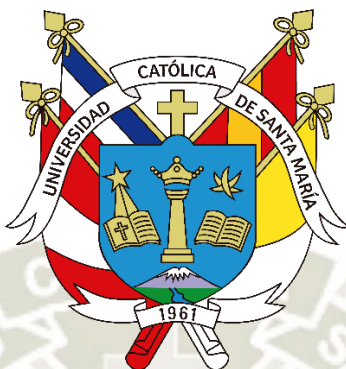


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA
LA ETAPA DE MACERACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE
CERVEZA ARTESANAL PARA LA CERVECERÍA ARTESANO
BEER.**

Tesis presentada por el Bachiller:

Salinas Najar, Adalid Jonathan

Para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero Electrónico con Especialidad
en Automatización y Control**

Asesor:

Mg. Rodríguez González, Pedro Alex

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA ELECTRONICA
CON ESPECIALIDAD EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 27 de Octubre del 2023

Dictamen: 006694-C-EPIE-2023

Visto el borrador del expediente 006694, presentado por:

2004221471 - SALINAS NAJAR ADALID JONATHAN

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA ETAPA DE MACERACIÓN EN
LA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL PARA LA CERVECERÍA ARTESANO BEER**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

29424254 - MALAGA CHAVEZ CESAR EDUARDO
DICTAMINADOR



29715414 - COAGUILA GOMEZ RONALD PERCING
DICTAMINADOR



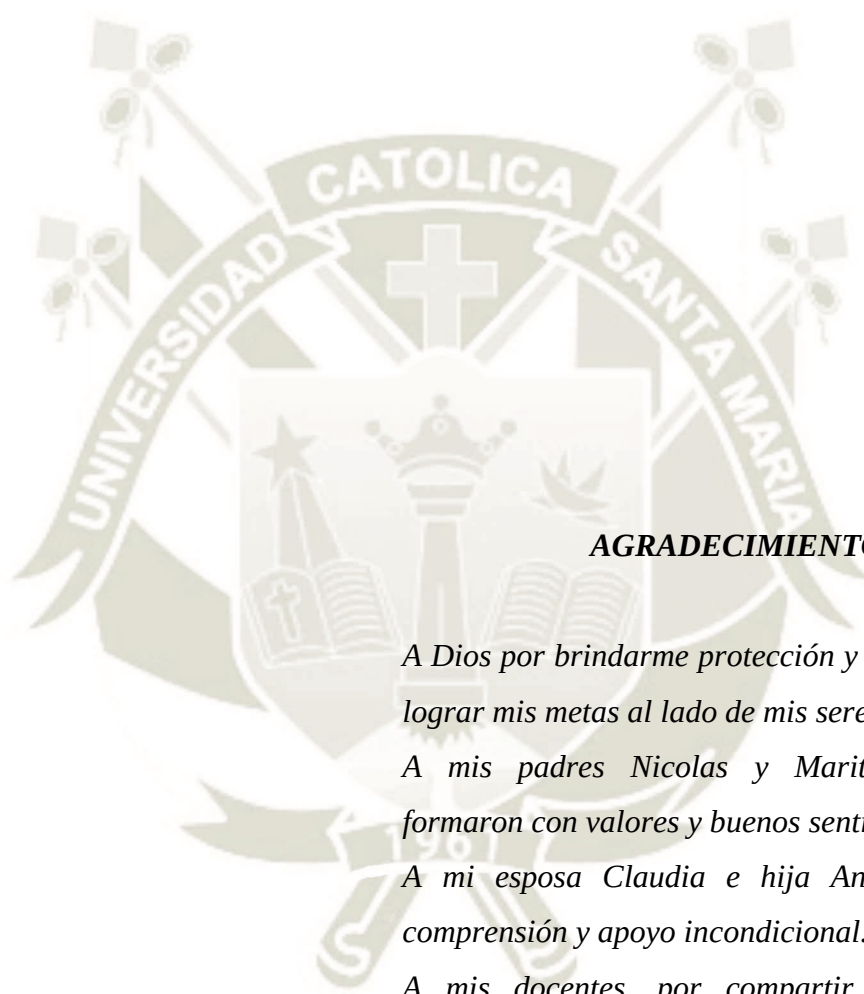
29720651 - ZEGARRA GAGO HENRY CHRISTIAN
DICTAMINADOR





DEDICATORIA

“A mis queridos padres Nicolas y Maritza quienes me brindaron su apoyo para terminar mi carrera, a mi amada esposa Claudia y adorada hija Ana Sofia quienes son mi fuente de motivación para seguir adelante”



AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme protección y salud para poder lograr mis metas al lado de mis seres queridos.

A mis padres Nicolas y Maritza, quienes me formaron con valores y buenos sentimientos.

A mi esposa Claudia e hija Ana Sofia, por su comprensión y apoyo incondicional.

A mis docentes, por compartir su sabiduría y brindarme una educación ejemplar.

RESUMEN

La presente tesis es concerniente a la implementación de una planta piloto de maceración para la cervecería artesanal Artesano Beer. Desde la ingeniería básica, que consta de la selección de la instrumentación, diseño mecánico y eléctrico, hasta la puesta en marcha, pruebas y funcionamiento en producción de la planta piloto de maceración.

En el Capítulo 3 se realiza una revisión actual del proceso de maceración en la elaboración de cerveza artesanal describiendo la importancia de controlar las dos variables de proceso importantes, la temperatura y el pH.

En el Capítulo 4 se desarrolla lo referente a la implementación física de la planta piloto de maceración, como es evaluación de la instrumentación y armado eléctrico del tablero de control. Así también se realizó el diseño de los controladores de temperatura y pH. Para controlador de temperatura se implementó un controlador PID, ya que la temperatura es una variable que se monitorea constantemente durante toda la maceración. Por otro lado, para el control del pH se basó en un modelo experimental, ya que requiere el control únicamente al iniciar la maceración. Dicho modelo experimental determina el tiempo de apertura del dispensador de malta ácida en base a parámetros conocidos como el peso de la malta base. Toda la lógica de control se encuentra en el PLC y el monitoreo de la etapa fue implementado en un HMI, el cual muestra todos parámetros de interés al maestro cervecero.

Finalmente se realizó el funcionamiento de la planta piloto poniéndola a prueba en un entorno de producción real, elaborando la cerveza Belgian Blonde Ale. Al finalizar la maceración se realizó una prueba de yodo para verificar presencia de almidones en el mosto, observándose que no hubo reacción entre el mosto y el yodo. De esta manera se validó que la planta piloto de maceración realizó un macerado exitoso, preparando el mosto para las siguientes etapas.

Palabras clave — S7-1200, modelo experimental, cerveza artesanal, control automático de maceración.

ABSTRACT

This thesis is concerned with the implementation of a pilot maceration plant for the Artesano Beer craft brewery. From basic engineering design, which consists of the selection of instrumentation, mechanical and electrical design, to commissioning, testing and production operation of the pilot maceration plant.

In Chapter 3 a current review of the craft brewing process is made describing the importance of controlling the two important process variables, temperature and pH.

In Chapter 4, everything related to the physical implementation of the maceration pilot plant is developed, such as the evaluation of the instrumentation and electrical assembly of the control panel. Thus, the design of the temperature and pH controllers was also carried out. For the temperature controller, a PID controller was implemented, since the temperature is a variable that is constantly monitored throughout the maceration. On the other hand, for the control of the pH, it was based on an experimental model, since it requires control only at the beginning of the maceration. This experimental model determines the opening time of the acidulated malt dispenser based on parameters known as the weight of the base malt. All the control logic is in the PLC and the monitoring of the stage was implemented in an HMI, which shows all the parameters of interest to the brewmaster.

Finally, the operation of the pilot plant was carried out, testing it in a real production environment, making Belgian Blonde Ale beer. At the end of the maceration, an iodine test was carried out to verify the presence of starches in the must, observing a reaction between the must and the iodine. In this way, it was validated that the pilot maceration plant performed a successful maceration, preparing the must for the following stages.

Keywords — S7-1200, experimental model, craft beer, automatic mashing control.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Definición de la problemática	1
1.2. Objetivos.....	1
1.2.1. Objetivo general	1
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación de la investigación	2
1.4. Alcances de proyecto.....	2
1.5. Limitaciones	3
1.6. Variables involucradas	3
1.6.1. Variable dependiente.....	3
1.6.2. Variable independiente.....	3
1.6.3. Indicadores	4
1.7. Aspectos metodológicos de la investigación	4
1.7.1. Diseño de investigación	4
1.7.2. Tipo de investigación	4
1.7.2.1. Investigación exploratoria.....	4
1.7.2.2. Investigación de desarrollo experimental	4

1.7.2.3. Investigación aplicada.....	5
1.7.3. Método de investigación	5
1.7.4. Técnica y estrategia de investigación.....	5
CAPITULO II	6
2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	6
2.1. Antecedentes de investigación.....	6
2.2. Marco teórico.....	8
2.2.1. Cerveza artesanal vs cerveza industrial.....	8
2.2.2. Elaboración de cerveza artesanal	9
2.2.2.1. Malteado	9
2.2.2.2. Molienda	9
2.2.2.3. Macerado.....	10
2.2.2.4. Cocción	10
2.2.2.5. Enfriado.....	10
2.2.2.6. Fermentación.....	11
2.2.2.7. Envasado y Maduración.....	11
2.2.3. Actuadores.....	11
2.2.3.1. Calentadores de inmersión	12
2.2.3.2. Válvula solenoide.....	12
2.2.4. Sensores.....	13
2.2.4.1. Pt-100	13
2.2.4.2. Sensor de nivel	13
2.2.5. Controlador lógico programable	14
2.2.5.1. Siemens S7-1200	14
2.2.6. Interfaz Humano-Maquina	15

2.2.7.	Redes de comunicación	15
2.2.7.1.	PROFINET	15
2.2.8.	Modelo matemático	16
2.2.8.1.	Función de transferencia	16
2.2.9.	Control de lazo	16
2.2.9.1.	Control PID y sintonización.....	17
2.2.10.	Servidor web embebido	18
2.2.11.	Diagrama P&ID.....	18
2.3.	Esquema conceptual	19
2.3.1.	Potencial de hidrogeno (pH)	19
2.3.2.	Control Proporcional-Integral-Derivativo.....	19
2.3.3.	Empaste	19
2.3.4.	Enzimas alfa y beta amilasas.....	19
2.3.5.	Maltosa	20
2.3.6.	Almidón.....	20
2.3.7.	Prueba de Yodo	20
2.3.8.	Mosto.....	20
2.3.9.	Malta ácida	21
2.3.10.	IPA.....	21
2.3.11.	Archivos CSV	21
CAPITULO III		22
3.	DIAGNÓSTICO SITUACIONAL	22
3.1.	Descripción de la empresa.....	22
3.1.1.	Ubicación geográfica de Artesano Beer.....	22
3.1.1.1.	Ubicación de la planta piloto	22

3.1.2.	Análisis FODA de Artesano Beer	22
3.1.2.1.	Fortalezas	22
3.1.2.2.	Oportunidades	23
3.1.2.3.	Debilidades	23
3.1.2.4.	Amenazas	23
3.2.	Análisis de la situación actual	24
3.2.1.	Proceso productivo actual de las empresas cerveceras	24
3.2.1.1.	Molienda	25
3.2.1.2.	Maceración.....	27
3.2.1.3.	Cocción	31
3.2.1.4.	Enfriamiento y fermentación	31
3.2.1.5.	Carbonatación y envasado	33
3.2.2.	Maceración de cerveza artesanal.....	34
3.2.2.1.	Enzimas en la maceración.....	35
3.2.2.2.	Almidón en la maceración de cerveza artesanal	36
3.2.2.3.	pH en maceración.	38
3.2.2.4.	Prueba de yodo.....	38
CAPITULO IV		40
4.	SOLUCIÓN PROPUESTA	40
4.1.	Criterios de selección de equipos	40
4.1.1.	Calentadores de inmersión	40
4.1.2.	Válvula solenoide	41
4.1.3.	Pt-100	41
4.1.4.	Sensor de nivel	42
4.1.5.	Siemens S7-1200.....	42

4.1.6.	Tablas comparativas para selección de equipos	43
4.2.	Ingeniería básica de la planta de maceración	49
4.2.1.	Evaluación de requerimientos	50
4.2.1.1.	Análisis de agua en la elaboración de cerveza artesanal.....	52
4.2.2.	Diseño mecánico de la planta piloto de maceración.	53
4.2.3.	Evaluación de Instrumentación y control.....	55
4.2.3.1.	Controlador Lógico Programable (PLC)	55
4.2.3.2.	Lazo de temperatura.....	56
4.2.3.3.	Lazo de nivel.....	57
4.2.3.4.	Lazo de pH	58
4.2.4.	Diseño de tablero electrónico.....	59
4.2.4.1.	Espacio de trabajo EPLAN Electric P8	59
4.2.4.2.	Placa de montaje del armario.....	60
4.2.4.3.	Puerta del armario	61
4.2.4.4.	Frontal del armario.....	62
4.2.4.5.	Lateral derecho del armario	63
4.2.4.6.	Imagen completa del tablero (3D)	64
4.2.5.	Armado de la planta	65
4.3.	Construcción obtención del modelo matemático.....	68
4.3.1.	Modelado del control de temperatura.....	68
4.3.2.	Modelado del control de pH.....	74
4.3.3.	Operación de la planta de maceración.....	76
4.3.3.1.	Procedimiento de funcionamiento de la planta de maceración.....	76
4.3.3.2.	Algoritmo de la planta de maceración	78
4.4.	Programación de PLC.....	81

4.4.1.	Aspectos generales del proyecto en TIA Portal	81
4.4.2.	Implementación del algoritmo en TIA Portal	83
4.4.2.1.	Escalamiento de señales analógicas	83
4.4.2.2.	Programación de Setpoint de temperatura variable	86
4.4.2.3.	Configuración del bloque PID	89
4.4.2.4.	Monitoreo del control PID	91
4.4.2.5.	Control de pH.....	93
4.4.2.6.	Comunicación PLC - HMI.....	95
4.5.	Programación de HMI	96
4.5.1.	Comunicación PLC-HMI	97
4.5.2.	Desarrollo de Screens.....	97
4.5.2.1.	Configuración de Screen principal e inicio.....	97
4.5.2.2.	Recetas de Maceración-WinCC.....	101
4.5.2.3.	Monitoreo de la Maceración	102
4.5.2.4.	Monitoreo mediante pantalla HMI.....	104
4.6.	Evaluación de la solución propuesta	105
4.6.1.	Seguridad Eléctrica	105
4.6.1.1.	Parámetros de seguridad eléctrica de la planta	105
4.6.1.2.	Parámetros de seguridad en software.....	106
4.6.2.	Evaluación de Análisis de confiabilidad	107
4.6.2.1.	La confiabilidad	107
4.6.3.	Evaluación del desempeño	110
4.6.4.	Evaluación económica.....	114
CONCLUSIONES		121
RECOMENDACIONES		122

REFERENCIAS	123
ANEXOS.....	127



LISTA DE TABLAS

TABLA I. VARIABLES E INDICADORES, VARIABLES INVOLUCRADAS, ETAPA DE MACERACIÓN	4
TABLA II. REGLA DE SINTONIZACIÓN ZIEGLER-NICHOLS, TIPOS DE CONTROLADORES	18
TABLA III. ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL.....	24
TABLA IV. ENZIMAS PRESENTES EN LA MALTA, RANGOS DE ACTIVACIÓN DE T(°C) Y PH.....	36
TABLA V. COMPARACIÓN DE SENSOR DE TEMPERATURA.....	43
TABLA VI. COMPARACIÓN DE SENSOR DE NIVEL.....	44
TABLA VII. COMPARACIÓN DE SENSOR DE pH.....	44
TABLA VIII. COMPARACIÓN DE ELECTROVÁLVULA	45
TABLA IX. COMPARACIÓN DE CALENTADOR DE AGUA	45
TABLA X. COMPARACIÓN DE BOMBA PARA FLUIDO.....	46
TABLA XI. COMPARACIÓN DE ACTUADOR LINEAL.....	46
TABLA XII. COMPARACIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	47
TABLA XIII. COMPARACIÓN DE UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO.....	48
TABLA XIV. COMPARACIÓN DE MÓDULO INTELIGENTE SIEMENS.....	48
TABLA XV. COMPARACIÓN DE INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA.....	49
TABLA XVI. PLANTEO DE LA INSTRUMENTACIÓN, LAZOS Y NÚMEROS DE IDENTIFICACIÓN.....	55
TABLA XVII. ENTRADAS/SALIDAS REQUERIDAS EN PLC, TIPOS DE SEÑALES, NUMERO DE SENSORES	56
TABLA XVIII. PRUEBAS DE DISPENSADOR DE MALTA ÁCIDA, TIEMPOS DE APERTURA, CANTIDADES	75
TABLA XIX. CÁLCULO DE POTENCIA DE LA PLANTA PILOTO, POTENCIA POR COMPONENTE.....	110
TABLA XX. TABLA DE INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA PILOTO, REPRESENTACIÓN GRÁFICA POR MARCA, COSTOS EN SOLES.....	115

TABLA XXI. TABLA DE COMPONENTES DE TABLERO ELÉCTRICO, REPRESENTACIÓN GRÁFICA POR MARCA, COSTO EN SOLES	117
---	-----



LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Malta de cebada, tipos de malta	9
Fig. 2. Elaboración de cerveza artesanal, etapas del proceso.....	11
Fig. 3. Calentador de inmersión	12
Fig. 4. Válvula solenoide, control de flujo	12
Fig. 5. Sensor de temperatura Pt-100	13
Fig. 6. Sensor de nivel on/off	13
Fig. 7. PLC Siemens, SIMATIC S7-1200.....	14
Fig. 8. PLC Siemens, Interfaz Hombre-Maquina (HMI)	15
Fig. 9. Sistema de control de lazo abierto	16
Fig. 10. Sistema de control de lazo cerrado	17
Fig. 11. Control PID, Curva de respuesta típica de una planta al escalón	17
Fig. 12. Molino de discos	26
Fig. 13. Molino de rodillos.....	27
Fig. 14. Medición de PH en maceración	28
Fig. 15. Maceración en cervecerías caseras	29
Fig. 16. Maceración en cervecerías artesanales	30
Fig. 17. Enfriado de mosto	32
Fig. 18. Airblock en fermentación	33
Fig. 19. Comportamiento de una maceración simple.....	34
Fig. 20. Comportamiento de una maceración escalonada.....	35
Fig. 21. Reacción entre almidón y alfa/beta amilasa.....	37
Fig. 22. Diagrama de Flujo de Proceso (PFD) de la planta.....	51
Fig. 23. Parámetros fisicoquímicos del agua.....	52
Fig. 24. Diagrama de flujo de proceso e instrumentación (P&ID) de la planta de maceración.....	54
Fig. 25. Resistencias de inmersión 4.5kW c/u	57
Fig. 26. Equipo de medición de pH con compensación de temperatura	58
Fig. 27. Actuadores lineales 12V de dispensador de malta.....	59
Fig. 28. Espacio de trabajo EPLAN Electric P8	60
Fig. 29. Vista frontal de la placa de montaje, tablero electrónico.....	61
Fig. 30. Vista frontal de la puerta del tablero electrónico	62

Fig. 31. Vista frontal del tablero electrónico completo.....	63
Fig. 32. Vista lateral derecho del tablero electrónico.....	64
Fig. 33. Visión 3D del tablero electrónico	65
Fig. 34. Dispensador de maltas	66
Fig. 35. Planta de maceración armada.....	66
Fig. 36. Vista frontal del tablero eléctrico.....	67
Fig. 37. Vista del interior del tablero eléctrico.....	68
Fig. 38. Lógica para obtención del modelo matemático de temperatura-TIA Portal	69
Fig. 39. Datalogger – Creación de archivo CSV	70
Fig. 40. Datalogger – Escribir registros de archivo CSV	70
Fig. 41. Datalogger – Finalizar escritura de datos en archivo CSV	71
Fig. 42. Datalogger – Preparación de datos a escribir en archivo CSV	71
Fig. 43. Respuesta al escalón de la planta de maceración.....	72
Fig. 44. Plant identification – MATLAB	73
Fig. 45. PID Tuner – Diseño de controlador	74
Fig. 46. Regresión lineal para obtención de modelo matemático-control de pH.....	75
Fig. 47. Curvas de temperatura para cerveza Belgian Blonde Ale	76
Fig. 48. Algoritmo para la etapa de maceración	80
Fig. 49. Panel de vista de dispositivos – TIA Portal	81
Fig. 50. Propiedades de PLC S71-1200 – Configuración de dirección IP	82
Fig. 51. Propiedades de módulo RTD SM1231 – Configuración de entradas analógicas	82
Fig. 52. Direcciones de E/S de PLC y modulo RTD.....	83
Fig. 53. FC2 Escalamiento de señales.....	84
Fig. 54. Parámetros necesarios para FC2	85
Fig. 55. Escalamiento de señales analógicas – pH y sonda de temperatura.....	85
Fig. 56. Escalamiento de señales analógicas – RTD's.....	86
Fig. 57. Carga de 1er setpoint a PID	87
Fig. 58. Timer para generar rampa de temperatura	87
Fig. 59. Conversión de tipo de datos para rampa de temperatura	88
Fig. 60. Creación de función rampa de temperatura	88
Fig. 61. Carga de setpoint variable a PID	89

Fig. 62. Bloque PID.....	89
Fig. 63. Configuraciones de bloque PID – parámetros de E/S.....	90
Fig. 64. Configuraciones de bloque PID – Parámetros PID.....	90
Fig. 65. Monitoreo del Setpoint fijado – Control PID	91
Fig. 66. Recorrido de la rampa – Control PID	92
Fig. 67. Nuevo setpoint alcanzado – Control PID.....	93
Fig. 68. Cálculo de cantidad de malta ácida en función del peso total	94
Fig. 69. Cálculo de tiempo de activación de actuador	94
Fig. 70. Activación de actuador por tiempo pre establecido en timer.....	95
Fig. 71. DB de comunicación entre PLC y HMI.....	95
Fig. 72. Carga de parámetro tiempo de HMI a PLC	96
Fig. 73. Arreglo para visualizar tiempo transcurrido en interfaz	96
Fig. 74. Asignación de dirección IP a HMI.....	97
Fig. 75. Enlace de PLC y HMI.....	97
Fig. 76. WinCC – Creación de textos.....	98
Fig. 77. WinCC – Creación de botones.....	98
Fig. 78. WinCC – Configuración de eventos de Botones	99
Fig. 79. Selección de Screens por estado de botones Start/Stop	99
Fig. 80. WinCC – Configuración de propiedades de Screens	100
Fig. 81. HMI – Vista de Screen planta de maceración en STOP	100
Fig. 82. HMI- Vista de Screen planta de maceración en START	101
Fig. 83. WinCC - Creación de variables de HMI.....	101
Fig. 84. HMI – Selección de recetas	102
Fig. 85. HMI – Screen para modificar parámetros.....	102
Fig. 86. WinCC – Creación de campo de E/S	103
Fig. 87. WinCC – Propiedades de campo de E/S.....	103
Fig. 88. HMI – Interfaz de monitoreo de maceración	104
Fig. 89. Monitoreo de maceración en pantalla HMI	105
Fig. 90. Grupo electrógeno para funcionamiento de planta piloto.....	111
Fig. 91. Molienda de malta.....	111
Fig. 92. Calentamiento de agua para maceración.....	112

Fig. 93. Inicio de extracción de azúcares	112
Fig. 94. Validación de lecturas de temperatura	113
Fig. 95. Prueba de yodo inicial al mosto	114



CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. *Planteamiento del problema*

1.1.1. *Definición de la problemática*

En el proceso de elaboración de cerveza artesanal, controlar la temperatura representa un problema mayor debido a que algunas empresas no cuentan con la tecnología adecuada que les ayude a realizar este control. Específicamente, durante la etapa de maceración del proceso de elaboración de cerveza, la temperatura y pH juegan un papel importante puesto que de estas dependen el éxito o fracaso en la etapa de maceración y finalmente en la elaboración de cerveza. Una variación en la temperatura en unos pocos grados centígrados y en tiempos no adecuados durante esta etapa de elaboración da como resultado variaciones considerables en la cerveza, esto quiere decir que se tiene diferentes sabores y texturas. Estas variaciones de sabor y textura obedecen a rangos de temperatura de actuación de principalmente dos enzimas, alfa-amilasas y beta-amilasas, por lo que una temperatura inadecuada podría echar a perder el producto final, incluyendo la inversión de su elaboración. Sumado también a que cada marca cervecera tiene como producto una cerveza con un sabor particular, por lo que también se precisa una estandarización en su proceso para mantener la uniformidad de su producto final.

A través de esta tesis se busca automatizar la etapa de maceración de la cervecería artesanal Artesano Beer, proveyendo al maestro cervecero la posibilidad de obtener un mosto uniforme y seleccionable entre tipos de cerveza con un adecuado control de temperatura y pH.

1.2. *Objetivos*

1.2.1. *Objetivo general*

Diseñar e implementar una planta piloto para la etapa de maceración en la elaboración de cerveza artesanal que obedezca a las especificaciones propuestas por Artesano Beer.

1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar una planta piloto para la etapa de maceración.
- Definir el proceso de maceración solicitado por Artesano Beer para determinar la instrumentación y controlador necesarios que cumpla con las características requeridas.
- Realizar un análisis de la composición del agua de Arequipa para realizar una adecuada etapa de maceración.
- Desarrollar e implementar el control de temperatura para la etapa de maceración.
- Desarrollar e implementar el control de pH para la etapa de maceración.
- Desarrollar e implementar una pantalla HMI para realizar el monitoreo de las variables (temperatura y pH).
- Validar el producto resultante de la etapa de maceración mediante la prueba de yodo.

1.3. Justificación de la investigación

La propuesta presentada en esta tesis busca plantear una solución de automatización en la etapa de maceración de la producción de cerveza artesanal para la empresa Artesano Beer mediante el desarrollo de una planta piloto. Artesano Beer busca estandarizar sus procesos con una planta automatizada en la etapa de maceración. Esto le permitirá obtener mosto de acuerdo con la receta de Artesano Beer controlando principalmente la temperatura y pH, además le permitirá obtener un producto final homogéneo las veces que sea requerido por la empresa en mención.

El desarrollo de la planta piloto además permitirá evaluar qué tipos de cerveza se podría desarrollar en la ciudad de Arequipa de acuerdo con los resultados del análisis de composición de agua.

1.4. Alcances de proyecto

El proyecto busca desarrollar una planta piloto para el proceso de maceración de la producción de cerveza artesanal, con la finalidad de que la cervecería Artesano Beer

pueda estandarizar la etapa de maceración de manera automática. El análisis de composición del agua de la ciudad de Arequipa se realiza principalmente debido a que este insumo es el único que se utiliza de manera local y de esta dependerá que recetas de cerveza se acomodan a las que actualmente produce.

Para la planta piloto se considerará el equipo y los materiales necesarios para que el producto final sea de consumo humano. Contará además con la instrumentación requerida para controlar y monitorear las variables del proceso que serán controladas por un controlador lógico programable Siemens S7-1200

1.5. Limitaciones

- El proyecto se enfocará solo en la etapa de maceración de la elaboración la cerveza artesanal.
- El costo de los instrumentos requeridos en el mercado local para la micro planta hace que se evalúe la posibilidad de importarlos.
- Los tiempos de llegada de algunos instrumentos que se importan son de aproximadamente un mes y medio.
- El desarrollo de esta tesis no incluye el estudio de mercado ni ganancias a futuro.
- Las ubicaciones geográficas son diferentes, por lo que la composición del agua variará e influirá en el tipo de cerveza que elabora Artesano Beer

1.6. Variables involucradas

1.6.1. Variable dependiente

Automatización de la etapa de maceración.

1.6.2. Variable independiente

- Temperatura óptima del proceso de maceración.
- pH óptimo del proceso de maceración.

1.6.3. Indicadores

TABLA I.
 VARIABLES E INDICADORES, VARIABLES INVOLUCRADAS, ETAPA DE MACERACIÓN

VARIABLES	INDICADORES
Variable independiente: "Temperatura y pH óptimos para la etapa de maceración".	1. Modelo de la planta. 2. Temperatura de maceración. 3. pH de maceración. 4. Perturbaciones del sistema. 5. Insumos
Variable dependiente: "Automatización de la etapa de maceración".	1. Almidon resultante de la maceración. 2. Error del sistema en estado estacionario. 3. Diseño de la planta. 4. Tiempo de respuesta del sistema. 5. Viabilidad de la propuesta.

Nota: Elaboración propia.

1.7. Aspectos metodológicos de la investigación

1.7.1. Diseño de investigación

El diseño de investigación de la presente tesis obedece a primero a un tipo de investigación con diseño experimental ya que se desarrollará una planta piloto para este proceso, posteriormente se usará el tipo de investigación documental para encontrar las condiciones óptimas de maceración, hojas de datos de instrumentos y controlador.

1.7.2. Tipo de investigación

1.7.2.1. Investigación exploratoria

La investigación presente se realiza de manera exploratoria con enfoque cualitativo en la empresa Artesano Beer, ya que este problema no ha sido abordado antes y está sujeto a posteriores mejoras e investigaciones.

1.7.2.2. Investigación de desarrollo experimental

Esta investigación incluye un desarrollo experimental de una planta piloto enfocada a la etapa de maceración del proceso de elaboración de cerveza artesanal, implementando un control automático y monitoreo usando tecnologías existentes.

1.7.2.3. Investigación aplicada

De acuerdo con el propósito, esta tesis es de características aplicadas ya que se busca desarrollar un controlador de temperatura y pH específicamente para el proceso de maceración en la planta piloto de elaboración de cerveza artesanal con su posterior validación de resultados que ofrece la planta piloto.

1.7.3. Método de investigación

La presente tesis tiene características cualitativo-experimentales debido a que implica una estrategia que se aleja de las pruebas estadísticas tradicionales y se acerca a la validación a través de la observación detallada y la interpretación de fenómenos.

1.7.4. Técnica y estrategia de investigación

Las técnicas de investigación incluyen la revisión documentaria sobre el proceso de elaboración de cerveza artesanal en tesis relacionadas, libros digitales, foros y blogs especializados y demás fuentes de información publicadas en internet, extrayendo la información más importante que permita llevar a cabo la automatización y control del proceso de maceración en la elaboración de cerveza artesanal. Finalmente se realizará la observación y validación de los resultados obtenidos del proceso de maceración.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. *Antecedentes de investigación*

Se realizó la revisión documentaria de tesis de investigación de siete artículos relacionados con la presente tesis.

De acuerdo con el estudio realizado por Valdivia [1] en “Relación entre la publicidad y el consumo de cerveza artesanal en la Ciudad de Arequipa 2020” menciona en una de sus encuestas realizadas a productores de cerveza artesanal de Arequipa que su producto tiene un gran mercado potencial de venta pues se prefiere creaciones de cervezas artesanales respecto a las cervezas industriales.

En el trabajo de grado de Zegarra [2] en “Diseño mecánico y simulación de control de temperatura de un fermentador de cerveza artesanal” se elaboró un controlador para la etapa de fermentación de cerveza artesanal. Se obtuvo el modelo matemático y linealización con ayuda de Matlab para posteriormente encontrar los valores de sintonización PID. Además, elaboró un cuadro de criticidad donde se mencionan los tres procesos que involucran control de temperatura que son maceración, cocción y fermentación, que de acuerdo con la complejidad productiva en una escala de 1 a 5, el proceso de maceración y fermentación obtienen un peso de 5 (alta complejidad) y cocción obtiene un peso de 3 (mediana complejidad).

Lujan y Vásquez [3] en su artículo académico “Control automático con lógica difusa de la producción de cerveza artesanal en las etapas de maceración y cocción” se implementó el controlador difuso, con el objetivo de controlar los actuadores del proceso, fijando una temperatura de consigna adecuada para la obtención de una cerveza tipo Ale. Para la obtención de las reglas difusas se apoyó del software Labview, siendo este último como un pequeño HMI para el proceso. Este controlador de lógica difusa permitió controlar el proceso de manera muy similar a como lo haría un operador experto, teniendo como resultado un control adecuado de los actuadores de las etapas de maceración y cocción en la obtención de cerveza artesanal.

Jara y Ramos [4] en su tesis “Desarrollo de un sistema de control y monitoreo remoto de temperatura para el proceso de maceración de cerveza artesanal utilizando un procesador ARM y un servidor web embebido” desarrollaron el sistema en mención, comparando económicamente la implementación entre tres controladores, ARM, ¡LOGO! 8 y S7-1200, decantándose por el procesador ARM por el costo de implementación, además mencionan la que este procesador no tiene ventaja frente al PLC en ambientes hostiles. Los resultados esperados se lograron, controlando la temperatura de maceración, monitoreando y fijando valores de consigna desde el servidor web.

Megia [5] en su trabajo de fin de grado “Diseño de una microplanta para la elaboración de cerveza artesanal a partir de malta” menciona que la etapa de maceración fija la cantidad de azúcares a fermentar, esto dependiendo de la temperatura en la que se macera. Además, da el enfoque desde la ingeniería química en cuanto a los factores principales que afectan la etapa de maceración, como lo son la temperatura, el tiempo de macerado, la relación agua/grano y el pH del agua.

Calignon y Roldan [6] en su tesis de grado “Automatización de proceso para elaboración de cerveza artesanal” se logró automatizar el proceso en las etapas que involucran el control de temperatura, añadido de una interfaz HMI que permite establecer parámetros importantes para la elaboración de un tipo de cerveza en específico o cargar parámetros ya previamente guardados. El logro que resalta de esta planta desarrollada es la versatilidad que presenta para la elaboración de un tipo de cerveza en específico, permitiéndole al maestro cervecero ingresar los datos producto de su experiencia. También se menciona la importancia de garantizar la repetitividad del proceso con el fin de obtener cervezas artesanales homogéneas con sabor propio de cada marca.

Flores [7] en su trabajo titulado “Control basado en PLC y monitoreo mediante HMI de la temperatura en el proceso de maceración y cocción en la elaboración de cerveza artesanal” implementan el control en el PLC para microcerveceras que realizan su elaboración puramente manual y determinan la importancia de controlar la temperatura en las etapas de maceración y cocción. Las perturbaciones durante estas etapas pueden

afectar la obtención del producto final por lo que se precisaba dar soporte al maestro cervecero con tecnologías que puedan asegurar la calidad de su producto.

Análisis de los antecedentes

El estudio realizado a las empresas productoras de cerveza artesanal refleja el mercado potencial que esta representa a la actualidad, mostrando que sus clientes prefieren un producto de sabor único. Esta característica de sabor único es propia de cada empresa pues una pequeña variación durante todo su proceso de elaboración de cerveza artesanal se tiene un sabor algo diferente, dentro de los dos principales tipos de cervezas. La homogenización de sus productos también es un factor importante pues como se mencionó las variaciones afectan el sabor del producto final. Los maestros cerveceros requieren mantener su sabor único por lo que se requiere la mecanización y repetitividad del proceso. La importancia de controlar la etapa de maceración radica en que esta etapa se fija la cantidad de azúcares a fermentar. La cantidad de azúcares fermentables obtenidos puede variar de acuerdo con receta de cada cervecería ya que es el resultado de su experiencia.

En esta tesis se propondrá e implementará un control para la etapa de maceración en la planta piloto usando un controlador lógico programable donde la técnica de control se adecuará a los requerimientos de la receta desarrollada por la empresa, como son temperatura de maceración, pH, insumos, etc.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Cerveza artesanal vs cerveza industrial.

La cerveza, sea industrial o artesanal, es una bebida alcohólica fermentada a base de malta, lúpulo, agua y levadura que pasa por diferentes etapas con el fin de obtener un producto con sabor y textura agradables [8].

La cerveza artesanal se diferencia de la cerveza industrial básicamente por los ingredientes, en la producción artesanal se procura usar ingredientes naturales. Otro punto es la originalidad de cada productor de cerveza artesanal, pues cada maestro

cervecero tiene una receta propia que está sujeta a modificaciones con el objetivo de conseguir el sabor que más gusta a su clientela. Además, las cervezas artesanales tienen un proceso generalmente manual o con equipos que apoyan parte del proceso de acuerdo con [9].

2.2.2. *Elaboración de cerveza artesanal*

El proceso de elaboración de cerveza artesanal tiene las siguientes etapas, de acuerdo con [10].

2.2.2.1. *Malteado*

En la etapa de malteado se prepara la cebada interrumpiendo su proceso de germinación para posteriormente secarlo y tostarlo. En la fig. 1, se aprecia el color de la malta que dará lugar a una cerveza oscura o clara [11].



Fig. 1. Malta de cebada, tipos de malta

Nota: Adaptado de maltas cervceros, de Antonio López, 2015, <http://www.maltascervceros.com/el-malteado/>, tecnufar.

2.2.2.2. *Molienda*

En esta etapa la malta pasa a ser molida, con el objetivo de romper la cascara que cubre al grano y este quede expuesto para las reacciones enzimáticas de la maceración [12].

2.2.2.3. Macerado

El macerado tiene como fin convertir el almidón de la malta en azúcares que sirvan de alimento a las levaduras y se pueda fermentar. La temperatura en esta parte del proceso resulta crítica ya que el rango de activación de las enzimas amilasas va desde 62°C y 74°C. En temperaturas por debajo del rango se ve poca actividad enzimática, pero por encima de este rango, las enzimas dejan de actuar o se mueren. Dentro de este rango se puede variar la temperatura para la obtención de cervezas más dulces o con más contenido de alcohol [10].

Las enzimas que trabajan durante este proceso son la alfa-amilasa y la beta-amilasa, donde cada una tiene un rango de temperatura de actuación. Mantener el mosto en temperaturas cercanas a los 70°C dará lugar a la actuación de la enzima alfa-amilasa que producirá cadenas de azúcares no procesables por las levaduras, teniendo como resultado una cerveza con dulzor residual y con cuerpo. Por otro lado, a temperaturas debajo de los 70°C actúa la enzima beta-amilasa produciendo azúcares procesables por la levadura teniendo como resultado una cerveza más seca y mayor contenido de alcohol [13].

2.2.2.4. Cocción

La etapa de cocción tiene como finalidad detener la actividad enzimática llevando el mosto a temperatura de ebullición. El tiempo de cocción dura aproximadamente 90 minutos y durante este tiempo también se le añade el lúpulo el cual se le denomina como condimento de la cerveza [10].

2.2.2.5. Enfriado

Consiste en bajar la temperatura abruptamente después de la cocción con la finalidad de evitar su contaminación con bacterias o levaduras que produzcan sabores no deseados [14].

2.2.2.6. *Fermentación*

Luego de enfriar el mosto, toca añadir la levadura para que esta transforme los azúcares provenientes de la maceración en etanol y dióxido de carbono. Este proceso dura generalmente 4 a 15 días a temperaturas entre 18°C a 22°C [15].

2.2.2.7. *Envasado y Maduración*

Antes de embotellar se requiere hacer una práctica llamada priming que consiste en añadir azúcar al mosto para producir CO₂. Luego de añadir azúcar se procede a embotellar y dejar madurar durante un mes aproximadamente.

El proceso de elaboración de cerveza artesanal, se aprecia en la fig. 2, las etapas del proceso de elaboración de cerveza artesanal.



Fig. 2. Elaboración de cerveza artesanal, etapas del proceso

Nota: Adaptado de cervezas arriaca, de Jorge edu, 2021, <https://arriaca.es/elaboracion/>.

2.2.3. *Actuadores*

En los procesos industriales, los actuadores son los encargados de recibir las señales provenientes del controlador con la finalidad de lograr un efecto deseado sobre el proceso, pueden ser válvulas, calentadores, agitadores, motores, bombas, etc. [16].

2.2.3.1. *Calentadores de inmersión*

La fig. 3, muestra un calentador de inmersión o heater es un actuador que se encarga de calentar cualquier líquido mediante convección, radiación o conducción. Estos son utilizados en muchas industrias donde se tiene tanques que almacenan algún tipo de líquido y transforman energía eléctrica en calor [17].



Fig. 3. Calentador de inmersión

Nota: Adaptado de Grainger Mexico, de limsa,2021, <https://www.grainger.com.mx/categoria/Calefactores-de-Inmersi%C3%B3n/c/3723>.

2.2.3.2. *Válvula solenoide*

La fig. 4, se muestra la válvula solenoide, este dispositivo opera eléctricamente y permite controlar el flujo de un fluido. Tiene dos posiciones de control, totalmente abierto o totalmente cerrado. Consta de dos partes, el cuerpo de la válvula y el solenoide, este solenoide tiene una bobina que accionará un mecanismo para abrir o cerrar el flujo [18].



Fig. 4. Válvula solenoide, control de flujo

Nota: Adaptado de Naylamp Mechatronics, de naylamp,2022, <https://naylampmechatronics.com/valvulas/436-valvula-solenoide-3p4-220vac-bp-nc.html>.

2.2.4. Sensores

Los sensores son dispositivos capaces de detectar variaciones de una señal, pueden ser discretos (on-off) o analógicos que detectan variaciones de la señal entre un rango. Estos pueden medir nivel, posición, tamaño, temperatura, etc. [19].

2.2.4.1. Pt-100

El Pt-100 es un tipo de sensor de temperatura resistivo, esto quiere decir que responde variaciones de temperatura modificando valores de su resistencia [19].



Fig. 5. Sensor de temperatura Pt-100

Nota: Adaptado de paratronic, de paratronic, 2021, <https://www.paratronic.com/es/produit/capteur-de-temperature-pt100-20>.

2.2.4.2. Sensor de nivel

Los sensores de nivel son instrumentos que abren o cierran su contacto para enviar una señal al controlador, por lo que son conocidos como interruptores de nivel o boyas (fig. 6). Tienen un interruptor de contacto y un flotador, este último será quien abrirá o cerrará el contacto eléctrico [20].



Fig. 6. Sensor de nivel on/off

Nota: Adaptado de Electronilab, por eicos, 2022, <https://www.eicos.com/sensor-de-nivel/>.

2.2.5. Controlador lógico programable

Un PLC es un controlador que usa diferentes instrucciones de programación para tomar decisiones en función de los sensores del proceso. Al ser un controlador industrial está preparado para ambientes hostiles ya que este no puede detener su funcionamiento y por lo tanto tiene que trabajar 24/7. Estos controladores pueden programarse de diferentes maneras, el más conocido es el lenguaje Ladder. En general, los PLC's admiten en sus slots de expansión: módulos de entradas y salidas, módulos de comunicación industrial, entre otros [21].

2.2.5.1. Siemens S7-1200

El PLC de Siemens S7-1200 posee la flexibilidad y potencia para controlar una variedad de dispositivos, es clasificado como PLC compacto-modular (fig. 7). Puede programarse bajo la lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones complejas como PID y comunicación con otros dispositivos inteligentes como variadores mediante redes de comunicación industrial [22].



Fig. 7. PLC Siemens, SIMATIC S7-1200

Nota: Adaptado de manual controlador lógico programable S7-1200, de manual, 2017, <https://www.siemens.com/cl/es/productos/tecnologias-de-automatizacion/sistemas/industrial/plc/s7-1200.html>.

2.2.6. *Interfaz Humano-Maquina*

La fig. 8, muestra el interfaz hombre-máquina o HMI, es una interfaz de usuario que permite interactuar al operador con un sistema, maquina o dispositivo. Aunque este término incluye a cualquier dispositivo que permite esta comunicación, el HMI es mayormente usado en un contexto industrial.

Este dispositivo permite visualizar parámetros importantes del proceso, gráficos de producción, monitorear estado de los dispositivos de entrada salida, etc. Normalmente se comunica con un PLC mediante protocolos de comunicación industrial para monitorear cómo va el proceso [22].

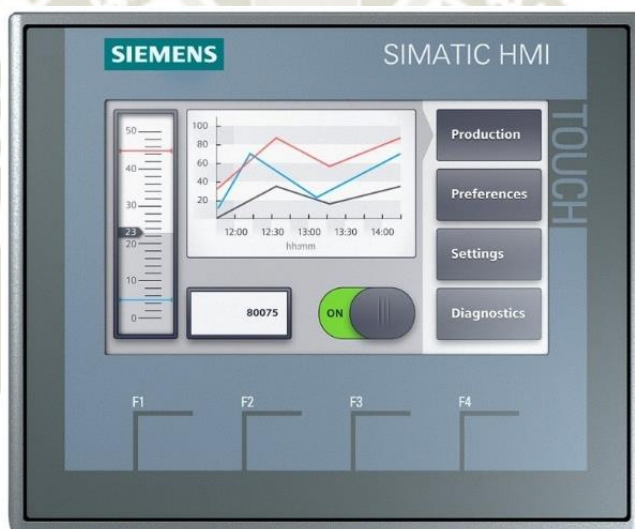


Fig. 8. PLC Siemens, Interfaz Hombre-Maquina (HMI)

Nota: Adaptado de indiamart, de indiamart, 2022, <https://www.indiamart.com/proddetail/ktp-400-basic-4-hmi-siemens-25095111291.html>.

2.2.7. *Redes de comunicación*

Las redes de comunicación industrial permiten el intercambio de información entre los diferentes dispositivos de una planta, sea de campo o a nivel de usuario como comunicación entre PLC y HMI, sensores, variadores, etc [23].

2.2.7.1. **PROFINET**

PROFINET es un acrónimo de Process Field Network y es un protocolo de comunicación Ethernet industrial basado en TCP/IP. Al igual que todos los

protocolos de comunicación industrial se encargan de intercambiar información a diferentes niveles.

2.2.8. *Modelo matemático*

Un modelo matemático es la representación mediante un conjunto de ecuaciones del comportamiento de un sistema, estas ecuaciones resultan de un análisis de leyes mecánicas, como las de Newton o leyes de Kirchoff para sistemas eléctricos. Estas ecuaciones deben describir este comportamiento de manera precisa o al menos acercarse [24].

2.2.8.1. *Función de transferencia*

Las funciones de transferencia caracterizan la relación entre la transformada de Laplace de la salida y la entrada. La obtención de la función de transferencia de un sistema puede darse conociendo su modelo matemático y lograr una relación de salida y entrada. La otra manera es obtener la función de transferencia experimentalmente, esto se logra introduciendo una entrada conocida y estudiando la respuesta que tiene la salida a dicha entrada [24].

2.2.9. *Control de lazo*

En sistemas de control se definen dos tipos de control de lazo, abierto (fig. 9) y cerrado (fig. 10), en los sistemas de control de lazo abierto la salida no se mide ni se realimenta para compararla con la referencia. En este tipo de sistemas se fija un valor determinado de consigna que corresponde a una determinada respuesta del sistema [24].



Fig. 9. Sistema de control de lazo abierto

Nota: Tomado de Ingeniería de control moderno 3er Ed. Ogata, por Katsuhiko Ogata 1997, Pearson.

Por otro lado, están los sistemas de control de lazo cerrado, donde la señal de salida del sistema es realimentada y comparada con la señal de realimentación con la

finalidad de disminuir y llevar a cero el error entre el valor de consigna y la señal de realimentación [24].

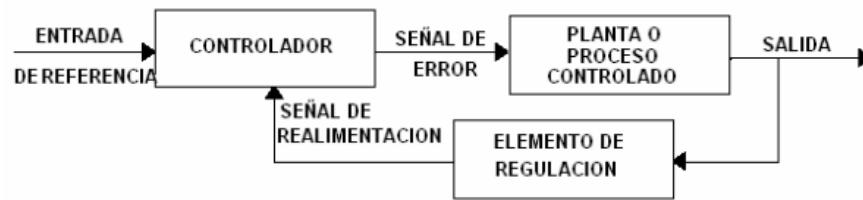


Fig. 10. Sistema de control de lazo cerrado

Nota: Tomado de Ingeniería de control moderno 3er Ed. Ogata, por Katsuhiko Ogata 1997, Pearson.

2.2.9.1. Control PID y sintonización

El controlador Proporcional-Integral-Derivativo o PID es una estrategia de control realimentado que es ampliamente usado a nivel industrial en los controladores lógicos programables o PLC. Cada acción realiza una función en el control [24]:

- Acción Proporcional: reduce el error en el presente
- Acción Integral: depende del error del pasado
- Acción Derivativa: intenta predecir el error futuro

El método más empleado para sintonización de controladores PID es el de Ziegler-Nichols donde se establecen tres parámetros de acuerdo a la respuesta al escalón del sistema:

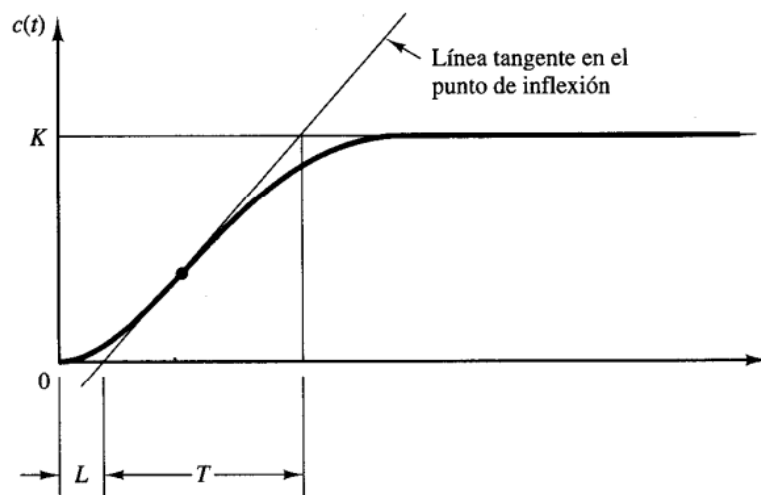


Fig. 11. Control PID, Curva de respuesta típica de una planta al escalón

Nota: Tomado de Ingeniería de control moderno 3er Ed. Ogata, por Katsuhiko Ogata 1997, Pearson.

Estos parámetros obtenidos son K (ganancia), L (tiempo muerto) y T (tiempo de asentamiento). Al tener estos valores se puede usar la tabla II, para determinar los valores de los parámetros Proporcional, Integral y Derivativo.

TABLA II.
REGLA DE SINTONIZACIÓN ZIEGLER-NICHOLS, TIPOS DE CONTROLADORES

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Nota: Adaptado de Teoría de control moderno 3er Ed. De Ogata, 1997.

2.2.10. Servidor web embebido

Los servidores web embebidos permiten el acceso remoto a un sistema mediante internet. Esta funcionalidad que viene incluida en algunos controladores permite monitorear y controlar los principales parámetros desde páginas web activas por lo que solo se requiere un dispositivo (tablet, celular, computadora, etc.) con conexión a internet [25].

2.2.11. Diagrama P&ID

Los diagramas P&ID (Piping & instrumentation diagram) o diagrama de instrumentación y tuberías, es un esquema que muestra mediante un esquemático, toda la instrumentación presente en una planta como sensores, actuadores, controlador, etc. Además, detalla la ubicación de los instrumentos y lazos de control mediante tags, pero no proporciona información acerca de dimensiones de

instrumentos. El detalle de instrumentación varía de acuerdo a la persona que lo realizó, pero en general se basan en la norma ISA S5.1 [26].

2.3. Esquema conceptual

El esquema conceptual propuesto para la tesis es el que se muestra a continuación.

2.3.1. Potencial de hidrogeno (pH)

El potencial de hidrogeno es un indicador de concentración de hidrogeniones que determinan acidez o alcalinidad de una solución. Tiene una escala de 0 a 14 donde las soluciones que tienen un pH menor que 7 son acidas y las mayores a 7 representan soluciones alcalinas. El agua pura tiene un pH neutro de 7, no es alcalina ni ácida [27].

2.3.2. Control Proporcional-Integral-Derivativo

El controlador PID es una de las instrucciones aún más usadas en autómatas programables para controlar procesos o plantas de manera relativamente sencilla ya que solo se requiere configurar y afinar variables que aseguren la estabilidad del proceso a controlar [28].

2.3.3. Empaste

Se dice empaste a la relación de proporción que existe entre el agua y la malta, esto para la etapa de maceración. La proporción que se establece entre el agua y la malta tendrá un impacto en la eficiencia y fermentabilidad del mosto. En empastes densos el almidón tendrá dificultades para diluirse, en empastes acuosos el almidón tomará más tiempo en diluirse [29].

2.3.4. Enzimas alfa y beta amilasas

Las enzimas son catalizadores biológicos que aceleran una reacción química. El proceso químico sin las enzimas se daría de igual forma, pero de manera muy lenta [30].

En el proceso de elaboración de cerveza, las enzimas alfa y beta amilasa son las que se encargan de degradar al almidón para la obtención de dextrinas y azúcares solubles. La actividad de estas depende principalmente de la temperatura y en menor medida del

pH. Con temperaturas entre 72 a 75°C, la alfa amilasa se encargará de romper las cadenas largas de almidón conformadas por amilosas y amilopectinas hasta producir cadenas de 7 a 12 residuos de glucosa, pero degradándose por encima de los 80°C. La beta amilasa por su parte rompe en cadenas más pequeñas a la resultante de las alfa amilasas actuando de manera óptima entre rangos de 60 a 65°C inactivándose completamente por encima de 70°C [31].

2.3.5. Maltosa

La maltosa es un disacárido, es decir está formado por dos glucosas. También es llamado azúcar de malta [32].

2.3.6. Almidón

El almidón es el componente de mayor abundancia en la cebada compuesto por amilosa y amilopectina. Este se forma por maduración lenta en las etapas de germinación y almacenándose como granos de almidón en las células del endospermo de la cebada.

Su degradación durante la maceración, cuyo objetivo es romper cadenas de azúcares para obtener principalmente maltosa. Una maceración incompleta da lugar a presencia de almidón causando enturbiamiento en la cerveza [31].

2.3.7. Prueba de Yodo

La prueba de Yodo es el indicador de degradación de almidón, por lo tanto, indica si se realizó correctamente. Esta prueba da coloración entre azul y rojo en presencia de almidón, pero no cambia de color en presencia de azúcares, en este último caso se dice que el empaste es normal a la reacción de yodo [31].

2.3.8. Mosto

Al final de la maceración, se obtiene una solución acuosa con sustancias disueltas y no disueltas, esta solución disuelta es denominada mosto. Las sustancias no disueltas que se precipitan son denominadas afrecho o heces y son útiles para la etapa de filtración. Para la fabricación de cerveza solo se utiliza el mosto intentando separarlo completamente del afrecho [31].

2.3.9. *Malta ácida*

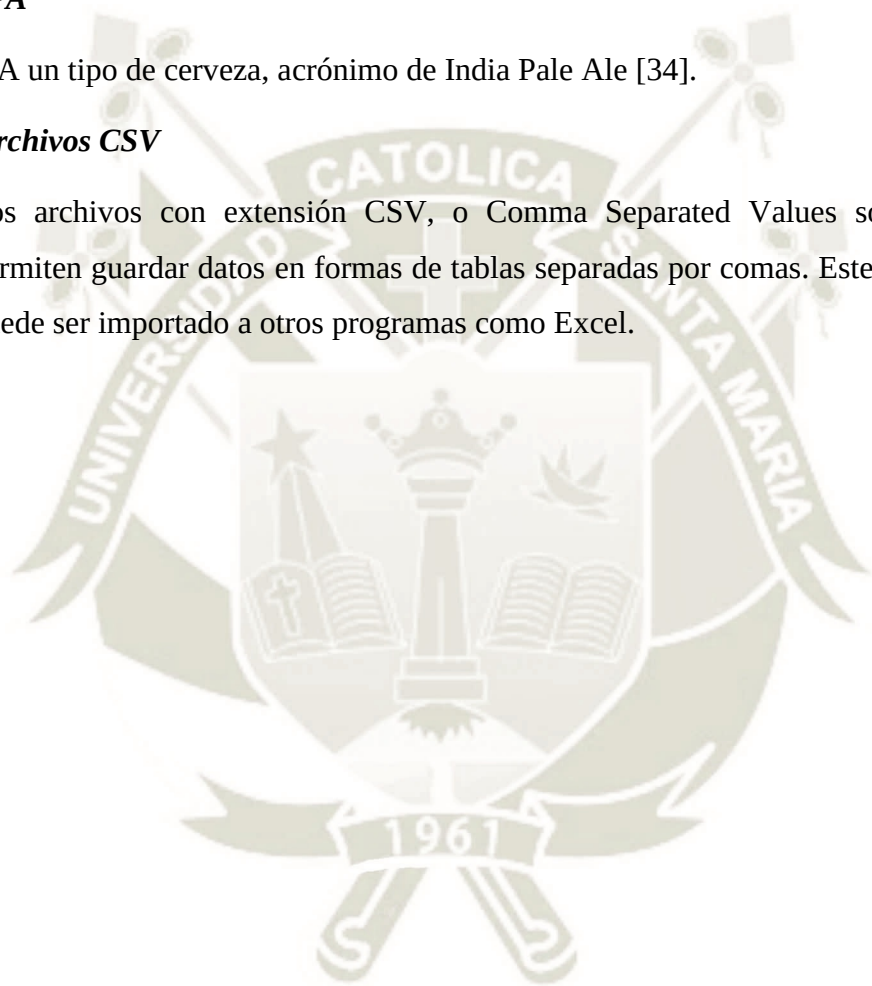
La malta acida se obtiene fermentando el grano teniendo como producto ácido láctico. Puede usarse para elaborar cervezas de sabor característico o para acidificar un agua alcalina [33].

2.3.10. *IPA*

IPA un tipo de cerveza, acrónimo de India Pale Ale [34].

2.3.11. *Archivos CSV*

Los archivos con extensión CSV, o Comma Separated Values son archivos que permiten guardar datos en formas de tablas separadas por comas. Este tipo de archivos puede ser importado a otros programas como Excel.



CAPITULO III

3. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

3.1. Descripción de la empresa

3.1.1. Ubicación geográfica de Artesano Beer

Artesano Beer es una empresa ubicada en la ciudad de Cusco, fue constituida en el año 2017. La producción de cerveza artesanal de artesanal se distribuye local y regionalmente.

3.1.1.1. Ubicación de la planta piloto

El proyecto de la planta piloto de maceración no se realizará en la ciudad del Cusco, este se realizará en la ciudad Arequipa. Los insumos principales para la elaboración de cerveza (agua, malta, lúpulo y levadura) serán los que normalmente se usan en su planta de Cuzco, a excepción del agua. Por lo que, a solicitud de Artesano Beer, se realizará un estudio fisicoquímico del perfil de agua para determinar la composición de minerales, pH, etc. y en función a este estudio, definir qué tipos recetas de cervezas son factibles de elaborar en Arequipa.

3.1.2. Análisis FODA de Artesano Beer

3.1.2.1. Fortalezas

- Conocimiento empírico del maestro cervecero: el maestro cervecero tiene conocimiento de recetas a través de su amplia experiencia en elaboración de cerveza artesanal.
- Actualización constante de Artesano Beer: Constantes implementaciones de mejoras por parte de Artesano Beer en su producción de cerveza artesanal. Las mejoras implementadas son: Automatización de procesos en la planta de Cusco, ampliación en la ciudad de Arequipa, por lo cual se propone la construcción de una planta piloto.
- Valor agregado que ofrece Artesano Beer: Artesano Beer es elaborado por personas que disfrutan y se aseguran una excelente calidad durante el proceso de elaboración de cerveza

3.1.2.2. Oportunidades

- Público consumidor: la aceptación que tiene el público Artesano Beer, y en general las cervezas artesanales tiene tendencia a crecer, debido a la preferencia de lo natural en lugar de la cerveza industrial.
- Nuevas tecnologías de automatización: El avance de la tecnología ofrece equipamiento específico, como instrumentación o controladores, a las empresas dedicadas a este rubro.
- Equipamiento accesible: Precios de equipos en automatización accesibles de acuerdo a la capacidad de adquisición de cada empresa.

3.1.2.3. Debilidades

- Importación de insumos: Insumos como malta, lúpulo y levadura tienen que ser importados,
- Pérdida de horas de producción por mantenimientos correctivos: Debido a malas evaluaciones o fallas a nivel operativo se tienen paradas imprevistas que afectan el cumplimiento del programa de producción.
- Pendiente implementación de estándares en algunos de los procesos de producción como maceración.

3.1.2.4. Amenazas

- Impuestos altos: El Impuesto Selectivo al Consumo a la cerveza, sea artesanal e industrial, que podría disminuir el consumo de cerveza debido al aumento de costo que podría experimentar.
- Mercado en constate crecimiento: De acuerdo al MEF, la producción de cerveza artesanal creció exponencialmente en los últimos años. Este constate crecimiento de productores de cerveza artesanal, crea un mercado altamente competitivo, por lo que para mantenerse en carrera se requiere mantenerse actualizado.
- Absorción de productores medianos a productores pequeños pudiendo crear monopolios.

- Importación de insumos: Insumos como malta, lúpulo y levadura tienen que ser importados, lo que provoca que el precio de estos sea ligeramente alto.

3.2. *Análisis de la situación actual*

En el proceso de elaboración de cerveza artesanal, cada etapa cuenta con un grado de complejidad, siendo la temperatura la variable más importante en cada una de estas. Artesano Beer menciona que la maceración tiene un grado mayor de dificultad, especialmente en maceraciones escalonadas donde se tiene que cumplir ciertos parámetros de variaciones de temperatura en un determinado tiempo.

TABLA III.
ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

Etapa	Producto entrante	Producto saliente	¿Qué ocurre?
Malteado	Grano de cebada/trigo	Malta	Se convierte almidón en azúcares.
Molienda	Malta	Malta molida	Se prepara la malta para fácil extracción de azúcares.
Maceración	Malta molida y agua	Mosto	Se extraen azúcares de la malta.
Cocción	Mosto y lúpulo	Mosto lupulado	Se le da el sabor y olor.
Fermentación	Mosto lupulado y levadura	Cerveza	Los azúcares serán transformados en alcohol.
Maduración y envasado	Cerveza	Cerveza	Se reposa la cerveza.

Nota: Artesano Beer.

En la Tabla III, se puede observar la importancia de cada etapa, teniendo los productos entrantes y productos salientes. En la etapa de maceración se da la extracción de azúcares a temperatura y pH controladas. Estos parámetros son controlados ya que en la literatura se muestra que la actividad enzimática es mayor, por lo tanto, se da una conversión exitosa.

3.2.1. *Proceso productivo actual de las empresas cerveceras*

El proceso productivo de cerveza artesanal en Artesano Beer comienza con la etapa de molienda. No se realiza germinado y malteado debido a que estos insumos se

pueden conseguir localmente, a pesar de ser productos importados. Las etapas restantes, es decir maceración, cocción, fermentación, maduración y envasado son realizados por la misma empresa.

Se tiene que considerar que los productores cerveceros pueden dividirse en tres grupos, siendo:

- **Cervecerías caseras:** Su elaboración de cerveza se da de manera simple, ya que los equipos que se usan en la elaboración de cerveza son o fueron acondicionados con utensilios comunes de casa.
- **Cervecerías artesanales:** Las cervecerías artesanales son las que cubren lo que es la micro cervecería, ya que cuenta con equipos con mayor control para optimizar procesos y rendimientos. Además, se presta atención a más detalles durante el proceso ya que va destinado al público en general.
- **Cervecerías industriales:** Se da la producción en masa de cerveza sin prestar mayor atención a la variación de estilos debido a la complejidad que implicaría cambiar procesos en equipos tan grandes.

De acuerdo con esta clasificación, además de proponer una solución a la etapa de maceración de Artesano Beer, esta tesis estará orientada a cervecerías artesanales, además a cervecerías caseras que deseen automatizar sus procesos.

3.2.1.1. Molienda

La etapa de molienda se destroza parcialmente la malta, es decir se rompe la cáscara y el grano para que el almidón quede expuesto y se facilite el proceso enzimático que se dará en la maceración. Es importante que el molido de la cáscara no sea total, es decir no se quiere harina, ya que esta tiene la función de filtro natural que permitirá separar el mosto de los granos.



Fig. 12. Molino de discos

Nota: El día de la cerveza Homebrew.

En la fig. 12, se observa el proceso de molienda usando un molino de disco común. Esta solución representa la más económica frente al molino de rodillos. La desventaja que tiene la molienda de malta con este molino es principalmente el tiempo que toma realizarlo, teniendo rendimientos aproximados de 10kg por hora, también la molienda no se realiza de manera uniforme obteniéndose harina que dificultará su separación del mosto. Puede acoplarse a un taladro que puede acelerar el tiempo de molienda, pero no está recomendado.



Fig. 13. Molino de rodillos

Nota: El día de la cerveza Homebrew.

En la fig. 13, se muestra el proceso de molienda usando un molino de dos rodillos. La ventaja frente al molino de discos es que está preparado para acoplarse a un taladro, el cual minimiza enormemente el tiempo de molido, pudiendo moler 5 kg de malta en aproximadamente 5 minutos.

3.2.1.2. *Maceración*

Con la malta ya molida se procede a realizar la maceración, cuyo objetivo es convertir el almidón de largas cadenas de azúcares en cadenas más pequeñas que puedan ser digeridas por las levaduras. El proceso de transformación química que se da en la maceración, tiene parámetros definidos para cada estilo de cerveza, es decir, se tiene que lograr establecer la temperatura y pH ideales para que este proceso se lleve a cabo con éxito. Siendo, la prueba de yodo, el indicador más conocido por los maestros cerveceros.

De acuerdo con Artesano Beer, generalmente el pH del agua (7.0) disminuye y se estabiliza entre 5.2 y 5.8 cuando se añade la malta al macerador, que son los valores recomendados para realizar un macerado exitoso. En casos donde no se da esta condición se procede acidificarlo, añadiendo malta ácida hasta lograr el pH deseado. Cabe mencionar que Artesano Beer recomienda establecer en esta etapa, valores entre 5.2 y 5.6 en la escala de pH.



Fig. 14. Medición de PH en maceración

Nota: El día de la cerveza Homebrew.

En la fig. 14, se visualiza la medición de pH en la maceración. Esta medición no se realiza de manera constante o ‘en línea’, por lo que se requiere tomar muestras constantemente.

Además del control de pH, en Artesano Beer y en general en todas las cervecerías artesanales, se tiene dificultades al momento de controlar temperatura. Para lograr esto se recurren a métodos donde las pérdidas de calor se minimicen o realizando un control de calor manual.



Fig. 15. Maceración en cervecerías caseras

Nota: El día de la cerveza Homebrew.

La fig. 15, muestra la etapa de maceración usando un cooler, para ello se usó agua previamente calentada a mayor temperatura (75°C) debido a que cuando se añada la malta, esta bajará. Para regular y lograr una temperatura óptima, se añadirá agua

caliente o agua fría según se requiera. Este método generalmente es usado por pequeñas cervecerías que están iniciándose en este rubro.



Fig. 16. Maceración en cervecerías artesanales

Nota: La Birra Nostra.

En producciones más grandes, se usa ollas de maceración. Como se observa en la figura 16, el calor es provisto por la combustión y el control de temperatura se da de manera manual mediante la regulación de la perilla que regula el flujo de GLP.

Si bien este control manual funciona, es decir se logra medianamente mantener la temperatura deseada, tiene deficiencias pues se dan pérdidas de calor y, por ende, temperatura no ideal en el macerado. Al automatizarlo, esta etapa se hace más eficiente energéticamente, además de no requerir recurso humano para un constante monitoreo.

3.2.1.3. Cocción

Previo a pasar el mosto a cocción, se tiene que realizar el lavado de grano para extraer los azúcares residuales de la malta y compensar el volumen faltante debido a la extracción de esta. Se realizará el lavado hasta que la medición indicada por el densímetro o refractómetro sea acorde a la densidad de la receta preparada. Además, el mosto tiene que ser filtrado para evitar materias sólidas en las siguientes etapas. En la cocción se tiene como objetivo esterilizar el mosto, y mediante la adición de lúpulo, aportar amargor y aroma.

En esta etapa se añadirá una variedad y cantidad de lúpulo en intervalos de acuerdo a la receta y estilo de cerveza. Por lo general el tiempo de cocción es de 1 hora donde la temperatura no es una variable a controlar debido a que se tiene que llevar al mosto a ebullición, pero el pH tiene que ser monitoreado desde el inicio hasta el final.

3.2.1.4. Enfriamiento y fermentación

Con el mosto a temperaturas de ebullición (95-98°C), este no puede ser inoculado con levaduras ya que el rango de temperatura de actuación está muy por encima. Es por ello que se realiza el enfriamiento para llevar el mosto a temperaturas de entre 15-20°C y en el menor tiempo posible para evitar contaminación de bacterias que podrían provocar sabores no deseados, es decir estropear el producto final.



Fig. 17. Enfriado de mosto

Nota: El Viejón Beer Company y El día de la cerveza Homebrew.

En método enfriamiento por serpentín de la fig. 17, es el más usado por los maestros cerveceros, ya que este resulta económico. Además, este último está presente en kits de elaboración de cerveza.

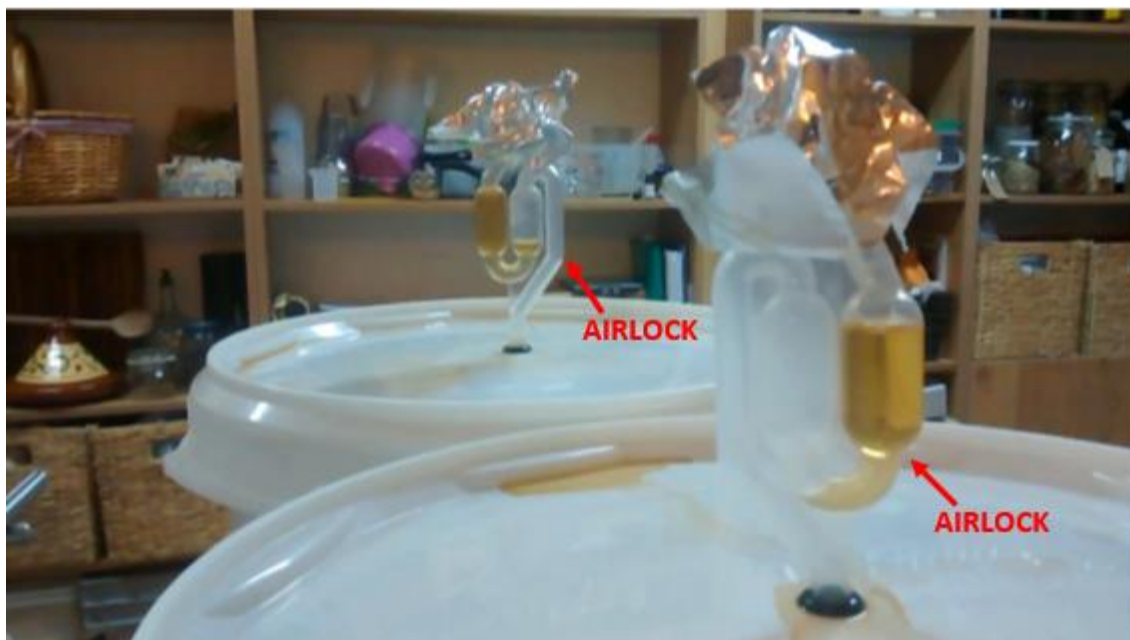


Fig. 18. Airblock en fermentación

Nota: El Viejón Beer Company y El día de la cerveza Homebrew.

Con la temperatura del mosto a valores cercanos a 15-20°C se procede a inocularlo con levadura donde se utiliza envases cerrados adicionalmente de un airlock cuya función es permitir la salida de CO₂ producto de la acción de las levaduras y también de impedir el ingreso de oxígeno. En esta etapa, la fermentación tomará aproximadamente 1 a 4 semanas dependiendo del estilo de cerveza que se elaboró.

3.2.1.5. *Carbonatación y envasado*

La carbonatación en la cerveza y otras bebidas tiene como finalidad conservar el sabor por mayor tiempo. La carbonatación se lleva a cabo al momento de envasar y sellar, posterior a este envasado se da el proceso de maduración, que, dependiendo del tipo de cerveza, se madurará por más de 2 semanas hasta meses. En el caso de cervezas con mucha cantidad y variedad de lúpulo como las IPA, PALE ALE estarán disponibles para el consumo tan pronto se hayan carbonatado ya que cuanto más tiempo pase en maduración, la cerveza perderá gradualmente su sabor y aromas.

3.2.2. Maceración de cerveza artesanal

El proceso de maceración comienza con calentar el agua a una determinada temperatura que es ideal para la actuación de enzimas, una vez llegado a este valor se añade la malta previamente molida. A pesar de que existen diferentes técnicas de maceración, esta etapa de la elaboración de cerveza artesanal resulta tener un grado de complejidad ya sea en una empresa pequeña o grande, por lo que controlar parámetros como temperatura y pH en esta etapa es importante debido a las reacciones que se dan dentro de esta independientemente del método de maceración usada.

Los métodos de maceración, en general, son dos: simple y escalonada.

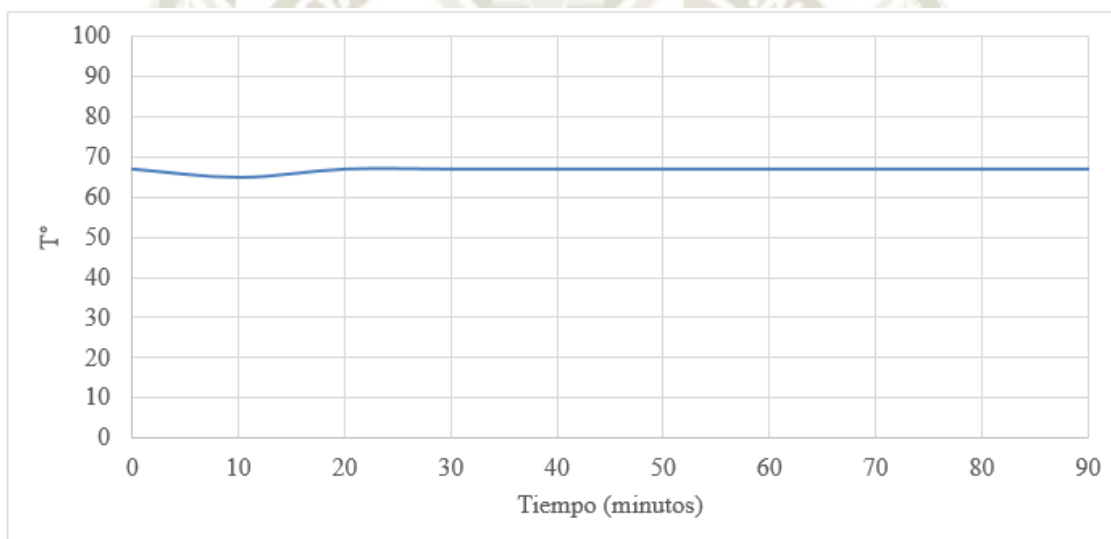


Fig. 19. Comportamiento de una maceración simple

Nota: Elaboración propia.

En la fig. 19, se observa la curva característica de una maceración simple, donde la temperatura tiene que mantenerse en una temperatura fija a lo largo de esta etapa (entre 60 y 90 minutos). Este método es el más conocido por los maestros cerveceros debido a la simpleza que significa mantener la temperatura en un valor, y válido para la mayoría de estilos de cerveza. La simpleza de este método es relativa, ya sea en cervecerías caseras o artesanales, ya que de todas maneras existirá pérdidas de calor hacia el recipiente.

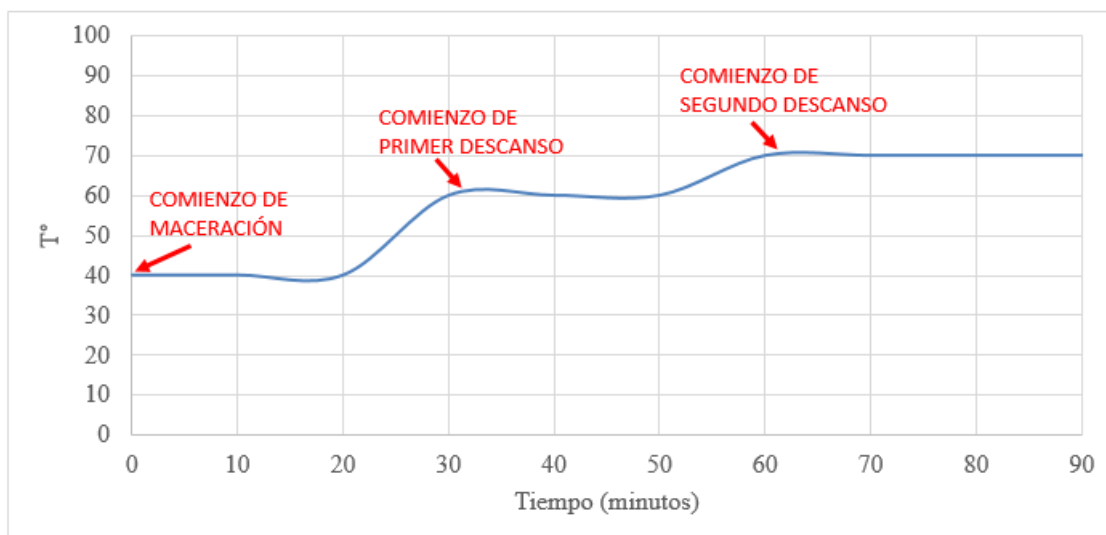


Fig. 20. Comportamiento de una maceración escalonada

Nota: Elaboración propia.

En la fig. 20, se observa una maceración escalonada con dos descansos. Los tiempos en cada descanso varían entre cada estilo de cerveza, además, Artesano Beer recomienda que la razón de cambio de temperatura respecto al tiempo entre descanso y descanso tiene que ser de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ para evitar que se queme el mosto en la parte donde hay contacto con las fuentes de calor.

Este último método de maceración resulta desafiante para realizar manualmente, por lo que no es común que cervecías realicen este método debido a la dificultad que implica.

3.2.2.1. *Enzimas en la maceración*

Las enzimas son catalizadores biológicos, es decir aceleran las reacciones que podrían producirse. Las diferentes enzimas en la maceración cumplen una función determinada, por lo que cada una de ellas tienen condiciones de temperatura y pH que se deben cumplir.

TABLA IV.
 ENZIMAS PRESENTES EN LA MALTA, RANGOS DE ACTIVACIÓN DE T(°C) Y PH

Enzima	Rangos de activacion T°	Rangos de activación pH	Función
Fitasa	30-52°C	5.0-5.5	Disminuye el pH de la Maceración.
Beta-Glucanasa	20-50°C	4.5-6.0	Excelente para descomponer gomas y gelatinas dextrinosas.
Proteasa	20-65°C	4.5-6.0	Solubiliza proteínas reserva de la malta que son insolubles.
Peptidasa	20-67°C	4.5-6.0	Produce Nitratos de amino-acidos de proteínas solubles.
Alfa-glucosidasa	60-70°C	4.5-6.0	Convierte cadenas de maltosa y otros azúcares en glucosa.
Beta-Amilasa	60-65°C	5.0-6.0	Produce maltosa.
Alfa-Amilasa	60-75°C	4.0-6.0	Produce una variedad de azúcares fermentables incluyendo maltosa.

Nota: Elaboración propia.

En la tabla IV, se puede observar que en rango de actuación de pH de las enzimas es menor que 7, es decir tendrán un mejor rendimiento en un medio ácido. De acuerdo a Artesano Beer, la condición que normalmente se da, es decir es más frecuente, es que se tenga que bajar el pH, ya que la maceración comienza con un pH neutro del agua.

3.2.2.2. *Almidón en la maceración de cerveza artesanal*

El almidón es un compuesto formado por cadenas de glucosas, que dependiendo si son lineales o ramificadas tomarán el nombre de amilasas o amilopectinas respectivamente. En la malta, la amilasa está presente en un 25% y el otro 75% está conformado por amilopectinas. Ambas cadenas de azúcares interaccionarán con la enzima alfa amilasa que romperá los enlaces de las cadenas de azúcares por

los extremos y beta amilasa, que romperá los enlaces principalmente por las mitades.

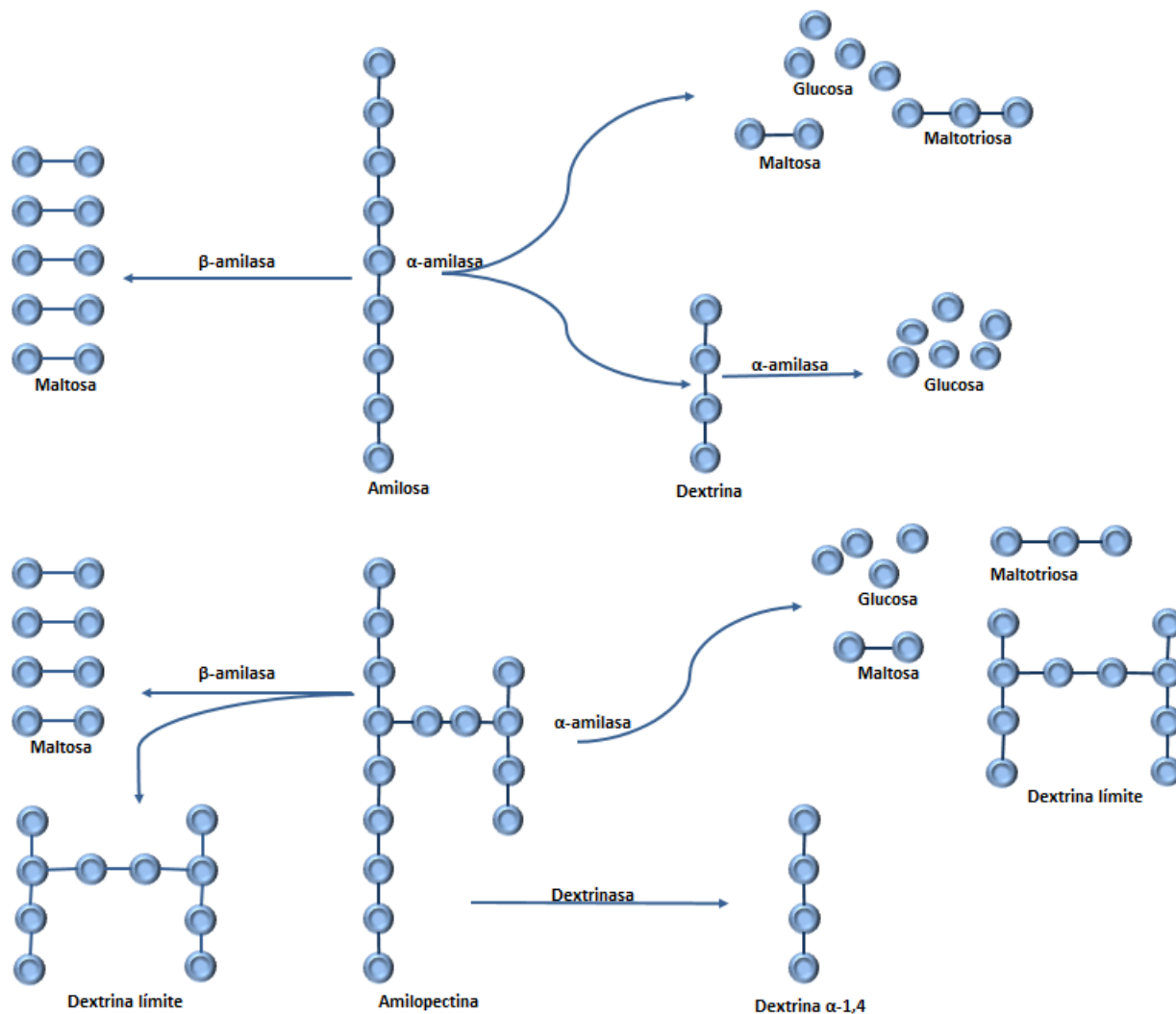


Fig. 21. Reacción entre almidón y alfa/beta amilasa

Nota: Elaboración propia.

De esta manera, en la fig. 21, se observa desde el punto de vista bioquímico, la maceración cuyo objetivo es convertir las largas cadenas de azúcares que no son digeribles por las levaduras a cadenas pequeñas. Cabe mencionar que la conversión no se realiza de manera total, ya que algunos estilos de cerveza tienen como parámetro un grado de alcohol mayor, o, por el contrario, hay recetas que requieren más cuerpo, es decir mayor dulzor que serán aportadas por las dextrinas.

3.2.2.3. *pH en maceración.*

De acuerdo con Artesano Beer, las mediciones de pH en el mosto varían en función de la temperatura. Es decir, el valor de pH disminuirá en aumentos de temperatura y aumentará en descensos de temperatura.

Además, se mencionó que el valor de pH cae naturalmente al comenzar la maceración. En caso no se de este cambio, se tiene que realizar el control de esta variable. Pero no representa un desafío en comparación con el control de la temperatura, ya que el pH no varía una vez alcanzado el valor ideal.

3.2.2.4. *Prueba de yodo*

La prueba de yodo es una técnica fundamental empleada por Artesano Beer para evaluar la eficacia del proceso de maceración en la elaboración de cerveza. Este método se basa en la reacción química entre el yodo y los almidones presentes en el mosto. Durante la maceración, los almidones se descomponen en azúcares simples, lo cual es esencial para obtener los sabores y aromas deseados en la cerveza final. El yodo actúa como un reactivo al unirse a las moléculas de almidón que puedan haber quedado sin descomponer en el mosto. Esta unión produce un cambio de color distintivo que revela la presencia de almidones no transformados. En condiciones ideales de maceración, los almidones se descomponen por completo, lo que resulta en un mosto que no reacciona con el yodo y mantiene su tonalidad original.

Sin embargo, si la maceración no ha sido exitosa y aún quedan almidones sin descomponer, la reacción con el yodo generará un cambio en el color del mosto, adquiriendo un tono azul oscuro característico. Esta variación cromática sirve como indicador visual de que la maceración no se ha llevado a cabo de manera adecuada y que es necesario ajustar los parámetros del proceso para lograr una conversión más completa de los almidones. Por lo tanto, la prueba de yodo desempeña un papel crucial en el control de calidad de la elaboración de cerveza en Artesano Beer al proporcionar información valiosa sobre la eficiencia de la maceración. Esta técnica permite a los cerveceros identificar posibles problemas

en el proceso y tomar medidas correctivas para garantizar la obtención de un mosto rico en azúcares fermentables, esenciales para lograr perfiles de sabor y características sensoriales óptimas en la cerveza final.

En síntesis, como resultado del análisis del proceso de elaboración de cerveza en cervecerías artesanales, se concluye:

- Tras la evaluación del informe del estudio fisicoquímico del agua potable de la ciudad de Arequipa, Artesano Beer sugirió la receta Belgian Blonde Ale cuya receta consta de tres escalones de temperatura (Anexo 2).
- Las pérdidas de temperatura durante la maceración se dan independientemente del método de maceración por la ley cero de la termodinámica, por lo que mantener la temperatura en un valor deseado resulta complicado para la persona encargada de elaborar cerveza.
- Controlar la temperatura representa en un reto para el maestro cervecero, siendo aun mayor este reto cuando se trata de maceración escalonada, donde la variación de temperatura entre descanso y descanso tiene que cumplir una variación de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$.
- La temperatura es un parámetro que debido a pérdidas al ambiente requiere una constante fuente de calor durante toda la maceración, a diferencia del pH que varía solo durante el inicio y posteriormente estabilizándose.
- El pH es un parámetro que tiene que ser monitoreado que también puede ser controlado siendo necesario sólo al inicio de la maceración, no requiriendo una evaluación constante del pH durante toda la maceración.
- El conocimiento del maestro cervecero en la elaboración su producto determina los parámetros de maceración como densidad, rangos de pH, tiempos de cada descanso de temperatura, etc. en base a su experiencia.

CAPITULO IV

4. SOLUCIÓN PROPUESTA

4.1. *Criterios de selección de equipos*

A continuación, se mencionan los criterios por los que se seleccionaron los equipos en el proyecto de automatización de la etapa de maceración solicitada, estos se aplicaron para la selección de los actuadores, sensores y controlador lógico programable.

4.1.1. *Calentadores de inmersión*

Se decidió realizar la etapa de control de temperatura utilizando calentadores eléctricos (resistencias) los cuales se utilizan ampliamente por varias razones:

- Fácil de usar y requieren una instalación mínima, solo se necesita sumergir el calentador en el fluido y conectarlo a una fuente de energía.
- Son ideales para calentar fluidos en tanques, recipientes, tinas, bañeras, cubetas y otros recipientes donde el agua necesite ser calentada.
- Estos dispositivos son portátiles y pueden ser movidos fácilmente de un lugar a otro, los hace útiles en situaciones donde se necesita calentar fluidos en diferentes ubicaciones.
- Los calentadores de inmersión suelen ser eficientes en términos de conversión de energía en calor, la mayoría de la energía que consumen se convierte directamente en calor transferido al fluido.
- Estos son especialmente útiles en aplicaciones donde se requiere un control preciso de la temperatura, como en la preparación de alimentos o procesos industriales.
- Comparando con otros sistemas de calentamiento, los calentadores de inmersión suelen ser la opción más económica tanto en términos de costo inicial como en el mantenimiento.

Por estas ventajas que presentan, se consideró la selección de los calentadores de inmersión.

4.1.2. Válvula solenoide

Los criterios de selección aplicados para utilizar las válvulas de solenoide fueron basados en las principales ventajas que estas presentan, las cuales se mencionan a continuación:

- Las válvulas de solenoides se pueden integrar fácilmente en sistemas automatizados. Pueden conectarse a controladores programables u otros dispositivos para lograr un control automatizado del flujo.
- Estas válvulas consumen energía solo cuando están en proceso de abrir o cerrar, lo que resulta en un ahorro de energía en comparación de otros tipos de válvulas que requieren una energía constante para mantener una posición.
- Suelen ser más pequeñas y ligeras en comparación con algunas otras opciones de válvulas, ya que, su diseño es compacto.
- Las válvulas solenoides suelen ser silenciosas durante su operación en comparación con algunas válvulas neumáticas o hidráulicas, que pueden generar ruido durante su funcionamiento.
- El uso de otro tipo de válvulas como neumáticas o hidráulicas requieren de otra fuente de energía la cual no fue considerada en este proyecto para disminuir costos de implementación.
- Son usadas en amplia gama de aplicaciones, desde sistemas de riego hasta dispositivos médicos y equipos industriales. Su versatilidad las hace adecuadas para diversas industrias.

4.1.3. Pt-100

A continuación, se redacta las razones porque se optó a seleccionar el sensor de temperatura pt-100:

- Los sensores pt-100 son ampliamente usados para medir la temperatura con alta precisión y estabilidad en una variedad de aplicaciones, desde laboratorios hasta plantas de procesamiento industrial.
- Su rango de operación de temperatura es amplio y se encuentra dentro de los valores necesarios para el control del proceso de maceración a controlar el cual

oscila entre 10 y 110 °C teniendo los pt-100 rangos de medición entre -50 y 205°C.

- Las longitudes de cable utilizadas se encuentran dentro del rango recomendado por el fabricante (menos de 99.99 metros).
- Tiene una excelente estabilidad a largo plazo, lo que significa que su calibración inicial tiende a mantenerse constante con el tiempo.
- La conexión eléctrica suele ser simple y directa, se pueden conectar a instrumentos de medición y control con facilidad.
- Son menos susceptibles a interferencia electromagnéticas en comparación con otros tipos de temperatura, como los termopares.

4.1.4. Sensor de nivel

La elección de sensores de nivel tipo on/off se debe a varias consideraciones:

- Suelen ser más económicos en comparación con los sensores de nivel continuo, lo que es relevante en la producción de cerveza artesanal donde el presupuesto es un factor importante.
- Tienden a ser robustos y menos propensos a problemas de interferencias eléctrica y mecánica en comparación de los sensores de nivel continuo.
- Estos sensores son relativamente fáciles de instalar y mantener.
- El proceso de maceración solo necesita conocer dos estados de nivel, es decir, nivel alto y bajo, los sensores on/off son suficientes para cumplir con los requisitos de la aplicación sin necesidad de mediciones continuas.
- Son ampliamente usados para activar o desactivar bombas, válvulas u otros dispositivos de control en respuesta al cambio de nivel, ideal para automatizar el proceso de maceración de una manera sencilla.

4.1.5. Siemens S7-1200

La elección del PLC (Controlador Lógico Programable) S7 1200 para la automatización de la planta de cerveza artesanal, se debe a las siguientes razones:

- Siemens ofrece herramientas de programación amigables como el software TIA Portal que facilita la creación y edición de programas para el S7 1200 integrando las aplicaciones de HMI, redes y otras.
- Tiene opciones de comunicación flexibles que permiten la conexión con otros dispositivos y sistemas, como sistema SCADA, HMI y redes industriales. Esto es útil para monitorear la planta de cerveza desde un sistema centralizado.
- Siemens es una marca conocida por la calidad y fiabilidad de sus productos en campo de la automatización industrial, el S7 1200 tiene historial probado las aplicaciones industriales y puede proporcionar un control estable y confiable.
- Si se planea expandir la planta de cerveza en un futuro para realizar el control de otros procesos y etapas, el S7 1200 es una elección adecuada, que se puede agregar más módulos de E/S y posee las cualidades necesarias para automatizar el proceso de elaboración por completo.

4.1.6. *Tablas comparativas para selección de equipos*

En las tablas V, VI y VII se muestran la comparación de los sensores que se utilizarán en la etapa de maceración, la selección de estos sensores se basa en un análisis detallado de las especificaciones técnicas de los equipos, optando por aquellos que se ajusten de manera óptima a los requerimientos del proyecto.

TABLA V.
COMPARACIÓN DE SENSOR DE TEMPERATURA

Características	RTD PT100 (3 Hilos)	Termopar
Rango de trabajo	-100°C a +100°C	-200°C a +400°C
Conexión	3 Hilos	2 Hilos
Presición de medición	0.1 °C	1 °C
Dimensiones	D5mm x L100mm	D4.5mm x L200mm
Diametro de rosca	8mm/0.31"	5mm
Material de sonda	Acero inox	Acero inox
Resistente al agua	si	si

Nota: Elaboración propia.

En la tabla V, se muestra una comparación de 2 tipos de sensores temperatura del cual se selecciona el RTD PT100 de 3 hilos, debido a que ofrece una mejor precisión

de medición de 0.1 °C en comparación de 1 °C del termopar, la relación resistencia – temperatura es lineal lo cual facilita la escalabilidad de la medición, el rango de temperatura se ajusta perfectamente al rango de temperatura requerido por el proceso de 0 °C a 100 °C.

TABLA VI.
COMPARACIÓN DE SENSOR DE NIVEL

Características	Sensor flotante de nivel para líquidos NA ON/OFF	Sensor de nivel capacitivo
Tipo de salida	Digital (ON/OFF)	Digital o Analógica
Tiempo de respuesta	1- 2 Seg	<1seg
Temperatura de operación	-10°C a +100°C	-20°C a +80°C
Rango de medición	0 - 5m	0-2m
Mantenimiento	Mayor	Menor
Precio	moderado	Costoso

Nota: Elaboración propia.

En la tabla VI, se muestra una comparación de 2 tipos de sensores de nivel del cual se selecciona el Sensor flotante de nivel para líquidos NA ON/OFF, debido a que cumple con las necesidades del proyecto para el control de nivel de agua dado que solo es necesario una señal digital discreta, además su precio de 12 dólares es significativamente menor en comparación con los 50 dólares que cuesta el sensor de nivel capacitivo.

TABLA VII.
COMPARACIÓN DE SENSOR DE pH

Características	Electrodo de pH FGHGF	Electrodo de pH de fibra óptica
Rango de pH	0 a 14 pH	0 a 14 pH
Temperatura de operación	0 a +100°C	-5°C a +80°C
Presión máxima	6-10 bar (87-145 psi)	<10 bar (145 psi)
Conexión eléctrica	Conexión a través de un amplificador	Conector especial
Interfaz de comunicación	Conexión directa a registrador de datos	Requiere sistema de análisis de luz o detector de fibra óptica
Alimentación	No	No
Costo	Moderado	Alto

Nota: Elaboración propia.

La tabla VII, muestra una comparación de 2 tipos de sensores de pH del cual selecciona el Electrodo de pH FGHGF, debido a que su conexión eléctrica es a través

de un amplificador que viene incluido, la conexión es directa al registrador de datos. A diferencia del electrodo de Fibra óptica que necesita una conexión especial, además que se requiere de un sistema de análisis de luz para el interfaz de comunicación. También cumple con el rango de temperatura necesario para realizar la medición 0 °C a 100 °C.

En las tablas VIII, IX, X, y XI se realiza la comparación de los actuadores que se utilizaran en la etapa de maceración, optando por las mejores opciones.

TABLA VIII.
COMPARACIÓN DE ELECTROVÁLVULA

Características	Electroválvula de flujo ACARPS	Electroválvula de control direccional
Alimentación	120V AC-240V AC	120V AC-240V AC
Corriente de operación	0.6A	1A a 1.5A
Potencia de consumo	1W a 10W	1W a 20W
Temperatura de funcionamiento	+5°C a +100°C	0°C a +100°C
Sensibilidad y precisión	sensible y preciso	menos sensible
Control de flujo	Dirección de flujo	Cantidad de flujo

Nota: Elaboración propia.

En la tabla VIII, se realiza una comparación de 2 electroválvulas del cual se selecciona la electroválvula de flujo ACARPS, debido a que la corriente de operación de 0.6A, esto importante ya que el consumo de potencia es menor, el control de flujo es en una dirección. A diferencia de la electroválvula de control direccional que es utilizada en aplicaciones más avanzadas donde es necesario control de flujo en ambas direcciones y tiene costo elevado.

TABLA IX.
COMPARACIÓN DE CALENTADOR DE AGUA

Características	Resistencia de inmersión AIICIOO	Calentadores con bridas
Alimentación	220V AC/380V AC	220V AC/240V AC
Potencia de consumo	4.5kW	3kW
Corriente Máxima	<20A	<14A
Longitud del artículo	7.480 in	8.231 in
Peso del artículo	600 gr	800 gr
Material	Acero inox	Acrílico Sus304

Nota: Elaboración propia.

En la tabla IX, se realiza una comparación de 2 tipos de calentadores de agua, se selecciona la resistencia de inmersión AIICIOO, debido a que está fabricado de acero inoxidable; importante para evitar algún tipo de contaminación del mosto. La potencia de 4.5kW ofrecerá mayor eficiencia, además la forma de las resistencias facilita la limpieza; por otro lado, el calentador con bridas tiene forma de espiral que dificultaría la limpieza y ofrece menor potencia (3kW) tomaría más tiempo para alcanzar los Setpoint en el macerado.

TABLA X.
COMPARACIÓN DE BOMBA PARA FLUIDO

Características	Bomba de 24VDC	Bomba de 220VAC
Voltaje	24V DC	220V AC
Consumo de corriente	1-10A	1-10A
Presión Máxima	10-50 psi	20-100 psi
Temperatura de líquido	+80°C o 176 °F	+75°C o 167 °F
Peso	Variable	Variable
Caudal máximo	11.3L /min	20.5L /min
Potencia máxima	100W a 500W	500W a 3000W

Nota: Elaboración propia.

La tabla X, se realiza una comparación de bombas, donde se selecciona la bomba de 24VDC, debido a que ofrece una potencia de 100W a 500W suficiente para recircular el mosto, soporta hasta 80°C de temperatura del líquido es importante porque en el 3er Setpoint alcanzamos los 76°C. Además, la potencia es suficiente; ya que, se utiliza menor a los 3 bares para recircular el mosto.

TABLA XI.
COMPARACIÓN DE ACTUADOR LINEAL

Características	Actuador lineal 12VDC	Actuador lineal 24VDC
Voltaje	12V DC	24V DC
Consumo de corriente	1-5A	0.5-5A
Velocidad máxima	5mm/s	8mm/s
Fuerza máxima	100N	150N
Control	Voltaje, PWM	Voltaje, PWM
Temperatura de operación	+5°C a +40°C	+5°C a +45°C
Peso	200gr	250gr
Costo	Moderado	Moderado

Nota: Elaboración propia.

En la tabla XI, se realiza una comparación de 2 tipos de actuadores lineales para abrir y cerrar la compuerta de malta, se selecciona el actuador lineal de 12VDC, debido a que el control se realiza mediante el voltaje o una señal PWM, ofrece 100N de fuerza máxima suficiente para accionar las compuertas de malta, además que consume menor potencia comparado al actuador de 24VDC.

En las tablas XII, XIII, XIV y XV se muestran la comparación de los equipos de control, estos son el Controlador Lógico Programable (PLC), la Unidad de Procesamiento Central (CPU), el Módulo de extensión y el Interfaz Hombre – Maquina (HMI). La selección de los equipos se realiza considerando las características técnicas que poseen y mejor se ajusten a las necesidades para el desarrollo del proyecto.

TABLA XII.
COMPARACIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Características	S7 1200/CPU 1214C	S7 1500
Alimentación	24V DC	24V DC
Consumo de corriente	0.1A a 1.5A	0.3A a 3.0A
Entradas digitales	6 - 24	16 - 64
Salidas digitales	4 - 16	16 - 64
Salidas analógicas	0 - 2	0 - 32
Voltaje de salida	24V DC	24V DC
corriente de salida	0.5A	0.5A
Temperatura de operación	-25°C a +60°C	-25°C a +60°C
Protocolo de Comunicación	PROFINET, Modbus TCP/IP, Ethernet/IP	PROFIBUS, PROFINET, Modbus TCP/IP, Ethernet/IP
Dimensiones	90mm x 80mm x 70mm	140mm x 110mm x 80mm
Costo	Moderado	Alto

Nota: Elaboración propia.

En la tabla XII, se muestra la comparación de 2 Controladores Lógicos Programables (PLC). De acuerdo a las necesidades del proyecto se requiere 7 entrada digitales y 5 salidas digitales, el consumo de corriente es menor 0.1A a 1.5A, es menos robusto y tiene un costo menor, por lo tanto, se selecciona el PLC S7 1200, debido a que cumple con los requerimientos del proyecto. Por otro lado, El PLC S7 1500 normalmente son utilizados en aplicaciones más complejas donde se requieren mayor

número de entradas y salidas digitales/analógicas, para nuestro proyecto es más que suficiente el controlador S7 1200.

TABLA XIII.
COMPARACIÓN DE UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO

Características	CPU 1214C	CPU 1215C
Tamaño de memoria	1024 bytes	1024 bytes
E/S integradas digital	14 entradas/10 salidas	14 entradas/10 salidas
E/S integradas analógico	2 entradas	2 entradas/ 2 salidas
Area de marcas	8192 bytes	8192 bytes
Ampliación con módulo de señales	8	8
Puerto de comunicación Ethernet PROFINET	1	2
Dimensiones físicas	110 x 100 x 75	130 x 100 x 75
Costo	Moderado	Alto

Nota: Elaboración propia.

En la tabla XIII, se realiza una comparación de CPU para el controlador, se selecciona el CPU 1214C, debido a que ofrece 14 entradas y 10 salidas digitales, 2 entradas analógicas y 1 puerto de comunicación Ethernet PROFINET suficientes para el desarrollo del proyecto y tiene un costo de 35 dólares menor al CPU 1215C.

TABLA XIV.
COMPARACIÓN DE MÓDULO INTELIGENTE SIEMENS

Características	SM1231	SM1213
Voltaje	24V DC	24V DC
Consumo de corriente	40 mA	40 mA
Numero de entradas	4	8
Tipo	RTD referenciado	RTD's
Pérdidas	1.5 W	1.8 W
Tension máxima de ensayo	±35 V	±35 V
Peso	220 g	280 g
Costo	Moderado	Alto

Nota: Elaboración propia.

La tabla XIV, muestra una comparación de 2 modelos de módulos inteligentes de la marca siemens compatibles con el PLC S7 1200, seleccionamos el SM1231, debido que se necesita 2 entradas de RTD para controlar la temperatura en el macerado

escalonado y este módulo recibe hasta 4 entradas de RTD, también el costo es relativamente menor comparado al SM1213 por el número de entradas que tienen.

TABLA XV.
COMPARACIÓN DE INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA

Características	KTP400 Touch	KTP600
Tensión nominal	24V DC	24V DC
Tensión máxima	35V DC	35V DC
Area activa de la pantalla	95 x 53,8 mm (4,3")	115,2 x 86,4 mm (5,7")
Resolución	480 x 272 píxeles	320 x 240 píxeles
Colores representables	4 niveles de gris	5 niveles de gris
Teclas de función	4	6
Memoria	512 kB	512 kB
Peso	340 g	1070 g
Regulación de contraste	Si	Si

Nota: Elaboración propia.

La tabla XV, se muestra la comparación de 2 modelos de HMI de la marca siemens utilizados para la interacción y monitoreo del operador con el proceso de macerado, la selección se centra más por el tamaño y resolución de la pantalla y el costo que es 20 dólares menos que KTP600, por ello se selecciona el KTP400 Touch, porque cumple con las necesidades del proyecto.

Las tablas de comparación desarrolladas son óptimas, además es una estrategia efectiva para tomar decisiones informadas y eficientes que pueden mejorar el éxito y la calidad del proyecto.

4.2. Ingeniería básica de la planta de maceración

La planta piloto de maceración se realizó a solicitud de la empresa Artesano Beer, que desea automatizar esta etapa que resulta complicado de controlar manualmente. Para ello, Artesano Beer dará soporte con su conocimiento en la elaboración de este producto y la ingeniería necesaria será provista por el autor de esta tesis, es decir, el diseño mecánico, diseño eléctrico, instrumentación, selección de componentes, etc.

4.2.1. Evaluación de requerimientos

Tras la evaluación del proceso de maceración, Artesano Beer planteo el equipo necesario para llevar a cabo esta etapa:

- Olla principal y olla secundaria: En la olla principal se realizará la maceración y se le realizará modificaciones para añadir instrumentación. Otro requerimiento es olla secundaria que servirá de filtro para separar la malta del mosto al final de la maceración. Además, se planteó una bomba de recirculación que ayudará a homogenizar la temperatura en toda la olla.
- Sensores de temperatura: Los sensores de temperatura serán instalados en la olla principal.
- Resistencias de inmersión: Se instalarán en la olla principal con la función de variar la temperatura del agua o mosto.
- Mezclador: Será instalado en la olla secundaria y tendrá la función de evitar la obstrucción de los agujeros de la base de la olla en mención.

Además de lo planteado por Artesano Beer, se añadió un dispensador de malta normal y malta acida. El diagrama de flujo de procesos (PFD) es el siguiente:

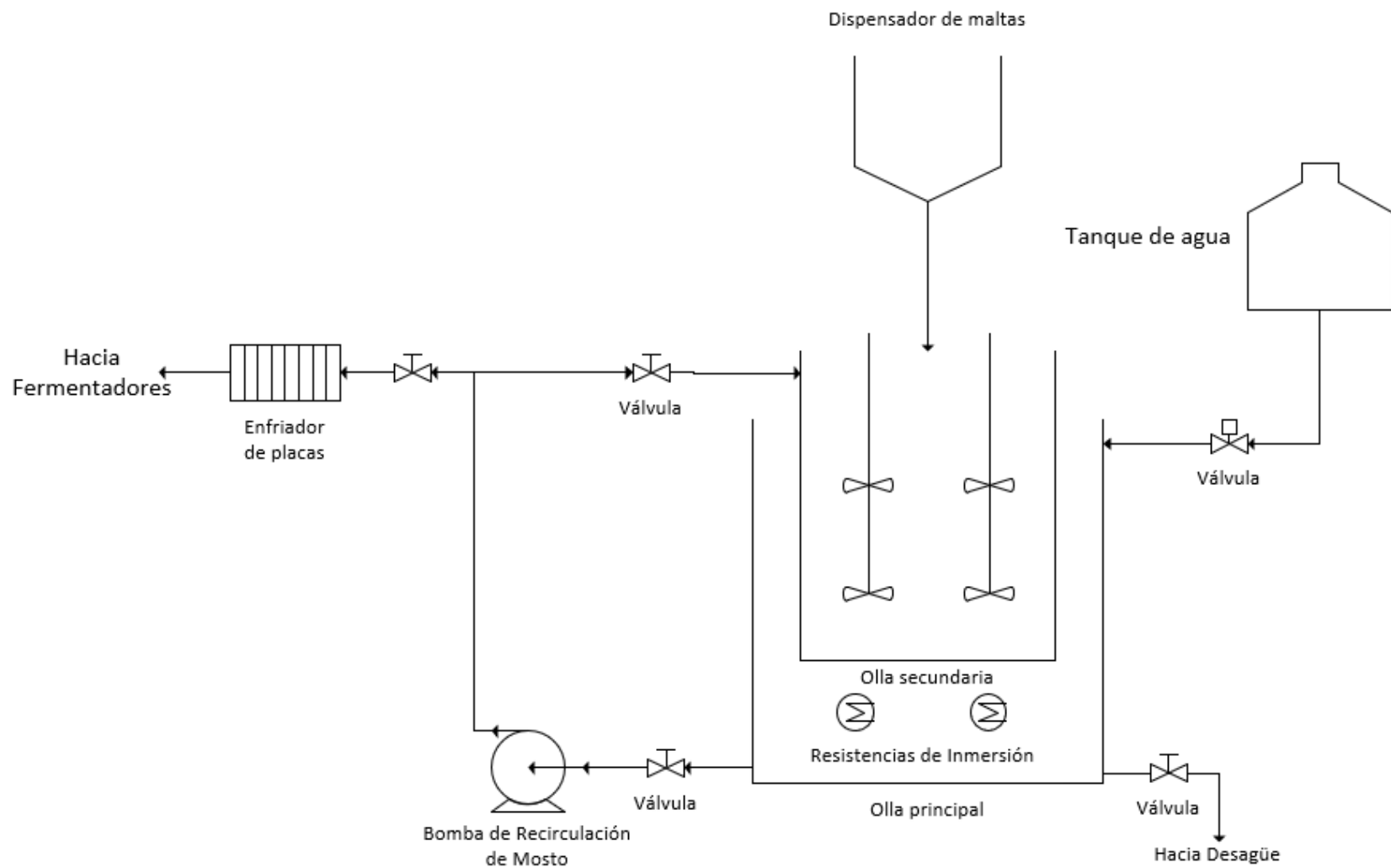


Fig. 22. Diagrama de Flujo de Proceso (PFD) de la planta

Nota: Elaboración propia.

4.2.1.1. Análisis de agua en la elaboración de cerveza artesanal

Cada receta varía de acuerdo con el lugar de donde elabore cerveza artesanal, por lo que se realizó el análisis de agua para determinar la composición del agua de Arequipa. Los parámetros estudiados fueron:

- Sulfatos en agua
- Cloruros
- Carbonatos y bicarbonatos
- Metales y elementos traza

Dicho estudio se realizó en un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). INACAL acredita y reconoce que un organismo o laboratorio realiza ensayos, análisis o certificaciones con estándares normalizados, es decir, acredita que los resultados emitidos por un organismo son veraces y confiables.

Dichos resultados fueron compartidos al maestro cervecero de Artesano Beer para determinar el estilo de cerveza, y por lo tanto la receta, que se realizará en Arequipa y los ajustes que se tendrán que realizar en la maceración.

Nombre de Muestra	*814	*818	*823	802							
	HCO ₃ -	CO ₃ =	Cl-	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AGUA POTABLE	41,9	b<0,80	30,2	b<0,0024	b<0,029	0,2689	0,00243	b<0,000079	15,032	b<0,00011	b<0,000094

Nombre de Muestra	802											
	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AGUA POTABLE	b<0,00039	b<0,002	b<0,016	3,734	0,01951	5,1509	b<0,0003	b<0,00038	23,922	b<0,00051	0,0340	b<0,0026

Nombre de Muestra	802									848
	Sb	Se	SiO ₂	Sn	Sr	Ti	Ti	V	Zn	SO ₄ =
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AGUA POTABLE	b<0,00049	b<0,002	20,1024	b<0,00085	0,1792	b<0,00068	b<0,0013	0,00169	b<0,0031	38,93

Fig. 23. Parámetros fisicoquímicos del agua

Nota: Adaptado de Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L, de laMotte, 2013.

Tras el análisis de la composición del agua (Anexo 1), Artesano Beer determinó que lo más adecuado es hacer un tipo de cerveza Ale, del estilo Belgian Blonde, cuya receta de tres escalones de temperatura se encuentra en el Anexo 2.

4.2.2. *Diseño mecánico de la planta piloto de maceración.*

La elección de la materia prima para la construcción de la planta piloto de maceración es una decisión estratégica que juega un papel fundamental en la calidad y la seguridad de la producción alimentaria. En este caso, el acero inoxidable se destaca como la opción principal debido a sus características excepcionales que lo convierten en un material idóneo para cumplir con los rigurosos estándares de la industria. Su resistencia superior a la corrosión es esencial en un entorno donde los elementos químicos presentes en los ingredientes y en el proceso podrían desencadenar efectos adversos en otros metales.

La higiene es un aspecto crítico en la producción de alimentos, y el acero inoxidable responde a esta necesidad de manera sobresaliente. Su superficie lisa y no porosa minimiza la acumulación de residuos y facilita la limpieza y la desinfección efectiva, reduciendo el riesgo de contaminación cruzada y asegurando la integridad del producto final. Además, el acero inoxidable es conocido por su durabilidad y capacidad de mantener sus propiedades incluso en condiciones de alta temperatura y humedad, lo que lo convierte en una elección confiable para ambientes de producción exigentes como el proceso de maceración [35].

El diagrama P&ID, fig. 24, y el plano eléctrico (Anexo 3) correspondiente a la planta de maceración, tomando como referencia el libro Antonio Creus “Instrumentación industrial”.

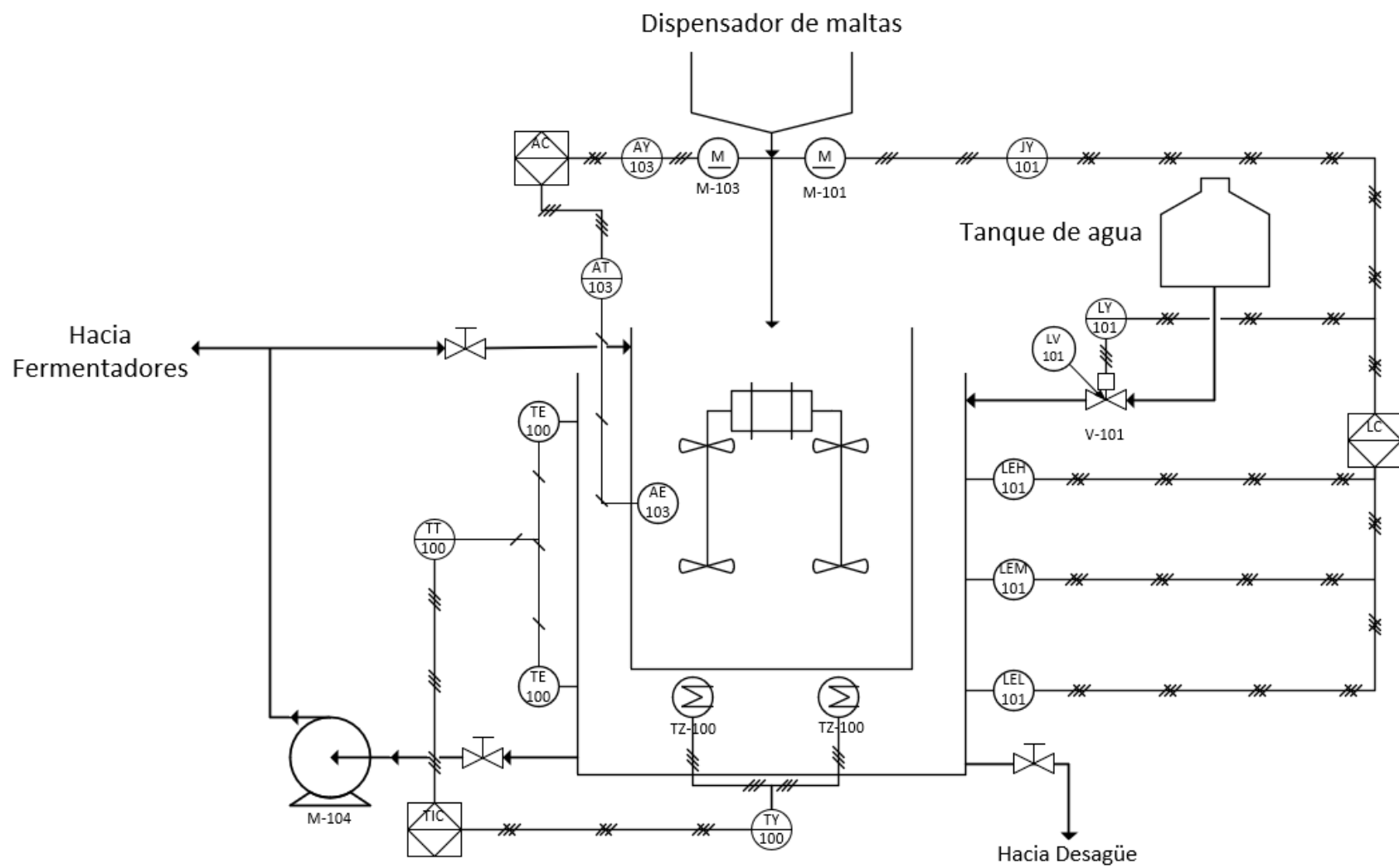


Fig. 24. Diagrama de flujo de proceso e instrumentación (P&ID) de la planta de maceración

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con el diagrama de flujo de proceso e instrumentación presentado en la fig. 24, la instrumentación mínima que debe tener la planta piloto de maceración es la siguiente:

TABLA XVI.
PLANTEO DE LA INSTRUMENTACIÓN, LAZOS Y NÚMEROS DE IDENTIFICACIÓN

Lazo	Tag	Descripción
Temperatura	TT-100	Transmisor de temperatura
	TE-100	Sensor de temperatura
	TC-100	Controlador de temperatura - PLC
	TZ-100	Actuador de temperatura
	TY-100	Relé del actuador - resistencias
Nivel	LEH-101	Sensor de nivel - Alto
	LEM-101	Sensor de nivel - Medio
	LEL-101	Sensor de nivel - Bajo
	LC-101	Controlador de nivel - PLC
	LV-101	Válvula de Nivel
	LY-101	Relé del actuador - válvula
	JY-101	Relé del actuador - motor
	M-101	Motor DC
	V-101	Valvula actuador
pH	AE-103	Sensor de pH
	AT-103	Transmisor de sonda de pH
	AC-103	Controlador de pH - PLC
	AY-103	Relé de actuador - motor
	M-103	Motor DC
	M-104	Bomba de recirculación
	M-105	Mezclador

Nota: Elaboración propia.

Por lo que se procede a realizar la evaluación de la instrumentación.

4.2.3. Evaluación de Instrumentación y control

4.2.3.1. Controlador Lógico Programable (PLC)

A partir de la tabla V, se puede determinar el número de entradas y salidas, tanto digitales y analógicas.

TABLA XVII.
 ENTRADAS/SALIDAS REQUERIDAS EN PLC, TIPOS DE SEÑALES, NUMERO DE SENSORES

Lazo	Descripción	Cantidad	Tipo	Señal
Temperatura	Sensor de temperatura	2	Entrada	Analógica
	Actuador de temperatura	1	Salida	Analógica/Digital
Nivel	Sensor de nivel - Alto	1	Entrada	Digital
	Sensor de nivel - Medio	1	Entrada	Digital
	Sensor de nivel - Bajo	1	Entrada	Digital
	Actuador válvula	1	Salida	Digital
	Actuador - motor DC	1	Salida	Digital
pH	Sensor de pH	1	Entrada	Analógica
	Sensor de temperatura	1	Entrada	Analógica
	Motor DC	1	Salida	Digital
	Bomba de recirculación	1	Salida	Digital
	Mezclador	1	Salida	Digital
	Botón Start	1	Entrada	Digital
	Botón Stop	1	Entrada	Digital

Nota: Elaboración propia.

La tabla VI, muestra la cantidad de instrumentos a emplear, siendo un total de 5 entradas digitales, 5 salidas digitales y 4 entradas analógicas, por lo que el PLC a seleccionar debe tener al menos con la cantidad de entradas/salidas mencionadas. El PLC S7-1200 con la CPU 1214C cuenta con 14 entradas y 10 salidas digitales, además de 2 entradas analógicas (0-10V). Debido a que nos faltan entradas analógicas, se vio por agregar un módulo de señales SM1231 RTD de 4 entradas analógicas, el cual estará encargado de tomar las señales de sensores de temperatura de la olla.

4.2.3.2. *Lazo de temperatura*

Los actuadores de temperatura seleccionados son resistencias de inmersión los cuales tienen un encapsulado en acero inoxidable ya que está en contacto con el mosto (fig. 25).

Para la selección de las resistencias de inmersión, se consideró la condición recomendada por Artesano Beer 1°C/min. Por lo que el actuador seleccionado

debe tener una potencia mínima necesaria para lograr esta variación. En tal sentido, la ecuación de calorimetría determina la potencia necesaria:

$$\frac{m * (T_f - T_o) * 4186}{t} = P$$

$m \rightarrow$ masa en kg, $T_f - T_o \rightarrow$ variación de temperatura en $^{\circ}\text{C}$, $t \rightarrow$ tiempo en s, y $P \rightarrow$ en Watts. Por lo que, de acuerdo con el volumen del tanque, subir 100 kg de agua 1°C en un minuto se requiere al menos 6.97kW de potencia instalada, sin considerar perdidas de calor. Finalmente, de acuerdo con las potencias disponibles por el proveedor de resistencias de inmersión y considerando perdidas, se opta por instalar una potencia de 9kW en conjunto.



Fig. 25. Resistencias de inmersión 4.5kW c/u

Nota: Elaboración propia.

4.2.3.3. *Lazo de nivel*

El lazo de nivel controlará el nivel de agua que ingresa, tanto en fermentación, como cocción. La lógica es que en determinado nivel de agua la válvula se cerrará para comenzar con el calentado de agua; otra lógica a implementar es la apertura

de la compuerta de malta. Para la alimentación de motores DC se realizó el diseño de la etapa de potencia.

4.2.3.4. Lazo de pH

El pH-metro seleccionado consta de un transmisor, una sonda de pH. Además, incluye una sonda de temperatura que va a compensar las mediciones, ya que estas se ven afectadas.

El instrumento seleccionado consta de compensación por temperatura, ya que una medición de pH puede verse afectada por altas o bajas temperaturas.

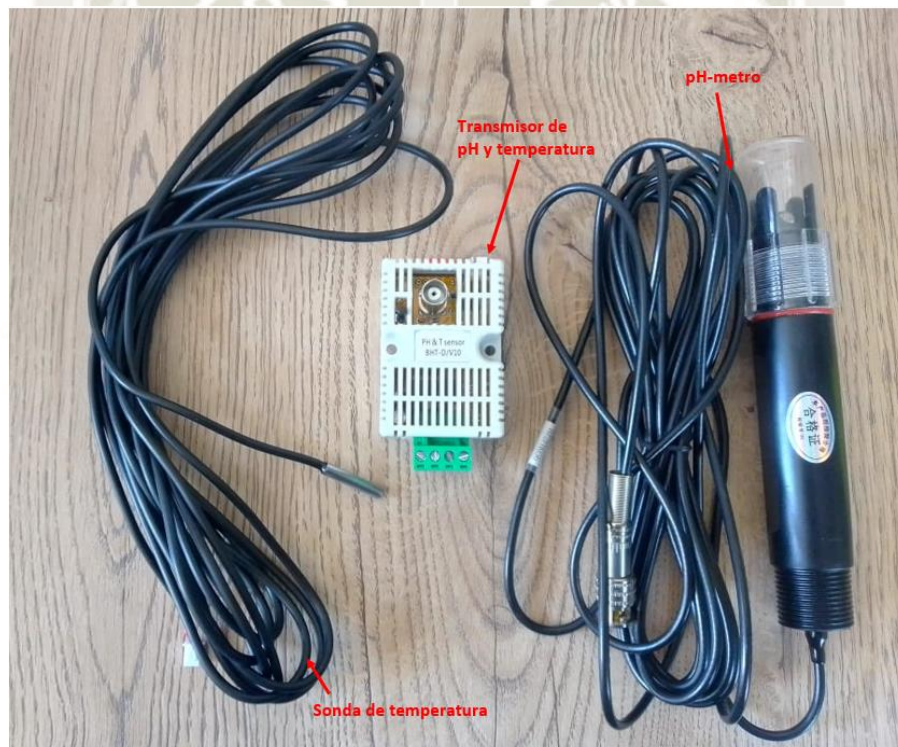


Fig. 26. Equipo de medición de pH con compensación de temperatura

Nota: Elaboración propia.

El actuador del lazo de pH que se implementó es una compuerta para la apertura o cierre del paso de malta ácida, siendo esta la encargada de regular el pH durante la maceración. Dichos actuadores, fig. 27, están montados en el dispensador de maltas, fig. 28.

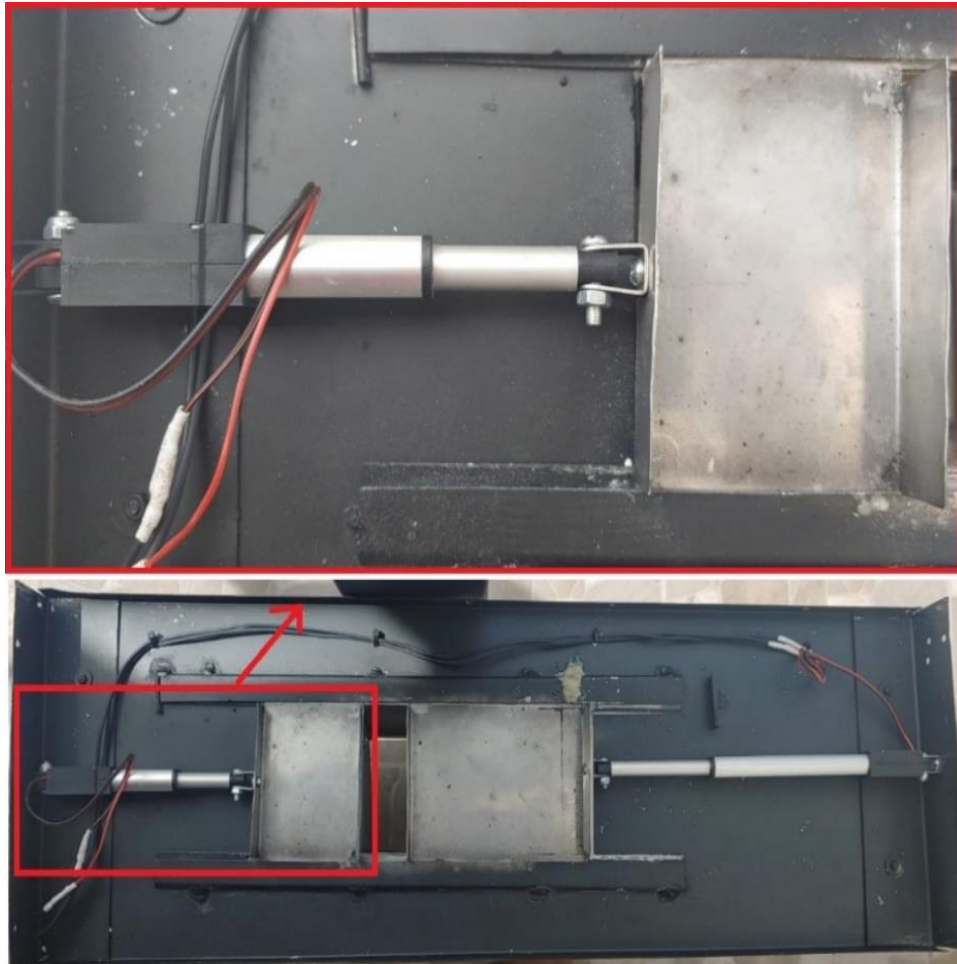


Fig. 27. Actuadores lineales 12V de dispensador de malta

Nota: Elaboración propia.

4.2.4. *Diseño de tablero electrónico*

En esta sección, se presenta a través de imágenes el diseño del tablero electrónico desarrollado, para llevar a cabo con el trabajo de la tesis. Las siguientes imágenes muestran diferentes vistas del diseño de tablero, donde se resalta la estructura de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos con una visión 3D.

4.2.4.1. *Espacio de trabajo EPLAN Electric P8*

En la fig. 28, se muestra el espacio de trabajo del diseño del tablero electrónico, se muestran todos los componentes del armario.

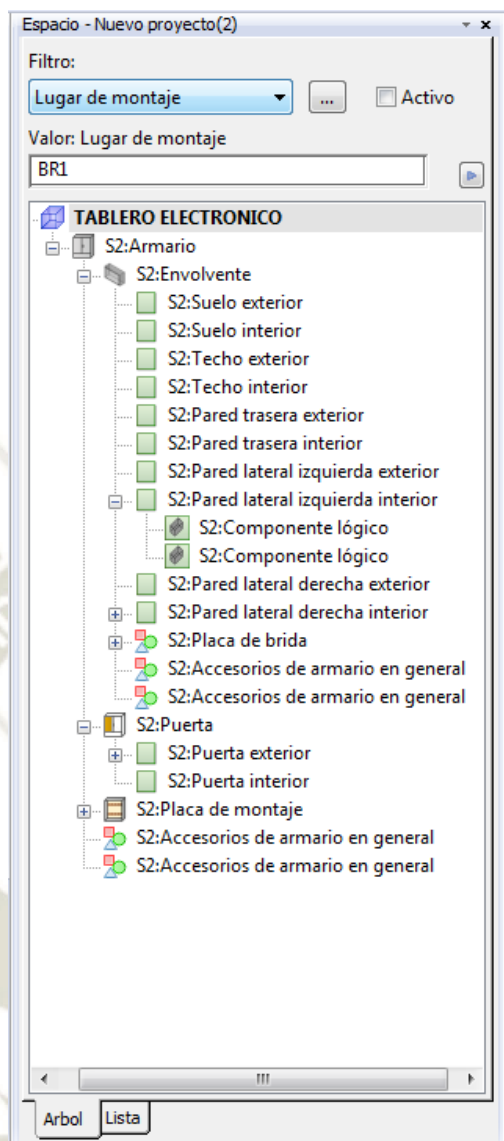


Fig. 28. Espacio de trabajo EPLAN Electric P8

Nota: Elaboración propia

4.2.4.2. *Placa de montaje del armario*

En la fig. 29, se muestra el montaje de los componentes en la placa de montaje del armario (tablero), donde se aprecia los equipos eléctricos y electrónicos fijados en los rieles.

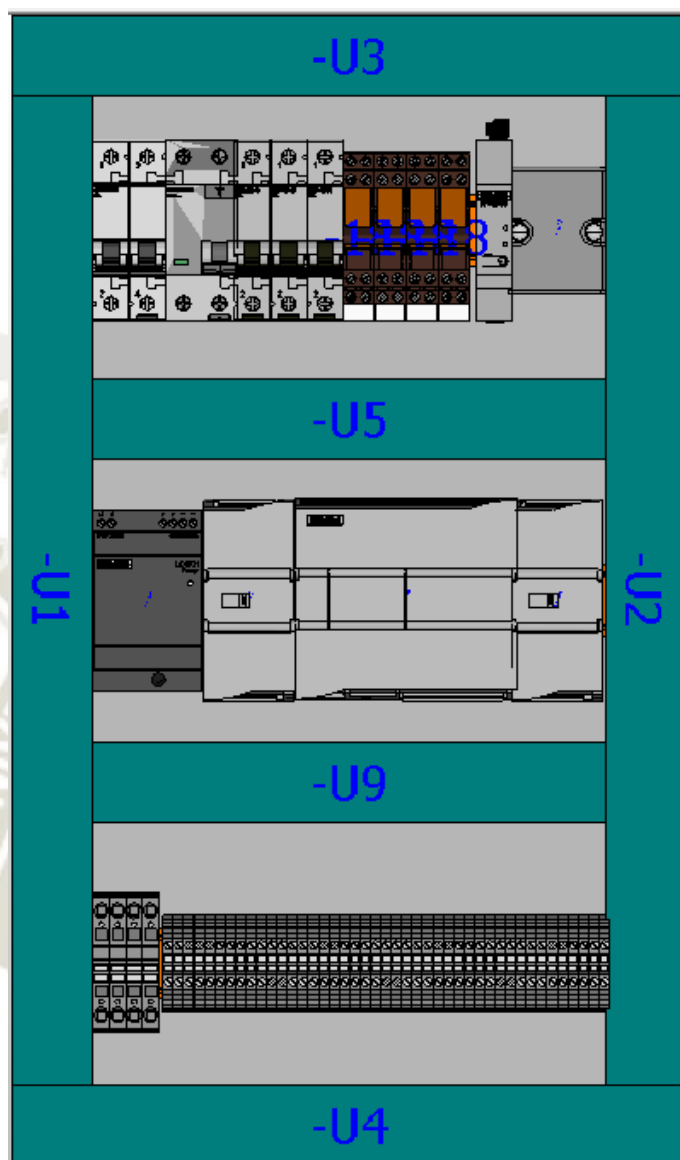


Fig. 29. Vista frontal de la placa de montaje, tablero electrónico

Nota: Elaboración propia

4.2.4.3. Puerta del armario

En la fig. 30, se ve los componentes como el HMI, los pulsadores de encendido y de parada fijados en la puerta del tablero electrónico.

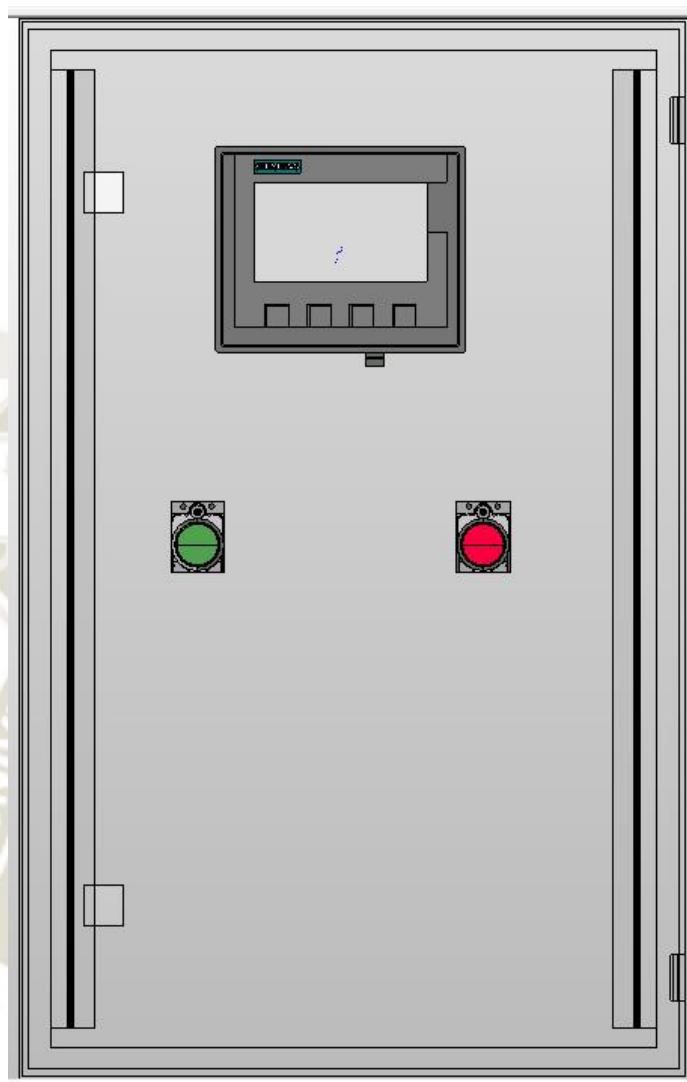


Fig. 30. Vista frontal de la puerta del tablero electrónico

Nota: Elaboración propia

4.2.4.4. Frontal del armario

En la fig. 31, se aprecia una vista frontal del tablero, con todos los componentes montados en el tablero electrónico diseñado.

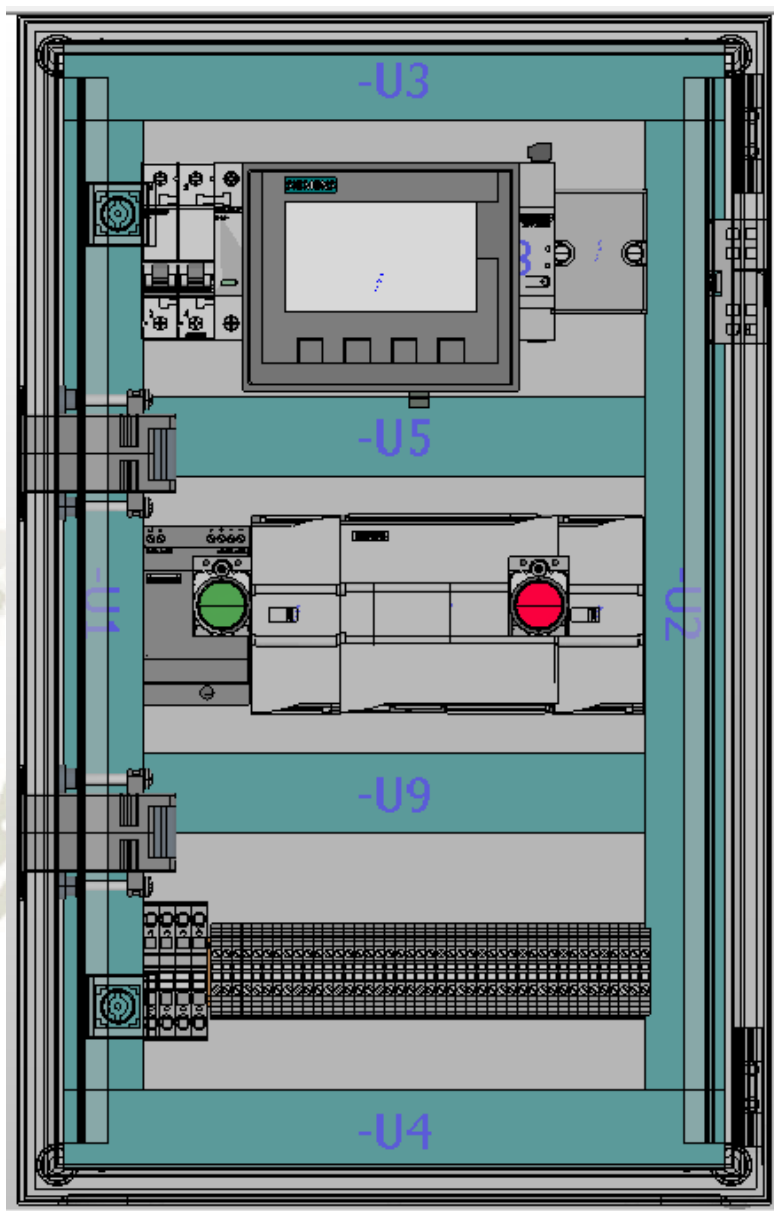


Fig. 31. Vista frontal del tablero electrónico completo

Nota: Elaboración propia

4.2.4.5. Lateral derecho del armario

La fig. 32, muestra una vista lateral del tablero, donde se aprecian claramente que los equipos montados en la puerta del tablero como los equipos montados en la placa de montaje no están en contacto.

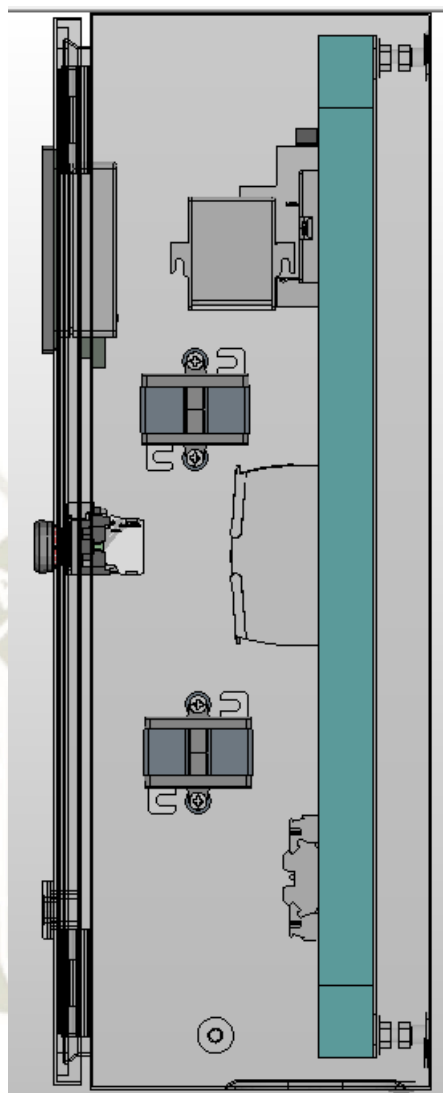


Fig. 32. Vista lateral derecho del tablero electrónico

Nota: Elaboración propia

Además, se observa claramente los 2 transformadores fijados en la pared lateral izquierdo del tablero.

4.2.4.6. Imagen completa del tablero (3D)

En la fig. 33, se muestra el diseño final del tablero vista desde una perspectiva 3D, así mismo, de todos los componentes eléctricos y electrónicos que se encuentran montados en la placa de montaje y en la puerta del tablero electrónico.

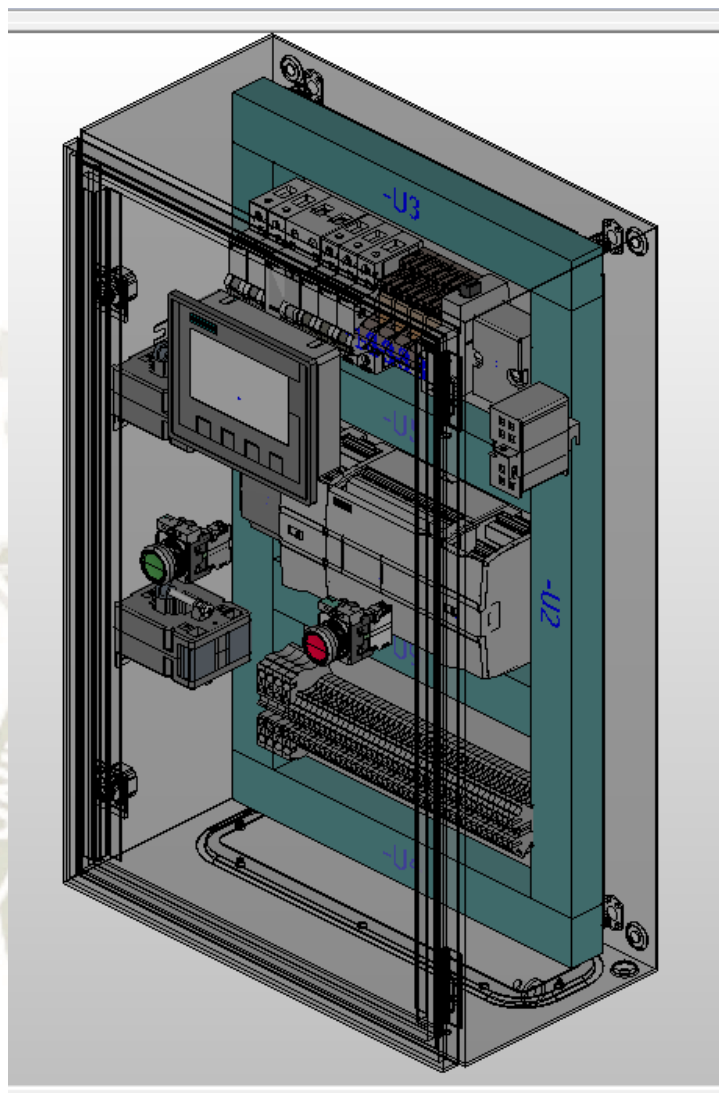


Fig. 33. Visión 3D del tablero electrónico

Nota: Elaboración propia

4.2.5. Armado de la planta

El dispensador de maltas en el cual fueron montados los actuadores lineales se muestra en la fig. 34. Se realizó el diseño (Anexo 4) en el software Autodesk Inventor. Este dispensador de maltas cuenta con dos compartimentos, uno para la malta base y otro para la malta ácida.

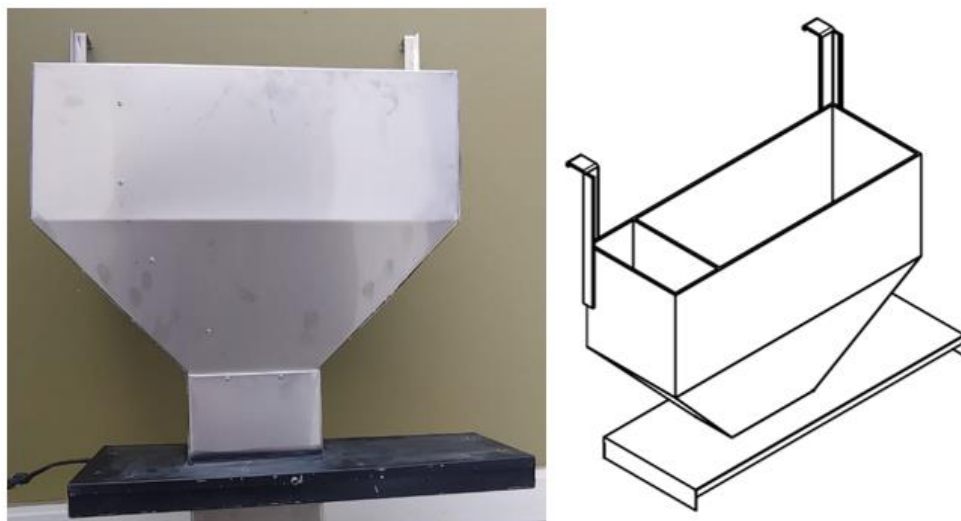


Fig. 34. Dispensador de maltas

Nota: Elaboración propia.

En la fig. 35, se muestra la planta de maceración completamente armada.



Fig. 35. Planta de maceración armada

Nota: Elaboración propia.

En la fig. 36, se muestra de manera detallada la vista frontal del tablero eléctrico, por otro lado, en la figura 37, se muestra la vista interior con el conexionado de dicho

tablero, el cual se realizó en base al plano eléctrico diseñado mediante el uso del software Eplan Electric P8 (Anexo 3).



Fig. 36. Vista frontal del tablero eléctrico

Nota: Elaboración propia.

En la fig. 36, podemos observar el HMI y los 2 pulsadores, los cuales son de parada y marcha.



Fig. 37. Vista del interior del tablero eléctrico

Nota: Elaboración propia.

4.3. Construcción obtención del modelo matemático

En este apartado se verá el modelado del control de temperatura y del pH; con los modelos matemáticos determinados, se desarrollará un algoritmo que será implementado para el control de temperatura.

4.3.1. Modelado del control de temperatura

Para la construcción del modelo matemático se realizó por el método de Ziegler-Nichols, que consta de evaluar la respuesta del sistema en lazo abierto ante una

entrada escalón. Al tener la curva característica de respuesta del sistema, se puede obtener la función de transferencia del sistema y calcular los parámetros PID que serán introducidos en TIA Portal.

En TIA Portal se crea un proyecto (Fig. 38), cuyo objetivo será activar el bit asociado a las resistencias, medir y registrar la respuesta del sensor RTD.

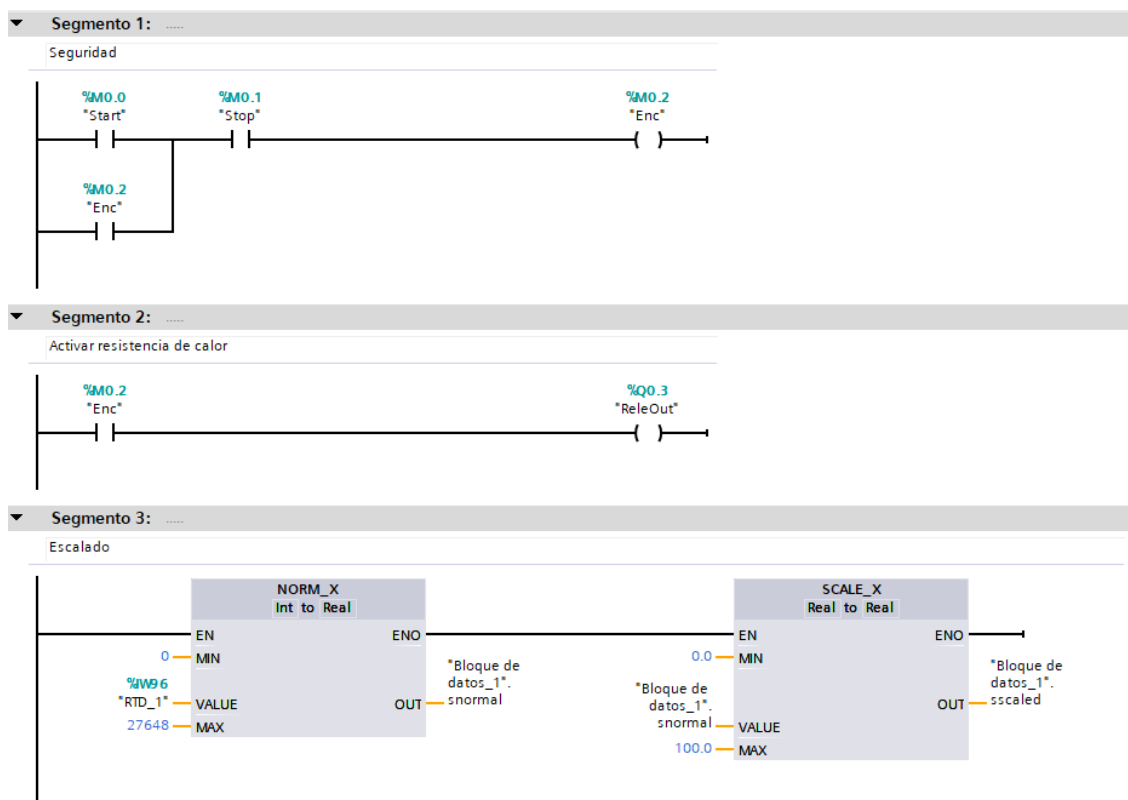


Fig. 38. Lógica para obtención del modelo matemático de temperatura-TIA Portal

Nota: Elaboración propia.

Para registrar la curva de respuesta se implementa un datalogger. Como primer paso, se crea y configura el bloque DataLogCreate (Fig. 39), siendo la función de este bloque de crear el archivo CSV, con cabeceras y la cantidad de datos a registrar.

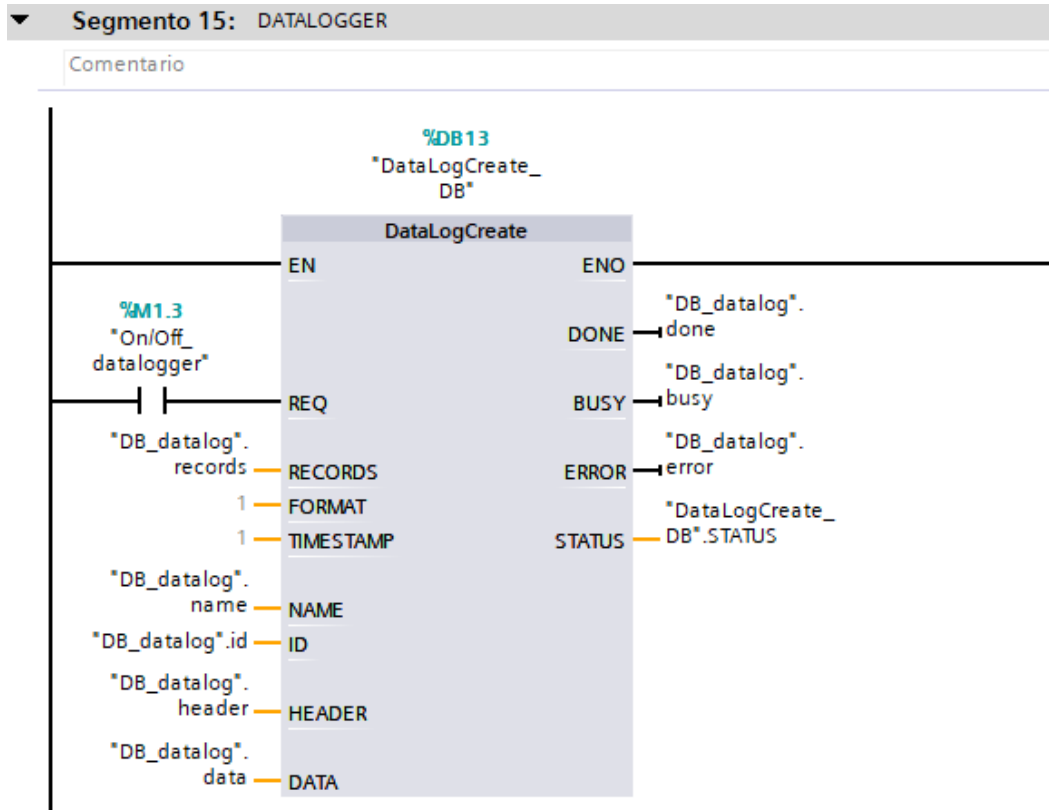


Fig. 39. Datalogger – Creación de archivo CSV

Nota: Elaboración propia.

Con el archivo CSV creado, el bloque DataLogWrite (Fig. 40) escribe los datos en el archivo CSV.

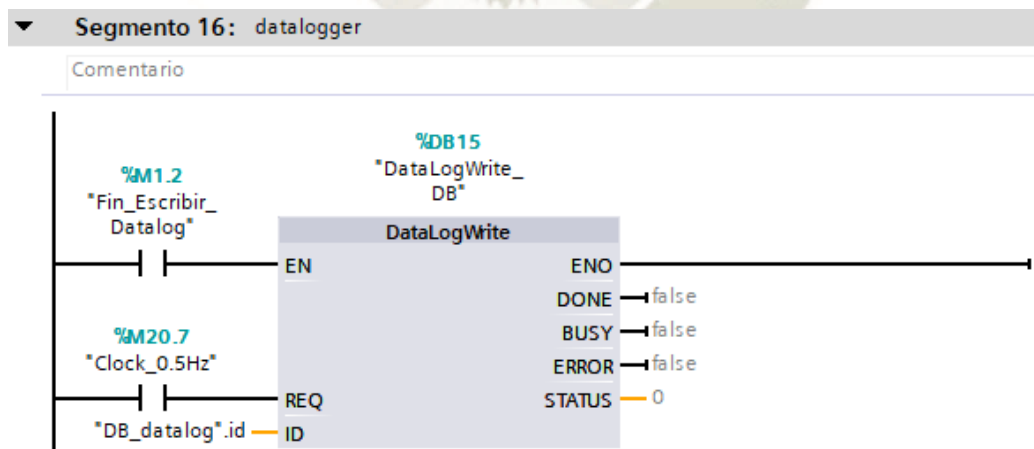


Fig. 40. Datalogger – Escribir registros de archivo CSV

Nota: Elaboración propia.

Se define un bit para finalizar la escritura de datos en el archivo CSV (Fig. 41), de no desactivar el DataLogCreate se sobrescribirán los datos.

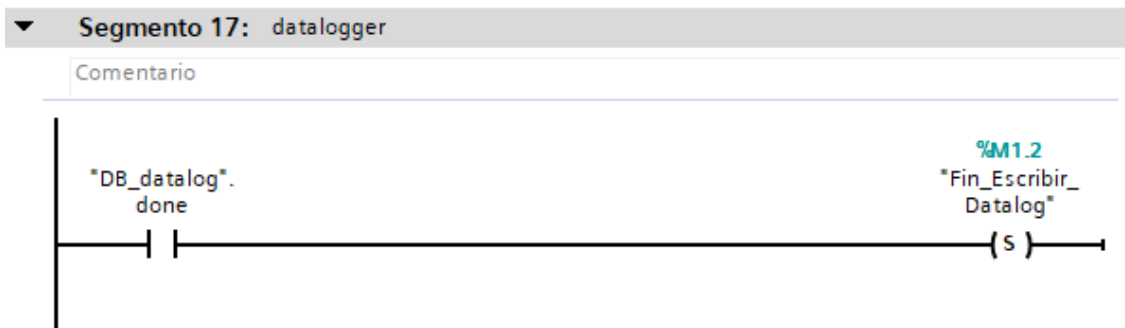


Fig. 41. Datalogger – Finalizar escritura de datos en archivo CSV

Nota: Elaboración propia.

Finalmente se crean bloques Move que copiarán los datos de los sensores al DB asociado al DataLogCreate para posteriormente escribirlos en el archivo CSV (Fig. 42). La tasa de muestreo es de dos segundos.

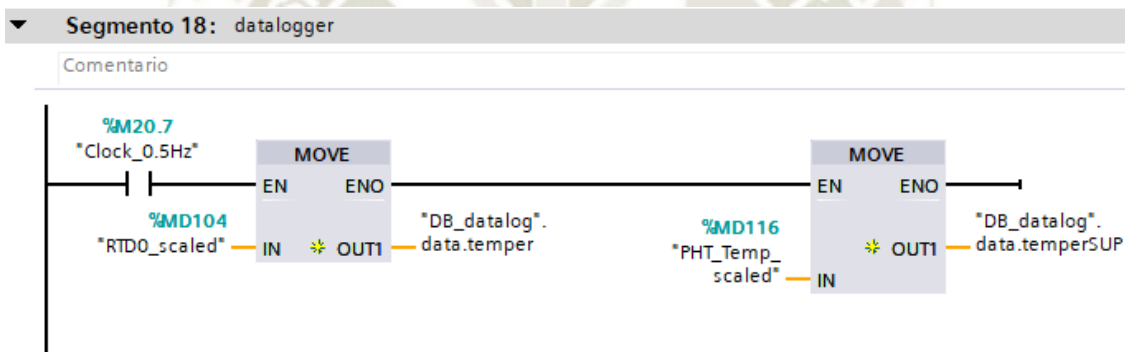


Fig. 42. Datalogger – Preparación de datos a escribir en archivo CSV

Nota: Elaboración propia.

Al exportar y graficar los datos en CSV del datalog implementado, se puede graficar la respuesta al escalón (Fig. 43). Con esa grafica se puede aproximar su función de transferencia y obtener los parámetros del controlador PID.

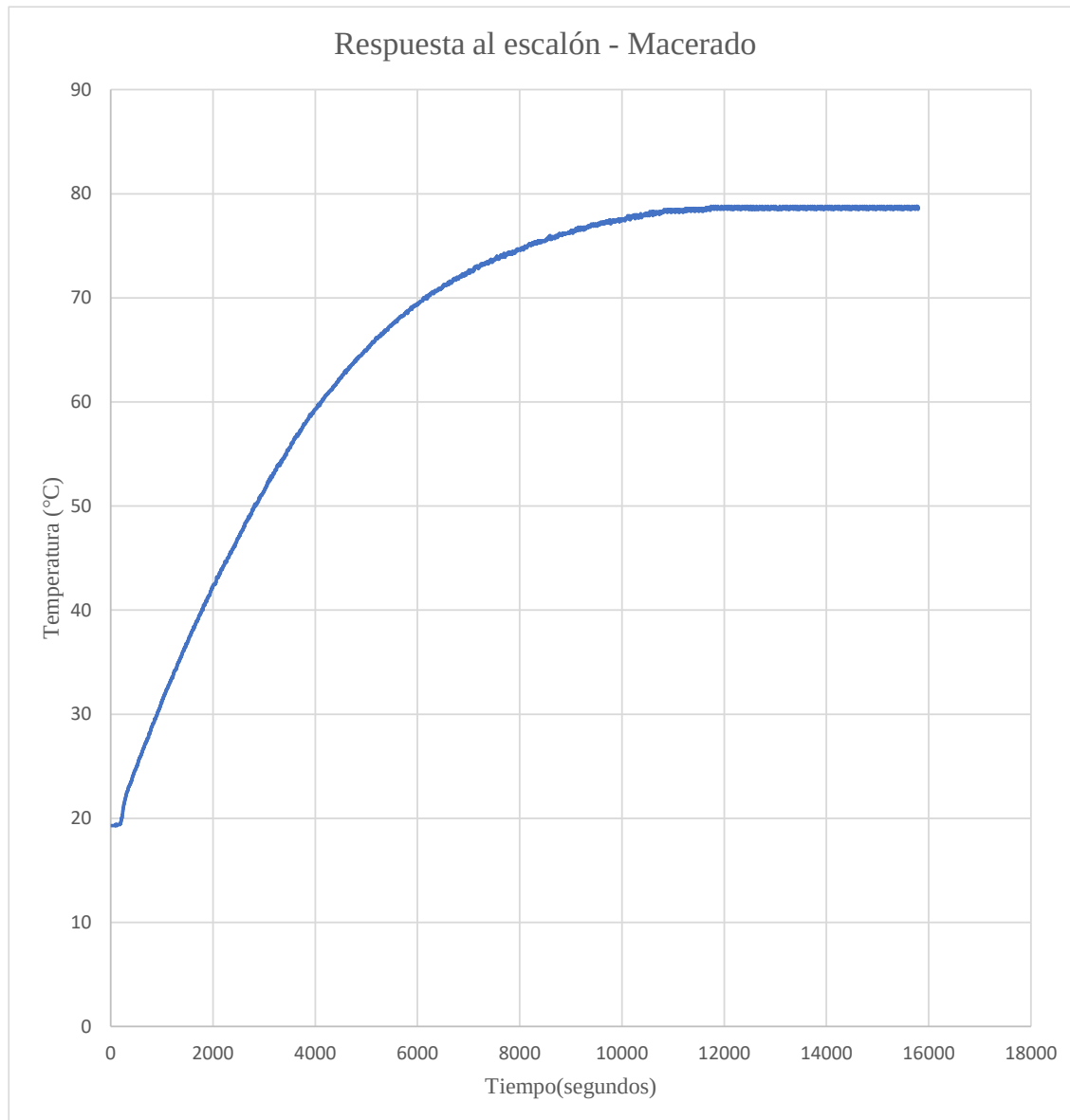


Fig. 43. Respuesta al escalón de la planta de maceración

Nota: Elaboración propia.

Así, de acuerdo con la fig. 43, que fue extraído del registro de datos del PLC se tiene la función de transferencia del macerador, cuya respuesta se aproxima a un sistema de primer orden con retardo.

$$F(s) = K \frac{e^{-\theta s}}{\tau s + 1}$$

Para determinar la función de transferencia del sistema se utilizó el software Matlab. Se cargaron los datos registrados a la aplicación PIDTuner – Plant Identification (Fig. 44), obteniéndose los valores $K = 1.409$, $\theta = 152.73$ y $\tau = 3879.4$. Entonces:

$$F(s) = 1.409 \frac{e^{-152.73s}}{3879.4s + 1}$$

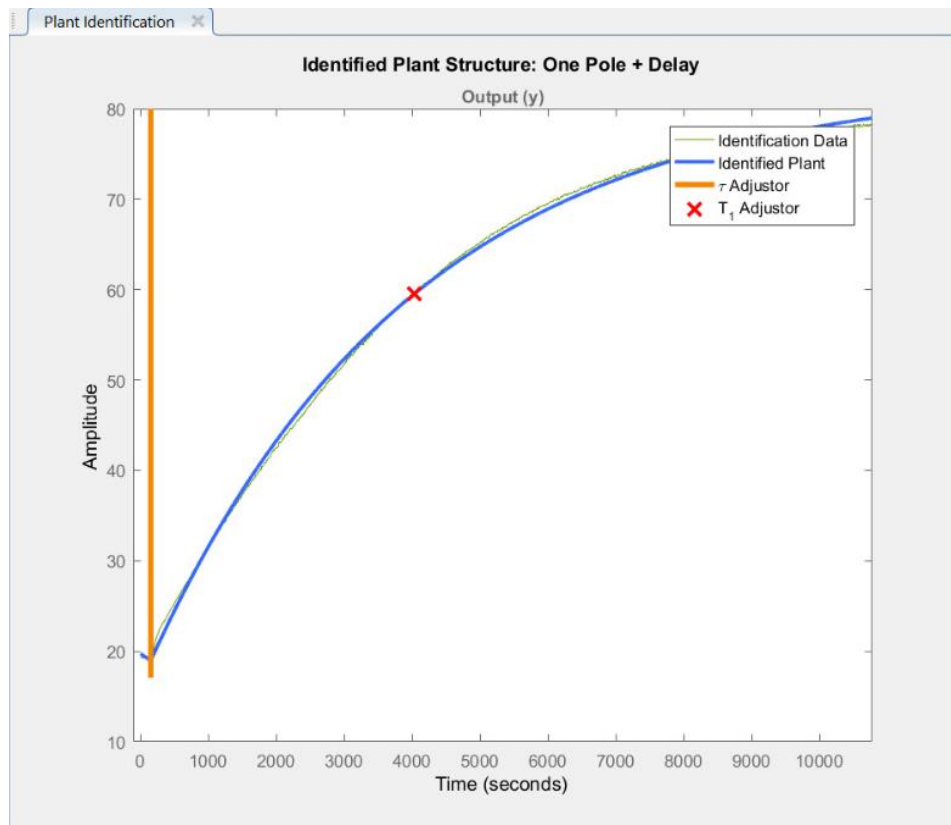


Fig. 44. Plant identification – MATLAB

Nota: Elaboración propia.

Además, se puede emplear la herramienta para determinar los parámetros PID. Cabe mencionar que estos parámetros PID son seleccionados a criterio del diseñador, considerando las limitaciones de respuesta del actuador. La fig. 45 muestra la simulación de la respuesta del sistema al escalón unitario con los parámetros PID implementados:

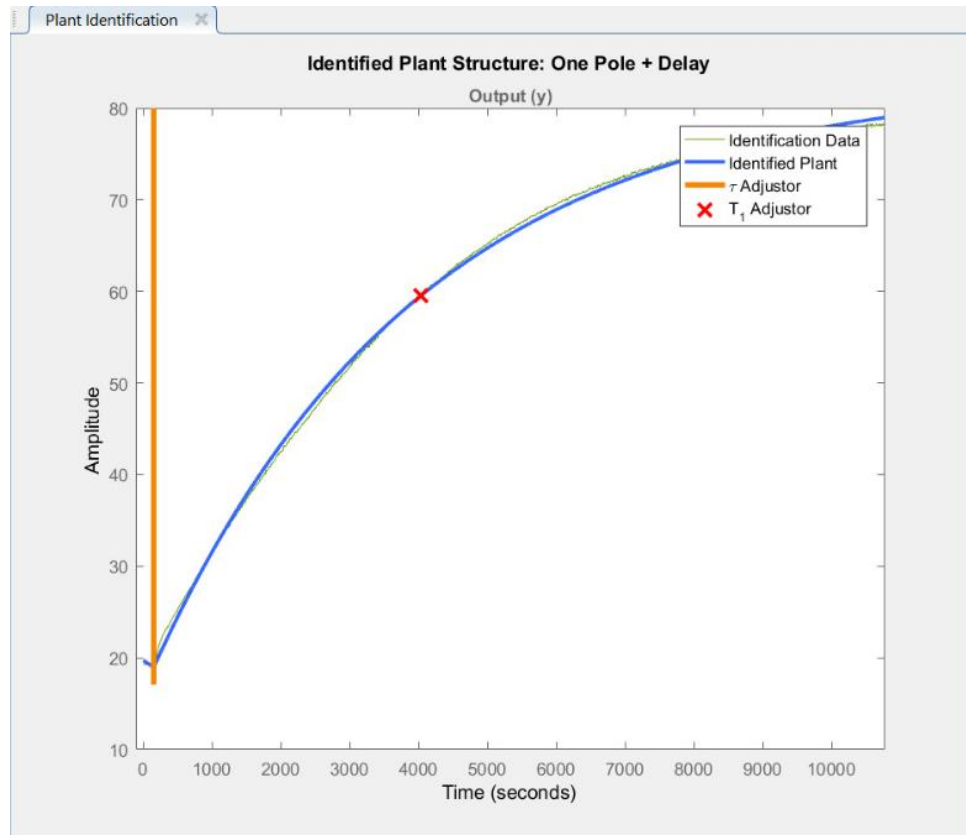


Fig. 45. PID Tuner – Diseño de controlador

Nota: Elaboración propia.

Los parámetros PID encontrados, K_p , K_i , K_d , se reemplazan en el bloque PID de TIA Portal.

4.3.2. Modelado del control de pH

De acuerdo con la literatura, la maceración se realizará de manera correcta en un medio ácido. El requerimiento de Artesano Beer es que el pH se debe establecer entre 5.2 y 5.8 durante esta etapa, para ello se implementó un sistema de compuertas que se abrirá para cumplir esta condición de pH.

Para determinar qué cantidad de malta ácida se debe soltar, se tiene que determinar el tiempo de apertura de las compuertas accionadas por actuadores lineales. Para ello se realizó 10 pruebas por cada tiempo de apertura seteado para determinar la cantidad de malta que se soltó.

TABLA XVIII.
PRUEBAS DE DISPENSADOR DE MALTA ÁCIDA, TIEMPOS DE APERTURA, CANTIDADES

Tiempo de apertura(segundos)	Malta (gramos)
0.50	51
1.00	481
2.00	1224
2.25	1356
2.50	1593
3.00	1959
4.00	2753
5.00	3426
6.20	4100

Nota: Elaboración propia.

La tabla VII, muestra el promedio en gramos de malta que se libera en un determinado tiempo, siendo la capacidad total del dispensador de malta ácida de 4.1 Kg. Cabe mencionar que la cantidad de malta ácida empleada en una receta de cerveza es de un máximo de 5% del total de kilogramos de la malta base. A partir de estos datos podemos determinar una ecuación establecer el tiempo de apertura del actuador lineal en cada receta que se implemente.

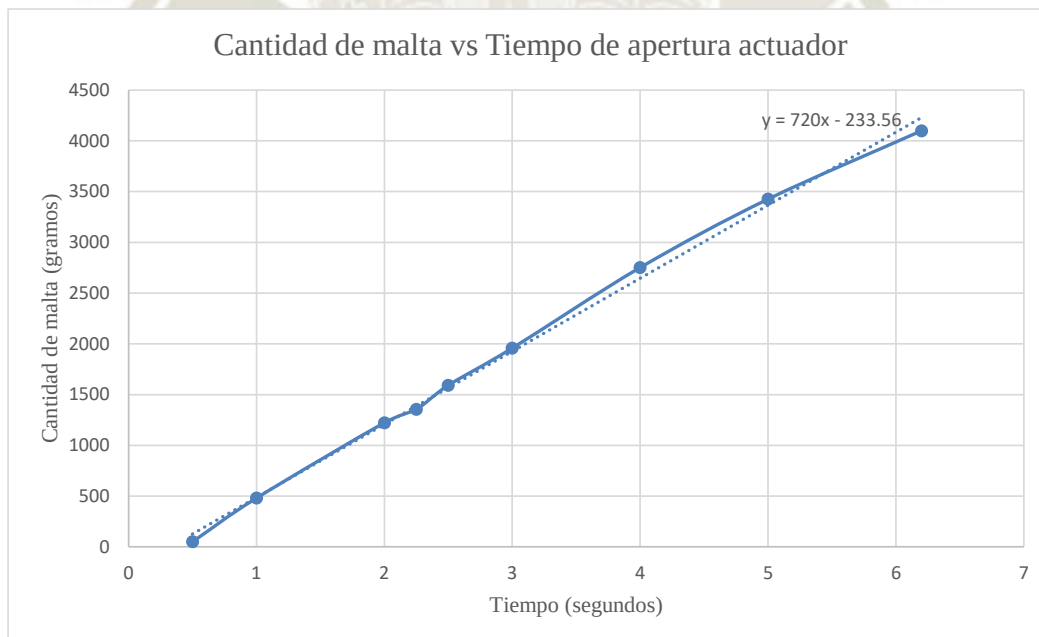


Fig. 46. Regresión lineal para obtención de modelo matemático-control de pH

Nota: Elaboración propia.

La fig. 46, muestra que, al aplicar regresión lineal a los datos obtenidos de las mediciones, se obtiene la ecuación requerida $y = 720x - 233.56$, donde y esta en gramos y x en segundos.

4.3.3. Operación de la planta de maceración

La curva de temperatura planteada por Artesano Beer para la receta de cerveza Belgian Blonde Ale (Anexo 2) es la que se plantea en la fig. 47. En esta receta se considera 3 setpoint de tiempo determinado y 2 setpoint variables que corresponden a los ascensos de temperatura, siendo esta condición de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

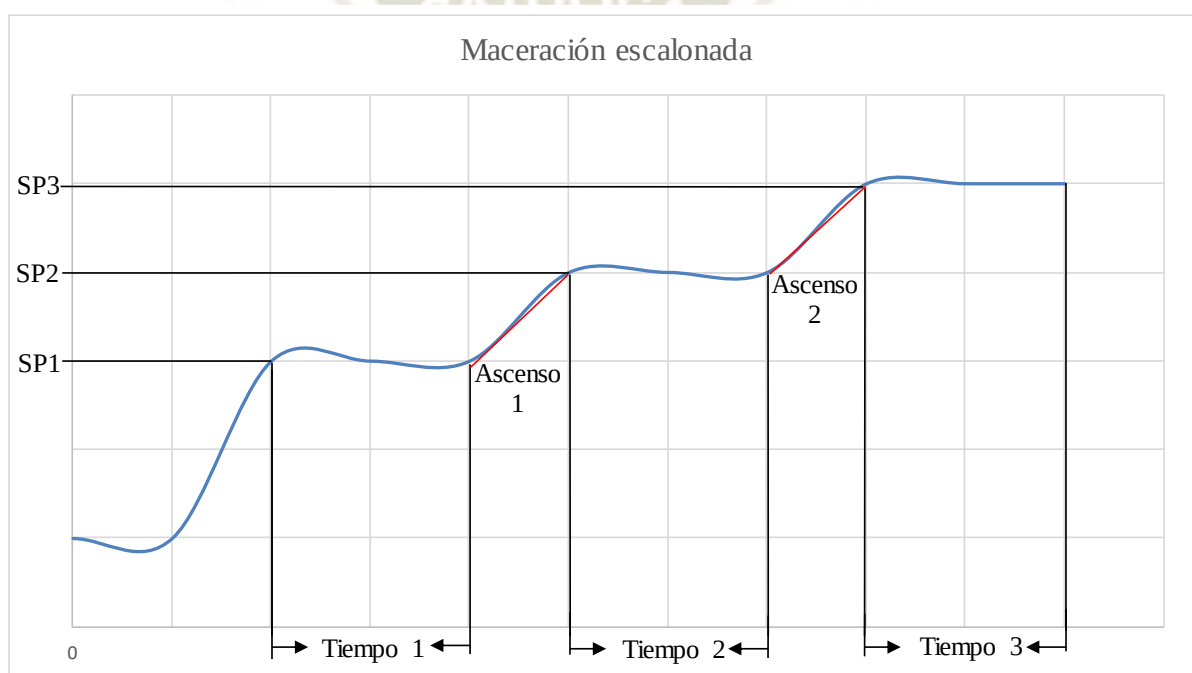


Fig. 47. Curvas de temperatura para cerveza Belgian Blonde Ale

Nota: Elaboración propia.

4.3.3.1. Procedimiento de funcionamiento de la planta de maceración

a. Planta de maceración en Start

La planta piloto de maceración comienza su funcionamiento cuando el botón físico Start es presionado.

b. Seleccionar la etapa de maceración

Ya que se puede implementar más etapas usando el mismo controlador se tiene que seleccionar la etapa de maceración en la interfaz.

c. Selección y carga de receta a controlador

Se procede a seleccionar la receta precargada en la memoria del PLC para posteriormente cargar los parámetros al controlador. Las variables precargadas son: los tiempos de descanso y sus respectivos setpoint así como también el peso de la malta base

d. Inicio de maceración

Al cargar los parámetros, la electroválvula se mantiene abierta hasta la que alcance el nivel necesario, en seguida las resistencias de temperatura se encienden al 100% para llegar a la temperatura fijada para iniciar maceración. En paralelo se activa la bomba de recirculación de manera continua para homogenizar la temperatura. Una vez alcanzada la temperatura se procede a soltar la malta base y se activa la mezcladora para evitar atascos con malta en la olla secundaria.

e. Inicio del primer descanso

Se inicia el timer que tiene el tiempo preseteado por la selección de recetas, por lo que al cumplirse el tiempo del timer se carga el setpoint de ascenso de temperatura cumpliendo el requerimiento de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

En paralelo se comienza a monitorear el pH de la maceración para ver si está dentro del rango de valores admitidos y se suelta el 5% del peso total de la malta base. El tiempo de activación del actuador está determinado por la ecuación encontrada en el modelamiento del control de pH, $y = 720x - 233.56$, donde y esta en gramos y x en segundos.

f. Inicio de ascenso de temperatura

La condición para elevar la temperatura entre dos escalones es que la razón de cambio tiene que ser de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ por lo que el setpoint en cada ascenso es variable. El setpoint que se carga obedece a la siguiente ecuación:

$SP_{ascenso1} = ((SP_3 - SP_1) * Timer_1) + SP_1$, donde Timer1 esta expresado en segundos.

g. Inicio del segundo descanso

Al concluir el timer del primer ascenso de temperatura, se carga el setpoint del segundo descanso y el tiempo en el que esta temperatura tendrá que mantenerse.

h. Inicio del segundo ascenso

Al cumplirse el tiempo del segundo descanso, el setpoint pasa a ser variable con la siguiente ecuación, dicho setpoint es descrita por la siguiente ecuación $SP_{ascenso2} = ((SP_5 - SP_3) * Timer_2) + SP_3$, donde Timer2 está expresado en segundos.

i. Inicio del tercer descanso

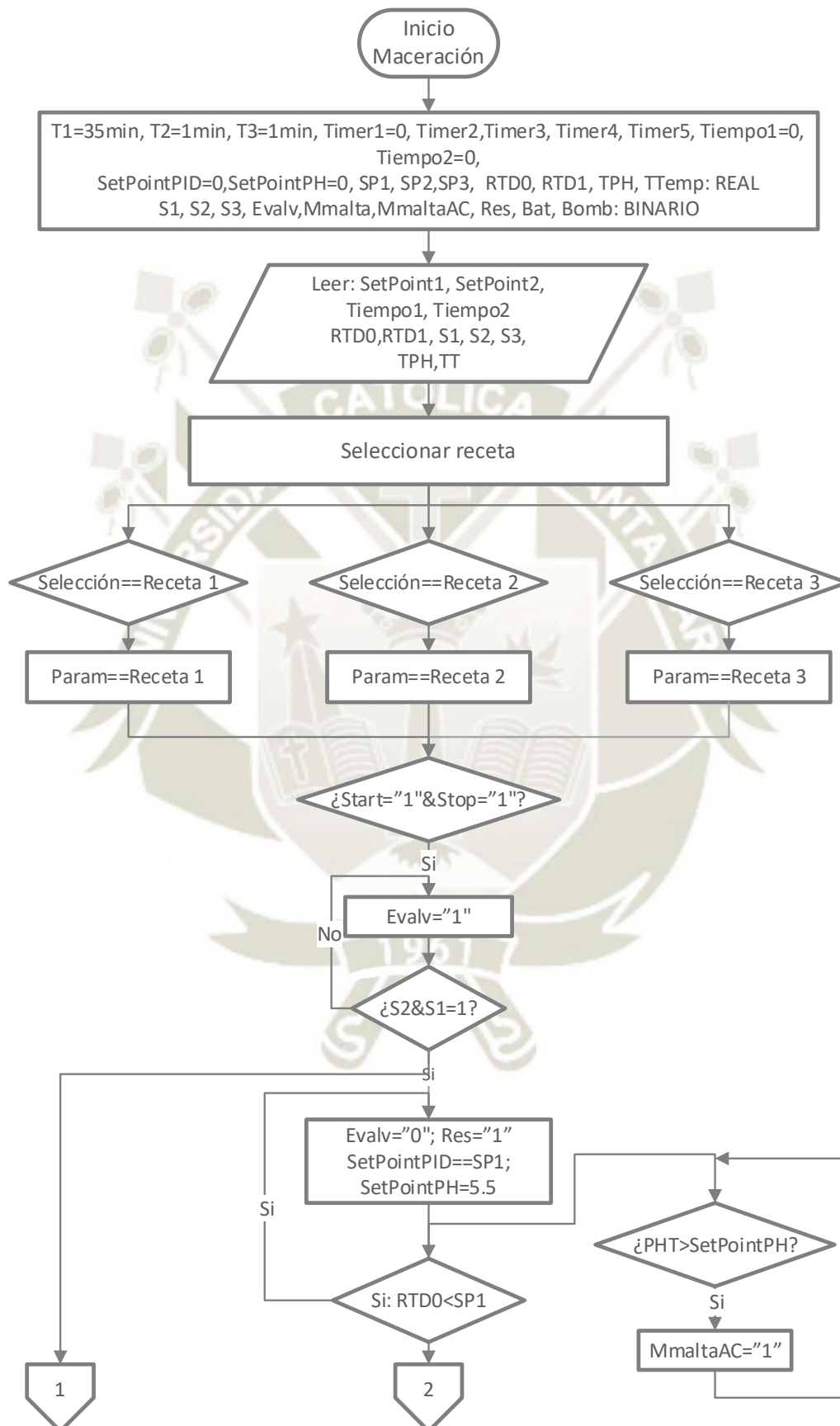
De igual manera, al terminar el segundo ascenso, se carga el tercer setpoint con su respectivo tiempo. Además de que en este tercer descanso se realiza una prueba de yodo para validar si la maceración se realizó de manera correcta. Si el mosto no reacciona con el yodo, se da por finalizado la maceración, si hay reacción se continúa con la maceración. El setpoint sigue siendo el mismo hasta pasar a la etapa de cocción.

j. Fin maceración

Después de llevar a cabo la verificación de que no se produce ninguna reacción entre el mosto y el yodo, se procede a avanzar la etapa siguiente.

4.3.3.2. Algoritmo de la planta de maceración

En la fig. 48, se realiza el algoritmo de la etapa de maceración



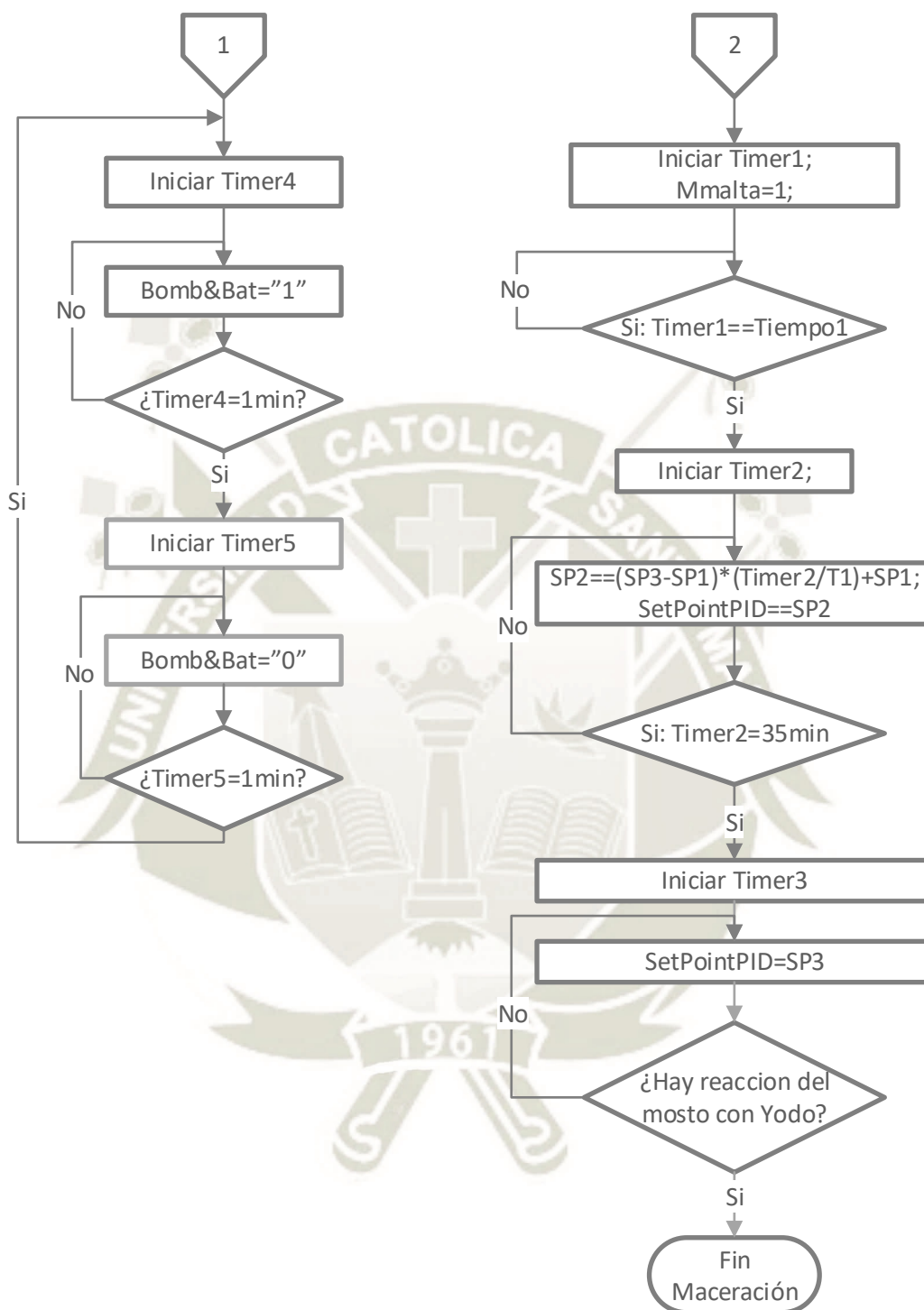


Fig. 48. Algoritmo para la etapa de maceración

Nota: Elaboración propia.

4.4. Programación de PLC

La programación (Anexo 5) consta de implementar el algoritmo anteriormente revisado en el PLC.

4.4.1. Aspectos generales del proyecto en TIA Portal

La programación se realizó en TIA Portal V16. Con el proyecto ya creado se procede a realizar la configuración de hardware, es decir añadir los dispositivos que se utilizarán, tales como PLC y módulos tecnológicos para que TIA Portal pueda reconocerlos. En este proyecto se añaden el PLC S7-1200 con CPU 1214C DC/DC/DC y un módulo de entradas analógicas AI4 x RTD (Fig. 49).

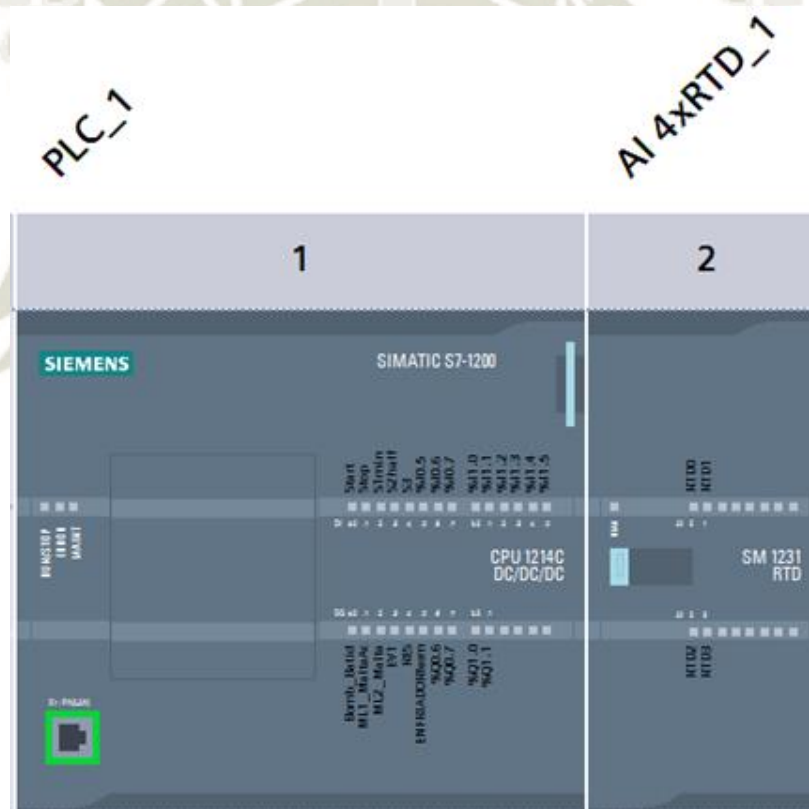


Fig. 49. Panel de vista de dispositivos – TIA Portal

Nota: Elaboración propia.

Configuraciones adicionales requeridas para implementar el algoritmo en el PLC son:

- Asignar una dirección IP que este dentro de una misma subred de la estación de trabajo para tener comunicación (Fig. 50).

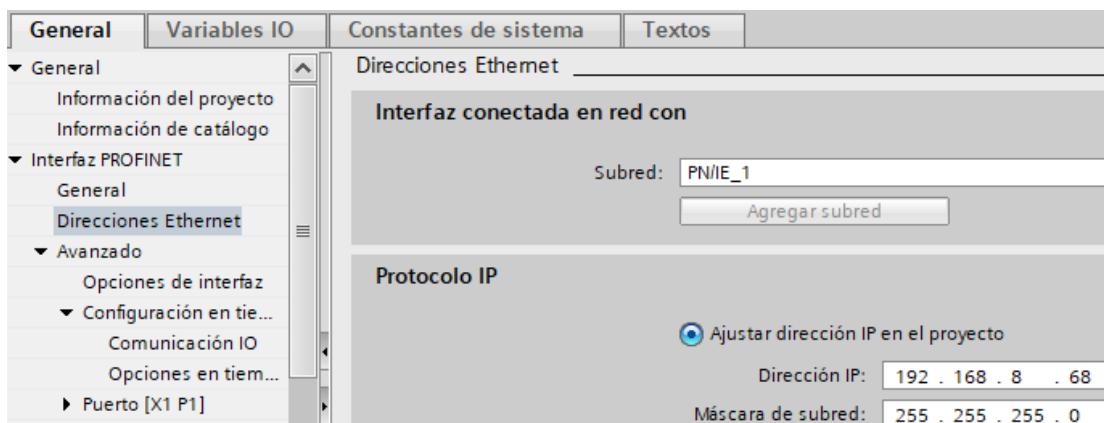


Fig. 50. Propiedades de PLC S71-1200 – Configuración de dirección IP

Nota: Elaboración propia.

- Configurar los canales del módulo RTD con la cantidad de hilos correcta, escala de temperatura y filtrado (Fig. 51).

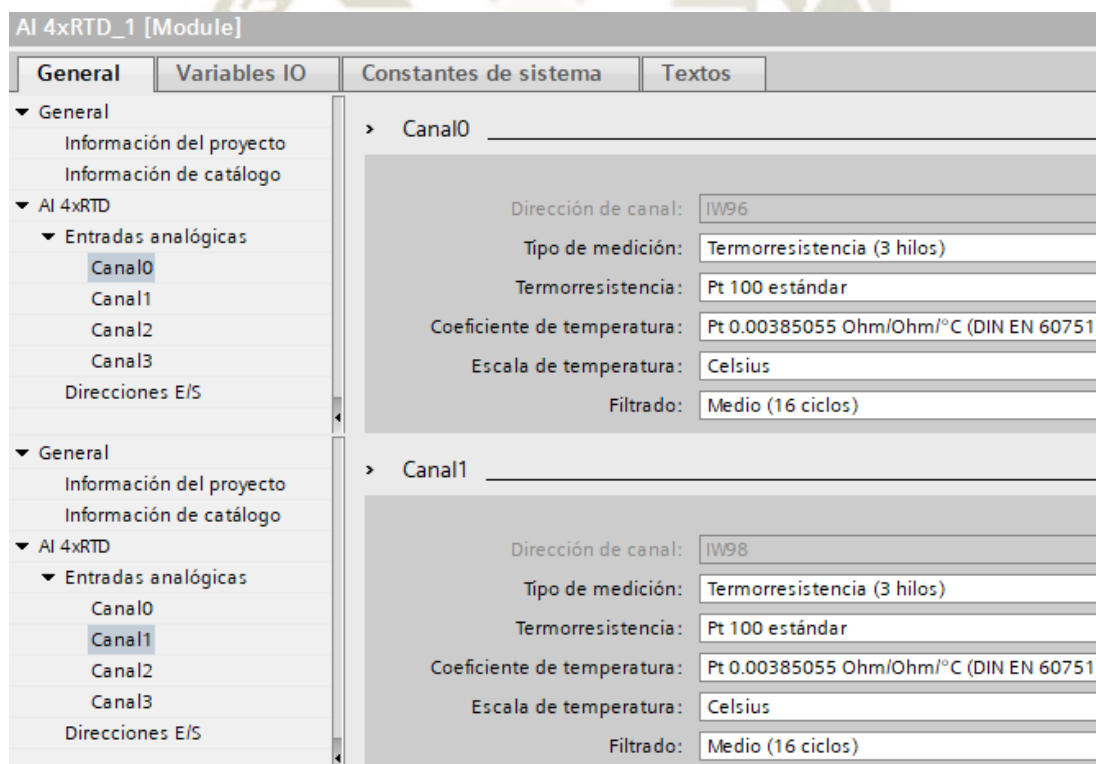


Fig. 51. Propiedades de módulo RTD SM1231 – Configuración de entradas analógicas

Nota: Elaboración propia.

- Revisar y asignar las direcciones de las entradas y salidas físicas del PLC y módulo RTD (Fig. 52).

	Nombre	Tipo de datos	Dirección ▲	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	Start	Bool	%I0.0	☐	☒	☒	☒
2	Stop	Bool	%I0.1	☐	☒	☒	☒
3	S1min	Bool	%I0.2	☐	☒	☒	☒
4	S2half	Bool	%I0.3	☐	☒	☒	☒
5	S3	Bool	%I0.4	☐	☒	☒	☒
6	PHT_Ph	Word	%IW64	☐	☒	☒	☒
7	PHT_Temp	Word	%IW66	☐	☒	☒	☒
8	RTD0	Word	%IW96	☐	☒	☒	☒
9	RTD1	Word	%IW98	☐	☒	☒	☒
10	RTD2	Word	%IW100	☐	☒	☒	☒
11	RTD3	Word	%IW102	☐	☒	☒	☒
12	Bomb_Batid	Bool	%Q0.0	☐	☒	☒	☒
13	ML1_MaltaAc	Bool	%Q0.1	☐	☒	☒	☒
14	ML2_Malta	Bool	%Q0.2	☐	☒	☒	☒
15	EV1	Bool	%Q0.3	☐	☒	☒	☒
16	RES	Bool	%Q0.4	☐	☒	☒	☒
17	ENFRIADORferm	Bool	%Q0.5	☐	☒	☒	☒

Fig. 52. Direcciones de E/S de PLC y módulo RTD

Nota: Elaboración propia.

4.4.2. Implementación del algoritmo en TIA Portal

La programación del proyecto se realizó de forma estructurada, de tal manera que las funciones sean llamadas desde OB1. En este apartado se explica el desarrollo del algoritmo de forma esquemática, la programación completa corresponde al Anexo 5.

4.4.2.1. Escalamiento de señales analógicas

Las señales a escalar son:

- Señal de temperatura y pH de sonda
- Señales de los módulos RTD

Para este escalamiento de las señales se crea un FC que realizará esta tarea (Fig. 53).

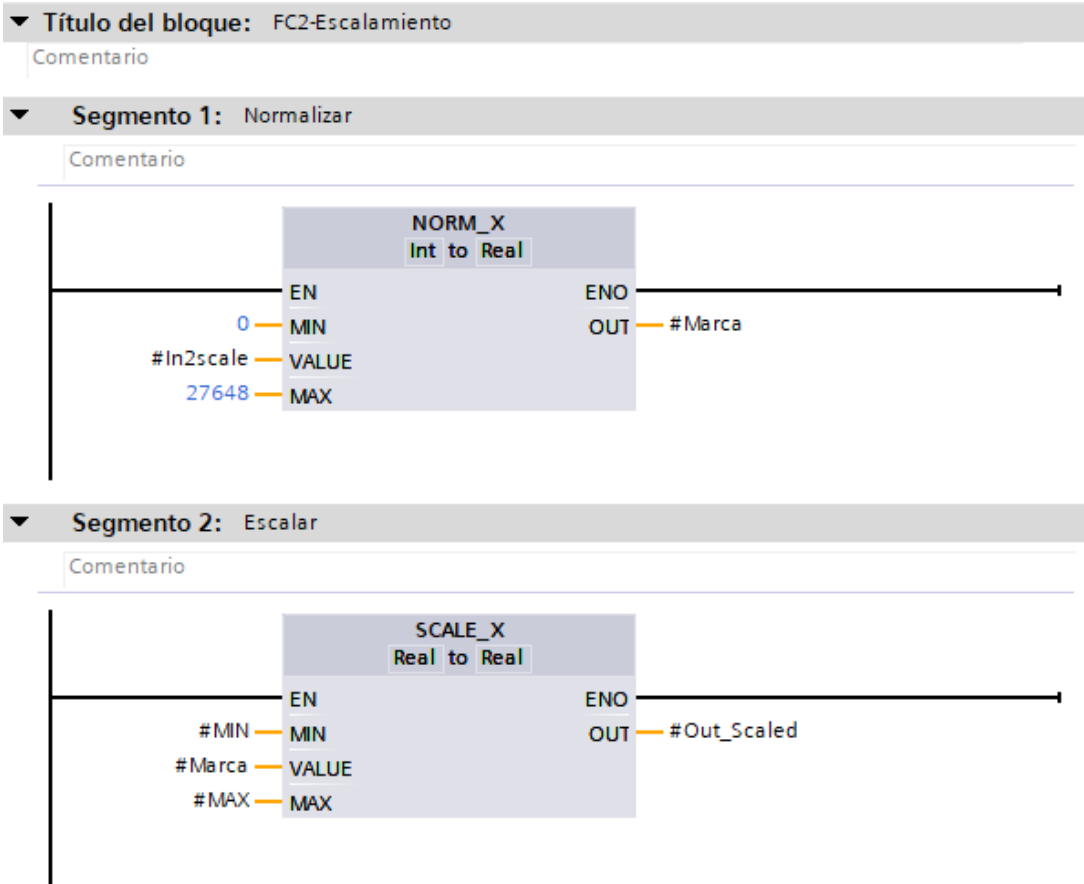


Fig. 53. FC2 Escalamiento de señales

Nota: Elaboración propia.

Al llamar la FC2 creada, fig. 54, se deben completar los siguientes parámetros:

- In2scale. - Aquí se coloca la dirección sin escalar, es decir la dirección de E/S del PLC.
- MIN. - Aquí se coloca el valor mínimo del rango de medición, si es que tuviera.
- MAX. - En esta entrada se coloca el valor máximo del rango de medición, en caso tuviera.
- Out_Scaled. -En esta salida se coloca la dirección de memoria donde se guardará la señal escalada.

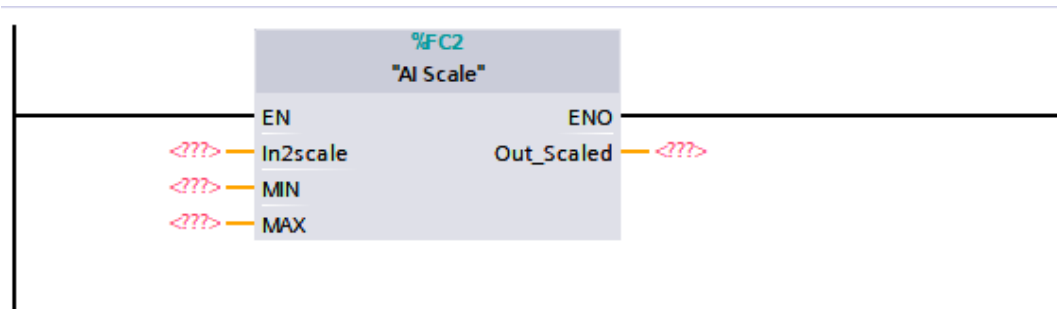


Fig. 54. Parámetros necesarios para FC2

Nota: Elaboración propia.

Ahora se crea una FC donde solo se realice escalamiento de señales, esta FC9 será llamada desde OB1 (Fig. 55 y Fig. 56).

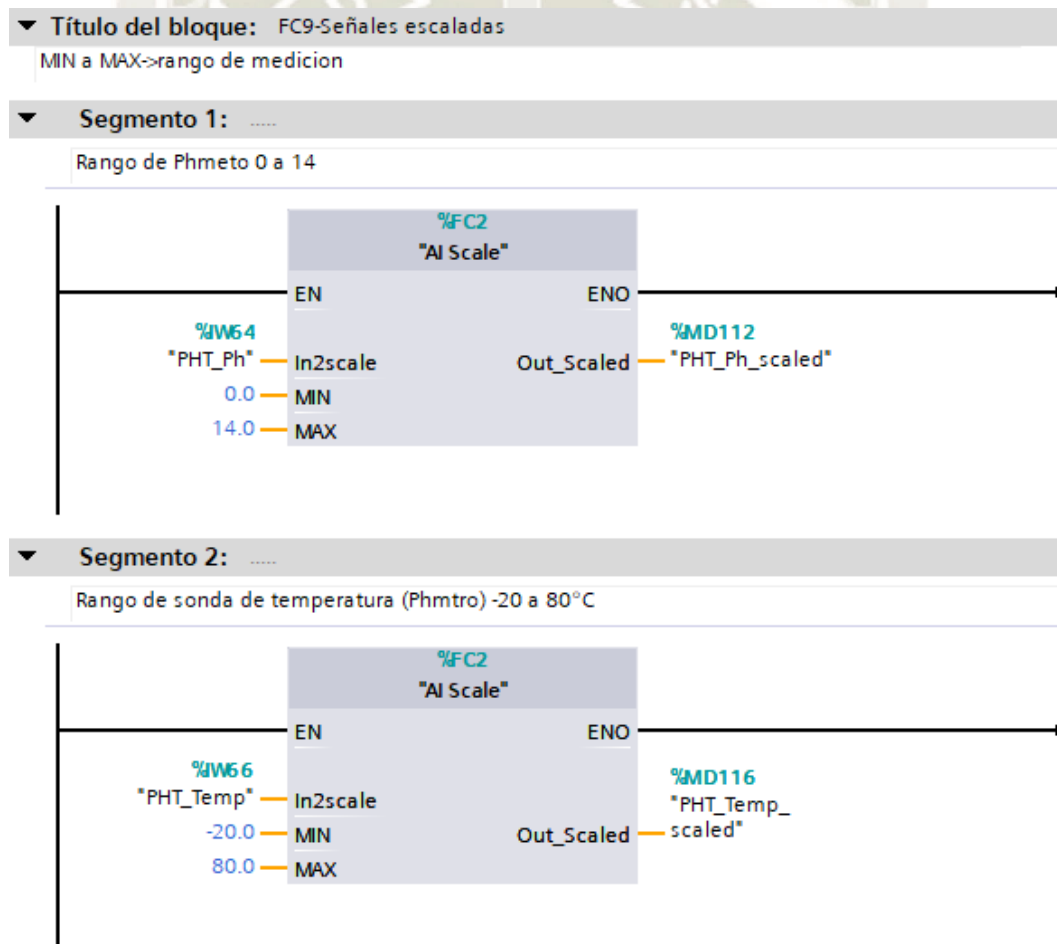


Fig. 55. Escalamiento de señales analógicas – pH y sonda de temperatura

Nota: Elaboración propia.

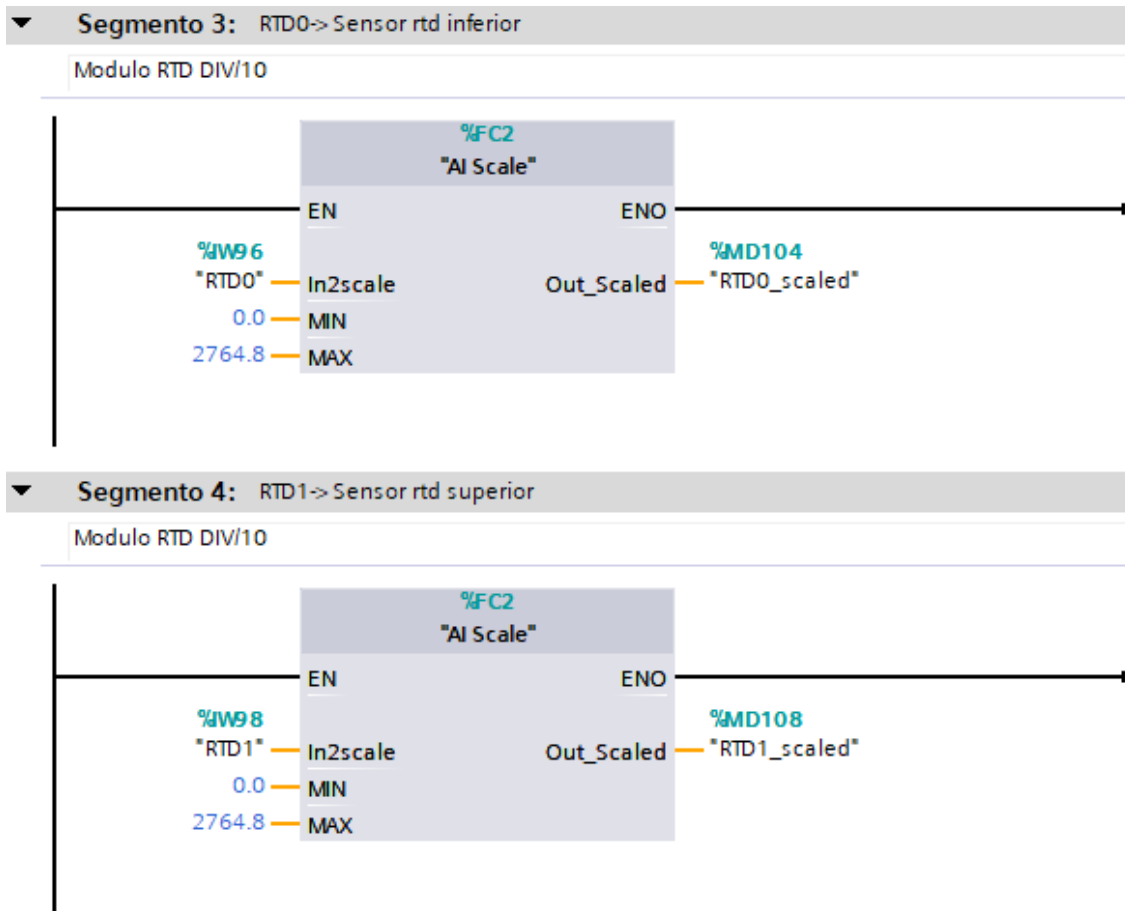


Fig. 56. Escalamiento de señales analógicas – RTD's

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con el manual del módulo RTD, para escalar las señales conectadas a sus terminales se tiene que realizar una división entre 10.

4.4.2.2. Programación de Setpoint de temperatura variable

El valor del cada setpoint se mueve a la posición de memoria MD400 del PLC, por ejemplo, al cumplirse las condiciones necesarias, se hace una copia del parámetro del primer descanso, como podemos ver en la fig. 57.

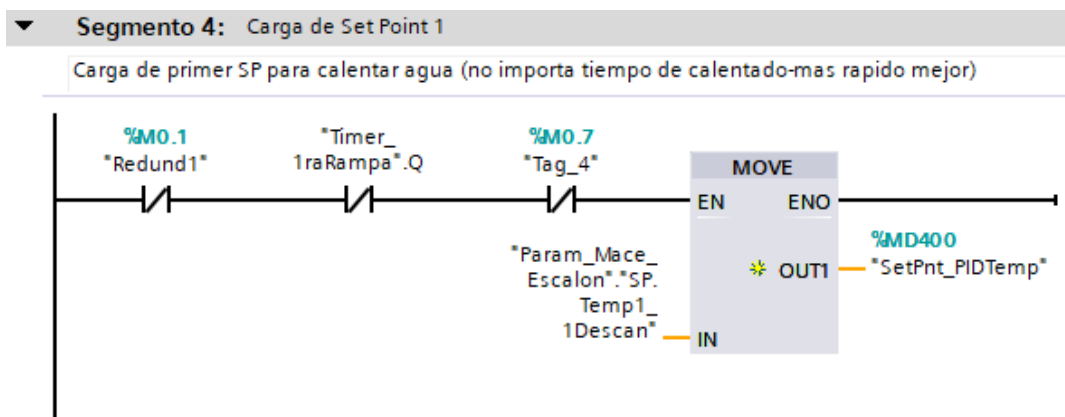


Fig. 57. Carga de 1er setpoint a PID

Nota: Elaboración propia.

Para la rampa de temperatura implementada, se consideró colocar una instrucción timer que proporcionará el tiempo transcurrido que cambia en el tiempo y se guardará en la posición de memoria MD200 de tipo doble entero (Fig. 58).

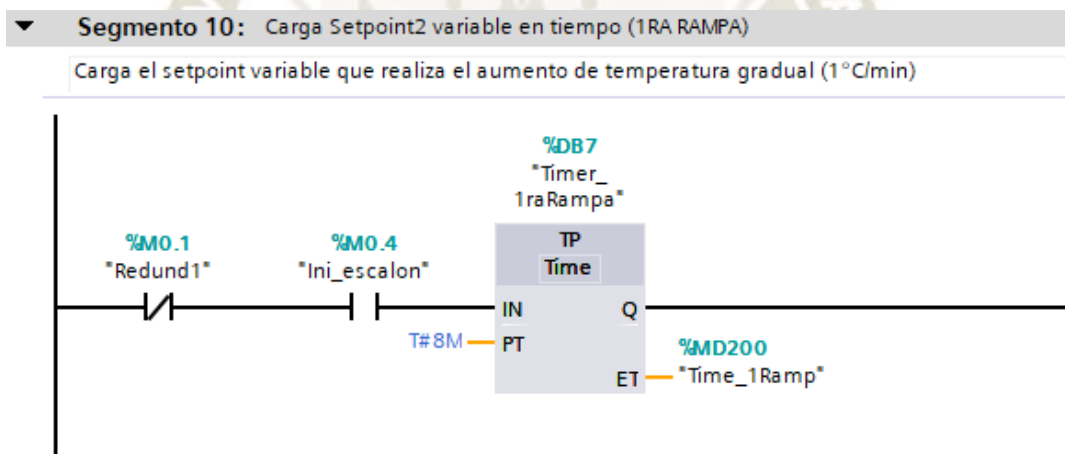


Fig. 58. Timer para generar rampa de temperatura

Nota: Elaboración propia.

El tipo de datos de MD200 (DInt), no puede ser utilizado en el siguiente bloque debido a que los datos que se utilizan son de tipo Real, por lo que se realiza la conversión a Real y se guarda en otra posición de memoria (Fig. 59).

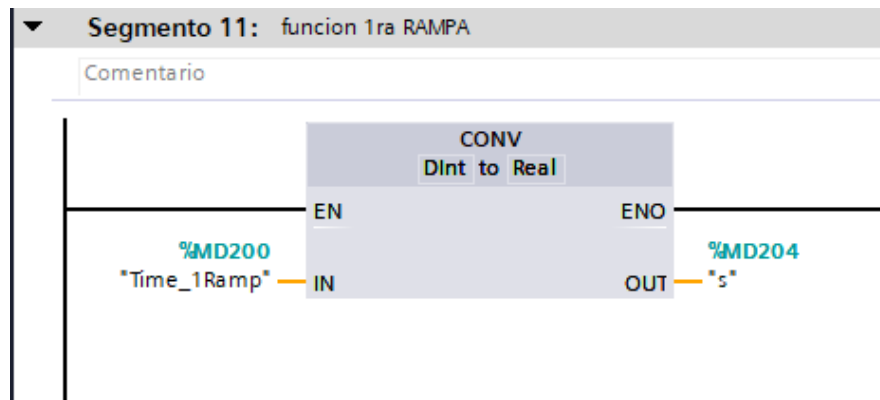


Fig. 59. Conversión de tipo de datos para rampa de temperatura

Nota: Elaboración propia

Con la conversión realizada se puede implementar la rampa de temperatura, la cual se describe en la fig. 60.

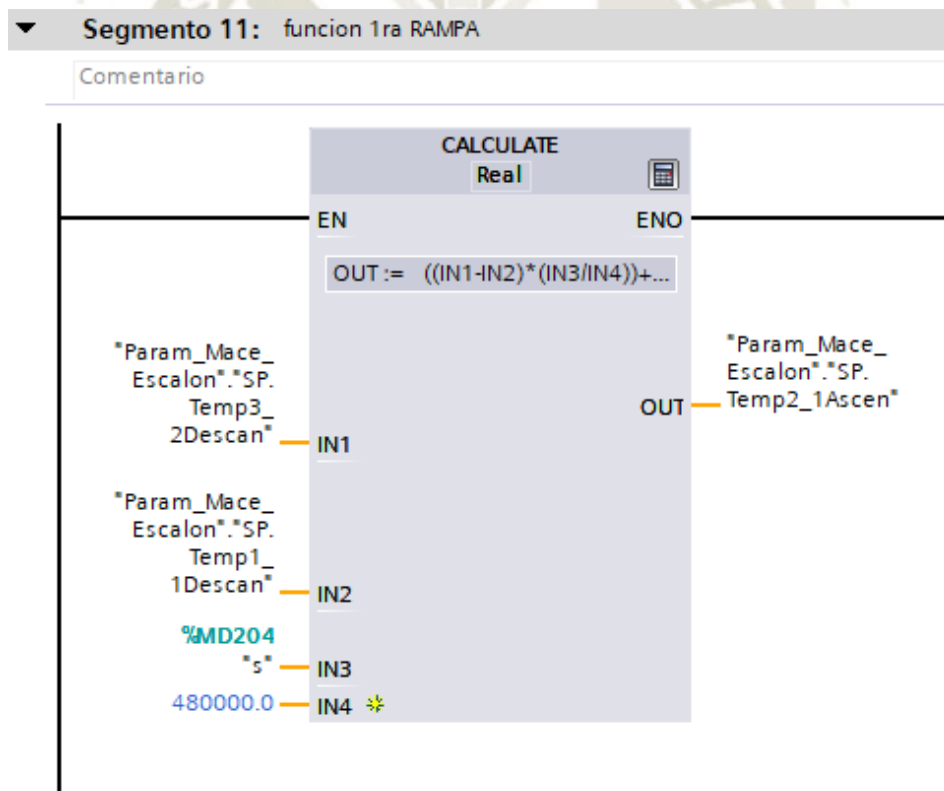


Fig. 60. Creación de función rampa de temperatura

Nota: Elaboración propia

El resultado de este cálculo es el setpoint variable, el cual tiene que moverse a la marca de memoria MD400 al cumplirse la lógica a la cual está condicionada (Fig. 61).

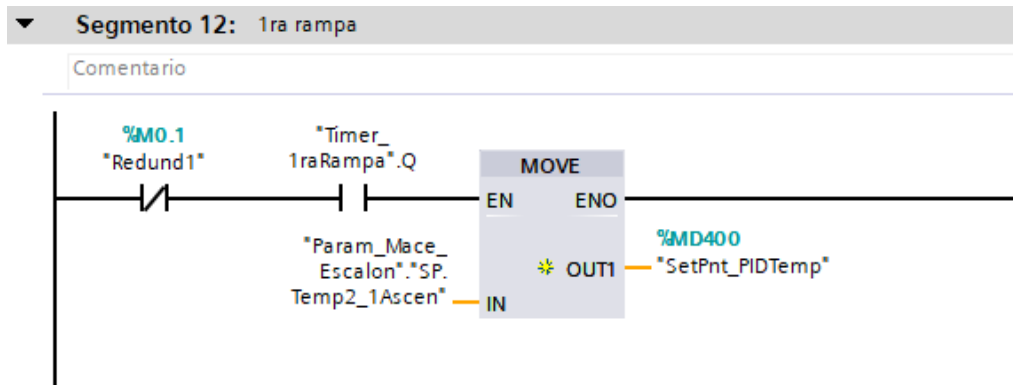


Fig. 61. Carga de setpoint variable a PID

Nota: Elaboración propia

4.4.2.3. Configuración del bloque PID

Se creó el FC1 que contendrá al bloque PID. Este bloque PID requiere introducir los siguientes parámetros (Fig. 62):

- Setpoint. - El setpoint actual que se está copiando a MD400.
- Input_PER. - Correspondiente a la señal del sensor IW96.
- Output_PWM. - Correspondiente a la señal que se enviará al actuador.

Se emplea la salida PWM del bloque PID debido a que físicamente el actuador, es decir, las resistencias están gobernadas por un SSR.

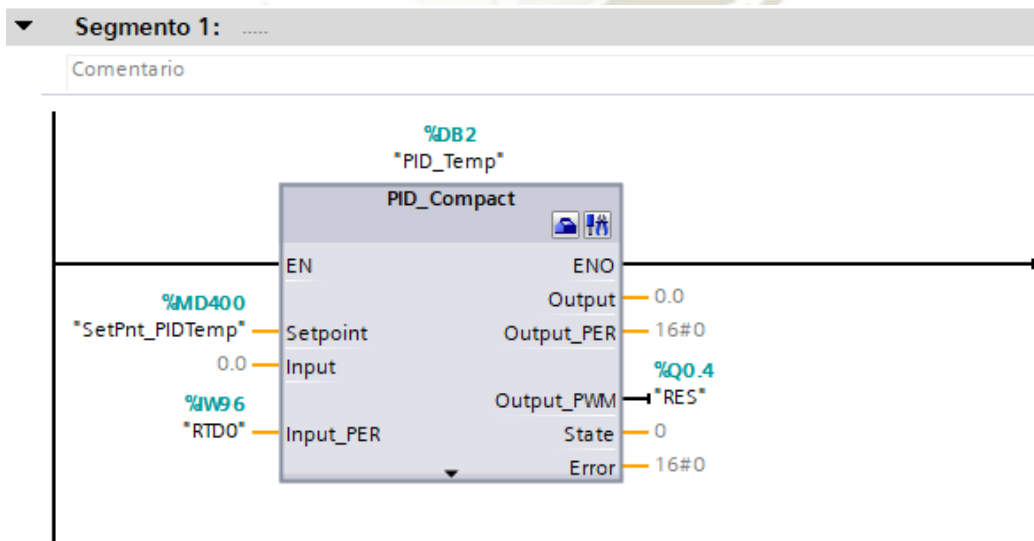


Fig. 62. Bloque PID

Nota: Elaboración propia

Para el correcto funcionamiento, se debe configurar algunos parámetros dentro del menú de configuraciones del bloque PID. Dentro de Ajustes Básicos-Parámetros de Entrada/Salida, se debe asegurar que la salida sea en PWM (Fig. 63).

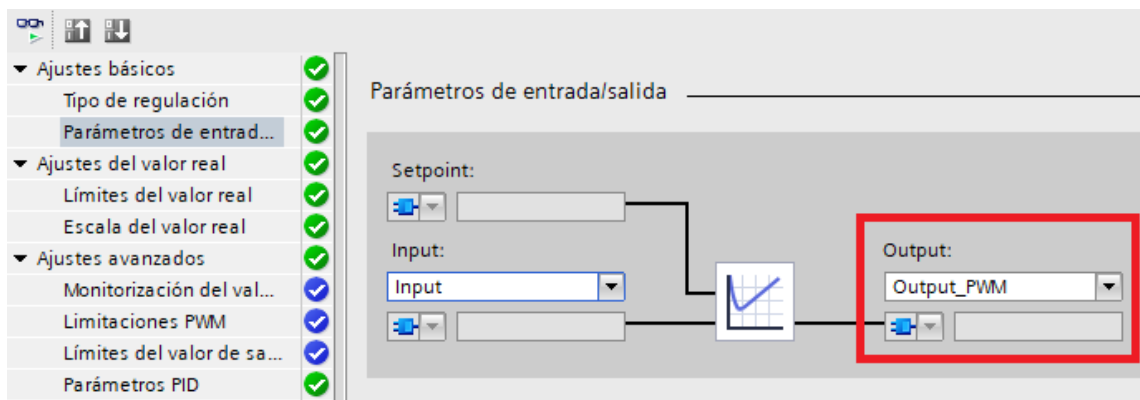


Fig. 63. Configuraciones de bloque PID – parámetros de E/S

Nota: Elaboración propia

Finalmente, se debe ingresar los parámetros PID calculados anteriormente (Fig. 64).

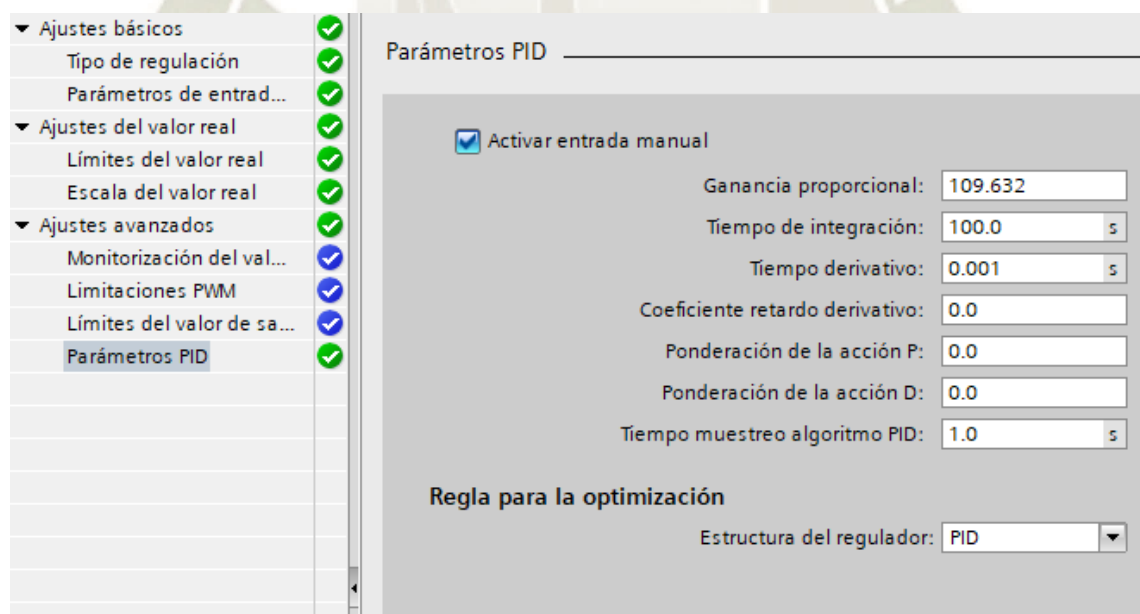


Fig. 64. Configuraciones de bloque PID – Parámetros PID

Nota: Elaboración propia

4.4.2.4. Monitoreo del control PID

El comportamiento de control PID se puede ver en la pantalla del ordenador, donde se puede corroborar que actuadores están energizadas accediendo al software de TIA Portal.

La fig. 65 muestra el valor de setpoint (66.0°C) donde se hace el control de la temperatura por un tiempo determinado, esto depende del tipo de receta que se realice. En la gráfica también se ve la activación de las resistencias por tiempos muy cortos, la línea roja muestra el nivel de potencia de las resistencias sumergibles en un rango de 0.0 – 100.0%.

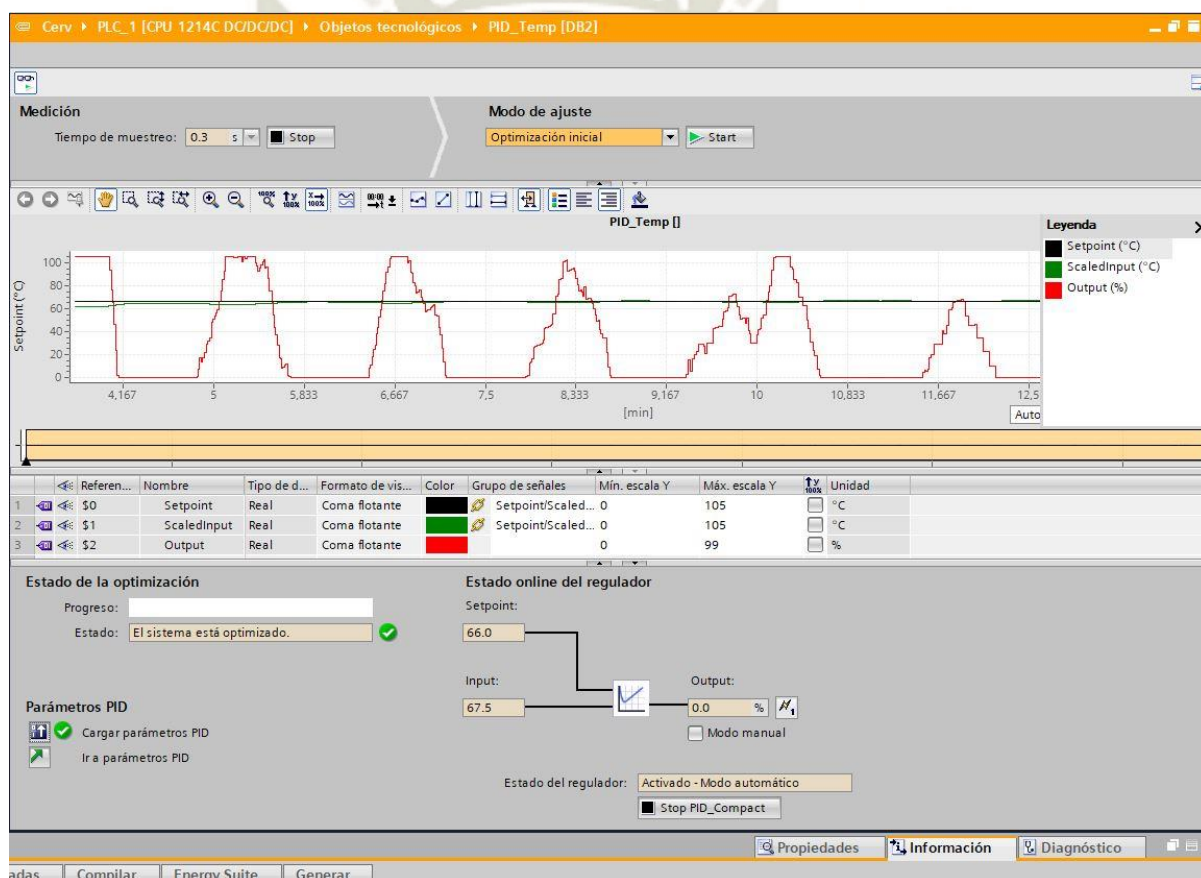


Fig. 65. Monitoreo del Setpoint fijado – Control PID

Nota: Elaboración propia

En la fig.66 se ve el recorrido de la rampa de 66.0°C a 76.0°C, en este caso el nuevo Setpoint es 76.0°C. La entrada (Input) muestra 74.3°C este es el valor real del mosto el cual seguirá subiendo hasta alcanzar el nuevo Setpoint.

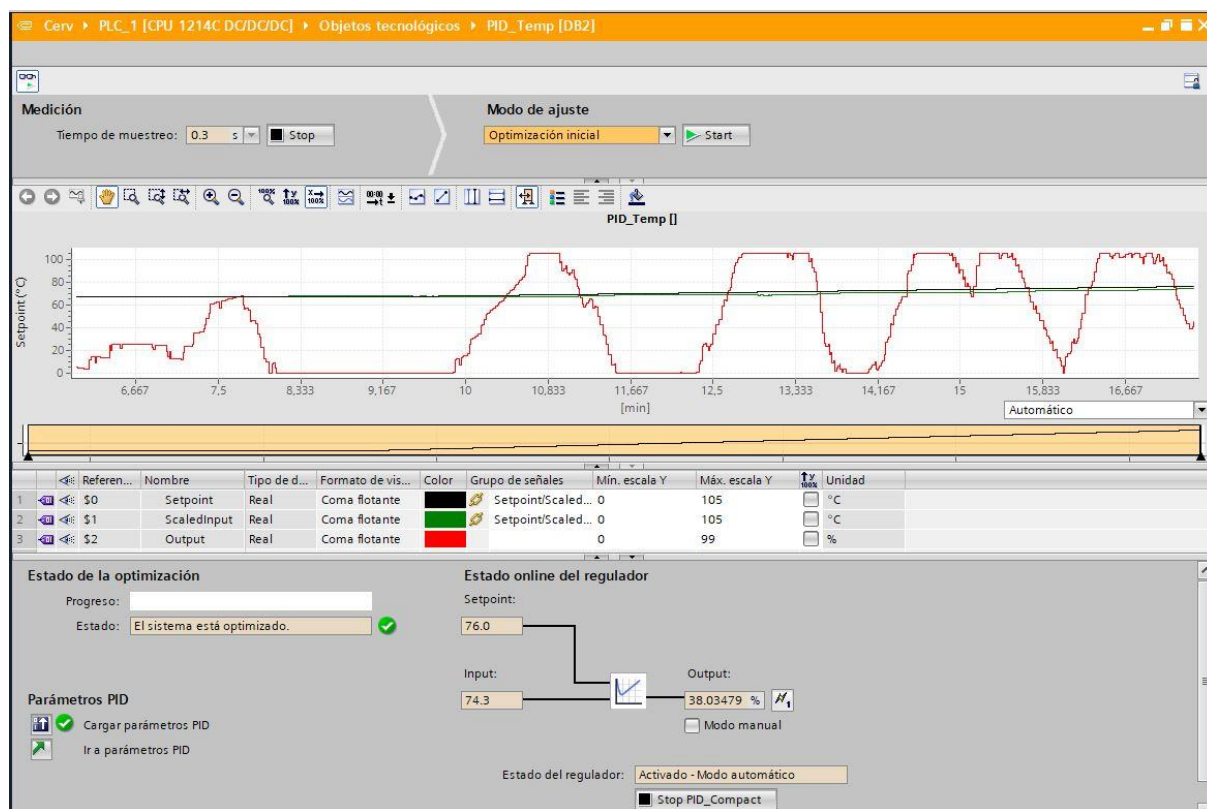


Fig. 66. Recorrido de la rampa – Control PID

Nota: Elaboración propia

En la siguiente figura, vemos que la entrada (Input) es igual al valor fijado (Setpoint), esto quiere decir, que ya alcanzó el nuevo Setpoint. Por lo tanto, la salida del control PID se desactiva desenergizando a las resistencias sumergibles, entonces la potencia pasa a ser 0.0%.

Podemos apreciar el tiempo transcurrido de pasar del Setpoint anterior (66.0°C) al nuevo Setpoint (76.0°C) el cual debe cumplir con la condición (1°C/min). Según la figura el tiempo que transcurrió en alcanzar el Setpoint es aproximadamente del minuto 8.333 hasta el minuto 18.333, con esto podemos decir que se cumple con la condición propuesta.

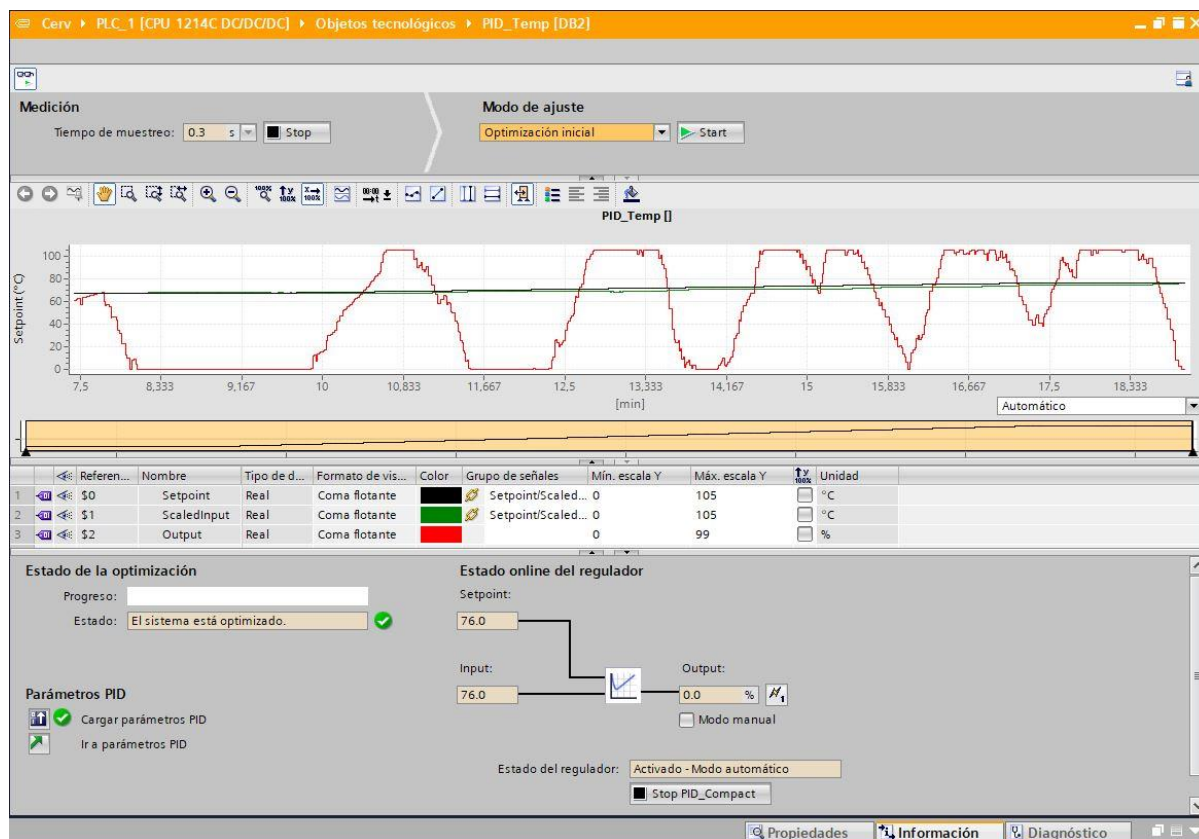


Fig. 67. Nuevo setpoint alcanzado – Control PID

Nota: Elaboración propia

4.4.2.5. Control de pH

El control de pH se basa en la apertura de la compuerta de malta ácida por un determinado tiempo. Para ello se emplea el modelo matemático hallado anteriormente, que relaciona la cantidad de malta requerida con el tiempo de apertura de la compuerta de malta ácida. Para esto se toma una constante como dato del peso de la malta para calcular la cantidad de malta ácida (Fig. 68). De requerir alguna modificación, se realiza directamente en el DB que contiene los parámetros de maceración.

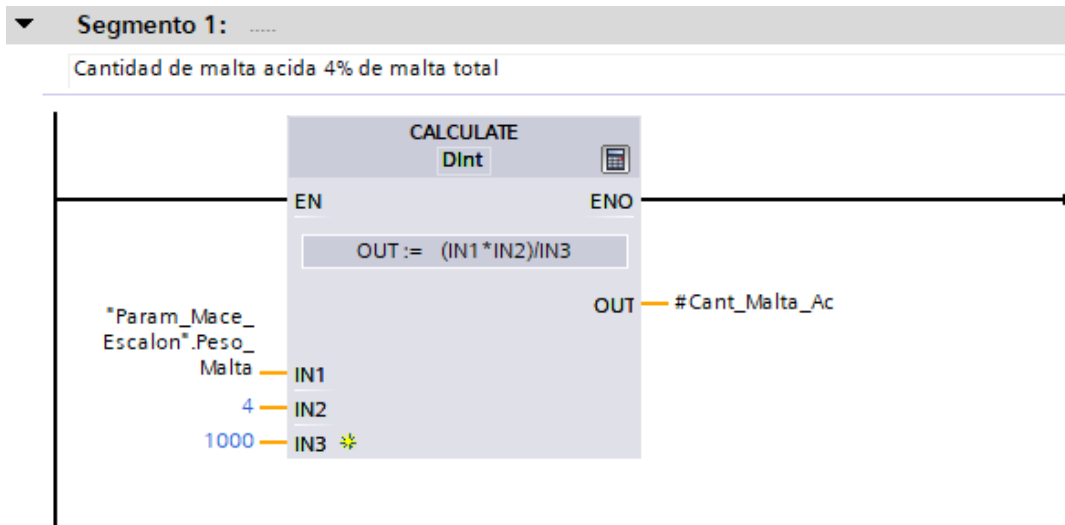


Fig. 68. Cálculo de cantidad de malta ácida en función del peso total

Nota: Elaboración propia

Con la cantidad de malta determinada, entra a un bloque que tiene como salida el tiempo que se abrirá la compuerta de la malta ácida (Fig. 69).

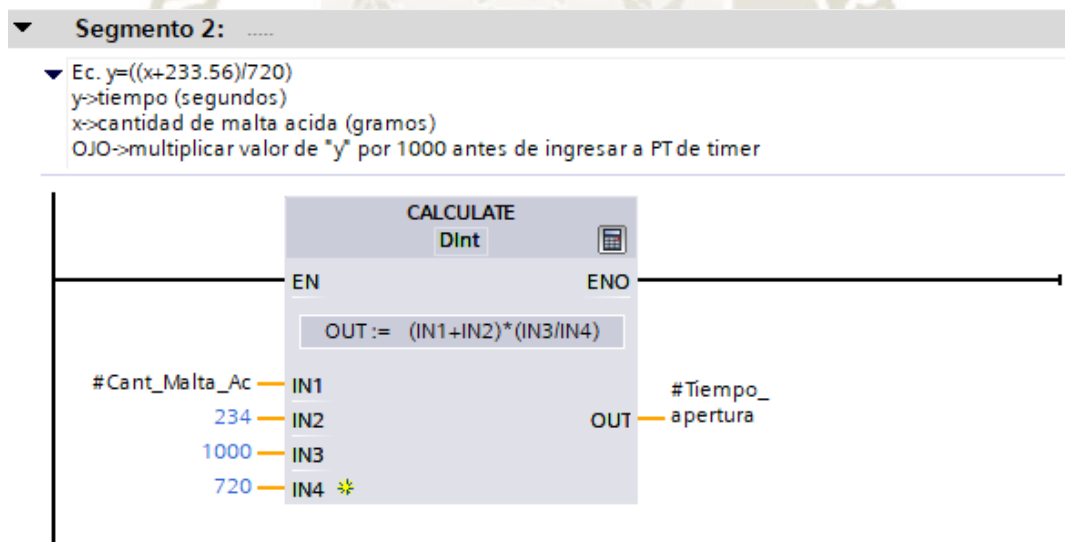


Fig. 69. Cálculo de tiempo de activación de actuador

Nota: Elaboración propia

Finalmente, este tiempo de apertura se carga en un timer, el cual activara el motor lineal de la compuerta de malta acida de acuerdo al tiempo seteado (Fig. 70).

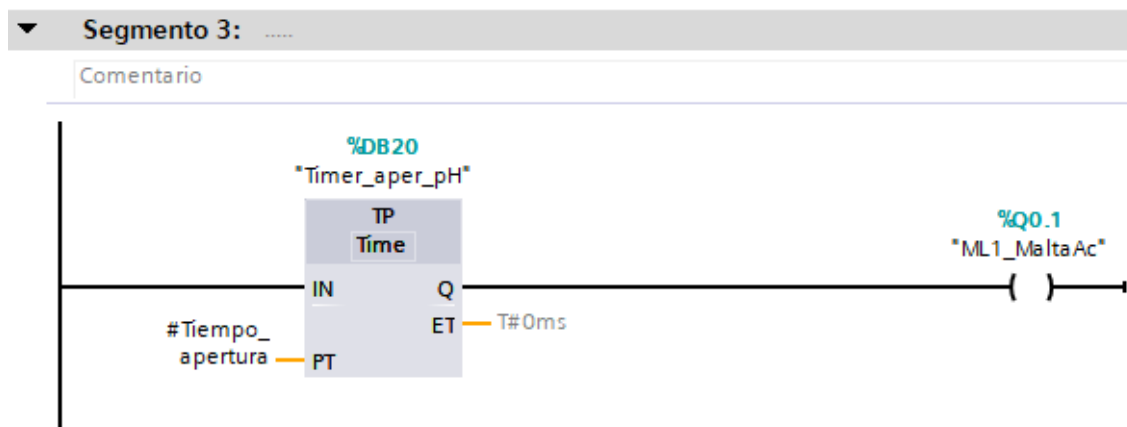


Fig. 70. Activación de actuador por tiempo pre establecido en timer

Nota: Elaboración propia

4.4.2.6. Comunicación PLC - HMI

Para leer o escribir variables en el HMI se creó un DB y FC que relacione las variables que se mostraran en el HMI. La Figura NNN muestra las variables creadas en el DB (Fig. 71).

DataCommHMI2PLC					
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...
1	▼ Static			☐	☐
2	HMI.SP.Temp1	Int	0	☐	☒
3	HMI.SP.Temp3	Int	0	☐	☒
4	HMI.SP.Temp5	Int	0	☐	☒
5	HMI.TiempoActSP1	Real	0.0	☐	☒
6	HMI.TiempoActSP2	Real	0.0	☐	☒
7	HMI.TiempoActSP3	Real	0.0	☐	☒
8	TiempoTotalMac	Real	0.0	☐	☒
9	Set1erDesc	DInt	0	☐	☒
10	Set2doDesc	DInt	0	☐	☒
11	Set3erDesc	DInt	0	☐	☒
12	SetTiempoCocci	DInt	0	☐	☒
13	SPTempActual	Real	0.0	☐	☒
14	TiempoActualCocc	Real	0.0	☐	☒
15	SPPhActual	Real	0.0	☐	☒

Fig. 71. DB de comunicación entre PLC y HMI

Nota: Elaboración propia

El bloque FC creado realiza únicamente el acondicionamiento de las variables para visualizarlas en el HMI. Por ejemplo, para leer el parámetro de tiempo de la receta de cerveza y cargarlos en el timer correspondiente, se tiene que mover el dato a

una variable propia de la maceración y realizar la conversión de minutos a segundos, debido a que el timer solo acepta datos en la unidad de segundos, mas no minutos (Fig. 72). Se realiza de igual manera para setear el tiempo de los otros dos descansos.

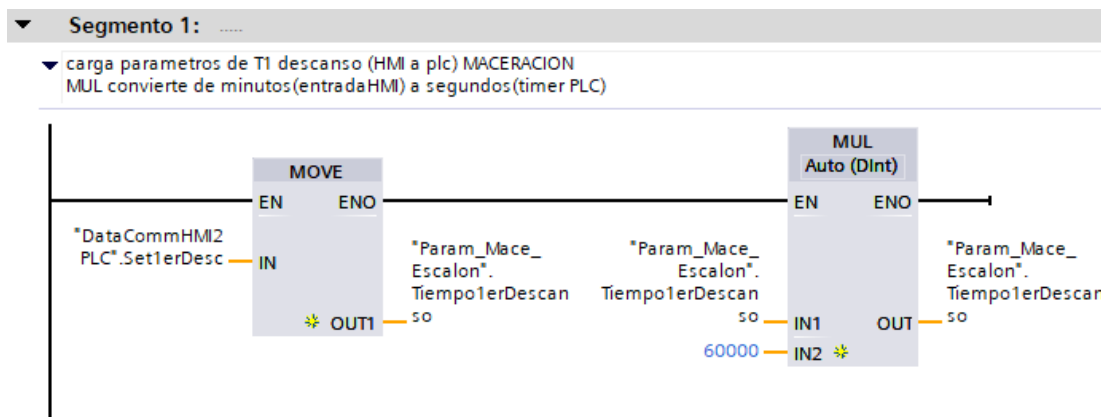


Fig. 72. Carga de parámetro tiempo de HMI a PLC

Nota: Elaboración propia

Para mostrar el tiempo transcurrido en el HMI se toma este dato del timer, se realiza la conversión respectiva y se divide para convertir de segundos a minutos (Fig. 73).

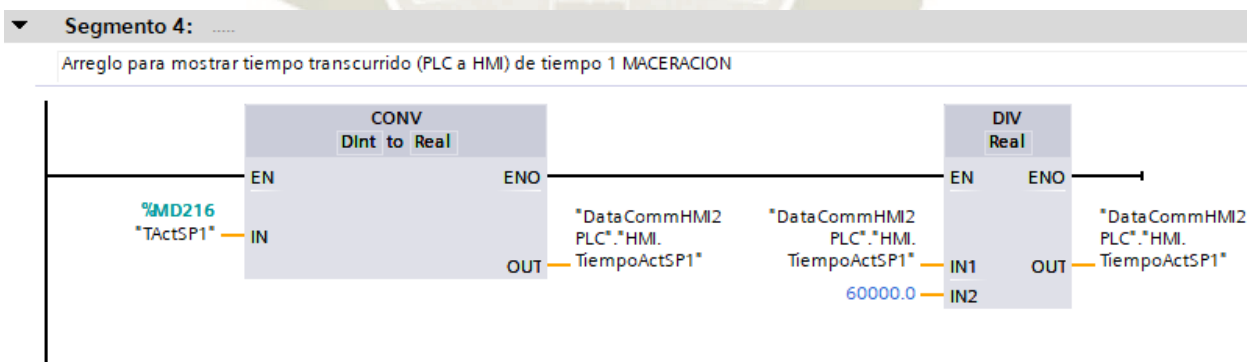


Fig. 73. Arreglo para visualizar tiempo transcurrido en interfaz

Nota: Elaboración propia

4.5. Programación de HMI

La programación del HMI para la planta de cerveza consta de crear imágenes que muestren las variables de relevancia al maestro cervecero.

4.5.1. Comunicación PLC-HMI

Para la lograr comunicar el HMI con el PLC, se tiene que asignar al HMI una dirección IP que esté dentro de la subred en que se encuentra el PLC, como se muestra en la fig. 74.

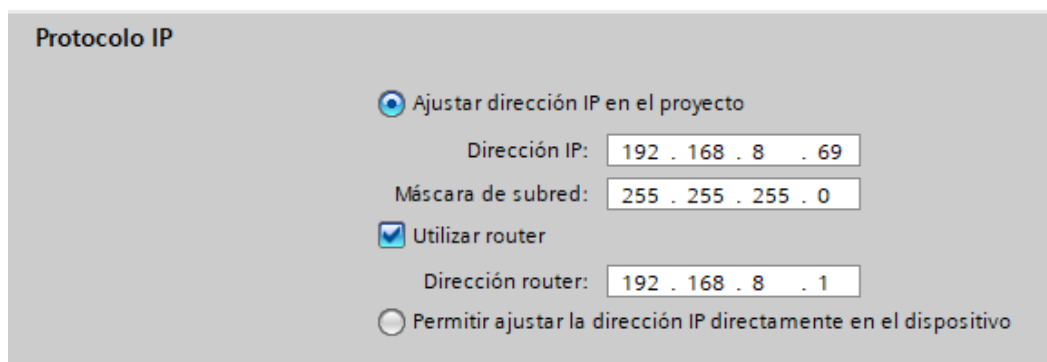


Fig. 74. Asignación de dirección IP a HMI

Nota: Elaboración propia

Al estar físicamente conectados el HMI y PLC por cable ethernet (patch cord), se tienen que enlazar en TIA Portal para establecer una comunicación y se puedan leer/escribir variables.

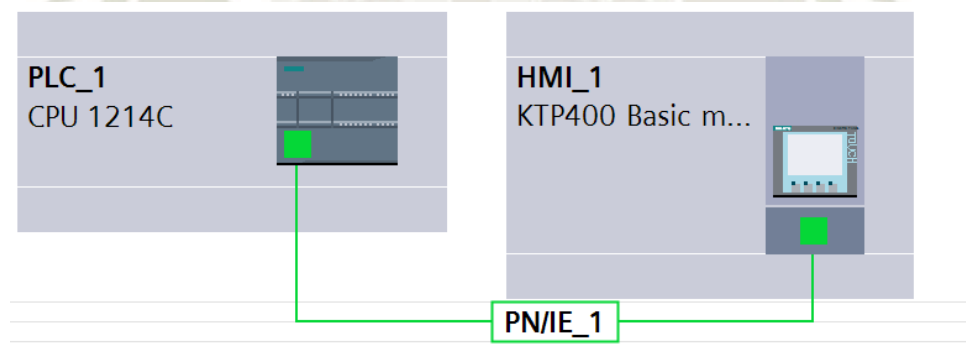


Fig. 75. Enlace de PLC y HMI

Nota: Elaboración propia

4.5.2. Desarrollo de Screens

El HMI KTP400 BasicMono es un HMI de 3.8" de 320x240 pixeles y 4 niveles de grises.

4.5.2.1. Configuración de Screen principal e inicio

Para editar la Screen principal y añadir textos se utiliza la ventana de Herramientas-Objetos Básicos (Fig. 76) donde se puede ubicar en cualquier parte

de la Screen. Al ingresar a Propiedades del texto se puede modificar la fuente, tamaño de letra, color, añadir animaciones, entre otros.

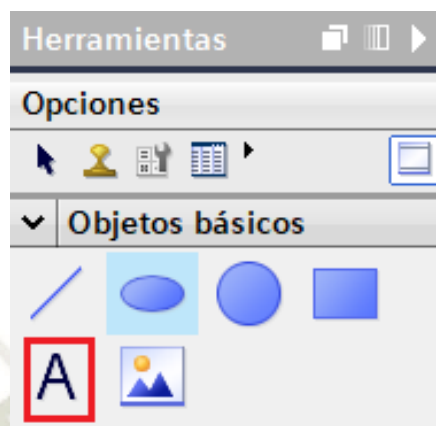


Fig. 76. WinCC – Creación de textos

Nota: Elaboración propia

Los botones se encuentran en la ventana de Herramientas-Elementos (Fig. 77).

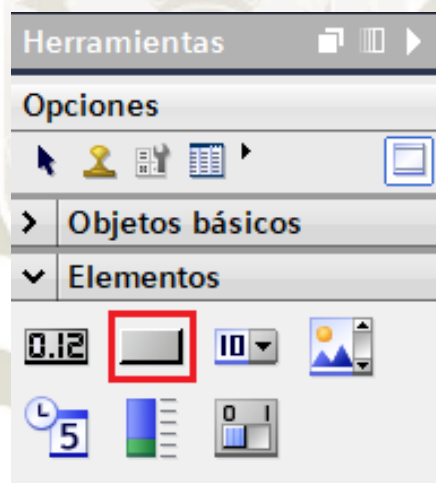


Fig. 77. WinCC – Creación de botones

Nota: Elaboración propia

De igual manera al revisar las Propiedades del botón, se pueden modificar acciones. La Screen de inicio tiene botones que redirigen a otras pantallas, por ejemplo, Maceración nos redirige a la pantalla de selección de recetas. Para lograr esta acción se tiene que modificar en la pestaña Eventos, agregar la función de ActivarImagen y seleccionar la Screen que se activará (Fig. 78).

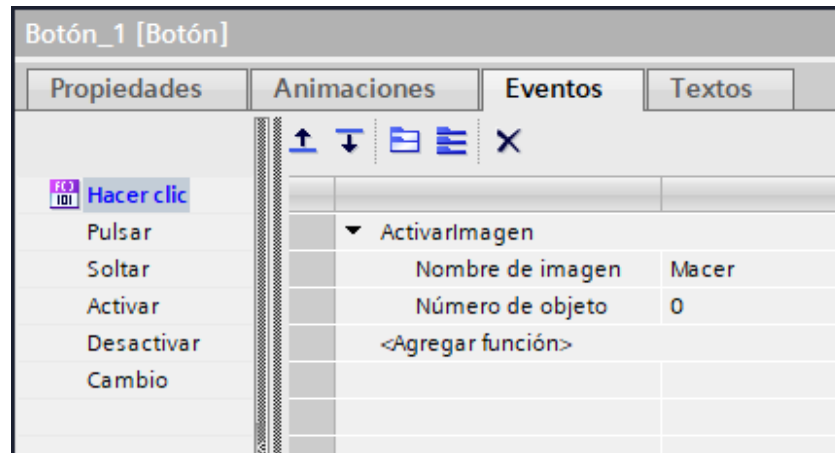


Fig. 78. WinCC – Configuración de eventos de Botones

Nota: Elaboración propia

Además, se tiene que condicionar la activación de las Screens de principal y de inicio al estado de los botones físicos de Start y Stop. Para ello se crea dos estructuras Move que activarán la imagen de acuerdo con el valor de MW11 (Fig. 79).

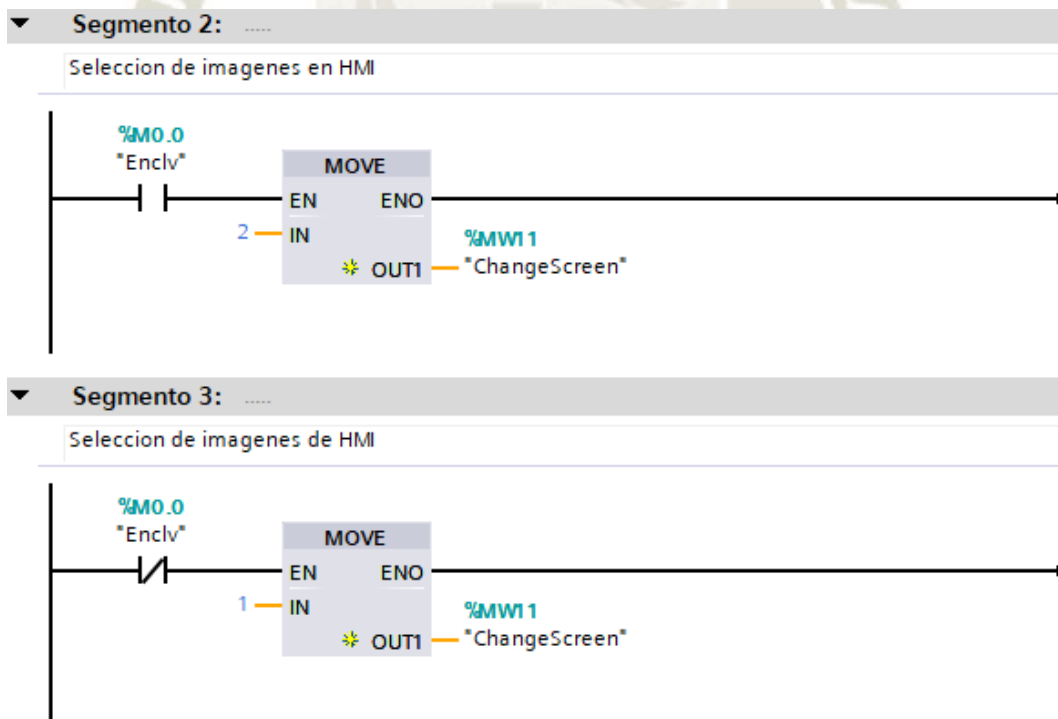


Fig. 79. Selección de Screens por estado de botones Start/Stop

Nota: Elaboración propia

Para conseguir estos cambios anteriormente mencionados, se tiene que confirmar la numeración de las Screens sea la correcta, para ello se abre las Propiedades, en la casilla Número (Fig. 80).

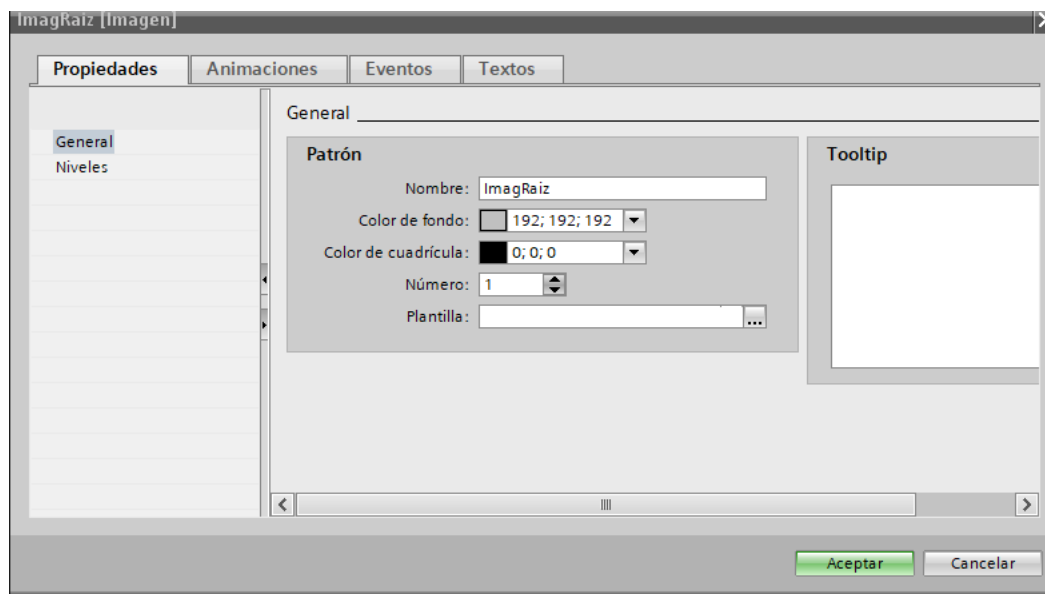


Fig. 80. WinCC – Configuración de propiedades de Screens

Nota: Elaboración propia

Si MW11 tiene valor de 1, es decir cuando el módulo arranca, se muestra la Screen de la fig. 81, caso contrario refiere a la Screen de inicio de la fig. 82.



Fig. 81. HMI – Vista de Screen planta de maceración en STOP

Nota: Elaboración propia



Fig. 82. HMI- Vista de Screen planta de maceración en START

Nota: Elaboración propia

4.5.2.2. *Recetas de Maceración-WinCC*

WinnCC de TIA Portal cuenta con un menú preconfigurado donde se pueden cargar diferentes parámetros que pueden repetirse llamado Recetas. Los parámetros que se modifican en la elaboración de la cerveza que realiza Artesano Beer son los Setpoints con sus respectivos tiempos de descanso. La creación de estas variables se visualiza en la fig. 83.

...	Nombre	Nombre de visualizac..	Variable	Tipo de datos
	Sp1	SetPoint 1(°C)	*Param_Mace_Es...	Int
	Tiempo1	Tiempo SetPoint 1 (M...	Param_Mace_Esc...	DInt
	Sp2	SetPoint 2 (°C)	*Param_Mace_Es...	Int
	Tiempo2	Tiempo SetPoint 2 (M...	Param_Mace_Esc...	DInt
	Sp3	SetPoint 3(°C)	*DataCommHMI2...	Int
	Tiempo3	Tiempo SetPoint 3 (M...	DataCommHMI2...	DInt

Fig. 83. WinCC - Creación de variables de HMI

Nota: Elaboración propia

Al cargar la configuración en el HMI, nos permite seleccionar los tipos de cerveza que se cocinará (Fig. 84).



Fig. 84. HMI – Selección de recetas

Nota: Elaboración propia

Además, permite modificar parámetros si se requiriera y posteriormente cargarlos al PLC (Fig. 85).

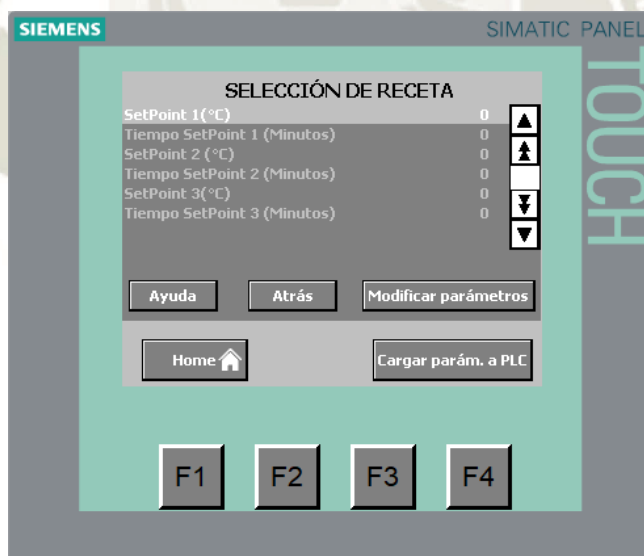


Fig. 85. HMI – Screen para modificar parámetros

Nota: Elaboración propia

4.5.2.3. Monitoreo de la Maceración

Las variables a monitorear durante la maceración son:

- pH.

- Temperatura.
- SetPoint.
- Tiempo de cada descanso de temperatura.
- Tiempo transcurrido total de la maceración.

Para visualizar los valores del PLC en el HMI se crea un Campo de E/S, ubicado en la ventana de Herramientas-Elementos (Fig. 86).

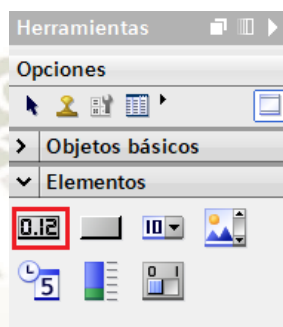


Fig. 86. WinCC – Creación de campo de E/S

Nota: Elaboración propia

Al añadir los Campos de E/S se procede a direccionarlo a la variable del PLC. Al entrar a las Propiedades-General de cada Campo E/S se tiene que verificar que en Proceso se encuentre la variable del PLC correcta, en Formato-Formato Representación se asignen dos decimales y en Tipo se cambie a modo Salida (Fig. 87):

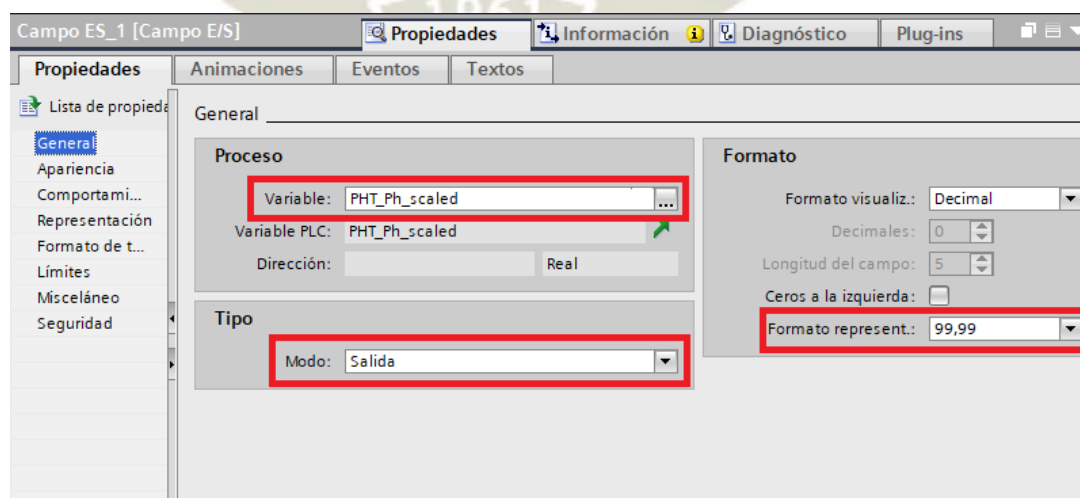


Fig. 87. WinCC – Propiedades de campo de E/S

Nota: Elaboración propia

Se realiza el mismo procedimiento para las demás variables a monitorear y se añade los siguientes botones:

- Iniciar Maceración.- Inicia el bloque FC3 (Macerado_Escalonado) al activar el bit respectivo.
- Detener Maceración. - Detiene el funcionamiento del bloque FC3 y activa el bloque de la siguiente etapa.
- Atrás. - Activa la imagen anterior (Carga y modificación de parámetros).

Tras finalizar la configuración, la interfaz de monitoreo corresponde a la fig. 88.

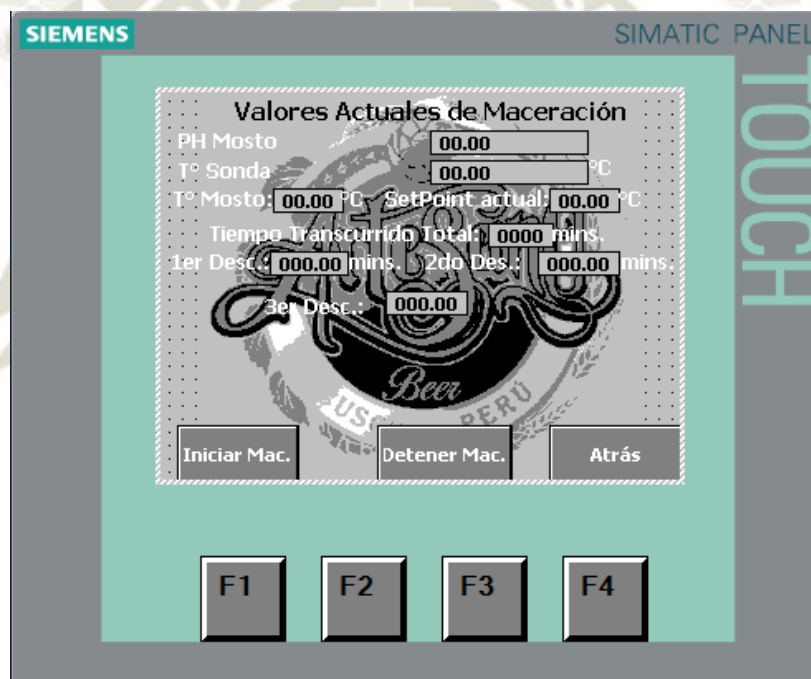


Fig. 88. HMI – Interfaz de monitoreo de maceración

Nota: Elaboración propia

La creación del HMI es en blanco y negro, debido a que este modelo no cuenta con la creación a colores.

4.5.2.4. Monitoreo mediante pantalla HMI

Después de programar y creado los screens de la pantalla HMI en TIA portal, en la fig. 89 se observa la pantalla HMI (Interfaz Hombre Maquina) implementada en la puerta delantera del tablero eléctrico.



Fig. 89. Monitoreo de maceración en pantalla HMI

Nota: Elaboración propia

Como se puede observar, se puede monitorear los valores de las variables a controlar, como son: el pH del mosto, temperatura de la sonda, la temperatura del mosto, el valor del setpoint actual, el tiempo total que se demoró en realizar la maceración, además de los tiempos de descanso que se realizó durante la maceración escalonada. También se observa en la pantalla HMI los botones para iniciar la maceración, detener maceración y el botón de atrás.

4.6. Evaluación de la solución propuesta

4.6.1. Seguridad Eléctrica

4.6.1.1. Parámetros de seguridad eléctrica de la planta

A) Normativas Aplicables

- Cumplimiento con la normativa nacional de seguridad eléctrica, En Perú está regida por el Reglamento Nacional de Instalaciones Eléctricas (REGLIE) y se establece en el Código Nacional de Electricidad (CNE).

Este es un conjunto de normas que establece los requisitos mínimos para el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas eléctricos en el país.

B) Instalación de equipos

- Todos los equipos eléctricos están instalados cumpliendo con las normativas de seguridad.
- Se realizan inspecciones periódicas para garantizar la seguridad.

C) Protección contra sobrecargas y cortocircuitos

- Se instaló 2 interruptores diferenciales o también llamado disyuntores de la marca siemens el cual interrumpirá el flujo de corriente cuando detecta una falla o fuga en el circuito eléctrico. El primero protege el tablero eléctrico diseñado y el segundo está instalado para proteger los motores eléctricos.
- Se instalaron relés para protección de los puertos del controlador (PLC), debido a que los actuadores trabajan con altos valores de corriente.

D) Puesta a Tierra

- Los equipos eléctricos están conectados adecuadamente a tierra para prevenir riesgos de electrocución al personal y daños a equipos.

E) Equipos de protección personal (EPP)

- Se cuenta con equipos de protección para los trabajadores, como calzados dieléctricos, guantes de seguridad y gafas de seguridad.

F) Formación de personal

- Los trabajadores reciben información adecuada sobre los riesgos eléctricos a cuál esta expuestos y los procedimientos de seguridad.

4.6.1.2. Parámetros de seguridad en software

A) Paradas de emergencia

- Se cuenta con botón de emergencia que se activa interrumpiendo la alimentación eléctrica del tablero cuando se detecta una falla crítica.

- Mediante el software se configuró para que aparezca en la pantalla HMI un aviso donde se puede ver en qué estado se encuentra el motor de la bomba de recirculación.

B) Control de acceso

- Se configuró una contraseña de acceso para proteger el proyecto y evitar modificaciones no autorizadas en el software del PLC.

4.6.2. Evaluación de Análisis de confiabilidad

4.6.2.1. La confiabilidad

La confiabilidad se mide y se expresa generalmente mediante indicadores y parámetros, como el tiempo promedio entre fallas (MTBF) y el tiempo promedio de reparación (MTTR), que proporcionan una idea de la capacidad del activo para mantener su función básica sin interrupciones y su capacidad de recuperación ante fallas.

a) Componentes críticos

- Bomba de recirculación
- Motor de batidora
- Electroválvula
- Intercambiador de calor
- Fermentadores

b) Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF)

El MTBF, se obtiene dividiendo el tiempo total de operación entre la cantidad de veces que se detuvo debido a fallos.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Numero de paros por fallas}}$$

Para los cálculos se considerará la información de los últimos 8 meses de la planta de cerveza artesanal, considerando que se realiza 2 cocimientos por mes. consideramos el tiempo total de operación en horas para realizar los siguientes cálculos.

- **Bomba de recirculación**

$$MTBF_{BOMBA} = 112/1 = 112$$

- **Motor de batidora**

$$MTBF_{MOTOR} = 90/2 = 45$$

- **Electroválvula**

$$MTBF_{VÁLVULA} = 16/1 = 16$$

- **Intercambiador de calor**

$$MTBF_{INTERCAMBIADOR} = 32/1 = 32$$

- **Fermentadores**

$$MTBF_{FERMENTADOR} = 4608/2 = 2304$$

Teniendo el MTBF de los compontes críticos de la planta, calculamos la disponibilidad general de la planta, se calcula sumando todos los MTBF de los componentes críticos dividida entre el número de componentes.

$$MTBF_{GENERAL} = \frac{112 + 45 + 16 + 32 + 2304}{5} = 501.8 \text{ horas}$$

Interpretando el resultado del MTBF de la planta en general, quiere decir que cada 501.8 horas de operación la planta puede presentar fallas con los componentes críticos.

c) **Cálculo de tiempo medio de reparación (MTTR)**

El MTTR es un factor importante en la evaluación de la confiabilidad de un sistema o equipo. Afecta directamente la disponibilidad del equipo y, por lo tanto, su confiabilidad general de la planta.

El MTTR se obtiene al dividir el tiempo total utilizado en la reparación entre el número total de fallos del Sistema.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Numero de fallas del sistema}}$$

El tiempo total de reparación se va considerar en minutos para llevar a cabo los siguientes cálculos.

- **Bomba de recirculación**

$$MTBF_{BOMBA} = 120/1 = 120$$

- **Motor de batidora**

$$MTBF_{MOTOR} = 80/2 = 40$$

- **Electroválvula**

$$MTBF_{VÁLVULA} = 20/1 = 20$$

- **Intercambiador de calor**

$$MTBF_{INTERCAMBIADOR} = 30/1 = 30$$

- **fermentadores**

$$MTBF_{FERMENTADOR} = 45/2 = 22.5$$

Calculamos el MTTR general de para todo el conjunto de equipos considerando el tiempo total empleado en todas las reparaciones y el número total de fallos en un conjunto de equipos durante un periodo determinado. Este cálculo es similar al cálculo de MTTR para un componente individual, pero se considera todas las reparaciones y fallos en totalidad.

$$MTBF_{GENERAL} = \frac{295}{7} = 42.14 \text{ min}$$

Este cálculo proporciona el tiempo promedio que se tarda en reparar cualquier fallo en todo el sistema, es importante para evaluar el rendimiento general del mantenimiento y la eficiencia del proceso de reparación en el sistema en conjunto.

En resumen, según el análisis de confiabilidad desarrollado para la planta de cerveza artesanal “Artesano Beer”. El resultado del MTBF grande (501.8 horas) significa que los componentes de la planta tienen un tiempo prolongado entre fallos. Es decir, los equipos son confiables y que las fallas no ocurren con frecuencia, la alta confiabilidad en los componentes contribuye a una operación estable y menos interrupciones en la planta. Por otro lado, el MTTR pequeño (42.14 minutos) indica que el tiempo

requerido para reparar un componente después de una falla es corto. Es decir que el tiempo de inactividad debido a fallas se mantiene al mínimo. Entonces se concluye que la planta está en buenas condiciones para la operación, esto implica que los equipos tienen una alta confiabilidad, en caso que se presente alguna falla, se puede reparar rápidamente lo que minimiza el impacto en la producción y productividad de la planta.

4.6.3. Evaluación del desempeño

Para la evaluación del desempeño de la planta de maceración se consideró ponerlo a prueba en un entorno real de producción, es decir realizar maceración de malta para la obtención de mosto.

Para el funcionamiento de la planta de maceración se tuvo que utilizar un grupo electrógeno (Fig. 90), ya que de acuerdo con el cálculo de potencia realizado (Tabla VIII), se requiere de al menos 9kW (40.90 A) para la puesta en marcha. Dicha potencia no puede ser suministrada por la instalación domiciliaria donde se realizó la prueba de funcionamiento.

TABLA XIX.
CÁLCULO DE POTENCIA DE LA PLANTA PILOTO, POTENCIA POR COMPONENTE

Descripción	Potencia (W)
Bomba de recirculación	38.4
Motor Mezcladora	50.4
Motor lineal malta	3
Motor lineal malta ácida	3
Circuito Control (PLC, HMI, AI,AO, etc)	60
Resistencias de inmersión	8800
Electroválvula	44
	8998.8

Nota: Elaboración propia

El grupo electrógeno utilizado es un Hyundai con una potencia nominal de 12kW, el cual se muestra en la fig. 90.



Fig. 90. Grupo electrógeno para funcionamiento de planta piloto

Nota: Elaboración propia

Previo a la puesta en marcha, se realizó la desinfección del equipo para luego comenzar con la preparación de insumos para la maceración, es decir molienda de las maltas (Fig. 91). La receta corresponde una Belgian Blonde Ale (Anexo 2).



Fig. 91. Molienda de malta

Nota: Elaboración propia

En seguida se procedió a dar puesta en marcha de la planta de maceración, en la fig. 92, se muestra cuando el agua comienza a calentar.



Fig. 92. Calentamiento de agua para maceración

Nota: Elaboración propia

Con el agua a la temperatura de acuerdo a la receta, se libera la malta en la olla secundaria para comenzar con la extracción de azúcares (Fig. 93).



Fig. 93. Inicio de extracción de azúcares

Nota: Elaboración propia

Se valida la temperatura que se muestra en el HMI mediante el uso de un pirómetro (Fig. 94).



Fig. 94. Validación de lecturas de temperatura

Nota: Elaboración propia

En la fig. 95, se muestra la prueba de yodo al mosto realizada al finalizar los tres escalones de temperatura, el cual no cambia de color, indicando de esta manera que la conversión de azúcares se realizó de manera exitosa y la maceración se puede dar por terminada para pasar a la etapa de cocción, cumpliéndose de esta manera el objetivo de la planta de maceración.



Fig. 95. Prueba de yodo inicial al mosto

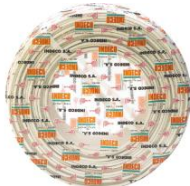
Nota: Elaboración propia

4.6.4. *Evaluación económica*

La capacidad de producción de la planta de maceración implementada es de 100 litros por cocinada. Para dicha implementación se requirió la suma ascendente a S/. 1,860.43 correspondiente a instrumentación (Tabla IX) y S/. 11,261.74 para el armado del tablero eléctrico (Tabla X), siendo en total de S/. 13122.17. Esta inversión representa solo el gasto en el diseño eléctrico, como se vio en las tablas, además tiene la característica de ser un sistema escalable, pudiéndose implementar más etapas con el mismo controlador adquiriendo únicamente sensores y actuadores, incluso pudiendo implementarse como un kit en otros maceradores de mayor capacidad de producción.

TABLA XX.
 TABLA DE INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA PILOTO, REPRESENTACIÓN GRÁFICA POR MARCA,
 COSTOS EN SOLES

Descripción	Marca	Referencia	Cant.	Unidad	Precio Tot.
Tablero eléctrico 40x60cm	Schneider Electric		1	Unidad	S/ 595.19
RTD PT100 Inox 316	OOTDTY		2	Unidad	S/ 80.00
Bomba para recirculación 24V	Noritsu Koki		1	Unidad	S/ 460.00
Motor para mezclador 12V	Generico		1	Unidad	S/ 30.00
Actuador lineal p/ malta 30mm/s	HK Wallstech		1	Unidad	S/ 71.26
Actuador lineal p/ malta acida 5mm/s	HK Wallstech		1	Unidad	S/ 76.16
Cable 18AWG - cableado de tablero	Indeco		50	Metro	S/ 41.89

Cable 14AWG - Cableado	Indeco		50	Metro	S/ 85.50
Cable 10awg - alimentación resistencias	Indeco		5	Metro	S/ 22.45
Cable vulvanizado 2P+T - toma principal	Indeco		3	Metro	S/ 36.00
Resistencia de inmersión 220VAC 4.5KW	AIICIOO		2	Unidad	S/ 280.78
Electroválvula 220VAC	ACARPS		1	Unidad	S/ 62.20
Botones Start/Stop 24V + marcador	Stronger		2	Unidad	S/ 19.00
Total					S/ 1,860.43

Nota: Elaboración propia

TABLA XXI.
 TABLA DE COMPONENTES DE TABLERO ELÉCTRICO, REPRESENTACIÓN GRÁFICA POR MARCA,
 COSTO EN SOLES

Descripción	Marca	Referencia	Cant.	Medida	Precio Total
PLC S7-1200 1214C DC/DC/DC	Siemens		1	Unidad	S/ 2,974.03
Modulo RTD AIx4 SM1213	Siemens		1	Unidad	S/ 1,906.01
HMI Basic Panel KTP400 Touch	Siemens		1	Unidad	S/ 4,126.38
Power Supply 220VAC/24VDC 2.5A LOGO! Power	Siemens		1	Unidad	S/ 863.10
Bornera de conexión 4mm ²	Schneider Electric		50	Unidad	S/ 172.00
Numeración para bornera 1 al 50 4mm ²	Schneider Electric		1	Unidad	S/ 14.79
Puente para borne 10P 4mm ²	Schneider Electric		5	Unidad	S/ 95.70

Transformador 220/24V 5A	Genérico		1	Unidad	S/ 100.00
Transformador 220/12V 8A	Genérico		1	Unidad	S/ 180.00
Rectificador AC/DC KBPC5010	Usongshine		2	Unidad	S/ 16.00
Condensador	Genérico		2	Unidad	S/ 3.50
Termomagnético 2P 63A	Schneider Electric		1	Unidad	S/ 70.08
Diferencial 2P 63A/30mA	CHNT		1	Unidad	S/ 44.97
Termomagnético 1P 6A	Schneider Electric		2	Unidad	S/ 69.91
Termomagnético 1P 10A	CHNT		1	Unidad	S/ 16.00

Base p/Relé 8 pines + Rele DPDT 8A/24V	Siemens		3	Unidad	S/ 100.28
Base p/Relé 5 pines + Rele SPDT 8A/24V	RELECO		1	Unidad	S/ 18.00
Set Phmetro 0-10V (Transmisor 24V+Sonda pH+Sonda Temperatura)	FGHGF		1	Unidad	S/ 307.91
Solid State Relay 60A/3V- 24V	Fotek		1	Unidad	S/ 30.00
Termocontraible Rotulado de cables 5mm	Genérico		4	metro	S/ 3.20
Riel DIN	Genérico		2	Metro	S/ 58.67
Canaleta Ranurada	Genérico		2	Metro	S/ 37.50
Prensaestopas	Genérico		4	Unidad	S/ 37.32

Conduit Flexible Corrugado	Genérico		5	Metro	S/ 8.40
Set Stovebolt para fijaciones (Tuerca+Tornillo+volanda s)	Genérico		20	Unidad	S/ 8.00
Total					S/ 11,261.74

Nota: Elaboración propia



CONCLUSIONES

- A. Se diseñó e implementó una planta de maceración con un dispensador de maltas y un agitador de alabes, todo automatizado y controlado por un PLC S7-1200 de la marca Siemens, con el diseño mecánico y eléctrico respectivo, como son los planos, diagrama PFD y diagrama P&ID.
- B. Se definió el proceso de maceración según las especificaciones propuestas por la empresa Artesano Beer, según esto se determinó los equipos de instrumentación como sensores y actuadores, además del controlador requerido, finalmente se realizó la evaluación de desempeño en un entorno real de producción.
- C. Se realizó el estudio del agua potable de la ciudad de Arequipa para determinar la viabilidad de la elaboración de una receta, siendo la cerveza Belgian Blonde Ale la que se elaboró en la planta piloto de maceración ya que, por el perfil de agua identificado, no es necesario un tratamiento de agua previo a su producción.
- D. Se diseñó e implementó el control de temperatura PID de la planta piloto de maceración basado en la curva de respuesta al escalón, el cual fue registrado por un e implementado en el PLC.
- E. Se desarrolló e implementó el control de pH en la planta piloto de maceración basado en un modelo experimental que activa el actuador del lazo de pH en un determinado tiempo teniendo como dato el paso de la malta ácida. Este control es necesario al inicio de la maceración.
- F. Se desarrolló interfaces HMI de operación y monitoreo de pH y temperatura en el HMI de acuerdo con los requerimientos de la elaboración de cerveza artesanal que facilitan la operación de la planta de maceración.
- G. Finalmente se realizó la validación de un macerado exitoso con la prueba de yodo, la cual no mostró reacción al exponerla con mosto al final del tercer escalón de temperatura, de esta manera puede pasar a la siguiente etapa, es decir cocción.

RECOMENDACIONES

- A. Se aconseja adquirir equipamiento necesario para automatizar más etapas de la elaboración de cerveza, ya que el controlador instalado puede cubrirlo perfectamente añadiendo únicamente más instrumentos y de ser necesario, módulos remotos de E/S.
- B. Se sugiere registrar parámetros como tiempos de cada escalón de temperatura para tener la data exacta, de esta manera se puede automatizar de una manera más efectiva la etapa de maceración.
- C. Se recomienda instalar un aislante térmico al macerador para disminuir las pérdidas de temperatura al ambiente, de esta manera aumentar la eficiencia energética de la planta piloto de maceración.
- D. Al tener el diseño eléctrico y de instrumentación, se tiene el potencial de poder instalarlo en otras cervecerías artesanales, únicamente realizando modificaciones menores al equipamiento con el que cuentan, de esta manera convertirlo en un sistema profesional.
- E. Debido a que en una instalación eléctrica domiciliaria puede soportar consumos de hasta 30 amperios por temas de termomagnético y/o calibre de cable, se recomienda realizar una instalación nueva e independiente con el requerimiento necesario para evitar la logística necesaria de alquilar un grupo electrógeno.

REFERENCIAS

- [1] W. Valdivia, «Relación entre la publicidad y el consumo de cerveza artesanal en la ciudad de Arequipa 2020,» 2021. [En línea]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/13264>. [Último acceso: 08 Marzo 2022].
- [2] J. Zegarra, «Diseño mecánico y simulación de control de temperatura de un fermentador de Cerveza Artesanal,» 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3504>. [Último acceso: 08 Marzo 2022].
- [3] M. V. Lujan, «Control automático con lógica difusa de la producción de cerveza artesanal en las etapas de maceración y cocción,» 2010.
- [4] D. R. D. Jara, «Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas,» 2016. [En línea]. Available: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/620858>. [Último acceso: 09 Marzo 2022].
- [5] Mejia, Diseño de una microplanta para la elaboración de cerveza artesanal a partir de malta. [Trabajo de fin de grado], España: Universidad politécnica de Valencia.
- [6] R. R. H. Calignon, «Automatización de proceso para elaboración de cerveza artesanal [Tesis de grado],» 2018.
- [7] E. Flores, «Control basado en PLC y monitoreo mediante HMI de la temperatura en el proceso de maceración y cocción en la elaboración de cerveza artesanal. [Artículo científico],» 2021.
- [8] Ministerio de cultura de Argentina, «Historia de la cerveza,» 2019. [En línea]. Available: https://www.cultura.gob.ar/cronologia-de-la-cerveza_7973/. [Último acceso: 10 marzo 2022].
- [9] Cerveza Montseny, «Las 7 diferencias entre la cerveza artesana y la industrial,» 2015. [En línea]. Available: <https://cervesamontseny.cat/es/las-7-diferencias-entre-la-cerveza-artesana-y-la-industrial/>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [10] M. Vera, «Desarrollo y formulación de cervezas artesanales,» 2017. [En línea].

Available:

https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/DESARROLLO_Y_FORMULACION_DE_CERVEZAS_ARTESANALES.pdf. [Último acceso: 10 Marzo 2022].

- [11] Maltas Cerveceros, «La cerveza artesana desde interior,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.maltascerveceros.com/el-malteado/>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [12] LevaBeer, «Proceso de molienda de malta para la cerveza artesanal,» 2020. [En línea]. Available: <https://levabeer.com/proceso-de-molienda-de-malta-para-cerveza-artesanal/>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [13] Cervezomicon, «Las cuatro palancas del macerado,» 2017. [En línea]. Available: <https://cervezomicon.com/tag/amilasas/>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [14] Tres J Beer Blub, «Enfriamiento del mosto-proceso cervecero,» 2019. [En línea]. Available: <https://tresjotasbeerclub.com/enfriamiento-del-mosto/>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [15] LevaBeer, «La fermentación en la cerveza,» 2019. [En línea]. Available: <https://levabeer.com/la-fermentacion-en-la-cerveza/>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [16] G. &. Iturralde, Fundamentos basicos de instrumentacion y control, Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2017, pp. 43-78.
- [17] Julio Martinez Naya S.A., «Resistencias Kanthal para hornos industriales,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.juliomartineznaya.com/calentadores-de-inmersion-portatiles-con-mango/>.
- [18] Hn Tools, «¿Qué es la válvula solenoide?,» 2022. [En línea]. Available: <https://hntools.es/valvula-solenoide/>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [19] Paratronic, «Sensor de temperatura Pt-100,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.paratronic.com/es/produit/capteur-de-temperature-pt100-10#:~:text=Las%20sondas%20PT100%20son%20sensores,PT100\)%20suministrado%20con%20el%20pr](https://www.paratronic.com/es/produit/capteur-de-temperature-pt100-10#:~:text=Las%20sondas%20PT100%20son%20sensores,PT100)%20suministrado%20con%20el%20pr.). [Último acceso: 10 Marzo 2022].
- [20] Eicos, «¿Qué es un sensor de nivel?,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.eicos.com/datos-tecnicos/que-es-un-sensor-de-nivel/>. [Último acceso: 10 Marzo 2022].

- [21] H. Martinez, Modulo didáctico para prácticas de laboratorio con controladores lógicos programables, Mexico: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2015.
- [22] Inductive Automation, « What is HMI?,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi#:~:text=HMI%20Defined,context%20of%20an%20industrial%20process..> [Último acceso: 11 Marzo 2022].
- [23] G. & T. H. Pardo, «Protocolos de comunicación industrial,» 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1874/Informe%20de%20seminario.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 2022 Marzo 2022].
- [24] K. Ogata, Ingeniería de control moderna 3ra Edición, 1997.
- [25] A. & Buitrago, Servidor web embebido en una FPGA con codiseño como metodología de diseño, Bogotá- Colombia: Universidad Sergio Arboledado , 2010.
- [26] R. & Romero, «Tutorial norma ISA S5.1 y diagramas P&ID,» 2011. [En línea]. Available: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062398.pdf>. [Último acceso: 11 Marzo 2022].
- [27] E. & R. T. Vázquez, pH: Teoría y 232 problemas, Ciudad de México, México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2016.
- [28] Univeridad de la Costa, Guía de Laboratorio de Automatización – Controladores PID, Universidad de la Costa, 2015.
- [29] Cervezal, «Cerveza: empaste de la Maceración,» 2018. [En línea]. Available: <https://cervezal.blogspot.com/2018/03/cerveza-empaste-de-la-maceracion.html>. [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [30] J. & A. Ramírez, «Enzimas: ¿Qué son y cómo funcionan?,» Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2014. [En línea]. Available: <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num12/art91/art91.pdf>. [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [31] W. Kunze, Tecnología para cerveceros y maleteros 1ra edición, 2006.
- [32] Química, «Enciclopedia – Maltosa,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Maltosa.html>. [Último acceso: 26 Abril 2022].

- [33] Cocinista, «Malta Acida,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.cocinista.es/web/es/enciclopedia-cocinista/maltas-y-lupulos/malta-acida.html>. [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [34] Kross, « Cerveza IPA: Significado, origen y su boom artesanal,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.kross.cl/blog/post/cerveza-ipa>. [Último acceso: 11 Marzo 2022].
- [35] Ambica Steels, «Stainless Steel Uses in Food Industry,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ambicasteels.com/blog/stainless-steel-in-food-industry/>.
- [36] A. &. Buitrago, «Servidor web embebido en una FPGA con codiseño como metodología de diseño,» 2019.
- [37] Antonio C. «Instrumentación Industrial» 2019, 8va edición. [En línea]. Available: <https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/Instrumentacion%20industrial.pdf>



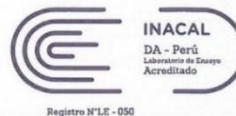
ANEXOS

Anexo 1. Informe de estudio fisicoquímico de agua



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : E510D198

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00166

Fecha de emisión: 20/05/2022

Página 1 de 3

Señores : FOCUS ON SUCCESS S.R.L.
Dirección : MZA. G LOTE. 16 URB. BANCO DE LA NACION AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA
Atención : FOCUS ON SUCCESS S.R.L.
Proyecto : ESTUDIO FISICOQUÍMICO DE AGUA POTABLE PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : ADALID JONATHAN SALINAS NAJAR
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 110-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 12/05/2022
Fecha de ensayo : 12/05/2022

Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000302	AGUA POTABLE	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	LOS ANGELES DE CAYMA / CAYMA / AREQUIPA / AREQUIPA	-16.378899, -71.551866	12/05/2022	13:35

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*Valor numérico"=Límite de detección del método, "=<Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : E510D198

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00166

Fecha de emisión: 20/05/2022

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*814	*818	*823	802							
		HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	Cl ⁻	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG22000302	AGUA POTABLE	41,9	b<0,80	30,2	b<0,0024	b<0,029	0,2689	0,00243	b<0,000079	15,032	b<0,00011	b<0,000094

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802										
		Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG22000302	AGUA POTABLE	b<0,00039	b<0,002	b<0,016	3,734	0,01951	5,1509	b<0,0003	b<0,00038	23,922	b<0,00051	0,0340

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802								848
		Sb	Se	SiO ₂	Sn	Sr	Ti	Ti	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG22000302	AGUA POTABLE	b<0,00049	b<0,002	20,1024	b<0,00085	0,1792	b<0,00068	b<0,0013	0,00169	b<0,0031

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(") Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico"=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : E510D198

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00166

Fecha de emisión: 20/05/2022

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
814	Método de Ensayo para bicarbonatos por micro titulación en agua	[1 - 1000] mg/L
818	Método de Ensayo para carbonatos por micro titulación en agua	[1 - 1000] mg/L
823	Cloruros. SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-Cl. Part C 23rd Ed. CHLORIDE. Mercuric Nitrate Method	[0.82 - 1000] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L
848	Ensayo de Sulfatos en agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-SO ₄ (²⁻) Part. E, 23rd Ed. Sulfate. Turbidimetric Method (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[10 - 4000] mg/L

a : Límite detección

b : Límite de cuantificación

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 2. Receta de elaboración cerveza tipo ale

Ficha Técnica

BREWERY	LEO				FECHA:	
CERVEZA TIPO	ALE		ESTILO	Belgian Blonde		
VOL. D CO2	2.5		CANTIDAD	100 LTS		
COLOR	9 EBC	SRM	AMARGOR	27	IBU	
OG	1.056 @ 14 ° PLATO		FG	@ ° PLATO		
ALCOHOL	6 % A/P					

AGUA	L.I.M.	LECTURA MEDIDOR	LITROS	PERDIDA
	EMPASTE 1 A 3		82	LTS.
	H2O A 78 °C			LTS.
	ENFRIADO			LTS.

GRANOS	1.- Pilsa Dia	:	17.06	KG.	75	%
	2.- Vienna	:	5.68	KG.	25	%
	3.-	:		KG.		%
	4.-	:		KG.		%
	5.-	:		KG.		%

MASH	SIMPLE	ESCALONADA X					GMS/L EXTRACTO 14.78 KG EXTRACTO TOTAL % RENDIMIENTO
	T °C	T °	MIN	AM	HORA	PM	
		75 °C	0	DE	:	A :	
	MIN	63 °C	60	DE	15 :00 A 16 :25		
		70 °C	20	DE	16 :26 A 16 :56		
	HORA	78 °C	5	DE	17 :25 A 21 :00		
	DE	°C		DE	:	A :	
	A	°C		DE	:	A :	

HERVOR	90 MIN	T ° HERVOR °C	DRY HOPPING	LITROS
1 TSP IRISH MOOS 15 SI - NO CANTIDAD GMS				

LUPULADO	GRAMOS	MIN	90	75	60	45	30	15	5
		GMS		100gr 17gms				60gr 10gms	

LA WORT ANTES DE HERVIR.	9 % DE LA WORT + Q. EL T.		TIEMPO DE PRODUCCIÓN		
	LTS. M. FRIO		PROCESO		HORAS
	LTS. HERVIDO		CALENTADO DE H2O		:
	LTS. EMPASTE		MACERADO		:
			FILTRADO CON GRANO		:
LEVADURA	GRAMOS MLL H2O AT. AP. AT. RE.	PROCESO		HORAS	TOTAL
		HERVIDO		:	TOTAL HOR :
		WILLPOOL		:	
		ENERIADO		:	
		F. PRIMARIA		:	
		MADURADO		:	TOTAL DIA
		FILTRADO		:	
		CARB. EMB.		:	

ALE 533

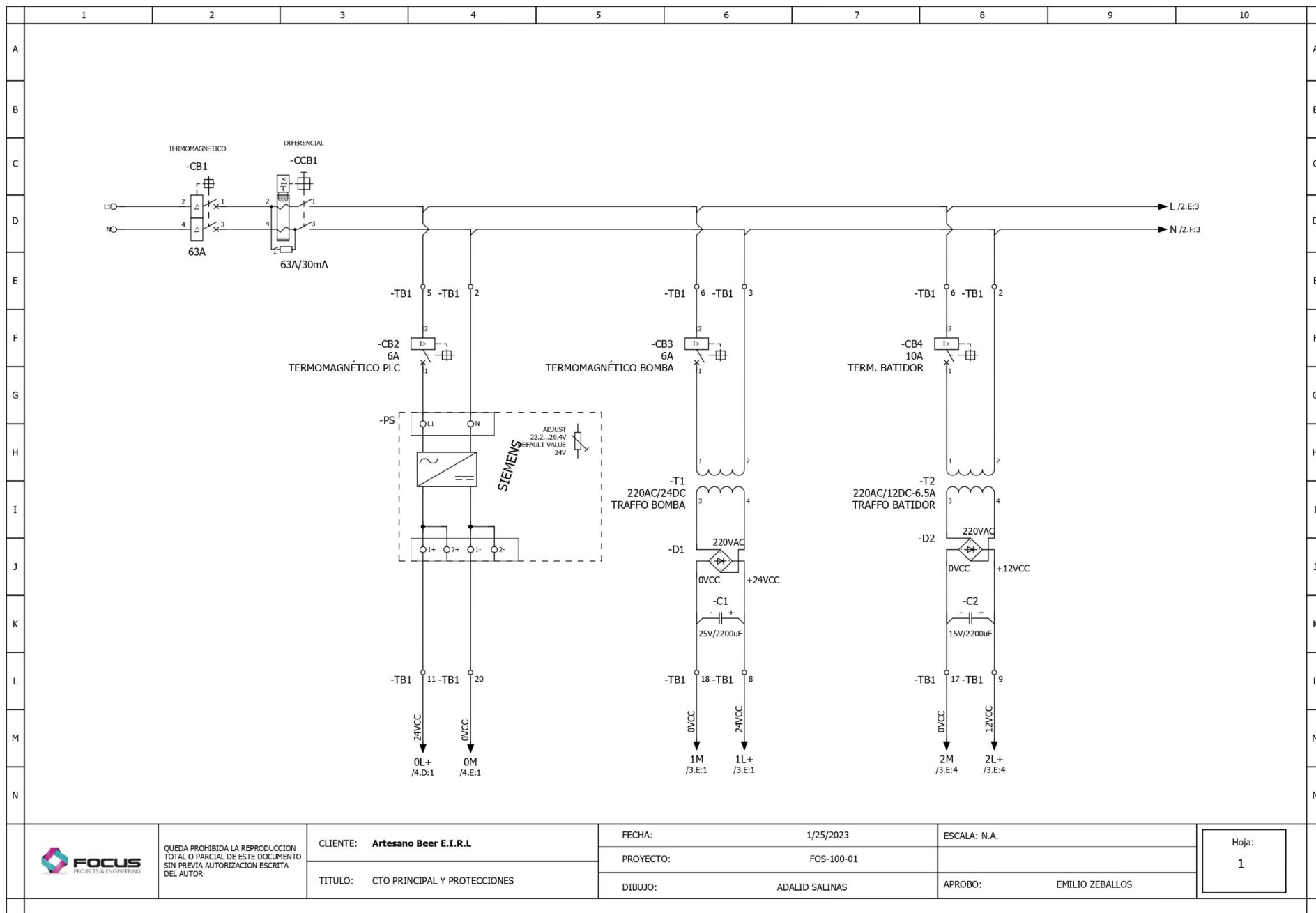
Anexo 3. Especificaciones técnicas de la planta

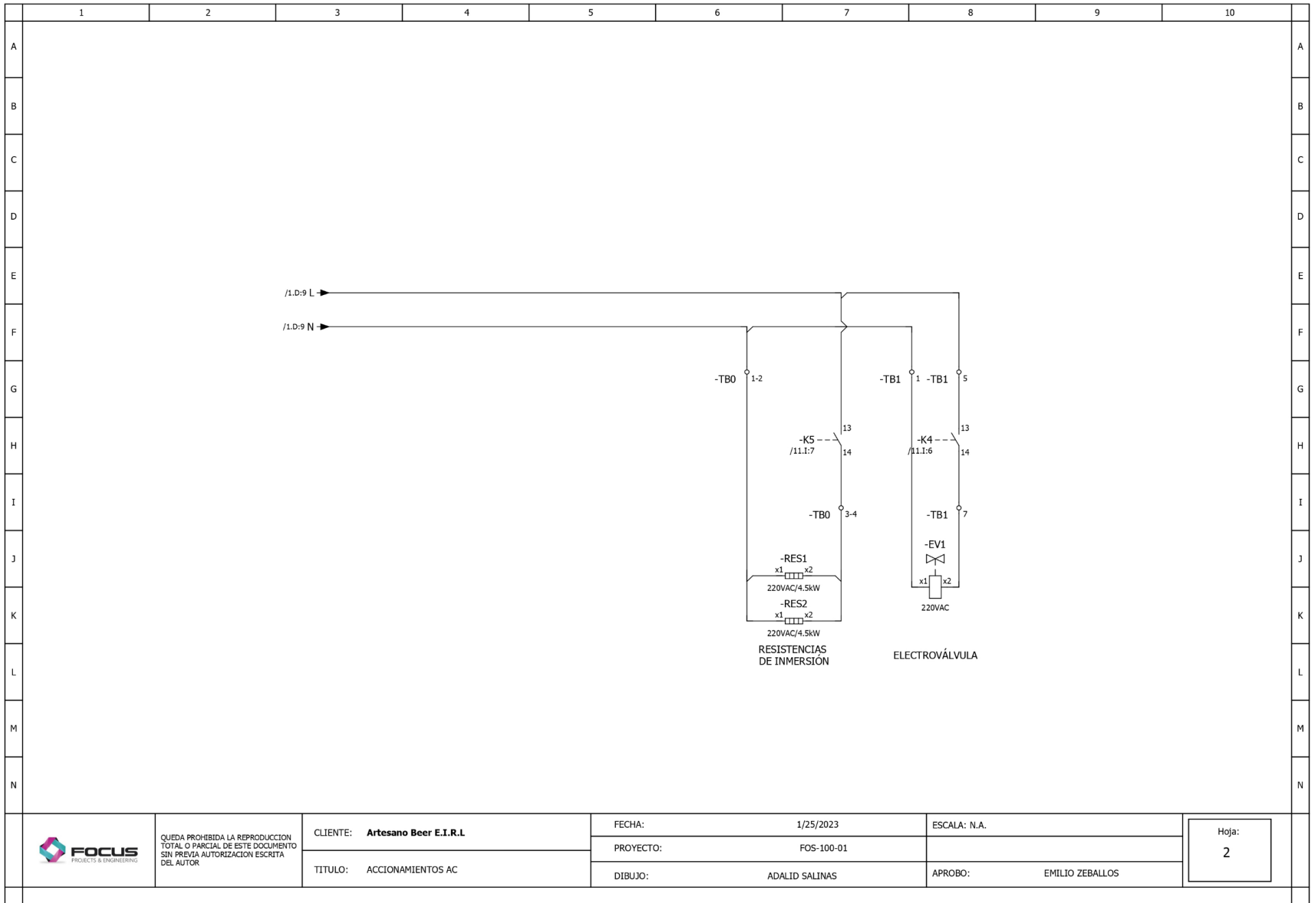
Estas especificaciones son fundamentales para asegurar un funcionamiento óptimo de la planta.

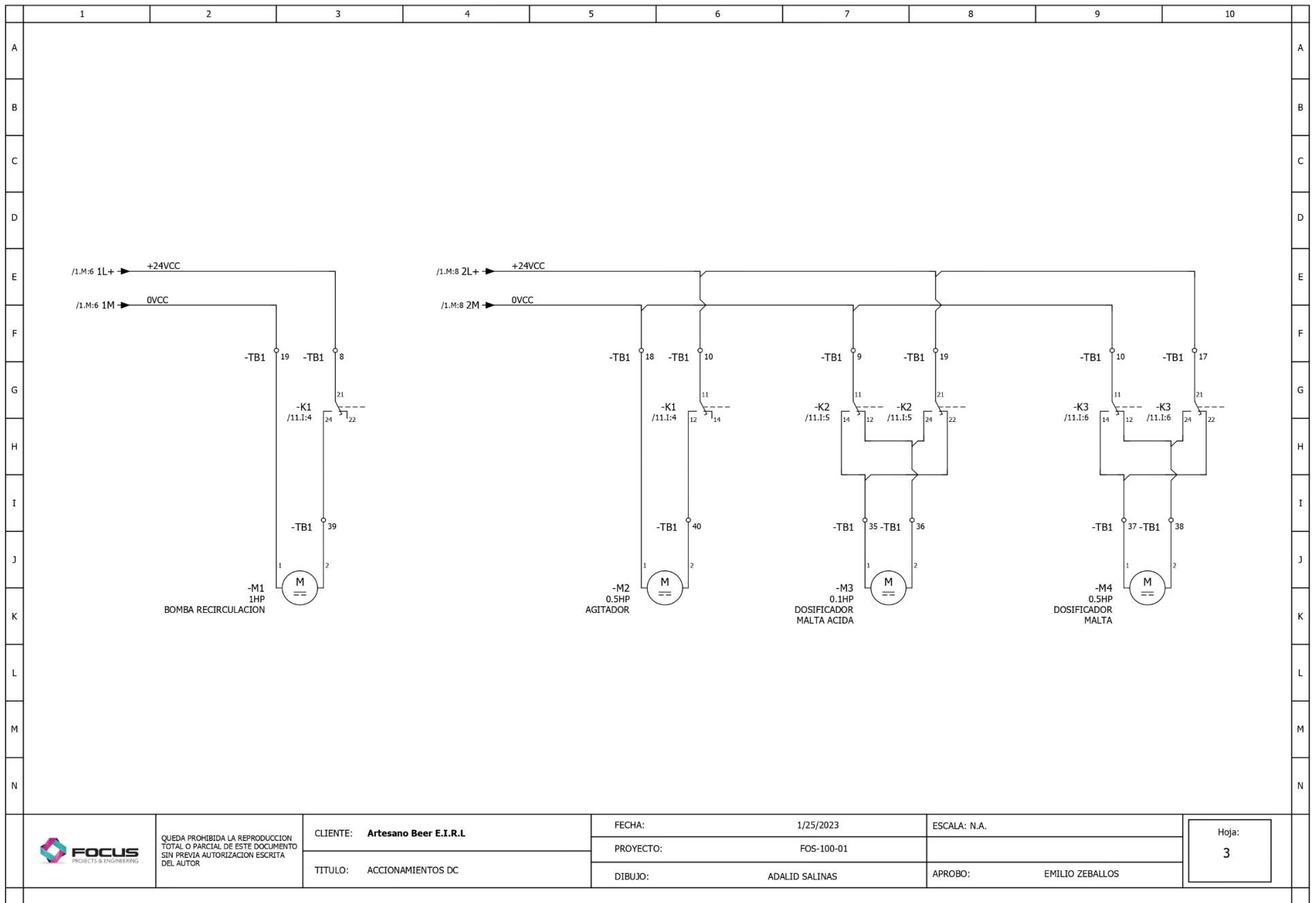
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
SUMINISTRO ELÉCTRICO	
Voltaje	220 VAC
Frecuencia	60 Hz
Tipo de conexión	Monofásica
CAPACIDAD DE CARGA ELÉCTRICA	
Potencia Máx	13.2 kW
Corriente Máx	60 A
EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	
Transformador 1	220/24V 5A
Transformador 2	220/12V 8A
Relé	60A/ 3V-24V
3 Relés Siemens	8A/24V
Interruptor Termomagnético	2P 63A
Interruptor Termomagnético	1P 6A
Interruptor Termomagnético	1P 10A
Interruptor Diferencial	2P 63A/30mA
LOGO! Power siemens	220VAC/24VDC 2.5A
Bomba de recirculación	24VDC/8A
Motor mezclador	12VDC/10A
RANGOS DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS	
TEMPERATURA	0 -100 °C (0 °C - 93 °C)
PH Metro	0 -14 (5.5)

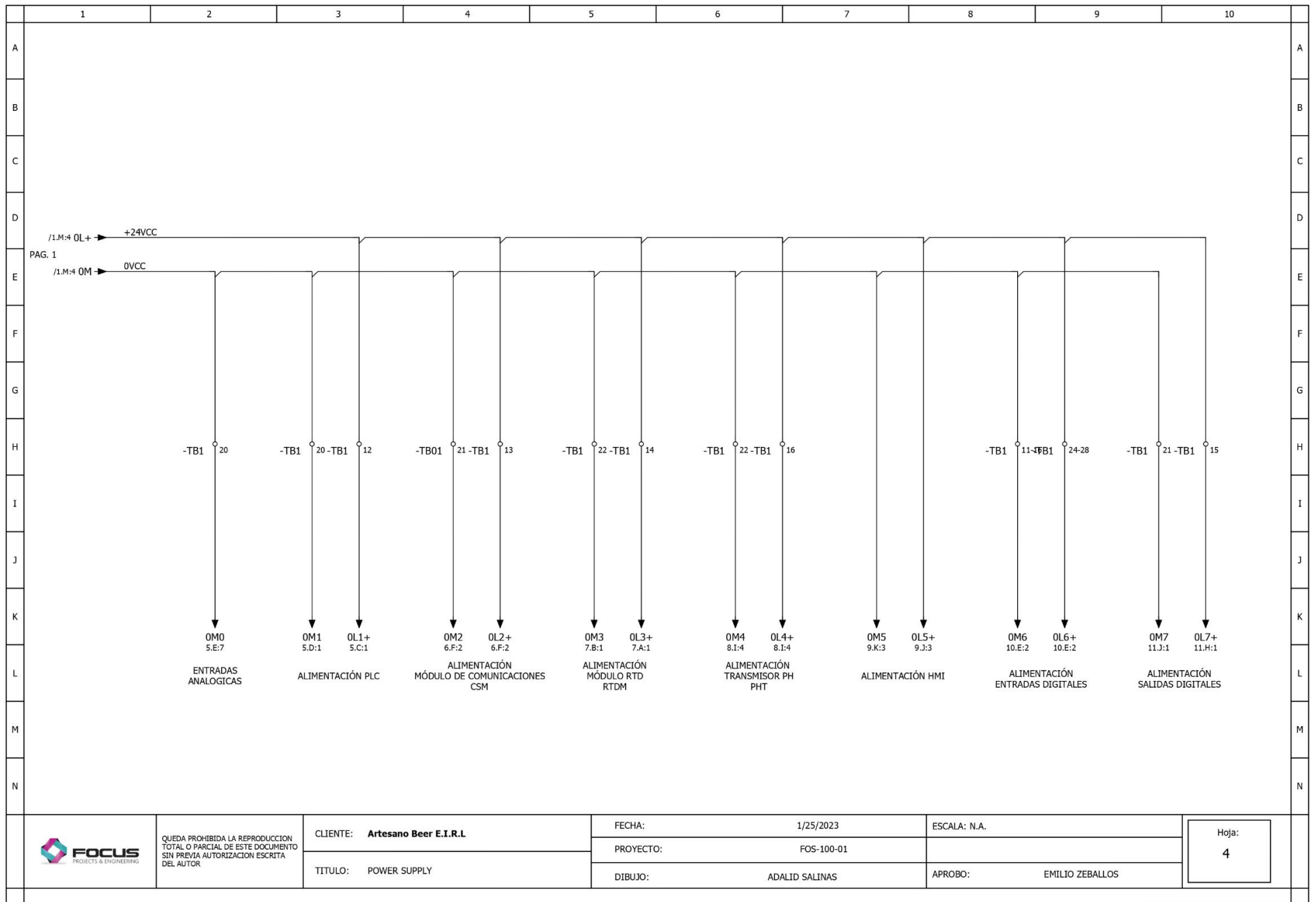
Anexo 4. Esquema eléctrico de la planta piloto de maceración

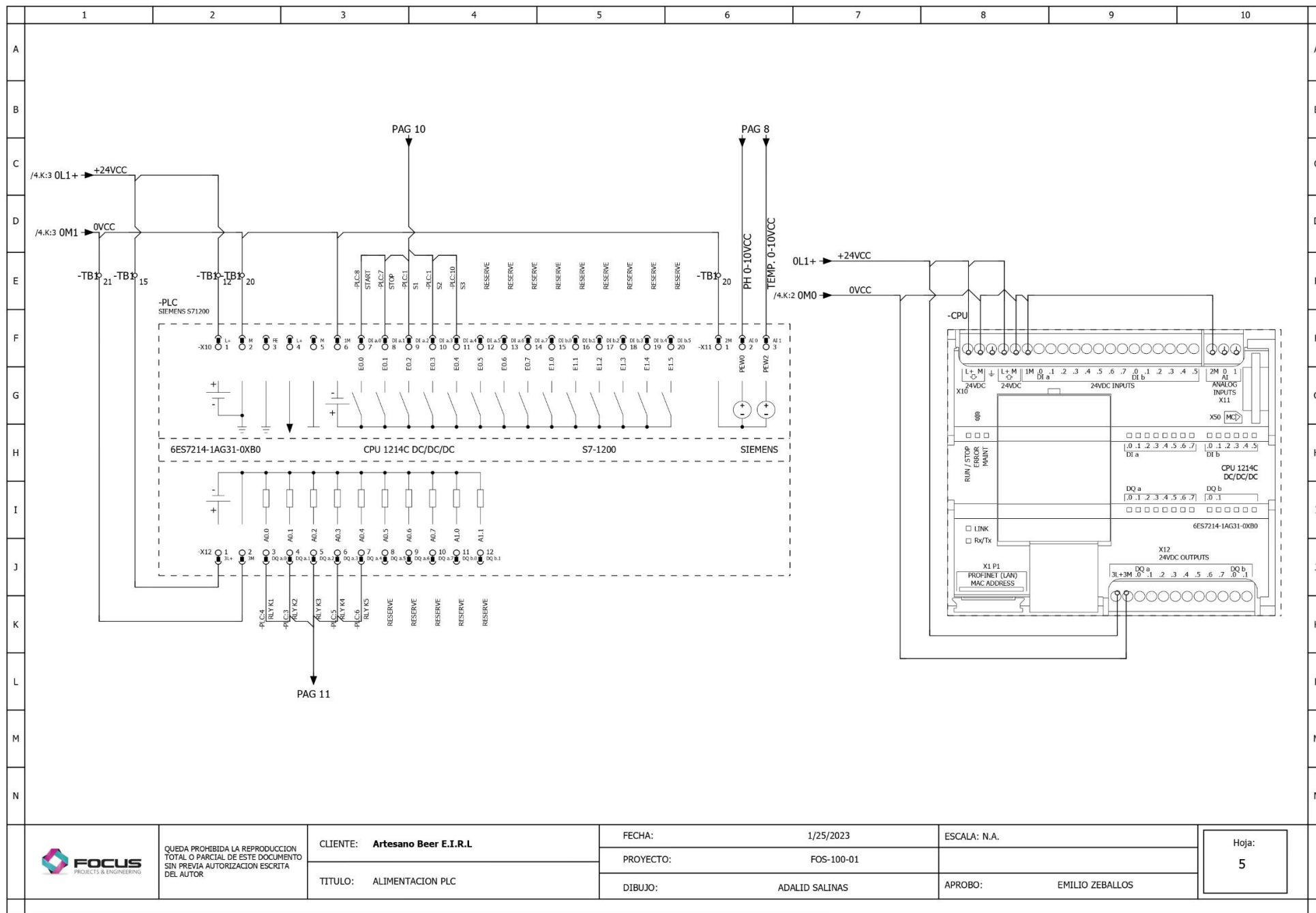
					
Empresa/cliente		Artesano Beer			
Descripción de proyecto		Planta de macerado - Cerveza Artesanal			
Número de diseño		IEC_tpl001			
Fabricante (empresa)		Artesano Beer E.I.R.L			
Circuito		Control y Fuerza			
Producto		Cerveza Artesanal			
Lugar de instalación		+ET1			
Responsable del proyecto					
Creado		12/27/2022			
Modificado		1/25/2023		Número de páginas 14	
		CLIENTE: Artesano Beer E.I.R.L		FECHA: 1/17/2023	
QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN PREVIA AUTORIZACION ESCRITA DEL AUTOR		TITULO: PORTADA		PROYECTO: FOS-100-01	
				DIBUJO: ADALID SALINAS	
				ESCALA: N.A.	
				APROBO: EMILIO ZEBALLOS	
				Hoja: 0	

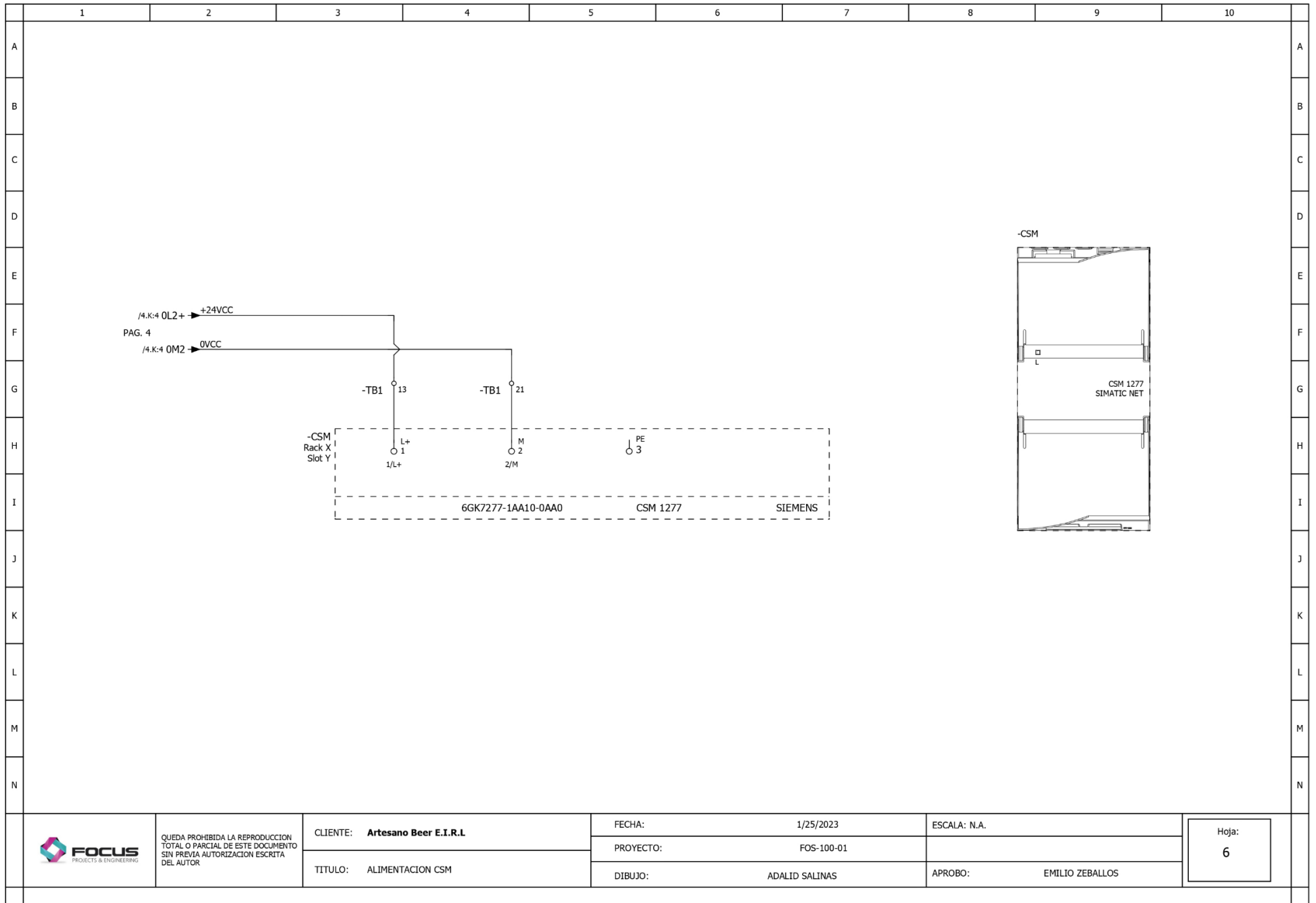


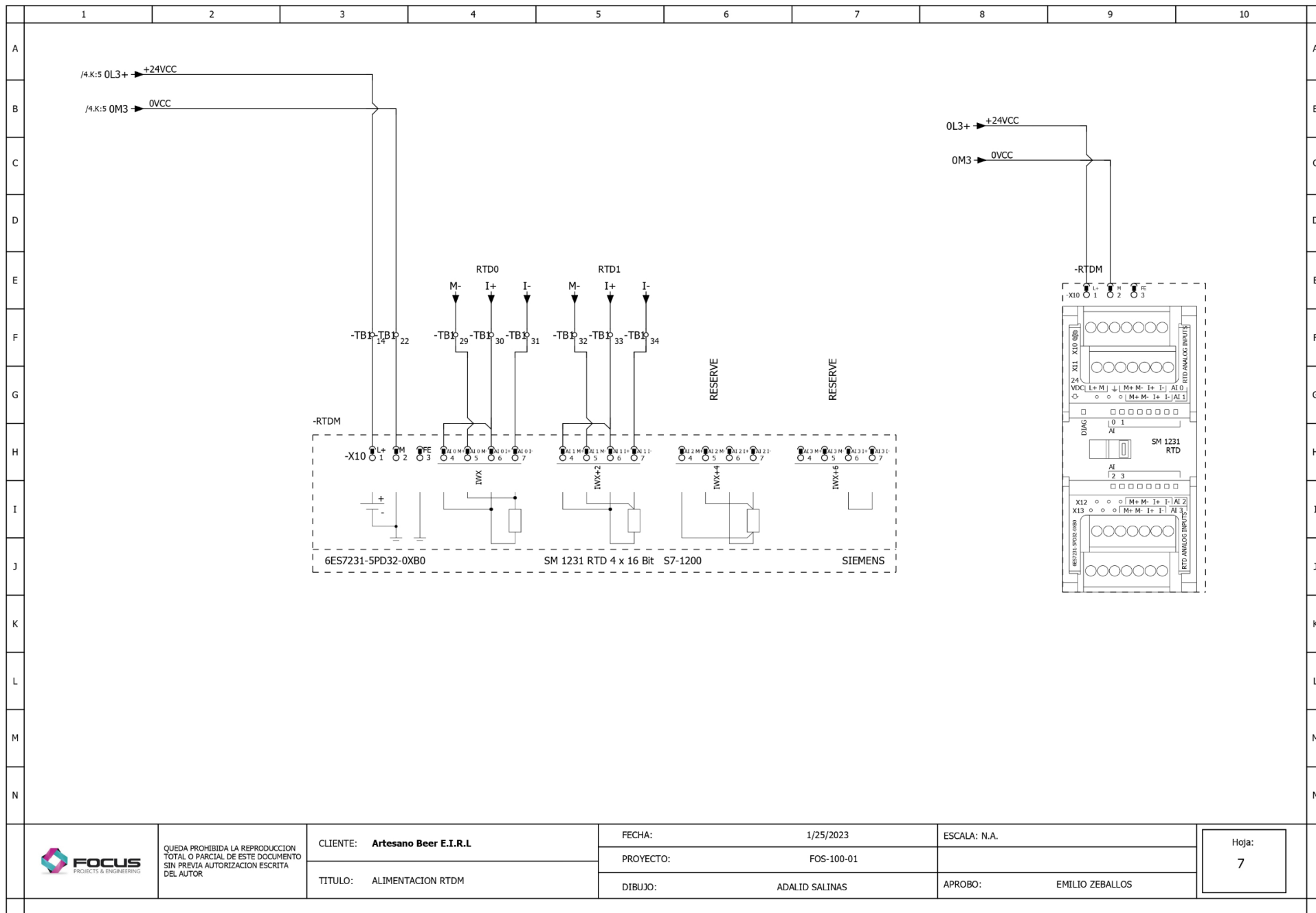


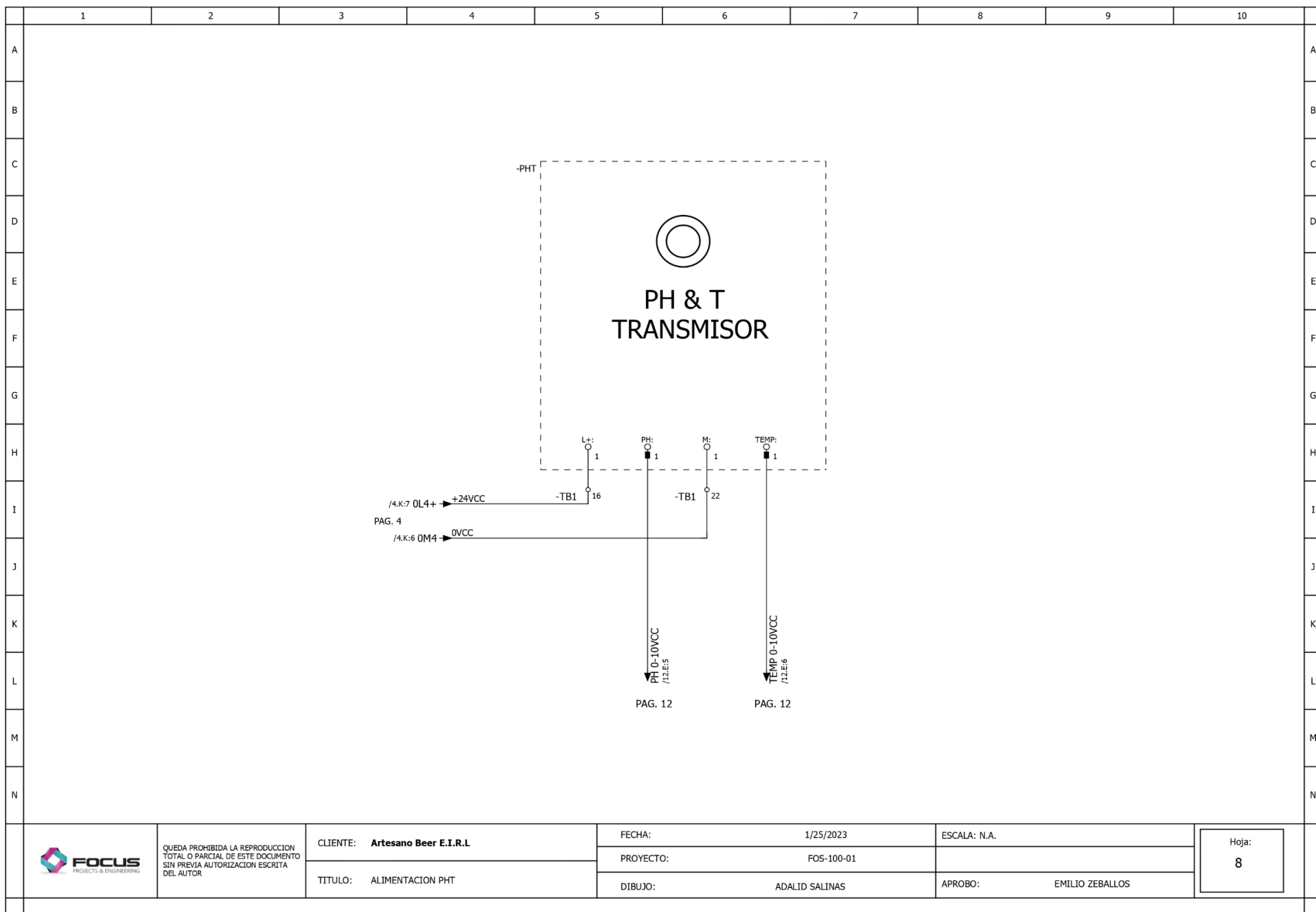


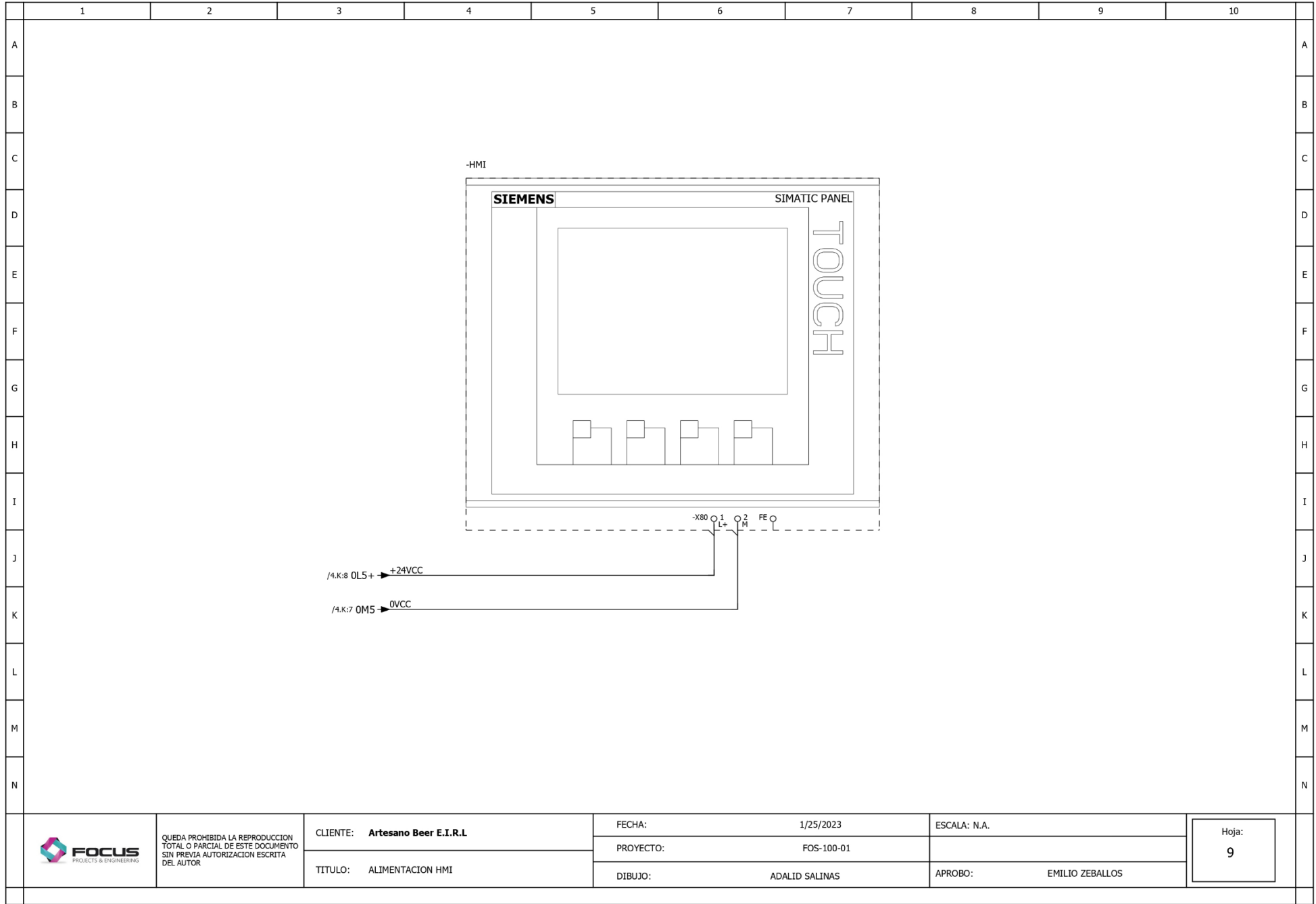


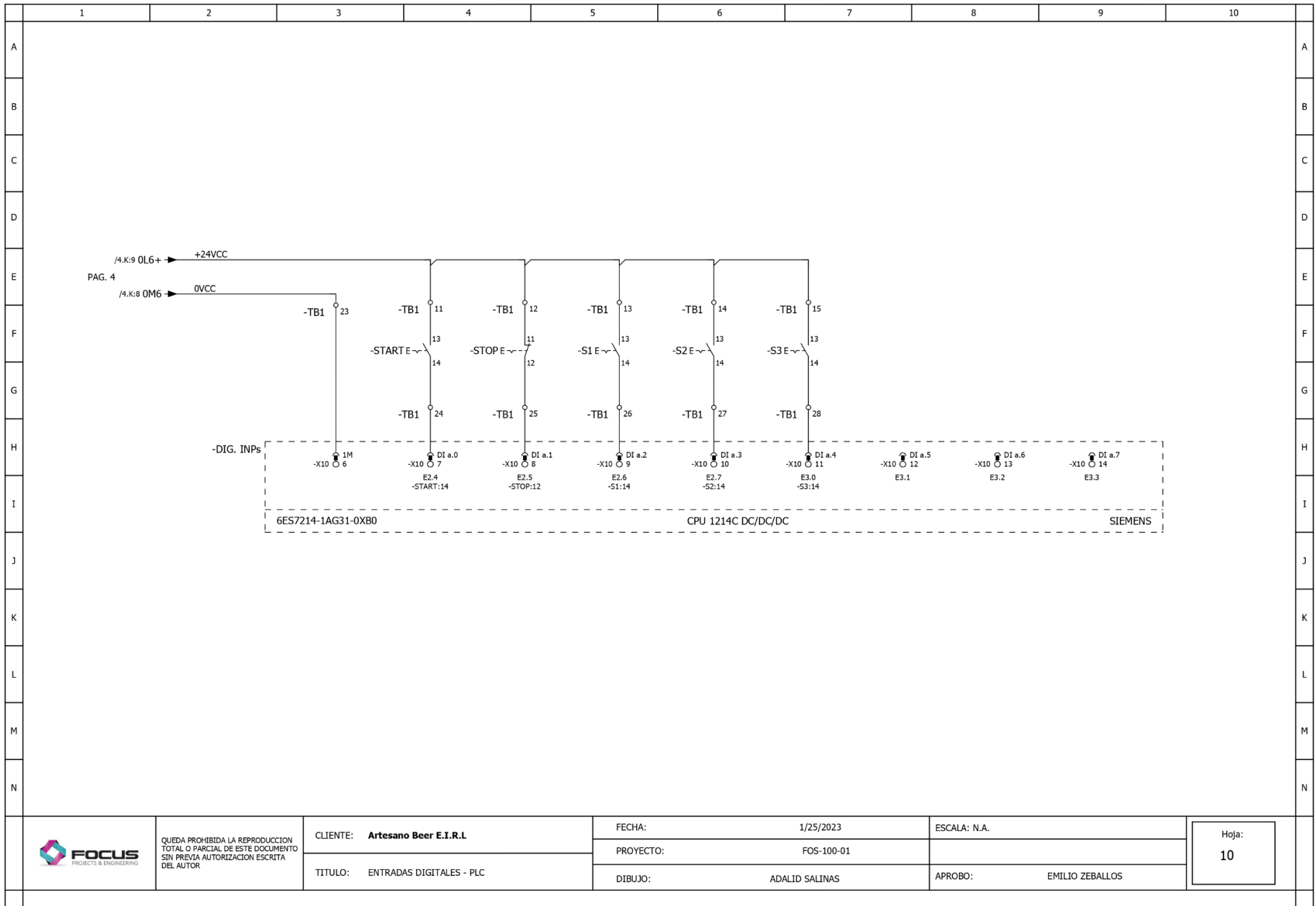


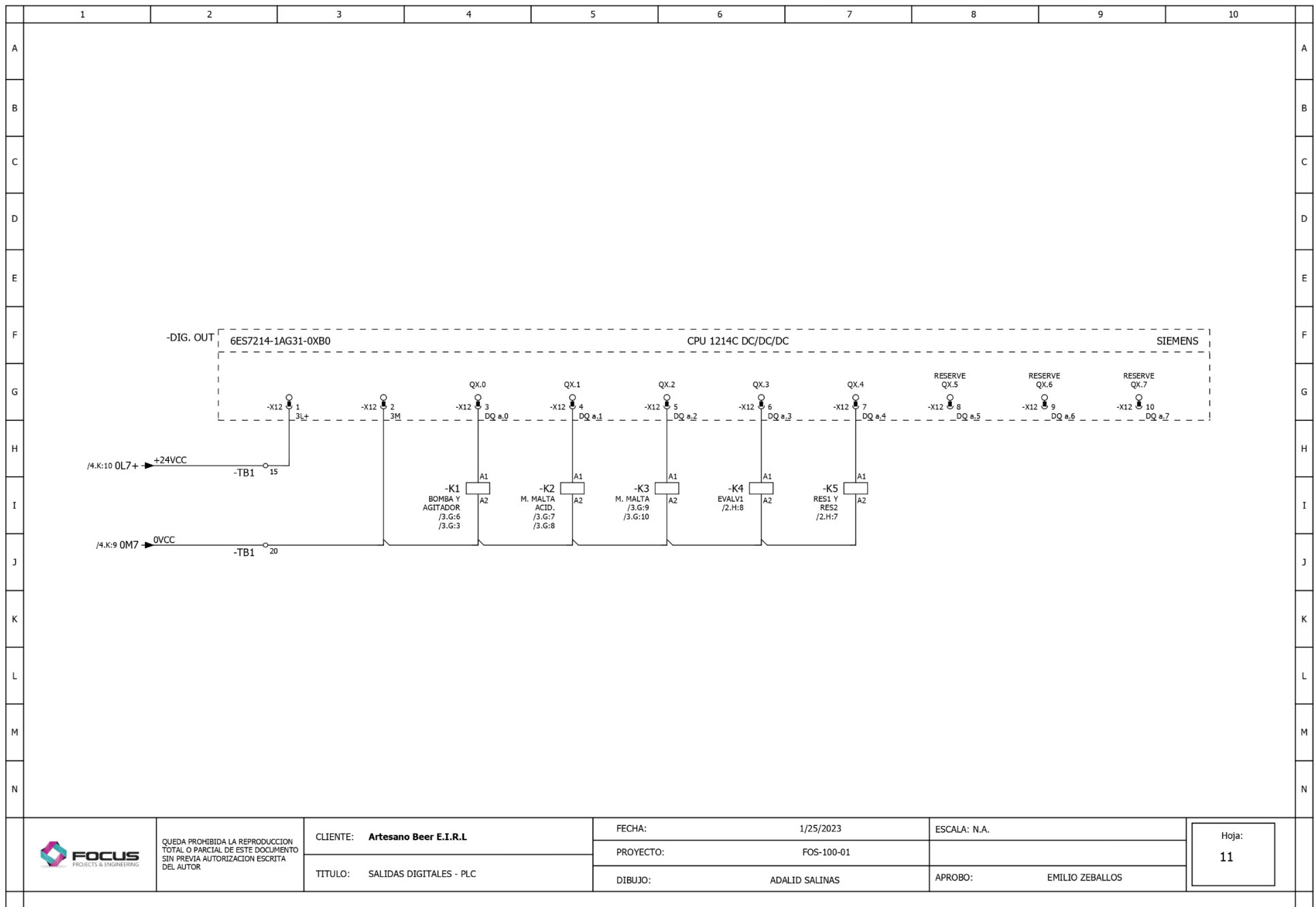




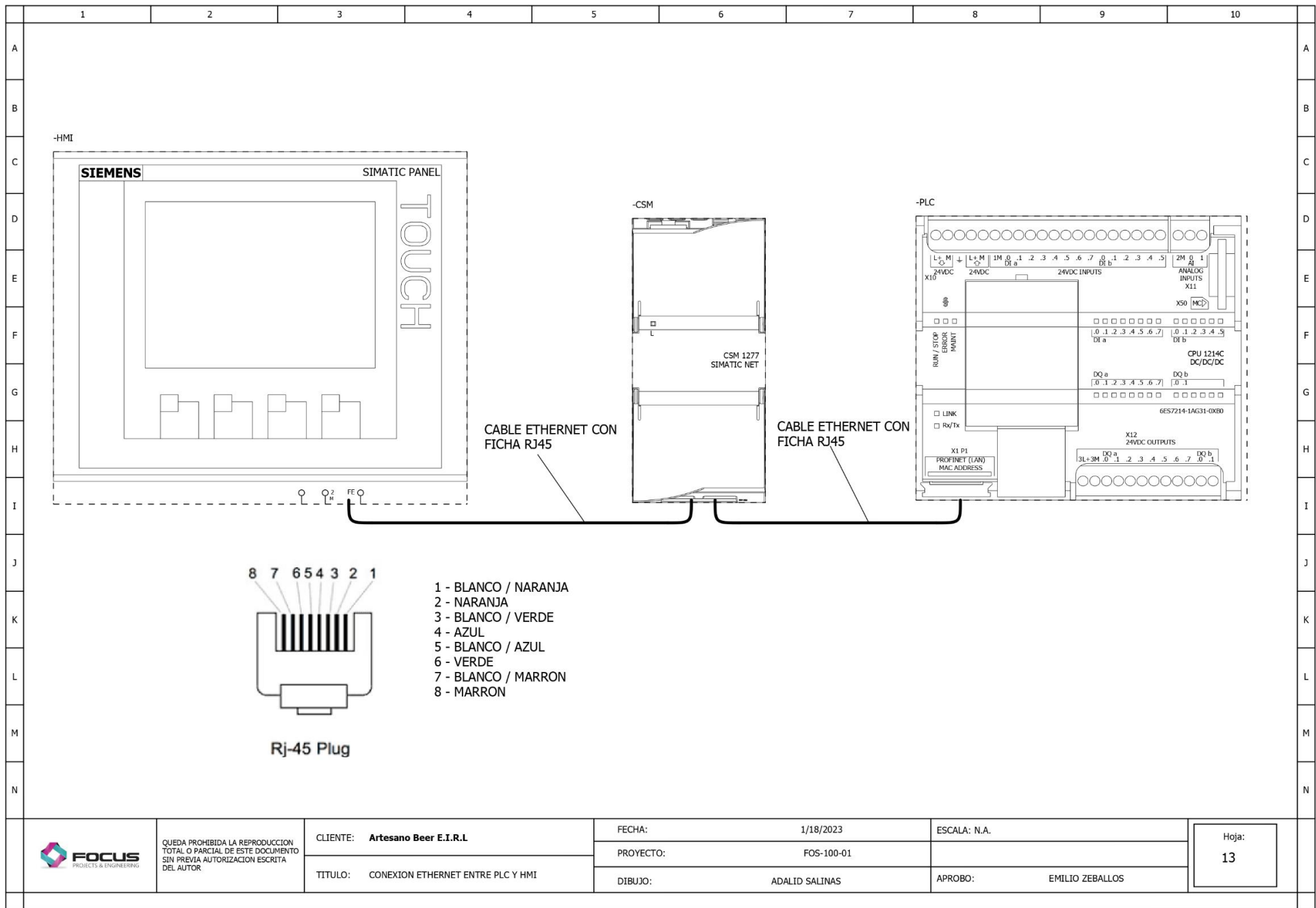




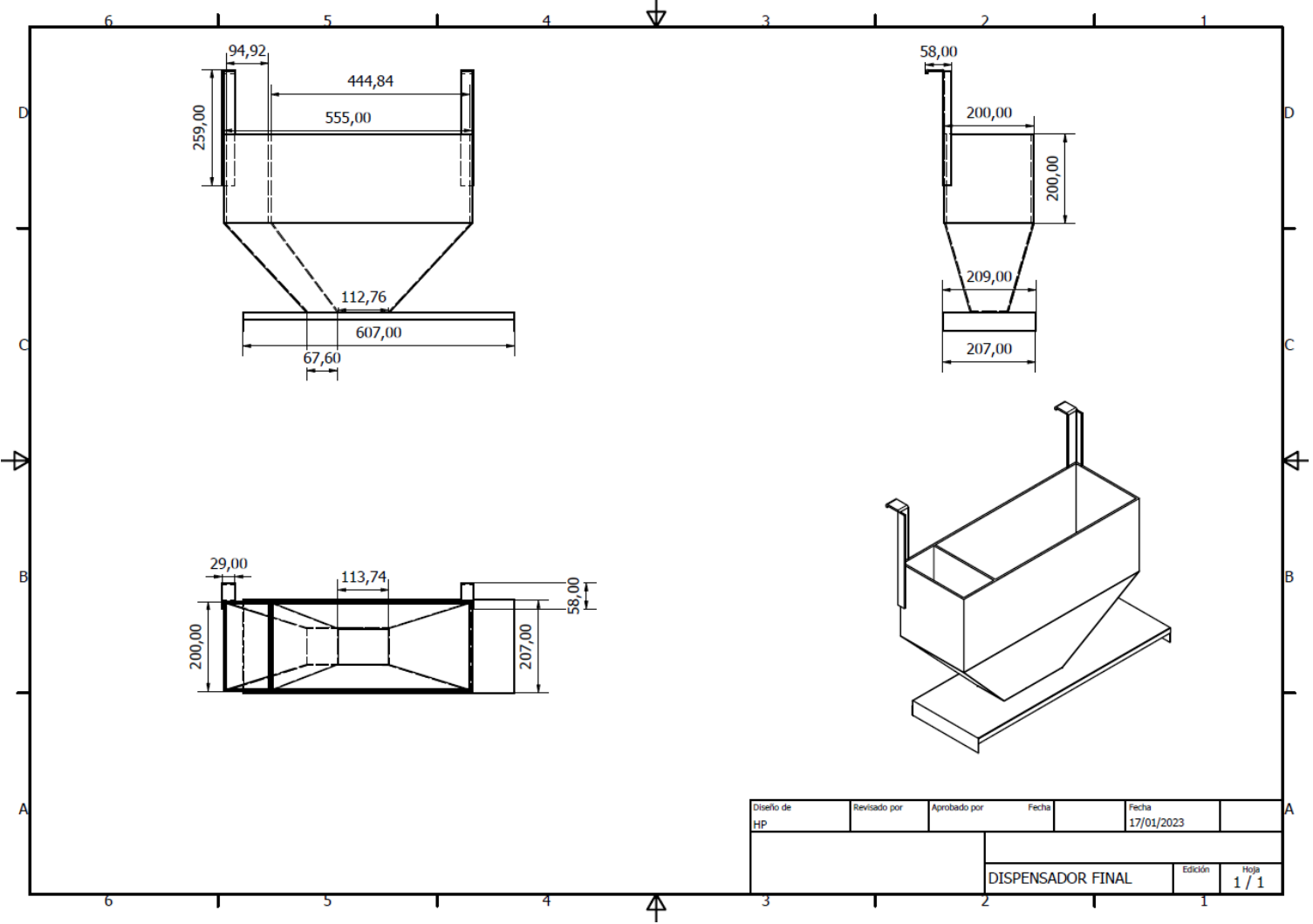




	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A											A
B											B
C											C
D											D
E											E
F											F
G											G
H											H
I											I
J											J
K											K
L											L
M											M
N											N
	0VCC TB1 20										

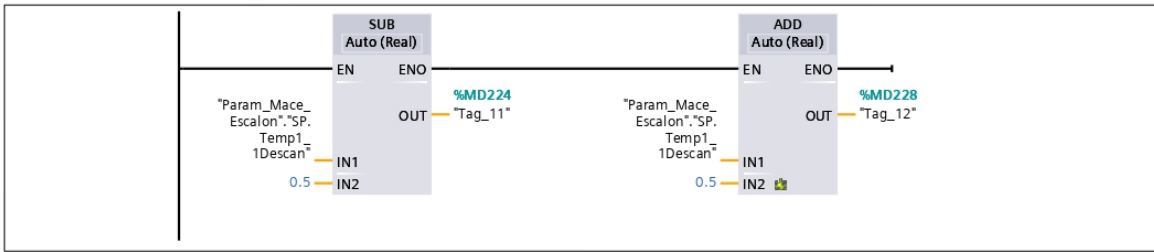


Anexo 5. Plano dispensador de maltas



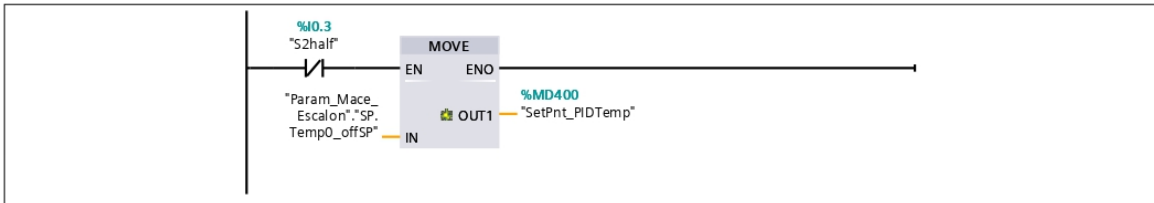
Anexo 6. Programación del PLC – FC3 Macerado

Totally Integrated Automation Portal																																																	
Macerado_Escalonado [FC3]																																																	
Macerado_Escalonado Propiedades																																																	
General																																																	
Nombre	Macerado_Escalonado	Número	3	Tipo	FC																																												
Idioma	KOP	Numeración	Automático																																														
Información																																																	
Título		Autor		Comentario																																													
Familia		Versión	0.1	ID personalizado																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Tipo de datos</th> <th>Valor predet.</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Input</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Output</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>InOut</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>▼ Temp</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temp_1</td> <td>Bool</td> <td></td> <td>m0.2</td> </tr> <tr> <td>Temp_2</td> <td>Bool</td> <td></td> <td>m0.4</td> </tr> <tr> <td>▼ Constant</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Constant_1</td> <td>Bool</td> <td>false</td> <td></td> </tr> <tr> <td>▼ Return</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Macerado_Escalonado</td> <td>Void</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario	Input				Output				InOut				▼ Temp				Temp_1	Bool		m0.2	Temp_2	Bool		m0.4	▼ Constant				Constant_1	Bool	false		▼ Return				Macerado_Escalonado	Void		
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario																																														
Input																																																	
Output																																																	
InOut																																																	
▼ Temp																																																	
Temp_1	Bool		m0.2																																														
Temp_2	Bool		m0.4																																														
▼ Constant																																																	
Constant_1	Bool	false																																															
▼ Return																																																	
Macerado_Escalonado	Void																																																
Segmento 1: Convertir Valores de SetPoint																																																	
Convierte valores provenientes del HMI a reales																																																	
Segmento 1: Convertir Valores de SetPoint																																																	
<pre> graph TD subgraph Segment1 [Segmento 1: Convertir Valores de SetPoint] direction TB B1[Block 1: CONV Int to Real] B2[Block 2: CONV Int to Real] B3[Block 3: CONV Int to Real] B1 --> B2 B2 --> B3 end B1 -- EN --> L1[] L1 --> B1 B1 -- IN --> I1["DataCommHMI2 PLC, 'HMI.SP. Temp1'"] B1 -- OUT --> O1["Param_Mace_Escalon, 'SP. Temp1_1Descan'"] B2 -- EN --> L2[] L2 --> B2 B2 -- IN --> I2["DataCommHMI2 PLC, 'HMI.SP. Temp3'"] B2 -- OUT --> O2["Param_Mace_Escalon, 'SP. Temp3_2Descan'"] B3 -- EN --> L3[] L3 --> B3 B3 -- IN --> I3["DataCommHMI2 PLC, 'HMI.SP. Temp5'"] B3 -- OUT --> O3["Param_Mace_Escalon, 'SP. Temp5_3Descan'"] </pre>																																																	
Segmento 2:																																																	
Margen de detección(alcance de SetPoint)																																																	



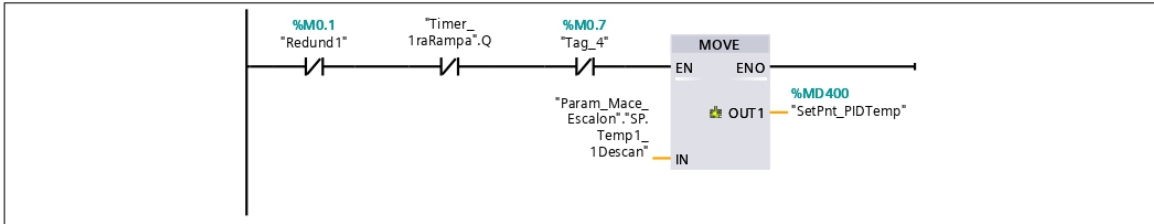
Segmento 3: Desactivar SetPoint

Se carga set point de cero cuando no se detecta agua a nivel medio de tanque (PID apagado)



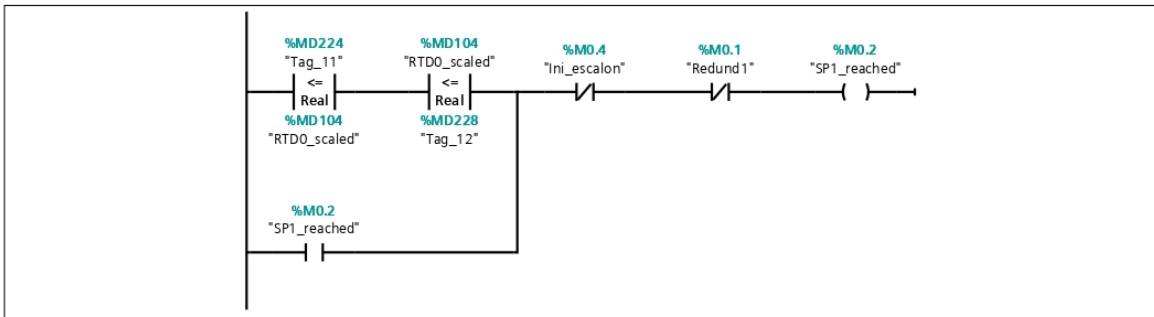
Segmento 4: Carga de Set Point 1

Carga de primer SP para calentar agua (no importa tiempo de calentado-mas rapido mejor)



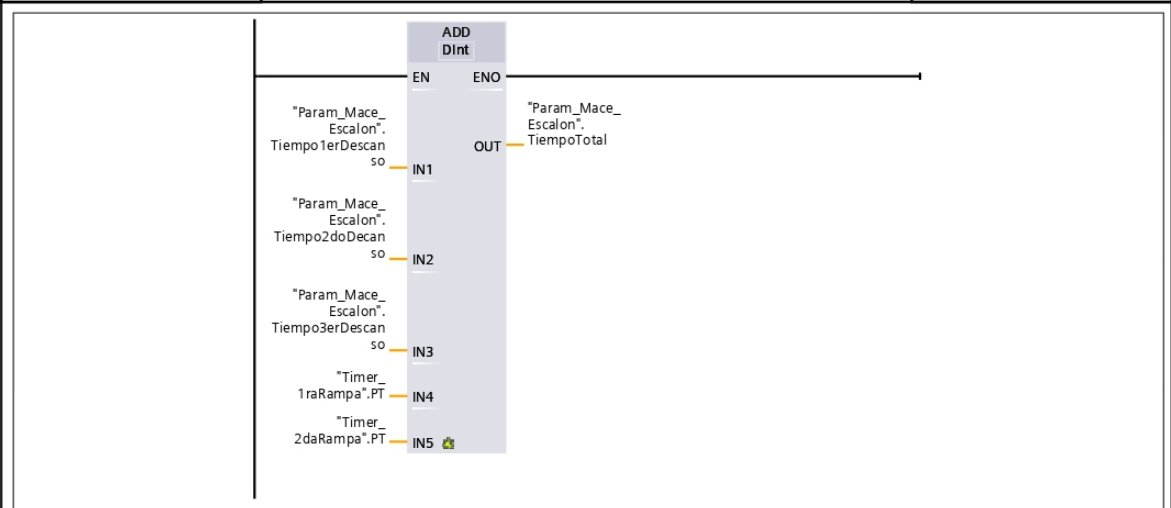
Segmento 5: SetPoint 1 alcanzado (primer escalon)

Con el SetPoint 1 Alcanzado, autoenclava el bit M0.2 para activacion de actuadores



Segmento 6:

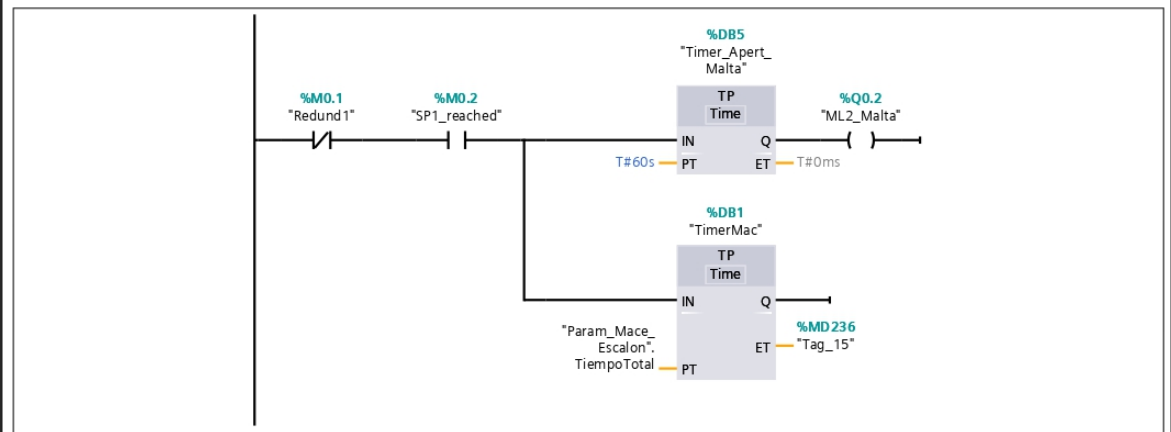
Calculo del tiempo total de maceracion para pantalla hmi



Segmento 7: Apertura de compuerta de malta

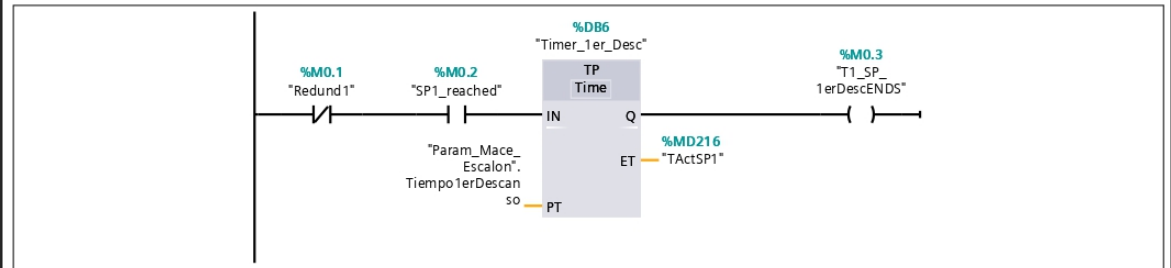
Primer SetPoint alcanzado se abre la compuerta para soltar malta a la olla principal

-----CALIBRAR EL TIEMPO DE APERTURA-----



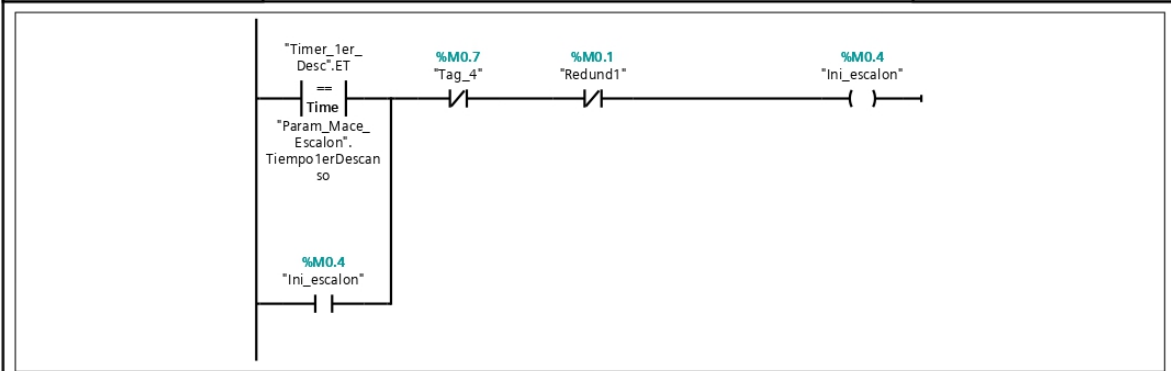
Segmento 8: Primer descanso Maceracion

Establece el tiempo que se mantendra la malta en el primer descanso



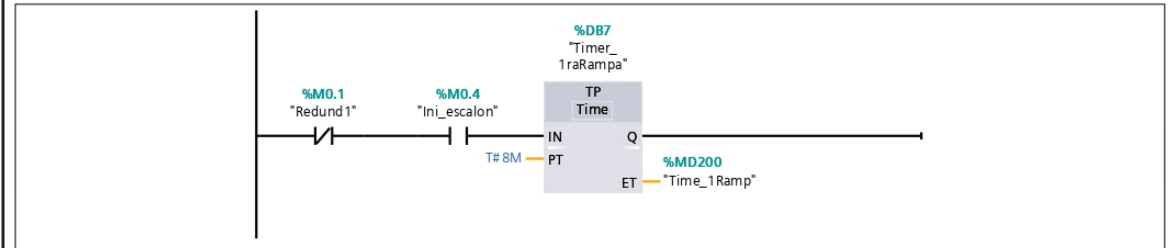
Segmento 9: Determina si terminó 1er descanso

Logica para determinar si el tiempo de primer descanso se cumple

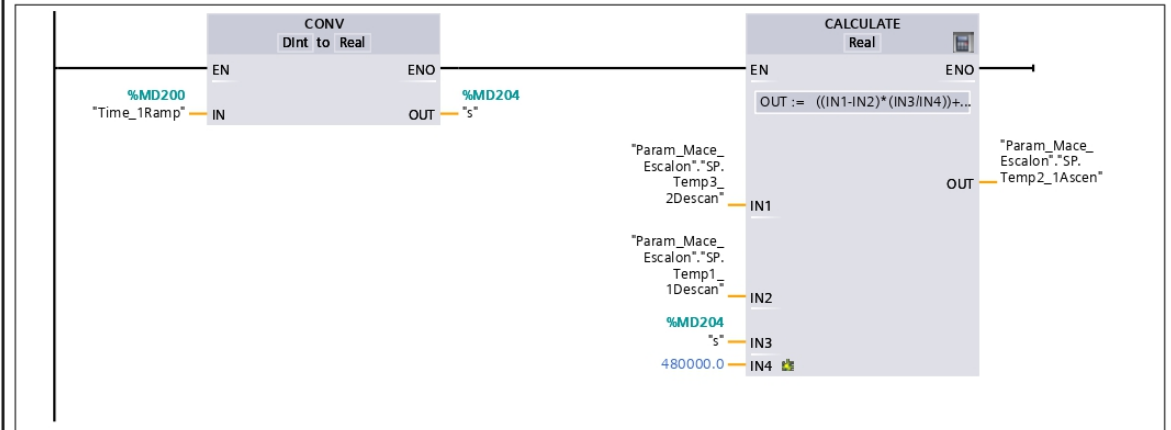


Segmento 10: Carga Setpoint2 variable en tiempo (1RA RAMPA)

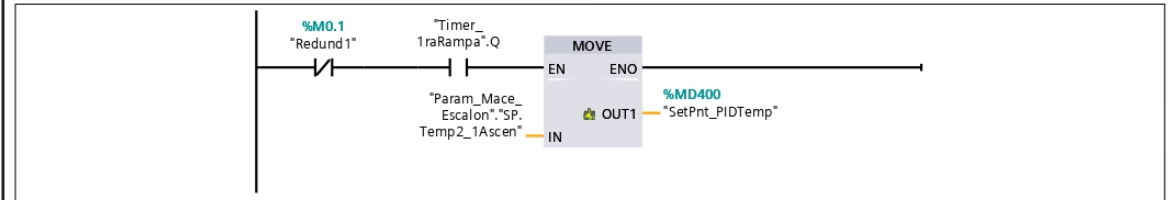
Carga el setpoint variable que realiza el aumento de temperatura gradual (1°C/min)



Segmento 11: funcion 1ra RAMPA



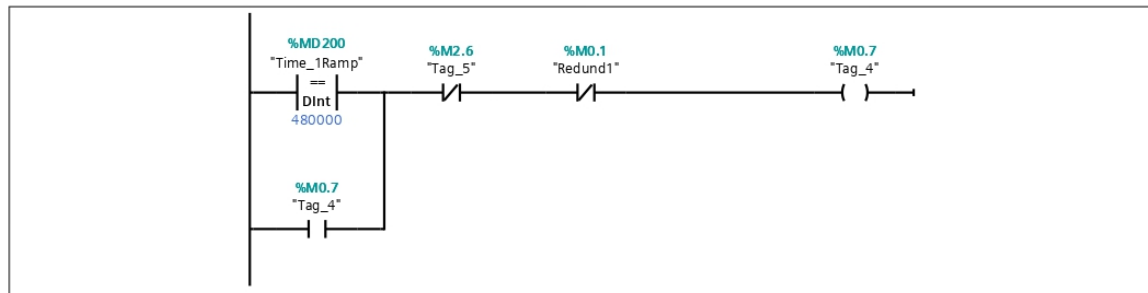
Segmento 12: 1ra rampa



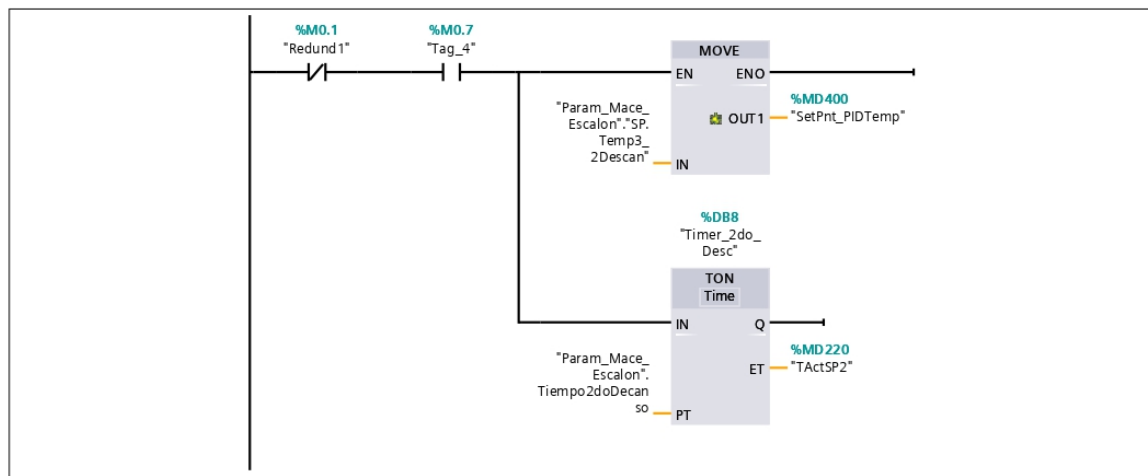
Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Segmento 13:

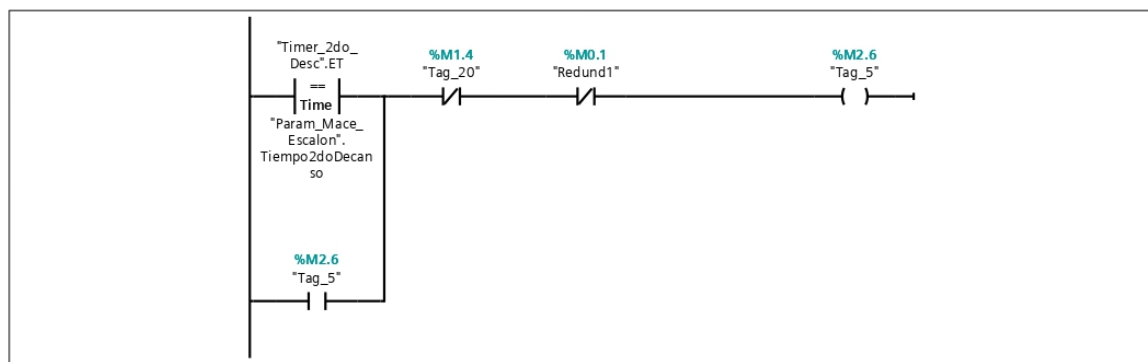
Logica para determinar si el timer de la rampa terminó



Segmento 14: 2DO descanso

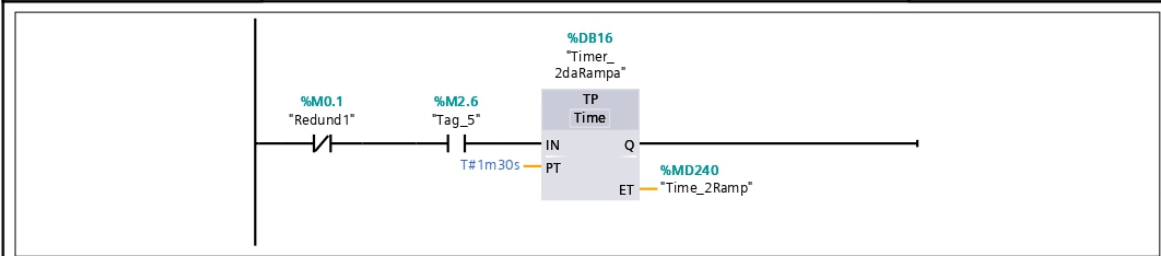


Segmento 15: 2da RAMPA

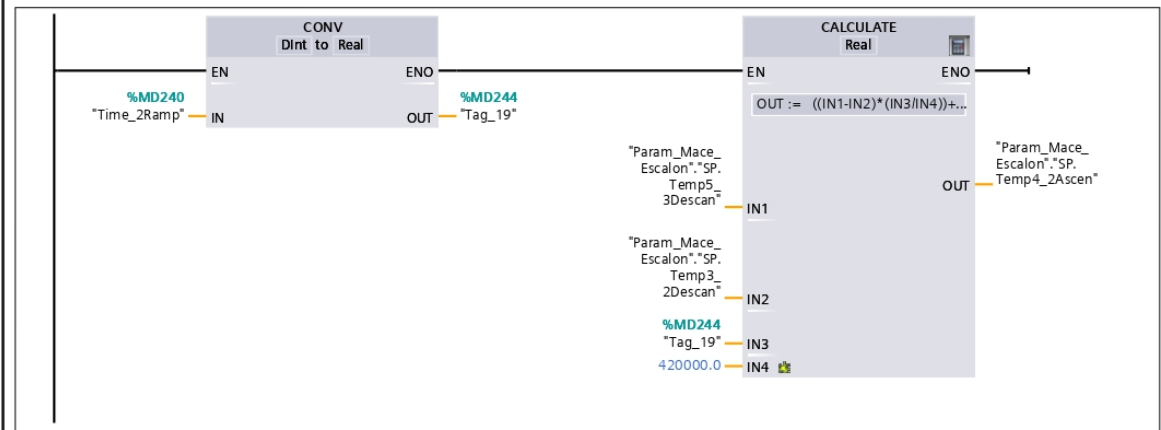


Segmento 16: 2da rampa

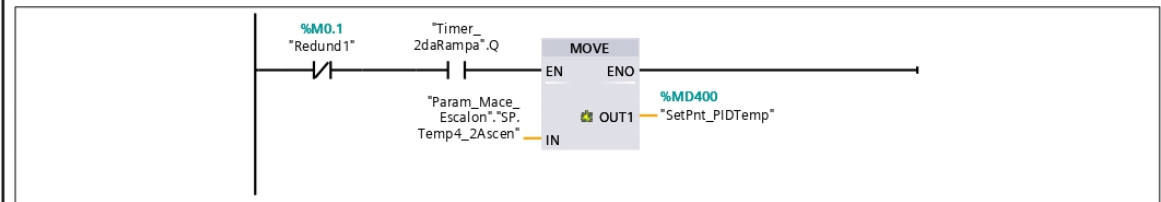
Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--



Segmento 17: funcion 1ra RAMPA

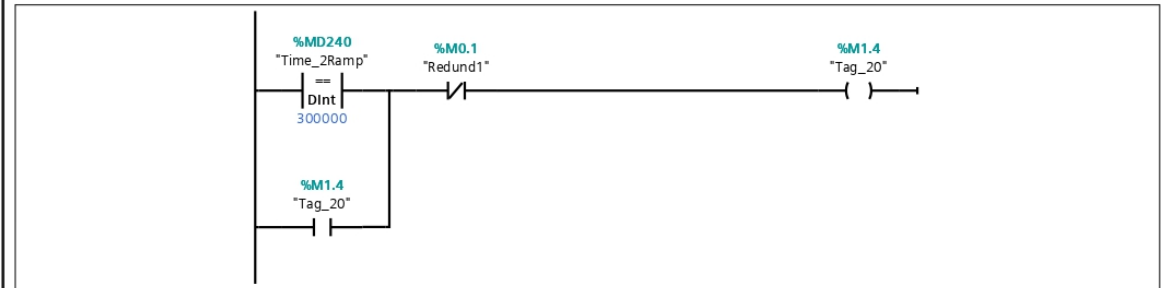


Segmento 18:



Segmento 19:

Logica para determinar si el timer de la rampa terminó



Segmento 20:

--	--	--

