UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN:

Propuesta tecnológica, previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

"Sistema de control automático enfocado en el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal"

AUTOR
HECTOR FERNANDO QUIROGA GAONA

PROFESOR TUTOR:
ING. LUIS CHUQUIMARCA JIMÉNEZ MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR
2020

AGRADECIMIENTO

Como estudiante universitario pude notar la bendición de nuestro Dios Todopoderoso por lo que agradezco principalmente a él, agradezco infinitamente la confianza y aliento por parte de mi familia como son mis padres **Fernando Quiroga Mejía y Marlene Gaona Torres**, hermanos y abuelos siendo el pilar fundamental de mi vida ya que me brindaron momentos especiales y únicos a pesar de que no todo el tiempo pude estar presente con ellos, así como el resto de mis familiares que hicieron de esta etapa más liviana.

Agradezco enormemente a la **Universidad Estatal Península de Santa Elena**, pilar fundamental del desarrollo intelectual, moral y ético. A mi maestros y tutor **Ing. Luis Chuquimarca Jiménez** que han sido los pioneros fundamentales de mi formación y educación como profesional, compartiendo sus conocimientos, experiencias, valioso tiempo y paciencia, así como a varios amigos y compañeros de la universidad tales como **Elvis Guzmán, Steven Palma, Joaquín Constante, Jazmín Asencio**, entre otras personas que estuvieron apoyándome en varios momentos de la vida, hoy en día puedo decir que me siento a gusto haber conocido grandes personas en la hermosa provincia de Santa Elena lugar que considero como mi segunda casa.

Hector Fernando Quiroga Gaona

Autor

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi familia en especial a mis padres y hermanos, por estar todo el tiempo pendiente de mi educación y formación en el trascurso de mi vida como universitario, sobre todo a mi madre por brindarme toda su confianza y apoyo sin esperar nada a cambio.

A mis compañeros de aula y amigos cercanos por el apoyo y aliento que me brindaron en el trascurso de mi vida en la Provincia de Santa Elena. A mis abuelos por estar en los buenos y malos momentos, para que pueda seguir adelante y ser una persona de éxito.

Hector Fernando Quiroga Gaona

Autor

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: "**Sistema de control automático enfocado en el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal**", elaborado por el egresado **Quiroga Gaona Hector Fernando,** 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, lo apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad, 06 de marzo del 2020.

Ing. Luis Chuquimarca Jiménez Msc.

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

RESUMEN

Actualmente la producción de cerveza artesanal es cada vez más común en el territorio ecuatoriano, ejecutando su fabricación de manera manual mediante uno o varios operarios, teniendo que usar varias técnicas y recetas como en el caso del proceso de enfriamiento de mosto, debido al control de temperatura en un determinado tiempo, para que el mosto no pierda sabor, produzca hongos o en el peor de los casos echarse a perder. La elaboración de cerveza artesanal en comparación a la industrial tiene menor volumen de producción, debido al alto grado de control en las temperaturas para su elaboración ya que de esto depende la calidad del producto final y sea aceptable al gusto del consumidor.

Este proyecto consta de un sistema de control automático enfocado en el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal, mediante el diseño e implementación de una torre de enfriamiento, encargada de ejecutar el proceso en menor tiempo a la manera manual, desde una interfaz gráfica amigable, manejada en una pantalla HMI Delta DOP-B03E211 que está conectada a un controlador PLC s7-1200, para procesar los datos de temperatura del sensor Pt100 obtenidos del recipiente de mosto por medio del controlador DTB4848, para posteriormente efectuar el intercambio de calor por intermedio del serpentín, activando las electroválvulas y bombas magnéticas, además de tener la opción de regular la frecuencia de un motor trifásico, mediante el variador de frecuencia Sinamics G120, usando protocolos de comunicación seguros y confiables a nivel industrial, para optimizar recursos energéticos en la ventilación del sistema.

Por lo tanto, debido a la automatización del proceso, es factible también la optimización de recursos hídricos como el agua usando un recipiente y efectuando la recirculación del mismo en el proceso de control de temperatura de mosto, hasta que la temperatura sea la adecuada para la colocación de levadura y fermentar, elevando así el nivel de eficiencia del sistema y productividad en la elaboración de cerveza artesanal.

ABSTRACT

Currently, the production of craft beer is increasingly common in the Ecuadorian territory, executing its manufacture manually by one or more operators, having to use various techniques and recipes, as in the case of the wort cooling process, due to the control of temperature in a certain time, so that the must does not lose flavor, produce fungi or in the worst case spoil. The elaboration of craft beer compared to industrial beer has a lower production volume, due to the high degree of control in temperatures for its elaboration, since the quality of the final product depends on it and is acceptable to the consumer's taste.

This project consists of an automatic control system focused on the wort cooling process in the craft brewery, through the design and implementation of a cooling tower, responsible for executing the process in less time manually, from a graphical interface friendly, managed on a Delta DOP-B03E211 HMI screen that is connected to a s7-1200 PLC controller, to process the temperature data from the Pt100 sensor obtained from the must container by means of the DTB4848 controller, to subsequently carry out the heat exchange by coil, activating the solenoid valves and magnetic pumps, in addition to having the option of regulating the frequency of a three-phase motor, using the Sinamics G120 frequency inverter, using safe and reliable communication protocols at an industrial level, to optimize energy resources in the system ventilation.

Therefore, due to the automation of the process, it is also feasible to optimize water resources such as water using a container and recirculating it in the wort temperature control process, until the temperature is adequate for the yeast placement and fermentation, thus raising the level of system efficiency and productivity in craft beer brewing.

DECLARACIÓN

El presente contenido del trabajo de titulación está a mi responsabilidad, el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Quiroga Gaona Hector Fernando

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO ..... **i**
DEDICATORIA ..... **ii**
APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **iii**
TRIBUNAL DE GRADO ..... **iv**
RESUMEN ..... **v**
ABSTRACT ..... **vi**
DECLARACIÓN ..... **vii**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xi**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **xvii**
LISTA DE ANEXOS ..... **xviii**
INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO I **3**
1.1 ANTECEDENTES 3
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 4
1.3 OBJETIVOS 6
1.3.1 OBJETIVO GENERAL 6
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
1.4 RESULTADOS ESPERADOS 6
1.5 JUSTIFICACIÓN 7
1.6 METODOLOGÍA 8

CAPÍTULO II **11**
2.1 MARCO CONTEXTUAL 11
2.2 MARCO CONCEPTUAL 12
2.2.1 MATERIA PRIMA 12
2.2.2 PROCESOS PARA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL 14
2.2.3 PROCESO ESPECIFICO 18
2.2.4 PLANTA CERVECERA 18
2.2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES 19
2.2.6 MODELO DE ENFRIAMIENTO 20

2.2.7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE 21
2.2.8 LENGUAJE ESCALERA 22
2.2.9 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN 22
2.2.10 SENSOR DE TEMPERATURA 23
2.2.11 BOMBA MAGNÉTICA 24
2.2.12 MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO 24
2.2.13 VARIADOR DE FRECUENCIA 25
2.2.14 ELECTROVÁLVULA DE CAUDAL 25
2.2.15 PULSADORES 26
2.2.16 LUCES PILOTO 26
2.2.17 PANEL DE CONTROL INDUSTRIAL 27
2.2.18 CONTROLADOR PID 27
2.2.19 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA 28
2.3 MARCO TEÓRICO 28

CAPÍTULO III 30
3.1 COMPONENTES DE LA PROPUESTA 30
3.1.1 COMPONENTES FÍSICOS 30
3.1.1.1 MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO SIEMENS D80 30
3.1.1.2 SERPENTÍN 31
3.1.1.3 TORRE DE ENFRIAMIENTO 32
3.1.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA PT100 33
3.1.1.5 BOMBA MAGNÉTICA MKII 34
3.1.1.6 VARIADOR DE FRECUENCIA SINAMICS G120 36
3.1.1.7 ELECTROVÁLVULA SOLENOIDE MODELO 2W-160-15 38
3.1.1.8 PANTALLA SERIE HMI MARCA DELTA MODELO DOP-B03E211 40
3.1.1.9 CONTROLADOR DE TEMPERATURA DELTA MODELO DTB4848 41
3.1.1.10 MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS CM 1241 RS485 43
3.1.1.11 MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES MODELO SM1222 44
3.1.1.12 MEDIO DE TRANSMISIÓN 45
3.1.1.13 PLC SIEMENS s7-1200 46

3.1.2 COMPONENTES LÓGICOS 47
3.1.2.1 TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL V.14 47
3.1.2.2 SKETCHUP 47
3.1.2.3 AUTOCAD 48
3.1.2.4 DOPSOFT 48
3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA 49
3.2.1 DIAGRAMA DE RED DE COMUNICACIÓN DEL SISTEMA 49
3.2.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA BASE 49
3.2.3 DISEÑO DEL SERPENTÍN 50
3.2.4 DISEÑO DE LOS RECIPIENTES 51
3.2.5 DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL 54
3.2.6 DISEÑO ELÉCTRICO DEL SISTEMA 56
3.2.7 CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA DTB4848 AL PLC s7-1200 57
3.2.8 CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA SINAMICS G120. 59
3.2.9 CONFIGURACIÓN DEL PLC S7-1200 EN TIA PORTAL 62
3.2.10 DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI 71
3.2.11 ANÁLISIS DE AHORRO EN MATERIA HÍDRICA Y ENERGÉTICA 78
3.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD 80
3.3.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA 80
3.3.2 COSTOS DEL PROYECTO 81
3.4 PRUEBAS Y RESULTADO. 82

CONCLUSIONES 90
RECOMENDACIONES 91
BIBLIOGRAFÍA 92
ANEXOS 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Malta de cebada tostada en diferentes temperaturas. Tomado del sitio web http://www.vvrsaustralia.com.au 12
Figura 2. Conos de lúpulo recién recogidos. Tomado de Rubén Sancho Sauria .. 13
Figura 3. Células de levadura en gemación. Tomado del sitio web http://neofronteras.com/ 14
Figura 4. Procesos para elaboración de cerveza artesanal. Tomado de Montañita Brewing Company. 14
Figura 5. Maceración de mosto para elaboración de cerveza artesanal. Tomado del sitio web cervezas.info 15
Figura 6. Proceso de cocción de mosto. Tomado del sitio web cervezas.info 16
Figura 7. Fermentación y maduración del mosto. Tomado del sitio web cervezas.info..... 17
Figura 8. Embotellamiento de cerveza artesanal. Tomado del sitio web cervezas.info..... 17
Figura 9. Planta cervecera con todos los depósitos de acero inoxidable. Tomado del sitio web http://edgebrewing.com/ 19
Figura 10. Enfriamiento de mosto por baño de hielo. 20
Figura 11. Enfriamiento de mosto por inmersión. 21
Figura 12. Enfriamiento de mosto por intercambiador de calor por placa. Tomado de TresJotasBeerClub..... 21
Figura 13. Descripción lógica Ladder 22
Figura 14. Partes de la bomba centrifuga de accionamiento magnético. Tomado de IWAKI AMERICA 24
Figura 15. SINAMICS G120C con BOP-2. Tomado del sitio web mall.industry.siemens.com..... 25
Figura 16. Normalmente Cerrada (N.C.). Tomado del sitio web www.ode.it 26
Figura 17. Normalmente Abierta (N.A.). Tomado del sitio web www.ode.it..... 26
Figura 18. Pulsador 24V DC. Tomado de ADVSA Industrial Supplier 26
Figura 19. Piloto luminoso (Verde). Tomado de Schneíder Electric 27
Figura 20. Panel de control. Tomado de Ingeniería Mecafenix 27
Figura 21. Motor eléctrico trifásico siemens D80. 31

Figura 22. Serpentín por contracorriente de cobre 32
Figura 23. Torre de enfriamiento de tiro inducido 32
Figura 24. Sensor termopar Pt100 de tres hilos. Tomado del sitio web www.electrocrea.com 33
Figura 25. Bomba magnética marca Keg-King MKII. 35
Figura 26. Variador de frecuencia Sinamics G120 36
Figura 27. Módulo de potencia del variador de frecuencia Sinamics G120 36
Figura 28. Unidad de control del variador de frecuencia Sinamics G120 37
Figura 29. Panel operador del variador de frecuencia Sinamics G120 38
Figura 30. Electroválvula solenoide Bacoeng 2w-160-15. 39
Figura 31. Pantalla HMI Delta DOP-B03E211 41
Figura 32. Controlador de temperatura Delta DTB4848 43
Figura 33. Módulo de comunicación ModBus CM1241 RS485 43
Figura 34. Módulo de salidas digitales modelo SM 1222 44
Figura 35. Categorías del cable de par trenzado UTP 45
Figura 36. Switch (Conector HMI o PLC) 45
Figura 37. Controlador Lógico Programable S7-1200. 46
Figura 38. Software Totally Integrated Automation PORTAL V14 47
Figura 39. Entorno SketchUp pro 2020 47
Figura 40. AUTODESK AutoCAD 2019. 48
Figura 41. Software DOPSoft para interfaz máquina-humano versión 2.00.05 ... 48
Figura 42. Diagrama de red de comunicación del sistema. 49
Figura 43. Diseño estructural de la base con sus medidas acotadas para el sistema de enfriamiento de mosto. Elaborado por el autor 50
Figura 44. Diseño estructural de la base para el sistema de enfriamiento de mosto. Elaborado por el autor 50
Figura 45. Diseño del serpentín. 51
Figura 46. Diseño del recipiente de agua para el sistema. 51
Figura 47. Diseño del recipiente de mosto para el sistema. 51
Figura 48. Diseño de tubería y bombas del sistema. 52
Figura 49. Diseño del sistema de tubería para el sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal. 53

Figura 50. Rack con equipamiento electrónico: PLC s7-1200, módulo de comunicación ModBus CM1241 RS485, módulo de salidas digitales SM 1222, pantalla HMI, luces indicadoras, botones. Elaborado por el autor 54
Figura 51. Diseño de panel de control: Pantalla HMI, botones y luces piloto para el control, y encendido/apagado del sistema. Elaborado por el autor..... 54
Figura 52. Diseño de panel de control: cable flexible, breques, canaletas, rieles, borneras, y luces piloto para el control del sistema. Elaborado por el autor..... 55
Figura 53. Diseño de panel de control: Rieles, PLC s7-1200, módulo de comunicación ModBus CM1241 RS485, dos módulos de salidas digitales SM 1222, breques, cable utp y cable flexible. Elaborado por el autor 55
Figura 54. Diseño del panel de control para el variador de frecuencia Sinamics G120. Elaborado por el autor..... 55
Figura 55. Diseño del variador de frecuencia Sinamics G120. 56
Figura 56. Caja de control para el sistema de enfriamiento de mosto. 56
Figura 57. Esquema eléctrico: PLC s7-1200 + Modulo de comunicación CM1241 RS422/485 + 2 Módulos de salidas digitales SM1222. Elaborado por el autor ... 57
Figura 58. Esquema eléctrico del sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto de la cervecería artesanal. Elaborado por el autor..... 57
Figura 59. Conexiones del controlador de temperatura Delta DTB4848..... 58
Figura 60. Asignación de dirección IP al módulo variador de frecuencia Sinamics G120..... 59
Figura 61. Asignación de nombre al módulo variador de frecuencia Sinamics G120. 59
Figura 62. Selección del variador de frecuencia Sinamics G120 CU250S-2 PN Vector V4.7..... 60
Figura 63. Comunicación Profinet del variador de frecuencia Sinamics G120 con el autómata PLC s7-1200..... 60
Figura 64. Selección del Telegrama estándar 1, PZD-2/2 del Sinamics G120. 60
Figura 65. Asignación de dirección IP al PLC s7-1200. Elaborado por el autor.. 62
Figura 66. Habilitar opción PUT/GET en la configuración del PLC s7-1200..... 62
Figura 67. Declaración de variables del sistema en el Software TIA PORTAL V14..... 63

Figura 68. Diagrama de flujo del proceso de enfriamiento de mosto. 63
Figura 69. Habilitación del módulo ModBus en el software TIA PORTAL V14 64
Figura 70. Configuración de parámetros de escritura en el controlador de temperatura DTB4848 en el software TIA PORTAL V14 65
Figura 71. Programación en lenguaje escalera para el encendido del sistema..... 66
Figura 72. Programación en lenguaje escalera para el apagado del sistema..... 67
Figura 73. Control de llenado del recipiente de mosto 67
Figura 74. Programación de control de circulación y recirculación de mosto..... 68
Figura 75. Programación para el inicio de la primera receta del sistema..... 68
Figura 76. Programación para el inicio de la segunda receta del sistema 68
Figura 77. Programación para el inicio de la tercera receta del sistema 69
Figura 78. Diagrama lógico del encendido y apagado del motor eléctrico trifásico Siemens D80. Elaborado por el autor 69
Figura 79. Programación de encendido y apagado del motor trifásico Siemens D80 para el sistema de ventilación 70
Figura 81. Diagrama lógico del ingreso de velocidad del motor eléctrico trifásico D80. Elaborado por el autor..... 70
Figura 82. Programación para la conversión de rpm y hz del motor en el control PID Autotuning. Elaborado por el autor 71
Figura 83. Ingreso de dirección IP y mascara de subred en la pantalla HMI DOP-B03E211. Elaborado por el autor..... 71
Figura 84. Inicio del software DOPSoft y selección de la pantalla HMI serie DOP-B03E211..... 72
Figura 85. Selección de puerto e interface para comunicación entre la pantalla Delta DOP-B03E211 y el PLC s7-1200. Elaborado por el autor 72
Figura 86. Cuadro de programación de una pantalla Delta DOP-B03E211 en el software DOPSoft v2.00.05. Elaborado por el autor 72
Figura 87. Diagrama de bloques del sistema acuerdo al diseño de la interfaz HMI. Elaborado por el autor..... 73
Figura 88. Pantalla de ingreso al sistema. 74
Figura 89. Pantalla de recetas. Elaborado por el autor..... 74

Figura 90. Pantalla de la primera receta para el proceso de enfriado de mosto en la elaboración de cerveza artesanal 74
Figura 91. Pantalla de temperatura establecida en la receta "CERVEZA DE VERANO (Castle Malting)" 75
Figura 92. Pantalla de la segunda receta para enfriado de mosto en la elaboración de cerveza artesanal 75
Figura 93. Pantalla de temperatura establecida en la receta "CERVEZA ALE ÁMBAR" 75
Figura 94. Pantalla de la tercera receta para enfriado de mosto en la elaboración de cerveza artesanal 76
Figura 95. Pantalla de temperatura establecida en la receta "CERVEZA STOUT (NEGRA)" 76
Figura 96. Pantalla de inicio del proceso de enfriado de mosto de la receta seleccionada 77
Figura 97. Teclado numérico para agregar un valor de velocidad al motor 77
Figura 98. Pantalla de gráfica de tendencias e históricos de las temperaturas de las recetas 77
Figura 99. Asignación de dirección IP en la red Ethernet de la PC. 83
Figura 100. Ping 192.168.0.9, PC. 83
Figura 101. Ping 192.168.0.1, PLC s7-1200. 84
Figura 102. Ping 192.168.0.3, Pantalla HMI. 84
Figura 103. Ping 192.168.0.13, Variador de frecuencia Sinamics G120. Elaborado por el autor 84
Figura 104. Prueba de encendido de electroválvulas y bombas magnéticas en el software TIA PORTAL V14 85
Figura 105. Señal digital receptada en el Software TIA PORTAL V14 85
Figura 106. Temperatura del mosto de la receta CERVEZA DE VERANO (Sensor Pt100 vs Termómetro) 86
Figura 107. Ingreso de contraseña para acceso al sistema 87
Figura 108. Acceso a las recetas del sistema 87
Figura 109. Prueba de enfriado de mosto para la receta CERVEZA ALE ÁMBAR 87

Figura 110. Mensaje para AGREGAR LEVADURA de la receta CERVEZA ALE ÁMBAR 87
Figura 111. Gráfica de tendencia e historia del sistema de enfriamiento de mosto de la receta CERVEZA ALE ÁMBAR 88
Figura 112. Gráfica de tendencia e historia del sistema de enfriamiento de mosto de la receta CERVEZA DE VERANO 88
Figura 113. Gráfica de tendencia e historia del sistema de enfriamiento de mosto de la receta CERVEZA STOUT (NEGRA) 88
Figura 114. Ingreso de velocidad al motor mediante el teclado 89
Figura 115. Control de velocidad mediante el variador de frecuencia 89
Figura 116. Funcionamiento del control PID autotuning para el sistema de ventilación en el software TIA PORTAL V14 89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de motores eléctricos trifásicos de la marca Siemens. Elaborado por el autor 30
Tabla 2. Datos técnicos del motor eléctrico trifásico D80. 31
Tabla 3. Comparación de tipos de sensores de temperatura. 33
Tabla 4. Datos técnicos del sensor de temperatura termopar Pt100 34
Tabla 5. Comparación de bombas magnéticas. 34
Tabla 6. Datos técnicos de la bomba magnética Keg-King MKII 35
Tabla 7. Datos técnicos del módulo de potencia del variador de frecuencia Sinamics G120 37
Tabla 8. Datos técnicos de la unidad de control del variador de frecuencia Sinamics G120 37
Tabla 9. Comparación de electroválvulas solenoide de caudal. 38
Tabla 10. Datos técnicos de la electroválvula solenoide Bacoeng 2w-160-15. Elaborado por el autor 39
Tabla 11. Comparación de pantallas HMI para la interfaz gráfica. 40
Tabla 12. Datos técnicos de la pantalla HMI Delta DOP-B03E211 41
Tabla 13. Comparación de controladores de temperatura. 42
Tabla 14. Datos técnicos del módulo de comunicación ModBus CM 1241 RS485 44
Tabla 15. Datos técnicos del módulo de salidas digitales modelo SM 1222 45
Tabla 16. Datos técnicos del PLC s7-1200 46
Tabla 17. Configuración de conexiones para transmisión de datos para el protocolo RS485 (Controlador de temperatura – PLC). Elaborado por el autor 58
Tabla 18. Conexión y configuración para transmisión de datos protocolo RS485 (Variador de frecuencia – PLC). Elaborado por el autor 58
Tabla 19. Configuración – Telegrama Estándar 1. Manual Sinamics G120 61
Tabla 20. Parámetros de configuración del bloque "MB_COMM_LOAD". Elaborado por el autor 64
Tabla 21. Configuración de parámetros de escritura del controlador DTB4848 mediante el bloque "MB_MASTER_DB". Elaborado por el autor 65
Tabla 22. Configuración de parámetros para leer datos de temperatura en el reservorio de mosto. Elaborado por el autor 66
Tabla 23. Valores de Corriente del motor eléctrico trifásico Siemens D80 referente al voltaje de alimentación. Elaborado por el autor 79
Tabla 24. Costos de equipos. Elaborado por el autor 81
Tabla 25. Costos de estructura. Elaborado por el autor 82
Tabla 26. Costo final del sistema. Elaborado por el autor 82
Tabla 27. Direcciones IP de la red del sistema 83
Tabla 28. Comparación de temperaturas de la receta CERVEZA DE VERANO (sensor Pt100 vs termómetro). Elaborado por el autor 86

LISTA DE ANEXOS

Anexos 1: Diseño e implementación del sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto encaminado en la cervecería artesanal.

Anexos 2: Datasheet del PLC s7-1200 CPU 1212C AC/DC/Relay.

Anexos 3: Datasheet del Módulo de comunicación CM1241 RS422/485.

Anexos 4: Datasheet del Módulo de salidas digitales SM1222.

Anexos 5: Datasheet de la Pantalla HMI DOP-B03E211.

Anexos 6: Configuración del Controlador de temperatura DTB4848.

Anexos 7: Fotos.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo principal el enfriamiento de mosto enfocado en la cervecería artesanal de manera automática, realizando este proceso mediante el diseño e implementación de un sistema automatizado, que es monitoreado y controlado por dispositivos industriales. En este proceso de elaboración de cerveza artesanal se debe tomar en cuenta sus parámetros establecidos debido a que afectan a la calidad, aroma y sabor del producto final por motivo que el proceso abarca un agregado de levadura para su fermentación y maduración, siendo necesario enfriar el mosto en un menor tiempo posible para evitar oxidación de la bebida, se considera este uno de los subprocesos más importantes en la elaboración de cerveza artesanal.

El primer capítulo contiene las generalidades del proyecto con respecto a las necesidades y viabilidad para realizar el diseño e implementación de un sistema de control automatizado enfocado en el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal, detallando los antecedentes de la elaboración de esta bebida y así obtener información relevante y datos técnicos de dispositivos industriales para el monitoreo y control del sistema automático e interacción máquina-persona. Este capítulo contiene el planteamiento de los objetivos a perseguir para el correcto funcionamiento del proceso de enfriado de mosto y su respectiva justificación.

El segundo capítulo presentará el desarrollo de la propuesta detallando fundamentos teóricos especificados en marco contextual, marco conceptual, y marco teórico, enmarcando o delimitando el ambiente físico dentro del cual se podría desarrollar el sistema automatizado enfocado en la cervecería artesanal, brindando las características particulares que se consideren apropiadas mediante conceptos básicos de todos los elementos que intervienen en el proceso de enfriamiento de mosto para el monitoreo y control del sistema, a través de publicaciones, libros, tesis, revistas, sitios web de varios autores para enmarcar la investigación e interpretar el resultado final y las conclusiones que se alcanzan.

En el tercer capítulo se analizan y se detallan las fases del desarrollo de la propuesta tecnológica planteada, desde la selección de componentes físicos es decir los elementos electrónicos que se ocuparan para la elaboración del sistema de enfriamiento de mosto, detallando las especificaciones técnicas o características de dichos dispositivos, además de cuadros comparativos de modelos y marcas, hasta la selección de componentes lógicos como programas o aplicaciones industriales, para tener el control automático de cada uno de los elementos electrónicos que se usaran por el sistema creado mediante una interfaz gráfica amigable.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL SISTEMA

1.1 ANTECEDENTES

La cerveza es una de las bebidas más antiguas del mundo, según historiadores se ha llevado a cabo desde el año 10000 a.C. en los países nórdicos ahora conocidos como Inglaterra y Alemania debido a que la materia prima, la cebada, se da mejor en climas fríos, su elaboración es a partir de cuatro ingredientes fundamentales como son: malta de cebada, lúpulo, levadura y agua. Esta bebida sigue siendo popular ya que existen varias técnicas de fabricación e ingredientes usados, y es considerada como fuente de alimento por contener proteínas e hidratos de carbono [1].

Actualmente las cervezas elaboradas artesanalmente están ganando mercado frente a la de grandes industrias, nuestro país Ecuador, no ha sido la excepción en el consumo y elaboración de esta bebida. En el mercado existen dos grandes compañías cerveceras como lo son: Ambev y Cervecería Nacional quienes actualmente cuentan con tecnología moderna con altos estándares de calidad, pero en el país existen quienes se dedican a la elaboración de manera manual con ollas de acero sin tener la necesidad de utilizar productos diferentes del agua, lúpulo, levadura y el cereal para hacer la malta. La cerveza artesanal tiene la aprobación por parte del consumidor, entre los productores artesanales podemos mencionar: Destilería y Cervecería Bonanza, Montañita Brewing Company, entre otras [2].

Para la elaboración de la cerveza existen cinco procesos importantes los cuales son:

1. Preparación de agua,
2. Maceración,
3. Cocción,
4. Enfriamiento y
5. Fermentación.

Esta propuesta estará centrada en el proceso de enfriamiento, etapa de gran importancia ya que de esto dependerá la calidad del producto final, en este proceso

de la producción de la cerveza, la temperatura debe disminuir lo más pronto posible de los 70°C, 80°C, 85°C a una temperatura de entre 18°C, 25°C a 28°C que es apto para la colocación de levadura y fermentación del mosto, situación que no se ha logrado conseguir de forma manual, sumergiendo la olla en agua fría tardando alrededor de 30 minutos cada 7 u 8 litros de mosto, provocando turbiedad en la cerveza, mal olor y mal sabor, en comparación a la elaboración de cerveza de marcas reconocidas [3].

Existen técnicas para el enfriamiento de mosto enfocado en la cervecería artesanal usando equipos electrónicos e industriales para el enfriado de esta bebida, como el enfriador por placas el cual intercambia el calor entre fluidos o también por inmersión donde se utiliza una bomba y un serpentín de cobre, pero en este sistema de enfriamiento, el serpentín de cobre debe estar sumergido en el mosto los últimos 10 minutos de hervor, y la manera más común que es por un baño helado, en la cual se sumerge la olla con el mosto en un recipiente de agua con hielo por varias horas y cambiando de agua repetidas veces hasta reducir la temperatura y finalmente colocar la levadura en el mosto, teniendo como resultado final una gran pérdida de agua [4].

Este sistema de enfriamiento de mosto automatizado es sustancial para el cervecero artesanal debido a la tecnología moderna aplicable en el campo industrial, ya que al implementar esta solución técnica a una industria de cervecería artesanal no solo tendrá beneficios a su vez conseguirán innovar su producto con un mejor índice de calidad [5].

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto tecnológico consiste en la elaboración del diseño e implementación de un sistema automatizado, para monitorear y controlar con dispositivos industriales del proceso de enfriamiento de mosto en la elaboración de la cerveza artesanal con el propósito de mejorar la productividad y eficiencia de la empresa o planta cervecera

La estructura de la torre de enfriamiento está construida de acero inoxidable que está recubierto en su interior con espuma de poliuretano, un motor eléctrico trifásico usado como ventilador extractor ubicado en la parte superior, para la eliminación del vapor de agua producido por el sistema de enfriamiento, además en el interior de la torre está el serpentín de cobre por contracorriente con un sistema de tubería para colocar mangueras y conectar a los recipientes.

El sistema para el proceso de enfriamiento de mosto cuenta con dos bombas, que están encargadas de la recirculación de mosto y de agua, tres electroválvulas que sirven de control para abrir y cerrar la circulación de los fluidos. El proceso cuenta también con un tanque reservorio para el agua que después de un periodo de tiempo de haberse usado puede volver a reutilizarse y un tanque reservorio para el mosto, que sirve como proceso final para comprobar la temperatura mediante un sensor.

El sistema utiliza dispositivos electrónicos industriales como PLC s7-1200 usando protocolos de comunicación Profinet y ModBus para el control, monitoreo y respuesta de los diferentes componentes físicos del proceso, una pantalla HMI DOP-B03E211 para la interacción máquina-hombre y visualización de la interfaz gráfica, un variador de frecuencia Sinamics G120 para el encendido y apagado del motor eléctrico trifásico, un sensor Pt100 conectado con un controlador de temperatura DTB4848 para la lectura de datos de temperatura del recipiente de mosto, luces pilotos para el encendido y apagado del sistema, y adicional a esto se le implemento una red para la comunicación con el PLC s7-1200. Se ubicó un panel de control para el variador de frecuencia y los diferentes dispositivos industriales, botones de encendido/apagado para el funcionamiento del sistema, y una caja de control.

Se efectuó las respectivas pruebas físicas fabricando 50 litros de cerveza artesanal mediante el sistema de control automático para obtener los datos del proceso de enfriamiento de mosto mediante la lectura y control de la temperatura del mosto, usando la pantalla HMI para la interacción con el controlador lógico programable (PLC s7-1200).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de control automatizado para el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal, mediante dispositivos electrónicos industriales, que permitan controlar la temperatura y optimizar recursos hídricos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar una red industrial para la interconexión del sistema de control, con el variador de frecuencia, los actuadores, la interfaz HMI y el sensor de temperatura.
- Desarrollar una interfaz gráfica en la pantalla HMI, mediante un software permitiendo el control y monitoreo del proceso de enfriamiento de mosto.
- Determinar los dispositivos de control del sistema automatizado, que permitan la conexión de un sensor para monitorear la temperatura del enfriador de mosto.
- Desarrollar un sistema de control para el arranque, estabilización y control del motor para el enfriamiento del mosto.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

- Implementar una estructura resistente para que todos los dispositivos estén perfectamente ubicados, conectados y además puedan dar la seguridad que se espera en el proceso de enfriamiento de mosto para la elaboración de cerveza artesanal.

- Realizar el enfriamiento de mosto mediante un sistema confiable desde una interfaz gráfica amigable para la elaboración de cerveza artesanal con tiempos y temperaturas controladas automáticamente para así conseguir los distintos tipos de recetas de cerveza artesanal.

- Conseguir el monitoreo y control automático usando equipos y protocolos de comunicación seguros y confiables a nivel industrial, para

las distintas recetas de cerveza artesanal en un intervalo de tiempo menor al enfriado manual evitando la oxidación de la bebida y asegurando un buen índice de calidad como resultado final al agregar la levadura y fermentar él mosto.

- Un sistema con su respectiva configuración mediante un diagrama de red de comunicación Profinet para el arranque, control y estabilización de un motor trifásico desde el controlador PLC s7-1200, para cumplir las diferentes tareas del control de temperatura del sistema en la elaboración de cerveza artesanal.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Hoy en día existen micro emprendimientos de producción de cerveza artesanal, pero no cuentan con un control en cada uno de sus procesos, tal es el caso del proceso de enfriamiento de mosto en la que se necesita controlar la temperatura del mosto en menos de 30 minutos para una producción de 50 litros y lograr la reducción de componentes que producen turbidez en la bebida y además la eliminación de gérmenes que son lo que le dan mal sabor y olor a la cerveza. Esta propuesta dirigida a la industria artesanal, tiene como propósito orientar a las empresas de producción cervecera, hacia el uso tecnologías aplicadas al incremento de la productividad, diseñar e implementar este nuevo proceso a la instrumentación de elaboración cervecera del Ecuador, es importante e impulsa los pertinentes objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 del país [6].

La implementación de tecnología moderna es un factor clave para incrementar la productividad y eficacia en la producción de cerveza artesanal, ya que como se mencionó anteriormente la cerveza artesanal cuenta con un mercado en constante crecimiento, sustituyendo en algunos sectores a las cervezas de marcas reconocidas, a fin de dar una respuesta eficiente a los incrementos de producción, disminuyendo los costos y aumentando la calidad, las características del proceso y la importancia de mantener bajas temperaturas para la fermentación y conservación del producto, se evalúan las variables de proceso que influyen en la eficiencia del sistema, así

pudiendo adoptar medidas para mejorar su funcionamiento y aprovechar al máximo la capacidad instalada.

El proyecto tecnológico se centra en la automatización del proceso de enfriamiento de mosto, donde el usuario pueda interactuar con el sistema, y así monitorear y controlar la temperatura requerida de la receta desde una pantalla HMI para agregar la levadura y pasar al siguiente proceso de fermentación y maduración, proceso que es importante para la fermentación alcohólica en la elaboración de la cerveza artesanal.

Este sistema consiste de un monitoreo y control de temperaturas mediante equipos industriales conectados a un PLC s7-1200 para efectuar las distintas tareas en la elaboración de cerveza artesanal, usando un sensor y actuadores para el flujo de líquidos, permitiendo la transferencia de calor entre un fluido caliente y uno frío. Usando un recipiente plástico lleno de agua con hielo (aproximadamente 6 °C o menor de temperatura) este recurso hídrico se vuelve reutilizable después de un periodo de tiempo, la magnitud de la transferencia de calor es un elemento clave en el diseño de sistemas, y su incremento es altamente recomendable en determinadas situaciones [7].

1.6 METODOLOGÍA

Para el diseño e implementación del sistema de enfriamiento de mosto en la producción de cerveza artesanal se siguió la siguiente metodología:

- **INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA**

Se analizaron fuentes confiables, tales como: tesis, documentos, artículos científicos, páginas oficiales en internet y revistas con opiniones de expertos para extraer conceptos fundamentales para la implementación del sistema de enfriamiento de mosto y obtener los resultados de temperatura requerido para llevar a fermentar el mosto de manera que la cerveza no pierda el olor, sabor y calidad final.

- **INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

Se realizaron pruebas básicas con los equipos y dispositivos implementados ya instalados en el sistema de enfriamiento de mosto diseñado, para identificar los problemas, así como la evaluación de respuesta a la programación y configuración, para modificar errores.

- **INVESTIGACIÓN DIAGNÓSTICA**

Se evalúan los dispositivos y equipos industriales del sistema, sus respuestas y funcionamiento, diagnosticando errores los cuales son corregidos hasta comprobar su correcto funcionamiento mediante el monitoreo y control de temperatura del proceso de enfriamiento de mosto para la cervecería artesanal, logrando optimizar el sistema y aumentando su confiabilidad y calidad.

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

Fase 1

Primeramente, es necesario realizar una investigación del proceso mediante el levantamiento de información, requerimientos en software y hardware, comparación y selección de cada dispositivo, de tal manera que pueda reconocer las necesidades del sistema y proponer una solución tecnológica que ayude al usuario a tener un control autónomo del proceso.

Fase 2

En el diseño e implementación del sistema automatizado, se tomó como base los conocimientos adquiridos de manera teórica y práctica durante la formación académica para; la selección de los materiales y componentes tecnológicos, se realizaron visitas técnicas y un profundo análisis del proceso artesanal para el enfriamiento de mosto.

Fase 3

Los componentes físicos y lógicos analizados y seleccionados para la implementación del sistema autónomo se complementan para cumplir el

enfriamiento de mosto, reconociendo los requerimientos en hardware y software que permiten alcanzar los objetivos planteados, y así satisfacer las necesidades del usuario.

Con la implementación del sistema de enfriamiento de mosto, se realiza la interfaz gráfica de monitoreo de temperatura en la pantalla HMI, usando una comunicación segura y confiable entre el PLC y la pantalla DELTA.

Fase 4

En esta última fase de la propuesta tecnológica se ejecutan las pruebas físicas y evaluaciones pertinentes para las respectivas correcciones del sistema automatizado encargado del enfriamiento de mosto, además de comparar los resultados logrados con los objetivos planteados durante el desarrollo del proyecto, y ofrecer información precisa sobre el funcionamiento del sistema en la elaboración de cerveza artesanal.

CAPÍTULO II

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

2.1 MARCO CONTEXTUAL

La propagación de cerveza artesanal a nivel nacional ha aumentado de manera gradual, hoy en día existen varias técnicas y recetas para la elaboración de esta refrescante bebida desde el hogar, su nivel de producción es baja a comparación de marcas reconocidas, porque se necesita la máxima atención a cada detalle al momento de elaborarla, ya que el maestro cervecero debe asegurar un producto de calidad sin tener pérdidas, este proyecto de titulación contribuye al sector productivo ya que cuenta con mejoras tecnológicas que aporten a microempresas para incrementar la producción, disminuir costos operacionales e innovar nuevas recetas, por lo cual el interés en la producción de cerveza artesanal seria cada vez mayor, a nivel nacional existe 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 [8].

Este trabajo se enfoca de manera específica en el proceso de enfriamiento de mosto, proceso que se efectúa de forma manual debido que su principal desventaja es estar controlando la temperatura usando cualquier tipo de termómetro para finalmente colocar la levadura y fermentar, entre las técnicas de enfriado de mosto, la más común es por un baño de agua fría o también llamado baño maría la cual consiste en sumergir la olla con el mosto caliente por varios minutos, existe también el método de enfriado de mosto semiautomático por placas de contracorriente, este sistema consiste en un intercambio de calor, de manera que el agua y el mosto nunca se tocan, pero llegan a ser eficientes para la producción de cerveza artesanal.

La implementación del sistema de control automático permite el enfriamiento de mosto a través de un prototipo conectado con dispositivos altamente industriales encargados de monitorear y controlar tiempos y temperaturas del mosto. Además, se efectúa el monitoreo y la gestión de datos del proceso en tiempo real desde una interfaz gráfica amigable con el usuario.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se determinan los conceptos de materia prima, procesos, equipos y dispositivos para efectuar el sistema de control automático en el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal.

2.2.1 MATERIA PRIMA

Para la elaboración de cerveza artesanal se necesitan ingredientes como: el agua, la malta de cebada, el lúpulo y la levadura. Se pueden adjuntar algunos cereales para dar textura y sabores, así como otros ingredientes que se quieran añadir en el proceso de elaborar esta bebida. A continuación, mencionare los ingredientes que se utilizan para la elaboración de cerveza artesanal con su respectivo concepto:

Agua

El agua forma parte de los ingredientes importantes, su pureza y pH tiene una gran influencia sobre la calidad de la cerveza, sola una parte de la cantidad de agua es usada directamente en la cerveza, el consumo de agua fresca en las fábricas de cerveza varia en promedio entre 4 y 6 hl/hl de cerveza lista para la venta, utilizando aproximadamente 1.8 y 2.2 hl/hl de mosto de cerveza en la sala de cocción [9].

Cebada

La cebada es un grano que está formado por envolturas, el endospermo y el germen, antes de utilizarse debe estar malteada, ya que de esta forma el almidón que no puede ser metabolizado por la levadura, es reducido a carbohidratos que pueden ser metabolizados, la cebada tiene compuesto vitamínicos, como vitamina b, la biotina y el nositol, estos se encuentran en el germen y la aleurona [9]. (Ver Figura 1)

Figura 1. Malta de cebada tostada en diferentes temperaturas. Tomado del sitio web http://www.vvrsaustralia.com.au

Adjuntos

Industrias cerveceras utilizan cantidades grandes de adjuntos sin maltear así como el maíz y arroz con el fin de abaratar costes de fabricación, para cerveceros artesanos lo más importante son las cualidades que cada ingrediente contribuye al producto final, los adjuntos que se colocan son fuentes de almidón o azucares simples, los cereales usados en la elaboración de cerveza artesanal son la avena, el trigo y el centeno, el porcentaje máximo de estos adjuntos sin maltear no deben superar el veinte por ciento del peso total de los cereales usados en la receta [9].

Lúpulo

El lúpulo (Humulus lupulus L.) es una planta trepadora, dioica, perenne, perteneciente al grupo de las urticáceas como se muestra en la Figura 2, para la fabricación de cerveza se usan las inflorescencias de las plantas femeninas [9].

Las flores femeninas de lúpulo conforman la estructura del cono de lúpulo y se definen de la siguiente manera:

- Brácteas: Son hojas de color verde amarillentas ovales, las brácteas están ordenadas de manera que forman un cono.
- Raquis: Eje en forma de zigzag
- Lupulina: Esto es un polvo pegajoso, amarillo ubicado entre el raquis y las brácteas.

Figura 2. Conos de lúpulo recién recogidos. Tomado de Rubén Sancho Sauria

Levadura

En la fabricación de cerveza el azúcar del mosto es fermentado por la levadura y CO2, la levadura tiene una gran influencia sobre el carácter y sabor de la cerveza

debido a su metabolismo. La levadura son hongos unicelulares que se reproducen por gemación (ver Figura 3), esta es capaz de cubrir su demanda de energía en presencia de oxígeno a lo que podemos llamar “aerobio” por respiración y en ausencia de oxígeno se conoce como “anaerobio” el cual es por fermentación [9].

Figura 3. Células de levadura en gemación. Tomado del sitio web http://neofronteras.com/

2.2.2 PROCESOS PARA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

En la elaboración de cerveza artesanal los ingredientes primordiales son: agua, cebada, malteada, lúpulo y levadura, y sus procesos de elaboración son: Preparación de agua, Maceración, Cocción, Enfriamiento, Fermentación y Envasado. (Ver Figura 4)

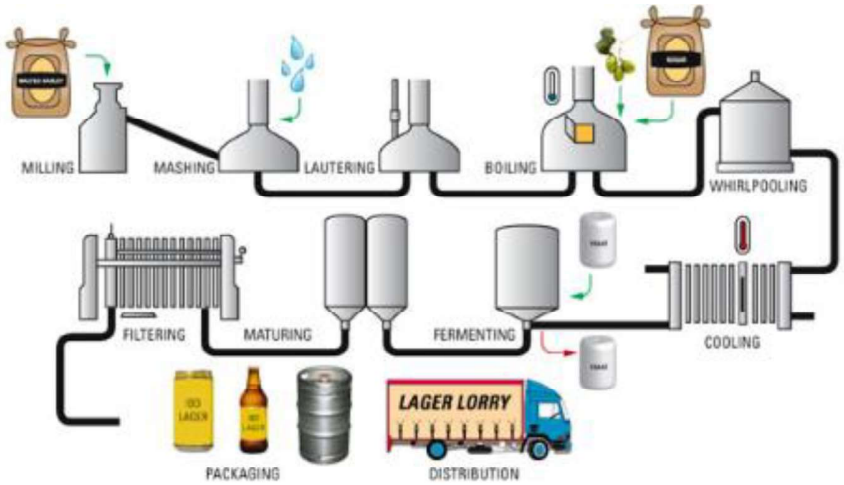


Figura 4. Procesos para elaboración de cerveza artesanal. Tomado de Montañita Brewing Company.

A continuación, se muestran los procesos y sus definiciones, para la elaboración de cerveza artesanal:

Preparación de agua

En este proceso el agua utilizada es muy importante, ya que debe tener el pH adecuado para elaborar el mosto, primeramente, el agua necesita ser tratada por medio de filtros que servirán especialmente para eliminar el cloro y compuestos orgánicos, el agua no puede tener carencias en calcio puesto que es esencial para que la levadura pueda llevar a cabo una fermentación, y adicionarla posteriormente a la maceración del mosto con una temperatura aproximada de 70°C a 80°C.

Maceración

La maceración es uno de los procesos más sustanciales dentro de la elaboración de cerveza artesanal, aquí el agua y la molienda se mesclan entre si (macerados), en este proceso una pequeña parte de los componentes de la molienda son solubles, y es necesario que las sustancias insolubles de la molienda sean transformadas en sustancias solubles durante el proceso de maceración [9].

A estas sustancias que entran en solución se las conoce como extracto, es muy importante conseguir mayor cantidad de extracto durante la maceración, para la obtención de azucares, estas deben actuar con temperaturas optimas entre 62°C a 68°C, dependiendo la receta a elaborar, por lo general este proceso dura entre 60 a 90 minutos. (Ver Figura 5).

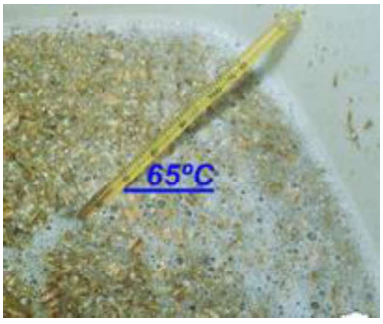


Figura 5. Maceración de mosto para elaboración de cerveza artesanal. Tomado del sitio web cervezas.info

Cocción

El mosto que se obtiene de la maceración pasa a la cocción, proceso que se efectúa a temperaturas superiores a 85°C, esto dura alrededor de 90 minutos, tiempo para

la colocación de los lúpulos. A medida que el lúpulo hierve este le transfiera componentes amargos y aromáticos, mientras que a menor tiempo en hervor mayor es el sabor y aroma que pertenece en el mosto. A medida que el mosto se aproxima al punto de ebullición, se va creando una capa espesa cremosa de color marrón, estas son partículas de cereales arrastradas a la superficie que se deben retirar mediante un colador [9]. (Ver Figura 6)

Figura 6. Proceso de cocción de mosto. Tomado del sitio web cervezas.info

Enfriado

En la elaboración de cerveza artesanal, se debe suministrar de forma óptima aire a la levadura, solo cuando este se encuentre a baja temperatura, de lo contrario se oxidará el mosto causando pérdida de calidad en la cerveza, para esto es necesario enfriar el mosto caliente lo más rápido posible después de la cocción ya limpio para evitar contaminarla, el mosto debe descender de los 85°C aproximadamente hasta la temperatura de fermentación (de entre 18°C a 25°C para ales y 7°C a 12°C para lagers), en menos de 45 minutos mediante alguna técnica, en este caso se utilizada un serpentín de acero por la que se hace pasar agua fría o por inmersión [10].

Fermentación

El proceso de fermentación de mosto es importante, debido a los azucares contenidos en el mosto a etanol y dióxido de carbono por la levadura, estas se pueden dividir en fermentación primaria y fermentación secundaria, con reacciones de fermentación y de maduración, solapándose entre sí, siendo un proceso continuo. El metabolismo de la levadura es fundamental para el maestro cervecero, dado que

es un factor importante en la calidad de cerveza [9] [10]. Antes de finalizar el fermentado, el proceso de maduración dura alrededor de una semana y tres meses dependiendo del estilo de cerveza que se vaya a elaborar. (Ver Figura 7)

Figura 7. Fermentación y maduración del mosto.
Tomado del sitio web cervezas.info

Envasado

El embotellamiento o envasado de cerveza se comienza por el etiquetado debido que al envasar la cerveza en frio (0-1°C), se produce condensación siendo imposible que se pegue, estas botellas no deben tener ningún uso anterior, siendo vulnerables a microorganismo por ello las botellas deben ser purificadas con agua a altas temperaturas [9]. La cerveza es una bebida caracterizado por poseer CO_2, el cual debe mantenerse intacto hasta llegar al usuario consumidor, para el llenado de botellas de cerveza se utilizan llenadoras de contrapresión, y tapones corona para evitar la intrusión de oxígeno, perdida de carbohidratos o ingreso de microorganismos o bacterias. (Ver Figura 8)

Figura 8. Embotellamiento de cerveza artesanal.
Tomado del sitio web cervezas.info

2.2.3 PROCESO ESPECIFICO

En la elaboración de cerveza artesanal es necesario la operación de una o más personas ya que se necesita controlar la temperatura para la colocación de los ingredientes, el proceso de enfriamiento es muy importante en la preparación de esta bebida ya que el mosto debe bajar las altas temperaturas por la cocción a una temperatura promedio de 25°C para colocar la levadura y pasar a fermentar el mosto.

Mediante un sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto, controlado y monitoreado desde una pantalla táctil, solo es necesario de una programación eficaz y equipos industriales como bombas, motores, sensores y actuadores para de esta manera llegar a tener el control del proceso, realizando esto mediante un controlador lógico programable o conocido por sus siglas "PLC", el cual es utilizado en industrias para automatización de procesos.

El diseño e implementación del sistema automatizado está basado en un modelo de estructura de torre de enfriamiento con un motor eléctrico trifásico que tendrá incorporado un aspa para la extracción del aire caliente y la humedad dentro de la torre producido por el intercambio de calor. Para la reducción de niveles de temperatura del mosto se usará un serpentín de cobre recubierto con manguera plástica, el cual hará contracorriente con el flujo de agua, este serpentín estará conectado por mangueras de silicona hasta las electroválvulas y bombas magnéticas que estarán esperando ser activadas por una señal eléctrica para su funcionamiento.

2.2.4 PLANTA CERVECERA

En el Ecuador existen plantas cerveceras altamente industriales y automatizadas como lo es Cervecería Nacional CN S.A., nacida en el año 1887 en el tradicional barrio las peñas de la ciudad de Guayaquil, siendo esta la compañía dedicada a la elaboración y comercialización de bebidas de moderación y refresco a nivel nacional. Los productos se elaboran en dos plantas cerveceras en el país, las cuales se encuentran ubicadas en Quito y Guayaquil, estas son pertenecientes a la

multinacional Anheuser-Busch InBev. En el año 1913 se realizó el histórico lanzamiento de la marca pilsener en el Ecuador, siendo esta marca conocida por tener una de las cervezas de mayor venta en el país, en el año 1966 esta empresa creo su marca Club Premium, siendo esta bebida parte de la historia y orgullo de ecuatorianos [11].

Al final del siglo XIX y durante el siglo XVIII, empezó una transición con respecto a los materiales de construcción de los equipos utilizados para elaboración de cerveza artesanal, así como los recipientes de almacenamiento, el primer material era la madera y luego se comenzó a usar el hierro, aluminio y el cobre, finalmente el acero inoxidable como se muestra en la Figura 9, siendo importante al momento de automatizar la limpieza de los mismo [9].

Figura 9. Planta cervecera con todos los depósitos de acero inoxidable. Tomado del sitio web http://edgebrewing.com/

2.2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

En el proceso de enfriamiento de mosto encaminado en la elaboración de cerveza artesanal es necesario que se controle la reducción de las altas temperaturas del mosto que sobrepasan los 70°C, 80°C a temperaturas bajas de 20°C hasta 28°C en un periodo de tiempo menor a 45 minutos o según la cantidad de litros que se vaya a elaborar, ya que si no se logra controlar la temperatura el mosto pierde olor, sabor y en el peor de los casos se eche a perder.

La implementación de sistemas de enfriamiento de mosto por maestros cerveceros logra controlar la temperatura, pero no consigue mantener el mismo sabor, olor y

textura, ya que el tiempo establecido para enfriar el mosto no siempre puede cumplirse, lo que causa la variación y alteración de esta bebida. El enfriamiento de mosto es unos de los procesos más importantes en la elaboración de cerveza artesanal, ya que de este depende la colocación de la levadura para su fermentación y maduración.

2.2.6 MODELO DE ENFRIAMIENTO

Los modelos de enfriamiento de mosto en la elaboración de cerveza artesanal pueden variar, ya que es una ciencia que tiene como objetivo la disminución de temperatura del mosto, esto se puede lograr con métodos caseros o mediante el uso de tecnología. Entre los tipos de enfriamiento de mosto se detallan los siguientes:

Baño helado: Esta técnica de enfriamiento de mosto consiste en sumergir la olla de hervor en agua con hielo como si fuera un baño maría (Ver Figura 10), pero esta técnica es útil para pocas cantidades de mosto, a partir de 20 litros o más esta llega a ser muy poco eficiente, ya que tarda mucho más tiempo para enfriar y aumentan los costos de producción de esta bebida.

Figura 10. Enfriamiento de mosto por baño de hielo.
Tomado de TresJotasBeerClub

Enfriador por inmersión: Este sistema de enfriado de mosto consiste de un serpentín de cobre, el cual estará sumergido en el mosto y por su interior recorrerá agua de la llave (ver Figura 11). Este sistema no es tan eficiente, pero tiene un gran pro ya que es un sistema limpio, porque que podemos colocarlo los últimos 10 o 15 minutos de hervor de mosto y esta misma temperatura se encarga de dejar desinfectado.

Figura 11. Enfriamiento de mosto por inmersión.
Tomado de TresJotasBeerClub

Intercambiador de calor por placa: El método de enfriado de mosto por intercambiador de placas (ver Figura 12), consiste en una serie de placas independientes hechas de metales como níquel o titanio, acero inoxidable, con una serie de corrugaciones en forma paralela por donde circulan los fluidos [12].

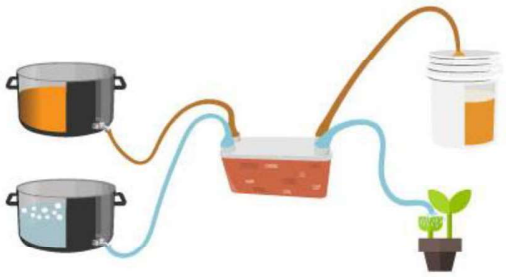


Figura 12. Enfriamiento de mosto por intercambiador de calor por placa.
Tomado de TresJotasBeerClub

Torre de enfriamiento: Las torres de enfriamiento son un tipo de carcasas utilizadas para ventilación, aire acondicionado, industrias de calefacción y otras; debido al rendimiento térmico que esta causa en procesos básicos de transferencia de calor [13].

2.2.7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Un controlador lógico programable o PLC, es un dispositivo que básicamente es una computadora industrial, el cual procesa todos los datos de una máquina, para posteriormente controlar cualquier proceso. La parte principal se denomina “unidad central de procesamiento” o CPU la cual está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones [14].

2.2.8 LENGUAJE ESCALERA

El lenguaje Ladder o diagrama en escaleras es un lenguaje de programación con símbolos, caracteres, gráficos dentro de los autómatas programables, ya que está basado en esquemas eléctricos de control de sistemas industriales, son símbolos básicos normalizados según el estándar IEC (ver Figura 13), con este tipo de diagrama se describe la operación eléctrica de distintos tipos de máquinas, con las herramientas de software adecuadas [15].

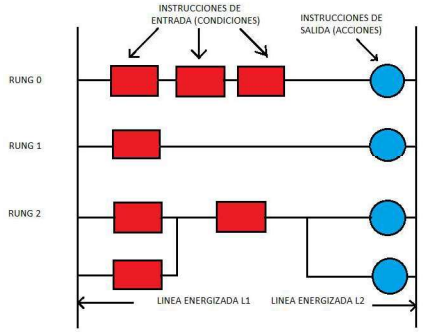


Figura 13. Descripción lógica Ladder

2.2.9 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Para tener una comunicación segura y confiable entre el PLC y los dispositivos electrónicos en aplicaciones de automatización existen protocolos de comunicaciones, a continuación, se indican algunos de ellos.

Protocolo de Comunicación Modbus

Este tipo de protocolo fue creado por la compañía Modicom, el protocolo de comunicación ModBus posee una arquitectura maestro-esclavo (RTU) o cliente-servidor (TCP/IP). Existen dos versiones del protocolo ModBus:

- **Protocolo de Comunicación ModBus RTU**

El protocolo de comunicación ModBus RTU realiza la transmisión de mensajes en tramas, permitiendo que los receptores obtengan información necesaria para localizar la cabecera, poder determinar el destinatario y detectar el final del mensaje. Las direcciones validas que este protocolo de comunicación tiene, cubren

el rango de 0 hasta 247, siendo 0 una dirección para brodcast, puede contener dos caracteres (ASCII) o 8 Bits (RTU), con un rango de 1 a 255 [16].

- **Protocolo de Comunicación ModBus TCP**

Este protocolo de comunicación implementado sobre redes Ethernet permite aumentar el grado de conectividad, ya que este establece transmisión mediante paquete de datos TCP/IP, con una estructura semejante a la variante RTU, de tal forma que se puede emplear con internet, dando así lugar a un control de acceso remoto. Para el intercambio de datos de proceso es necesario una combinación de una red física versátil y escalable como Ethernet con el estándar universal TCP/IP de redes y una representación de datos independiente de fabricante, como ModBus, para de esta manera proporcionar una red abierta y accesible [16].

Protocolo Ethernet

- **TCP/IP**

El Protocolo Ethernet TCP/IP son un conjunto de protocolos que hacen posible una comunicación confiable entre ordenadores de otras redes de área local (LAN).

- **Ethernet/IP**

El protocolo de red Ethernet realiza una clasificación de nodos dependiendo a los dispositivos preestablecidos, estableciendo un nivel de protocolo que permite configurar, acceder y controlar los diferentes dispositivos que intervienen en la automatización industrial [16].

2.2.10 SENSOR DE TEMPERATURA

Los sensores de temperatura son dispositivos de medición que detectan variaciones y la transforman en una señal eléctrica que llega hasta un equipo electrónico, que indica el valor de temperatura captado. Ejemplo:

Resistence Temperature Detector (RTD)

Los RTD o Resistence Temperature Detector, son una termo resistencia que a 0°C tiene 100Ohms o 1000Ohms y al aumentar su temperatura, este aumenta su

resistencia eléctrica, estos sensores son muy usados a nivel industrial, comúnmente son de dos, tres y cuatro hilos, se fabrican de diferentes tipos de materiales, tales como: Níquel (Ni), Cobre (Cu) y platino (Pt) [17].

2.2.11 BOMBA MAGNÉTICA

Las bombas centrifugas de proceso de accionamiento magnético (ver Figura 14), están diseñadas con una construcción especial y resistente, es perfectamente compatible de los imanes de neodimio usados con una gran fuerza magnética, por ellos este tipo de bombas son resistentes al desgaste y más durabilidad [18]. Debido a la construcción robusta y resistente al desgaste, estas bombas centrifugas de proceso de accionamiento magnético se pueden encontrar prácticamente en cualquier ámbito industrial.

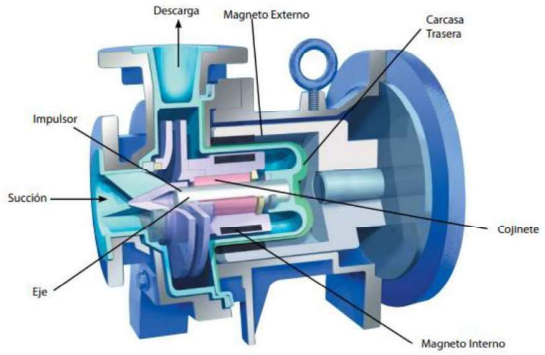


Figura 14. Partes de la bomba centrifuga de accionamiento magnético. Tomado de IWAKI AMÉRICA

2.2.12 MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO

El motor eléctrico es una máquina rotativa que se encarga de transformar energía eléctrica trifásica en energía mecánica, el motor de inducción es uno de los más usados, debido a las ventajas de utilización de energía electica, con su construcción simple y su ligereza de adaptación a las cargas de los más diversos tipos y mejores rendimientos [19].

Las aplicaciones más comunes de los motores eléctricos trifásicos de inducción o asíncrono son: Compresores, bombas de agua, ascensores eléctricos o hidráulicos, rampas, ventilación, escaleras mecánicas, portones automáticos, acondicionadores de aire.

2.2.13 VARIADOR DE FRECUENCIA

El variador de frecuencia o también conocido como drivers de frecuencia ajustable, microdrivers o drivers de corriente alterna (CA), lo que hace el variador de frecuencia es controlar la electricidad necesaria que pasa por el motor para operar de manera efectiva (ver Figura 15).

Este dispositivo tiene como objetivo el mejoramiento en los procesos de producción (torque, control de velocidad, movimientos y mecánica completa, etc.), optimizando la eficiencia energética y además el ahorro de consumo de energía, contaminando menos [20].

Figura 15. SINAMICS G120C con BOP-2.
Tomado del sitio web mall.industry.siemens.com

2.2.14 ELECTROVÁLVULA DE CAUDAL

Las electroválvulas o también conocida válvulas solenoides de acción directa son dispositivos para controlar el flujo (on/off) de un fluido, están diseñadas para utilizarse con agua, aire, gas, vapor, gas combustible, las electroválvulas pueden ser de dos hasta cinco vías, son fabricadas en latón, acero inoxidable o pvc, dependiendo del fluido es el material de la válvula [21].

La electroválvula Normalmente Cerrada (N.C.) a Normalmente abierta (N.A.) de acción directa, es cuando la válvula (N.C.) no está energizada entonces el embolo permanece en una posición de bloqueo que impide el flujo de fluido, y cuando esta se encuentra energizada la bobina el embolo es magnetizado de tal manera que se desbloquea y de esta manera fluye el fluido [21]. (Ver Figura 16 y Figura 17).

Figura 16. Normalmente Cerrada (N.C.). Tomado del sitio web www.ode.it

Figura 17. Normalmente Abierta (N.A.). Tomado del sitio web www.ode.it

2.2.15 PULSADORES

Los botones o también llamados pulsadores industriales (ver Figura 18), son una lámina conductora que estable contacto con los terminales positivo y negativo, estos son activados al ser pulsados con un dedo, permitiendo el flujo de corriente y al no ser presionado vuelve a su posición de reposo. Los pulsadores pueden ser normalmente abierto (N.A.) o con un contacto normalmente cerrado (N.C.) en reposo [22].

Figura 18. Pulsador 24V DC. Tomado de ADVSA Industrial Supplier

2.2.16 LUCES PILOTO

Las luces piloto (ver Figura 19), son un elemento óptico de importancia, que indica la existencia de una serie de condiciones normales de un sistema o dispositivo (encendido o apagado), estos se utilizan comúnmente en procesos de control o

automatización ya que le indica al usuario la presencia de electricidad en el tablero [23].

Figura 19. Piloto luminoso (Verde). Tomado de Schneíder Electric

2.2.17 PANEL DE CONTROL INDUSTRIAL

El panel de control o conocido también como tablero eléctrico es una armazón de metal, que se usan normalmente para proteger todos los componentes de mando y de control de cualquier sistema eléctrico empleado, ya sea desde un circuito básico hasta los componentes de una máquina de automatización industrial, un panel de control podemos encontrar en un panel de control que esté basado en conexiones eléctricas para algún sistema automatizado como, por ejemplo: Gabinete, componentes eléctricos, canaleta, clemas, riel metálico, barra colectora [24]. Véase en la Figura 20.

Figura 20. Panel de control. Tomado de Ingeniería Mecafenix

2.2.18 CONTROLADOR PID

Un controlador proporcional, integral, derivativo (PID) es un algoritmo utilizado en aplicaciones industriales, esto se debe gracias a su simplicidad y efectividad durante su funcionamiento, estos ajustes del controlador se expresan en unidades de base de tiempo, los términos proporcional, integral, derivativo se deben ajustar individualmente a un sistema en particular usando prueba y error [25].

Una manera de sintonizar el controlador PID, es identificando los parámetros del proceso y con ellos calcular las constantes del controlador, que puedan permitir la mejor acción de control, otra forma es mediante Autotuning con muchos procedimientos diferentes de ajuste automático, generalmente el ajuste automático tiene dos fases principales las cuales son: identificación del objeto de control y cálculo de los parámetros de control.

2.2.19 INTERFAZ HOMBRE MAQUINA

La automatización reemplaza el control manual humano por un control automático, pero sin embargo en sistemas altamente automatizados es necesario el ser humano para supervisión, ajuste, expansión, mantenimiento y mejora. La automatización a nivel de HMI ayuda a alcanzar un sistema de interacción más eficaz en su relación con las operaciones de seguridad y mantenimiento. Incluso existen soluciones de software que permiten interacciones eficientes y complejos, como diseño de sistemas que se pueden apreciar mediante una interfaz gráfica amigable, como por ejemplo los sistemas de monitoreo y supervisión pueden incluir cientos de pantallas de interfaz [26].

2.3 MARCO TEÓRICO

A continuación, se puntualizarán artículos estudiados por el autor, que sirvieron como guía para la realización de la presente propuesta.

En el trabajo de titulación con el tema “Diseño de una micro planta de fabricación de cerveza y estudio de técnicas y procesos de producción (Barcelona, 09 de junio de 2015)”, se presenta un estudio económico y tecnológico para la implementación de una fábrica de cerveza artesanal, con una capacidad de producción inicial de 360 hl/año, esta planta está situada em Huesca – Albelda, además se ha llevado a cabo un análisis de los aspectos que influyen en la elaboración de la cerveza como por ejemplo los ingredientes y procesos de fabricación de esta bebida [9].

Bravo C. Carlos y Guevara G. Andrés, Escuela Politécnica de Chimborazo, trabajo publicado en el año 2013 titulado "Instalación y automatización del laboratorio de transferencia de calor" se da a conocer la adquisición de datos de temperatura de los intercambiadores de calor: placas, coraza y tubo, doble tubo, serpentín, camisa, flujo cruzado, mediante el uso de sensores LM-35 y una tarjeta de adquisición de datos USB-DAQ 6009, que permite registrar de manera simultánea la temperatura de entrada, mediante programación LabVIEW [27]

Mottensohn B. Roberto, Universidad Simón Bolívar, trabajo publicado en el año 2006 con el tema "Análisis del sistema de enfriamiento en la planta de resina de resina de la empresa INTEQUIM C.A." se explica que la planta tiene una gran carga calórica variable en el tiempo, dependiendo del producto que se está elaborando, a través de un estudio al sistema del proceso de enfriamiento de esta planta se concluye que las torres trabajan un 50%, lo que ocasiona un alto consumo de energía eléctrica y recursos hídricos para cumplir con su objetivo, proponiendo el uso de un variador de frecuencia para el ahorro de energía [28].

En el trabajo de titulación con el tema "Implementación de un módulo de clasificación por materiales y tamaños con PLC y pantalla táctil", se presenta la implementación de un módulo de clasificación automática de materiales según el tamaño mediante el uso de un Controlador S7-1200 y HMI que permite el monitoreo y control de un proceso por comunicación Profinet, funcionando eficazmente en menor tiempo, además permite que los estudiantes desarrollen prácticas en el campo de automatización y control del proceso [29].

CAPÍTULO III

3.1 COMPONENTES DE LA PROPUESTA

En la siguiente sección se procede a segmentar los componentes físicos y lógicos, además de los diseños que intervienen en el desarrollo del proyecto.

3.1.1 COMPONENTES FÍSICOS

Para llevar a cabo la implementación del sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto enfocado a la cervecería artesanal se emplearon varios equipos y componentes eléctricos y electrónicos, que estarán detallados a continuación:

3.1.1.1 MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO SIEMENS D80

Los motores trifásicos por su potencia y tamaño son muy usados en la industria, ya que están diseñados para ser resistentes en el trabajo a desempeñar, siendo esto fundamental para su uso como ventilador extractor, debido a sus características para operar eficientemente en el sistema de enfriamiento de mosto [30].

MOTORES TRIFÁSICOS			
Parámetros técnicos	**Descripción**		
	Motor Siemens IE3	Motor Siemens gp10.	Motor Siemens D80
Alimentación	460 V	208-230/460 V	220-380/440 V
Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Potencia	1 hp	1 a 20 hp	1 hp
Corriente	425 A	20.5-19.0/9.5 A	3.30/1.91 A
r/min	1788 rpm	3600 rpm	1720 rpm

Tabla 1. Comparación de motores eléctricos trifásicos de la marca Siemens. Elaborado por el autor

El motor que se usa en la implementación del sistema de control automático de enfriamiento de mosto es el Siemens D80 (ver Tabla 1), este estará conectado directamente al variador de frecuencia Sinamics G120, ya que cumple con un voltaje de alimentación de 220V, y potencia de 1hp, con 1720 rpm, este es perfecto por su pequeño tamaño a diferencia del motor trifásico IE3 o el gp10 con potencia de 1hp, que son más grandes y robustos, por lo que se concluye que consumen más energía eléctrica (ver Figura 21). Los detalles considerados podemos encontrar en la Tabla 2.

Figura 21. Motor eléctrico trifásico siemens D80.
Tomado de siemens

DATOS TÉCNICOS							
3 ~ MOT 1LE0142-4AA4-Z			80M **IM** B3 IP 55		**LMH** 1705/800015175518/017		
V	**Hz**	**HP**	**A**	**EFF.**	**Cosϕ**	**r/min**	**EFF.Cl.**
220/380DD/YY	60	1	3.30/1.91	77.0%	0.77	1720	IE1
440DD	60	1	1.65	77.0%	0.77	1720	IE1
0CV1083B			IFC60034		**Peso neto:**	15	**kg**

Tabla 2. Datos técnicos del motor eléctrico trifásico D80.
Elaborado por el autor

3.1.1.2 SERPENTÍN

La aplicación de los principios de transferencia de calor en los procesos industriales es muy útil, entre los componentes físico del sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto a realizar, se usa el serpentín por contracorriente de cobre de siete metros de longitud (ver Figura 22), el cual está conectado directamente a las electroválvulas y bombas magnéticas para el circulado de los flujos y la transferencia de calor, siendo un método eficaz y útil dentro de la

elaboración de cerveza artesanal, además de que el costo de fabricación es menor al serpentín por contracorriente de acero inoxidable, pero por motivos de salubridad en la elaboración de producto alimenticios para el consumo humano se recomienda usar mejor el de acero inoxidable ya que este material se puede esterilizar y mantener la higiene.

Figura 22. Serpentín por contracorriente de cobre

3.1.1.3 TORRE DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento de tiro inducido son usadas considerablemente igual que las de tiro forzado para el enfriamiento de productos alimenticios, ya que estas son altamente eficientes, el calor y la humedad es succionado a través de la torre por medio de un ventilador extractor dispuesto en la parte superior [31]. (ver Figura 23)

Figura 23. Torre de enfriamiento de tiro inducido

En base al estudio de torres de enfriamiento se seleccionó la de tiro inducido ya que es factible para colocar los componentes como el serpentín y el motor trifásico, a esto se le añadió espumada de poliuretano en su interior para alargar su vida útil y ayudar a contrarrestar la humedad.

3.1.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA PT100

Los sensores de temperatura usados en sistemas de automatización para el monitoreo y control de temperatura por lo general suelen ser RTD, estos dispositivos electrónicos son una termo resistencia que incrementa el valor de la resistencia, cuando este incrementa su temperatura. Véase en la Tabla 3.

SENSOR PT100			
Parámetros técnicos	**Descripción**		
	Pt100	Pt1000	LM135
Rango de temperatura	-50~400 °C	-50~250 °C	-55~150 °C
Tamaño de sonda	0.5x10 cm	5 mm	
Material de construcción	Plástico, goma, metal.	Pvc	Plástico, metal.

Tabla 3. Comparación de tipos de sensores de temperatura.
Elaborado por el autor

Para monitorear y controlar la temperatura del sistema de control automático de enfriamiento de mosto, se utiliza el sensor Pt100 de 3 hilos, (Ver Figura 24), por sus características y parámetros técnicos en el ámbito de automatización industrial, este instrumento de medición de temperatura soporta temperaturas de 50~400 °C, el sensor Pt1000 es más precisos y soporta temperaturas altas pero su costo es más elevado y el LM135 no es muy eficiente ya que este no soportar temperaturas altas. Los detalles del sensor Pt100 se encuentran en la Tabla 4.

Figura 24. Sensor termopar Pt100 de tres hilos.
Tomado del sitio web www.electrocrea.com

DATOS TÉCNICOS	
Nombre del producto	Termopar
Material de construcción	Platino
Rango de temperatura	-50°C ~ 400°C
Resistencia nominal	0 a 100Ω
Precisión	±0.1°C
Material externo	Plástico, metal, goma

Tabla 4. Datos técnicos del sensor de temperatura termopar Pt100

3.1.1.5 BOMBA MAGNÉTICA MKII

Las bombas de accionamiento magnético tienen dos magnetos de gran calidad y fuerza, estas bombas utilizan un diseño de carcasa frontal y posterior, lo que permite conectar tuberías de pvc o mangueras y poder elaborar la cerveza artesanal de una manera rápida, cómoda y profesional. Véase en la Tabla 5.

BOMBA MAGNÉTICA			
Parámetros técnicos	Happybuy	Kolerflo	Keg-King MKII
Voltaje de alimentación	110~120 V	110 V	110~120 V
Frecuencia	60 Hz	60 Hz	50~60 Hz
Potencia	10 w	10 w	25 w
Velocidad	2800 rpm	2600/3000 rpm	3000rpm
Entrada/salida	1/2 pulgada	1/2 pulgada	1/2 pulgada
Dimensiones	7.8x4x3 pulgadas	9.7x5.9x5.7 pulgadas	9.5x5.5x5.2 pulgadas
Peso	2 kg	1.93 kg	1.72 kg

Tabla 5. Comparación de bombas magnéticas.
Elaborado por al autor

La bomba magnética usada en la implementación del sistema de control para el proceso de enfriamiento de mosto enfocado en la cervecería artesanal, es la bomba de la marca Keg-King MKII (ver Figura 25), ya que este tipo de bomba soporta temperaturas altas y una capacidad máxima de 19 litros/minuto, sus dimensiones caben perfectamente en la estructura física de una planta cervecera, a diferencia de las bombas magnéticas Happybuy con 2800 rpm y Kolerflo con 2600 rpm, la bomba Keg-King MKII tiene una velocidad de 3000 rpm siendo más potente, rápida y eficaz para el enfriado de mosto que las otras. Los datos de la bomba a considerar se encuentran en la Tabla 6.

Figura 25. Bomba magnética marca Keg-King MKII. Tomado del sitio web Amazon

DATOS TÉCNICOS	
Capacidad máxima	19L/min
Polos	2
Voltaje	110-120V-AC
Frecuencia	50-60Hz
Poder	25 watts
Corriente	0.1 A
Velocidad	3000 rpm
Ciclos de trabajo	Continuo
Capacitor	1µF
Entrada/salida	½ pulgada

Tabla 6. Datos técnicos de la bomba magnética Keg-King MKII

3.1.1.6 VARIADOR DE FRECUENCIA SINAMICS G120

El variador de frecuencia Sinamics G120 de la marca Siemens (Ver Figura 26),es el encargado de efectuar el control de velocidad, arranque suave y dirección de rotación del motor trifásico Siemens D80, para el sistema de ventilación del proceso de enfriamiento de mosto enfocado en la cervecería artesanal, ya que este variador de frecuencia define estándares nuevos en su clase por su tamaño, breves tiempos de puesta en marcha, alta densidad de potencia, funcionalidad integrada y facilidad de manejo [32].

Figura 26. Variador de frecuencia Sinamics G120

El variador de frecuencia Sinamics G120 posee módulos adaptables para el manejo y la puesta en marcha, los cuales se mencionarán a continuación:

Módulo de potencia: Este módulo es aquel que le proporciona potencia al motor. Ver Figura 27. Los detalles considerados del módulo de potencia podemos encontrar en la Tabla 7.

Figura 27. Módulo de potencia del variador de frecuencia Sinamics G120

DATOS TÉCNICOS	
Modelo	PM240 – 2
Entrada	$\frac{1}{3}$ØAC 200 – 240V ± 10% 9.6/5.5A 47 – 63Hz
Salida	3ØAC 0 – INPUT V IN = 4.2ª
Dimensiones	196x73x165 mm
Rango de potencia	0.37 – 250Kw

Tabla 7. Datos técnicos del módulo de potencia del variador de frecuencia Sinamics G120

Unidad de control: Esta unidad controla y supervisa el módulo de potencia, además de que es el encargado de la comunicación con otros dispositivos del sistema. Véase en la Figura 28. Los detalles de la unidad de control se encuentran en la Tabla 8.

Figura 28. Unidad de control del variador de frecuencia Sinamics G120

DATOS TÉCNICOS	
Modelo	CU250S – 2 PN
E/S Digitales	6 ED (3ED F) 3 SD (1 SD F)5 ED
E/S Analógicas	2EA 2SA
Dimensiones	196x73x165 mm
Comunicación	Profibus, Profinet, Can, RS485

Tabla 8. Datos técnicos de la unidad de control del variador de frecuencia Sinamics G120

Panel operador: Este panel permite configurar de manera manual y automática, y visualizar los parámetros técnicos del variador de frecuencia Sinamics G120. Ver Figura 29.

Figura 29. Panel operador del variador de frecuencia Sinamics G120

3.1.1.7 ELECTROVÁLVULA SOLENOIDE MODELO 2W-160-15

Las electroválvulas solenoide son dispositivos diseñados para controlar el flujo (on/off) de un fluido, ya que están diseñadas para utilizarse con temperaturas altas. Véase en la Tabla 9.

ELECTROVÁLVULAS SOLENOIDE			
Parámetros técnicos	**Descripción**		
	USS2	2W-160-15	D232
Marca	U.S. Solid	Bacoeng	MM
Voltaje	220 v	110 v	110 v
Temperatura	-10~120 °C	-5~80 °C	-10~130 °C
Presión	0~7 bar	0~10 bar	0~50 bar
Peso	762 g	599 g	900 g
Precio	$60	$50	$80

Tabla 9. Comparación de electroválvulas solenoide de caudal. Elaborado por el autor

Las electroválvulas solenoide U.S. Solid USS2 y MM D232 son más eficientes y eficaces ya que estas soportan más de 100°C de temperatura, pero su costo es más alto a diferencia de la Bacoeng 2w-160-15, que es más económica, realiza la misma

función y soporta hasta 80°C, misma temperatura que es acta para elaboración de cerveza artesanal.

En el sistema de control para el proceso de enfriamiento de mosto son necesario tres electroválvulas solenoide Bacoeng 2w-160-15, de las cuales una es para el paso de flujo del mosto de entrada y dos para el paso de flujo de los recipientes de mosto y agua, para esto se necesita que la electroválvula sea de normalmente cerrada a normalmente abierta de acción directa, esta electroválvula tendrá incorporado uniones pvc de 1/2 pulgada para conectar con una manguera hasta la bomba magnética respectiva. Ver Figura 30. Los detalles de la electroválvula Bacoeng 2w-160-15 se encuentran en la Tabla 10.

Figura 30. Electroválvula solenoide Bacoeng 2w-160-15.
Tomado del sitio web www.amazon.com

DATOS TÉCNICOS	
Modelo	2W-160-15
Voltios	AC 110V
Orificio	16mm
Temperatura	-5°C – 80°C
Tamaño de la tubería	½ pulgada
Operando	MIN. 0kg/cm^2
Presión	MAX. 10kg/cm^2

Tabla 10. Datos técnicos de la electroválvula solenoide Bacoeng 2w-160-15.
Elaborado por el autor

3.1.1.8 PANTALLA SERIE HMI MARCA DELTA MODELO DOP-B03E211

Las pantallas HMI se enfocan en la calidad de uso, ya que una interfaz gráfica con un alto grado de usabilidad necesita espacio suficiente, permitiendo al usuario realizar lo que tiene que hacer y darle al operador una experiencia agradable. Se muestra una comparación de tres tipos de pantalla HMI de distintas marcas y modelos, cada una con su respectiva descripción (ver Tabla 11).

PANTALLA HMI			
Parámetros técnicos	**Descripción**		
	MT8071iE1	NB3Q	DOP-B03E211
Marca	Weintek	Omron	Delta
Voltaje de Alimentación	24V	24V	24V
Memoria interna	128 MB	128 MB	128 MB
Tamaño del display	7 pulgadas	3.5 pulgadas	4.3 pulgadas
Consumo de energía	2~4 W	5 W	2.64 W
USB Host	USB host Ver 2.0	USB host Ver 2.0	USB host Ver 1.1
USB Client	N/A	USB Client Ver 2.0	USB Client Ver 2.0
COM Port	COM 1=RS-232 COM 2=RS-485 2W/4W COM 3=RS-485 2W	COM 1=RS-232/RS-485	COM 1=RS-232/RS-485
Dimensiones	200.3x146.3x34 mm	103.8x129.8x52.8 mm	129x103x39 mm

Tabla 11. Comparación de pantallas HMI para la interfaz gráfica. Elaborado por autor

La pantalla HMI Delta DOP-B03E211 será utilizada para el desarrollo de la interfaz gráfica del sistema de control de automático para el proceso de enfriamiento de mosto, permitiendo el monitoreo y control de dicho proceso, ya que este tipo de pantalla trabaja con el protocolo de comunicación RS-232 / RS-422 / RS-485 / Ethernet y tiene un tamaño de display ajustable al diseño de la interfaz gráfica, programando mediante su propio software haciéndola eficiente para el sistema de enfriamiento de mosto y comunicación entre dispositivos. Esta pantalla se comunicará con el PLC s7-1200 para vincular las variables y permitir su funcionamiento. Ver Figura 31. En la Tabla 12 se especifican sus características principales.

Figura 31. Pantalla HMI Delta DOP-B03E211

DATOS TÉCNICOS	
Voltaje de funcionamiento	24V
Corriente de funcionamiento	300[mA].
Tamaño de pantalla	4.3 pulgadas
Protocolos de comunicación	RS-232 / RS-422 / RS-485 / Ethernet
Peso	264 g
Resolución del display	480x272
Temperatura de funcionamiento	-20~60 °C

Tabla 12. Datos técnicos de la pantalla HMI Delta DOP-B03E211

3.1.1.9 CONTROLADOR DE TEMPERATURA DELTA MODELO DTB4848

El controlador de temperatura es el dispositivo encargado de medir constantemente la temperatura mediante el sensor Pt100 conectado directamente en sus terminales y alimentado a una fuente de 110 voltios. El controlador de temperatura recibe la

señal eléctrica del Pt100, es procesada y convertida en un dato de temperatura, y ese dato obtenido es leído en el PLC s7-1200 mediante el protocolo de comunicación ModBus. Se muestra una comparación de controladores de temperatura que también se podrían usar en sistemas de lectura de temperatura (ver Tabla 13).

CONTROLADORES DE TEMPERATURA			
Parámetros técnicos	**Descripción**		
	DTB4848	E5CN	TC4S-14R
Marca	Delta	Omron	Autonics
Voltaje de Alimentación	120V~240V AC	120V~240V AC	120V~240V AC
Modo de control	PID, ON/OFF, Manual	ON/OFF/PID/Control	ON/OFF/PID/Control
Temperatura ambiente	0~50 °C	-10~55 °C	10~50 °C
Display	LCD Valor actual: naranja, valor establecido: verde	(verde, amarillo, rojo) LED	Color (verde, rojo, amarillo)
Tasa de muestreo	100 ms	100 ms	100 ms
Periodo de control	0.5~99 seg	0.5~99 seg	0.5~120 seg
Protocolo de comunicación	ModBus ASCII/RTU	ModBus	ModBus
Tipos de sensor	Termocupla, RTD	Termocupla, RTD	RTD, TC
Dimensiones	48x48 mm	48x48 mm	48x48 mm
Peso	100 g	150g	97 g

Tabla 13. Comparación de controladores de temperatura.
Elaborado por el autor

Para la implementación del sistema de enfriamiento de mosto se ocupará el controlador de temperatura Delta DTB4848 (ver Figura 32), ya que se tiene este

dispositivo a disposición, el controlador Delta DTB4848 funciona con una gran variedad de tipos de sensores de temperatura, además utiliza una interfaz de comunicación ModBus, ASCII/RTU, siendo útil para la comunicación del sensor Pt100.

Figura 32. Controlador de temperatura Delta DTB4848

3.1.1.10 MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS CM 1241 RS485

El módulo de comunicación ModBus CM1241 RS485 (ver Figura 33), permite a dispositivos de la familia s7-1200 tener disponible la capa física RS232, para comunicarse con dispositivos que intercambien datos de forma serial a través de mensajes codificados en ASCII 7 bits y ASCII extendido, así mismo puede ser usada esta capa física para trabajar con protocolos como ModBus RTU y ModBus ASCII, estos se pueden conectar entre si usando un cable PROFIBUS [33].

Este equipo es necesario dentro del sistema de control automático de enfriamiento de mosto de la cervecería artesanal, para la comunicación entre el PLC s7-1200 y el controlador de temperatura Delta DTB4848. En la Tabla 14 se muestra los detalles a considerar de este equipo.

Figura 33. Módulo de comunicación ModBus CM1241 RS485

DATOS TÉCNICOS	
FUNCIÓN	**CARACTERÍSTICAS**
Modelo	CPU 1241 RS422/485
Intensidad de entrada	220 [mA]
Tensión de alimentación	24 [V]
Longitud máxima de cable	1000[m]
Protocolo de comunicación	ASCII/Modbus/RTU Maestro/Esclavo
Dimensiones	30x100x75 [mm]
Protocolo de comunicación	ASCII/Modbus/RTU

Tabla 14. Datos técnicos del módulo de comunicación ModBus CM 1241 RS485

3.1.1.11 MODULO DE SALIDAS DIGITALES MODELO SM1222

Con el módulo de salidas digitales modelo SM 1222 (ver Figura 34), el módulo PLC s7-1200 de Siemens puede ampliarse con 8 salidas digitales, lo cual nos ayuda a controlar más dispositivos en un solo PLC s7-1200, siendo útil dos de estos módulos para la conexión de todos los componentes electrónicos usados en el sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto enfocado en la cervecería artesanal [34]. Los detalles del módulo de salidas digitales modelo SM 1222 se muestra en la Tabla 15.

Figura 34. Módulo de salidas digitales modelo SM 1222

DATOS TÉCNICOS	
Marca	Siemens
Modelo	SM 1222, DQ 16x24 VDC/0,5 A
Voltaje de alimentación máximo	28.8 V
Voltaje de alimentación mínimo	20.4 V
Corriente de entrada	140 Ma
Voltaje de salida	24 V
Número de salidas digitales	8
Peso	220g

Tabla 15. Datos técnicos del módulo de salidas digitales modelo SM 1222

3.1.1.12 MEDIO DE TRANSMISIÓN

El medio de comunicación utilizado para la conexión y comunicación de los dispositivos conectados a la red es el cable de par trenzado UTP categoría 6a (ver Figura 35), ya que tiene una estructura de ocho hilos de cobre que están aislados entre sí, y posee un blindaje que lo hace inmune al ruido eléctrico, la categoría 6a se describe dentro de los estándares TIA e ISO, este tipo de cable permite trabajar a velocidades de hasta 10Gbps dentro de un entorno Ethernet [35].

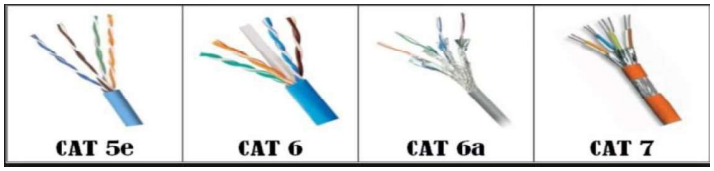


Figura 35. Categorías del cable de par trenzado UTP

Para la transmisión de información entre la computadora, el PLC s7-1200, el variador de frecuencia Sinamics G120, la pantalla HMI y el computador personal, se utiliza la conexión Ethernet estandarizada ya conocida, con la configuración T568B. Véase en la Figura 36.

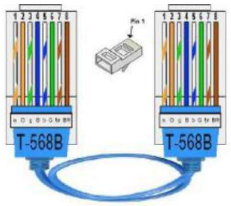


Figura 36. Switch (Conector HMI o PLC)

3.1.1.13 PLC SIEMENS s7-1200

El controlador lógico programable o PLC s7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de poder controlar dispositivos electrónicos para realizar trabajos de automatización.

La CPU tiene un microprocesador, su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el s7-1200 es idóneo para controlar una gran cantidad de aplicaciones. El controlador lógico programable incorpora un puerto PROFINET (ver Figura 37). Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232 [36]. Los detalles del PLC s7-1200 se encuentran en la Tabla 16.

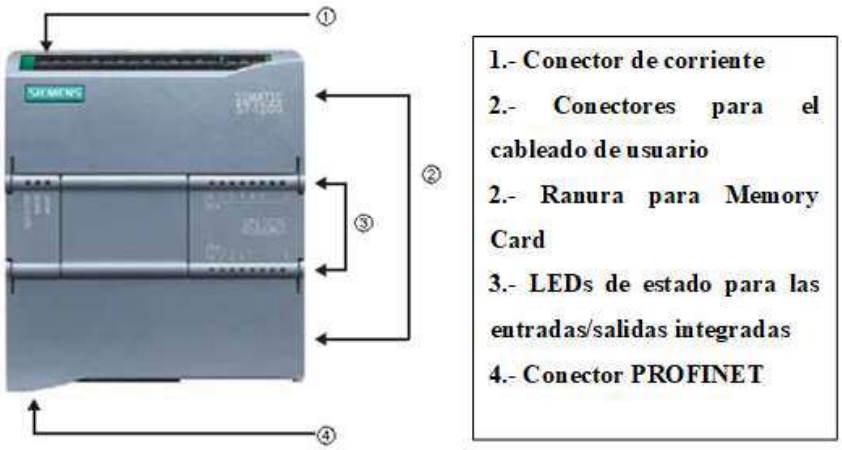


Figura 37. Controlador Lógico Programable S7-1200.
Tomado S71200-Manual Del Sistema

DATOS TÉCNICOS	
Modelo	CPU 1212C AC/DC/relé
Tensión de alimentación	120-240 V AC
Entradas analógicas	2 entradas; 0-10V
Entradas digitales	8 entradas
Salidas digitales	6 salidas, relé
Interfaz	Profinet (Profinet Industrial)
Dimensiones	90x100x75 mm

Tabla 16. Datos técnicos del PLC s7-1200

3.1.2 COMPONENTES LÓGICOS

En la siguiente sección se detalla los diferentes softwares implementados para realizar el diseño, configuración, control y comunicación de datos o parámetros, necesarios para el desarrollo del sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto enfocado en la cervecería artesanal.

3.1.2.1 TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL V.14

Totally Integrated Automation PORTAL V14, (ver Figura 38), es un software informático que permiten configurar y programar los controladores SIMATIC de la marca siemens, con la ayuda de este software se programan sistema de automatización para aplicaciones industriales, llevando a cabo esta tarea mediante lenguaje de programación KOP o más conocido como lenguaje escalera [37].

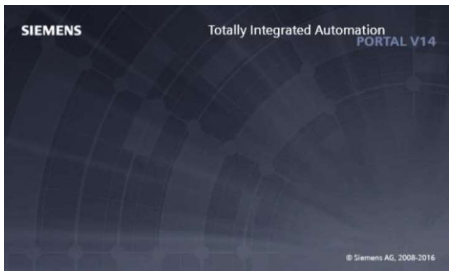


Figura 38. Software Totally Integrated Automation PORTAL V14

3.1.2.2 SKETCHUP

SketchUp (ver Figura 39), es un software encaminado en diseño y modelaje three dimensional (3D), basado en la creación de entornos arquitectónicos, este programa fue creado por la empresa Last Software, siendo adquirida por Google, ya que su principal funcionamiento es realizar diseños 3D, con una interfaz gráfica amigable, cuenta con muchas herramientas para lograr un ambiente más fácil y sencillo [38].

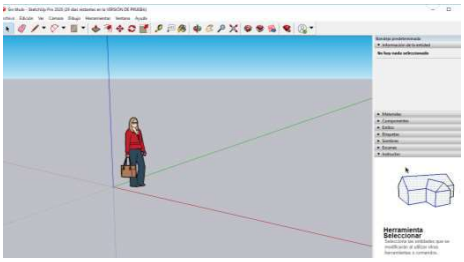


Figura 39. Entorno SketchUp pro 2020

3.1.2.3 AUTOCAD

AutoCAD 2018,(ver Figura 40), es un software de diseño asistido por un computador personal usado para dibujo 2D y modelado 3D, el nombre AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, donde Auto hace referencia a la empresa y CAD a diseño asistido por computadora (Computer Assisted Design), este es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos, tuberías, circuitos eléctricos o la recreación de imágenes 3D y otros [39].

Figura 40. AUTODESK AutoCAD 2019. Tomado de autodesk

3.1.2.4 DOPSOFT

El Software DOPSoft 2.00.05 (ver Figura 41), perteneciente a la compañía Delta, es utilizado para programar pantallas de la serie delta, tal es el caso de la pantalla HMI Delta DOP-B03E211, sirve para que el operador pueda visualizar las tendencias reales, ya que permite realizar una interfaz gráfica amigable con el usuario a través de un editor compatible con Windows [40].

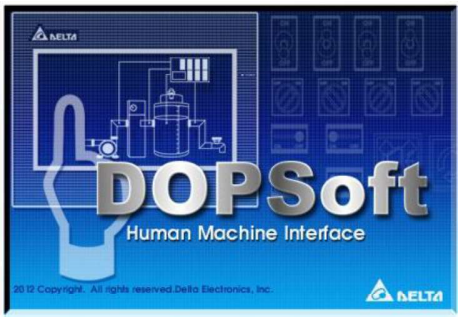


Figura 41. Software DOPSoft para interfaz máquina-humano versión 2.00.05

3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA

En esta sección se determina los diseños del sistema de control automático enfocado en el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal, mediante el uso de softwares informáticos de ingeniería.

3.2.1 DIAGRAMA DE RED DE COMUNICACIÓN DEL SISTEMA

En el sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal, se aplica el protocolo de comunicación Profinet, los dispositivos se encuentran comunicados a través de la red local 192.168.0.0/24, mascara de subred 255.255.255.0 y puerta de enlace 192.168.0.1, además se determinan las respectivas direcciones IP a los dispositivos. Véase en la Figura 42.

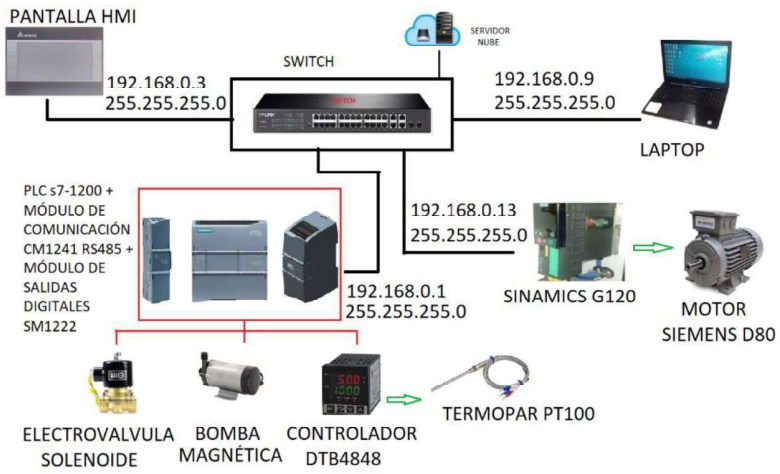


Figura 42. Diagrama de red de comunicación del sistema.
Elaborado por el autor

3.2.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA BASE

En esta sección, el diseño estructural de la base del sistema para el sistema de enfriamiento de mosto, se enfoca en materiales de acero que comúnmente podemos encontrar en el mercado industrial como, por ejemplo: ángulo y tubo cuadrado, ya que estos materiales harán del sistema más resistente y seguro en el momento de su funcionamiento. Para realizar el diseño estructural se usó el software SketchUp, ya que permite utilizar herramientas de ingeniería siendo eficiente para la elaboración de la estructura base y sus medidas acotadas. Véase en la Figura 43 y Figura 44.

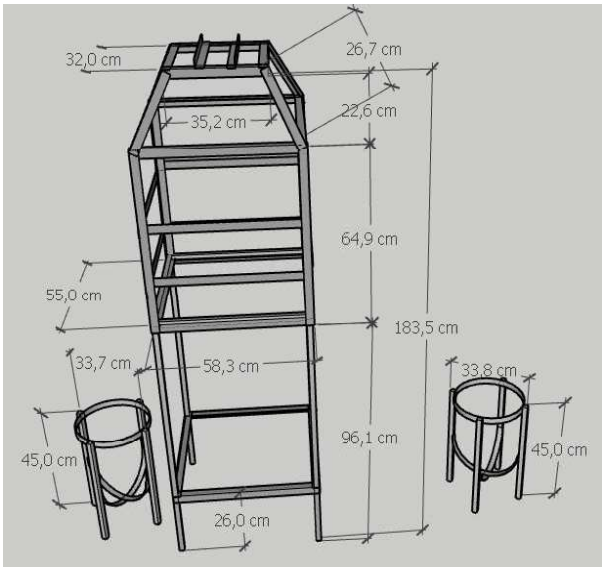


Figura 43. Diseño estructural de la base con sus medidas acotadas para el sistema de enfriamiento de mosto. Elaborado por el autor

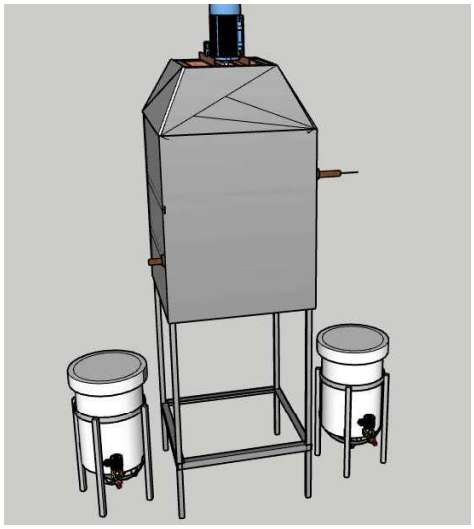


Figura 44. Diseño estructural de la base para el sistema de enfriamiento de mosto. Elaborado por el autor

3.2.3 DISEÑO DEL SERPENTÍN

El diseño geométrico del serpentín (ver Figura 45), permite cubrir el requerimiento de transferencia de calor, para efectuar el diseño del serpentín se usó el software SketchUp, empleando las medidas reales que este tendrá de manera gráfica 3D, mediante herramientas que representan a tuberías y uniones referentes al material físico como: cobre, plástico y pvc.

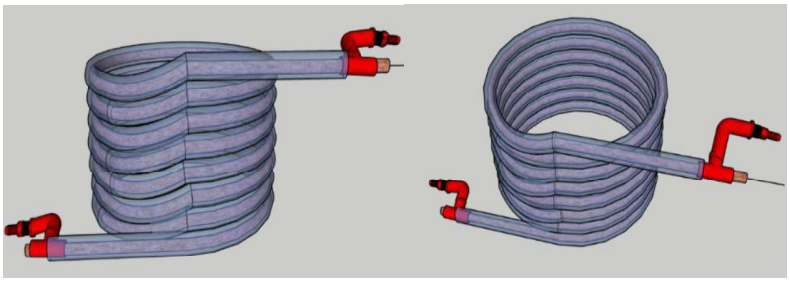


Figura 45. Diseño del serpentín.
Elaborado por el autor

3.2.4 DISEÑO DE LOS RECIPIENTES

El diseño de los recipientes de agua y mosto (ver Figura 46 y Figura 47), se realiza en el software SketchUp, estos están basados en recipientes físicos de plástico, en la que el recipiente de mosto tiene añadido: tubería pvc, uniones de pvc, sensor Pt100, airlock y una electroválvula; y el recipiente de agua tiene añadido uniones y codos de pvc y una electroválvula.

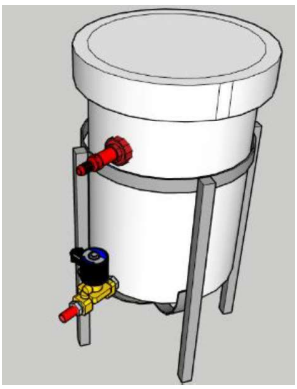


Figura 46. Diseño del recipiente de agua para el sistema.
Elaborado por el autor

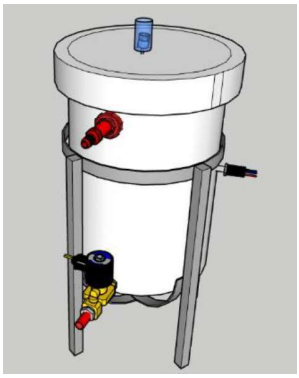


Figura 47. Diseño del recipiente de mosto para el sistema.
Elaborado por el autor

Se realiza un cálculo de volumen para saber la cavidad de mosto que puede contener el recipiente, y estas medidas tendrán cada uno de los recipientes debido a que son del mismo tamaño.

$$V = \pi\, r^2 h\ [m^3] \qquad Ecuación\ 1$$
$$V = \pi\ (0.15m)^2(0.60m) \qquad Aplicacion\ de\ parámetros$$
$$V = 0.042\ [m^3] \qquad Resultado\ 1$$
$$V \approx 42\ litros. \qquad Resultado\ 2$$

Mediante la Ecuación 1 se realiza un cálculo matemático con respecto a los datos de radio y altura que tienen los recipientes y tener un valor en metros cúbicos como se indica en Resultado 1, finalmente se efectúa una conversión de $m^3 a\ litros$ y saber la capacidad aproximada de agua y mosto que le caben a cada recipiente como se muestra en la Resultado 2.

DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍA Y CALCULO DE LA BOMBA

Mediante el Software SketchUp se realiza el respectivo diseño, para obtener de manera gráfica los componentes del sistema de tubería para el proceso de enfriamiento de mosto enfocado en la cervecería artesanal, estos diseños son hechos a escala real basado en materiales físicos como: Serpentín, bombas, recipientes, uniones, codos, y mangueras., permiten que el sistema de control automático para el enfriamiento de mosto de la cervecería artesanal trabaje correctamente, además de que soportan las altas temperaturas del mosto

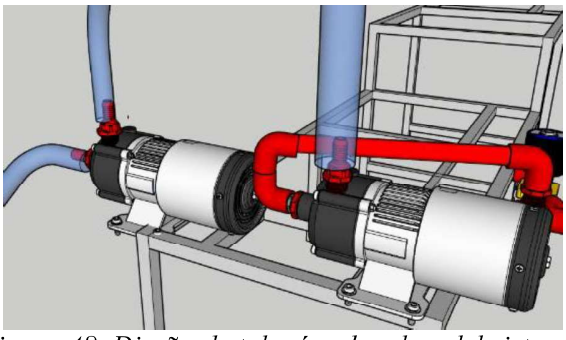


Figura 48. Diseño de tubería y bombas del sistema.
Elaborado por el autor

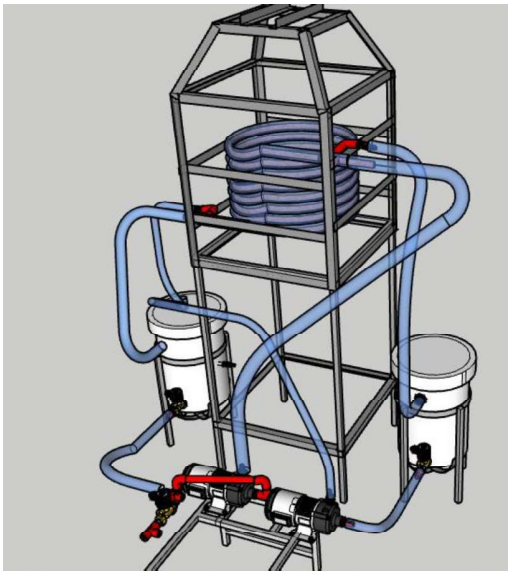


Figura 49. Diseño del sistema de tubería para el sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal. Elaborado por el autor

Para el cálculo matemático de la potencia de la bomba magnética usada en el sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto encaminado en la cervecería artesanal se hicieron las siguientes consideraciones:

- $ha = Altura\ elevacion\ del\ liquido = 1{,}55m$
- $Densidad\ maxima\ correspondiente\ del\ mosto\ 1080\frac{kg}{m^3}$
- $g = aceleracion 9{,}8\frac{m}{s^2}$
- $Q = caudal\ de\ liquido$

$$P_A = h_\alpha . \rho . Q \qquad Ecuación\ 1$$

$$P_A = 1{,}55m \,.\, 1080\frac{kg}{m^3} \,.\, 9{,}8\frac{m}{s^2} \,.\, 3{,}17x10^{-4}\ \frac{m^3}{s} \qquad Aplicación\ de\ parámetros$$

$$P_A = 5.2\ Watts \qquad Resultado\ 1$$

Se adopta la bomba magnética Keg-King MKII con las siguientes características:

- $Qmax = 19\frac{L}{min} = 3{,}17x10^{-4}\ \frac{m^3}{s}$
- $Voltaje\ de\ entrada\ 110\ V$
- $Altura\ maxima\ de\ elevacion\ 3{,}4m$
- $Material\ de\ acero\ inoxidable$

3.2.5 DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL

El panel de control se define como un conjunto de disposiciones estándar y sistemáticas de tal manera que es capaz de abordar una aplicación personalizada, desempeñando una función importante en el proceso de automatización. El diseño esta complementado con una caja metálica y un panel donde se tiene: el cablerío del sistema, canaletas, rieles, borneras y medios de transmisión, un rack para alojar equipamiento electrónico como: PLC s7-1200, módulo de comunicación ModBus CM1241 RS485, módulo de salidas digitales SM 1222, pantalla HMI DOP-B03E211, controlador de temperatura DTB4848, luces indicadoras, botones. Véase en la Figura 50, Figura 51, Figura 52 y Figura 53.

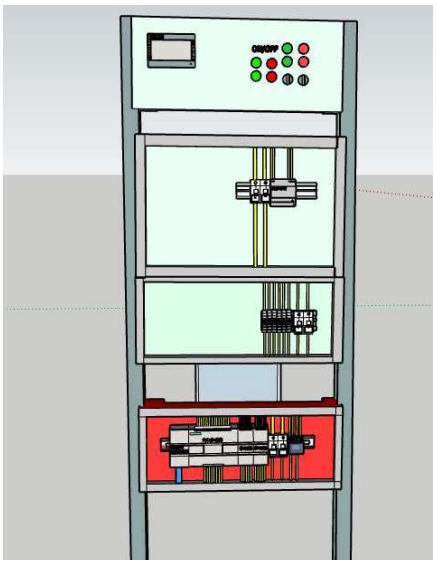


Figura 50. Rack con equipamiento electrónico: PLC s7-1200, módulo de comunicación ModBus CM1241 RS485, módulo de salidas digitales SM 1222, pantalla HMI, luces indicadoras, botones. Elaborado por el autor

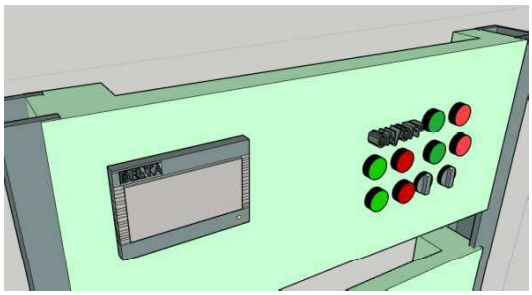


Figura 51. Diseño de panel de control: Pantalla HMI, botones y luces piloto para el control, y encendido/apagado del sistema. Elaborado por el autor

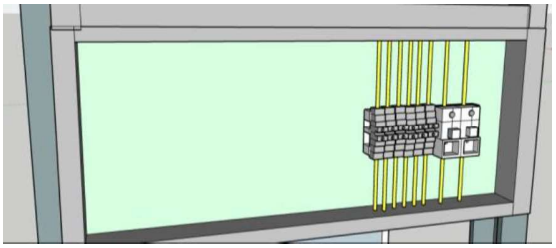


Figura 52. Diseño de panel de control: cable flexible, breques, canaletas, rieles, borneras, y luces piloto para el control del sistema. Elaborado por el autor

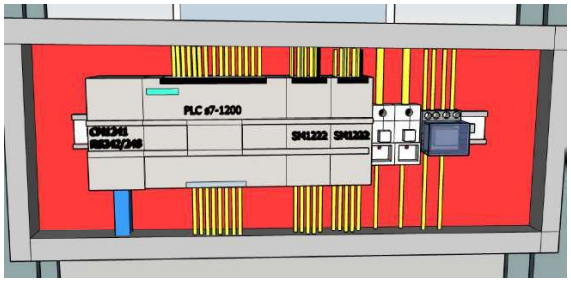


Figura 53. Diseño de panel de control: Rieles, PLC s7-1200, módulo de comunicación ModBus CM1241 RS485, dos módulos de salidas digitales SM 1222, breques, cable utp y cable flexible. Elaborado por el autor

El diseño del panel de control para el variador de frecuencia Sinamics G120 (ver Figura 54 y Figura 55), se implementó con dimensiones reales y con cada uno de sus módulos, switch de encendido y apagado, una luz piloto de encendido del dispositivo, este diseño, sirve para la operación del sistema de ventilación para el proceso de enfriamiento de mosto encaminado en la cervecería artesanal.

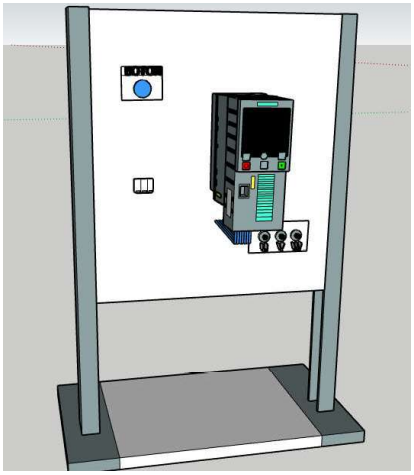


Figura 54. Diseño del panel de control para el variador de frecuencia Sinamics G120. Elaborado por el autor

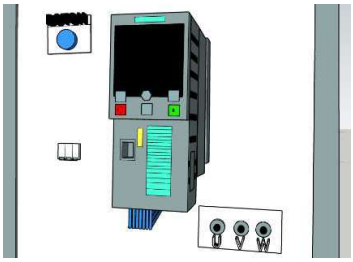


Figura 55. Diseño del variador de frecuencia Sinamics G120.
Elaborado por el autor

El diseño de la caja de control (ver Figura 56), está basado en una real con sus respectivas dimensiones, esta consta en su interior de un controlador de temperatura DTB4848, rieles y borneras para la instalación eléctrica del sistema para el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal.

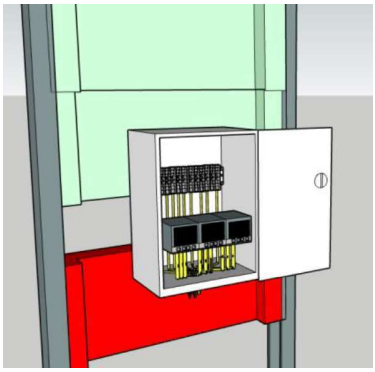


Figura 56. Caja de control para el sistema de enfriamiento de mosto.
Elaborado por el autor

3.2.6 DISEÑO ELÉCTRICO DEL SISTEMA

El diseño eléctrico del sistema es el esquema de conexión de los diferentes equipos y dispositivos como: PLC s7-1200, pantalla HMI DOP-B03E211, controlador de temperatura DTB4848, electroválvulas, bombas magnéticas, motor trifásico Siemens D80, sensor Pt100, botón ON/OFF del sistema, botón de EMERGENCIA y luces piloto ON/OFF del sistema.

Se implementó breakers para prevenir posibles daños en los equipos y dispositivos en caso de existir algún tipo de sobrecarga de corriente, además se realizó una conexión de 110V AC para alimentar al PLC s7-1200 y el controlador de temperatura DTB4848. El sensor de temperatura Pt100 se encuentra conectado de

manera directa al controlador de temperatura DTB4848 y este se comunica con el PLC s7-1200 por medio del protocolo de comunicación ModBus. En la entrada digital del PLC s7-1200 se usó un pulsador de 24V DC para encendido/apagado del sistema y otro de emergencia, las señales de salida digital del PLC s7-1200 están utilizadas para controlar las electroválvulas, bombas magnéticas, luces indicadoras de estado de 110V AC. Véase en la Figura 57 y Figura 58.

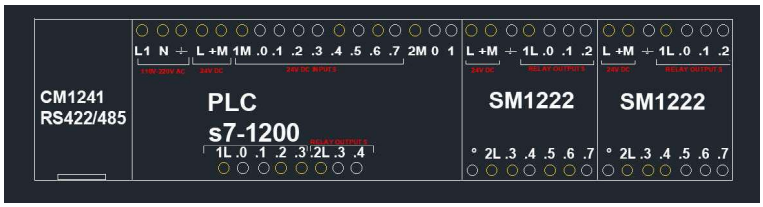


Figura 57. Esquema eléctrico: PLC s7-1200 + Modulo de comunicación CM1241 RS422/485 + 2 Módulos de salidas digitales SM1222. Elaborado por el autor

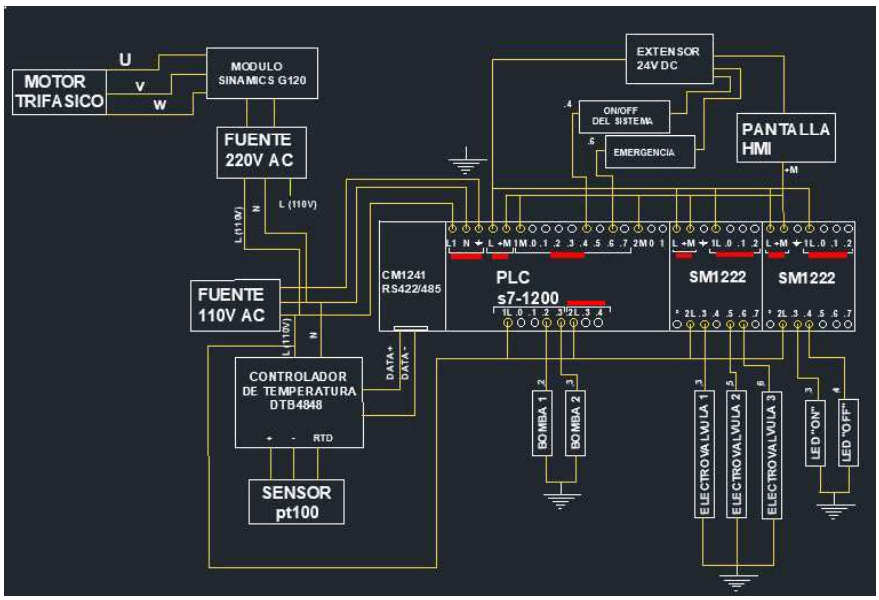


Figura 58. Esquema eléctrico del sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto de la cervecería artesanal. Elaborado por el autor

3.2.7 CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA DTB4848 AL PLC s7-1200

La configuración del controlador de temperatura Delta DTB4848 se efectúa a través del medio de transmisión cable utp categoría 6a en los pines establecidos en la Figura 59, además de su alimentación a 110V AC.

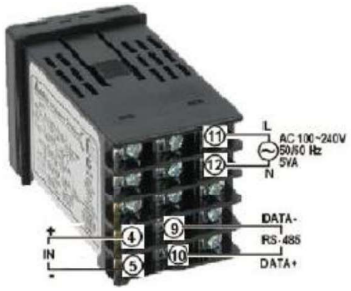


Figura 59. Conexiones del controlador de temperatura Delta DTB4848

Para la conexión del controlador de temperatura DTB4848, se utiliza en un extremo un conector tipo "u" y en el otro extremo un conector DV9 para la conexión del módulo de comunicación ModBus, apropiado al PLC s7-1200. Ver en la Tabla 17.

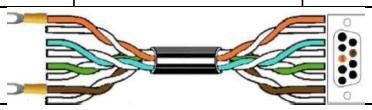
Configuración de conexiones		
Datos (RS 485)	**Controlador de temperatura**	**Conector DV9**
Data -	Contacto 10	Pin 3
Data +	Contacto 9	Pin 8
		

Tabla 17. Configuración de conexiones para transmisión de datos para el protocolo RS485 (Controlador de temperatura – PLC). Elaborado por el autor

Así mismo el variador de frecuencia, tiene su puerto de comunicación RS485 que está adaptado a un conector RJ45, el mismo que es conectado al módulo de comunicación ModBus del PLC s7-1200, mediante un conector tipo DV9 como se muestra en la Tabla 18, que detalla su configuración.

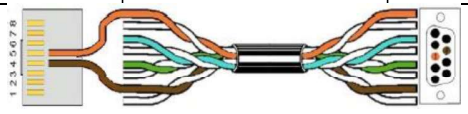
Conexión (Variador de frecuencia – PLC)		
Datos (RS485)	**Variador de frecuencia (RJ-45)**	**Conector DV9**
Data -	Pin 4	Pin 3
Data +	Pin 5	Pin 8
		

Tabla 18. Conexión y configuración para transmisión de datos protocolo RS485 (Variador de frecuencia – PLC). Elaborado por el autor

3.2.8 CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA SINAMICS G120

La configuración del variador de frecuencia Sinamics G120 se efectúa en el software TIA Portal V14, mediante el acceso en línea de dispositivos accesibles en el rango de la red local, se determina el nombre "sinamics_g120" y asigna la dirección IP 192.168.0.13 al dispositivo. Véase en la Figura 60 y Figura 61.

Figura 60. Asignación de dirección IP al módulo variador de frecuencia Sinamics G120

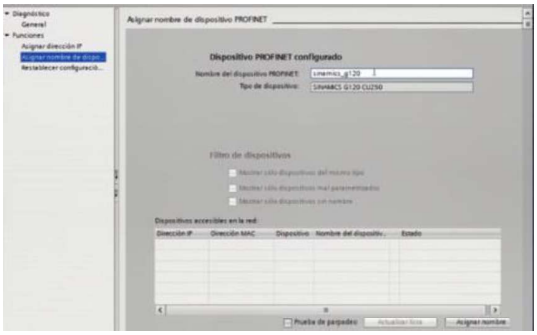


Figura 61. Asignación de nombre al módulo variador de frecuencia Sinamics G120.

Añadimos el variador de frecuencia Sinamics G120 al sistema de enfriado de mosto para lograr la comunicación con el PLC s7-1200. Buscando el dispositivo en el **Catálogo Hardware → Otros dispositivos de campo → Profinet IO → Driver → Sinamics AG → Sinamics → Sinamics G120 CU250S-2 PN VECTOR 4.7.**

Finalmente se logra la comunicación Profinet del Sinamics G120 con el autómata PLC s7-1200 uniendo los puertos de cada dispositivo. (ver Figura 62 y Figura 63).

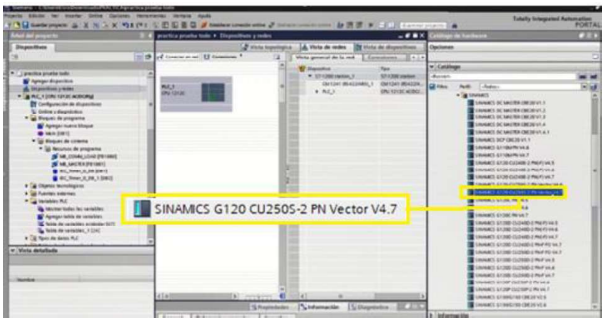


Figura 62. Selección del variador de frecuencia Sinamics G120 CU250S-2 PN Vector V4.7

El variador de frecuencia Sinamics G120 estará conectado a la red mediante comunicación Profinet con el PLC s7-1200. Véase en la Figura 63.

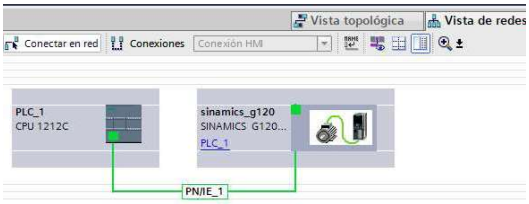


Figura 63. Comunicación Profinet del variador de frecuencia Sinamics G120 con el autómata PLC s7-1200

En el software TIA Portal V14 se ingresa al variador de frecuencia Sinamics G120 y se agrega el Telegrama Estándar en: **Catalogo Hardware → Otros dispositivos de campo → Profinet IO → Drives → Siemens AG → Submódulos → Telegrama estándar 1, PZD-2/2** (ver Figura 64), el cual permite el acceso y uso de las palabras de mando del variador de frecuencia Sinamics G120.

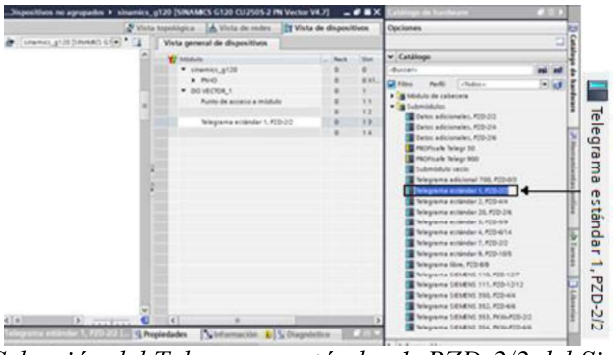


Figura 64. Selección del Telegrama estándar 1, PZD-2/2 del Sinamics G120.

El telegrama Estándar 1 está compuesto por 16 bits, cada bit tiene una función determinada y se indica en la Tabla 19.

BIT	VALOR	DETALLES	VALOR DE COMANDO		
			ENCENDER	INVERSIÓN DE GIRO	PARADA RÁPIDA
0	0	Motor se detiene con el tiempo de deceleración p1121 al llegar a la	0	1	1
	1	El convertidor pasa al estado "listo para servicio" con un flanco positivo, con el bit 3=1 adicional el convertidor conecta el motor.			
1	0	Desconectar seguidamente el motor, produce la parada natural.	1	1	1
	1	Conectar el motor.			
2	0	Parada rápida: el motor Siemens D80 se detiene con el tiempo de declaración OFF3 p1135 hasta la parada.	1	1	0
	1	Parada lenta.			
3	0	Desconectar inmediatamente el motor.	1	1	1
	1	Conectar el motor.			
4	0	La salida del generador de rampa se deshabilita (frenado rápido).	1	1	1
	1	Es posible la habilitación del generador de rampa.			
5	0	La salida del generador de rampa se detiene.	1	1	1
	1	Habilitar generador de rampa.			
6	0	El motor se detiene con el tiempo de declaración p1121.	1	1	0
	1	El motor acelera con el tiempo de aceleración p1120 hasta alcanzar consigna.			
7	1	El fallo se confirma con un flanco positivo. Si todavía está presente la orden ON, el convertidor conmuta al estado "Bloque de conexión"	0	0	0
8		No usado	0	0	0
9		No usado	0	0	0
10	0	Datos de proceso no válidos, se espera alguna señal.	1	1	1
	1	Mando vía bus campo, datos de proceso válidos.			
11	1	La consigna se invierte con el convertidor.	0	1	0
12		No usado.	0	0	0
13	1	Se aumenta la consigna almacenada en el potenciómetro motorizado.	0	0	0
14	1	Se reduce la consigna almacenada en el potenciómetro motorizado.	0	0	0
15	1	Conmutación entre ajustes para distintas interfaces de manejo.	0	0	0
			16#047E	**16#0C7F**	**16#043B**

Tabla 19. Configuración – Telegrama Estándar 1. Manual Sinamics G120

El telegrama Estándar 1, PZD-2/2 permite:

- Entradas de periferia (Envió de datos del PLC s7-1200 al módulo Sinamics G120)
  - ✓ Palabra de mando → QW64
  - ✓ Consigna (Escritura) → QW66
- Salidas de periferia (Leer datos del variador de frecuencia Sinamics G120 y envió al PLC s7-1200)
  - ✓ Palabra de estado → IW68
  - ✓ Consigna lectura → IW70

3.2.9 CONFIGURACIÓN DEL PLC S7-1200 EN TIA PORTAL

La configuración del autómata PLC s7-1200 se realiza en el programa informático TIA PORTAL V14, mediante el acceso en línea de los dispositivos accesibles en el rango de la red local, este software examina el dispositivo y procede a configurar. Se asigna la dirección IP "192.168.0.1" al PLC s7-1200. Véase en la Figura 65.

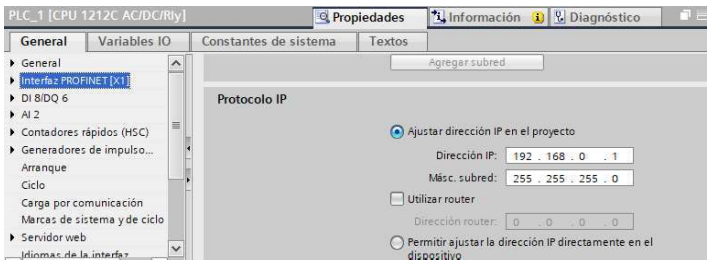


Figura 65. Asignación de dirección IP al PLC s7-1200. Elaborado por el autor

Para la interconexión entre dispositivo es importante habilitar el PUT/GET en la opción de protección (ver Figura 66), la cual permite el acceso para la comunicación entre el PLC s7-1200, pantalla HMI DOP-B03E211 y SINAMICS G120.

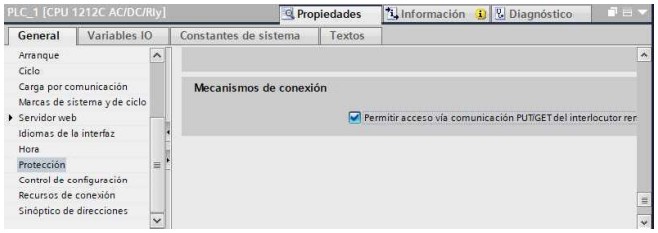


Figura 66. Habilitar opción PUT/GET en la configuración del PLC s7-1200

A continuación, se realiza la declaración de variables a usar en la programación del PLC s7-1200 mediante lenguaje escalera, para ello se le asigna un nombre, tipo de dato y la dirección. Véase en la Figura 67.

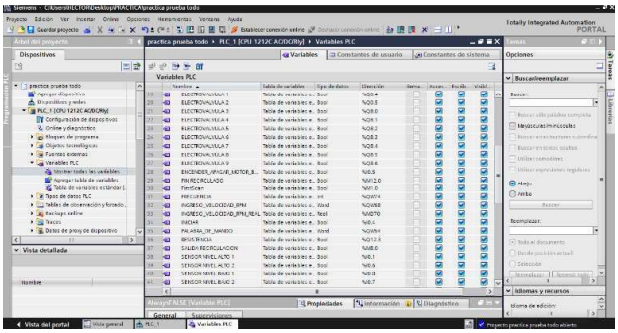


Figura 67. Declaración de variables del sistema en el Software TIA PORTAL V14

Se muestra un diagrama lógico de flujo del proceso de enfriamiento de mosto (ver Figura 68), para realizar el sistema de control automático en el Software TIA PORTAL V14.

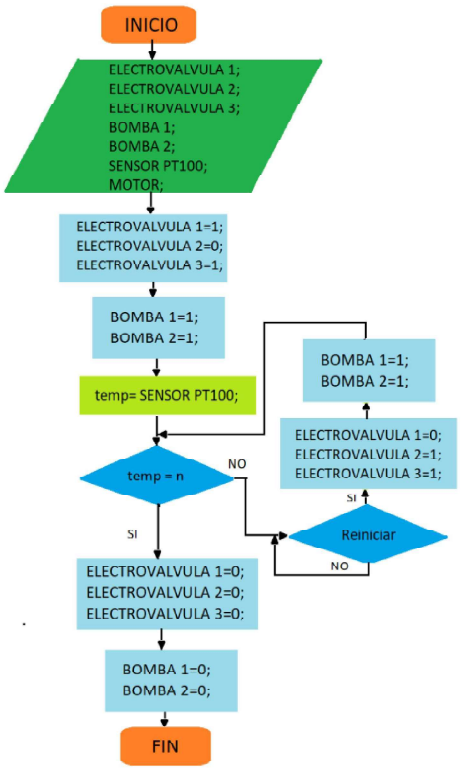


Figura 68. Diagrama de flujo del proceso de enfriamiento de mosto. Elaborado por el autor

En la programación del sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal, se divide en tres etapas de programación mediante lenguaje escalera asignado las variables correspondientes mencionadas anteriormente y su respectiva configuración del PLC s7-1200.

Etapa 1: ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA

La función del sensor Pt100 conectado directamente al controlador de temperatura DTB4848, es medir constantemente la temperatura del recipiente de mosto para lograr un control efectivo sobre las mismas mediante la habilitación, configuración, y lectura de datos al PLC s7-1200 mediante el módulo ModBus.

Habilitación de módulo ModBus

Este bloque de programación "MB_COMM_LOAD" (ver Figura 69), permite la habilitación del módulo ModBus RS485 conectado al PLC s7-1200. Para ello se debe configurar los parámetros detallados en la Tabla 20.

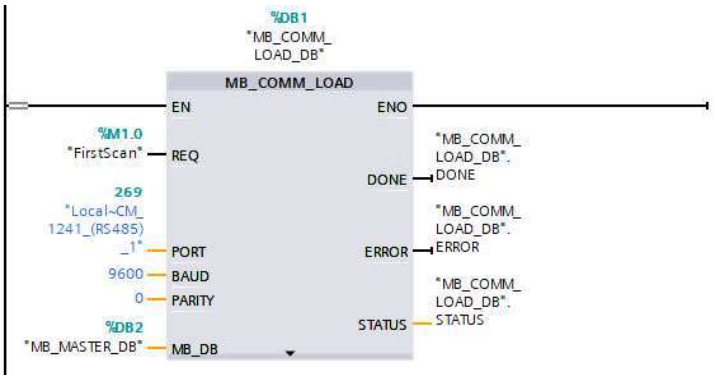


Figura 69. Habilitación del módulo ModBus en el software TIA PORTAL V14

Parámetro	Valor	Función
PORT.	269.	Identificación del puerto de comunicación
BAUD.	9600.	Velocidad de transferencia
REQ.	"FirstScan"	Ejecución de la instrucción
MB_DB.	"MB_MASTER_DB"	Referencia al bloque de datos de instancia
PARITY.	0: Sin paridad	Paridad de datos

Tabla 20. Parámetros de configuración del bloque "MB_COMM_LOAD". Elaborado por el autor

Configuración Set Point en el controlador de temperatura DTB4848.

El bloque de programación "MB_MASTER_DB" (ver Figura 70), es el bloque de control, ya que a través de él se puede efectuar escritura o lectura del control de temperatura mediante comunicación RS485 con el PLC s7-1200. La configuración de este bloque de programación se detalla en la Tabla 21.

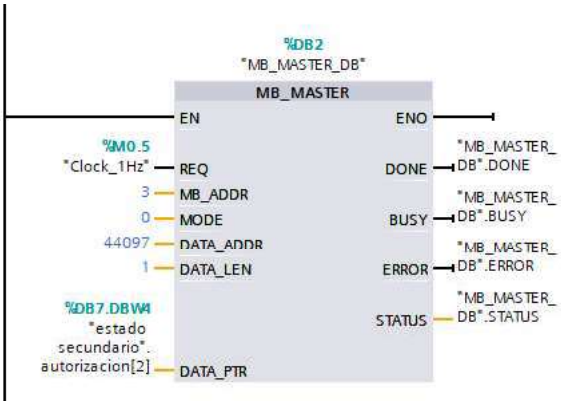


Figura 70. Configuración de parámetros de escritura en el controlador de temperatura DTB4848 en el software TIA PORTAL V14

Parámetro	Valor	Función
DATA_PTR.	Data block "estado secundario, registro #3."	Dirección donde se copian los datos.
DATA_LEN.	1.	Cantidad de registros a copiar.
DATA_ADDR.	44098: Registro interno del controlador de temperatura donde se asigna el set point.	Registro donde se escribirán los datos de temperatura.
REQ.	"Clock_1Hz"	Frecuencia con la que hace lectura de temperatura.
MB_ADDR.	1: Controlador de temperatura del recipiente de mosto.	Dirección en la red ModBus del dispositivo
MODE.	1: Escritura	Modo escritura/lectura

Tabla 21. Configuración de parámetros de escritura del controlador DTB4848 mediante el bloque "MB_MASTER_DB". Elaborado por el autor

Lectura de temperatura del recipiente de mosto

Este bloque permite realizar la adquisición del dato instantáneo de temperatura, se activa cuando el PLC s7-1200 determina que el recipiente de mosto se encuentra con líquido a una temperatura alta. Véase en la Tabla 22.

Parámetro	Valor	Función
DATA_PTR.	Data block “Datos temperatura, registro #0”	Dirección de base de datos del PLC s7-1200 donde se almacena los valores de temperatura.
DATA_LEN.	1	Cantidad de registros que van a leer desde el controlador de temperatura DTB4848.
DATA_ADDR.	44097: Registro interno del controlador de temperatura DTB4848 donde se almacena el dato del sensor Pt100.	Registro interno del controlador de temperatura DTB4848 donde se almacena el valor de temperatura captado por el sensor Pt100.
REQ.	“Clock_1Hz”	Frecuencia con la que se hace la toma de la temperatura.
MB_ADDR.	1: Controlador de temperatura del reservorio de mosto.	Dirección de dispositivo en red ModBus.
MODE.	0: Lectura	Modo escritura/Lectura.

Tabla 22. Configuración de parámetros para leer datos de temperatura en el reservorio de mosto. Elaborado por el autor

Etapa 2: PROCESO DE ENFRIADO DE MOSTO

La funciona del software TIA PORTAL V14 en esta etapa de programación es de asignarle al PLC s7-1200 cada uno de los dispositivos y equipos una entrada y salidas, para asegurar el monitoreo y control del sistema enfocado en la cervecería artesanal, mediante programación en lenguaje escalera.

Encendido/apagado del sistema

En la programación realizada se observa el encendido/apagado del sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto (ver Figura 71 y Figura 72), existen dos maneras de encender y apagar el sistema, de forma física mediante un pulsador de la marca CAMSCO y de forma virtual mediante la interfaz gráfica desde la pantalla HMI DOP-B03E211. Además, permite encender luces piloto tanto en el tablero de control como en la pantalla de indicadores virtuales.

Figura 71. Programación en lenguaje escalera para el encendido del sistema

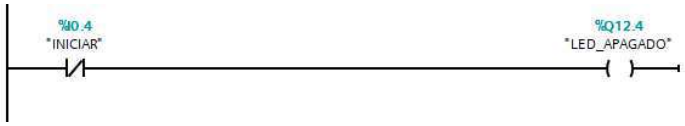


Figura 72. Programación en lenguaje escalera para el apagado del sistema

Control de llenado del recipiente de mosto

La siguiente programación permite ascender la bomba magnética y abrir la electroválvula para el control de llenado del recipiente de mosto, para lograr aquello el proceso de cocción cuenta con dos sensores de nivel, estos sensores dan inicio al de manera automática el proceso de enfriamiento de mosto. Véase en la Figura 73.

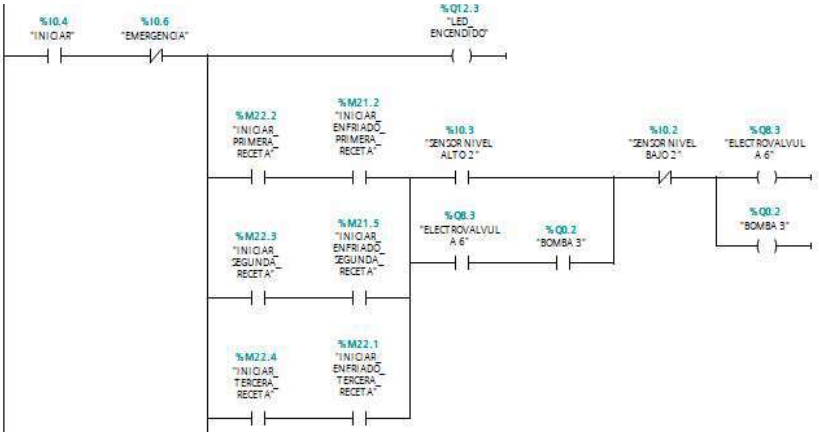


Figura 73. Control de llenado del recipiente de mosto

Control de circulación/recirculación de mosto y agua

En la siguiente programación se observa el control de recirculación de mosto y agua, dependiendo de la variable de temperatura leída desde la ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA por el PLC s7-1200, para la elaboración de cada una de las recetas de cerveza artesanal.

La lógica del diagrama de flujo mencionado anteriormente se efectúa en la programación realizada en el software TIA PORTAL V14, se tiene que si la temperatura del mosto es igual a la de la receta establecida el líquido pasará al siguiente proceso de fermentación, caso contrario deberá pasar de nuevo por el proceso de enfriamiento (ver Figura 74).

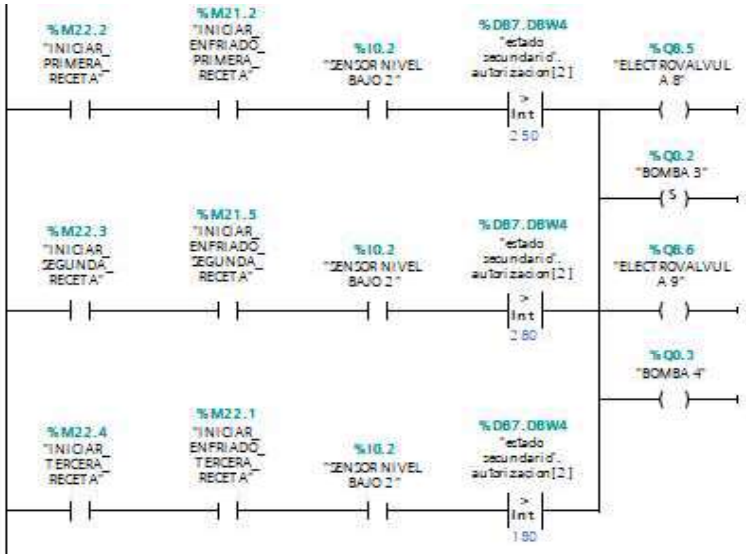


Figura 74. Programación de control de circulación y recirculación de mosto

En esta etapa la programación realizada efectúa el inicio del proceso de enfriado de mosto de cada receta, mediante la interacción del usuario con la pantalla HMI. El bloque TP Time se usó para tener una señal y ocuparla como mensaje por un periodo de diez segundos para agregar levadura a cada estilo de receta de cerveza artesanal a elaborar. Véase en la Figura 75, Figura 76 y Figura 77.

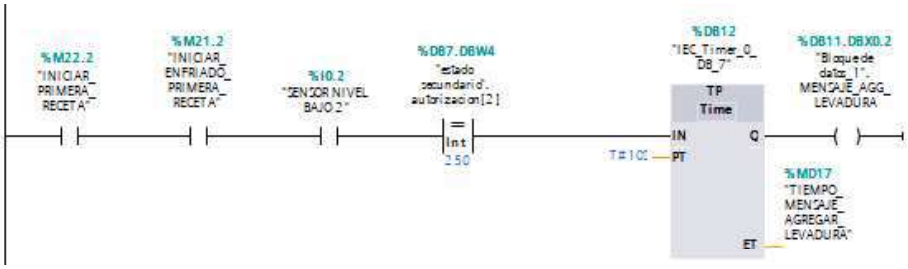


Figura 75. Programación para el inicio de la primera receta del sistema

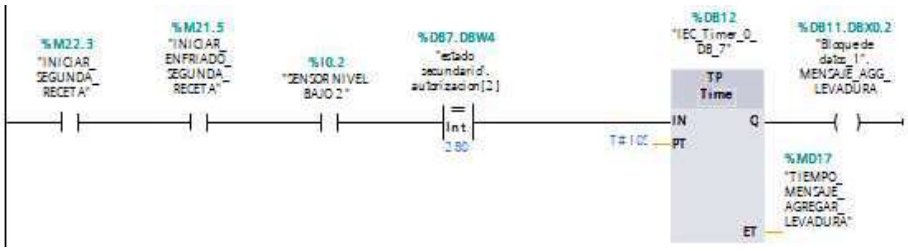


Figura 76. Programación para el inicio de la segunda receta del sistema

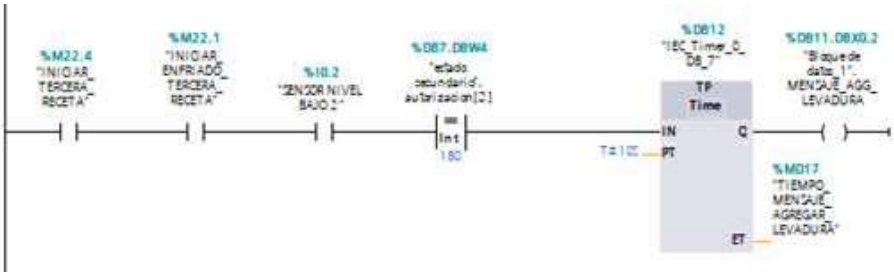


Figura 77. Programación para el inicio de la tercera receta del sistema

Etapa 3: CONTROL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

En esta etapa la programación efectuada en el software TIA PORTAL V14, se basa en la habilitación, configuración, regulación de frecuencia, y control de velocidad del motor trifásico usado en el sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto de la cervecería artesanal.

Accionamiento del motor Siemens D80

Se muestra un diagrama lógico de flujo de acuerdo a la programación de encendido y apagado del motor eléctrico trifásico Siemens D80 para el sistema de ventilación dentro del proceso de enfriamiento de mosto encaminado en la cervecería artesanal. Véase en la Figura 78.

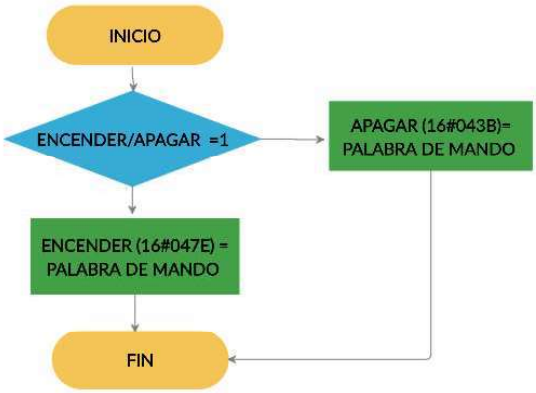


Figura 78. Diagrama lógico del encendido y apagado del motor eléctrico trifásico Siemens D80. Elaborado por el autor

Para el encendido y apagado del sistema de ventilación para el proceso de enfriamiento de mosto, se realiza a través del variador de frecuencia Sinamics G120 basándose en el Telegrama 1 de la configuración del dispositivo, al activar (**M10.0**) se enciende mediante la palabra de mando ENCENDER que en el valor hexadecimal es igual a 16#047E, y respectivamente se le asigna el registro

QW64:P. Para parar el motor se asigna la palabra de mando PARADA RÁPIDA, que en valor hexadecimal es igual a 16#043B asignado el registro **QW64:P**. Véase en la Figura 79.

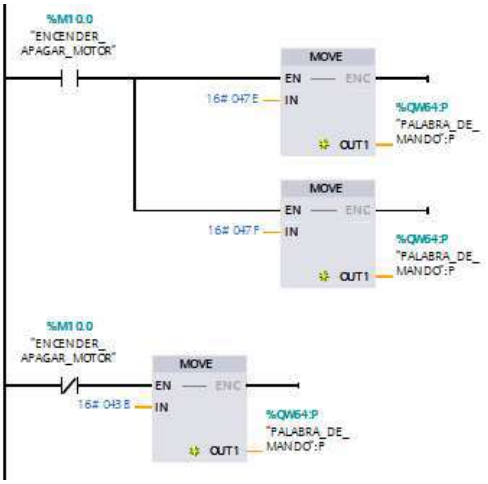


Figura 79. Programación de encendido y apagado del motor trifásico Siemens D80 para el sistema de ventilación

Control de velocidad del motor Siemens D80

Se muestra un diagrama lógico de flujo de acuerdo a la programación elaborada para el ingreso de velocidad del motor trifásico Siemens D80 (ver Figura 81), mediante el variador de frecuencia Sinamics G120 usado en el sistema de ventilación del proceso de enfriamiento de mosto encaminado en la cervecería artesanal.

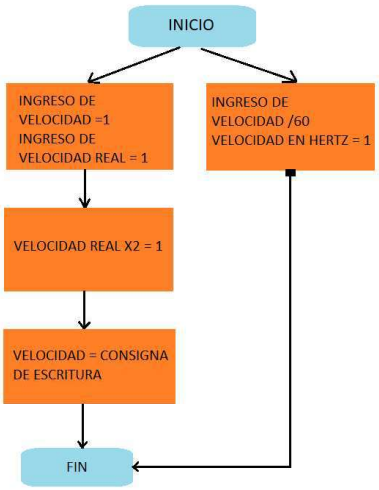


Figura 80. Diagrama lógico del ingreso de velocidad del motor eléctrico trifásico D80. Elaborado por el autor

Mediante el registro **QW68** se efectúa el ingreso de la velocidad para el control PID Autotuning, la unidad de medida es de 0 a 3000rpm, el cual necesita ser convertido a una escala de 0 a 16384, en la que se realiza una conversión asignando el registro **QW66**, de igual forma se realiza una operación que permite adquirir el valor en Hz. Véase en la Figura 82.

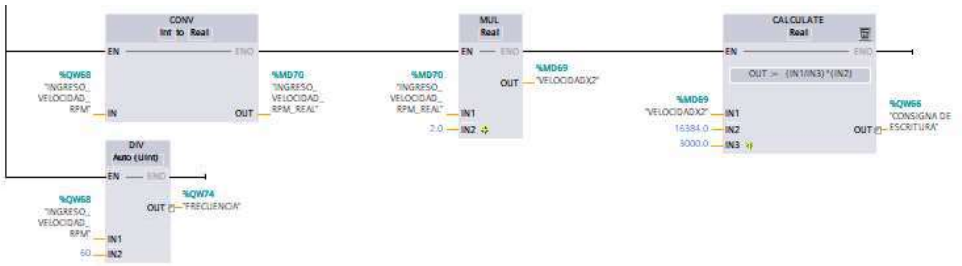


Figura 81. Programación para la conversión de rpm y hz del motor en el control PID Autotuning. Elaborado por el autor

3.2.10 DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI

En el desarrollo de la interfaz gráfica se utilizó el software DOPSoft para configurar la pantalla HMI DOP-B03E211, y se realizó la comunicación basada en el protocolo Profinet entre el HMI y el PLC s7-1200, ingresando manualmente en la pantalla HMI la dirección IP: 192.168.0.3 y la máscara de subred 255.255.255.0. Véase en la Figura 83.

Figura 82. Ingreso de dirección IP y mascara de subred en la pantalla HMI DOP-B03E211. Elaborado por el autor

Para empezar la configuración en el software debemos crear un nuevo archivo y agregarle un nombre, es necesario configurar la pantalla HMI de la serie B, con el modelo DOP-B03E211. Véase en la Figura 84.

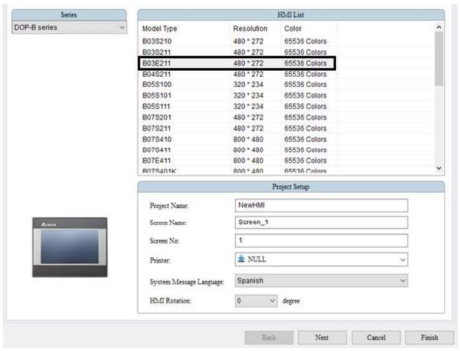


Figura 83. Inicio del software DOPSoft y selección de la pantalla HMI serie DOP-B03E211

Después de seleccionar la serie de la pantalla Delta DOP-B03E211 que se va a utilizar, se debe seleccionar el puerto Ethernet1 para la comunicación en la red. Asignando la dirección IP 192.168.0.3 para tener la comunicación con el PLC s7-1200. Véase en la Figura 85.

Figura 84. Selección de puerto e interface para comunicación entre la pantalla Delta DOP-B03E211 y el PLC s7-1200. Elaborado por el autor

Aparecerá un cuadro en blanco que simula la pantalla DELTA DOP-B03E211 con sus respectivas dimensiones, dentro de este cuadro podemos editar y configura para hacer pruebas reales y simulaciones del proceso, siempre y cuando al compilar y cargar, este no presente errores. Véase en la Figura 86.

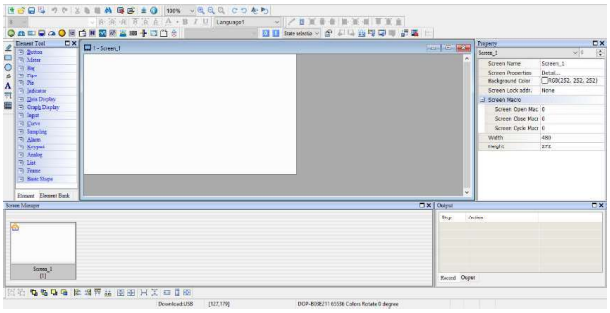


Figura 85. Cuadro de programación de una pantalla Delta DOP-B03E211 en el software DOPSoft v2.00.05. Elaborado por el autor

Se muestra un diagrama de bloque de acuerdo al diseño de la interfaz gráfica HMI para el proceso de enfriamiento de mosto enfocado en la cervecería artesanal. Véase en la Figura 87.

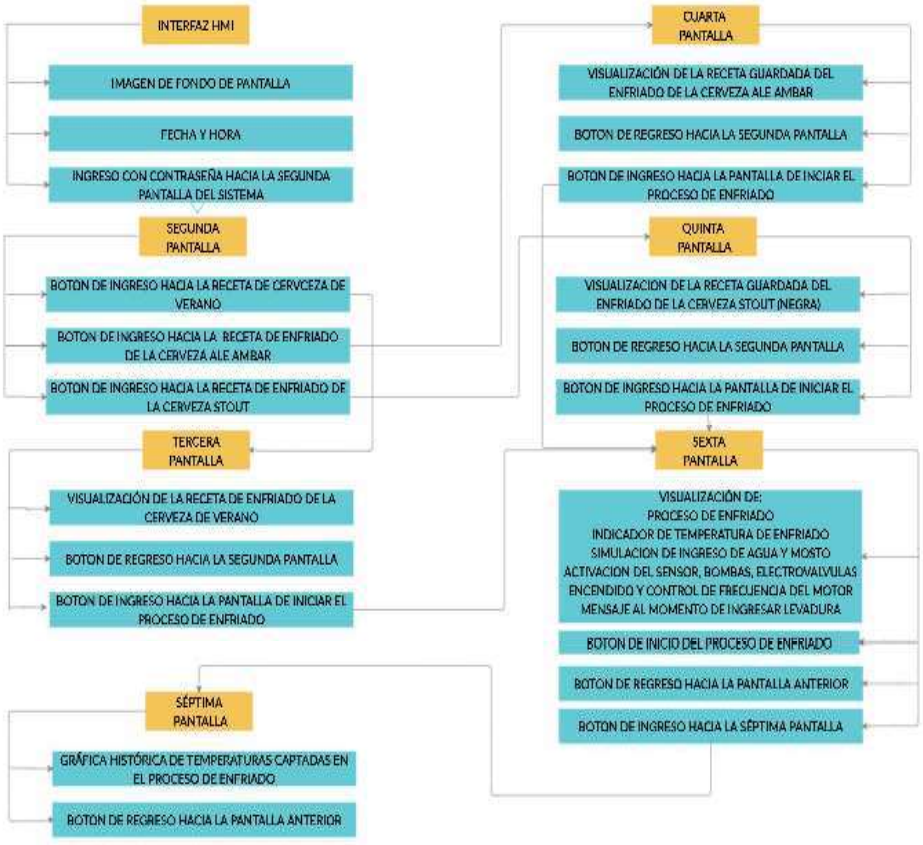


Figura 86. Diagrama de bloques del sistema acuerdo al diseño de la interfaz HMI. Elaborado por el autor

La interfaz gráfica del sistema de enfriamiento de mosto de la cervecería artesanal este compuesto por catorce pantallas, de las siete especificaciones en el diagrama de bloques mencionado anteriormente para de control automático de los diferentes equipos y dispositivos.

La primera pantalla muestra un fondo de una imagen de cerveza artesanal, hora y fecha, además permite el ingreso al sistema mediante una contraseña desde un teclado numérico. Véase en la Figura 88.

Figura 87. Pantalla de ingreso al sistema. Elaborado por el autor

En la segunda pantalla (ver Figura 89), se observa las tres recetas almacenadas en la interfaz HMI, el usuario puede seleccionar cualquier receta para efectuar el proceso, esta pantalla cuenta con un botón para regresar a la pantalla anterior.

Figura 88. Pantalla de recetas. Elaborado por el autor

La pantalla tres y cuatro (ver Figura 90 y Figura 91), corresponden a la visualización de la primera receta que pertenece a CERVEZA DE VERANO (Castle Malting), en la pantalla tres es necesario presionar "iniciar primera receta" para activar el sistema y presionar en el proceso de ENFRIADO para ir a la pantalla cuatro en la que se observa el valor de temperatura requerido para ese tipo de receta en la elaboración de cerveza artesanal. Además, cuenta con un botón de regreso a la pantalla anterior y pantalla siguiente.

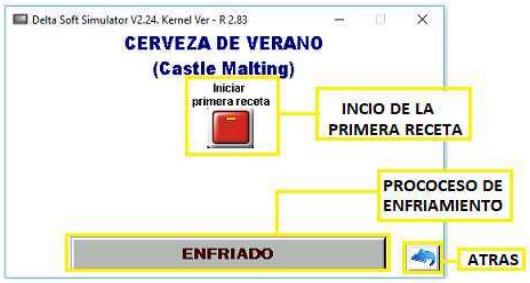


Figura 89. Pantalla de la primera receta para el proceso de enfriado de mosto en la elaboración de cerveza artesanal

Figura 90. Pantalla de temperatura establecida en la receta "CERVEZA DE VERANO (Castle Malting)"

La pantalla siete y ocho (ver Figura 92 y Figura 93), corresponden a la visualización de la segunda receta que pertenece a CERVEZA ALE ÁMBAR, en la pantalla siete es necesario presionar "iniciar segunda receta" para activar el sistema y presionar en el proceso de ENFRIADO para ir hasta la pantalla ocho en la que se observa el valor de temperatura requerido para ese tipo de receta en la elaboración de cerveza artesanal. Además, cuenta con botón de regreso a la pantalla anterior y pantalla siguiente.

Figura 91. Pantalla de la segunda receta para enfriado de mosto en la elaboración de cerveza artesanal

Figura 92. Pantalla de temperatura establecida en la receta "CERVEZA ALE ÁMBAR"

La pantalla once y doce (ver Figura 94 y Figura 95), corresponden a la visualización de la tercera receta que pertenece a CERVEZA STOUT (NEGRA), en la pantalla once es necesario presionar "iniciar tercera receta" para activar el sistema y presionar en el proceso de ENFRIADO para ir hasta la pantalla doce en la que se observa el valor de temperatura requerido para ese tipo de receta en la elaboración de cerveza artesanal. Además, cuenta con botón de regreso a la pantalla anterior y pantalla siguiente.

Figura 93. Pantalla de la tercera receta para enfriado de mosto en la elaboración de cerveza artesanal

Figura 94. Pantalla de temperatura establecida en la receta "CERVEZA STOUT (NEGRA)"

La pantalla cinco, nueve, y trece son similares corresponden al monitoreo y control del proceso de enfriado de mosto (ver Figura 96), esta pantalla tendrá un botón para iniciar el proceso de cada receta y activar los equipos o dispositivos electrónicos implementados en el sistema, se observa el funcionamiento del proceso mediante indicadores virtuales, además tiene un mensaje de alerta para agregar levadura en el mosto una vez captada la temperatura establecida para continuar al siguiente proceso de fermentación y maduración.

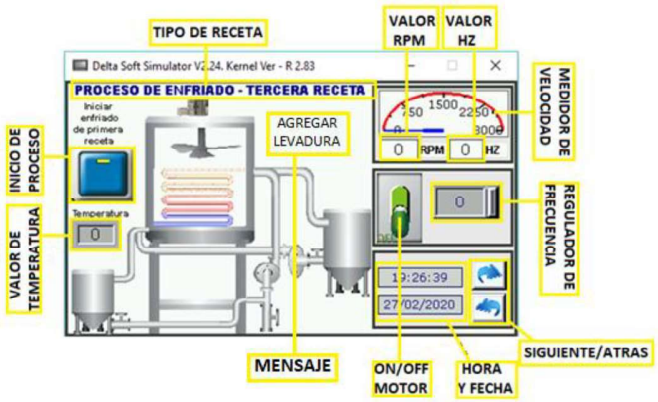


Figura 95. Pantalla de inicio del proceso de enfriado de mosto de la receta seleccionada

En las pantallas mencionadas anteriormente, tienen un botón de encendido y apagado para el sistema de ventilación, además se puede agregar un valor numérico de 0 a 3000, para regular la frecuencia del motor y tener el control de velocidad del mismo. Véase en la Figura 97.

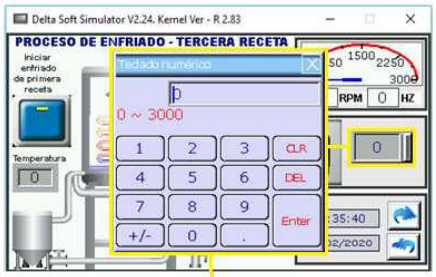


Figura 96. Teclado numérico para agregar un valor de velocidad al motor

La pantalla seis, diez, y catorce corresponden a la gráfica de tendencias e históricos de las temperaturas del proceso de enfriamiento de mosto de la cervecería artesanal (ver Figura 98), además de un botón de regreso a la pantalla anterior de cada receta.

Figura 97. Pantalla de gráfica de tendencias e históricos de las temperaturas de las recetas

3.2.11 ANÁLISIS DE AHORRO EN MATERIA HÍDRICA Y ENERGÉTICA

En el sistema de control automático enfocado en el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal, se debe tomar en cuenta que este proceso se efectúa en un promedio de ocho horas diarias, realizando de esta manera un análisis de ahorro de materia hídrica y energética para el sistema mediante métodos científicos y cálculos matemáticos.

Ahorro de materia hídrica

El ahorro hídrico se debe a que el proceso de enfriado usa un sistema de reutilización de agua en un recipiente plástico, evitando así el consumo excesivo e innecesario para el enfriamiento. Cabe reiterar que el agua usada en el proceso de enfriado de mosto ingresa a temperatura ambiente, que oscila entre 20°C a 25°C y finaliza con una temperatura mayor, razón por lo que no se puede reutilizar el agua de manera inmediata. Para determinar el tiempo que requiere para enfriarse el agua se ha recurrido al cálculo matemático establecido por la ley de enfriamiento de Newton. La tasa de enfriamiento de un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y su ambiente.

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_m) \qquad Ecuación\ 1$$

$$T_t = Ce^{-kt} + T_m \qquad Ecuación\ 2$$

Donde:

T_t: $Temperatura\ del\ cuerpo\ a\ tiempo\ t.$
K: $Coeficiente\ de\ calentamiento.$
t: $Tiempo\ en\ horas$
T_m: $Temperatura\ ambiental$

Por lo tanto:

Solución de la ecuación al t=0 donde el agua alcanza máximo 35°C.

$$T_o = Ce^{-k0} + 20 \qquad Aplicación\ de\ parámetros$$

$$35 = C + 20 \qquad Resultado\ 1$$

$$C = 15[°C] \qquad Resultado\ 2$$

Tiempo necesario para enfriar el agua a 25°C a partir de la ecuación diferencial propuesta.

$$25 = 15e^{-0,5t} + 20 \qquad Aplicación\ de\ parámetros$$
$$25 - 20 = 15e^{-0,5t} \qquad Resultado\ 1$$
$$\frac{5}{15} = e^{-0,5t} \qquad Resultado\ 2$$
$$In(\frac{5}{15}) = In(e^{-0,5t}) \qquad Resultado\ 3$$
$$-1,09 = -0,5t \qquad Resultado\ 4$$
$$t = \frac{-1,38}{-0,5} \qquad Resultado\ 5$$
$$t = 2,18\ [horas] \qquad Resultado\ 6$$

Terminado de solucionar la ecuación y hallado el tiempo de enfriado del agua, se concluye que el agua se puede volver a reutilizar luego de 2 horas con 10 minutos de reposo.

Ahorro de materia energética

En un motor eléctrico trifásico, la corriente eléctrica que circula es una carga trifásica equilibrada, la cual está dada por la siguiente expresión matemática.

$$I = P/[\sqrt{3}\,U\ cos\varphi] \qquad Ecuación\ 3$$

Donde, tenemos que P es la potencia eléctrica del motor la cual estará dada en (watts); U la tensión entre los conductores (voltios); cos (φ), el factor de potencia del motor eléctrico, e I, la intensidad de corriente eléctrica medida en (amperios). Véase en la Tabla 23.

CALCULO DE LA CORRIENTE DEL MOTOR SIEMENS D80		
DATOS U = 220 V P = 1 HP COS (φ) = 0.77	**DATOS** U = 380 V P = 1 HP COS (φ) = 0.77	**DATOS** U = 440 V P= 1 HP COS (φ) = 0.77
$I = P/[\sqrt{3}\,U\ cos\varphi]$ $I = 3.41A$	$I = P/[\sqrt{3}\,U\ cos\varphi]$ $I = 1.91A$	$I = P/[\sqrt{3}\,U\ cos\varphi]$ $I = 1.70A$

Tabla 23. Valores de Corriente del motor eléctrico trifásico Siemens D80 referente al voltaje de alimentación. Elaborado por el autor

En materia energética el ahorro se debe al uso del variador de frecuencia en el motor eléctrico trifásico Siemens D80 del ventilador extractor, lo que reduce el consumo de energía y altos picos de voltaje en el momento del arranque y durante el proceso al no encontrarse en su máxima potencia.

3.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

A continuación, se muestra un estudio de factibilidad técnica y costos del proyecto para el diseño e implementación del sistema de control automático.

3.3.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

En el desarrollo del sistema automatizado para el proceso de enfriamiento de mosto enfocado en la cervecería artesanal, se utilizan equipos tales como PLC s7-1200, sensor de temperatura Pt100 y su respectivo controlador de temperatura DTB4848, un sistema de enfriado mediante recipientes con tuberías conectado a electroválvulas solenoide Bacoeng 2w-160-15 y bombas Keg King MKII, además de la ventilación con el respectivo motor trifásico Siemens D80 conectado al variador de frecuencia Sinamics G120, y una pantalla HMI DOP-B03E211 para el monitoreo y control del proceso a través de una interfaz gráfica.

Se implementó un panel de control para las instalaciones eléctricas adecuadas del PLC s7-1200, pantalla HMI, variador de frecuencia, motor eléctrico trifásico, electroválvulas solenoide, controlador de temperatura DTB4848 y sensor de temperatura Pt100. La torre de enfriamiento implementada es para ayudar al sistema de enfriado por acción directa con el serpentín, mediante extracción de aire por las aspas.

La configuración y programación del controlador PLC s7-1200, se realiza en lenguaje escalera en el software TIA PORTAL v14, permitiendo el control del sistema. DOPSoft es el software en el cual se programa la pantalla HMI Delta DOP-B03E211 para realizar el monitoreo y control del sistema mediante una interfaz gráfica amigable, lo que permite la interacción entre el sistema de automatización

y el usuario en tiempo real, además el medio de transmisión y el protocolo de comunicación permite un envío y recepción de datos al sistema seguro y confiable.

Los equipos, dispositivos y softwares que se usan en la implementación del sistema se adquirieron en plataformas virtuales y en el mercado nacional, mediante pruebas el sistema demuestra su sencilla operatividad y su correcto funcionamiento.

3.3.2 COSTOS DEL PROYECTO

Para determinar el costo total de la implementación del sistema se detallan los costos de equipos, costos de estructura y costos de mano de obra.

Costos de equipos

CANT.	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	MODULO DE SINAMICS G120	$1200,00
1	MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO SIEMENS D80	$180,00
1	PLC s7-1200 CPU 1212C AC/DC/relé	$473,00
1	PANTALLA HMI DELTA DOP-B03E211	$419,00
1	MODULO DE SALIDAS DIGITALES MODELO SM1222	$180,00
1	MODULO DE COMUNICACIÓN MODBUS CM 1241 RS485	$192,75
1	TERMOPAR PT100	$15,00
1	SERPENTÍN CONTRACORRIENTE DE COBRE	$100,00
2	BOMBA MAGNÉTICA KEG-KING MKII	$250,00
3	ELECTROVÁLVULAS SOLENOIDE 1/2 PULG.	$180,00
1	CONTROLADOR DE TEMPERATURA DTB4848	$78,39
TOTAL		**$3268,14**

Tabla 24. Costos de equipos. Elaborado por el autor

Costos de Estructura

CANT.	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE (TORRE DE ENFRIAMIENTO)	$300,00
50m	CABLE ELÉCTRICO #10	$40,00
100m	CABLE ELÉCTRICO #16	$30,00
5	CANALETAS	$5,00
1	CAJA DE CONTROL	$25,00
1	GABINETE DE PARED 7 UR	$140,25
1	ASPAS DE VENTILADOR EXTRACTOR	$15,00
8	SPRAY DE POLIURETANO	$67,84
1	CABLE UTP CAT 6A	$50,00
1	MANGUERA DE SILICONA 3/8	$15,00
1	MANGUERA DE SILICONA 1/2	$18,00
2	RECIPIENTES PLÁSTICOS	$100,00
5	BORNERAS	$7,00
2	LUCES INDICADORES	$2,06
2	PULSADORES	$2,26
1	RIEL LONGITUD 1METRO	$1,85
TOTAL		**$819,26**

Tabla 25. Costos de estructura. Elaborado por el autor

Costo Final

CANT.	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	COSTO DE EQUIPOS	$4768,14
1	COSTO DE ESTRUCTURA	$819,26
1	MANO DE OBRA	$1500,00
TOTAL		**$5587,40**

Tabla 26. Costo final del sistema. Elaborado por el autor

3.4 PRUEBAS Y RESULTADO.

Se realizaron diferentes tipos de pruebas que van desde el funcionamiento de cada equipo o dispositivo del proyecto hasta los resultados que se obtienen una vez acoplado todo el sistema automatizado para el proceso enfriamiento de mosto de la cervecería artesanal.

Pruebas y resultados de la red de comunicación del sistema

Se realiza la asignación de direcciones IP a cada uno de los dispositivos conectados en la red (ver Tabla 27), para la correcta comunicación de los mismos en el sistema.

EQUIPO O DISPOSITIVO	DIRECCIONES IP
PC	192.168.0.9
PLC s7-1200	192.168.0.1
Pantalla HMI	192.168.0.3
Sinamics G120	192.168.0.13

Tabla 27. Direcciones IP de la red del sistema

Para la comprobación de comunicación entre los dispositivos conectados en la red, es necesario asignarle la dirección IP y la máscara de subred a la PC mediante la red Ethernet (TCP/IPv4). Véase en la Figura 99.

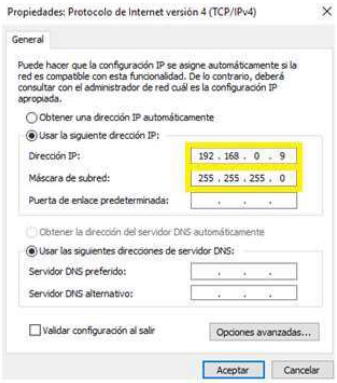


Figura 98. Asignación de dirección IP en la red Ethernet de la PC. Elaborado por el autor

La comprobación de comunicación entre los dispositivos se realiza haciendo PING en la consola CMD desde la PC mediante la dirección asignada a la red. Véase en la Figura 100, Figura 101, Figura 102 y Figura 103.

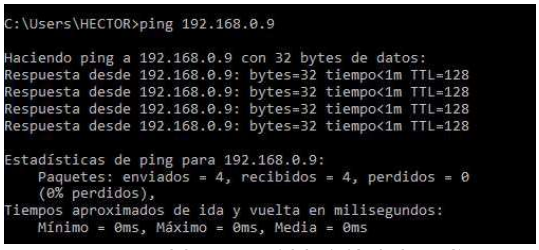


Figura 99. Ping 192.168.0.9, PC. Elaborado por el autor

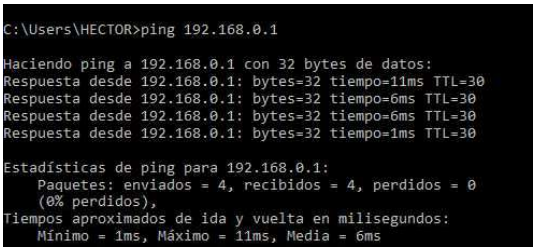


Figura 100. Ping 192.168.0.1, PLC s7-1200.
Elaborado por el autor

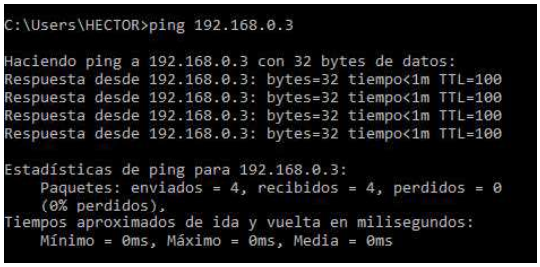


Figura 101. Ping 192.168.0.3, Pantalla HMI.
Elaborado por el autor

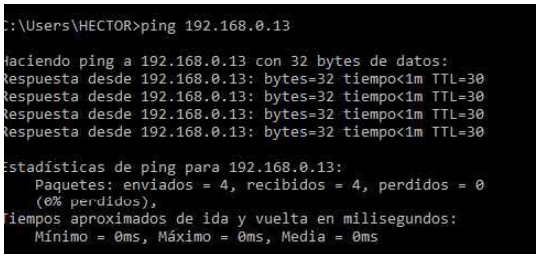


Figura 102. Ping 192.168.0.13, Variador de frecuencia Sinamics G120.
Elaborado por el autor

Prueba de las electroválvulas y bombas magnéticas

Las tres electroválvulas de caudal fueron ubicadas: en la entrada del mosto, en la salida del recipiente de agua y en la salida del recipiente de mosto, siendo las encargadas de abrir o cerrar el paso de mosto caliente y agua fría para la circulación y recirculación del sistema de enfriado, las pruebas de estas electroválvulas se realizaron verificando el encendido/apagado a través de una señal enviada desde el PLC s7-1200 por medio del software TIA PORTAL V14.

La bomba magnética está ubicada de acuerdo al diseño de tubería en el software SketchUp, para realizar las pruebas respectivas, se efectúa en el software TIA

PORTAL V14, comprobando el encendido y apagado mediante una señal del módulo SM1222 de salidas digitales. Véase en la Figura 104.

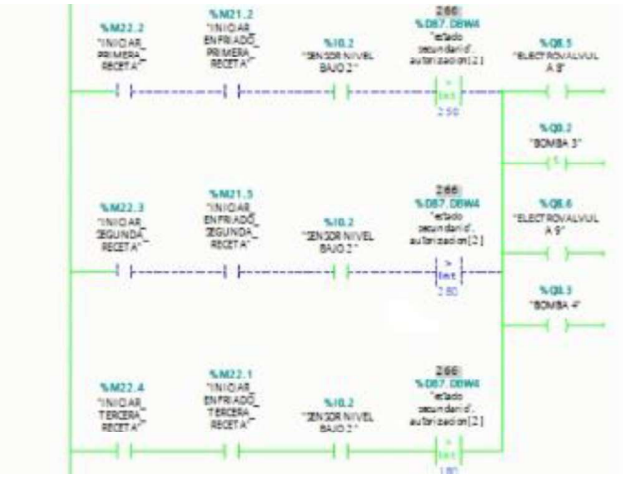


Figura 103. Prueba de encendido de electroválvulas y bombas magnéticas en el software TIA PORTAL V14

Prueba del sensor de temperatura

El sensor de temperatura Pt100 fue colocado, sujetado y enroscado por una tuerca en el centro del recipiente de mosto, para realizar la prueba de este sensor se verifico el envío y recepción de datos en el Software TIA PORTAL V14 (ver Figura 105), especialmente en la comunicación entre el PLC s7-1200 y el controlador de temperatura DTB4848. Se realizó varias pruebas mediante el sensor Pt100 con el fin de poder comprobar que el dato que recibe el controlador de temperatura es el mismo que recibe el PLC s7-1200, con la finalidad de evitar errores posibles en el sistema.

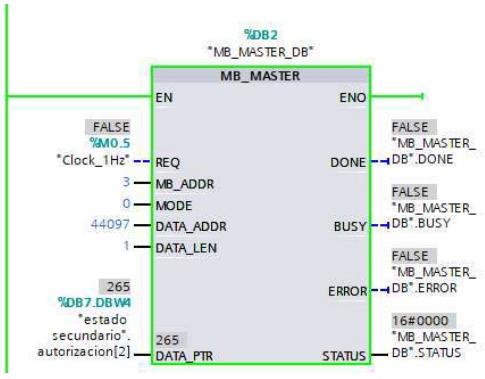


Figura 104. Señal digital receptada en el Software TIA PORTAL V14

Se realizó otra prueba mediante la comparación de temperatura entre el sensor Pt100 visualizando el dato en el controlador de temperatura DTB4848 y un termómetro introduciendo la punta en el mosto (Ver figura 106). Los detalles de la comparación de valores de temperatura se encuentran en la tabla 28.

Figura 105. Temperatura del mosto de la receta CERVEZA DE VERANO (Sensor Pt100 vs Termómetro)

PRUEBA DE TEMPERATURA			
Sensor Pt100	**Termómetro**	**Tiempo**	**Estado del sistema**
75,0 °C	74,6 °C	0 minutos	ON
52,8 °C	52,2 °C	3 minutos	ON
41,9 °C	41,5 °C	5 minutos	ON
33,1 °C	33,7 °C	8 minutos	ON
32,7 °C	33,4 °C	10 minutos	ON
30,1 °C	29,2 °C	12 minutos	ON
28,0 °C	27,4 °C	13 minutos	ON
25,0 °C	25,4 °C	16 minutos	OFF

Tabla 28. Comparación de temperaturas de la receta CERVEZA DE VERANO (sensor Pt100 vs termómetro). Elaborado por el autor

Pruebas y resultado de la interfaz gráfica HMI

El PLC s7-1200 está conectado con la pantalla HMI Delta DOP-B03E21 dentro de la red de comunicación Ethernet, para realizar la respectiva prueba se debe considerar que el usuario controla el sistema.

Las pruebas consisten en la transmisión y recepción de datos entre la pantalla HMI y el usuario, mediante el ingreso de la contraseña en la pantalla HMI para el acceso al sistema de control automatizado para el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal. Véase en la Figura 107.

Figura 106. Ingreso de contraseña para acceso al sistema

El usuario puede iniciar el proceso enfriamiento de mosto para cualquiera de las recetas mostradas en la pantalla HMI y tener la opción de regresar a la pantalla anterior (ver Figura 108).

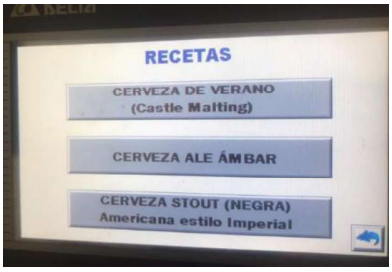


Figura 107. Acceso a las recetas del sistema

En la interfaz también se realiza el control y monitorio del proceso con su respectivo encendido del sistema presionando un botón virtual (ver Figura 109 y Figura 110).

Figura 108. Prueba de enfriado de mosto para la receta CERVEZA ALE ÁMBAR

Figura 109. Mensaje para AGREGAR LEVADURA de la receta CERVEZA ALE ÁMBAR

La interfaz HMI y el control automático del proceso de enfriamiento de mosto mediante el PLC s7-1200, se obtiene su respectiva grafica de tendencia del sistema para la receta CERVEZA ALE ÁMBAR (ver Figura 111), y demás recetas a elaborar. Véase en la Figura 112 y Figura 113.

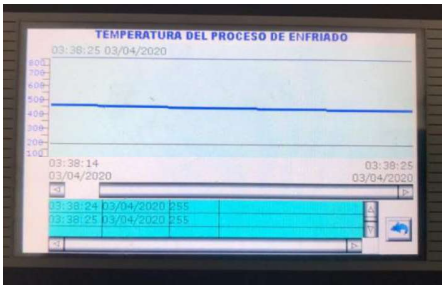


Figura 110. Gráfica de tendencia e historia del sistema de enfriamiento de mosto de la receta CERVEZA ALE ÁMBAR

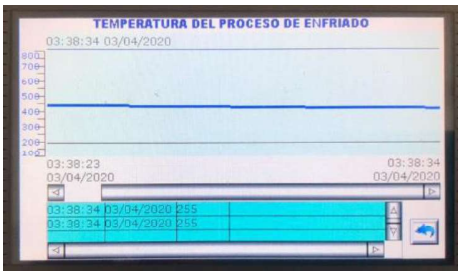


Figura 111. Gráfica de tendencia e historia del sistema de enfriamiento de mosto de la receta CERVEZA DE VERANO

Figura 112. Gráfica de tendencia e historia del sistema de enfriamiento de mosto de la receta CERVEZA STOUT (NEGRA)

Prueba del variador de frecuencia Sinamics G120

La prueba del variador de frecuencia Sinamics G120 se realiza mediante un control PID Autotuning, presionando un botón virtual para el control de encendido/apagado del sistema de ventilación, y efectuar el ingreso de velocidad de 0 a 3000rpm desde un teclado numérico virtual de la interfaz HMI del proceso (ver Figura 114).

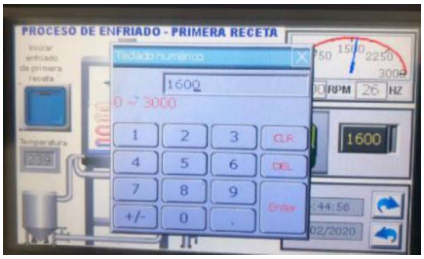


Figura 113. Ingreso de velocidad al motor mediante el teclado numérico del sistema

Para ejecutar el control PID Autotuning se utiliza la PALABRA DE MANDO y consignas (escritura), tomadas del Telegrama Estándar 1 del variador de frecuencia Sinamics G120, mismo que sirve para encender, apagar y regular la frecuencia del motor trifásico Siemens D80 desde la interfaz HMI. Ver Figura 115 y Figura 116.

Figura 114. Control de velocidad mediante el variador de frecuencia Sinamics G120

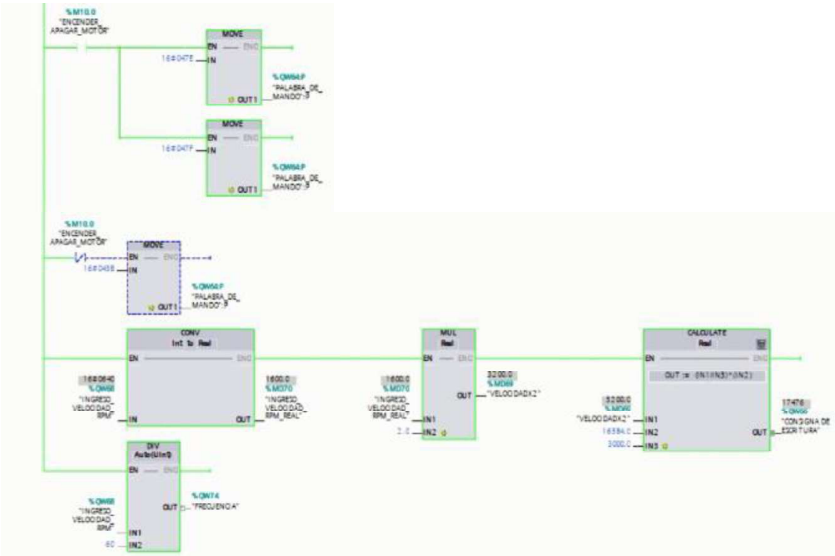


Figura 115. Funcionamiento del control PID autotuning para el sistema de ventilación en el software TIA PORTAL V14

CONCLUSIONES

En base a los requerimientos para la solución del problema, mediante controladores, actuadores y módulos (PLC s7-1200, Sinamics G120), se determinó que la mejor opción es la implementación de la red con arquitectura mixta es decir red ModBus y Ethernet, debido a las distintas interfaces que estos dispositivos manejan.

En el diseño de la interfaz gráfica se utiliza el software DOPSoft versión 2.00.05, ya que este programa contiene un editor compatible con Windows y compatible con la serie Delta DOP-B03E211 de pantallas HMI, siendo factible para el monitoreo y control del sistema de enfriamiento de mosto, además de que cuenta con una comunicación Ethernet segura y confiable al PLC s7-1200.

La implementación del sensor Pt100 conectado sus terminales al controlador de temperatura Delta DTB4848 y una comunicación segura con el PLC s7-1200 mediante el protocolo ModBus, permite tener una lectura de temperatura del recipiente de mosto seguro y confiable, para el monitoreo y control del sistema automático enfocado en el proceso de enfriamiento de mosto en la cervecería artesanal, mostrando el dato de temperatura en la interfaz gráfica de la pantalla HMI DOP-B03E211.

El uso del módulo Sinamics G120 en el sistema de ventilación para el proceso de enfriamiento de mosto permite lograr un arranque suave, estabilización y control del motor eléctrico trifásico Siemens D80, mediante la asignación de un valor numérico de 0 a 3000 en la pantalla HMI DOP-B03E211 y el control PID Autotuning implementado en la programación de lenguaje escalera del sistema, obteniendo como resultado un ahorro energético.

El diseño geométrico del serpentín y el uso del ventilador extractor dentro de la torre de enfriado, consigue un enfriamiento de 50 litros de mosto tardando entre 15 a 18 minutos, ya que la transferencia de calor logra la temperatura establecida para su fermentación y maduración de manera eficaz y rápida, en comparación a la manera artesanal por baño maría que tardaría alrededor de 30 minutos de enfriado.

RECOMENDACIONES

Para la implementación de la estructura física, se recomienda que la tubería y elementos a utilizar sean de acero inoxidable e impermeable para evitar algún tipo de contaminación del mosto y lograr una larga conservación de la misma. No descuidando los tiempos de mantenimiento de los equipos ya que estos presentando alguna falla no cumplirán con los objetivos planteados.

Es importante tener cuidado con el serpentín de manguera/cobre de las deformaciones excesivas, para mantener su vida útil y buen funcionamiento en el transcurso del enfriamiento de mosto.

Para el sistema de automatización enfocado en la cervecería artesanal, se realizó un estudio de cada equipo o dispositivo a usar dentro del proyecto, así como la elección del PLC adecuado ya que está directamente relacionado con las características del proceso a automatizar, los equipos de control deben instalarse en un rack de cabina, además el motor eléctrico trifásico D80 del sistema de ventilación y el serpentín deben estar protegido por la estructura de la torre de enfriamiento, con esto se logra reducir los daños ocasionados por la corrosión prolongando la vida útil y el tiempo de mantenimiento de los equipos.

Finalmente, para lograr un enfriado de mosto más rápido y reducir el uso excesivo de recursos hídricos, se recomienda usar cubos o pedazos de hielo dentro del recipiente de agua, debido a que la temperatura de este recurso no es muy adecuada en ciertas zonas del país por el clima, ya a que se calienta rápido en el intercambio de calor y es necesario cambiar el agua del recipiente muy seguido.

BIBLIOGRAFÍA

[1] D. Varela Naranjo, «Cómo elaborar cerveza artesana, explicado paso a paso,» 02 07 2019. [En línea]. Available: https://installbeer.com/blogs/diariocervecero/como-elaborar-cerveza-artesana.

[2] Asociación de cerveceros artesanales Ecuador, «Cervecerías artesanales en Ecuador,» 2012. [En línea]. Available: http://cervezaartesanalecuador.com/.

[3] L. C. y. M. INSUASTI, «Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada (Hordeum vulgare) y yuca (Manihot Esculenta Crantz),» 2010. [En línea]. Available: https://www.coursehero.com/file/33626655/TESIS-ELABORACI%C3%93N-DE-CERVEZA-ARTESANAL-UTILIZANDO-CEBADApdf/.

[4] M. F. Colignon y G. E. Roldán, «Automatización de proceso para elaboración de cerveza artesanal,» *Informe Proyecto Final,* p. 148, 2018.

[5] L. VILLEGAS, «Reingeniería de la planta de cerveza artesanal Cherusker,» 2013. [En línea]. Available: https://docplayer.es/887207-Universidad-central-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-quimica-carrera-de-ingenieria-quimica-reingenieria-de-la-planta-de-cerveza-artesanal-cherusker.html.

[6] «Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021,» 2017. [En línea]. Available: https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf.

[7] B. Varona Figueredo, R. González Gutiérrez, R. W. Pérez Escolante y M. Pérez Colas, «ANÁLISIS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS ENFRIADOR DE MOSTO EN LA CERVECERÍA "TÍNIMA",» 2007. [En línea]. Available: https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543754009.pdf.

[8] El Telegrafo, «En Ecuador existen 70 cervecerías artesanales,» 24 11 2016. [En línea]. Available: http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/en-ecuador-existen-70-cervecerias-artesanales..

[9] R. S. Saurina, «"DISEÑO DE UNA PLANTA MICRO-PLANTA DE FABRICACIÓN DE CERVEZA Y ESTUDIO DE TÉCNICAS Y PROCESOS DE PRODUCCIÓN",» 09 Junio 2015. [En línea].

[10] pablo@cervezas.info , «Proceso Cervecero,» 19 Octubre 2019. [En línea]. Available: http://www.cervezas.info/proceso-cervecero.

[11] CERVECERÍA NACIONAL, «cervecerianacional,» [En línea]. Available: cervecerianacional.ec/historia-cerveceria-nacional.

[12] Tres Jotas Beer Club, «Enfriemiento del mosto,» TJBC, 2018. [En línea]. Available: https://tresjotasbeerclub.com/enfriamiento-del-mosto/.

[13] mundohvacr, «Torres de enfriamiento,» 2018. [En línea]. Available: https://www.mundohvacr.com.mx/2009/03/torres-de-enfriamiento/.

[14] PAC, «Ingeniería de Sistemas Industriales,» *Performance-centered Adaptive Curriculum for Employment Needs Programa ERASMUS: Acción Multilateral - 517742-LLP-1-2011-1-BG-ERASMUS-ECUE,* p. 21, 2011.

[15] V. Villalobos B. y J. Figuera M., «PROGRAMACION DE PLCS: LENGUAJE ESCALERA (LADDER),» *Instrumentación y Control Industrial,* p. 10, 2014.

[16] J. L. REGATO DEL PEZO, «Automatización del proceso de enfriamiento del mosto para las cervecerías artesanales,» 2017. [En línea].

[17] JM Industrial Technology SA de CV, «Soluciones Integrales en Tempertura,» 2019. [En línea]. Available: https://www.jmi.com.mx/.

[18] IWAKI AMERICA, «Bombas centrífugas de acople magnético,» 11 2018. [En línea]. Available: https://www.iwakiamerica.com/Literature/IALT00142_centrifugal_pumps_spanish.pdf.

[19] I. A. L. Farina, «Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento,» *ie330_farina_motores_electricos.pdf,* p. 72, 2018.

[20] Vicent Ferrer, «Variador de frecuencia,» 6 mayo 2019. [En línea]. Available: https://vicentferrer.com/variador-de-frecuencia/.

[21] Yamel Mattarollo, «¿Cómo funcionan las electroválvulas o valvulas solenoides de uso general?,» 2014. [En línea].

[22] ERMEC, «Pulsador NC-NO de Mec,» [En línea]. Available: https://www.ermec.es/Pulsadores-e-Interruptores/Pulsadores-circuito-impreso/Pulsador-NC-NO-de-Mec.

[23] BEKAM, «LUCES PILOTO,» *Luces_Piloto_final.pdf,* p. 1, 2017.

[24] F. Mecafenix, «Tipos de tableros eléctricos,» 27 marzo 2019. [En línea]. Available: https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/tableros-electricos/.

[25] A. Duque Marín, J. Lopez A. y A. F. Navas, «"Auto-tuning of a PID controller implemented in a PLC using swarm intelligence", Prospectiva, Vol 15, N°1,35-41,2017.,» pp. 35-41, enero-junio 2007.

[26] P. Ponsa, R. Vilanova y B. Amante, «Human Intervention and Interface Design in Automation Systems,» 2006-2011. [En línea]. Available: univagora.ro.

[27] C. J. Bravo Calderón y A. F. Guevara Granizo, «INSTALACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR,» *15T00518.pdf,* p. 240, 2013.

[28] R. MATTENSOHN, «“Análisis del sistema de enfriamiento en la planta de resina de la empresa INTEQUIM C.A.” Memoria de título, Ing. Mecánico de plantas de procesos, Decanato de estudios de postgrados, Universidad Simón Bolívar.,» Enero 2015. [En línea].

[29] M. Carrillo Lopez y F. Morales Mayorga, «Implementación de un módulo de clasificación por materiales y tamaños con PLC y pactalla táctil para el

laboratorio de control y automatización de procesos industriales de la escuela Ingenieria Mecánica de la ESPOCH,» 2015. [En línea].

[30] Siemens, «Catálogo general SDO3 2007,» *Motores NNM.pdf,* p. 98, 2007.

[31] W. Dávila Moya y F. R. Obando Rosero, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS,» Marzo 2006. [En línea].

[32] A. J. ASENCIO GONZABAY, «"Diseño e implementación de un sistema de gestión, monitoreo y digitalización para el proceso de selección de mangos en función de su color, enfocada a la industria 4.0 para optimizar el rendimiento de producción",» 2019. [En línea].

[33] SIEMENS, «Communication Module cm 1241, RS485,» 2009-2020. [En línea]. Available: https://support.industry.siemens.com/cs/pd/497574?pdti=td&dl=en&lc=en-DK.

[34] SIEMENS, «6ES7222-1BF32-0XB0,» 1 02 2020. [En línea]. Available: https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7222-1BF32-0XB0.

[35] conectrónica, «Normativa de Cableado - Cat 6,» 24 Junio 2011. [En línea]. Available: https://www.conectronica.com/normativa/normativa-de-cableado-cat-6.

[36] SIEMENS, «Controlador programable s7-1200,» nº 11, p. 378, 11 2009.

[37] INFOPLC, «Siemens TIA Portal V14 SP1 ahora más abierto y eficiente,» 24 Marzo 2017. [En línea]. Available: https://www.infoplc.net/noticias/item/104122-siemens-tia-portal-v14-sp1.

[38] P. Hippolyte, «"Técnicas de modelado 3d en SketchUp, para el manejo de modelos urbanos complejos dentro de Google Earth", Facultad de Arquitectura y urbanismo, Universidad Central de Venezuela,» 2011.

[39] Fundación wikipedia, Inc., «AutoCAD,» 15 enero 2020. [En línea]. Available: es.wikipedia.org/wiki/AutoCAD.

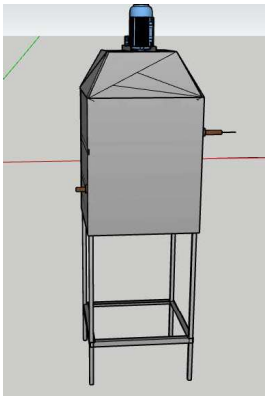
[40] H. CHAMBA GONZAGA, «"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA,» *UPSE-TET-2017-0009.pdf,* p. 110, 2017.

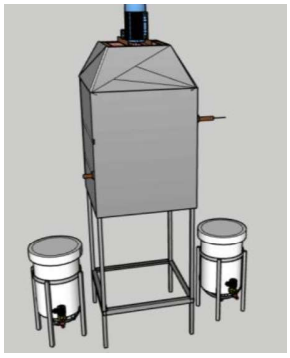
[41] Siemens Ecuador, «variadores de velocidad,» 1 enero 2019. [En línea]. Available: www.siemens.com/sinamics.

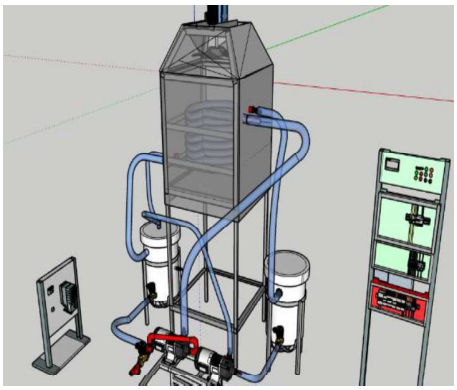
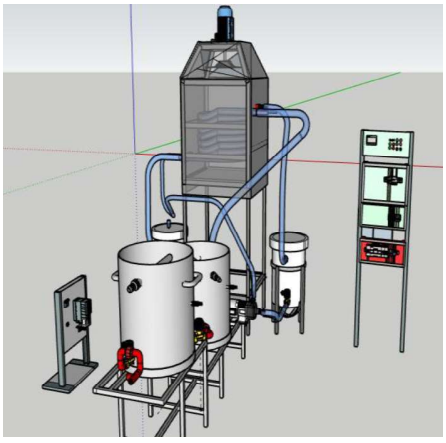
[42] F. Mecafenix, «Lenguajes para programación de plc,» 24 marzo 2017. [En línea]. Available: https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/lenguajes-programacion-plc/.

ANEXOS

Anexos 1: Diseño e implementación del sistema de control automático para el proceso de enfriamiento de mosto encaminado en la cervecería artesanal.





Anexos 2: Datasheet del PLC s7-1200 CPU 1212C AC/DC/Relay

General information	
Product type designation	CPU 1212C AC/DC/Relay
Firmware version	V4.2
Engineering with	
• Programming package	STEP 7 V14 or higher

Supply voltage	
Rated value (AC)	
• 120 V AC	Yes
• 230 V AC	Yes
permissible range, lower limit (AC)	85 V
permissible range, upper limit (AC)	264 V
Line frequency	
• permissible range, lower limit	47 Hz
• permissible range, upper limit	63 Hz

Input current	
Current consumption (rated value)	80 mA at 120 V AC; 40 mA at 240 V AC
Current consumption, max.	240 mA at 120 V AC; 120 mA at 240 V AC
Inrush current, max.	20 A; at 264 V

1. Interface	
Interface type	PROFINET
Physics	Ethernet
Isolated	Yes
automatic detection of transmission rate	Yes
Autonegotiation	Yes
Autocrossing	Yes
Interface types	
• Number of ports	1
• integrated switch	No
Functionality	
• PROFINET IO Controller	Yes
• PROFINET IO Device	Yes
• SIMATIC communication	Yes

Anexos 3: Datasheet del Módulo de comunicación CM1241 RS422/485

General information	
Product type designation	CM 1241 RS 422 / 485
Supply voltage	
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption, max.	220 mA; From backplane bus 5 V DC
Power loss	
Power loss, typ.	1.1 W
Interfaces	
Interfaces/bus type	RS 422 / 485 (X.27)
Number of interfaces	1
Point-to-point connection	
• Cable length, max.	1 000 m
Integrated protocol driver	
— Freeport	Yes
— ASCII	Yes; Available as library function
— Modbus RTU master	Yes
— MODBUS RTU slave	Yes
— USS	Yes; Available as library function

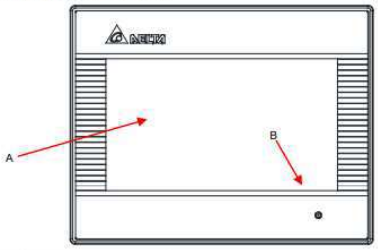
Protocols	
Integrated protocols	
Freeport	
— Telegram length, max.	1 kbyte
— Bits per character	7 or 8
— Number of stop bits	1 (Standard), 2
— Parity	No parity (standard); even, uneven, mark (parity bit always 1); space (parity bit always 0)
3964 (R)	
— Telegram length, max.	1 kbyte
— Bits per character	7 or 8
— Number of stop bits	1 (Standard), 2
— Parity	No parity (standard); even, uneven, mark (parity bit always 1); space (parity bit always 0)
Modbus RTU master	
— Address area	1 through 49 999 (Standard Modbus addressing)
— Number of slaves, max.	247; slave numbers 1 through 247, per MODBUS network segment maximum 32 devices, additional repeaters needed to expand the network to maximum configuration
MODBUS RTU slave	
— Address area	1 through 49 999 (Standard Modbus addressing)

Anexos 4: Datasheet del Módulo de salidas digitales SM1222

Información general	
Designación del tipo de producto	SM 1222, DQ 8x24 VDC/0,5 A
Tensión de alimentación	
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
de bus de fondo 5 V DC, máx.	120 mA
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	1,5 W
Salidas digitales	
Número de salidas	8
• En grupos de	1
Protección contra cortocircuito	No; a prever externamente
Limitación de la sobretensión inductiva de corte a	típ. (L+) -48 V
Poder de corte de las salidas	
• con carga resistiva, máx.	0,5 A
• con carga tipo lámpara, máx.	5 W
Tensión de salida	
• Valor nominal (DC)	24 V
• para señal "0", máx.	0,1 V; con carga de 10 kOhm
• para señal "1", mín.	20 V DC
Intensidad de salida	
• para señal "1" valor nominal	0,5 A
• para señal "0" intensidad residual, máx.	10 µA
Retardo a la salida con carga resistiva	
• "0" a "1", máx.	50 µs
• "1" a "0", máx.	200 µs
Corriente total de salidas (por grupo)	
Posición de montaje horizontal	
— hasta 50 °C, máx.	4 A; Corriente por común
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
— con carga inductiva, máx.	0,5 A
— con carga tipo lámpara, máx.	5 W
— con carga resistiva, máx.	0,5 A
Longitud del cable	
• apantallado, máx.	500 m
• no apantallado, máx.	150 m

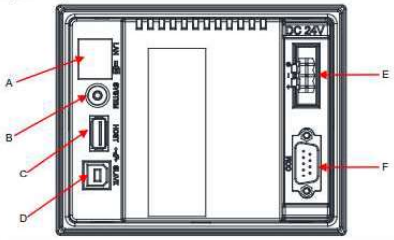
Anexos 5: Datasheet de la Pantalla HMI DOP-B03E211

DOP-B03S211 / DOP-B03E211 (Front View)



A	Touch Screen / Display	
B	Power LED Indicator (⏻)	Note: ⏻ Lights in green when HMI works normally.

DOP-B03E211 (Rear View)



A	Ethernet Interface (LAN)	B	System Key	C	USB Host
D	USB Slave	E	Power Input Terminal	F	COM 1

MODEL		DOP-B03S211	DOP-B03E211
LCD MODULE	Display Type	4.3" TFT LCD (65536 colors)	
	Resolution	480 x 272 pixels	
	Backlight	LED Back Light (less than 20,000 hours half-life at 25°C) [Note 1]	
	Display Size	95.04 x 53.856mm	
Operation System		Delta Real Time OS	
MCU		32-bit RISC Micro-controller	
NOR Flash ROM		Flash ROM 128 MB (OS System: 30MB / Backup: 16MB / User Application: 82MB)	
SDRAM		64Mbytes	
Backup Memory		32Kbytes	
Buzzer		Multi-Tone Frequency (2K ~ 4K Hz) / 85dB	
USB		1 USB Slave Ver 2.0 1 USB Host Ver 1.1	
Serial COM Port	COM1	RS-232(supports hardware flow control) / RS-485	
	COM2	RS-422/RS-485	
Ethernet Interface		N/A	10M/100M
Perpetual Calendar		Built-in	
Cooling Method		Natural air circulation	
Safety Approval		CE / UL [Note 2]	
Waterproof Degree		IP65 / NEMA4 [Note 3]	
Operation Voltage [Note2]		DC +24V (-10% ~ +15%) (please use isolated power supply)	
Voltage Endurance		AC500V for 1 minute (between charging (DC24V terminal) and FG terminals)	
Power Consumption [Note 2]		4.8W	7.2W
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 Temperature		0°C ~ 50°C	
Storage Temperature		-20°C ~ +60°C	
Ambient Humidity		10% ~ 90% RH [0 ~ 40°C], 10% ~ 55% RH [41 ~ 50°C], Pollution Degree 2	
Vibration		IEC 61131-2 compliant 5Hz≦f < 8.3Hz = Continuous: 3.5mm, 8.3Hz≦f≦150Hz = Continuous: 1.0g	
Shock		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 x103 x 39	
Panel Cutout (W) x (H) mm		118.8 x 92.8	
Weight		Approx. 230g	Approx. 264g

Anexos 6: Configuración del Controlador de temperatura DTB4848

Debido a que este tipo de controladores operan mediante el protocolo de comunicación ModBus, es suministrada mediante el PLC s7-1200, siendo necesario la configuración de los parámetros usados en este sistema.

CONTROLADOR DELTA DTB4848		
LED	**FUNCIÓN**	**PARÁMETROS**
	Selección modo de control	On/Off.
	Asignación del termopar Pt100	J.
	Configuración bit de stop	1.
	Configuración bit de paridad	None.
	Configuración bit de datos	8.
	Selección variante de ModBus	RTU.
	Velocidad de transmisión de datos	9600
	Establece la dirección de comunicación ModBus	1

El controlador de temperatura Delta DTB4848 cuenta con registros internos en donde almacena información de todos los procesos que puede realizar.

N° REGISTRO	FUNCIÓN
44097	Almacena el valor de temperatura actual que registra el termopar Pt100
44098	Almacena el valor del SetPoint de temperatura establecido por el usuario.

Anexos 7: Fotos