](http://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_dat_web.asp)
- White, F. (s.f.). *Mecánica de fluidos*. México D.F.: Mc Graw Hill.

**ANEXOS**