



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta tecnológica, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“Sistema de control automático para el proceso de maceración enfocado a
la fabricación de la cerveza artesanal”**

AUTOR

ELVIS FRANCISCO GUZMÁN AGUILAR

PROFESOR TUTOR

ING. LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMÉNEZ M.E.

LA LIBERTAD – ECUADOR

JULIO-2020

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante, sin declinar ante las adversidades de la vida, igualmente agradezco a mis padres que son el pilar fundamental que me permiten llegar hasta este punto de la carrera, gracias a la formación y al apoyo incondicional que me ofrecen día a día, a mi familia, hermanos, compañeros y amigos, los cuales siempre están dispuestos a brindar su ayuda en cada obstáculo que se presenta.

A los docentes, que formaron parte del crecimiento académico en la vida universitaria, a mi tutor por la paciencia brindada, quien fue un guía e impartió sus conocimientos profesionales para la culminación de este proyecto.

A todos aquellos que de alguna o de otra forma comparten mi alegría en este día como si fuese propia.

Elvis Francisco Guzmán Aguilar

DEDICATORIA

A mis padres Juan Guzmán y Paquita Aguilar, a quienes les debo todo me han apoyado en mi crecimiento personal y profesional, son mi motivación para seguir a delante día a día, a mis abuelos quienes fueron y serán parte de mi vida, a mis hermanos Juan y Ronny, por ser un motivo de superación y me impulsan a continuar con mis propósitos por un mejor mañana, a todos ellos dedico mi proyecto de titulación y comparto la satisfacción de culminar un ciclo de mi vida.

Elvis Francisco Guzmán Aguilar

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: **“Sistema de control automático para el proceso de maceración enfocado a la fabricación de la cerveza artesanal”**, elaborado por el estudiante **Elvis Francisco Guzmán Aguilar**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante iniciar los trámites legales correspondientes.

La Libertad, 6 marzo del 2020



Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez M.E

TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Freddy Villao Santos, MSc.
DECANO DE FACULTAD



Ing. Washington Torres Guin, MSc.
DIRECTOR DE LA CARRERA



Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, MSc.
PROFESOR TUTOR



Ing. José Sánchez Aquino, MSc.
PROFESOR DE ÁREA



Ab. Víctor Coronel Ortíz, MSc.
SECRETARIO GENERAL

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“Sistema de control automático para el proceso de maceración enfocado a la
fabricación de la cerveza artesanal”**

Autor: Elvis Francisco Guzmán Aguilar

Tutor: Luis Chuquimarca Jiménez

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo implementar un sistema de control automático para el proceso de maceración enfocado a la fabricación de la cerveza artesanal.

Con la automatización del proceso de maceración se mantiene de forma estable uno de los procesos más importantes en la producción de la cerveza, mediante el uso de actuadores y sensores controlados por medio de un PLC donde se receptara los datos de los actuadores controlando la activación de los actuadores y comandar sus acciones en los momentos indicados en sus respectivos lapsos de acción, de esta forma se lleva un control preciso del tiempo y temperatura lo que permite que se mejore la calidad en el sabor, aroma, amargor y cuerpo de la cerveza.

En el sistema de control se puede seleccionar recetas cerveceras, de acuerdo a los requerimientos de la producción del tipo de cerveza, que se desea realizar, tomando en cuenta los parámetros de tiempo, recirculación y temperatura.

Se tiene en consideración las respectivas alarmas de nivel de llenado para el inicio de los procesos de maceración, además de la protección de la bomba cuando el nivel de líquido no sea suficiente para la activación.

Para monitorear de forma manual el operador tiene un panel de control con una interfaz gráfica sencilla y amigable lo cual garantiza un buen control de las temperaturas para las recetas de cerveza artesanal.

ABSTRACT

This titling project aims to implement an automatic control system for the maceration process focused on the manufacture of craft beer.

With the automation of the maceration process, one of the most important processes in the production of beer is stable, using actuators and sensors controlled by a PLC where the data from the actuators will be received, controlling the activation of the actuators and command their actions at the moments indicated in their respective periods of action, in this way, precise control of time and temperature is carried out, allowing the quality of the beer's flavor, aroma, bitterness and body to be improved.

In the control system you can select beer recipes, according to the requirements of the production of the type of beer that you want to make, taking into account the parameters of time, recirculation and temperature.

The respective filling level alarms are taken into account for the initiation of the maceration processes, in addition to the protection of the pump when the liquid level is not sufficient for activation.

To monitor manually the operator has a control panel with a simple and friendly graphical interface which guarantees good temperature control for craft beer recipes.

DECLARACIÓN

El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena



Elvis Francisco Guzmán Aguilar

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iv
TRIBUNAL DE GRADO	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
DECLARACIÓN	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii ^{xix}
ÍNDICE DE TABLAS	xiv ^{xiii}
ÍNDICE DE ANEXOS	xv ^{xiv}
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	5
1.4 RESULTADOS ESPERADOS	5
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.6 METODOLOGÍA	6
CAPÍTULO II	8
DESARROLLO DE LA PROPUESTA	8
2.1 MARCO CONTEXTUAL	8
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	10
2.2.1 SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA.....	10
2.2.2 MATERIAS PRIMAS.....	10
2.2.2.1 AGUA.....	11
2.2.2.2 MALTA.....	12
2.2.2.3 LÚPULO.....	14

2.2.2.4	LEVADURA	15
2.2.3	PROCESOS DE ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL	17
2.2.3.1	PREPARACIÓN DE AGUA.....	17
2.2.3.2	MACERACIÓN	18
2.2.3.3	COCCIÓN.....	20
2.2.3.4	ENFRIADO	22
2.2.3.5	FERMENTACIÓN	23
2.2.3.6	EMBOTELLADO	23
2.2.4	IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES SISTEMAS	24
2.2.5	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	26
2.2.6	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN LADDER.....	26
2.2.7	SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN	26
2.2.8	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN MODBUS	27
2.2.9	PANEL DE CONTROL INDUSTRIAL	28
2.2.10	CONTACTOR	29
2.2.11	CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	29
2.2.12	SENSOR DE TEMPERATURA.....	29
2.2.13	SENSOR DE NIVEL	30
2.2.14	RESISTENCIA ELÉCTRICA	30
2.2.15	BOMBA MAGNÉTICA	30
2.2.16	ELECTROVÁLVULA DE CAUDAL.....	30
2.2.17	INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA.....	31
2.3	MARCO TEÓRICO.....	31
CAPÍTULO III.....		33
3.1	COMPONENTES DE LA PROPUESTA.....	33
3.1.1	COMPONENTES FÍSICOS	33
3.1.1.1	PLC SIEMENS	33
3.1.1.2	MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS	36
3.1.1.3	MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES SM 1222	37
3.1.1.4	CONTROL DE TEMPERATURA	38
3.1.1.5	SENSOR DE TEMPERATURA.....	39
3.1.1.6	SENSOR DE NIVEL DE LÍQUIDO.....	41
3.1.1.7	RESISTENCIA ELÉCTRICA.....	43

3.1.1.8	BOMBA MAGNÉTICA	45
3.1.1.9	PULSADOR	47
3.1.1.10	INDICADORES DE ESTADO	48
3.1.1.11	ELECTROVÁLVULA SOLENOIDE	49
3.1.1.12	CONTACTOR	50
3.1.1.13	PANTALLA HMI	52
3.1.2	COMPONENTES LÓGICOS	55
3.1.2.1	TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL V14	56
3.1.2.2	SKETCHUP	56
3.1.2.3	SOFTWARE AUTOCAD	57
3.1.2.4	DOPSOFT	57
3.2	DISEÑO DE LA PROPUESTA	58
3.2.1	DIAGRAMA DE RED DE LA COMUNICACIÓN DEL SISTEMA	58
3.2.2	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE	58
3.2.3	DISEÑO DE LA OLLA DE MACERACIÓN	59
3.2.4	DISEÑO DE SISTEMA DE TUBERÍA	60
3.2.5	DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL	61
3.2.6	DISEÑO FINAL DEL SISTEMA DE MACERACIÓN	61
3.2.7	CÁLCULO DEL DIMENSIONAMIENTO DE FUSIBLES DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA	62
3.2.8	DISEÑO ELÉCTRICO DEL SISTEMA	63
3.2.9	CONFIGURACIÓN DEL PLC S7-1200 EN TIA PORTAL	64
3.2.10	CONEXIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA - PLC	72
3.2.11	DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI	73
3.3	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	79
3.3.1	FACTIBILIDAD TÉCNICA	79
3.3.2	PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA	80
3.4	PRUEBAS Y RESULTADOS	81
	CONCLUSIONES	93
	RECOMENDACIONES	94
	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXOS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de sistema de control automatizado para el proceso de maceración de la cerveza artesanal. Elaborado por el autor.	4
Figura 2. Maceración, utilizando termómetro.	8
Figura 3. Macerador semiautomatizado.	9
Figura 4. Materia Prima.	11
Figura 5. Agua.	12
Figura 6. Malta.	13
Figura 7. Colores de cervezas.	13
Figura 8. Lúpulo.	14
Figura 9. Levadura.	16
Figura 10. Esquema simplificado del proceso de elaboración de la cerveza.	17
Figura 11. Preparación del agua.	18
Figura 12. Recirculado y filtrado.	20
Figura 13. Agregado de Lúpulo.	21
Figura 14. Whirlpool.	22
Figura 15. Enfriado.	22
Figura 16. Fermentación.	23
Figura 17. Embotellado.	24
Figura 18. Estructura de la trama de datos del protocolo ModBus TCP/IP. Tomado del libro "Introduction to ModBus TCP/IP"	28
Figura 19. PLC S7-1200.	35
Figura 20. Módulo CM1241 RS485.	36
Figura 21. Módulo de salidas digitales SM 1222.	37
Figura 22. Controlador de temperatura Delta modelo DTB4848VRE.	39
Figura 23. Sensor termopar Pt100 Ootdy.	40
Figura 24. Curva de respuesta del Pt100. Tomado de Arian.	40
Figura 25. Sensor de nivel de líquido.	42
Figura 26. Resistencia eléctrica KIPPEN 5024 C.	44
Figura 27. Bomba Magnética MKII.	46
Figura 28. Pulsador.	48
Figura 29. Indicadores de estado.	48
Figura 30. Electroválvula Bacoeng.	50
Figura 31. Contactor Camsco.	51
Figura 32. Pantalla Delta Modelo: DOP-B03E211.	54
Figura 33. Software Totally integrated automatitation portal V14. Tia Portal V14.	56
Figura 34. Software Sketchup para el diseño de la estructura.	56
Figura 35. Software AutoCAD para el diseño del sistema eléctrico.	57
Figura 36. Software DOPSoft.	57
Figura 37. Diagrama de red de comunicación del sistema.	58
Figura 38. Diseño de la estructura base.	59
Figura 39. Diseño de la olla de maceración.	60
Figura 40. Diseño de la tubería.	60

Figura 41. Diseño del panel de control.	61
Figura 42. Diseño final del sistema de maceración.....	62
Figura 43. Diseño eléctrico del sistema.	63
Figura 44. Asignación de dirección IP y mascara al PLC S7-1200.	64
Figura 45. Habilitar opción PUT/GET.....	65
Figura 46. Declaración de variables.....	65
Figura 47. Diagrama lógico del sistema.....	66
Figura 48. Encendido y emergencia del sistema.....	67
Figura 49. Apagado del sistema.....	67
Figura 50. Llenado de agua a la olla maceración.....	67
Figura 51. Leguaje de escalera de la primera receta.....	68
Figura 52. Leguaje de escalera de la segunda receta.....	68
Figura 53. Leguaje de escalera de la tercera receta.....	69
Figura 54. Habilitación del módulo ModBus.....	69
Figura 55. Configuración del controlador de temperatura DTB4848.....	70
Figura 56. Conexión del controlador de temperatura.....	72
Figura 57. Conexión de pines controlador de temperatura DTB4848 – DB-9.....	73
Figura 58. Configuración de IP y mascara de la pantalla HMI.....	73
Figura 59. Selección de modelo de pantalla.....	74
Figura 60. Configuración de comunicación con el PLC S7-1200.....	74
Figura 61. Asignación de dirección IP y Mascara de la pantalla HMI.....	75
Figura 62. Diagrama de bloques de acuerdo al diseño realizado en la pantalla HMI.....	75
Figura 63. Pantalla de ingreso al sistema.....	76
Figura 64. Pantalla de Recetas.....	76
Figura 65. Pantalla de Receta Cerveza de Verano.....	77
Figura 66. Pantalla de Receta cerveza Ale Ámbar.....	77
Figura 67. Pantalla de Receta Cerveza Stout Negra.....	77
Figura 68. Pantalla de inicio del proceso de maceración de la Receta seleccionada.....	78
Figura 69. Pantalla de la gráfica de tendencia e historia de las temperaturas.....	78
Figura 70. Ping 192.168.0.1 -t, PLC S7-1200.....	82
Figura 71. Ping 192.168.0.3 -t, pantalla HMI.....	82
Figura 72. Activación de la bomba y electroválvula uno.....	83
Figura 73. Activación del sensor de nivel bajo.....	83
Figura 74. Desactivación de la bomba, electroválvula uno y activación del sensor de nivel alto.....	84
Figura 75. Señal receptada en el software TIA Portal V14.....	85
Figura 76. Visualización de la temperatura en la pantalla HMI.....	85
Figura 77. Control de la resistencia eléctrica mediante la temperatura.....	86
Figura 78. HMI llenado de agua activación de bomba y electroválvula uno.....	88
Figura 79. HMI llenado de agua activación de sensor de nivel bajo.....	88
Figura 80. HMI llenado de agua activación de sensor de nivel alto y desactivación de bomba y electroválvula uno.....	89
Figura 81. HMI Mensaje de agregar las maltas.....	89
Figura 82. HMI resistencia eléctrica apagada y encendida.....	90
Figura 83. HMI recirculación del sistema.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperaturas de enzimas [11].	19
Tabla 2. Comparación de PLC Siemens. Tomado del DataSheet.	34
Tabla 3. Datos técnicos del PLC S7-1200. Tomados del DataSheet.....	35
Tabla 4. Datos técnicos del módulo cm1241. Tomado del DataSheet.	36
Tabla 5. Datos técnicos del módulo de salidas digitales SM 1222. Tomado del DataSheet.	37
Tabla 6. Comparación de controladores de temperatura. Tomado del DataSheet.	38
Tabla 7. Datos técnicos del controlador Delta DTB4848VRE. Tomado del DataSheet.	39
Tabla 8. Comparación de sensores de temperatura. Tomado del DataSheet.....	40
Tabla 9. Datos técnicos del sensor Pt100. Tomado del DataSheet. Tomado del DataSheet.	41
Tabla 10. Comparación de sensores de nivel. Tomado del DataSheet.....	42
Tabla 11. Datos técnicos del sensor de nivel. Tomado del DataSheet.	43
Tabla 12. Comparación de resistencia eléctrica. Tomado del DataSheet.....	44
Tabla 13. Datos técnicos de la Resistencia eléctrica KIPPEN 5024 C. Tomado del DataSheet.	45
Tabla 14. Comparación de la bomba magnética. Tomado del DataSheet.....	46
Tabla 15. Datos técnicos de la Bomba Magnética MKII. Tomado del DataSheet.....	47
Tabla 16. Características del pulsador. Tomado del DataSheet.	48
Tabla 17. Características de indicadores de estado. Tomado del DataSheet.....	48
Tabla 18. Comparación de la electroválvula. Tomado del DataSheet.	49
Tabla 19. Datos técnicos de la Electroválvula Bacoeng. Tomado del DataSheet.	50
Tabla 20. Comparación del contactor. Tomado del DataSheet.....	51
Tabla 21. Datos técnicos del contactor Camsco. Tomado del DataSheet.	52
Tabla 22. Comparación de la pantalla HMI. Tomado del DataSheet.....	53
Tabla 23. Datos técnicos de la Pantalla Delta Modelo: DOP-B03E211. Tomado del Datasheet.	55
Tabla 24. Parámetros a configurar para el módulo.	70
Tabla 25. Parámetros para configurar el modo escritura del controlador DTB4848.	71
Tabla 26. Parámetros de lectura a configurar para el controlador DTB4848.....	71
Tabla 27. Conexión DTB-4848 con DB-9.	73
Tabla 28. Costos de Equipos.....	80
Tabla 29. Costos de Estructura.....	80
Tabla 30. Costos de Mano de Obra.	81
Tabla 31. Costo Total.....	81
Tabla 32. Direcciones IP del sistema.	81
Tabla 33. Control ON/OFF de la resistencia eléctrica dependiendo de la temperatura.	87
Tabla 34. Tabla comparativa de eficiencia entre proceso manual y automatizado.....	92
Tabla 35. Parámetros del controlador de temperatura.....	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: PLC Siemens S7-1200.	98
Anexo 2: Módulo de comunicación CM1241.	99
Anexo 3: Módulo expensor de salidas digitales SM 1222.	101
Anexo 4: Pantalla HMI Delta DOP-B03E211.	103
Anexo 5: Controlador de temperatura DTB4848.	104
Anexo 6: Sensor de nivel de agua y sensor de temperatura Pt100.	107
Anexo 7: Bomba magnética MKII y electroválvulas.	107
Anexo 8: Conexión del contactor eléctrico.	108
Anexo 9: Resistencia eléctrica.	108
Anexo 10: Panel de control del sistema.	109
Anexo 11: Sistema de maceración de la cerveza artesanal.	110

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está basado en diseñar e implementar un sistema de control automático para el proceso de maceración de la elaboración de cerveza artesanal, mediante el diseño e implementación del sistema de control automático que es controlado y monitoreado a través de dispositivos industriales, permitiendo a los maestros cerveceros recrear las recetas almacenadas en el sistema, en este proceso de elaboración de cerveza artesanal, en el proceso de maceración se debe tomar en cuenta de manera especial las temperaturas y tiempo de maceración de cada receta debido a que algún cambio en estos parámetros resulta afectado la calidad, aroma y sabor de la cerveza.

Los programas que se utilizaron para el desarrollo de este trabajo de titulación son: Totally Integrated Automation portal V14, el cual permite configurar y estructurar sentencias orientadas a los procesos industriales, para la elaboración del diseño 3D y desarrollar la estructura base de la olla y el panel de control se utilizó el software Sketchup, los diseños para realizar el monitoreo y control del sistema se realizaron en el software Dopsoft.

El presente trabajo de titulación consta de 3 capítulos que se detallan a continuación:

Capítulo 1: Describe las generalidades del proyecto recopilando información como; antecedentes, descripción de proyecto, objetivos y justificación, los mismos que ayudan a conocer los inconvenientes que se presentan actualmente dentro de la fabricación de la cerveza artesanal, así como también las posibles soluciones.

Capítulo 2: Se basa en la descripción de los fundamentos teóricos específicamente en el marco contextual, marco conceptual y teórico. Detallando los análisis y definiciones de cada uno de los elementos y materia prima a utilizar dentro del sistema del proyecto.

Capítulo 3: Describe los componentes físicos y lógicos utilizados en la propuesta, el diseño y desarrollo de la propuesta junto a la factibilidad técnica y presupuesto de la propuesta, también los resultados, pruebas y resultados obtenidos, finalmente las conclusiones recomendaciones y anexos.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

La cerveza según los historiadores es uno de los productos más antiguos del mundo ya que existía en la antigua Mesopotamia y Sumeria en el año 10.000 a.C. La materia prima de la cerveza es la cebada, esta se cultiva mejor que la uva en climas fríos, por eso los países nórdicos como Inglaterra y Alemania favorecieron la producción de la cerveza frente al vino. Esta cerveza era turbia y contenía muchas proteínas e hidratos de carbono, lo cual la convertía en una bebida muy nutritiva consumían tanto los aldeanos como los de la nobleza [1].

En la actualidad existen cervezas artesanales e industriales, de lo cual se sabe que el consumo de cerveza artesanal está creciendo, de 100% de bebedores de cerveza en el país el 0,52% beben cerveza artesanal [2]. A través del tiempo la cerveza ha pasado por varias etapas las cuales desde la industrialización han perfeccionado técnicas para mejorar su calidad, pero sus ingredientes no son tan puros, a la vez apareció una forma de producir cerveza a la cual se le denomina "artesanal" ya que en su elaboración no se emplea ningún tipo de aditivo, colorantes artificiales, carbonatación artificial, filtrado ni pasteurización.

En el Ecuador el mercado de la cerveza artesanal está creciendo, las primeras aparecieron en el año 2010 como emprendimientos de familia y amigos, financiadas con recursos propios, en el año 2015 existían 15 cervecerías pequeñas y 55 micro cervecerías en el país distribuidas principalmente en ciudades como Cuenca, Loja, Guayaquil, Quito, Manta e Ibarra de acuerdo a la asociación de cerveceros del Ecuador [3].

Las cervezas industriales se distinguen por tener una alta producción ya que fabrican millones de litros, a diferencia de las fábricas artesanales que producen muchos menos litros de cerveza, lo que da mayor libertad a la hora de desarrollar y probar con nuevos ingredientes para conseguir nuevos estilos. Su precio está desde los tres dólares la botella de 330 ml a quince dólares de acuerdo a la cantidad, si es barril o no, también varía con respecto a las características propias de cada cerveza. Además, superan los 5 grados de alcohol de la cerveza tradicional por ejemplo una Budweiser, mientras que una artesanal "Stout Americana (estilo imperial)" tiene 8 grados de alcohol [4].

La preparación de cerveza artesanal consta de cinco procesos, filtración y preparación del agua, maceración, cocción, enfriado y trasvase al fermentador [5].

Esta propuesta estará centrada en el proceso de maceración debido al tipo de cerveza que se desea preparar dependerá de sus temperaturas y tiempo, en este proceso existe el problema que cuando un maestro cervecero al momento de recrear nuevamente una de sus recetas al estilo hecho anteriormente esta no sea exactamente igual, esto se debe a que es muy dependiente de las temperaturas y tiempos de maceración, cualquier cambio menor en el proceso productivo resultará en una tanda de distinto sabor, aroma, amargor y cuerpo al proceso anteriormente hecho. Por este motivo cuando un productor artesanal crezca en producción y quiera ofrecer su cerveza en el mercado uno de sus estilos de cerveza no podrá garantizar que su mismo estilo lo produzca con iguales características siempre.

En consecuencia considerando que este tipo de cerveza está creciendo en el mercado local se podría decir que al momento de que un maestro cervecero decida invertir en una automatización de su producción de cerveza este aumentaría su producción y por consecuencia generaría más ganancias en su negocio, entonces por los problemas ya antes mencionados se propone la implementación de un sistema automático para realizar el proceso de maceración enfocado a la fabricación de cerveza artesanal pero de una forma que no se pierda la forma artesanal ya que en este sistema las maltas de las distintas recetas serán agregadas manualmente.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para realizar el proceso de maceración en la fabricación de cerveza artesanal se implementa un sistema automático dónde se pueda controlar las temperaturas y los tiempos de la maceración, el cual será de fácil configuración a través de un entorno grafico sencillo y amigable, que se adapte a las necesidades del cliente y garantice un buen control de las temperaturas en las distintas recetas de cerveza artesanal.

La estructura contiene una olla de material de acero inoxidable la cual cuenta con un fondo falso, diseñada para permitir colocar dos sensores de nivel los cuales permiten saber cuándo la olla está llena o vacía, un sensor de temperatura para saber la temperatura en la se encuentra el mosto, una resistencia eléctrica para mantener las temperaturas deseadas en el mosto, y

dos tubos uno de entrada y otro de salida dónde también se contará con dos electroválvulas dónde la primera servirá para abrir o cerrar la entrada de agua hacia la olla, la segunda será para poder realizar la recirculación del mosto dónde se contará con una bomba de agua para poder recircular el mosto desde abajo hacia arriba en el proceso de maceración (ver Figura 1).

En la parte de control será ejecutada por medio de un PLC (Programmable Logic Controller), este se encargará de medir las variables por medio de los sensores y actuará a través de las electroválvulas, bomba de agua y la resistencia eléctrica.

Para la interacción con los actuadores y sensores se empleará uno de los lenguajes de programación de alto nivel llamado diagrama de escalera o Ladder, siendo este uno de los lenguajes que permite programar de manera gráfica utilizando una interfaz de símbolos para declarar las instrucciones de control.

Este PLC se comunicará por medio de una pantalla HMI (Human Machine Interface), desde la cual el usuario podrá elegir el estilo de cerveza que desea elaborar dependiendo de las temperaturas y tiempos según la receta, así como también podrá realizar un seguimiento en tiempo real del proceso de manera gráfica, observando las temperaturas y tiempo del proceso de maceración.

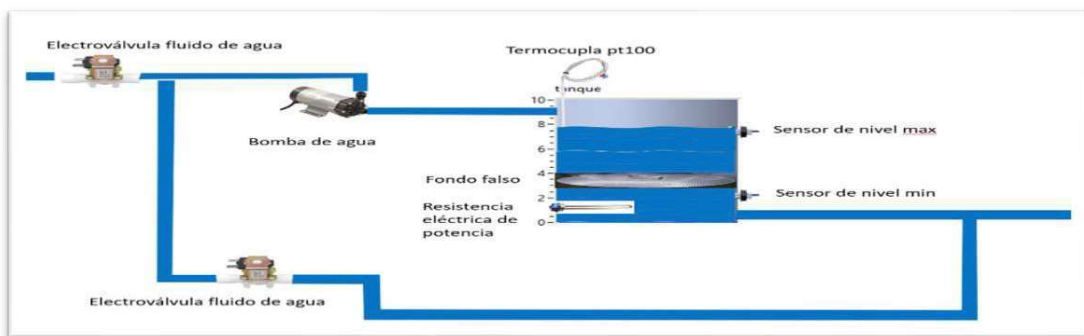


Figura 1. Esquema de sistema de control automatizado para el proceso de maceración de la cerveza artesanal. Elaborado por el autor.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de control automático para realizar el proceso de maceración de la cerveza artesanal, empleando un dispositivo industrial de control, comunicado con los sensores y actuadores, que permita controlar las temperaturas y tiempos de las recetas.

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar una estructura física, la cual facilite la conexión de los componentes del sistema de control industrial para la maceración de la cerveza.
- Desarrollar un sistema de control, que permita encender y apagar la resistencia eléctrica dependiendo de la variable de temperatura, en la olla de maceración.
- Implementar una red de comunicación industrial, entre los dispositivos de control, sensores y actuadores.
- Desarrollar una interfaz gráfica mediante un software para la pantalla HMI, permitiendo el monitoreo de las temperaturas y procesos.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

- Implementar una buena estructura dónde se pueda asegurar que todos los dispositivos estén perfectamente ubicados, conectados y puedan dar la seguridad que se espera en el proceso de maceración para la fabricación de cerveza artesanal.
- Realizar la maceración para la fabricación de cerveza artesanal con tiempos y temperaturas controladas automáticamente y obtener un sistema confiable capaz de hacer una buena mezcla de agua y malta con recirculación para obtener un mosto limpio, también se espera almacenar los tiempos y temperaturas de la maceración de los distintos tipos de recetas de cerveza artesanal.
- Implementar una red de comunicación industrial que permita un correcto funcionamiento de los dispositivos del sistema.
- Desarrollar una interfaz gráfica que permita monitorear las temperaturas del proceso de maceración de la preparación de cerveza artesanal.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, las cervezas artesanales están ganando mercado frente a las industriales, debido a que los procesos para su elaboración no son muy complejos, pero requieren de un minucioso control de temperaturas y tiempos al momento de su elaboración. En nuestro entorno existen micro emprendimientos que ofrecen kits para la elaboración de cerveza artesanal en el hogar, con los que se pueden lograr buenos resultados si la persona que fabrica la cerveza casera le dedica un 100% del tiempo al proceso para garantizar la correcta producción de esta.

La necesidad de implementar un sistema de control automático del proceso de maceración que permita controlar las temperaturas y tiempos de las recetas para la fabricación de cerveza artesanal destinado a las pequeñas y micro cervecerías del país, permitiendo llevar a cabo el control y monitoreo de tiempos y temperaturas que se emplean en su fabricación, beneficiando a los maestros cerveceros al momento de que este quiera crecer en producción y ofrecer al mercado su cerveza, obteniendo sus propias recetas y recreando con facilidad los distintos estilos de cerveza.

El proceso de maceración es esencial para obtener una cerveza de un sabor, aroma, amargor y cuerpo, y esto se logrará realizando un minucioso control de las temperaturas y tiempos empleando actuadores y sensores controlados mediante un PLC en el cual permitirá obtener resultados favorables en la elaboración de cada receta.

1.6 METODOLOGÍA

TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Esta propuesta requirió de la utilización de diferentes tipos de investigación los que se detallan a continuación:

- **INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA**

El estudio y revisión de los elementos que son parte de la implementación en el proyecto, conocerlos y elegir la mejor opción a la vez explorar nuevos campos de programación como la de un PLC y aprender sobre estos para realizar un buen proyecto.

- **INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

La realización de diferentes pruebas con el sistema de maceración diseñado y con los elementos seleccionados para un mejor conocimiento de su funcionamiento, así como la

evaluación de la respuesta a la programación propuesta, hay que hacer pruebas y poder modificar los errores.

- **INVESTIGACIÓN DIAGNÓSTICA**

Evaluación de los dispositivos y equipos electrónicos, sus respuestas y funcionamiento en las respectivas pruebas del sistema de control automático del proceso de maceración para la cerveza artesanal, diagnosticando así errores, y corrigiéndolos hasta comprobar su correcto funcionamiento, logrando optimizar el sistema y aumentando directamente su confiabilidad y calidad.

A continuación, se explicarán las fases en las que se aplican las diferentes metodologías:

FASE 1

Investigación del proceso de maceración, recopilación de la información necesaria, requerimientos en software y hardware, comparación y selección de cada elemento o dispositivo a utilizar para la construcción del sistema de automatización planteado y de esta forma satisfacer las necesidades del usuario.

FASE 2

Diseño e implementación del software y hardware mediante la aplicación de conocimientos teóricos-prácticos obtenidos durante el periodo de formación académica.

Se diseña una estructura para el sistema del proceso de la elaboración de cerveza artesanal luego se procede a realizar la implementación de ese diseño, también se realiza una programación en el controlador PLC S7-1200 y el diseño de la interfaz gráfica de la pantalla HMI.

FASE 3

Se implementa la red de comunicación para la interrelación entre software y hardware del sistema, comprobando que todos los dispositivos tengan su comunicación entre sí y cada dispositivo en correcto funcionamiento.

FASE 4

Comparar los resultados logrados durante el desarrollo del proyecto, con los objetivos planteados, analizar si el sistema cumple con lo requerido y si es necesario realizar las respectivas correcciones para que el proceso de maceración sea realizado de forma correcta.

CAPÍTULO II

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

2.1 MARCO CONTEXTUAL

La motivación para este proyecto de titulación poder facilitar mejoras tecnológicas que aporten a las microempresas, por lo cual el interés en la producción de cerveza artesanal, la cual se encuentra en auge a nivel nacional existiendo un total de 232 marcas de cerveza artesanal en las distintas ciudades del Ecuador, en donde todas estas realizan procesos manuales o semiautomáticos para consumo personal o mercadeo de acuerdo a la asociación de cerveceros del Ecuador [3]. Esto se debe ya que actualmente las personas buscan degustar nuevos sabores y tipos de esta bebida. Sin embargo, dado los diferentes procesos para la producción de cerveza artesanal, este trabajo se enfoca de forma específica en el procedimiento de la maceración, mismo que se lo hace de forma manual controlando la temperatura utilizando cualquier tipo de termómetro (ver Figura 2).



Figura 2. Maceración, utilizando termómetro.

El proceso consiste en hacer un malteado de las maltas mezclado con agua que se encuentre en un intervalo de temperatura de 74 a 78°C, luego se calcula un mínimo de tres litros por

cada kilogramo de malta de la receta, esta es una cantidad suficiente para preparar la papilla del macerado.

Para empezar, se añade agua a temperatura determinada de la receta en el macerador y luego se agrega la malta y con una cuchara se mezcla suavemente, teniendo en cuenta que se debe evitar formar grumos a la papilla.

En la recirculación se debe abrir el grifo de la parte inferior del macerador, recoger el mosto con un recipiente, luego recolectado se debe volver a colocar en el macerador, repitiendo este proceso las veces necesarias hasta que el mosto tome un aspecto claro y brillante.

La principal desventaja de este proceso, es el tiempo que se ocupa para realizar la maceración mediante esta técnica; este proceso tiene un bajo costo incluyendo su implementación inicial. También existe el proceso semiautomático el cual cuenta con una olla doble fondo que es el macerador dónde el primer fondo servirá para contener la malta que a su vez se mezcla con el agua caliente entonces en el segundo fondo solo se obtiene el mosto siendo este recirculado por medio de una bomba que se enciende manualmente (ver Figura 3).



Figura 3. Macerador semiautomatizado.

Este procedimiento es el más adecuado, pero menos implementado por los diferentes maestros cerveceros, debido a que su principal desventaja es el estar controlando los tiempos y temperaturas de maceración de forma manual.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA

Una planta de cervecera es una fábrica dedicada exclusivamente a la elaboración de cervezas, de diferentes tipos y sabor de bebida. Para la fabricación de una cerveza artesanal se deben de cumplir varias etapas que son [6]:

- Filtración y preparación del agua.
- Maceración, recirculación, filtrado y lavado.
- Cocción y Whirlpool
- Enfriado
- Fermentación
- Maduración
- Embotellado.

Cada etapa es fundamental para que la bebida tenga el resultado esperado tanto en sabor y aromas de acuerdo a la receta.

A continuación, se describirán en detalle cada uno de sus procesos, Cabe recalcar que es indispensable mencionar en primer lugar a las materias primas necesarias para elaboración de la cerveza artesanal siendo estas [7]:

- Agua
- Malta
- Lúpulo
- Levadura

Es necesario conocer los beneficios y propiedades de los mismos para obtener una bebida de buen un sabor y aroma para que este al gusto del cliente.

2.2.2 MATERIAS PRIMAS

Una materia prima es todo bien material que es transformado durante un proceso de producción hasta convertirse en un bien de consumo. Existen algunos bienes materiales que no pueden ser utilizados directamente por los consumidores ya que necesitan ser

transformados. Las materias primas son el primer eslabón de una cadena de fabricación, y en las distintas fases del proceso se irán transformando hasta convertirse en un producto apto para el consumo. En el mundo de la inversión se conoce también como commodity [8].



Figura 4. Materia Prima.

A continuación, se detallarán las materias primas en la fabricación de la cerveza artesanal.

2.2.2.1 AGUA

La cerveza está constituida en un 95% de agua, y según su composición podría conllevar ciertos beneficios o desventajas para la producción, el aroma y el sabor de la cerveza, acotando que para ser utilizada no debe contener cloro ya que tiene un impacto negativo con la levadura produciendo compuestos amargos y olores desagradables [9].



Figura 5. Agua.

La importancia del agua en la calidad de la cerveza es fundamental porque constituye el 95% del total de los ingredientes, para un maestro cervecero es crucial elaborar una cerveza de buen sabor ya que una buena agua es igual a una buena cerveza [9].

Para que el sabor de una cerveza sea bueno es necesario que el agua este intacta, el término “agua dura” hace referencia a la cantidad de minerales que no pueden ser removido en el proceso de hervido o ablandamiento [9].

A continuación, un desglose del sabor del agua desde el punto de vista químico:

- **Calcio.** - Es un mineral principal que determina la dureza del agua. Contribuye al sabor y claridad en el producto final. Es muy importante por la actividad de sus enzimas en los componentes de la cerveza y por el efecto acidificador que tiene en el mosto [10].
- **Sulfato.** – Si hay mucho sulfuro en el agua, entonces tendrá un olor desagradable. Este también contribuye a la dureza permanente del líquido. De igual forma, su presencia acentúa el amargor del lúpulo y la sensación de sequedad y frescura. Su exceso también puede resultar dañino [10].
- **Magnesio.** – Es esencial para el proceso de elaboración de cerveza, ya que actúa con la levadura al producir ciertas enzimas requeridas para la fermentación [10].

2.2.2.2 MALTA

La malta es el segundo ingrediente más usado después del agua en la elaboración de la cerveza. La malta de cebada se consigue al pasar la cebada por un proceso llamado malteado,

en el cual se consigue que el grano germine y libere sus azúcares, los cuales serán extraídos después de la preparación del mosto siendo fundamentales para la fermentación [9].



Figura 6. Malta.

Los colores y aroma de la malta dependen de la temperatura de secado y de la duración de la germinación y se puede llegar desde una malta más amarilla hasta una tostada o negra, lo que posteriormente determinará el color de la cerveza ya sea: rubia, dorada, tostada o negra [9]. En la elaboración de una cerveza se puede utilizar como base una sola malta, pero generalmente la mayoría suelen utilizar de 2 a 3 maltas distintas. Aunque existen casos en los que se ha llegado a usar 8 tipos de maltas [9].



Figura 7. Colores de cervezas.

Dentro de la importancia de la malta se pueden mencionar múltiples beneficios por su alto contenido en magnesio, potasio, zinc, fosforo, sodio y calcio contribuye en la regulación hormonal y estimulación nerviosa [9].

En el aspecto deportivo permite una recuperación de líquidos y nutrientes luego de un entrenamiento, en la salud ayuda en la digestión de los hidratos de carbono, es depurativo y diurético dado que la malta ayuda en la eliminación de toxinas acumuladas en el cuerpo reduciendo la retención de líquidos [9].

2.2.2.3 LÚPULO

EL lúpulo es una planta trepadora de la cual se utilizan las flores femeninas para dar el amargor. El lúpulo se añade en diferentes proporciones de manera que genere el sabor, amargor y aroma dependiendo de tiempo en que el lúpulo está en contacto con el mosto en ebullición [11].



Figura 8. Lúpulo.

Un ingrediente esencial en la elaboración de la cerveza es el lúpulo puesto que se extrae la lupulina, el cual aporta el sabor amargo y aroma característico de esta bebida. Otro beneficio del lúpulo es que aporta en la conservación del aroma de la bebida además de que ayuda a que la espuma sea más estable [11].

En la fabricación de la cerveza los lúpulos pueden ser añadidos en diferentes etapas de la elaboración ya sea al inicio o en la etapa final, esto depende del resultado que se desea obtener. Mientras más temprano sea añadido proporcionará un aroma singular, caso contrario se obtendrá un sabor y aroma a lúpulo [11].

A continuación, se describen los distintos tipos de lúpulos según el tiempo de hervido.

Lúpulos de aroma

Se puede intensificar el aroma de la cerveza gracias al agregado de lúpulo. Existen lúpulos que solo se utilizan para proporcionar un mejor aroma, ya que son muy aromáticos y baja concentración de amargo y sabor [11].

Estos lúpulos son agregados al final del proceso de hervido, debido a que son volátiles y así se evita su evaporación

Lúpulos de amargor

La adición de lúpulo en la cerveza logra que tenga un mayor o menor grado de amargo, según la cantidad de lúpulo que se adicione y el estilo de cerveza a elaborar [11].

Para lograr el amargo requerido generalmente es agregado al iniciar el proceso de hervido o 60 minutos antes de terminar el proceso de cocción

Lúpulos de sabor

El lúpulo también otorga sabor a la cerveza. Existen variedades de lúpulo que se utilizan solo para dar sabor, porque son muy pobres en cuanto a poder de amargo y aroma [11].

Son agregados entre los 20 y 40 minutos antes que termine el proceso de cocción, así los sabores y aceites se irán disolviendo.

2.2.2.4 LEVADURA

La levadura es un hongo unicelular que produce enzimas capaces de provocar la fermentación alcohólica de los hidratos de carbono; la palabra deriva del español antiguo levar (levantar). Tanto el vino como la cerveza son bebidas que provienen de la fermentación; sin embargo, en el caso de la cerveza, se hace constantemente referencia a la levadura como un ingrediente fundamental porque constituye un elemento diferenciador en la composición de un determinado estilo de cerveza [12].



Figura 9. Levadura.

La levadura al igual que los demás ingredientes es fundamental en la elaboración de la cerveza artesanal ya que del tipo de levadura que se utilice podría cambia el mosto completamente. Este cuarto ingrediente es considerado como la vida de la cerveza y es de vital importancia dado que transforma el azúcar del mosto en alcohol y CO₂. El sabor y aroma de esta bebida depende en gran medida del tipo de levadura que se desee utilizar, de la temperatura de fermentación y del mosto base [12].

En la salud la levadura aporta múltiples beneficios nutricionales, es una fuente de vitamina B, ayuda a reducir los niveles de colesterol y triglicéridos, por ser rica en vitaminas y minerales ayuda en el fortalecimiento del cabello y a combatir el estreñimiento mediante la regulación de la flora intestinal [12].

La cerveza según el tipo de levadura se divide en dos grades grupo: Levaduras Lager (*Saccharomyces pastorianus*) y Levadura Ale (*Saccharomyces cerevisiae*).

Levadura LAGER

Las cervezas tipo lager tienen las características de ser más refinadas y fáciles de tomar. Esta levadura es de baja fermentación dado a que lo hacen entre los 7° y 12°C. Son capaces de fermentar cadenas extensas de azúcar, mientras que las levaduras ale no pueden [12].

Levadura ALE

Este tipo de levadura tiene características que le permiten fermentar a mayores temperaturas, y de ahí se derivaron las cervezas tipo Ale. Por lo general, cervezas más complejas en cuanto a sabor y aroma [12].

Es una levadura de alta fermentación entre los 18° y 25°C. Promueve la creación de subproductos para que puedan modificar de forma positiva el aroma y sabor [12].

2.2.3 PROCESOS DE ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

El proceso de fabricación de la cerveza artesanal abarca varias etapas las mismas que se detallarán desde la etapa de maceración hasta la etapa final del embotellamiento. En la Figura 10 se muestra cada una de las etapas de este proceso.

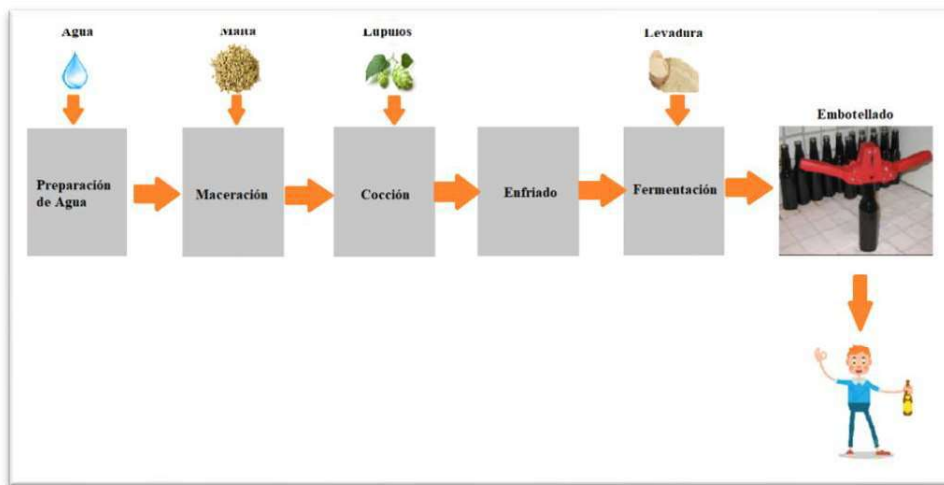


Figura 10. Esquema simplificado del proceso de elaboración de la cerveza.

A continuación, se describirán paso a paso cada etapa de este proceso.

2.2.3.1 PREPARACIÓN DE AGUA

Dentro de los 4 ingredientes utilizados como materia prima, el agua es el principal de ellos debido a que los iones que están presentes en la misma pueden alterar y afectar significativamente el sabor de una cerveza [13].

El agua puede presentar características que influyen en el sabor y amargor como el sulfato de calcio, carbonato de calcio, y el magnesio. El sodio en exceso dará como resultado un sabor salado y si es combinado con cloruro le darán a la cerveza un sabor con más cuerpo [13].

Para obtener una cerveza de calidad y de buen sabor se deberá utilizar agua potable. Aunque las cualidades de la misma dependerán del tipo de cerveza que se desea elaborar [13].

Actualmente la composición del agua puede ser modificada o tratada para que la fabricación de un estilo o tipo de cerveza siempre tenga las mismas características y no se altere el sabor de la original de la receta [13].



Figura 11. Preparación del agua.

2.2.3.2 MACERACIÓN

La maceración es el proceso mediante el cual el cervecero, a través de remojar el grano con agua a ciertas temperaturas, activa diversas enzimas de la malta para convertir los almidones en azúcares más simples, que en un proceso posterior serán metabolizados por la levadura en alcohol etílico [14].

En la Tabla 1 se muestra los distintos rangos de temperatura que activan las diferentes enzimas.

Enzima	Rango Optimo de Temperatura	Rango Optimo de PH	Función
Fitasa	30 – 52°C	4.4 – 5.5	Baja el PH del Mosto. Actualmente no es utilizado.
Beta Glucanasa	36 – 45°C	4.5 – 5.0	Reduce la viscosidad del mosto, y mejora la clarificación.
Peptidasa	46 – 57°C	4.6 – 5.2	Produce Amino Nitrógeno Libre (FAN), que es esencial para la levadura y la fermentación.
Proteasa	46 – 57°C	4.6 – 5.2	Rompe proteínas grandes y reduce la turbiedad.
Beta Amilasa	54 – 65°C	5.0 – 5.6	Produce azúcares cortas, altamente fermentables.
Alpha Amilasa	68 – 75°C	5.3 – 5.8	Produce azúcares de larga cadena, poco fermentables, que agregan cuerpo a la cerveza.

Tabla 1. Temperaturas de enzimas [11].

Una vez expuesta la tabla de temperaturas cabe mencionar que si un maestro cervecero desea elaborar una bebida más alcohólica y seca trabajará a una temperatura que este entre los 60° y 65°C. Caso contrario si la desea más suave, ligera, más dulce y de mayor cuerpo la temperatura a trabajar seria de 68.5° y 70°C [14].

Agregado de maltas

La selección de la malta es un proceso previo a la elaboración de la cerveza. Antes de iniciar se escogen las mejores maltas para que el sabor y aroma de esta bebida sea la deseada [15].

El macerado es similar a la infusión de un sobre de té, se inicia con el triturado del grano de malta, se macera en un depósito con agua caliente entre 65°C y 70°C durante un rango de tiempo de una hora a una hora y media, también se puede hacer un escalado de temperaturas. En esta fase se obtiene el mosto de cerveza, que destaca por su dulzor, ya que se extrae del grano todos los azúcares que las enzimas han modificado. El macerado termina con la recirculación y el filtrado del mosto, se suprime todo el bagazo y elementos sólidos ya inservibles [15].

Recirculado y filtrado

El tiempo de recirculación y filtrado es un proceso que tiene gran importancia porque es proporcional al color de la cerveza. La recirculación consiste en aclarar el mosto filtrándolo con la cama de granos creada en el fondo falso, esto ayuda a eliminar las harinas, los azúcares y los restos sólidos del grano [15].

La primera vez que se retire el mosto de la olla se encuentra completamente turbio, pero a medida que se repita este proceso el mosto será cada vez más claro. Cuando ya se obtenga un mosto claro esto indicará el color de la cerveza como producto final [15].



Figura 12. Recirculado y filtrado.

Lavado de grano

El lavado del grano es un proceso que se realiza una vez terminada la maceración y antes de llevar la olla al hervor. El propósito de realizar este paso es extraer la mayor cantidad de azúcares disolviéndolos en agua caliente para poder formar un mosto dulce que posteriormente debe ser separado de los granos agotados [15].

Este proceso de lavado de grano se lo realiza de diferentes maneras, por ejemplo: el lavado por etapas con drenaje, lavado por etapas sin drenaje total y por rociado o aspersion (sparging) que es el más común y utilizado [15].

El uso de estos métodos dependerá de la receta del maestro cervecero y de los equipos que se disponga.

2.2.3.3 COCCIÓN

La cocción es la siguiente etapa luego de la maceración. En este paso ya se tienen todos los azúcares disueltos en el agua. Se procede a colocar en cocción el mosto, posteriormente se le

agrega el lúpulo una vez que el mosto este hirviendo; el tiempo de cocción esta entre los 60 a 90 minutos [15].

La cocción tiene como finalidad equilibrar el sabor dulce de los azucars de la malta con un sabor amargo. Cuando se alcance el punto de ebullición se deberá quitar la espuma ya por lo general se trata de restos de cascaras de malta [15].

Agregado de lúpulos

El lúpulo es agregado para dar el sabor amargo característico de la cerveza, la cantidad exacta de la misma va a depender de las indicaciones de la receta ya que depende del tipo de cerveza que se va a elaborar [15].

Para dar aroma a la bebida se le añade cierta cantidad de lúpulo entre los 15 a 20 minutos antes que termine el tiempo de cocción, para que de esta manera no se pierda este aroma deseado [15].

Por último, el mosto final es sometido a centrifugado o Whirlpool.



Figura 13. Agregado de Lúpulo.

Whirlpool

Como su nombre lo indica consiste en hacer un remolino de forma circular que permita acumular el lúpulo en el centro de la olla, para que al momento de extraer el mosto evitar que se mezcle con el lúpulo [15].



Figura 14. Whirlpool.

Cabe recalcar que el vaciado de la olla debe realizarse con cuidado para que no se rompa el círculo de lúpulo creado en el centro.

2.2.3.4 ENFRIADO

Una vez se haya culminado el proceso de cocción del mosto y colado el lúpulo, se debe proceder a realizar el enfriamiento hasta llevarlo a una temperatura ambiente. El enfriamiento del mosto se da principalmente para evitar el riesgo de contaminación de la cerveza ya que es propenso a ser contaminado por bacterias [15].

La temperatura del mosto deberá ser bajada a los 25°C lo más pronto posible para que pueda ser fermentado por las levaduras buenas [15].



Figura 15. Enfriado.

Existen varias formas para realizar el enfriado las mismas que se detallan a continuación:

- **Uso de un serpentín**

Se colocará el serpentín 10 minutos antes de finalizar la cocción, agregándole agua fría en su interior hasta que el mosto llegue a los 25°C [15].

- **Agua en contra corriente**

Se basa en hacer circular el mosto desde la olla hasta el fermentador, y se pasa agua fría por una manguera en sentido contrario [15].

- **Uso de enfriador a placas**

El contacto que entre el mosto caliente y el agua fría es mucho mayor, lo que acelera el proceso de enfriamiento por lo que es un método mayormente utilizado [15].

2.2.3.5 FERMENTACIÓN

La Fermentación consiste en la transformación del mosto en cerveza artesanal. Este proceso inicia cuando se introduce el mosto en un depósito donde se le agregan las levaduras previamente preparadas, las mismas que crecen hasta agotar el oxígeno y fermentar los azúcares que finalmente se transforman en alcohol y anhídrido carbónico (CO₂) [15].

Las bodegas donde se almacenan los recipientes de fermentación deben estar a una temperatura entre los 10.5° a 15°, estas temperaturas dependerán del tipo de cerveza que se desea elaborar [15].



Figura 16. Fermentación.

2.2.3.6 EMBOTELLADO

El embotellado es la última etapa del proceso de elaboración de cervezas artesanal, este envasado puede presentarse en diferentes formatos los cuales pueden ser [15]:

- Botellas retornables
- Botellas no retornables

- Latas
- Barriles



Figura 17. Embotellado.

La preparación de los envases es fundamental y deben de pasar por un proceso de lavado y pasteurización, en el caso de las latas, botellas retornables y no retornables se limpian en lavadoras a presión con detergente y agua [15].

Si el envasado es en barriles estos deben ser lavados con agua caliente y detergente, se escurre y se enjuaga con agua fría, se esteriliza con vapor, se presuriza con CO₂ y se llena [15].

Cuando la cerveza ya ha sido embotellada, la maduración final puede durar alrededor de un mes, aunque ya puede ser consumida a partir de la primera semana. Estos recipientes deben ser colocados a una temperatura estable entre los 15° – 18 °C [15].

2.2.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES SISTEMAS

A continuación, se especifican las variables del sistema.

Flujo de agua

El flujo del agua es controlado mediante electroválvulas, 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 [16].

Mosto

El mosto es el líquido azucarado que se extrae de la malta mediante los procesos de molienda y macerado. Es una solución compleja y sutilmente equilibrada de carbohidratos fermentables, aminoácidos, fuente de nitrógeno y vitaminas [17].

Se denomina mosto debido a su sabor dulce y carencia de alcohol. El proceso de maceración para obtener el mosto resulta de la mezcla del agua con los granos teniendo en cuenta la temperatura y el tiempo para que estos almidones se conviertan en azúcar [17].

Temperatura

La temperatura es aquella propiedad o magnitud que permite conocer las temperaturas y cuanto calor presenta el cuerpo de una persona, un objeto o una región determinada. Entonces, si se mide la temperatura a un objeto caliente este tendrá una temperatura mayor [18].

La temperatura es una variable sobre la cual se debe llevar un control, la variante de la misma dependerá de la receta del tipo de cerveza que se desea elaborar.

Tiempo

El tiempo es la magnitud que permite medir la duración de los acontecimientos o separación de los hechos, cuya unidad de medida es el segundo del día solar. El tiempo ordena los sucesos en secuencias, formulando un tiempo pasado en relación con los hechos ya ocurridos, un futuro de los acontecimientos que sucederán en un momento posterior, y un presente, en relación a los eventos que suceden simultáneamente al de referencia [19].

Esta variable hace referencia para indicar el tiempo de los procesos en determinados momentos durante la elaboración de la cerveza.

Nivel de agua

El nivel del agua es regulado mediante la utilización de sensores de nivel que permiten realizar el monitoreo y medición del agua. Son detectores de nivel que aseguran la cantidad de volumen del líquido necesario para realizar todas las etapas en la fabricación de la cerveza [20].

Esta variable controla o censa el nivel del líquido dentro de los tanques. Se calcula que por cada 3 litros de agua por cada kilogramo de la malta lo cual es una cantidad suficiente para la preparación de la papilla del macerado [20].

2.2.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Comúnmente conocido por sus siglas PLC, es una computadora utilizada en la automatización de las industrias para controlar procesos y realizarlos en tiempo real, por medio de sus pines de entradas y salidas que facilitan las conexiones de sensores, actuadores u otros componentes, tal como el nombre lo indica, este dispositivo debe ser programado en su propio software, se debe tomar en cuenta las variables de un proceso para obtener, guardar valores y poder realizar el control. El PLC utiliza una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para establecer soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencia, temporización, recuento y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas (digitales y analógicas) diversos tipos de máquina y procesos [21].

2.2.6 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN LADDER

El Lenguaje de programación Ladder es un lenguaje gráfico basado en los esquemas de control de conmutación clásicos siguiendo lógica matemática. La programación Ladder se encuentra presente en la mayoría de autómatas o PLCs (Program Logic controller) debido a su simplicidad y amplio abanico de posibilidades [22].

En este programa cada símbolo representa una variable que pueden ser verdadero o falso. Posee dos barras la vertical derecha representa a la tierra o masa y la barra vertical izquierda corresponde a un conductor con tensión.

2.2.7 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN

Sistema de control automático es una interconexión de componentes que forman un arreglo denominado sistema, siendo esta configuración capaz de comandarse por sí misma [24].

Para los procesos de producción es necesario la utilización de los sistemas de automatización dado que implementan herramientas y equipos de última tecnología necesarias para llevar el manejo de supervisión, regulación, y control de las diferentes tareas involucradas [24].

2.2.8 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN MODBUS

ModBus es un protocolo de comunicación en serie originalmente creado por Modicon. ModBus se convirtió en un protocolo de comunicación estándar de facto y ahora es un medio comúnmente usado en las industrias. Las principales razones para el uso de ModBus en el entorno industrial son [25]:

- Es público.
- Es de fácil implementación y poco desarrollo.
- Maneja bloque de datos sin imponer muchas restricciones a los proveedores.

Permite la comunicación entre dispositivos electrónicos de una red, como sistemas de medición de temperatura y realiza el envío de datos a una computadora [25].

Existen versiones de este protocolo:

- Puerto serie.
 - Remote terminal Unit (RTU).
 - American Standard Code for Information Interchange (ASCII).
- Puerto Ethernet.

ModBus RTU

Actualmente es la implementación más común disponible para ModBus en control de procesos. La comunicación de datos se realiza en tramas, esto permite que los receptores obtengan información para localizar la cabecera, establecer el receptor y detectar el final del mensaje, de esta forma los mensajes parciales se los denomina como errores, dando una prioridad sobre la otra variante en cuanto a la tasa de trasmisión siendo esta mayor sin afectar la velocidad [25].

Las direcciones validas van desde el rango de 0 a 247 siendo 0 una dirección para broadcast, los códigos de función pueden contener dos caracteres (ASCII) o 8 bits (RTU) y tienen un rango de 1 a 255 [25].

El modo elegido sea ASCII o RTU convendrá ser el mismo en todos los elementos de la red ModBus, esto se debe a que cada modo tiene su forma propia de definir el contenido de los campos del mensaje y empaquetamiento de datos [25].

ModBus TCP/IP

Este protocolo al implementarlo sobre Ethernet permite aumentar en el grado de conectividad. Establece comunicaciones por medio de paquetes TCP/IP, teniendo una estructura similar a la variante RTU, de tal forma que se puede utilizar bajo internet, de esta forma se podría usar un control de acceso remoto [26].

Esta variante del protocolo se convirtió en el más usado debido a facilidad, precios bajos, recursos mínimos en hardware y por ser un protocolo libre [26].

La mezcla de una red física como Ethernet con una red estándar TCP/IP y una representación de datos independiente como ModBus, provee una red abierta y accesible para el intercambio de datos de proceso (ver Figura 18) [26].

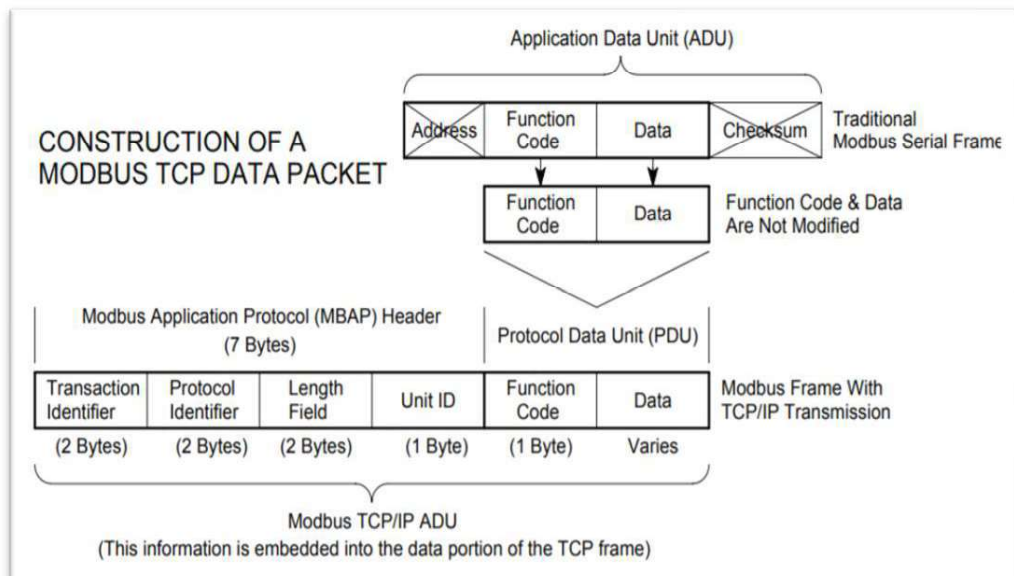


Figura 18. Estructura de la trama de datos del protocolo ModBus TCP/IP. Tomado del libro "Introduction to ModBus TCP/IP".

2.2.9 PANEL DE CONTROL INDUSTRIAL

Los paneles de control industrial son un conjunto de disposiciones sistemáticas de varios componentes que pueden incluir temporizadores, relés de sobrecarga y control, controladores, cableados, disyuntores, interruptores, entre otros [27].

Cada diseño de los paneles de control se relaciona directamente con su funcionamiento de tal manera que pueden abordar una aplicación en una caja [27].

Estos paneles son considerados como el cerebro de todo sistema automatizado y son de vital importancia tanto para su desempeño como de su funcionamiento [27].

2.2.10 CONTACTOR

Es un dispositivo eléctrico de mando a distancia, el cual puede abrir o cerrar circuitos, ya sea en vacío o carga. Un contactor está formado por una bobina y unos contactos, los cuales están abiertos o cerrados y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente en el circuito, la bobina es un electroimán que acciona los contactos, cerrando los contacto abiertos y abriendo los cerrados, cuando le deje de llegar corriente a la bobina los contactos vuelven a su estado de reposo [28].

2.2.11 CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Un controlador de temperatura es un elemento utilizado para llevar el control de la temperatura. El cual tiene como entrada un sensor de temperatura y como salida tiene un calentador o ventilador [29].

Como su nombre lo indica estos controladores en la actualidad son un instrumento indispensable al momento de regular algún proceso termino en el que la temperatura sea factor primordial para lograr algún proceso [29].

Estos controladores son de vital importancia, por lo cual dentro del mercado existen un gran número de dispositivos que ofrecen múltiples beneficios de acuerdo a sus características en cuanto a la velocidad y precisión de ajuste [29].

2.2.12 SENSOR DE TEMPERATURA

Los sensores de temperatura se utilizan en diversas aplicaciones tales como aplicaciones para la elaboración de alimentos, climatización para control ambiental, dispositivos médicos, manipulación de productos químicos y control de dispositivos en el sector automotriz (p. ej., refrigerantes, ingreso de aire, temperaturas del cabezal de cilindro, etc.). Los sensores de temperatura se utilizan para medir el calor para asegurar que el proceso se encuentre, o bien dentro de un cierto rango, lo que proporciona seguridad en el uso de la aplicación, o bien en cumplimiento de una condición obligatoria cuando se trata de calor extremo, riesgos, o puntos de medición inaccesibles [30].

La temperatura puede ser medida mediante un sensor el cual permitirá transformar los cambios de temperatura en señales eléctricas que son procesadas por equipos electrónicos. Por ellos dentro del mercado existe una variedad de sensores que permiten realizar esta función entre los más utilizados están: los termopares, RTD, termistores e infrarrojo [30].

2.2.13 SENSOR DE NIVEL

Un sensor de nivel, también conocido como interruptor de nivel, es un dispositivo electrónico que realiza la medición de la altura de nivel de un líquido en un tanque. Para esto, emplea un reed switch y un flotador magnético. El flotador es el encargado de abrir o cerrar el contacto eléctrico. Una vez que el sensor detecta el nivel de líquido, emite una señal “On/Off” al alcanzar el llenado o vaciado [31].

Cabe destacar que el sensor de nivel no se afecta por ondulaciones o vibraciones, lo que conlleva a una mejor confiabilidad. Además, puede ser adherido a un sistema telemétrico para la obtención de datos de manera remota. De hecho, es gracias a la telemetría que se destaca la verdadera utilidad del sensor [31].

2.2.14 RESISTENCIA ELÉCTRICA

La Resistencia eléctrica es un dispositivo electrónico el cual su principal objetivo es producir calor, su funcionamiento se basa en el efecto Joule. Las resistencias eléctricas calefactoras pueden realizar el calentamiento tanto por convección, conducción o radiación [32].

2.2.15 BOMBA MAGNÉTICA

Las bombas magnéticas son aquellas en las que la fuerza del motor es transmitida mediante fuerza magnética. En este tipo de bombas existen dos procesos, el de succión y descarga, por lo que ofrece un diseño hermético evitando por completo las pérdidas y emisiones. Debido a la seguridad que ofrece este tipo de bomba magnética son utilizadas para los siguientes fluidos: ácidos, hidrocarburos, fluidos térmicos, etc. [33].

2.2.16 ELECTROVÁLVULA DE CAUDAL

Una electroválvula es un dispositivo encargado de controlar el flujo de un fluido que viaja a través de una tubería o conducto. Las electroválvulas son consideradas también como

válvulas electromecánicas pues éstas son controladas por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal. [34].

Estas válvulas son utilizadas cuando la señal proviene de un temporizador eléctrico, un final de carrera eléctrico, presostatos o mandos electrónicos. Por lo tanto, con las electroválvulas se puede elegir el accionamiento eléctrico para mandos con distancias extremadamente largas y cortos tiempos de conexión [34].

2.2.17 INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA

Más conocido por sus siglas HMI, es una interfaz de usuario o pantalla que conecta a las personas a interactuar o a relacionarse de forma más simple con máquinas automatizadas. Por medio de estas pantallas se pueden modificar las variables o los datos de un proceso y ordenar la activación de sus actuadores, obtención de la información en tiempo real del proceso, también permite la detección de errores en el sistema, generando alarmas mostrándole al usuario que debe actuar de manera rápida frente a estas fallas [35].

2.3 MARCO TEÓRICO

A continuación, se detallan los artículos y proyectos de titulación previamente relacionados con la presente propuesta los que proporcionaron la información para la y la realización de esta propuesta tecnológica, estos artículos están ordenados por fecha de publicación.

“Automatización de proceso para la elaboración de cerveza artesanal”, publicado por la Universidad Tecnológica Nacional en el año 2018, redacta un diseño de automatización de los procesos para realizar la cerveza artesanal el cual es controlado por un PLC el cual interactuar con el usuario mediante una pantalla HMI permitiendo elaborar recetas de 3 tipos de malta y 5 tipos de agregado, controlando automáticamente: volúmenes de agua por medio de bombas, caudalímetros y sensores de nivel mínimos y máximos, temperaturas mediante quemadores industriales, resistencias eléctricas, enfriadores a placas y sensores tipo PT100, transvases y recirculados a través de bombas magnéticas y centrifugas, tiempos de cada proceso [36].

“Diseño e implementación de un sistema de automatización para una línea de producción de cerveza artesanal”, tesis desarrollada con el objetivo de diseñar e implementar un sistema de control automático para los procesos de ebullición de agua, maceración, cocción y

enfriamiento, mediante el control de actuadores, controlados por sensores de nivel, temperatura y llama en el proceso. Todo eso será programado y controlado por medio de un PLC. Además, se selecciona, se especifica y se realiza el montaje de los sensores en las distintas etapas del proceso de producción [37].

“Diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar el proceso de cocción de cerveza artesanal en la empresa cervecería gourmet”, en la universidad de las fuerzas armadas (ESPE), se diseñó e implementó este proyecto en el cual se realiza un análisis mecánico para diseñar un sistema de distribución de fluidos, el análisis de un sistema de distribución de fluidos, 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 neumática, 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 a una estación PC en la que diseñó e implementó una interfaz hombre-máquina HMI para que los usuarios puedan manipular de forma más sencilla [16].

CAPÍTULO III

COMPONENTES DE LA PROPUESTA

3.1 COMPONENTES DE LA PROPUESTA

En esta sección se procede a separar en dos subsecciones para el desarrollo del proyecto de titulación, describiendo los componentes físicos y detallando los componentes lógicos.

3.1.1 COMPONENTES FÍSICOS

Para poder realizar el sistema de control automático para el proceso de maceración enfocado a la fabricación de la cerveza artesanal se emplearon diversos componentes electrónicos y eléctricos, detallados a continuación:

3.1.1.1 PLC SIEMENS

Siemens posee múltiples modelos de PLC con características diferentes, para el desarrollo del proyecto, se realizó el proceso comparativo de los siguientes modelos, tomando en cuenta los parámetros técnicos, la accesibilidad y el soporte que ofrezca las mejores prestaciones para el proyecto (ver Tabla 2).

PLC			
Modelos	PLC S7-200	PLC S7-300	PLC S7-1200
			
Peso	310 g	680 g	425 g
Dimensiones	90x80x62 mm	120x125x130 mm	90x100x75 mm
Memoria de Carga	-	8 MB	2 MB
Voltaje de alimentación	120 V ~ 240 V AC	120 V ~ 240 V AC	120 V ~ 240 V AC
Entradas analógicas	1	1	2
Entradas digitales	14	16	8
Salidas digitales	4	16	6

Tabla 2. Comparación de PLC Siemens. Tomado del DataSheet.

El controlador lógico programable o PLC a utilizar es el Siemens S7-1200 (ver Figura 19) este es un equipo electrónico utilizado para los procesos industriales de la automatización de forma más exacta y simple, permitiendo controlar sensores y actuadores industriales en tiempo real para poder obtener los datos de los sensores de nivel y de temperatura, además controla los actuadores que este caso serían las electroválvulas, bomba y resistencia eléctrica. También, permite la comunicación del protocolo ModBus mediante módulos equipos externos. Se seleccionó el PLC Siemens S7-1200 (ver figura 19) para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto debido a la factibilidad en obtenerlo y a las características que posee este elemento (ver Tabla 3).



Figura 19. PLC S7-1200.

Datos Técnicos	
Fabricante	Siemens
Modelo	CPU 1212C AC/DC/relé
Dimensiones	90x100x75 mm
Firmware versión	V4.2
Memoria de trabajo	25 KB
Memoria de Carga	2 MB
Memoria remanente	2 KB
Área de marcas	4096 bytes
Voltaje de alimentación	120 V ~ 240 V AC
Entradas analógicas	2 entradas; 0 – 10V
Entradas digitales	8 entradas
Salidas digitales	6 salidas; relé
Interfaz	Profinet (Ethernet Industrial)

Tabla 3. Datos técnicos del PLC S7-1200. Tomados del DataSheet.

3.1.1.2 MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS

El módulo ModBus es un adaptador externo el cual permite la comunicación punto a punto por medio de la ampliación del CPU con interfaz RS-485 basado en la arquitectura maestro/esclavo (RTU) o cliente/servidor (TCP/IP) (ver Figura 20). En la Tabla 4 se detallan las características de este módulo.



Figura 20. Módulo CM1241 RS485.

Datos Técnicos	
Modelo	CPU 1241 RS422/485
Dimensiones	30x100x75 mm
Voltaje de alimentación	24 V
Corriente de entrada	220 mA
Numero de interfaces	1
Interfaz física	RS 422/485
Longitud máxima de cable	1000 m
Protocolo de comunicación	ACII/ModBus/RTU

Tabla 4. Datos técnicos del módulo cm1241. Tomado del DataSheet.

3.1.1.3 MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES SM 1222

Es un módulo de suplemento para el PLC en el cual sirve para la ampliación de salidas digitales adicionales del controlador de proceso lo cual ayuda a poder controlar más actuadores en un solo PLC (ver Figura 21). En la Tabla 5 se muestran las características de este módulo.



Figura 21. Módulo de salidas digitales SM 1222.

Datos Técnicos	
Modelo	SM 1222
Peso	190 g
Medidas	45x100x75 mm
Voltaje de alimentación máximo	28.8 V
Voltaje de alimentación mínimo	20.4 V
Corriente de entrada	140 mA
Número de salidas digitales	8
Voltaje de salida	24 V
Corriente de salida	0.5 A

Tabla 5. Datos técnicos del módulo de salidas digitales SM 1222. Tomado del DataSheet.

3.1.1.4 CONTROL DE TEMPERATURA

Para saber la temperatura con la que se trabaja en la maceración utiliza un sensor de temperatura, pero el cual no se puede conectar directamente al PLC por lo tanto se necesita un controlador de temperatura que permite observar y controlar la temperatura, este se comunica con el PLC por medio de comunicación ModBus, para ello se realiza un análisis comparativo con distintas marcas de controladores de temperatura (ver Tabla 6).




Controlador de temperatura			
Marcas	Delta	Autonics	Omron
Modelos	DTB4848	TC4S-14R	E5CN
			
Peso	100 g	97 g	150 g
Dimensiones	48x48 mm	48x48 mm	48x48 mm
Modo de control	PID, ON/OFF, Manual	ON/OFF, PID control	ON/OFF, PID control
Voltaje de alimentación	120 V ~ 240 V AC	120 V ~ 240 V AC	120 V ~ 240 V AC
Display	LCD valor actual: naranja, valor establecido: verde	7 segmentos color (verde, amarillo, rojo) LED	Color (verde, rojo, amarillo)
Temperatura ambiente	0~50 °C	-10~50 °C	-10~55 °C
Humedad ambiental	35~80 % RH (sin condensación)	35~85 % RH	25~85 % RH
Tasa de muestreo	100 ms	100 ms	250 ms
Periodo de control	0.5~99 seg	0.5~120 seg	0.5~99 seg
Protocolo de comunicación	ModBus, ASCII/RTU	ModBus	ModBus
Tipos de sensor	Termocupla, RTD	RTD, TC	Termocupla, RTD

Tabla 6. Comparación de controladores de temperatura. Tomado del DataSheet.

El controlador de temperatura marca Delta modelo DTB4848 (ver Figura 22) se seleccionó, porque tiene varias opciones de funcionamiento con respecto al proyecto de titulación:

- Comunicación ModBus (RTU y ASII).

- Compatibilidad de conectarse con varios tipos termopares, RTD de platino, corriente analógica y voltaje lineal.
- Programable a modos de control: PID/Encendido/Apagado/Manual.

En la Tabla 7 se puede observar las características de este controlador.



Figura 22. Controlador de temperatura Delta modelo DTB4848VRE.

Datos Técnicos	
Marca	Delta
Modelo	DTV4848VRE
Voltaje de alimentación	120 V ~ 240 V AC; 50/60 Hz
Modo de control	PID, ON/OFF, Manual
Comunicación	Comunicación digital Rs-48, 2400 ~ 38400 bps
Rango de voltaje	
Protocolo de comunicación	Protocolo ModBus, ASCII/RTU
Tasa de muestreo	0.5 segundos
Tipo de sensores	Termocuplas: K, J, T, E, N, R, S, B, U, L, TXK RTD: Pt100, JPt100

Tabla 7. Datos técnicos del controlador Delta DTB4848VRE. Tomado del DataSheet.

3.1.1.5 SENSOR DE TEMPERATURA

Para la selección del sensor de temperatura se realiza un proceso comparativo, tomando en cuenta la accesibilidad, parámetros técnicos que mejor se acoplen al proyecto (ver Tabla 8).




Sensor de temperatura			
Modelos	Termocupla	Termopar	LM35
			
Tipo	K	Pt100	
Rango de temperatura	0~400 °C	-50~400 °C	-55~150 °C
Tamaño de sonda	5 mm	0.5x10 cm	
Material externo	Plástico, metal, goma	Plástico, metal, goma	Plástico, metal goma

Tabla 8. Comparación de sensores de temperatura. Tomado del DataSheet.

El sensor seleccionado para utilizar en el proyecto de titulación es el termopar Pt100 de la marca Ootdy (ver Figura 23), que es un detector de temperatura RTD (detector de temperatura por resistencia) que está fabricado con alambre de platino, estos sensores a los 0 °C tienen 100 ohms y al aumentar la temperatura incrementa su resistencia eléctrica. El aumento de la resistencia no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible la temperatura exacta (ver Figura 24) [38]. En la Tabla 9 se puede observar las características de este sensor.



Figura 23. Sensor termopar Pt100 Ootdy.

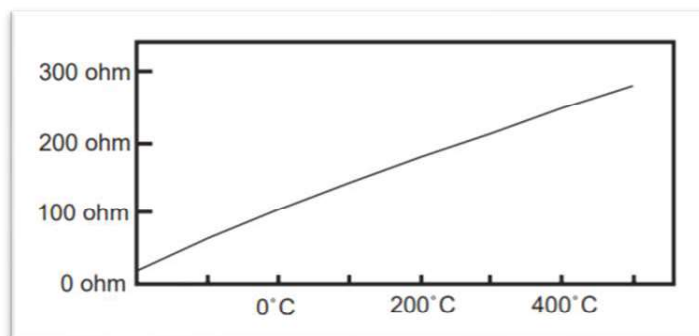


Figura 24. Curva de respuesta del Pt100. Tomado de Arian.

Datos Técnicos	
Marca	OOTDTY
Nombre	Termopar
Tipo	PT100
Rango de temperatura	-50~400 °C
Tamaño de sonda	0.5x10 cm
Diámetro de la rosca	8 mm
Material externo	Plástico, Metal. Goma
Longitud total	1 m
Espacio de terminal de horquilla	5 mm

Tabla 9. Datos técnicos del sensor Pt100. Tomado del DataSheet. Tomado del DataSheet.

3.1.1.6 SENSOR DE NIVEL DE LÍQUIDO

Es un interruptor flotador el cual sirve para detectar el nivel del líquido de la olla, estos sensores están ubicados en la parte superior y en la parte inferior de la olla, los mismos que activarán y desactivarán las electroválvulas y la bomba.

En cuanto al nivel de líquido en dicha olla, es necesario saber el nivel mínimo de líquido para comenzar a mantener la temperatura, además si se ha vaciado por completo al terminar el proceso de maceración, se asegura que la bomba se apague por completo. Existe un segundo sensor de nivel para determinar el máximo de llenado de la olla para evitar desbordes del líquido [37].

De este tipo de sensores existen diversos modelos y marcas de los cuales se procedió hacer una comparación de los siguientes sensores (ver Tabla 10).


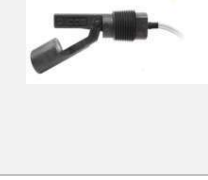

Sensor de líquido			
Marcas	Aexit	Eicos	Keenso
Modelos	Zp5210-P	La32n-40	Keenso tbq
			
Peso	16 g	30 g	50 g
Voltaje de alimentación	0~100 V	0~110 V	0~110 V
Material	Plástico	Poliftalamida	Acero inoxidable
Conexión	2 hilos	2 hilos	2 hilos
Temperatura de trabajo		-10~125 °C	0~120 °C
Presión de trabajo	1 Mpa	2 bar	1 Mpa
Corriente de trabajo	0.5~1 A	0.5~1 A	0.5~1 A

Tabla 10. Comparación de sensores de nivel. Tomado del DataSheet.

El sensor de nivel a utilizar es el Keenso que está elaborado de acero inoxidable el cual sirve para la elaboración de este proyecto, ya que se trabaja con producto alimenticio de esta manera no se contaminara el producto, este sensor tiene un peso ligero y su funcionamiento es sencillo y de fácil instalación (ver Figura 25). En la Tabla 11 se detallan las características de este sensor.



Figura 25. Sensor de nivel de líquido.

Datos Técnicos	
Marca	Keenso
Numero Pieza	Keensotbq1rsg5u8
Peso	50 gramos
Material	Acero inoxidable
Conexión	2 hilos
Voltaje de trabajo	0 ~ 110 V
Corriente de trabajo	0.5 ~ 1 A
Temperatura de trabajo	0 ~ 120 °C
Presión de trabajo	1 Mpa
Presión máxima de resistencia	5 Mpa
Potencia	10 ~ 50 W

Tabla 11. Datos técnicos del sensor de nivel. Tomado del DataSheet.

3.1.1.7 RESISTENCIA ELÉCTRICA

Para el desarrollo del proyecto es necesario una resistencia eléctrica para mantener la temperatura del agua, tomando en cuenta que el agua ya se encuentra calentada del proceso anterior, se realizó el proceso comparativo de las siguientes resistencias, tomando en cuenta la accesibilidad, características técnicas que brinden mejores beneficios al proyecto (ver Tabla 12).

Resistencia eléctrica			
Marcas	Kippen	Amerex	Hongtai
Modelos	5024 C	UV12899	
			
Peso	322 g	250 g	800 g
Longitud resistencia	30 cm	46 cm	40 cm
Díámetro resistencia	5.5 cm	5 cm	4 cm
Voltaje de alimentación	220 V	240 V	380 V
Potencia	1500 W	4500 W	6 KW

Tabla 12. Comparación de resistencia eléctrica. Tomado del DataSheet.

Se optó por usar la resistencia eléctrica kippen 5024 C (ver Figura 26), por su accesibilidad y por su longitud ya que no es tan larga para ser colocada en la olla de maceración. En la Tabla 13 se detallan las características de esta resistencia



Figura 26. Resistencia eléctrica KIPPEN 5024 C.

Datos Técnicos	
Marca	KIPPEN
Modelo	5024 C
Peso	322 gramos
Longitud resistencia	30 cm
Diámetro resistencia	5.5 cm
Longitud termostato	28 cm
Diámetro termostato	5 cm
Voltaje de alimentación	220 V AC
Potencia	1500 W

Tabla 13. Datos técnicos de la Resistencia eléctrica KIPPEN 5024 C. Tomado del DataSheet.

3.1.1.8 BOMBA MAGNÉTICA

Bombas magnéticas actualmente hay de muchas marcas y modelos, este tipo de bombas son de accionar magnético, lo que garantiza que no hay contacto con cualquier otro tipo de líquido, evitando cualquier tipo de contaminación que perjudique el proceso de producción de la bebida, para esto se realizó un proceso comparativo y de selectivo de las siguientes bombas magnéticas (ver Tabla 14).

Bomba magnética			
Modelos	Ferroday	Keg-King MKII	Happybuy
			
Peso	1.9 kg	1.72 kg	2 kg
Dimensiones	9.5x5.5x5.5 pulgadas	9.5x5.5x5.2 pulgadas	7.8x4x3 pulgadas
Capacidad máxima	19 litros/minuto	19 litros/minuto	19 litros/minuto
Voltaje	110~120 V	110~120 V	110~120 V
Frecuencia	60 Hz	50~60 Hz	60 Hz
Potencia	10 W	25 W	10 W
Velocidad	3000 rpm	3000 rpm	2800 rpm
Entrada/Salida	1/2 pulgada	1/2 pulgada	1/2 pulgada

Tabla 14. Comparación de la bomba magnética. Tomado del DataSheet.

La bomba magnética seleccionada para el desarrollo del proyecto es la MKII del fabricante australiano “Keg-King” (ver Figura 27), muy utilizada en zona de altas temperaturas no filtran fugas de líquido contaminado, su diseño cerrado que la hace más resistente al agua. Esta bomba magnética se utilizará para realizar la recirculación y también la extracción del agua preparada del proceso de preparación de agua hacia la olla de maceración en un tiempo de tres minutos considerando que la olla con la cual se trabaja es de 50 litros esto da un caudal de cinco galones/minuto, caudal acorde también para la recirculación. En la Tabla 15 se detallan las características de esta bomba.



Figura 27. Bomba Magnética MKII.

Datos Técnicos	
Fabricante	Keg-King
Marca	MKII
Peso	1.72 kilogramos
Dimensiones	9.5x5.5x5.2 pulgadas
Capacidad máxima	19 litros/minuto
Polos	2
Voltaje	110 ~120 V AC
Frecuencia	50~60 Hz
Potencia	25 W
Corriente	0.1 A
Velocidad	3000 rpm
Ciclo de trabajo	Continuo
Capacitor	1 μ F
Clase de aislamiento	B
Entrada/Salida	1/2 pulgada
Resistencia al agua	IPX2

Tabla 15. Datos técnicos de la Bomba Magnética MKII. Tomado del DataSheet.

3.1.1.9 PULSADOR

Los pulsadores (ver Figura 28) son utilizados para iniciar el proceso o para pararlo, el pulsador de color verde es para dar marcha y el pulsador rojo para detener el proceso, ambos comparten las siguientes características que se puede ver en la Tabla 16.



Figura 28. Pulsador.

Voltaje soportado	380 V
Corriente soportada	6 A

Tabla 16. Características del pulsador. Tomado del DataSheet.

3.1.1.10 INDICADORES DE ESTADO

Los indicadores de estado (ver Figura 29) son de color verde que indica el encendido del sistema y el rojo indica está en detenido, ambas son del tipo led y con las siguientes características ver Tabla 17.



Figura 29. Indicadores de estado.

Voltaje	110 V
Corriente	≤ 50 mA

Tabla 17. Características de indicadores de estado. Tomado del DataSheet.

3.1.1.11 ELECTROVÁLVULA SOLENOIDE

Debido a los diferentes modelos y marcas de electroválvulas se realiza un proceso comparativo, tomando en cuenta la que mejor se adapte a las especificaciones del proyecto (ver Tabla 18).




Electroválvulas			
Marcas	MM	U. S. Solid	Bacoeng
Modelos	D232	USS2	2W-20
			
Peso	900 g	762 g	599 g
Presión	0~50 bar	0~7 bar	0~10 bar
Voltaje	110 V	220 V	110 V
Temperatura	-10~130 °C	-10~120 °C	-5~80 °C
Precio	\$ 80	\$ 60	\$ 50

Tabla 18. Comparación de la electroválvula. Tomado del DataSheet.

Considerando las características de cada una se optó por utilizar la electroválvula solenoide Bacoeng 2W-20 (ver Figura 29) por la accesibilidad de su precio y que cumple con las características requeridas para el proyecto, se utilizan dos de este tipo de electroválvulas de las cuales la primera permite el paso o no del fluido de agua caliente que se recibe del proceso de filtración y preparación de agua hacia la olla de maceración mediante dos estados uno abierto para el paso del líquido y el otro cerrado para contenerlo.

La segunda permite el paso o no del fluido de agua para realizar la recirculación del mosto así mismo como la primera tendrá dos estados el abierto que permite el paso del mosto para realizar la recirculación y el cerrado que lo contiene en la olla de maceración. En la Tabla 19 se detallan las características de esta electroválvula.



Figura 30. Electroválvula Bacoeng.

Datos Técnicos	
Marca	Bacoeng
Modelo	2W-20
Peso	599 g
Presión	0 ~ 10 bar
Voltaje	110 V-AC
Temperatura	-5 ~ 80 °C
Medida	3/4 pulgada

Tabla 19. Datos técnicos de la Electroválvula Bacoeng. Tomado del DataSheet.

3.1.1.12 CONTACTOR

El contactor eléctrico es utilizado para el encendido y apagado de la resistencia eléctrica por medio del PLC, hay muchos tipos de contactores, por eso se llevó a cabo un proceso comparativo y de selección del que mejor se adapte a las necesidades del proyecto (ver Tabla 20).




Contactador			
Marcas	Camsco	Hvacstar	Chint
Modelos	MK2P-I	SA-2P	NC1-25
			
Voltaje	24~110 V AC	110 V AC	24~110 V AC
Voltaje de bobina	220 V AC	220 V AC	220 V AC
Corriente de bobina	10 A	50 A	25 A
Frecuencia	50~60 Hz	50~60 Hz	50~60 Hz

Tabla 20. Comparación del contactor. Tomado del DataSheet.

El contactor que mejor se adaptó a las necesidades del proyecto es el camsco mk2p-i (ver Figura 31) por el costo y la factibilidad de la adquisición de este dispositivo. En la Tabla 21 de detallan todas las características de este contactor.



Figura 31. Contactor Camsco.

Datos Técnicos	
Marca	Camsco
Modelo	MK2P-I
Dimensiones	34.7x34.7x52 mm
Voltaje	24~110 V AC
Corriente de bobina	10 A
Voltaje de bobina	220 V AC
Temperatura	-40~60 °C
Resistencia de contacto	$\leq 50 \text{ m}\Omega$
Resistencia de aislamiento	$\geq 500 \text{ m}\Omega$
Frecuencia	50~60 Hz
Rigidez eléctrica	1500 V AC

Tabla 21. Datos técnicos del contactor Camsco. Tomado del DataSheet.

3.1.1.13 PANTALLA HMI

La pantalla HMI será utilizada para que exista una comunicación hombre máquina, existen diversos modelos y marcas de pantallas HMI, por este motivo se realizó una comparación y selección de la que mejor se adapte a los requerimientos del proyecto (ver Tabla 22).




Pantalla HMI			
Marcas	Delta	Omron	Weintek
Modelos	DOP-B03E211 	NB3Q 	MT8071iE1 
Peso	264 g	310 g	600 g
Dimensiones	129x103x39 mm	103.8x129.8x52.8 mm	200.3x146.3x34 mm
Resolución del display	480x272	320x240	800x480
Tamaño de display	4.3 pulgadas	3.5 pulgadas	7 pulgadas
Memoria interna	128 MB	128 MB	128 MB
Temperatura de funcionamiento	-20~60 °C	0~50 °C	-20~60 °C
Humedad de funcionamiento	10~90 % RH	10~90 % RH	10~90 % RH
Voltaje de alimentación	24 V	24 V	24 V
Consumo de energía	2.64 W	5 W	2~4 W
USB Host	USB host Ver 1.1	USB host Ver 2.0	USB host Ver 2.0
USB Client	USB client Ver 2.0	USB client Ver 2.0	N/A
COM Port	COM 1=RS-232/RS-485	COM 1=RS-232/RS-485	COM 1=RS-232 COM 2=RS-485 2W/4W COM 3= RS-485 2W

Tabla 22. Comparación de la pantalla HMI. Tomado del DataSheet.

En la pantalla HMI seleccionada es la delta modelo DOP-B03E211 (ver Figura 32) en esta pantalla se desarrolla la interfaz del sistema de maceración, usando el software DOPSoft, se comunica a través de Ethernet con el PLC S7-1200 para realizar las funciones del encendido de los actuadores, monitorear los datos del proceso. En la Tabla 23 se detallan las características de la pantalla HMI modelo DOP-B03E211.



Figura 32. Pantalla Delta Modelo:
DOP-B03E211.

Datos Técnicos	
Marca	Delta
Modelo	DOP-B03E211
Peso	264 gramos
Dimensiones	129x103x39 mm
Longitud	129 mm
Profundidad	39 mm
Resolución del display	480x272 pixels
Tamaño de pantalla	95.04x53,85 mm
Tamaño de display	4.3 pulgadas
Color del display	Color
Sistema operativo	Delta en tiempo real del sistema
Retroiluminación	Si
Tipo de display	TFT LCD (65536 colores)
MCU	32-bit RISC micro controlador

Flash ROM	Flash ROM 128 MB, SO: 30 MB/ Backup:16 MB/, Aplicación del usuario: 82 MB
SDRAM	64 Mb
Backut memoria	16 Mb
Memoria integrada	128 MB
Humedad ambiental	10%~90% RH [0°~40 °C], 10%~55% RH [41°~50 °C], Grado de contaminación 2
Temperatura de funcionamiento mínima	0 °C
Temperatura de funcionamiento máxima	+50 °C
Índice de protección	IP IP65
Voltaje de alimentación	24 Vdc
Salida del efecto del sonido Buzzer	Frecuencia de múltiples tonos (2K- 4K Hz) 85dB
Consumo de energía	2.64 W
Corriente de consumo	300mA
USB	1 USB host Ver 1.1/ 1 USB client Ver 2.0
Puerto de comunicaciones	COM 1=RS-232/RS-485
Numero de puertos	2
Tipo de puerto	COM, Ethernet

Tabla 23. Datos técnicos de la Pantalla Delta Modelo: DOP-B03E211. Tomado del Datasheet.

3.1.2 COMPONENTES LÓGICOS

A continuación, se detallarán los diferentes softwares, que se utilizan para la configuración, control y comunicación de datos, necesarios para la realización del proyecto.

3.1.2.1 TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL V14

El software TIA Portal, es una plataforma que permite configurar y estructurar sentencias destinada a la configuración de procesos industriales, este software permite realizar la programación del proyecto, como el encendido de la bomba, la adquisición de datos que se obtiene del sensor de temperatura PT100 y la comunicación por el protocolo ModBus, con diversos parámetros a nivel de la automatización industrial (ver Figura 33).

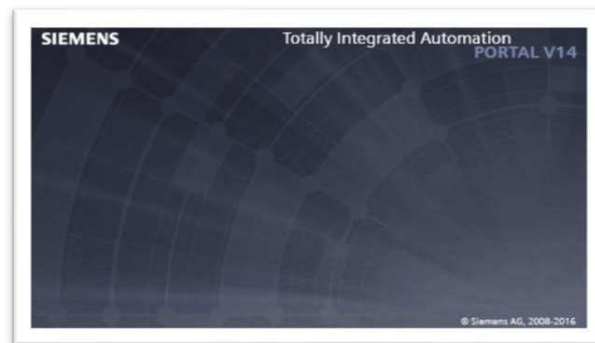


Figura 33. Software Totally integrated automatitacion portal V14. Tia Portal V14.

3.1.2.2 SKETCHUP

Es un software de diseño 3D de alta calidad, su interfaz ayuda a elaborar estructuras de diferentes formas geométricas sean estas circunferencias o lineales, de forma más fácil, fue útil para desarrollar la estructura de la olla de maceración, ayudando a elaborar un diseño ideal (ver Figura 34).



Figura 34. Software Sketchup para el diseño de la estructura.

3.1.2.3 SOFTWARE AUTOCAD

Autocad es un software de diseño 2D y 3D es utilizado por su amplia capacidad de edición, que hacen posible el dibujo digital de cualquier tipo de planos, de esta forma es útil para diseñar los planos del sistema eléctrico del proyecto, ayudando a crear el diseño ideal (ver Figura 35).



Figura 35. Software AutoCAD para el diseño del sistema eléctrico.

3.1.2.4 DOPSOFT

DOPSoft es un software que pertenece a la familia de Delta Group para la interfaz de hombre-máquina, que permite diseñar, programar las pantallas HMI de la serie Delta de manera sencilla, dónde se realizan los diseños para monitoreo y control de los sistemas de automatizaciones industriales (ver Figura 36).

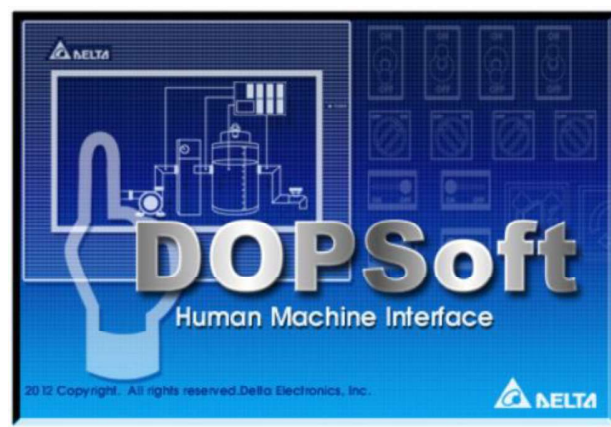


Figura 36. Software DOPSoft.

3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA

Consiste en plantear los diseños útiles para el desarrollo del proyecto en donde se detallan los aspectos físicos tomados en cuenta para el diseño de la estructura base, la olla de maceración, tubería, sistema eléctrico, configuración y programación de los dispositivos utilizados en el proyecto.

3.2.1 DIAGRAMA DE RED DE LA COMUNICACIÓN DEL SISTEMA

La comunicación del sistema se realiza a través de una red local 192.168.0.0/24, la máscara de subred 255.255.255.0, a los dispositivos se le asignaron las respectivas direcciones IP (ver Figura 37).

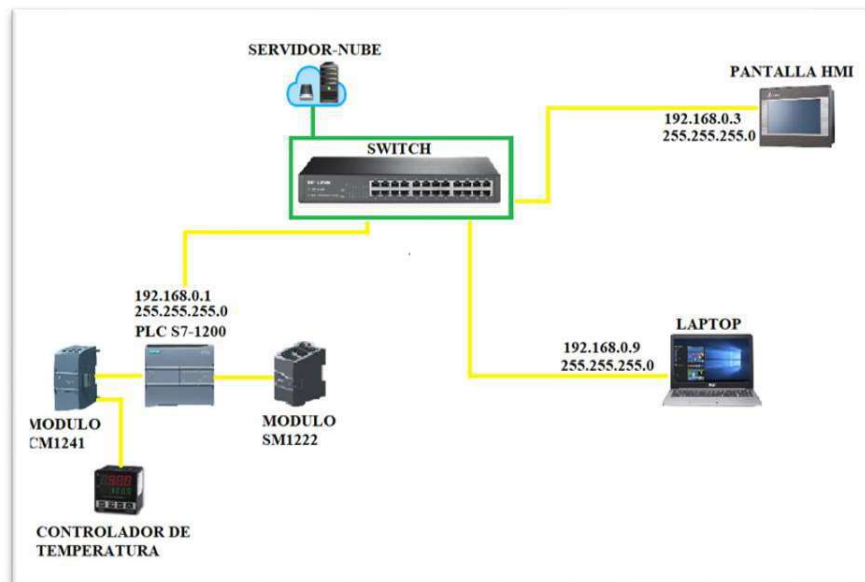


Figura 37. Diagrama de red de comunicación del sistema.

3.2.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE

Estructura base se le denomina al soporte donde se procederá a ubicar los elementos a utilizar como: la olla de maceración, bomba, electroválvula y tubería para la realización de la maceración de la cerveza artesanal, este es un diseño parecido a una mesa donde todos los

elementos que se utilizan quedan seguros, fue realizado en el software SketchUp (ver Figura 38).

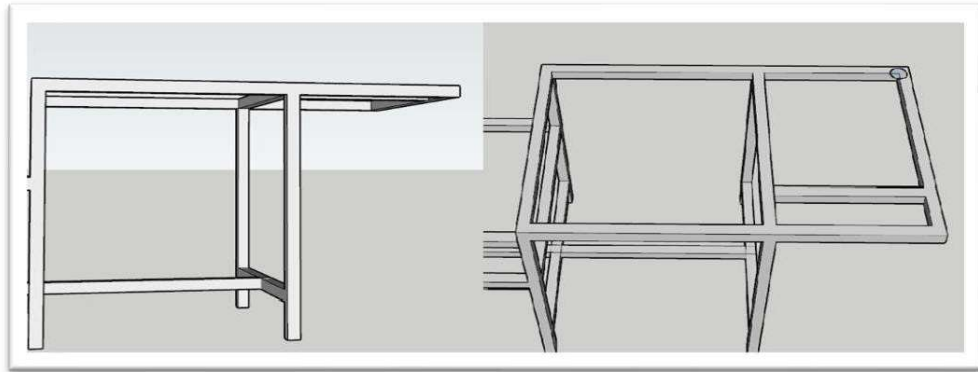


Figura 38. Diseño de la estructura base.

3.2.3 DISEÑO DE LA OLLA DE MACERACIÓN

El diseño de la olla de maceración se lo realizo en el software SketchUp, su diseño cuenta con un doble fondo de esta forma al momento de realizar el agregado de malta el primer fondo contiene la malta y realizara la mezcla agua y malta de esta forma se obtendrá mosto el cual pasara por pequeños orificios al segundo fondo dónde se tendrá el mosto sin residuos de la malta, la olla también contará con una regadera para el ingreso del agua, seis agujeros de los cuales dos son para la ubicación de los sensores de nivel, dos para la ubicación de las electroválvulas, uno para la ubicación del sensor de temperatura y el ultimo para ubicar la resistencia eléctrica. Las dimensiones de la olla son de 39 cm de diámetro y 47 cm de profundidad (ver Figura 39).

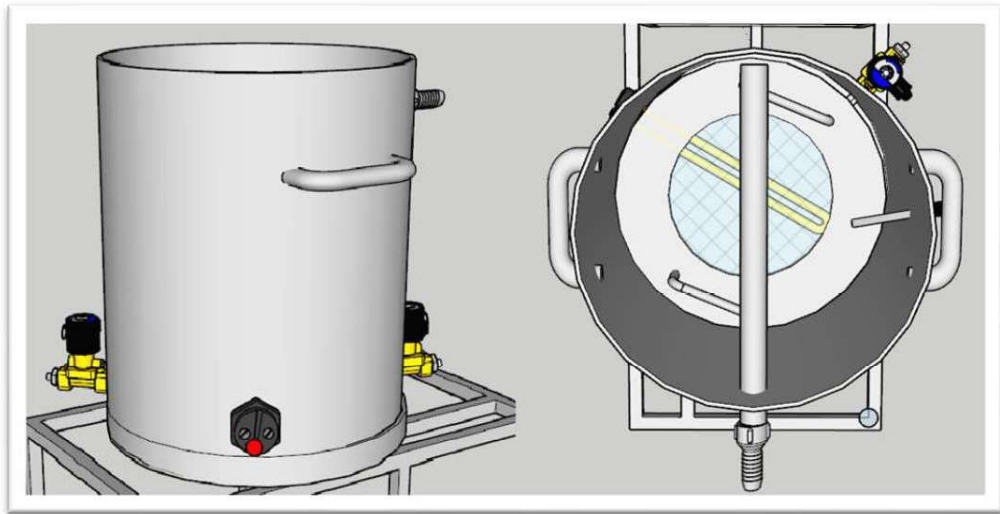


Figura 39. Diseño de la olla de maceración.

3.2.4 DISEÑO DE SISTEMA DE TUBERÍA

El sistema de tubería se lo diseño en el software SketchUp, el diseño se lo realizo acoplando la bomba, electroválvulas a una tubería de forma que tenga una entrada de agua, una salida para el mosto y la tubería para que el mosto se pueda recircular en la misma olla (ver Figura 40).

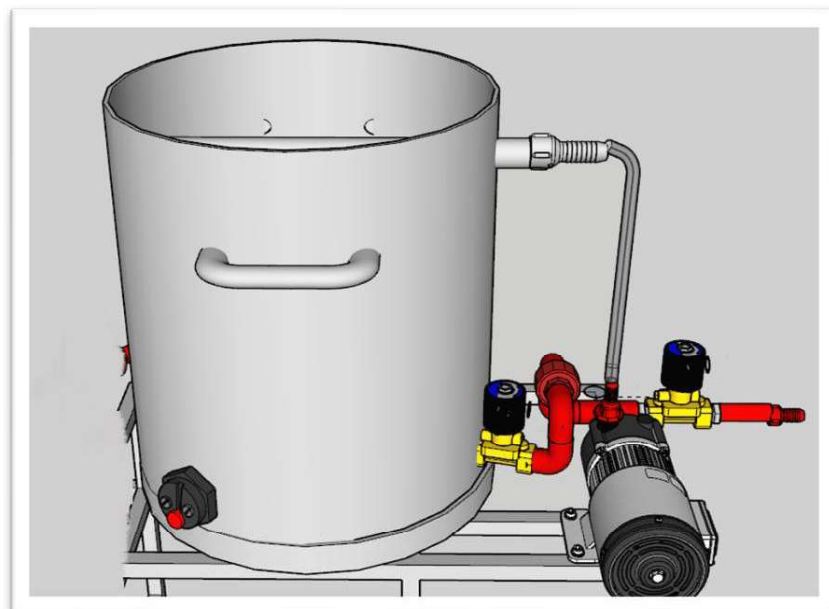


Figura 40. Diseño de la tubería.

3.2.5 DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL

El panel de control se lo diseño en el software SketchUP, está diseñado de manera que permite ubicar de forma precisa el PLC, módulos, contactor, indicadores de estado, botones, pantalla HMI también cuenta con una caja de 30 cm de alto 20 cm de ancho y 15 cm de profundidad dónde se encuentra el controlador de temperatura y las borneras de conexión del sistema (ver Figura 41).

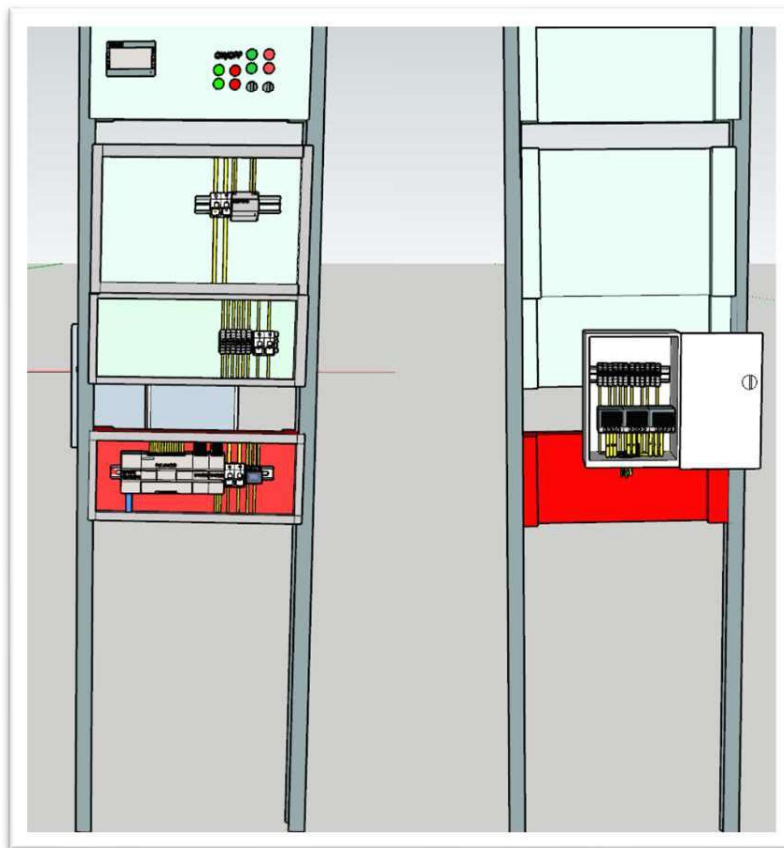


Figura 41. Diseño del panel de control.

3.2.6 DISEÑO FINAL DEL SISTEMA DE MACERACIÓN

El diseño final del sistema consiste en la unión de todos los diseños anteriormente realizados en el software SketchUp (ver Figura 42).

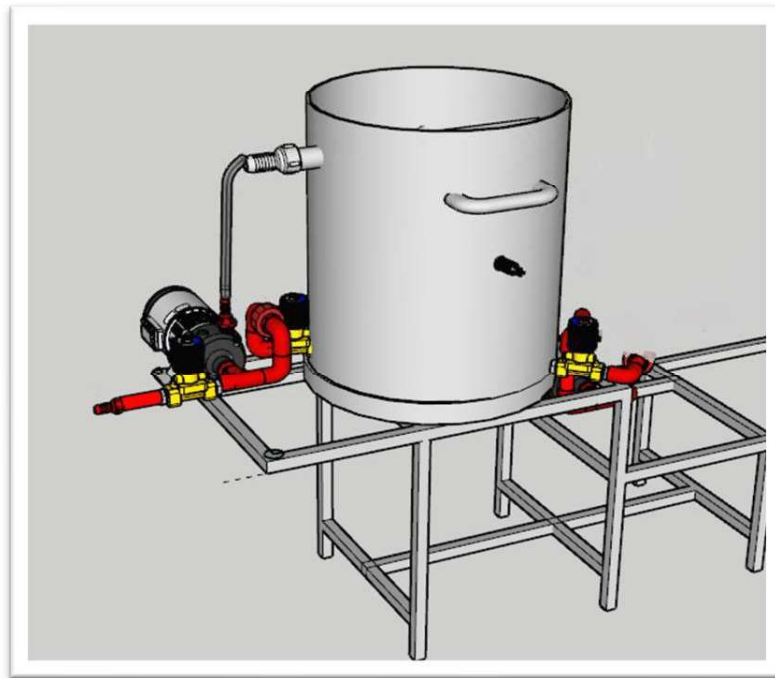


Figura 42. Diseño final del sistema de maceración.

3.2.7 CÁLCULO DEL DIMENSIONAMIENTO DE FUSIBLES DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA.

El cálculo del dimensionamiento de los fusibles se realiza para obtener el valor de amperaje del fusible a utilizar para la protección del sistema. Se realizarán dos cálculos de dimensionamiento uno para los fusibles de la resistencia eléctrica que trabaja 220 V AC.

A continuación, se detalla el cálculo realizado para el dimensionamiento del amperaje de los fusibles para la protección de la resistencia eléctrica.

$$P_{RES} = 1500 \text{ W} \quad V_{AC} = 220 \text{ V}$$

Se calcula la corriente total consumida por la resistencia eléctrica.

$$I_{RES} = \frac{P_{RES}}{V_{AC}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$I_{RES} = \frac{1500 \text{ W}}{220 \text{ V}}$$

$$I_{RES} = 6.81 \text{ A}$$

Se dimensiona el amperaje por un factor de protección de 1.25.

$$I = I_{RES} \times 1.25 \text{ Ecuación 2}$$

$$I = 6.81 \times 1.25$$

$$I = 8.5 \text{ A}$$

Debido a que la corriente de protección para resistencia resulto de 8.5 A se selecciona fusibles de 10 A el cual es un valor comercial más cercano a la corriente calculada en la ecuación 2.

3.2.8 DISEÑO ELÉCTRICO DEL SISTEMA

El diseño eléctrico del sistema (ver Figura 43) se visualiza la conexión entre los diferentes elementos, como lo son PLC, HMI, controlador de temperatura, bomba, electroválvula, sensores y resistencia eléctrica del sistema.

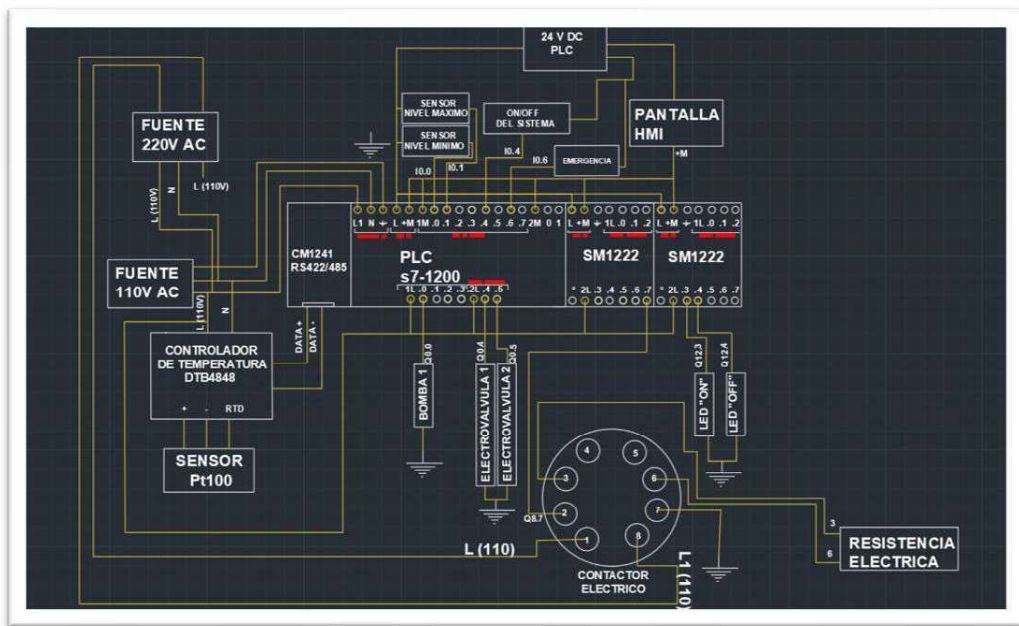


Figura 43. Diseño eléctrico del sistema.

Se utiliza una alimentación de 220 V por lo que se realizó una conexión de líneas y un neutro. Se utilizaron breakers para prevenir posibles daños en los equipos en caso de existir algún tipo de sobrecarga, de igual forma se utilizó fusibles industriales de 10 A como una medida extra de seguridad a la línea de 220 V, esta línea de alimentación se conecta a un contactor

que es el encargado de interrumpir el paso de corriente a la resistencia eléctrica de esta forma permite controlar la resistencia eléctrica a través de una salida digital del PLC.

Se realizó una conexión de 110 V AC, para alimentar al PLC, el controlador de temperatura y las señales de salida digital del PLC serán utilizadas para controlar la bomba, las luces indicadoras de estado, electroválvulas y el contactor que controlara el encendido y apagado de la resistencia eléctrica. Las entradas digitales del PLC se conectarán los pulsadores industriales, los sensores de nivel que estarán alimentados por 24 V DC que el mismo PLC genera.

El sensor de temperatura se encuentra conectado de forma directa al controlador de temperatura y este se comunica con el PLC por medio ModBus.

3.2.9 CONFIGURACIÓN DEL PLC S7-1200 EN TIA PORTAL

La configuración del PLC S7-1200 se realiza en el software TIA portal V14, por medio del acceso en línea de dispositivos accesibles en el rango de la red local, una vez reconocido el dispositivo se lo procede a configurar, se asigna al PLC S7-1200 una dirección IP 192.168.0.1 y la máscara 255.255.255.0 (ver Figura 44).

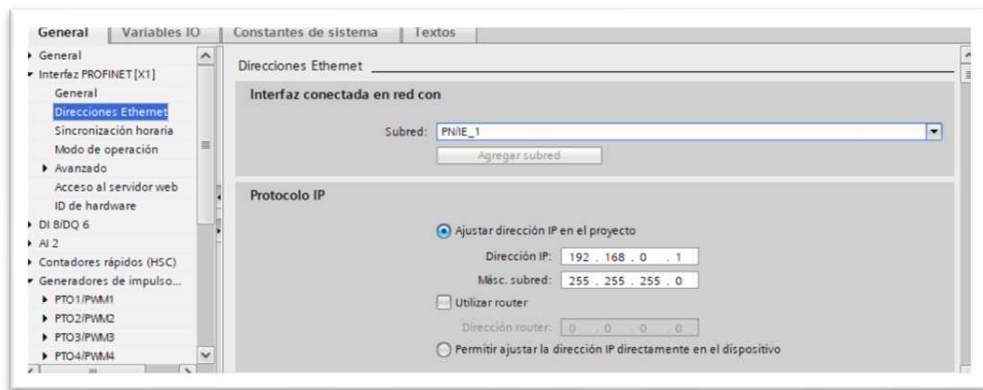


Figura 44. Asignación de dirección IP y máscara al PLC S7-1200.

Para permitir la comunicación entre el PLC S7-1200 con la pantalla HMI, es importante recordar habilitar el PUT/GET que se encuentra ubicado en la opción de protección del software TIA Portal V14 (ver Figura 45).



Figura 45. Habilitar opción PUT/GET.

Luego se procede a declarar las variables a ser usadas en el lenguaje de escalera de todo el proceso de maceración, para esto se les coloca un nombre, la dirección de la variable y el tipo de dato (ver Figura 46).

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
Tag_1	Bool	%M0.0					
System_Byte	Byte	%MB1					
FirstScan	Bool	%M1.0					
DiagStatusUpdate	Bool	%M1.1					
AlwaysTRUE	Bool	%M1.2					
AlwaysFALSE	Bool	%M1.3					
Clock_Byte	Byte	%MB0					
Clock_10Hz	Bool	%M0.0					
Clock_5Hz	Bool	%M0.1					
Clock_2.5Hz	Bool	%M0.2					
Clock_2Hz	Bool	%M0.3					
Clock_1.25Hz	Bool	%M0.4					
Clock_1Hz	Bool	%M0.5					
Clock_0.625Hz	Bool	%M0.6					
Clock_0.5Hz	Bool	%M0.7					
System_Byte(1)	Byte	%MB2					
SENSOR NIVEL BAJO 1	Bool	%I0.0					
SENSOR NIVEL ALTO 1	Bool	%I0.1					
BOMBA 1	Bool	%Q0.0					

Figura 46. Declaración de variables.

Diagrama lógico del sistema de control automático para el proceso de maceración de la cerveza artesanal (ver Figura 47).

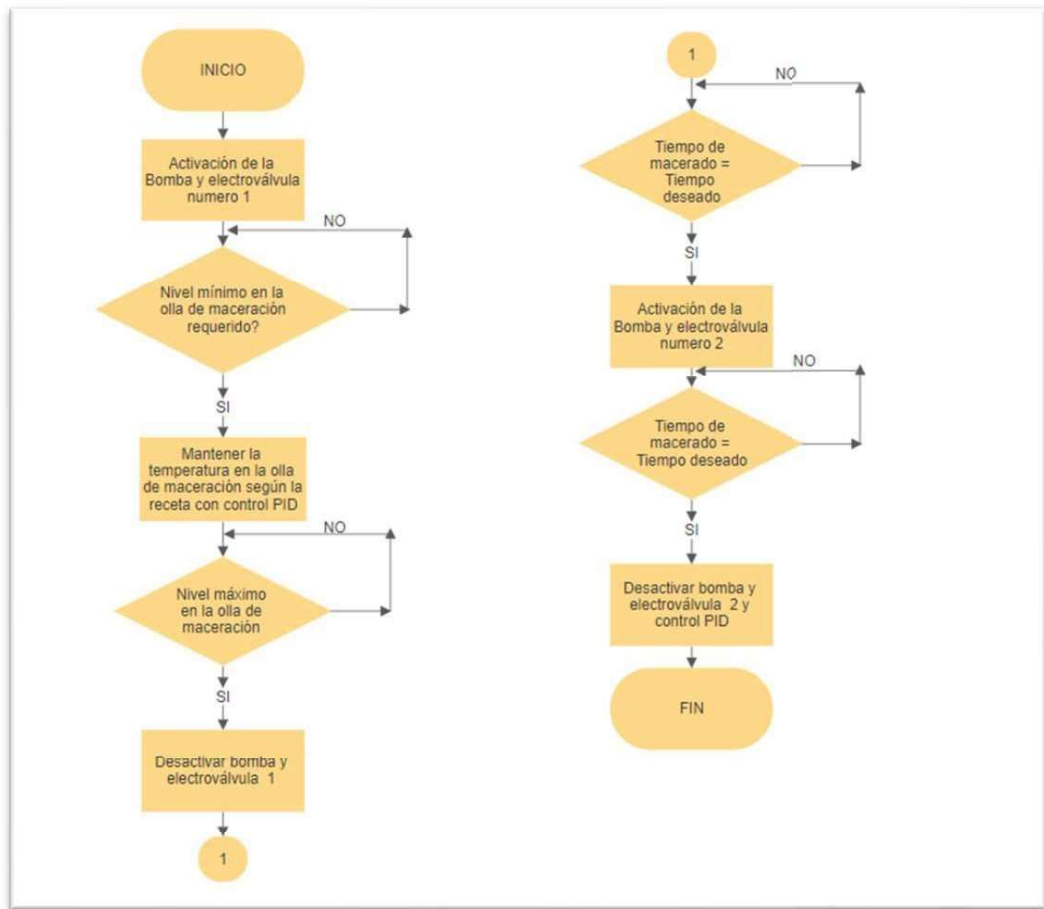


Figura 47. Diagrama lógico del sistema.

El sistema de control cuenta con un botón declarado como entrada para encender el sistema, un indicador de estado de color verde declarado como salida que indica si el sistema esta encendido y un botón que simula a un sensor de flujo que en caso de no haber agua cuando las bombas estén encendidas si lo presiona el sistema se detendrá (ver Figura 48), también cuenta con otro indicador de estado de color rojo que indica cuando el sistema está detenido o apagado (ver Figura 49).



Figura 48. Encendido y emergencia del sistema.



Figura 49. Apagado del sistema.

A continuación, se indica la programación de escalera, que permite el funcionamiento del llenado de agua a la olla de maceración de cada receta almacenada (ver Figura 50).

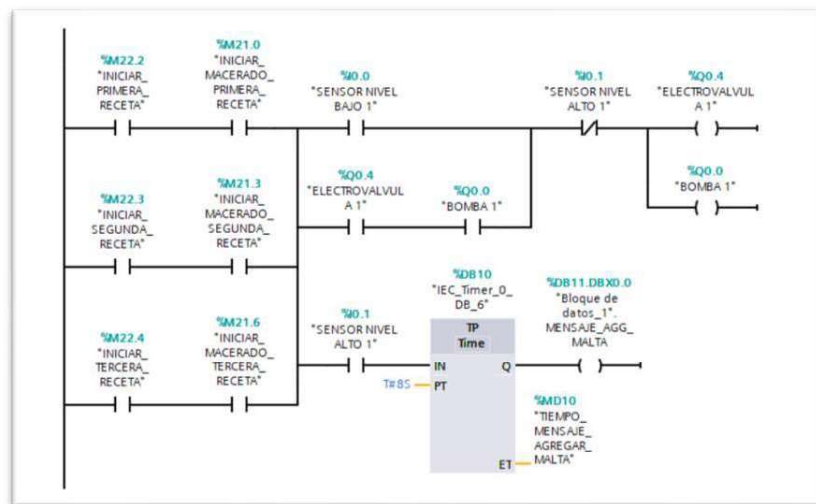


Figura 50. Llenado de agua a la olla maceración.

Una vez realizado el llenado de la olla de maceración dependiendo de la selección de cualquiera de las tres recetas almacenadas en el PLC, se inicia los diferentes procesos tomando en cuenta las variaciones de temperatura y los tiempos de maceración de cada receta (ver Figura 51 a Figura 53).

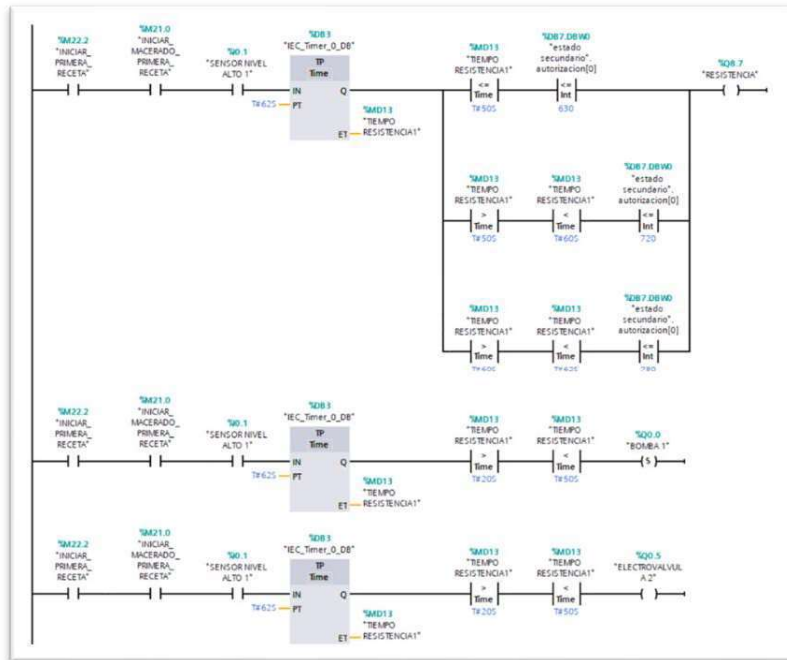


Figura 51. Leguaje de escalera de la primera receta.

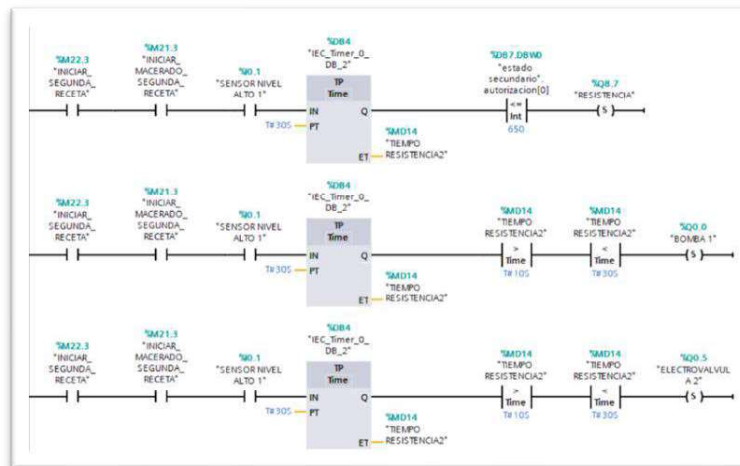


Figura 52. Leguaje de escalera de la segunda receta.

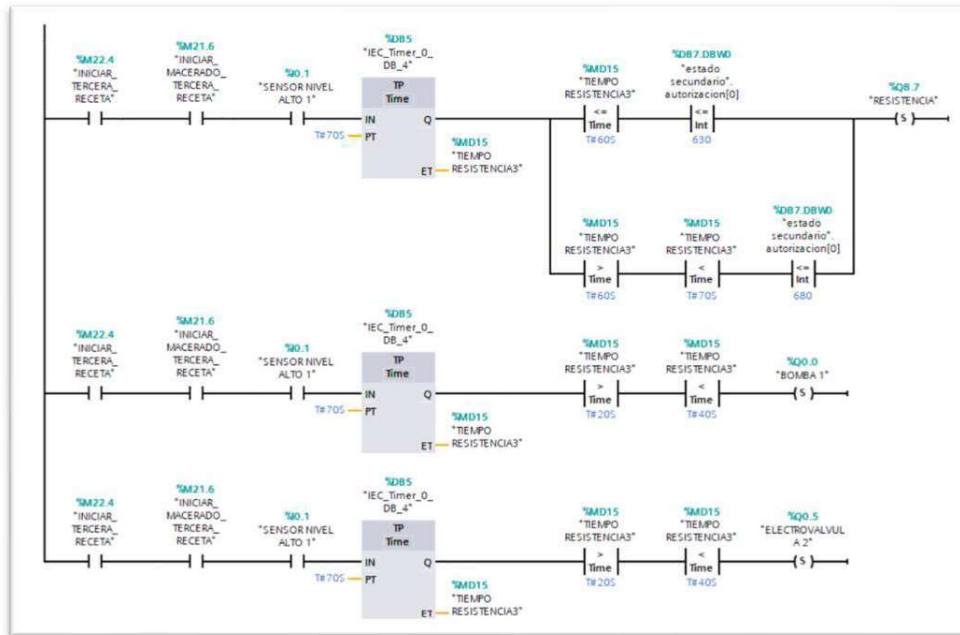


Figura 53. Leguaje de escalera de la tercera receta.

Para la medición de las temperaturas constantes de la olla de maceración para lograr un control efectivo de estas se realizó la siguiente programación (ver Figura 54).

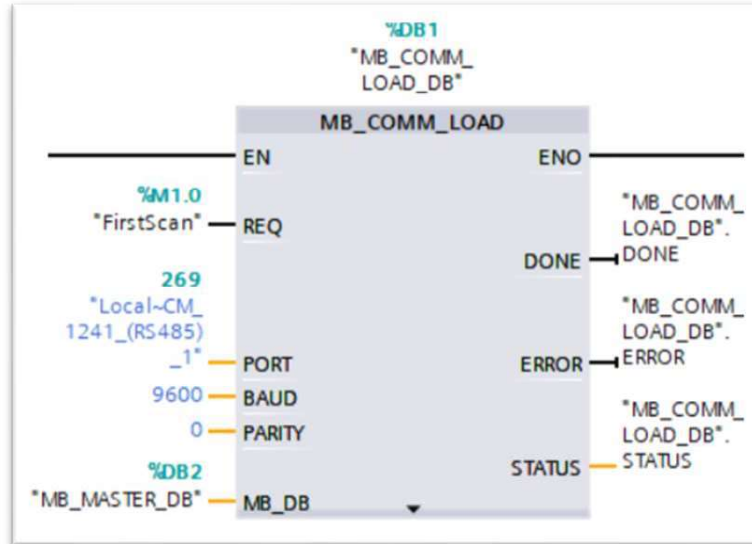


Figura 54. Habilitación del módulo ModBus.

Primero se habilito el módulo ModBus RS485 que está conectado al PLC, para esto se utiliza el bloque MB_COMM_LOAD dónde se le configura los siguientes parámetros (ver Tabla 24).

Parámetros	Función	valor
PORT	Identificar el puesto de comunicación.	269
MB_DB	Bloque de datos de instancia.	MB_MASTER_DB
REQ	Ejecución de la instrucción.	“FirstScan”
BAUD	Velocidad de transferencia.	9600
PARITY	Paridad de datos.	0: sin paridad

Tabla 24. Parámetros a configurar para el módulo.

La configuración del set point en el controlador de temperatura Delta DTB4848 se lo realiza con el bloque MB_MASTER_DB (ver Figura 55).

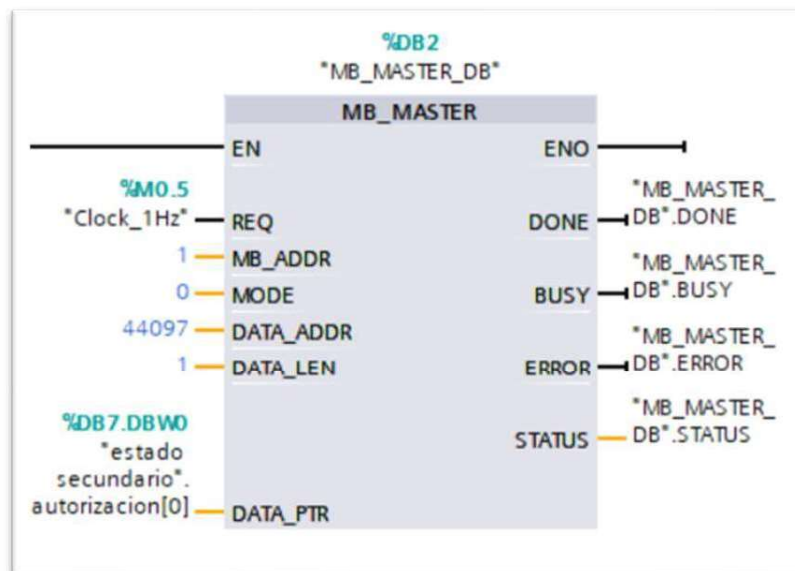


Figura 55. Configuración del controlador de temperatura DTB4848.

A través de este bloque se puede realizar la lectura o escritura del controlador de temperatura mediante la comunicación RS485 en la Tabla 25 se detallan los parámetros a configurar.

Parámetros	Función	valor
DATA_ADDR	Registro dónde se escribirán los datos.	44098: registro interno del controlador de temperatura dónde se asigna el set point.
MB_ADDR	Dirección en la red ModBus.	1: controlador de temperatura de la olla de maceración.
REQ	Frecuencia de lectura de la temperatura.	“Clock_1Hz”
MODE	Modo escritura o lectura.	1: escritura
DATA_PTR	Dirección de dónde se copian los datos.	Data Block “Estado secundario”, registro número 3.
DATA_LEN	Cantidad de registros a copiar.	1.

Tabla 25. Parámetros para configurar el modo escritura del controlador DTB4848.

En este caso se configuro el modo lectura para adquirir el dato de la temperatura del sensor Pt100 ubicado en la olla de maceración (ver Tabla 26).

Parámetros	Función	valor
DATA_ADDR	Registro dónde se almacena el valor de temperatura obtenido por el sensor.	44097: registro interno del controlador de temperatura dónde se almacena el dato del sensor.
MB_ADDR	Dirección en la red ModBus.	1: controlador de temperatura de la olla de maceración.
REQ	Frecuencia de lectura de la temperatura.	“Clock_1Hz”
MODE	Modo escritura o lectura.	0: lectura
DATA_PTR	Dirección de base de datos del PLC dónde se almacena los valores de temperatura.	Data Block “Datos temperatura”, registro número 0.
DATA_LEN	Cantidad de registros que se van a leer desde el controlador.	1.

Tabla 26. Parámetros de lectura a configurar para el controlador DTB4848.

3.2.10 CONEXIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA - PLC

El medio por el cual se comunica el controlador de temperatura con el PLC es por ModBus para la conexión entre los dispositivos se debe utilizar un cable UTP, el cual un extremo va conectado al controlador de temperatura, por el otro extremo se le adapta un conector DB-9 y va conectado al módulo de comunicación ModBus el cual se ajusta al PLC (ver Figura 56).

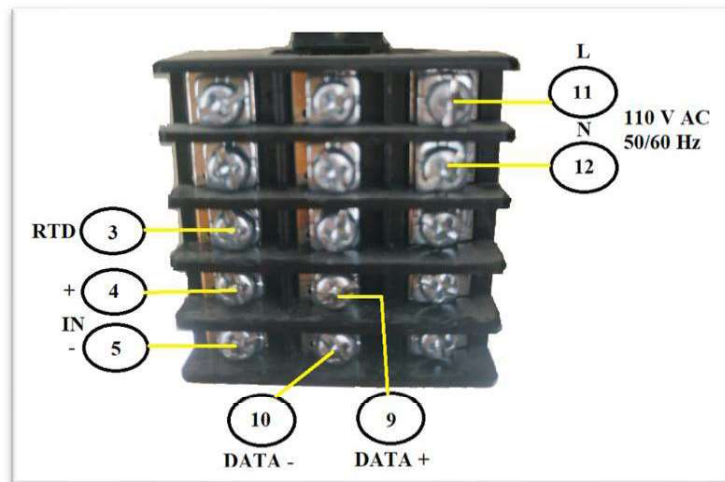


Figura 56. Conexión del controlador de temperatura.

En los terminales 3, 4 y 5 se conecta el sensor de temperatura PT100 que utilizamos en el proyecto. Para la comunicación entre los dispositivos se utiliza el par trenzado, se conecta en los pines 9 y 10 recordando su disposición que serán Data+ y Data- respectivamente (ver Figura 57).

Uno de los extremos del cable UTP estará conectado al conector DB-9 y el otro extremo tendrá que estar sujeto con los terminales 9 y 10 del controlador de temperatura (ver Tabla 27).



Figura 57. Conexión de pines controlador de temperatura DTB4848 – DB-9.

Datos (RS-485)	DTB-4848	DB-9
Data+	Terminal 9	Pin 8
Data-	Terminal 10	Pin 3

Tabla 27. Conexión DTB-4848 con DB-9.

3.2.11 DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI

La interfaz hombre -máquina se la diseño en el software DOPSoft de Delta, para la comunicación entre la pantalla HMI y el PLC S7-1200, se basó en el protocolo Profinet, se ingresa en la pantalla HMI la dirección IP: 192.168.0.3 y mascara: 255.255.255.0 (ver Figura 58).



Figura 58. Configuración de IP y mascara de la pantalla HMI.

En el software DOPSoft para iniciar a diseñar la interfaz, primero es necesario configurar el respectivo modelo que especifica el datasheet de la pantalla HMI Delta, el cual es DOP-B03E211 (ver Figura 59).

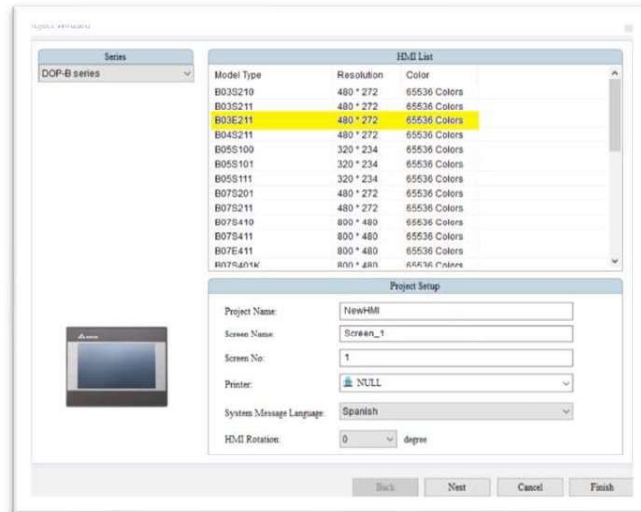


Figura 59. Selección de modelo de pantalla.

Una vez seleccionado el modelo de la pantalla HMI Delta, se define la comunicación Profinet con las direcciones IP correcta del PLC S7-1200 para su comunicación y asignación de la IP y mascara para la pantalla HMI Delta (ver Figura 60 y Figura 61).

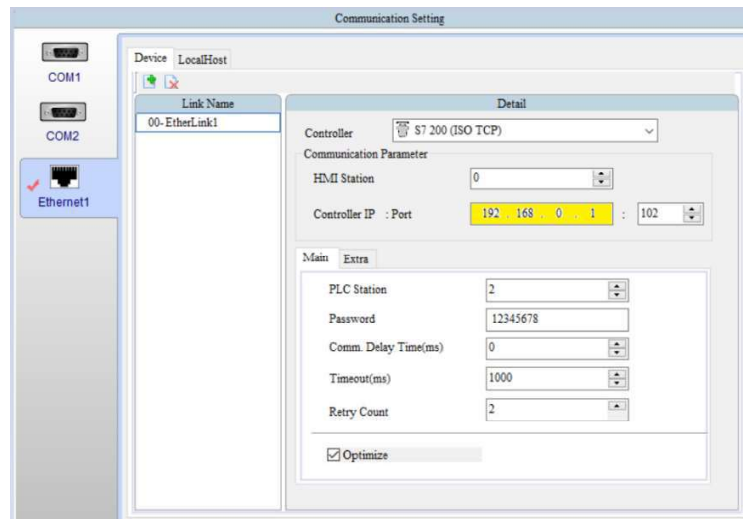


Figura 60. Configuración de comunicación con el PLC S7-1200.

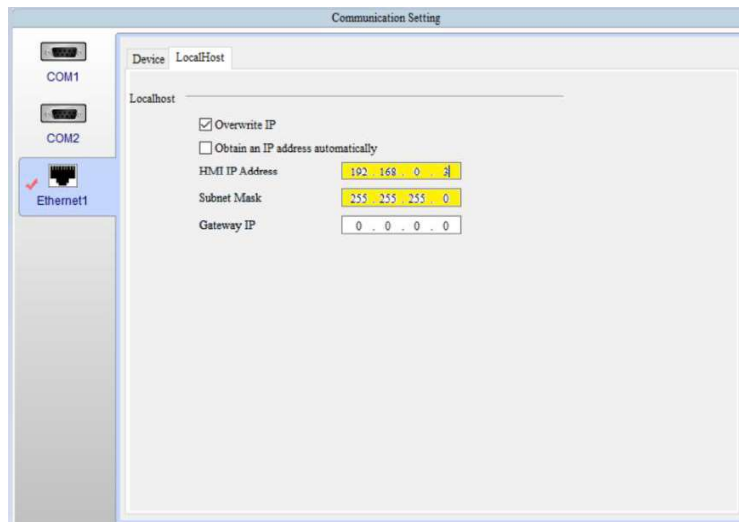


Figura 61. Asignación de dirección IP y Mascara de la pantalla HMI.

A continuación, se muestra en un diagrama de bloques el diseño de la interfaz para el proceso de maceración de la cerveza artesanal (ver Figura 62).

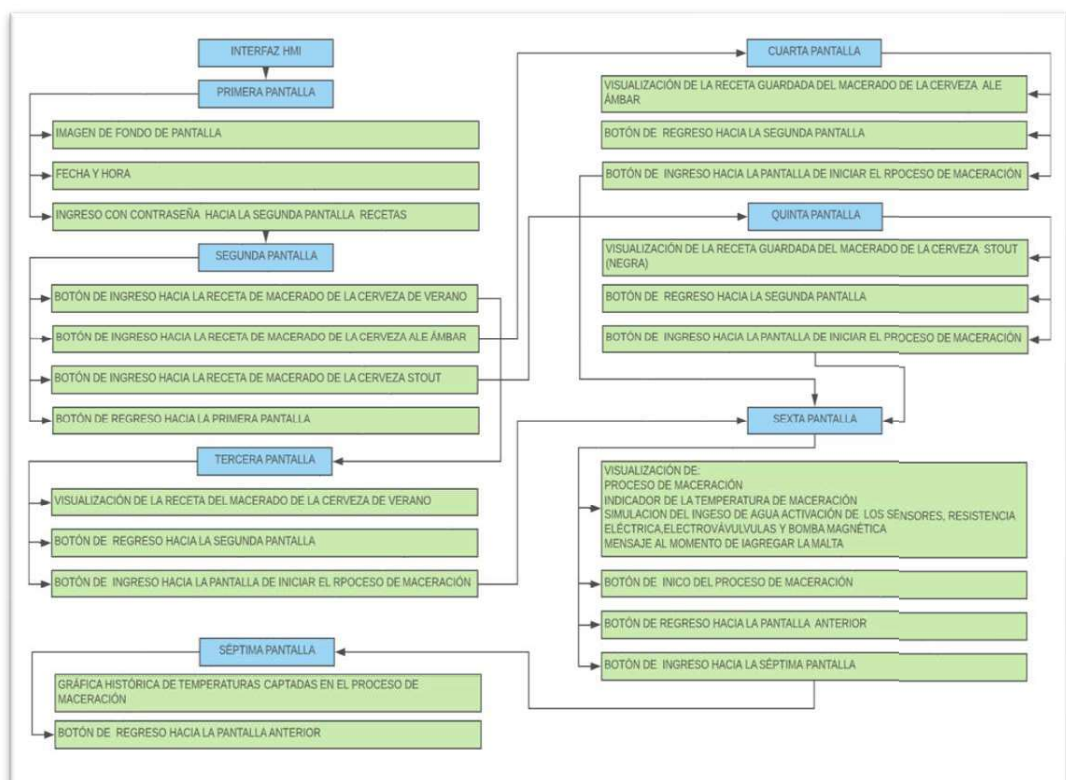


Figura 62. Diagrama de bloques de acuerdo al diseño realizado en la pantalla HMI.

La interfaz gráfica del sistema de maceración de la cerveza artesanal está compuesta por once pantallas de las cuales cuatro son réplicas de dos pantallas de las siete especificadas en el diagrama de bloques. La primera pantalla muestra un fondo de una imagen de cerveza artesanal, hora y fecha, también permite el ingreso por medio de contraseña hacia la pantalla de las recetas (ver Figura 63).

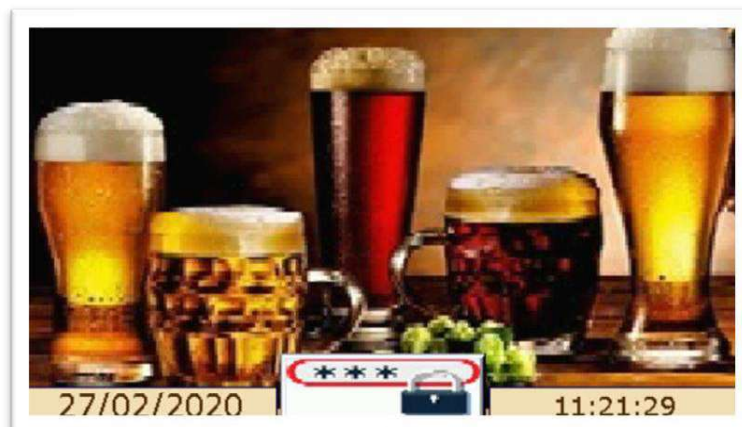


Figura 63. Pantalla de ingreso al sistema.

En la segunda pantalla se puede observar las tres recetas almacenadas (ver Figura 64). El usuario puede elegir la receta de cerveza que desea preparar además esta pantalla cuenta con un boto para regresar a la pantalla de ingreso.



Figura 64. Pantalla de Recetas.

La pantalla tres, cuatro y cinco corresponden a la visualización de cómo está compuesto el macerado de la receta seleccionada de las tres almacenadas cada una tiene temperaturas y tiempos distintos (ver Figura 65 a la Figura 67). También cada pantalla cuenta con un botón

para regresar a la pantalla de recetas y otro para avanzar hacia la pantalla de inicio del proceso maceración de cada receta.



Figura 65. Pantalla de Receta Cerveza de Verano.



Figura 66. Pantalla de Receta cerveza Ale Ámbar.



Figura 67. Pantalla de Receta Cerveza Stout Negra.

Las pantallas seis, ocho y nueve son iguales cada una de estas pantallas tendrá el botón para iniciar el proceso de la maceración de cada receta, se puede observar indicadores que nos permite observar la temperatura, el llenado de la olla de maceración, el encendido y apagado de los sensores de nivel, resistencia eléctrica, bomba y electroválvulas (ver Figura 68).

También tiene dos botones uno para regresar a la pantalla anterior y otro para avanzar a la pantalla del registro de las temperaturas.



Figura 68. Pantalla de inicio del proceso de maceración de la Receta seleccionada.

Las pantallas siete, diez y once corresponden a las gráficas de tendencias e históricos de las temperaturas de la maceración de la cerveza artesanal, más un botón de regreso a la pantalla anterior (ver Figura 69).



Figura 69. Pantalla de la gráfica de tendencia e historia de las temperaturas.

3.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

3.3.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

La cerveza artesanal y la industrial están elaboradas con los mismos ingredientes básicos de materia prima como son: la malta, agua, lúpulo y levadura. Lo que diferencia una cerveza de la otra es el proceso de fabricación, calidad de ingredientes y formula de la receta.

Cabe recalcar que la cerveza artesanal está elaborada por maestros cerveceros con productos más sanos y sin químicos por lo que el producto final es más nutritivo y de mejor calidad.

Se utilizan equipos, tales como PLC S7-1200, pantalla HMI, expansor de salidas digitales, contactor eléctrico, resistencia eléctrica, electroválvulas de fluido, bomba magnética, sensores de nivel, sensor de temperatura, controlador de temperatura dtb4848, utilizando una comunicación híbrida entre Profinet y ModBus, además de un sistema de tuberías para entrada y recirculación de agua de la cerveza artesanal.

El sistema está realizado bajo estándares de desarrollo de software libre por lo que no se tuvo inconvenientes para elaborar este trabajo.

Totally integrated automation portal V14 es un programa que permite configurar y estructurar sentencias orientadas a los procesos industriales.

Para desarrollar la estructura de la olla y elaborar los diseños 3D se utilizó Sketchup.

Los diseños para el monitoreo y control de los mismo se realizaron en el software Dopsoft.

Con respecto a la usabilidad, se sabe que un factor fundamental que debe ser tomado en cuenta para determinar si el producto va a tener éxito o no. Ante lo expuesto se desarrolló un sistema con interfaces amigables acorde a las necesidades y que se los usuarios puedan adaptarse rápidamente.

Ante lo expuesto se concluye que el sistema es técnicamente viable, ya que es una herramienta que en el momento de ser utilizada por los usuarios finales se garantizará su total funcionamiento brindando una buena experiencia.

3.3.2 PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA

A continuación, se especifican los gastos para el desarrollo del sistema. El proyecto fue autofinanciado por el autor.

1. Equipos.

Nombre	Cantidad	Precio Unitario	total
PLC siemens s7-1200	1	\$500	\$500
Pantalla hmi delta dop-b03e211	1	\$419	\$419
Módulo de comunicación ModBus	1	\$111.80	\$112
Módulo SM 1222	1	\$200	\$200
Controlador de temperatura delta DTB4848	1	\$85	\$85
Electroválvula Bacoeng ¾	1	\$100	\$100
Sensor de temperatura PT100	1	\$15	\$15
Sensor de nivel	1	\$36	\$36
Resistencia eléctrica Kippen	1	\$50	\$50
Bomba magnética MKII	1	\$140	\$140
TOTAL			\$1,656.80

Tabla 28. Costos de Equipos

2. Costo de estructura

Nombre	Cantidad	Precio Unitario	Total
Olla de maceración	1	\$600	\$600
Estructura de la planta	1	\$50	\$50
Cable eléctrico #12	1	\$30	\$30
Tubería	1	\$20	\$20
Panel de control y canaletas	1	\$25	\$31
Total			\$731

Tabla 29. Costos de Estructura.

3. Costo Mano de Obra.

Descripción	costo/mes	Meses	total
Desarrollo	\$325.00	4	\$1,300
Compra de Materiales	\$100.00	1	\$100
Montaje	\$100.00	1	\$100
Total			\$1,500

Tabla 30. Costos de Mano de Obra.

4. Costos Totales.

Detalle	Costo
Costo de equipos	\$1,656.80
Costo de estructura	\$731
Costo de mano de obra	\$1,500
Total	\$3,887.80

Tabla 31. Costo Total.

Los costos de software se omiten ya que se trabajará con softwares libres.

3.4 PRUEBAS Y RESULTADOS

Se realizaron diferentes tipos de pruebas desde el funcionamiento de cada elemento o dispositivo del proyecto hasta los resultados que se obtienen una vez acoplado todo el sistema.

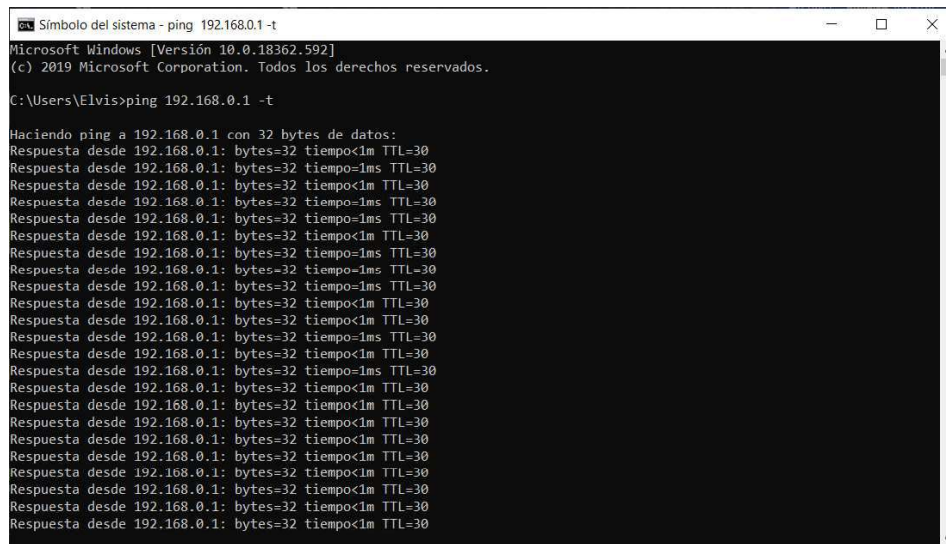
Pruebas y resultados de la red de comunicación del sistema

La asignación de las direcciones IP para la correcta comunicación de los dispositivos usados en el sistema (ver Tabla 32).

DISPOSITIVO	DIRECCIONES IP
PLC S7-1200	192.168.0.1
PANTALLA HMI	192.168.0.3

Tabla 32. Direcciones IP del sistema.

La comprobación de comunicación de los dispositivos se la realizo utilizando el comando PING en la consola de CMD desde la PC (ver Figura 70 y Figura 71). Se logro la verificación del envío y respuesta de paquete de datos con su respectivo tiempo.

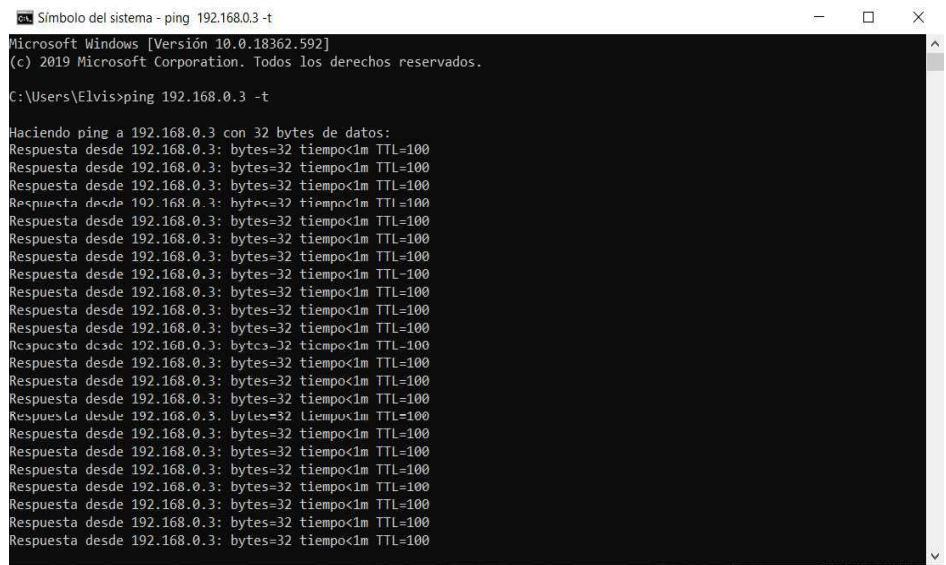


```
Símbolo del sistema - ping 192.168.0.1 -t
Microsoft Windows [Versión 10.0.18362.592]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Elvis>ping 192.168.0.1 -t

Haciendo ping a 192.168.0.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=30
```

Figura 70. Ping 192.168.0.1 -t, PLC S7-1200.



```
Símbolo del sistema - ping 192.168.0.3 -t
Microsoft Windows [Versión 10.0.18362.592]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Elvis>ping 192.168.0.3 -t

Haciendo ping a 192.168.0.3 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=100
```

Figura 71. Ping 192.168.0.3 -t, pantalla HMI.

Prueba del llenado de agua a la olla de maceración

Para comprobar que el llenado de agua hacia la olla de maceración se procedió a seleccionar la primer receta de las almacenadas para observar en el software TIA Portal V14 que

enciendan la bomba y la electroválvula uno (ver Figura 72), también se puede observar que el sensor de nivel bajo esta inactivo luego de un momento de llenado procede a ponerse activo eso quiere decir que el agua alcanzó el nivel mínimo (ver Figura 73) pero la bomba y la electroválvula uno deben seguir activos hasta que el sensor de nivel alto se activa una vez que el nivel de agua lo alcance de esta forma se desactivaran la bomba y electroválvula uno (ver Figura 74)

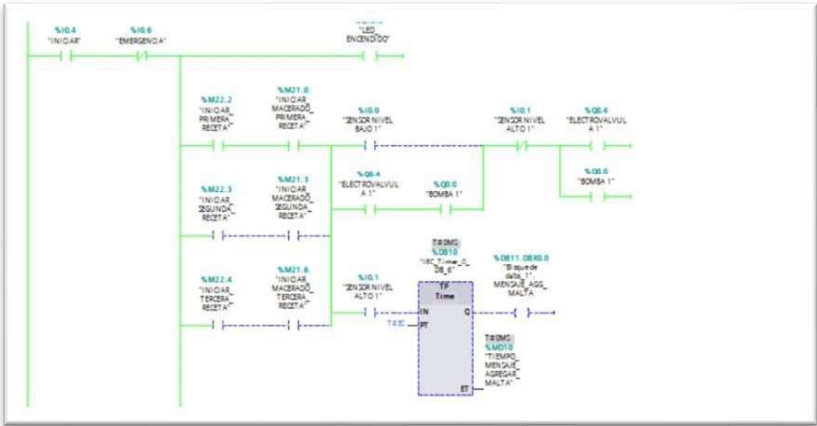


Figura 72. Activación de la bomba y electroválvula uno.

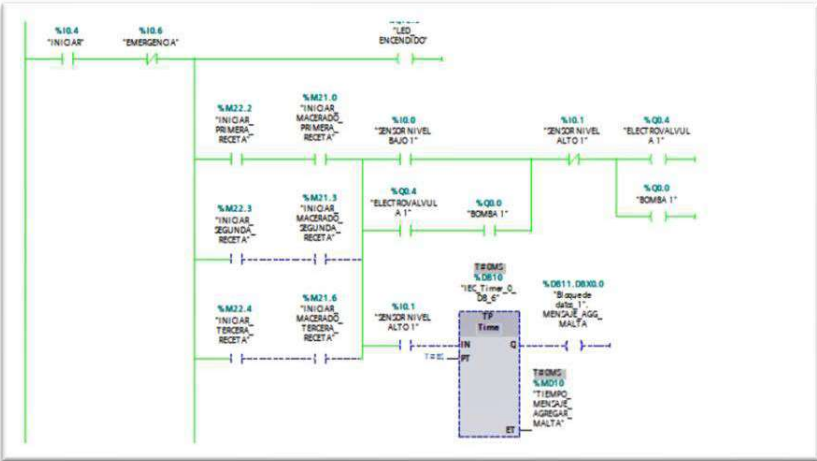


Figura 73. Activación del sensor de nivel bajo.

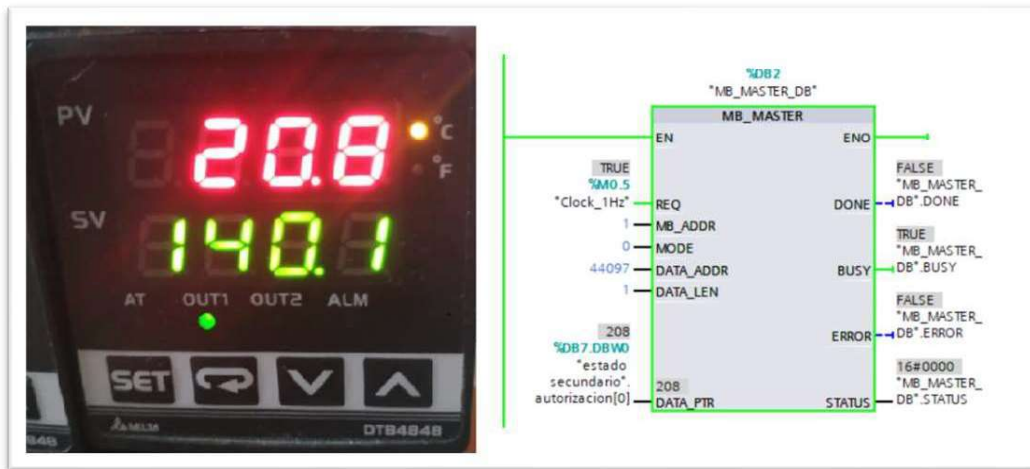


Figura 75. Señal recibida en el software TIA Portal V14.

Una vez se comprobó que el dato que obtenía el controlador de temperatura y llega al PLC mediante el software Tía Portal V14 se procedió a enviar ese dato desde el PLC a la pantalla HMI mediante la comunicación ethernet para así el usuario pueda visualizar la temperatura reportada por el controlador en la pantalla HMI (ver Figura 76).



Figura 76. Visualización de la temperatura en la pantalla HMI.

Las pruebas realizadas si cumplieron con lo deseado el dato dado por el controlador de temperatura se lo pudo obtener en el PLC S7-1200 una vez obtenido se procedió a enviar ese dato a la pantalla HMI y se pudo comprobar que el dato recibido por la pantalla es el mismo dado por el controlador.

Prueba de control de la resistencia mediante la temperatura.

Esta prueba consiste en verificar que la comunicación entre el controlador de temperatura-PLC-resistencia eléctrica, funciona de tal forma que no debe poseer errores, para poder saber si la prueba es satisfactoria de debe observar que los datos recibidos por el controlador de temperatura con las temperaturas de las recetas almacenadas en la programación del PLC, estas dos temperaturas serán comparadas en su programación para luego para encender o apagar a la resistencia eléctrica dependiendo por ejemplo si la receta tiene un valor de temperatura de 63 °C si el controlador de temperatura da un valor mayor la resistencia eléctrica estará apagada, en caso de ser menor o igual la resistencia eléctrica procede a encender (ver Figura 77).



Figura 77. Control de la resistencia eléctrica mediante la temperatura.

Luego de realizar varias pruebas con distintas temperaturas (ver Tabla 33) se puede decir que el sistema de control de la resistencia eléctrica mediante la temperatura cumple con las expectativas.

Temperatura de la Receta	Temperatura obtenida por el controlador	Estado de la resistencia eléctrica
78 °C	80 °C	OFF
78 °C	76 °C	ON
72 °C	74 °C	OFF
63 °C	65.5 °C	OFF
63 °C	62.9 °C	ON
65 °C	70 °C	OFF
65 °C	63 °C	ON
40 °C	34 °C	ON
50 °C	45 °C	ON
55 °C	56 °C	OFF

Tabla 33. Control ON/OFF de la resistencia eléctrica dependiendo de la temperatura.

Prueba de la interfaz gráfica HMI.

El PLC S7-1200 interactúa con la interfaz gráfica de la pantalla HMI Delta, para realizar la prueba se debe considerar que el usuario u operador puede controlar el sistema, ya sea ingresando o visualizando los datos en la pantalla HMI, esto se lo realiza mediante una programación realizada en el software DopSoft.

Las pruebas que se realizaron consisten en la transmisión o recepción de datos entre la pantalla HMI y el PLC (software Tía Portal V14), mediante la selección de cualquiera de las tres recetas almacenadas en la programación del PLC, luego en la pantalla de seis, ocho y nueve del HMI se visualiza el proceso de maceración en el encendido de indicadores, gráfica de llenado de agua, recirculación, también se observa la activación o desactivación de la bomba, sensores de nivel, electroválvulas, también se puede observar la temperatura que muestra el controlador (ver Figura 78 a Figura 80).



Figura 78. HMI llenado de agua activación de bomba y electroválvula uno.



Figura 79. HMI llenado de agua activación de sensor de nivel bajo.



Figura 80. HMI llenado de agua activación de sensor de nivel alto y desactivación de bomba y electroválvula uno.

Cuando el agua llega al nivel del sensor de nivel alto en la pantalla HMI también se observa un mensaje que indica al usuario que es momento de agregar las maltas de la receta a preparar (ver Figura 81).

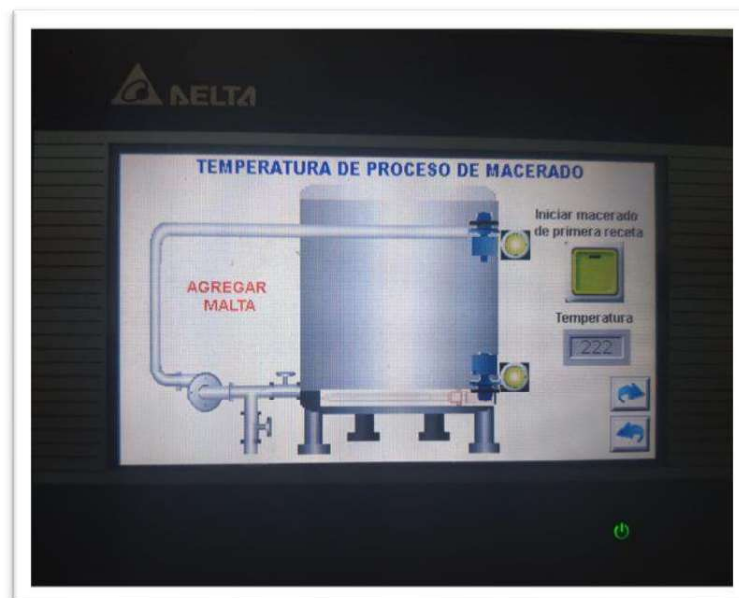


Figura 81. HMI Mensaje de agregar las maltas.

Si las temperaturas dadas por el controlador son mayores a las dadas por la receta se puede observar en la pantalla que la resistencia eléctrica esta apagada y si es menor o igual se la observara encendida (ver Figura 82).



Figura 82. HMI resistencia eléctrica apagada y encendida.

Luego de un tiempo dependiendo de la receta se puede observar la recirculación dónde se activan la bomba y la electroválvula dos (ver Figura 83).



Figura 83. HMI recirculación del sistema.

Comparativa de resultados proceso manual y automatizado.

Se realizaron tres pruebas comparando la extracción de azúcares de la malta que realiza este proyecto de titulación y de la forma manual tomando en cuenta la temperatura de la receta

realizada comparando las densidades obtenidas para conocer la eficiencia de la malta, en este caso se utilizó la malta base pale ale. Para realizar este cálculo se utilizó la siguiente fórmula.

La malta pale ale tiene un potencial de eficiencia del 80%, si de un 1 kg de malta se consigue 600 g de extracto, entonces se logró una eficiencia del 75%.

$$EKg * 100/PM = E$$

$$0.6 * 100/0.8 = 75\%$$

EKg: Extracto por kilo.

PM: potencial de eficiencia de la malta.

E: Eficiencia.

Las pruebas se realizaron con 1 kg de malta pale ale con un extracto potencial máximo de 5 litros de mosto en las densidades mostradas en la tabla 34 por cada prueba.

Prueba 1

Manual

$$(5 * 1040) * 11.95 * 10 = 621.4$$

$$621.4 * \frac{100}{800} = 77.6\%$$

Automatizado

$$(5 * 1050) * 11.95 * 10 = 627.37$$

$$627.37 * \frac{100}{800} = 78.4\%$$

Prueba 2

Manual

$$(5 * 1035) * 11.95 * 10 = 618.4$$

$$618.4 * \frac{100}{800} = 77.3\%$$

Automatizado

$$(5 * 1045) * 11.95 * 10 = 624.38$$

$$624.38 * \frac{100}{800} = 78\%$$

Prueba 3

Manual

$$(5 * 1038) * 11.95 * 10 = 620.2$$

$$620.2 * \frac{100}{800} = 77.5\%$$

Automatizado

$$(5 * 1047) * 11.95 * 10 = 625.58$$

$$625.58 * \frac{100}{800} = 78.2\%$$

Pruebas	Temperatura	Densidad Manual	Eficiencia Manual	Densidad Automatizado	Eficiencia Automatizado
1	70 °C	1040	77.6%	1050	78.4%
2	72 °C	1035	77.3%	1045	78%
3	66 °C	1038	77.5%	1047	78.2%

Tabla 34. Tabla comparativa de eficiencia entre proceso manual y automatizado.

Como observamos en la tabla 34 podemos concluir que el proceso de automatización mejoró un 1% o más en eficiencia permitiendo de esta forma extraer mayor cantidad de azúcares de la malta lo cual permitirá obtener una cerveza con mayor cuerpo o mayor grado alcohólico terminado la fermentación, o en tal caso si el productor considera será demasiado alto puede agregar más agua para así obtener un mayor litraje sin afectar el producto final.

CONCLUSIONES

El diseño de la estructura base, olla y tubería fueron los ideales, ya que al momento de su implementación se optó por una estructura base de tubo cuadrado de 1/2 pulgada que facilitó la ubicación de la bomba y la olla, además se construyó una olla con doble fondo de acero la cual permite producir hasta un máximo de 50 litros, también en su fabricación se tomó en cuenta dejar espacios para la ubicación de los sensores, resistencia eléctrica y las electroválvulas que se utilizan para realizar el proceso de maceración en este proyecto.

Con el sistema de control para el encendido y apagado de la resistencia eléctrica se logró comparar la temperatura de la receta con la temperatura de referencia dada por el controlador de esta forma si la temperatura del controlador es mayor la resistencia se apaga de inmediato y si la del controlador es menor o igual a la temperatura indicada en la receta la resistencia se encenderá.

La implementación de la red de comunicación industrial de los dispositivos del sistema permitió utilizar dos tipos de comunicación, tales como la comunicación ethernet para el PLC y la pantalla HMI, y la comunicación ModBus para el controlador de temperatura con el PLC formando finalmente una red híbrida para el sistema.

Se desarrolló once interfaces gráficas en la pantalla HMI utilizando el software Dopsoft para el proceso de maceración de la cerveza artesanal representa un excelente método de control y monitoreo, permitiendo apreciar el correcto funcionamiento del sistema.

RECOMENDACIONES

En cuanto a la estructura física, se recomienda que la tubería y los elementos a utilizar sean de acero inoxidable para que de esta forma evitar de mejor manera cualquier tipo de contaminación en el mosto, de igual forma para así garantizar un correcto funcionamiento de los elementos al momento de resistir altas temperaturas con las que trabajan cada receta de la cerveza artesanal.

Para una correcta elección de los dispositivos a utilizar en el proyecto es importante realizar un minucioso estudio de cada uno, la elección del PLC adecuado ya que este está directamente relacionado con las características del proceso a automatizar, también se deben considerar los elementos necesarios actuadores, indicadores, electroválvulas, sensores, bomba para el funcionamiento del proceso y en base a esto poder elegir los módulos de expansión para el PLC, el número de entradas y salidas de los mismos, el voltaje y la corriente con la que trabajan para ver si es necesario un tipo de fuente externa y finalmente saber las dimensiones para poder realizar su instalación.

La resistencia eléctrica se recomienda utilizar una de mayor potencia para de esta forma poder garantizar mantener estables o permitir aumentar las temperaturas de mejor manera dependiendo de cada receta de cerveza artesanal a utilizar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sociedad ecuatoriana de cerveceros artesanales, «Historia de la cerveza,» [En línea]. Available: <https://secaecuador.es.tl/HISTORIA-DE-LA-CERVEZA.htm>.
- [2] P. Jaramillo, «Cervezas artesanales, un mercado que emerge bien,» [En línea]. Available: https://revistagestion.ec/sites/default/files/import/legacy_pdfs/269_005.pdf.
- [3] El Telegrafo, «En Ecuador existen 70 cervecerías artesanales,» 24 11 2016. [En línea]. Available: <https://www.letelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/en-ecuador-existen-70-cervecerias-artesanales>.
- [4] E. Carvajal Cruz, «Análisis del comportamiento del consumidor de cervezas artesanales en el NSE A y Ben el norte de Guayaquil,» 13 03 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/9984/1/T-UCSG-POS-MGM-101.pdf>.
- [5] BierCab, «¿Cómo Se Elabora La Cerveza Artesanal?,» 2016. [En línea]. Available: <http://biercab.com/como-se-elabora-la-erveza-artesanal/>.
- [6] Larousse, «larousse,» 24 julio 2018. [En línea]. Available: <https://blog.larousse.es/el-proceso-de-elaboracion-de-la-erveza-artesana-paso-a-paso/>.
- [7] cervezartesana, «cervezartesana,» 25 mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.cervezartesana.es/blog/post/como-elaborar-erveza-en-casa.html>.
- [8] F. C. Ferrari, «Materia Prima,» [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/materia-prim.html>.
- [9] S. J. C. J. M. A. U. A. G. U. J. F. M. V. U. Heeddy Alburqueque Crisanto, «Diseño de proceso productivo de cerveza,» 23 Junio 2018. [En línea]. Available: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3614/PYT_Informe_Final_Proyecto_Cerveza_de_uva.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [10] E. I. Beerfest, «La importancia del agua en la elaboracion de cervezas,» 15 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://maltosaa.com.mx/importancia-del-agua-en-la-elaboracion-de-erveza/>.
- [11] I. A. M. A. Carvajal Martínez Luis Danny, «Elaboracion de cerveza artesanal utilizando cebada y yuca,» 2010. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/642/1/03%20AGI%20256%20TESIS.pdf>.
- [12] M. Q. Fernandez, «Levadura: El componente “mágico” de la cerveza,» 27 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.forbes.com.mx/levadura-el-componente-magico-de-la-erveza/>.
- [13] the beer times, «thebeertimes,» [En línea]. Available: <https://www.thebeertimes.com/ajustes-del-agua-para-la-elaboracion-de-erveza/>.

- [14] J. J. G. Ornelas, «Las Temperaturas de Maceración, Ciencia y Arte.,» 2 Julio 2013. [En línea]. Available: <https://brewmasters.com.mx/las-temperaturas-de-maceracion-ciencia-y-arte/>.
- [15] D. V. Naranjo, «Cómo elaborar cerveza artesana, explicado paso a paso,» 2 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://installbeer.com/blogs/diariocervecerero/como-elaborar-cerveza-artesana>.
- [16] V. E. Burbano Vozmediano y S. A. Cabezas Pazmiño, Diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar el proceso de cocción de cerveza artesanal en la empresa cervecería gourmet, Sangolquí, 2015.
- [17] R. G. A. Delia, 2010. [En línea]. Available: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/2812/>.
- [18] F. Ucha, «Definición de temperatura,» Enero 2009. [En línea]. Available: <https://www.definicionabc.com/general/temperatura.php>.
- [19] M. Porporatto, «Tiempo,» 6 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://quesignificado.com/tiempo/>.
- [20] M. Gisbert Verdú, DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA.
- [21] F. Torres y C. Jara, Automatas programables I., España, 2011.
- [22] contaval, «Programación tipo ladder,» 21 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.contaval.es/programacion-tipo-ladder/>.
- [23] P. García, «¿Qué es el control PID?,» 9 Mayo 2013. [En línea]. Available: <https://franklinlinkmx.wordpress.com/2013/09/05/que-es-el-control-pid/>.
- [24] H. J. T. TIPÁN, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA,» 2016. [En línea]. Available: <http://157.100.241.244/bitstream/47000/1182/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-16.pdf>.
- [25] V. Guerrero, L. Martínez y R. Yuste, Comunicaciones industriales, Marcombo, 2010.
- [26] ACROMAG Incorporated, Introduction to Modbus TCP/IP, Wixom: ACROMAG Incorporated, 2005.
- [27] wattco, «wattco,» [En línea]. Available: <https://www.wattco.com/es/2018/09/un-analisis-detallado-de-los-paneles-de-control-industriales/>.
- [28] Ricardobrico, «Contactor -Automatismo,» 27 abril 2017. [En línea]. Available: <http://bricovoltio.com/contactor-automatismo>.
- [29] omega, «omega,» [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html>.

- [30] C. Mathas, «Conceptos Básicos sobre sensores de temperatura,» 27 Octubre 2011. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com/es/articulos/techzone/2011/oct/temperature-sensors-the-basics>.
- [31] E. Editorial, «Sensor de nivel de líquidos en los tanques a través de sistemas telemétricos,» 24 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://reportedigital.com/negocios/tecnologia/sensor-nivel-liquido/>.
- [32] Alpha, «Resistencia electrica calefactora,» 16 mayo 2014. [En línea]. Available: <http://santiescoin.com/definiciones/resistencia-electrica-calefactora/>.
- [33] drotec, «drotec,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.drotec.com.ar/bombas-acople-magnetico.html>.
- [34] QuimiNet, «El uso de las electroválvulas en la industria,» 8 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-las-electrovalvulas-en-la-industria-2648462.htm>.
- [35] J.-Y. Fiset, Human-Machine Interface Design for Process Control Applications, 2009.
- [36] M. F. Colignon y G. E. Roldan, Automatizacion de proceso para elaboracion de cerveza artesanal, Parana, 2018.
- [37] M. C. Teran Teran, Diseño e implementacion de un sistema de automatizacion para una linea de produccion de cerveza artesanal, Quito, 2018.
- [38] Arian Control & Instrumentos, «Pt100, su operacion, instalacion y tablas,» [En línea]. Available: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>.
- [39] F. Mecafenix, «Lenguajes para programación de plc,» 24 03 2017. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/lenguajes-programacion-plc/>.
- [40] M. F. y R. G. E. Colignon, «Automatización de proceso para elaboración de,» [En línea]. Available: [file:///C:/Users/15DB0005LA/Downloads/Informe%20Proyecto%20Final%20-%20Automatizaci%C3%B3n%20de%20Proceso%20para%20Elaboraci%C3%B3n%20de%20Cerveza%20Artesanal%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/15DB0005LA/Downloads/Informe%20Proyecto%20Final%20-%20Automatizaci%C3%B3n%20de%20Proceso%20para%20Elaboraci%C3%B3n%20de%20Cerveza%20Artesanal%20(1).pdf).
- [41] V. Ferrer, «Variador de Frecuencia,» 6 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://vicentferrer.com/variador-de-frecuencia/>.
- [42] F. Mecafenix, «La resistencia eléctrica ¿que es y para que sirve?,» 7 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/resistencia-electrica/>.

ANEXOS

Anexo 1: PLC Siemens S7-1200.

Datos técnicos del PLC S7-1200.

Función		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Dimensiones físicas (mm)		90 x 100 x 75	90 x 100 x 75	110 x 100 x 75	130 x 100 x 75	150 x 100 x 75
Memoria de usuario	Trabajo	30 kB	50 KB	75 kB	100 kB	125 KB
	Carga	1 MB	1 MB	4 MB	4 MB	4 MB
	Remanente	10 kB	10 kB	10 kB	10 kB	10 KB
E/S integradas locales	Digital	6 entradas/4 salidas	8 entradas/6 salidas	14 entradas/10 salidas	14 entradas/10 salidas	14 entradas/10 salidas
	Analógico	2 entradas	2 entradas	2 entradas	2 entradas/2 salidas	2 entradas/2 salidas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	Entradas (I)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
	Salidas (Q)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
Área de marcas (M)		4096 bytes	4096 bytes	8192 bytes	8192 bytes	8192 bytes
Ampliación con módulo de señales (SM)		Ninguna	2	8	8	8
Signal board (SB), Battery Board (BB) o Communication Board (CB)		1	1	1	1	1
Módulo de comunicación (CM) (ampliación en el lado izquierdo)		3	3	3	3	3
Contadores rápidos	Total	Se han configurado un máximo de 6 para usar cualquier entrada integrada o de SB.				
	1 MHz	--	--	--	--	De Ib.2 a Ib.5
	100/180 kHz	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5
	30/120 kHz	--	De Ia.6 a Ia.7	De Ia.6 a Ib.5	De Ia.6 a Ib.5	De Ia.6 a Ib.1
Salidas de impulsos ²	Total	Se han configurado un máximo de 4 para usar cualquier salida integrada o de SB				
	1 MHz	--	--	--	--	De Qa.0 a Qa.3
	100 kHz	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.4 a Qb.1
	20 kHz	--	De Qa.4 a Qa.5	De Qa.4 a Qb.1	De Qa.4 a Qb.1	--
Memory Card		SIMATIC Memory Card (opcional)				
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real		20 días típ./12 días mín. a 40 °C (condensador de alto rendimiento sin mantenimiento)				
Puerto de comunicación Ethernet PROFINET		1	1	1	2	2
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales		2,3 µs/instrucción				
Velocidad de ejecución booleana		0,08 µs/instrucción				

Módulo		Sólo entradas	Sólo salidas	Entradas y salidas
Módulo de señales (SM)	Digital	8 entradas DC	8 salidas DC 8 salidas de relé	8 entradas DC/8 salidas DC 8 entradas DC/8 salidas de relé
		16 entradas DC	16 salidas DC 16 salidas de relé	16 entradas DC/16 salidas DC 16 entradas DC/16 salidas de relé
	Analógico	4 entradas analógicas 8 entradas analógicas	2 salidas analógicas 4 salidas analógicas	4 entradas analógicas/2 salidas analógicas
Signal Board (SB)	Digital	-	-	2 entradas DC/2 salidas DC
	Analógico	-	1 salida analógica	-
Módulo de comunicación (CM)				
<ul style="list-style-type: none"> • RS485 • RS232 				

Anexo 2: Módulo de comunicación CM1241.

Datos técnicos del módulo CM1241.

Información general	
Designación del tipo de producto	CM 1241 RS422/485
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	<ul style="list-style-type: none"> • 24 V DC
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo, máx.	220 mA; De bus de fondo 5 V DC
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	1,1 W
Interfaces	
Nº de interfaces	1
Física de la interfaz, RS 422/485 (X.27)	Sí
Punto a punto	
<ul style="list-style-type: none"> • Longitud del cable, máx. 	1 000 m
Drivers de protocolo integrados	

— Modbus	Sí
— RTU maestro Modbus	Sí
— RTU esclavos Modbus	Sí
— USS	Sí; disponible como función de librería
Protocolos	
Protocolos integrados	
Freeport	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
3964 (R)	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
RTU maestro Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)
— N.º de esclavos, máx.	247; 1 a 247, máximo 32 dispositivos por cada segmento de red MODBUS, se precisan repetidores adicionales para ampliar la red a la máxima configuración
RTU esclavos Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)
Alarmas/diagnósticos/información de estado	
Funciones de diagnóstico	Sí
LED señalizador de diagnóstico	
• para el estado de las salidas	Sí
Grado de protección y clase de protección	
Grado de protección según EN 60529	
• IP20	Sí
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Sí
cULus	Sí
Homologación FM	Sí
RCM (anterior C-TICK)	Sí
Homologación KC	Sí
Condiciones ambientales	

Caída libre	
• Altura de caída, máx.	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
Temperatura ambiente en servicio	
• mín.	-20 °C
• máx.	60 °C
• Montaje horizontal, mín.	-20 °C
• Montaje horizontal, máx.	60 °C
• Montaje vertical, mín.	-20 °C
• Montaje vertical, máx.	50 °C
• Cambio permitido de temperatura	5°C a 55°C; 3°C/minuto
Temperatura ambiente en almacenaje/transporte	
• mín.	-40 °C
• máx.	70 °C
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
• En servicio mín.	795 hPa
• En servicio máx.	1 080 hPa
• Almacenamiento/transporte, mín.	660 hPa
• Almacenamiento/transporte, máx.	1 080 hPa
Humedad relativa del aire	
• Funcionamiento a 25 °C sin condensación, máx.	95 %
Dimensiones	
Ancho	30 mm
Alto	100 mm
Profundidad	75 mm
Pesos	
Peso, aprox.	155 g

Anexo 3: Módulo expansor de salidas digitales SM 1222.

Datos técnicos del módulo SM 1222.

Supply voltage	
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
from backplane bus 5 V DC, max.	120 mA
Power losses	
Power loss, typ.	1.5 W
Digital inputs	
Number of digital inputs	0
Digital outputs	
Number of digital outputs	8
In groups of	1
Short-circuit protection	No
Limitation of inductive shutdown voltage to	typ. (L+) -48 V
Switching capacity of the outputs	
with resistive load, max.	0.5 A
on lamp load, max.	5 W
Output voltage	

Rated value (DC)	24 V
for signal "0", max.	0.1 V ; with 10 kOhm load
for signal "1", min.	20 V DC
Output current	
for signal "1" rated value	0.5 A
for signal "0" residual current, max.	10 µA
Output delay with resistive load	
"0" to "1", max.	50 µs
"1" to "0", max.	200 µs
Aggregate current of outputs (per group)	
horizontal installation	
up to 50 °C, max.	4 A ; Current per mass
Relay outputs	
Switching capacity of contacts	
with inductive load, max.	0.5 A
on lamp load, max.	5 W
with resistive load, max.	0.5 A
Cable length	
Cable length, shielded, max.	500 m
Cable length unshielded, max.	150 m
Interrupts/diagnostics/status information	
Alarms	
Alarms	Yes
Diagnostic alarm	Yes
Diagnostic messages	
Diagnostic functions	Yes
Monitoring the supply voltage	Yes
Diagnostics indication LED	
For status of the outputs	Yes
for maintenance	Yes
Status indicator digital output (green)	Yes
Galvanic isolation	
Galvanic isolation digital outputs	
between the channels, in groups of	1
between the channels and the backplane bus	500 V AC
Degree and class of protection	
IP20	Yes
Standards, approvals, certificates	

CE mark	Yes
CSA approval	Yes
UL	Yes
cULus	Yes
RCM (former C-TICK)	Yes
FM approval	Yes
Marine approval	
Marine approval	Yes
Climatic and mechanical conditions for storage and transport	
Climatic conditions for storage and transport	
Free fall	
Drop height, max. (in packaging)	0.3 m ; five times, in dispatch package
Temperature	
Permissible temperature range	-40 °C to +70 °C
Air pressure acc. to IEC 60068-2-13	
Permissible air pressure	1080 to 680 hPa
Relative humidity	
Permissible range (without condensation) at 25 °C	95 %
Mechanical and climatic conditions during operation	
Climatic conditions in operation	
Temperature	
Min.	-20 °C
max.	60 °C
Permissible temperature change	5°C to 55°C, 3°C / minute
Connection method	
required front connector	Yes
Mechanics/material	
Type of housing (front)	
Plastic	Yes
Dimensions	
Width	45 mm
Height	100 mm
Depth	75 mm
Weights	
Weight, approx.	180 g

Anexo 4: Pantalla HMI Delta DOP-B03E211.

Especificaciones técnicas de la pantalla HMI.

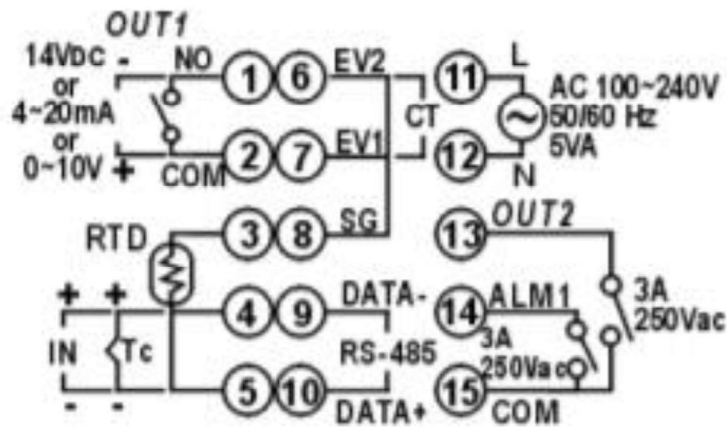
MODEL		DOP-B03S211	DOP-B03E211	DOP-B05S111	DOP-B07S411	DOP-B07S401K DOP-B07S411K	DOP-B07S415 DOP-B07P8415	DOP-B07E415	
LCD MODULE	Display Type	4.3" TFT LCD (65536 colors)		5.6" TFT LCD (65536 colors)		7" Widescreen TFT LCD (65536 colors)			
	Resolution	480 x 272 pixels		320 x 234 pixels		800 x 480 pixels			
	Backlight	LED Back Light (less than 20,000 hours half-life at 25°C) ⁽¹⁾							
	Display Size	95.04 x 53.856mm		113.28 x 84.70mm		154.08 x 85.92mm		152.4 x 91.44mm	
Operating System		Delta Real Time OS							
MCU		32-bit RISC Micro-controller							
Flash ROM		Flash ROM 128 MB(OS System: 30MB / Backup: 16MB / User Application: 82MB)							
SORAM		64Mbytes							
Backup Memory		16Mbytes							
Sound Effect Output	Buzzer	Multi-Tone Frequency (2K ~ 4K Hz) / 85dB							
	AUX	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Stereo output	
Ethernet Interface		N/A	IEEE 802.3, IEEE 802.3u 10/100 Mbps Auto-sensing (has built-in isolated power circuit ⁽²⁾)	N/A	N/A	N/A	N/A	10/100 Mbps Auto-sensing (has built-in isolated power circuit ⁽²⁾)	
Memory Card		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	SD card (support SDHC)		
USB		1 USB Host ⁽³⁾ Ver 1.1 / 1 USB Client Ver 2.0							
Serial COM Port	COM1	RS-232 (Supports hardware flow control) / RS-485		RS-232 (supports hardware flow control)					
	COM2	RS-422 / RS-485		RS-232 / RS-485			RS-232 / RS-422 RS-485	RS-232 / RS-422 RS-485 (has built-in isolated power circuit ⁽²⁾)	
	COM3	N/A		RS-422 / RS-485			RS-232 / RS-422 RS-485	RS-232 / RS-422 RS-485 (has built-in isolated power circuit ⁽²⁾)	
Function Key		N/A			8		N/A		
Perpetual Calendar(RTC)		Built-in							
Cooling Method		Natural air circulation							
Safety Approval		CE / UL ⁽⁴⁾ / KCC ⁽⁵⁾							
Waterproof Degree		IP65 / NEMA4							
Operation Voltage ⁽⁶⁾		DC +24V(-10% ~ +15%) (please use isolated power supply)							DC +24V (-10% ~ +15%) (has built-in isolated power circuit ⁽²⁾)
Voltage Endurance		AC500V for 1 minute (between charging DC24 terminal and FG terminals)							
Power Consumption ⁽⁷⁾		2.64W	2.64W	3.0W	4W	4W	5W	7.5W	
Backup Battery		3V lithium battery CR2032 x 1							
Backup Battery Life		It depends on the temperature used and the conditions of usage, about 3 years or more at 25°C							
Operation Temp		0°C ~ 50°C							
Storage Temp		-20°C ~ +60°C							
Ambient Humidity		10% ~ 90% RH [0 ~ 40°C], 10% ~ 55% RH [41 ~ 50°C], Pollution Degree 2							
Vibration / Shock		IEC 61131-2 compliant 5Hz ~ 8.3Hz = Continuous: 3.5mm, 8.3Hz ~ 150Hz = Continuous: 1.0g IEC 60068-2-27 compliant 15g peak for 11 ms duration, X, Y, Z directions for 6 times							
Dimensions (W) x (H) x (D) mm		129 x 103 x 39	129 x 103 x 39	184 x 144 x 50	215 x 161 x 50	215 x 161 x 50	215 x 161 x 50	215 x 161 x 50	
Panel Cutout (W) x (H) mm		118.8 x 92.8	118.8 x 92.8	172.4 x 132.4	196.9 x 142.9	196.9 x 142.9	196.9 x 142.9	196.9 x 142.9	
Weight		Approx. 239g	Approx. 284g	Approx. 670g	Approx. 820g	Approx. 820g	Approx. 970g	Approx. 970g	

Anexo 5: Controlador de temperatura DTB4848.

Especificaciones eléctricas.

Suplemento de fuerza	100 ~ 240VAC, 50/60Hz
Gama de tensión	Tensión especificada de 85 - 110%
Consumo de energía	< 5VA
Presentación	Presentación por LED de 2 líneas 7 segmentos, 4 dígitos disponibles, PV: rojo; SV: verde.
Sensores de temperatura de entrada	Termopar: K, J, T, E, N, R, S, B, L, U, TXK.
	RTD de platina: Pt100, JPt100
	Entrada analógica: 0 - 5V, 0 - 10V, 0 - 20mA, 4 - 20mA, 0 - 50mA
Escala de presentación	1 dígito despues del punto decimal, o ningún punto decimal
Métodos de control	PID, PID programable, ON/OFF, manual.
Tipos de salida	Relé: SPDT (DTB4848/4824: SPST), Carga máx.: 250VAC, Carga de resistencia: 5A
	Pulso de tensión: 14VDC, Corriente de salida máx.: 40mA.
	Corriente: DC4 - 20mA (Resistencia de carga: < 600Ω)
	Tensión analógica: 0 - 10V
Tasa de muestreo	Entrada analógica: 0,15 segundo, RTD termopar o platina: 0,4 segundo
Comunicación	Comunicación digital R-485, 2.400 - 38.400 bps
Protocolo de comunicación	Protocolo Modbus, formato ASCII/RTU
Resistencia a la vibración	10 - 55Hz, 10m/s ² por 10 mins en la dirección X, Y, Z
Resistencia a choque	Máx. 300m/s ² , 3 veces en cada uno de los 3 ejes, 6 direcciones
Temperatura ambiente	0 ~ 50°C
Temperatura de almacenaje	-20~ +65°C
Altitud	< 2,000m
Hmedad ambiente	35 - 80 % RH (humedad relativa) (no condensante)

Conexiones.



Configuración del controlador de temperatura.


Este dispositivo va conectado al módulo ModBus, creando una red entre el PLC, módulo y controlador, para realizar esta comunicación es necesario realizar la configuración de los siguientes parámetros.

LED	Parámetros	Función
	J	Asignación del tipo de sensor conectado.
	C	Medición de temperatura (°C,°F).
	on/off	Selección del modo de control a utilizar.
	H2C1	Modos de trabajo Heating (Calentar) y Cooling (Enfriar).
	0	Configuración de alarma 1
	RTU	Selección del formato de comunicación.
	1	Establecer dirección de comunicación ModBus.
	9600	Velocidad de transmisión de datos.
	8	Configuración de los bits de datos.
	None	Configuración del bit de paridad.
	1	Configuración del bit de Stop.

Tabla 35. Parámetros del controlador de temperatura.

Para realizar la configuración del controlador, es necesario presionar el botón por unos segundos, para después poder editar la configuración que viene por defecto y establecer los nuevos parámetros.

Estando en el modo de configuración para poder cambiar entre los parámetros se presiona y para editar los valores se presiona o hasta obtener el valor deseado, una vez realizada la configuración se presiona . Este proceso se debe realizar en cada parámetro que se desea cambiar.

Luego de finalizar la configuración se presiona  , para guardar los nuevos parámetros y regresar a la pantalla principal, dónde se visualiza nuevamente la medición de temperatura.

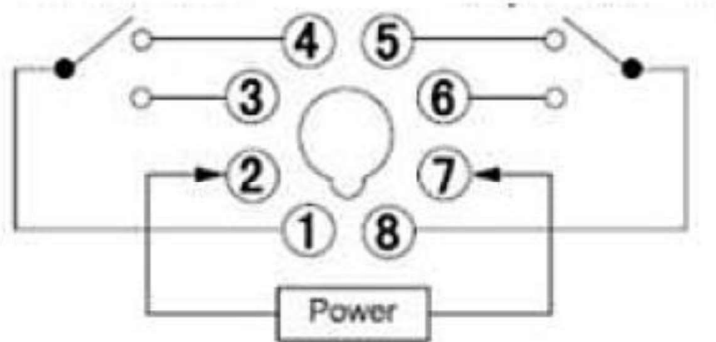
Anexo 6: Sensor de nivel de agua y sensor de temperatura Pt100.



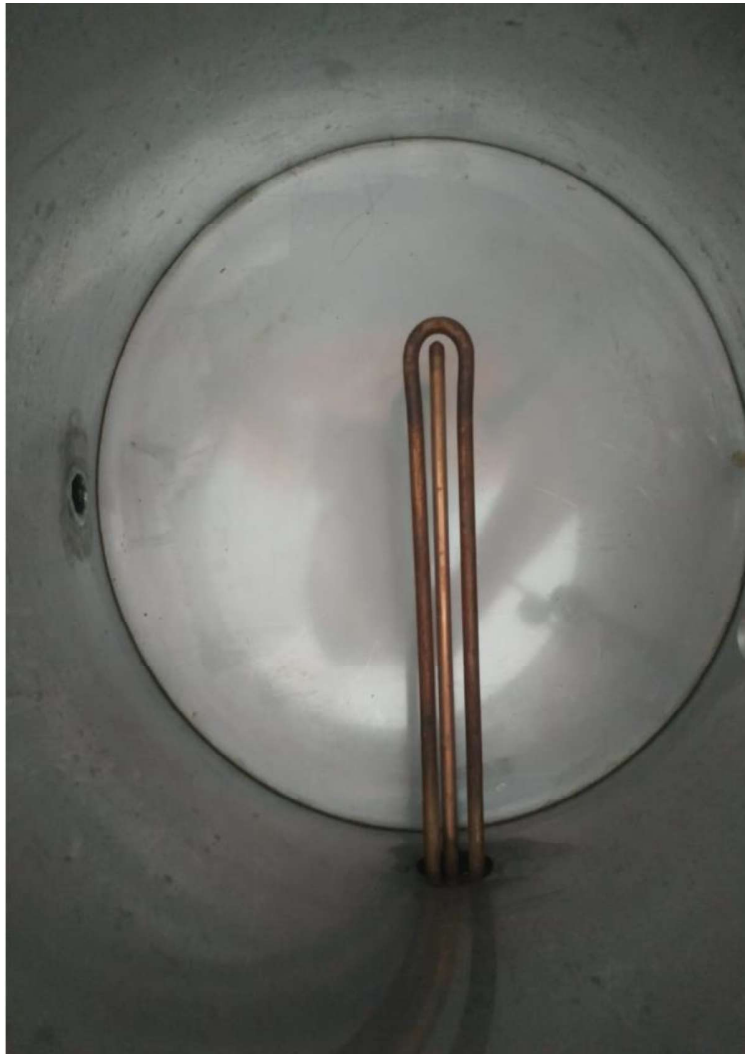
Anexo 7: Bomba magnética MKII y electroválvulas.



Anexo 8: Conexión del contactor eléctrico.



Anexo 9: Resistencia eléctrica.



Anexo 10: Panel de control del sistema.



Anexo 11: Sistema de maceración de la cerveza artesanal.

