

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PLC CON UN CONTROLADOR PID PARA UNA
CÁMARA DE CALENTAMIENTO.**

**SHNEHAL KUMAR ESPITIA QUINTERO
JUAN ESTEBAN SOSA CUELLO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA (UPB)
SECCIONAL MONTERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
MONTERÍA
2023**

PORTADA:

**IMPLEMENTACION DE UN PLC CON UN CONTROLADOR PID PARA UNA
CAMARA DE CALENTAMIENTO**

**SHNEHAL KUMAR ESPITIA QUINTERO
JUAN ESTEBAN SOSA CUELLO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

ASESOR

**FRANCISCO RICARDO BARREIRO PINTO
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL MONTERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
MONTERÍA
2023**

DEDICATORIAS

Queridas familias y estimados profesores,

Hoy quiero tomar un momento para expresar mi más profundo agradecimiento por el apoyo incondicional que nos han brindado a lo largo de nuestro camino educativo. Su presencia ha sido un faro de luz en los momentos de incertidumbre y un refugio de amor en los momentos de dificultad.

A nuestras familias, ustedes son nuestro cimiento, la raíz que nos ha permitido crecer y desarrollarnos como individuos. Su constante dedicación, paciencia y aliento han sido el motor que nos ha impulsado a alcanzar nuestras metas. Cada sacrificio, cada palabra de aliento y cada abrazo reconfortante han sido una muestra inigualable de amor incondicional. Estamos profundamente agradecidos por el amor y el apoyo que nos han brindado en cada paso del camino. Sin ustedes, nuestros logros no habrían sido posibles.

A nuestros queridos profesores, gracias por compartir con nosotros su conocimiento y experiencias. Su pasión por la enseñanza ha dejado una huella indeleble en nuestras vidas. Nos han inspirado, motivado y desafiado a ser mejores versiones de nosotros mismos. Su dedicación incansable y su compromiso con nuestro crecimiento intelectual nos ha dado las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos del mundo con confianza y determinación.

En este momento de reflexión, reconocemos el valor incalculable que tanto nuestras familias como nuestros profesores han aportado a nuestras vidas. Sin su apoyo, comprensión y aliento constante, no habríamos llegado hasta aquí. Somos conscientes de la importancia de su papel en nuestra formación y en nuestro éxito. Por eso, queremos expresar nuestro agradecimiento más sincero y profundo por todo lo que han hecho por nosotros.

A nuestras familias y a nuestros profesores, les dedicamos este pequeño tributo de gratitud. Sus enseñanzas y su amor nos han llevado más allá de nuestras expectativas y nos han preparado para enfrentar cualquier desafío que el futuro nos depare. Esperamos poder honrar su legado, llevando con nosotros los valores y la sabiduría que nos han transmitido.

Con todo nuestro amor y agradecimiento, Shnehal Espitia y Juan Sosa.

AGRADECIMIENTO

Queridos familiares, profesores y universidad.

A través de estas líneas, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por el apoyo incondicional y la guía invaluable que me han brindado durante mi trabajo de grado. A mi amada familia, gracias por su amor incondicional y su constante apoyo. A mis profesores, gracias por su dedicación y conocimiento impartido. A mi querida universidad, gracias por brindarme una educación de calidad. Su contribución ha sido fundamental para mi desarrollo académico y personal.

Desde el inicio de mi trayectoria académica, mi familia ha sido mi mayor fuente de inspiración. Su aliento y sacrificio han sido el motor que me ha impulsado a alcanzar mis metas. A mis profesores, les agradezco su pasión por la enseñanza y su orientación constante. Sus enseñanzas han sido fundamentales para mi crecimiento intelectual y profesional. Agradezco también a mi universidad por brindarme un entorno propicio para aprender y crecer como individuo.

Por último, quiero agradecer a todos aquellos que han sido parte de mi camino durante mi trabajo de grado. Sus palabras de aliento, su amistad y su confianza en mí han sido un regalo invaluable. Estoy eternamente agradecido por su contribución en mi formación y desarrollo. Este logro no sería posible sin su apoyo incondicional.

Con gratitud sincera.

Shnehal Kumar Espitia
Juan Esteban Sosa

CONTENIDO

INDICE

1. RESUMEN	12
2. INTRODUCCIÓN	14
3. MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE	15
3.1 PLC	15
3.2 SENSOR RTD	15
3.3 PLC SIMATIC S7-1200	16
3.4 CONTROLADOR PID	17
3.5 TIA PORTAL	21
3.6 PID Compact (algoritmo PID)	22
3.6.1 Ganancia proporcional	23
3.6.2 Tiempo de integración	23
3.6.3 Tiempo derivativo	23
3.6.4 Coeficiente para el retardo de la acción derivativa	23
3.6.5 Ponderación de la acción proporcional	24
3.6.6 Ponderación de la acción derivativa	24
3.6.7 Tiempo de muestreo Algoritmo PID	24
3.7 Fine Tuning	25
4. METODOLOGÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.1 Fase 1. Chequeo de los componentes con que se cuenta y estado de dichos componentes.	27
4.2 Fase 2. Creación del software para el sistema de la cámara de calentamiento.	31

4.3	<i>Fase 3. Creación del sistema de interacción HMI (Interfaz Humano/Máquina) para el software.</i>	59
4.4	<i>Fase 4. Montaje físico de las conexiones de potencia y del PLC.</i>	79
4.5	<i>Fase 5. Implementación de un controlador PID para la operación del horno.</i>	83
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
7	BIBLIOGRAFÍA	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
8	ANEXOS	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
9	ARTÍCULO	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>

LISTA DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURA

<i>Figura 1. Sistema de control básico. Fuente: (Zayas Gato et al., 2020).</i>	19
<i>Figura 2. Esquema en bloques de PID. Fuente: (Zayas Gato et al., 2020)</i>	19
<i>Figura 3. Circuito de retroalimentación de sistema de control. Fuente: (Velasco, 2022)</i>	20
<i>Figura 4. Ilustración de los parámetros en el algoritmo PID. Fuente: Siemens AG (2022).</i>	23
<i>Figura 5. Resistencia eléctrica para parrilla. Fuente: propia</i>	27
<i>Figura 6. Ventilador. Fuente: propia</i>	28
<i>Figura 7. Relé de estado sólido para activar la resistencia eléctrica. Fuente: propia</i>	28
<i>Figura 8. Relé de estado sólido para activar el ventilador. Fuente: propia</i>	29
<i>Figura 9. Conexión para la prueba del relé de estado sólido. Fuente: propia</i>	30
<i>Figura 10. Accesos directo TIA PORTAL V17. Fuente: propia.</i>	31
<i>Figura 11. Ventana de inicio en TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	31
<i>Figura 12. Ventana de creacion de nuevo proyecto TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	32
<i>Figura 13. Ventana de entrada al proyecto TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	32
<i>Figura 14. Ventana del proyecto TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	33
<i>Figura 15. Ventana añadir nuevo dispositivo TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	34
<i>Figura 16. Ventana selección del dispositivo en TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	34
<i>Figura 17. Ventana inicio del proyecto en TIA PORTAL. Fuente: propia</i>	35
<i>Figura 18. Bloque de programas TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	35
<i>Figura 19. Ventana del bloque Main. Fuente: propia.</i>	36
<i>Figura 20. Creación encendido/apagado del sistema. Fuente: propia.</i>	37
<i>Figura 21. Creación escaladora del sistema. Fuente: propia.</i>	38
<i>Figura 22. Grafica de la instrucción NORM_X, help TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	38

<i>Figura 23. Grafica de la instrucción SCALE_X, help TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	39
<i>Figura 24. Creación auto activación del ventilador. Fuente: propia.</i>	40
<i>Figura 25. Creación activación del ventilador manual y por la memoria. Fuente: propia.</i>	41
<i>Figura 26. Creación del temporizador. Fuente: propia.</i>	42
<i>Figura 27. Grafica del temporizador TP, help TIA PORTAL. Fuente: propia.</i>	43
<i>Figura 28. Añadir bloque de funciones. Fuente: propia.</i>	45
<i>Figura 29. Generador de pulsos. Fuente: propia.</i>	46
<i>Figura 30. Añadir bloque Cyclic interrupt con Cyclic time de 100 ms. Fuente: propia.</i>	47
<i>Figura 31. Añadir bloque PID_Compact. Fuente: propia.</i>	48
<i>Figura 32. Nombrar el bloque PID_Compact. Fuente: propia.</i>	49
<i>Figura 33. Sistema del encendido/apagado, entradas y salidas del PID. Fuente: propia.</i>	50
<i>Figura 34. Añadir bloque Startup. Fuente: propia.</i>	52
<i>Figura 35. Asignación 0 a la memoria I_MODE. Fuente: propia.</i>	52
<i>Figura 36. Condiciones e indicadores del PID_Compact. Fuente: propia.</i>	53
<i>Figura 37. Configuración de los pulsos para el pagado del PID_Compact. Fuente: propia.</i>	55
<i>Figura 38. Ubicación de la ventana de configuración del PID_Compact. Fuente: propia.</i>	56
<i>Figura 39. Ajustes básicos del PID_Compact. Fuente: propia.</i>	57
<i>Figura 40. Ajustes del valor de los procesos del PID_Compact. Fuente: propia.</i>	58
<i>Figura 41. Ajustes avanzados (Paramtros del PID) PID_Compact. Fuente: propia.</i>	59
<i>Figura 42. Añadir dispositivo "PC systems" WinCC RT Advanced. Fuente: propia.</i>	60
<i>Figura 43. Ubicación de tarjeta IE general. Fuente: propia.</i>	61
<i>Figura 44. Ajuste IP de SIMATIC PC station. Fuente: propia.</i>	62
<i>Figura 45. Ajuste IP del PLC. Fuente: propia.</i>	63
<i>Figura 46. Ajuste IP del PLC. Fuente: propia.</i>	63
<i>Figura 47. Ajuste de compatibilidad de los dispositivos. Fuente: propia.</i>	64

<i>figura 48. Pantallas para el HMI. Fuente: propia.</i>	65
<i>figura 49. Zona de trabajo del HMI. Fuente: propia.</i>	66
<i>Figura 50. Zona de herramientas para el HMI. Fuente: propia.</i>	67
<i>Figura 51. Adición de botones de navegación HMI. Fuente: propia.</i>	68
<i>Figura 52. Escritura y señalización del HMI. Fuente: propia.</i>	69
<i>Figura 53. Funciones de los botones en el HMI. Fuente: propia.</i>	70
<i>Figura 54. Función para el boton ON y OFF en el HMI. Fuente: propia.</i>	70
<i>Figura 55. Configuración indicadora de temperatura en el HMI. Fuente: propia.</i>	71
<i>Figura 56. Configuración Setpoint en el HMI. Fuente: propia.</i>	72
<i>Figura 57. Configuración cambio de pantalla, TEMPORIZADOR y PID en el HMI. Fuente: propia.</i>	73
<i>Figura 58. Configuración del ventilador manual en el HMI. Fuente: propia.</i>	74
<i>Figura 59. Adición de los parámetros del PID en el HMI. Fuente: propia.</i>	75
<i>Figura 60. Configuración de la gráfica con parámetros de salida y entrada en el HMI. Fuente: propia.</i>	75
<i>Figura 61. Configuración del switch para el temporizador en el HMI. Fuente: propia.</i>	76
<i>Figura 62. Configuración del Tag para la entada de tiempo del temporizador y los botones en el HMI. Fuente: propia.</i>	77
<i>Figura 61. Configuración del botón GO y visualización de los leds indicativos en el HMI. Fuente: propia.</i>	78
<i>Figura 62. Acceso directo a el HMI. Fuente: propia</i>	78
<i>Figura 63. Ubicación del archivo para crear el acceso directo. Fuente: propia</i>	79
<i>Figura 64. Puntos de medición de la resistencia del sensor RTD. Fuente: propia</i>	80
<i>Figura 65. Conexiones de potencia en físico. Fuente: propia</i>	81
<i>Figura 66. Conexiones de potencia. Fuente: propia</i>	81
<i>Figura 67. Conexiones del PLC en físico. Fuente: propia</i>	82
<i>Figura 68. Conexiones del PLC. Fuente: propia</i>	82

<i>Figura 69. Ventana de puesta en marcha del PID_Compact. Fuente: propia.</i>	83
<i>Figura 70. Ventana de puesta en marcha del PID_Compact con el Fine tuning en acción. Fuente: propia.</i>	84
<i>Figura 71. parámetros del PID recién calculado por el Fine tuning. Fuente: propia</i>	85
<i>Figura 72. Conexión de los cables en las salidas y entradas del PLC. Fuente: propia.</i>	86
<i>Figura 73. Montaje del PLC en la base del sistema. Fuente: propia.</i>	87
<i>Figura 74. Tablero de las conexiones físicas del PLC. Fuente: propia.</i>	88
<i>Figura 75. Cámara de calentamiento. Fuente: propia.</i>	89
<i>Figura 76. parámetros finales del PID. Fuente: propia</i>	90
<i>Figura 77. Diagrama de bloque del sistema. Fuente: propia</i>	91
<i>Figura 78. Pantalla de inicio del HMI. Fuente: propia</i>	92
<i>Figura 79. Pantalla principal del HMI. Fuente: propia</i>	93
<i>Figura 80. Pantalla temporizador del HMI. Fuente: propia</i>	94
<i>Figura 81. Pantalla PID del HMI. Fuente: propia</i>	95
<i>Figura 82. Inicio del control de la cámara de calentamiento con un setpoint de 50°C. Fuente: propia</i>	96
<i>Figura 83. Estabilización del control de la cámara de calentamiento con un setpoint de 50°C. Fuente: propia</i>	97

LISTA DE TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 valores numéricos de una temperatura Pt100 (385) frente a la resistencia en algunos puntos. Fuente: Laurila, H. (2020).

Tabla 2 Relación entre términos de PID. Fuente: (Zayas Gato et al., 2020)

1. RESUMEN

La automatización de procesos industriales es esencial para mejorar la eficiencia y la calidad de la producción. En este trabajo de grado se propone la automatización del proceso de calentamiento y enfriamiento de un horno utilizando el PLC Simatic S7-1200, el software TIA Portal y una interfaz de usuario (HMI) desarrollada con el TIA Portal.

El PLC Simatic S7-1200 es un controlador programable confiable y versátil que permite controlar y supervisar diferentes etapas del proceso de calentamiento y enfriamiento. El software TIA Portal proporciona un entorno de desarrollo integrado que permite programar y configurar el PLC de manera eficiente.

La interfaz de usuario (HMI) creada con el TIA Portal permite a los operadores interactuar con el proceso de manera intuitiva y visual. La HMI proporciona información en tiempo real sobre los parámetros del proceso, como la temperatura, la velocidad de calentamiento y enfriamiento, y el tiempo restante. Además, permite a los operadores ajustar los parámetros del proceso de forma fácil y segura.

El proceso de automatización se realiza mediante la programación del PLC utilizando el lenguaje de programación de bloques de funciones. Se implementan algoritmos de control para regular el calentamiento y enfriamiento del horno de acuerdo con los parámetros establecidos.

Palabras claves: Horno, Interfaz, PID, Sensor RTD, PLC.

ABSTRACT:

The automation of industrial processes is essential to improve the efficiency and quality of production. In this graduation project, the automation of the heating and cooling process of an oven is proposed using the Simatic S7-1200 PLC, the TIA Portal software, and a user interface (HMI) developed with the TIA Portal.

The Simatic S7-1200 PLC is a reliable and versatile programmable controller that allows you to control and monitor different stages of the heating and cooling process. The TIA Portal software provides an integrated development environment that enables efficient programming and configuration of the PLC.

The user interface (HMI) created with the TIA Portal allows operators to interact with the process intuitively and visually. The HMI provides real-time information on process parameters such as temperature, heating and cooling rate, and remaining time. In addition, it allows operators to adjust process parameters easily and safely.

The automation process is done by programming the PLC using the function block programming language. Control algorithms are implemented to regulate the heating and cooling of the furnace according to the established parameters.

Keywords: Oven, Interface, PID, RTD Sensor, PLC.

2. INTRODUCCIÓN

La implementación de un PLC con un controlador PID para una cámara de calentamiento es un tema relevante y de gran importancia en la ingeniería y la automatización industrial. Este proyecto tiene como objetivo principal desarrollar un sistema automatizado para controlar la temperatura en una cámara de calentamiento, mediante la combinación de un controlador PID y un PLC.

La implementación de este sistema resulta de gran importancia para la práctica estudiantil de la Universidad Pontificia Bolivariana, ya que permitirá a los estudiantes involucrarse en la implementación de un sistema de control en tiempo real, utilizando tecnología de nueva generación. Además, este proyecto permitirá a los estudiantes adquirir habilidades y conocimientos prácticos en el diseño, programación y puesta en marcha de sistemas de control industrial.

En este documento se detallará el proceso de diseño e implementación del sistema, se describirán las herramientas y tecnologías utilizadas, así como también se analizarán los resultados obtenidos. Se espera que este trabajo sirva como una guía práctica y útil para futuros proyectos similares en el campo de la automatización.

La automatización ha evolucionado rápidamente en las últimas décadas, y la implementación de sistemas de control es esencial para el funcionamiento eficiente y seguro de muchos procesos industriales. En este contexto, la combinación de un controlador PID y un PLC se ha convertido en una solución popular para el control de procesos, gracias a su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones de funcionamiento y su alta precisión.

En particular, la implementación de un sistema de control de temperatura mediante un PLC y un controlador PID es de gran importancia en la industria química, alimentaria, farmacéutica, entre otras. En estas industrias, el control preciso de la temperatura es esencial para garantizar la calidad y seguridad de los productos finales, así como también para optimizar los procesos de producción.

3. MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE

Para tener más claridad en los segmentos teóricos que componen este sistema, se decide dividir el marco teórico en dos grandes rasgos, uno hablará de todo del hardware y otro del software que es necesario para el funcionamiento del sistema de calentado.

Dispositivos o tecnologías que están implicadas en el sistema de calentamiento:

3.1 PLC

Esta computadora fue creada para controlar procesos industriales. Cada BIT proporciona la información necesaria sobre el estado de una variable de entrada, y al usar un BIT para controlar la operación de un dispositivo que actúa sobre el proceso que necesita ser controlado. Los PLC están diseñados de manera similar a las computadoras, aunque están destinados a la toma de decisiones. Consta de los siguientes componentes: Unidad de procesamiento centralizado sección de la entrada/salida o de la unidad de E/S de programación PLC: Esta computadora fue creada para controlar procesos industriales. Cada BIT proporciona la información necesaria sobre el estado de una variable de entrada, y al usar un BIT para controlar la operación de un dispositivo que actúa sobre el proceso que necesita ser controlado. Los PLC están diseñados de manera similar a las computadoras, aunque están destinados a la toma de decisiones. Consta de los siguientes componentes: Unidad de procesamiento centralizado sección de la entrada/salida o de la unidad de E/S de programación (Herrera Bellodas & Lumbres Álvarez, 2018).

El controlador lógico programable (PLC) se utiliza actualmente en la industria para llevar a cabo el control de sistemas basado en eventos, así como el control de procesos continuos utilizando procedimientos de tiempo discreto. Algunos textos definen al PLC como un miembro de la familia de computadoras que implementa funciones de control utilizando circuitos integrados en lugar de dispositivos electromecánicos. Pueden manejar instrucciones secuenciales, cronometradas, matemáticas, conteo, algebraicas, de manipulación de datos y de comunicación para el manejo de máquinas y procesos industriales (Prieto, 2011). Desarrollar controladores avanzados para procesos industriales complejos utilizando el equipo instalado y sin necesidad de un controlador especializado.

(Gómez Borges, Manuel Israel, Acosta Corzo, Adriana Virginia, & Fundora Curbelo, Yaniel, 2020).

3.2 SENSOR RTD

Para nuestro proyecto de grado haremos uso de un sensor RTD tipo PT100, la característica principal de estos sensores es su material de fabricación el cual es el platino. Tienen un valor de 100 ohm (de ahí el número 100 que se encuentra en su nombre) y están formados por un filamento de platino el cual normalmente se encuentra alrededor de un núcleo de cerámica o en algunas ocasiones en un núcleo de vidrio. Normalmente tienen unas dimensiones de 1 a 5 mm de diámetro y de 10 a 50 mm de longitud.

Los sensores PT100 cuentan con dos clases de sondas clasificadas dependiendo de su tolerancia. La primera clase es la clase A, esta tiene una tolerancia de $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ a 0°C y la clase B cuenta con una tolerancia de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ a 0°C , además, existen dos tipos de clase para el trabajo de precisión conocidas como "1/10 DIN" y "1/3 DIN". esto quiere decir que tienen un nivel de tolerancia de 1/10 o 1/3 de las clases A y B. (Salvador, J. M. 2020).

Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	Temperatura [$^{\circ}\text{F}$]	RESISTENCIA [Ohms]
-200.00	-328.00	18.5201
-100.00	-148.00	60.2558
0.00	32.00	100.0000
100.00	212.00	138.5055
200.00	392.00	175.8560
300.00	572.00	212.0515
400.00	752.00	247.0920
500.00	932.00	280.9775
600.00	1112.00	313.7080
700.00	1292.00	345.2835
800.00	1472.00	375.7040
850.00	1562.00	390.4811

Tabla 1 valores numéricos de una temperatura Pt100 (385) frente a la resistencia en algunos puntos. Fuente: Laurila, H. (2020).

Para unas temperaturas más detalladas véase anexos.

3.3 PLC SIMATIC S7-1200

El PLC SIMATIC S7-1200 va a ser el PLC principal del proyecto este PLC es un microsistema modular para la gama baja y media de prestaciones. La unidad central de procesamiento (CPU) contiene el sistema operativo y el programa de usuario. El programa de usuario se encuentra en la memoria de carga y es a prueba de fallos de alimentación. Las partes del programa de usuario relevantes para la ejecución se procesan en una memoria de trabajo de acceso rápido. En la memoria de retención se almacenan las etiquetas cuyos valores deben conservarse en caso de fallo de alimentación o al apagar/encender.

El programa de usuario puede transferirse a la CPU mediante una tarjeta de memoria enchufable (MC), como alternativa a la transferencia a través de una conexión en línea hacia el dispositivo de programación. La tarjeta de memoria también puede utilizarse como memoria de carga externa o para actualizar el firmware.

Las conexiones a la planta o al proceso se realizan mediante entradas y salidas integradas, cuyo número viene determinado por la versión de la CPU. Las entradas y salidas integradas están diseñadas especialmente para el funcionamiento de los contadores de alta velocidad (HSC) integrados. El sistema operativo incluye generadores de impulsos con salida modulada por ancho de pulso y también los objetos tecnológicos Axis para el control de motores paso a paso y servomotores con interfaz de impulsos y PID Compact, un controlador PID con autoajuste optimizado.

Una tarjeta de señales (SB) permite ampliar las entradas y salidas integradas. La placa de comunicación (CB) crea una conexión punto a punto para la CPU y la placa de batería (BB) aumenta la reserva de energía del reloj de hardware integrado hasta aproximadamente un año.

Si se necesitan más entradas y salidas, se pueden conectar módulos de señal (SM) en la CPU, dependiendo de su versión. Están disponibles para señales digitales y analógicas. (Berger, H. 2013).

Una vez visto las tecnologías o dispositivos que están implicadas en el sistema de calentamiento se procede a hablar de las técnicas que se deben usar para el sistema.

Para esta segunda sección del marco teórico esta toda la parte de software y se denomina técnicas que se usan en el sistema para su funcionamiento.

3.4 CONTROLADOR PID

A pesar del rápido desarrollo de nuevos algoritmos de control, más del 90% de los reguladores de procesos continuos basados en el mercado continúan operando de acuerdo con una ley fundamental de control PID. Su integración con los sistemas de control puede tomar una variedad de formas:

- Como controlador independiente.
- Como componente de un control digital directo.
- Como componente de un control distribuido jerárquico.

En este capítulo, se expondrá la forma más simple de la estructura de control PID, la que se usa en la práctica. Cada término PID se explicará en detalle, junto con

cómo afecta a los demás y cómo se ha modificado para tratar de cumplir con la especificación deseada.

Control PID analógico:

Matemáticamente hablando, y considerando un sistema SISO (entrada simple - salida simple), para aproximar un sistema dinámico lineal a través de una ecuación diferencial ordinariamente lineal, se debe gobernar el controlador, ubicado en el lazo cerrado en función del umbral de error. por una ley que controla la forma de expresión. Ecuación 1.

$$u(t) = C + P(t) + I(t) + D(t) = C + k \cdot e(t) + k_i \cdot \int_0^t e(t)dt + k_d \cdot \frac{d}{dt} e(t) \quad 1.0$$

donde, C = Desplazamiento. - Tenga en cuenta que, si las condiciones iniciales se consideran nulas, siempre se puede asumir nulas. representa el nivel inicial de energía que debe suministrarse al sistema para que mantenga la estabilidad en un valor específico.

P(t) es igual a la acción apropiada. - Exagera o resalta el error regulatorio a través de una ganancia de proporcionalidad, k.

I(t) = Acción Integral. - Con el tiempo, el error de regulación se acumula y se mide por el parámetro ki (ganancia integral).

D(t) = Acción Derivativa. - Tener en cuenta puntualmente el incremento del error regulatorio calculado con el término kd (ganancia derivada).

Dado que las variables del problema siempre se pueden traducir adecuadamente para eliminar el elemento de compensación (C), la ecuación 2 representaría la ley de control en un formato paralelo o no interactivo:

$$u(t) = P(t) + I(t) + D(t) = k \cdot e(t) + k_i \cdot \int_0^t e(t)dt + k_d \cdot \frac{d}{dt} e(t) \quad 2.0$$

Siendo el diagrama de bloques para el sistema de control básico con pestillo cerrado el que se muestra en la Figura 1.

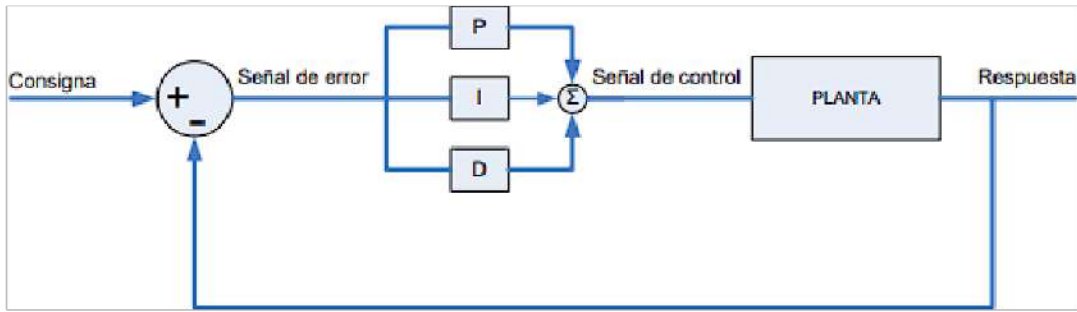


Figura 1. Sistema de control básico. Fuente: (Zayas Gato et al., 2020).

Aunque este estilo es el más popular en el mundo académico debido a su simplicidad, en la práctica no tiene sentido crear, por ejemplo, un controlador que solo tenga en cuenta $k=0$, $k=0$ y $k_d=0$. Por tratarse de una acción de control inmediato, es crucial que siempre aparezca la acción proporcional.

El formato estándar o ISA utilizado para definir la ley de control PID es Ecuación 3, que tampoco es interactivo.

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t e(t) dt + T_d \cdot \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad 3.0$$

donde,

K es la ganancia proporcional. - No hay unidades.

T_i = La integral del tiempo. - El tiempo se expresa a través de la repetición.

T_d significa derivación del tiempo. - Las unidades de tiempo se utilizan para expresar algo.

Este controlador se representa gráficamente en el diagrama de bloques que se muestra en la Figura 2.

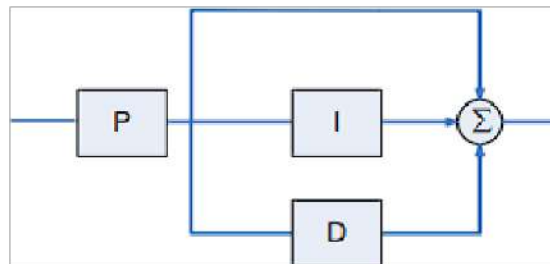


Figura 2. Esquema en bloques de PID. Fuente: (Zayas Gato et al., 2020)

Las relaciones mostradas en la Tabla 2 son satisfechas por los dos formatos no interactivos mencionados.

$k =$	K
$k_i =$	$\frac{K}{T_i}$
$k_d =$	$K \cdot T_d$

Tabla 2 Relación entre términos de PID. Fuente: (Zayas Gato et al., 2020)

Aunque los nombres de los diversos formatos PID varían, la nomenclatura utilizada por Astrom, K.J. y Hagglud, T. en el libro PID Controllers: Theory, Design, and Tuning se toma como estándar porque fue publicada por Instrumentation, Systems, and Sociedad de Automatización (ISA). Esta notación se utilizará en este trabajo. Algoritmo PID corresponde a una función de transferencia en la forma especificada en la Ecuación 4.

$$G_c(S) = \frac{U(S)}{E(S)} = K \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot S} + T_d \cdot S\right) \quad 4.0$$

(Zayas Gato et al., 2020)

Es un mecanismo de control que ayuda a regular la velocidad, temperatura, presión y caudal de un proceso, entre otros factores, a través de un circuito de retroalimentación. La diferencia entre nuestra variable real y la variable deseada es calculada por el controlador PID.

El controlador PID se compone de tres componentes: acción proporcional, integral y derivada. Es por eso por lo que el nombre "controlador PID" se refiere a estos tres componentes.

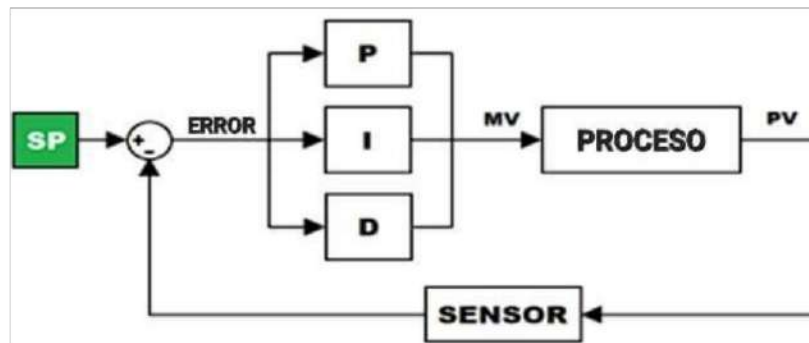


Figura 3. Circuito de retroalimentación de sistema de control. Fuente: (Velasco, 2022)

Acción de control proporcional

Esta acción de control es proporcional a la señal de error $e(t)$, como sugiere su nombre. Internamente, la acción proporcional multiplica la tasa de error por una constante K_p .

Esta verificación tiene como objetivo reducir las fallas del sistema. Cuando hay un error significativo, la acción de control es crucial y tiende a reducir el error.

Los siguientes efectos resultan del aumento del efecto proporcional de K_p :

1. Aumente la velocidad del tiempo de respuesta del sistema.
2. Reducción de errores en el sistema de estado estacionario.
3. empeora la inestabilidad del sistema.

Acción de control integral

Esta acción de control, como sugiere su nombre, integra la señal de error $e(t)$. La integral se puede considerar como la suma o el producto de la señal de error.

Se agregan pequeños errores con el tiempo para aumentar el tamaño general de la acción integral. Es posible disminuir el error del sistema haciendo esto.

La desventaja de usar la acción integral es que agrega algo de inercia al sistema, haciéndolo más inestable.

El aumento de K_i integral tiene los siguientes efectos:

1. Reduce el error del sistema de forma permanente.
2. Hace que el sistema sea más inestable.
3. Aumente ligeramente la velocidad del sistema.

Acción de control derivado

Esta acción de control es proporcional al resultado de la señal de error $e(t)$. Otra forma de referirse a la "velocidad" del error es a través de la derivación del error. El objetivo de la acción de control proporcional es siempre elevar la posición. El problema surge de tener en cuenta la inercia.

El sistema se alejará del punto de referencia cuando se mueva a alta velocidad debido a su inercia. Esto se construye usando impulsos y oscilaciones cerca de la referencia. Para evitar este problema, el controlador debe ser consciente de la rapidez con la que el sistema se acerca al punto de ajuste para poder detenerlo antes de que alcance el punto de ajuste deseado y evitar que el sistema se sobrepase.

Aumentar la constante de control derivada K_d tiene los siguientes efectos:

1. Mejora la estabilidad del sistema controlado.
2. Reduce un poco la velocidad del sistema.
3. Se mantendrá la imprecisión en el régimen permanente. (Velasco, 2022).

3.5 TIA PORTAL

El TIA PORTAL, también conocido como "Totally Integrated Automation Portal", está pensado como una herramienta que combina varios programas de software SIEMENS, incluidos SIMATIC STEP 7, WinCC y componentes y módulos para soluciones de sistemas de seguridad basadas en PC basadas en SIMATIC. Con

esto, se espera automatizar la planificación, el procesamiento y la operación de proyectos de manera más efectiva.

OPC, también conocido como Object Linking and Embedding (OLE) para control de procesos, es un estándar de comunicación que permite compartir datos entre varias aplicaciones de software a través de una interfaz estándar. A través de una aplicación OPC, es posible adquirir e interactuar con estos datos, realizando operaciones de lectura y escritura, en una aplicación de control y supervisión que se encuentra inmersa en una arquitectura cliente-servidor.

Se pueden integrar PLC, HMI y software como STEP 7, WinCC, OPC y otros tipos como Matlab, LabView y Excel, entre otros, para manejar numerosas aplicaciones y dificultades. Por ejemplo, el programa LabView se centra en la recopilación, automatización y comunicación de datos. Los programas que típicamente están compuestos por instrumentos virtuales se ejecutan en una computadora, lo que aumenta considerablemente su capacidad de procesamiento matemático. Estas características hacen de LabView una herramienta efectiva para monitorear sistemas complejos. (Álvarez Salazar & Mejía Arango, 2017).

3.6 PID Compact (algoritmo PID)

El algoritmo PID opera de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$y = K_p \left[(b * w - x) + \frac{1}{T_I * s} (w - x) + \frac{T_D * s}{a * T_D * s + 1} (c * w - x) \right] \quad 5.0$$

El significado de cada parámetro es:

y: Resultado obtenido del algoritmo PID

Kp: Ganancia proporcional

s: Operador laplaciano

b: Ponderación de la acción proporcional

w: Valor de referencia

x: Valor actual

TI: Tiempo de integración

a: Coeficiente para el retardo de la acción derivada (retardo de la acción derivada

$T_I = a * T_D$)

TD: Tiempo derivativo

c: Ponderación de la acción derivada

La siguiente figura muestra cómo se utilizan estos parámetros en el algoritmo PID.

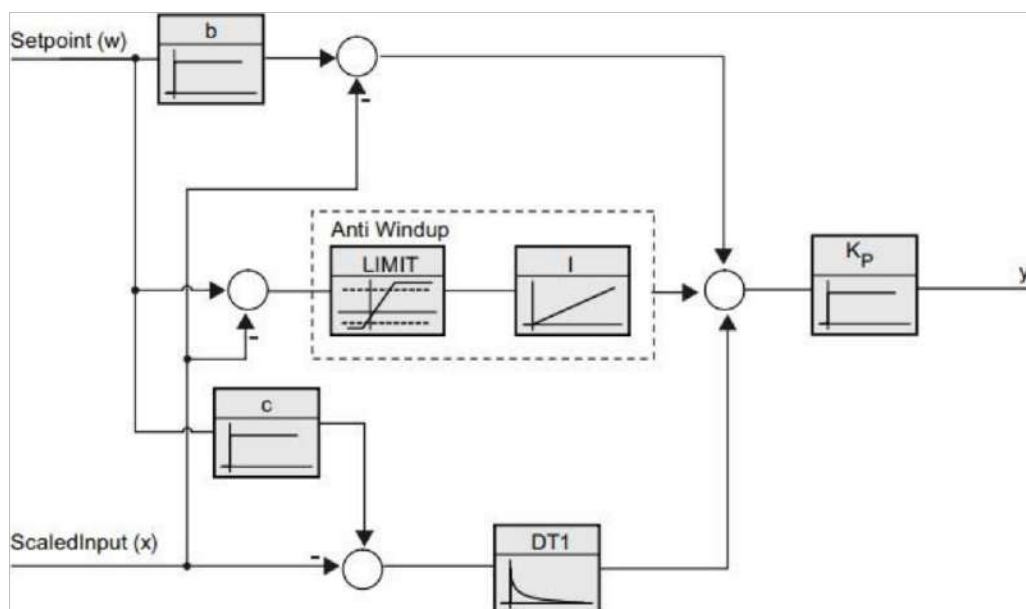


Figura 4. Ilustración de los parámetros en el algoritmo PID. Fuente: Siemens AG (2022).

Todos los parámetros del PID son importantes. Si se introducen manualmente los parámetros del PID, es necesario cargar completamente PID_Compact.

3.6.1 Ganancia proporcional

Este valor indica la amplificación de la señal del controlador proporcional. PID_Compact no funciona con una ganancia proporcional negativa. El sentido de control se invierte en la configuración básica > Tipo de control.

3.6.2 Tiempo de integración

El tiempo de integración determina la respuesta temporal de la acción integral. Se desactiva la acción integral cuando el tiempo de integración es igual a 0.0. Si se modifica el tiempo de integración en línea, en el modo de operación "Automático", de un valor arbitrario a 0.0, se restablece la acción integral actual y se produce un cambio brusco en la salida.

3.6.3 Tiempo derivativo

El tiempo de la acción derivativa determina la respuesta temporal de la acción derivativa. La acción derivativa se desactiva cuando el tiempo derivativo es igual a 0.0.

3.6.4 Coeficiente para el retardo de la acción derivativa

El coeficiente de retardo de la acción derivativa introduce un retraso en el efecto de la acción derivativa.

Retardo de la acción derivativa = Tiempo derivativo x coeficiente de retardo de la acción derivativa

- 0.0: La acción derivativa solo tiene efecto durante un ciclo y, por lo tanto, tiene poco efecto.
- 0.5: Este valor ha demostrado ser efectivo en sistemas regulados con una constante de tiempo dominante.
- > 1.0: Cuanto mayor sea el coeficiente, mayor será el retraso en el efecto de la acción derivativa.

3.6.5 Ponderación de la acción proporcional

Cuando se producen cambios en el valor de referencia, es posible atenuar la acción proporcional.

Se recomienda utilizar valores entre 0.0 y 1.0.

- 1.0: La acción proporcional es completamente efectiva al cambiar el valor de referencia.
- 0.0: La acción proporcional no tiene efecto al cambiar el valor de referencia.

Si se produce un cambio en el valor actual, la acción proporcional es completamente efectiva.

3.6.6 Ponderación de la acción derivativa

Cuando se producen cambios en el valor de referencia, es posible atenuar la acción derivativa.

Se recomienda utilizar valores entre 0.0 y 1.0.

- 1.0: La acción derivativa es completamente efectiva al cambiar el valor de referencia.
- 0.0: La acción derivativa no tiene efecto al cambiar el valor de referencia.

Si se produce un cambio en el valor actual, la acción derivativa es completamente efectiva.

3.6.7 Tiempo de muestreo Algoritmo PID

Calcular este valor durante cada ciclo no es razonable ya que el sistema regulado necesita un tiempo para reaccionar ante un cambio en el valor de salida. El tiempo de visualización del algoritmo PID es el intervalo entre dos cálculos del valor de salida. Esto se decide durante la optimización y se redondea a un múltiplo del tiempo de ciclo. Cada llamada ejecuta todas las demás funciones de PID_Compact. Cuando se usa Output_PWM, la duración del período de modulación de ancho de pulso por fuerza de impulso está determinada por el tiempo de visualización del algoritmo PID. La relación entre el tiempo de visualización del algoritmo PID y el tiempo de 82 determina la precisión de la señal de salida. Por lo tanto, se

recomienda que el tiempo de ciclo sea como máximo una cuarta parte del tiempo de visualización del algoritmo PID. Según el Manual de funciones de control PID S7-1500 de Siemens AG (2022), (p. 81).

3.7 Fine Tuning

La optimización fina genera una oscilación constante y limitada del valor real. A partir de la amplitud y la frecuencia de esta oscilación, se optimizan los parámetros PID para el punto de trabajo. Con los resultados obtenidos se recalculan todos los parámetros PID. Los parámetros PID obtenidos mediante la optimización fina muestran normalmente una mejor respuesta de referencia y a perturbaciones que los parámetros PID obtenidos en la optimización inicial.

Para obtener los mejores parámetros PID, es recomendable realizar una optimización inicial y una optimización fina.

PID_Compact intenta generar de modo automático una oscilación mayor que el ruido del valor real. La optimización fina solo se ve afectada muy levemente por la estabilidad del valor real. Los parámetros PID se guardan antes de recalcularlos.

- Si se inicia en modo automático, la optimización fina se realiza del siguiente modo:

Si desea corregir los parámetros PID existentes mediante la optimización, inicie la optimización fina desde el modo automático.

PID_Compact regulará con los parámetros PID existentes hasta que el lazo de regulación esté estabilizado y se cumplan los requisitos para una optimización fina. Solo entonces se iniciará la optimización fina.

- Si se inicia en modo inactivo o manual, la optimización fina se realiza del siguiente modo:

La optimización inicial se inicia cuando se cumplen los requisitos para la optimización inicial. PID_Compact regulará con los parámetros PID calculados hasta que el lazo de regulación esté estabilizado y se cumplan los requisitos para una optimización fina. Solo entonces se iniciará la optimización fina. Si la optimización inicial no es posible, PID_Compact reaccionará del modo configurado en "Response to error" (Comportamiento en caso de error).

Si el valor real ya se encuentra demasiado próximo a la consigna para realizar una optimización inicial, se intenta alcanzar la consigna con el valor de salida mínimo o máximo. Esto puede ocasionar una notable sobreoscilación.

Los cálculos que realiza el apartado de Fine Tuning pueden variar según el tipo de usos que se vaya a hacer del sistema PID.

Hay una serie de pasos que realiza el Fine Tuning para determinar los valores que conformarán el sistema PID, estos son los siguientes:

1. Recopilación de datos: El programa TIA Portal recopila datos en tiempo real del sistema controlado, como las señales de entrada, las salidas y las respuestas del proceso.
2. Análisis de datos: Utilizando los datos recopilados, el programa TIA Portal realiza un análisis para determinar el rendimiento actual del sistema y detectar posibles áreas de mejora.
3. Ajuste de parámetros: Basándose en el análisis de datos, el programa realiza cálculos para ajustar los parámetros del controlador PID, como la ganancia proporcional (K_p), el tiempo de integración (TI) y el tiempo derivativo (TD). Estos cálculos se basan en algoritmos específicos y técnicas de optimización.
4. Evaluación del rendimiento: Después de ajustar los parámetros, el programa evalúa el rendimiento del sistema utilizando los nuevos valores del controlador PID. Esto puede implicar la comparación de la respuesta del sistema con las consignas deseadas y el análisis de las métricas de rendimiento, como el tiempo de respuesta, la estabilidad y el error.
5. Iteración y refinamiento: Si el rendimiento del sistema no es satisfactorio, el programa TIA Portal puede realizar iteraciones adicionales de ajuste de parámetros y evaluación del rendimiento hasta alcanzar los resultados deseados. Esto puede implicar cambios incrementales en los valores de los parámetros y una evaluación continua del impacto en el rendimiento del sistema. Siemens AG (2017), el documento SCE-052-300

4. METODOLOGÍA

4.1 Fase 1. Chequeo de los componentes con los que se cuentan y estado de dichos componentes.

Como punto de partida se dirigió a ver el estado de la cámara de calentamiento y sus conexiones, una vez revisado su estado y comprender sus conexiones, se realizan pruebas de funcionamiento para determinar con qué elementos se cuenta. Seguidamente se procede a desmontar el cableado desatornillando los cables que están en los bornes de conexión. Terminada esta tarea se relacionan los materiales que se tienen a disposición: la resistencia del horno, el ventilador del horno y los dos relés de estado sólido para la activación de cada uno de estos.



Figura 5. Resistencia eléctrica para parrilla. Fuente: propia



Figura 6. Ventilador. Fuente: propia



Figura 7. Relé de estado sólido para activar la resistencia eléctrica. Fuente: propia



Figura 8. Relé de estado sólido para activar el ventilador. Fuente: propia

El método más simple para comprobar si los relés funcionan, es tomar una fuente de voltaje y un multímetro. Con el multímetro se mide la resistencia que hay entre las conexiones de salida. Sin alimentación, el valor leído por el multímetro en ohmios debe ser muy alto, pues se está midiendo la resistencia de un corto. Una vez visto que la resistencia mostrada por el multímetro es alta, se procede a suministrar voltaje por la entrada, específicamente un voltaje entre 4-32 voltios. Al activar la fuente de voltaje, la resistencia que lee el multímetro debe registrar aproximadamente 1300 ohm y el led testigo del relé se debe encender indicando que está conectado. Este proceso se realizó en el otro relé, demostrando así que dichos elementos estaban en buenas condiciones, las conexiones se pueden ver en la figura 8.

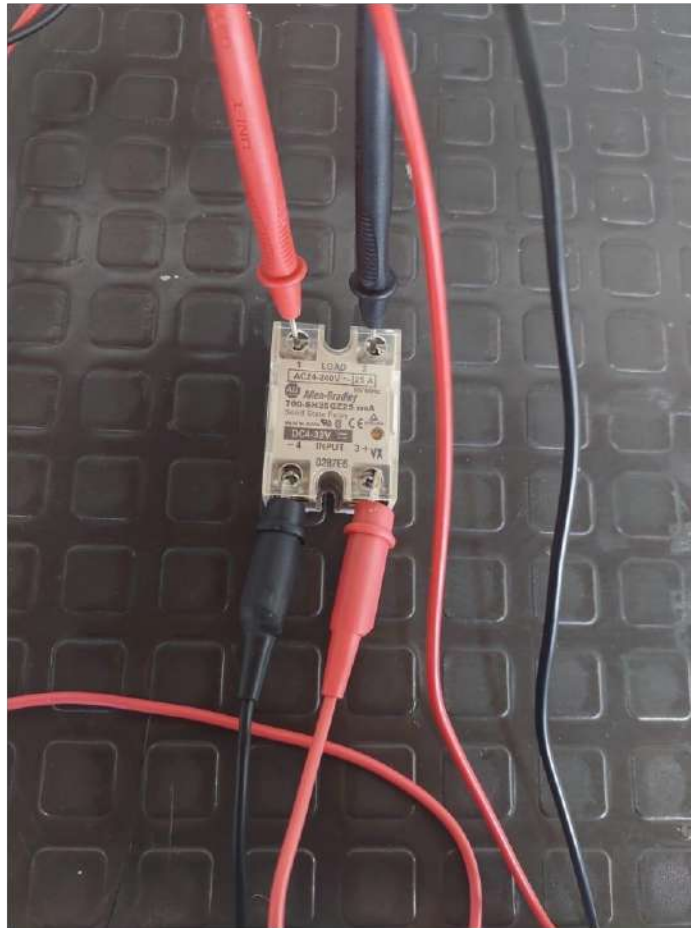


Figura 9. Conexión para la prueba del relé de estado sólido. Fuente: propia

Luego se conectaron los relés a las conexiones del ventilador y la resistencia con respecto a las fases. Con una batería de 9 voltios se activa el relé, comprobando que se activa el ventilador y para el caso de la resistencia esta empieza a calentarse.

Para saber cuáles son los componentes exactos que se necesitan para ese sistema se procede a investigar sobre el tema, específicamente sobre modelos de cámaras de calentamiento y componentes necesarios para poner en marcha un sistema como estos con un PLC, con lo cual se encontró que a parte de lo que ya teníamos, teniendo en cuenta el sensor RTD PT100 de 3 hilos, se necesitaba un transmisor que fuese capaz de convertir el valor de la resistencia enviada por el sensor RTD a una corriente dentro de un rango predeterminado de $0^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ con una relación en corriente directamente proporcional de $4\text{mA} - 20\text{mA}$, lo cual servirá para ajustar los valores de PID.

Teniendo en cuenta los parámetros deseados e investigados, se procede a gestionar la compra del transmisor y el sensor RTD. Para el caso del transmisor dicha compra fue rápida y sencilla, pero para el sensor RTD no se encontró uno con las

especificaciones deseadas, el cual era uno con un bulbo de 15cm de largo, un cabezote de controlador de más de 3.5 pulgadas y una rosca de ½ pulgadas, para un rango de 0°C – 200°C, pero a diferencia del anterior el más parecido que se encontró a un presupuesto razonable fue un sensor RTD con un rango de -50°C - 400°C y un bulbo de 10cm tan cual como se ve en los anexos o en el marco teórico.

4.2 Fase 2. Creación del software para el sistema de la cámara de calentamiento.

En la espera de la llegada de los componentes se procede a estudiar el marco teórico, tanto los PID relacionados con los sistemas de calentamiento como el programa TIA PORTAL y las conexiones necesarias para que el PLC funcione correctamente.

Una vez estudiado todo el software y realizadas las pruebas de ejemplo de cómo activar contactores, los diferentes temporizadores, contadores, funciones de cómputo y sobre todo de cómo funciona el bloque denominado PID compact. Se tiene una idea base de todas las funciones para proceder a la creación del proyecto para el programa.



Figura 10. Accesos directo TIA PORTAL V17. Fuente: propia.

Se le da doble clic a este acceso directo y se abrirá la siguiente ventana figura 11.

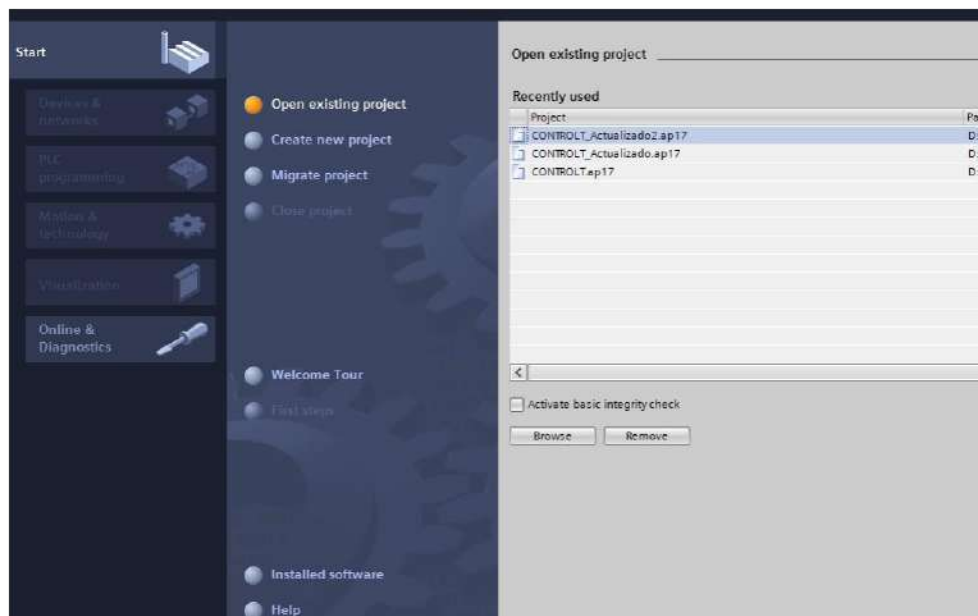


Figura 11. Ventana de inicio en TIA PORTAL. Fuente: propia.

Se presiona en la parte de crear un nuevo proyecto y aparecerá la siguiente ventana, figura 12.



Figura 12. Ventana de creación de nuevo proyecto TIA PORTAL. Fuente: propia.

En esta parte se puede cambiar el nombre del archivo, el lugar de guardado y el autor, una vez hecho eso y después de darle al botón de “crear” se abrirá la siguiente ventana, figura 13.

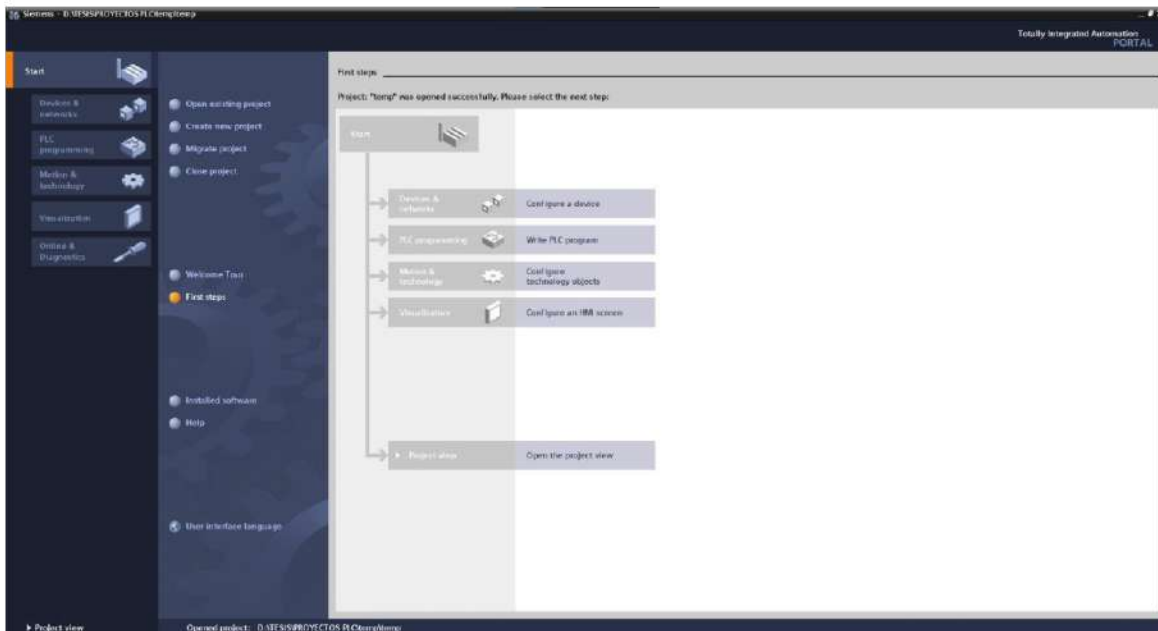


Figura 13. Ventana de entrada al proyecto TIA PORTAL. Fuente: propia.

Una vez en esta ventana se hace clic en la parte inferior izquierda donde dice “visualizar proyecto”. Y se abrirá la siguiente ventana, figura 14.

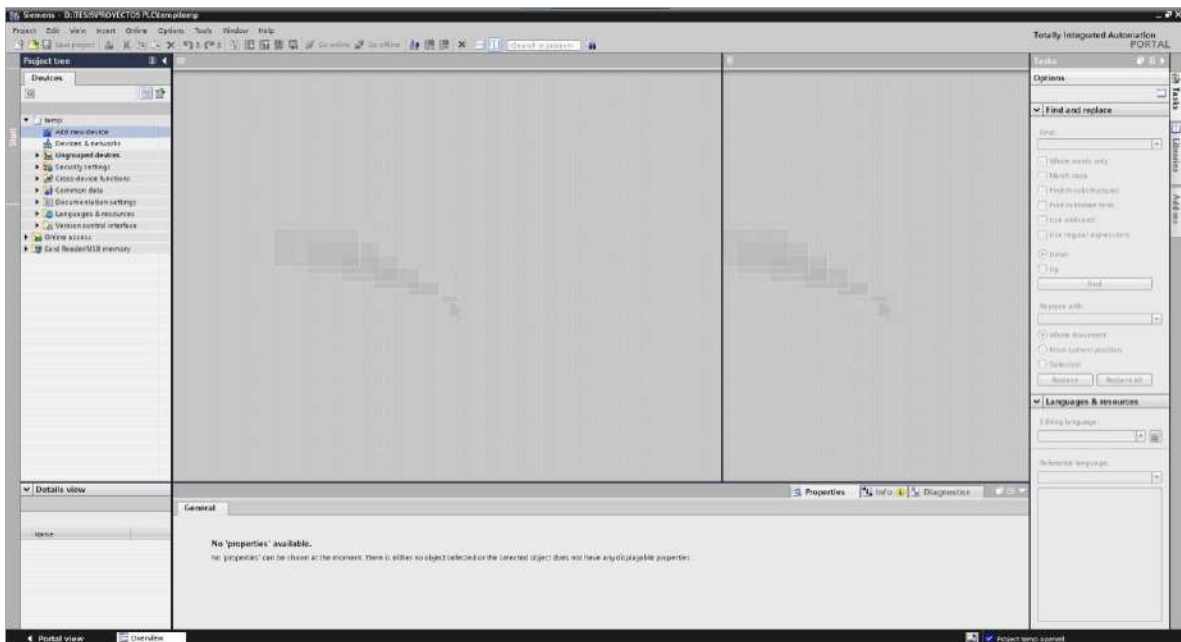


Figura 14. Ventana del proyecto TIA PORTAL. Fuente: propia.

En esta parte se presiona la parte que dice “añadir un nuevo dispositivo” y aparecerá la siguiente ventana, figura 15.

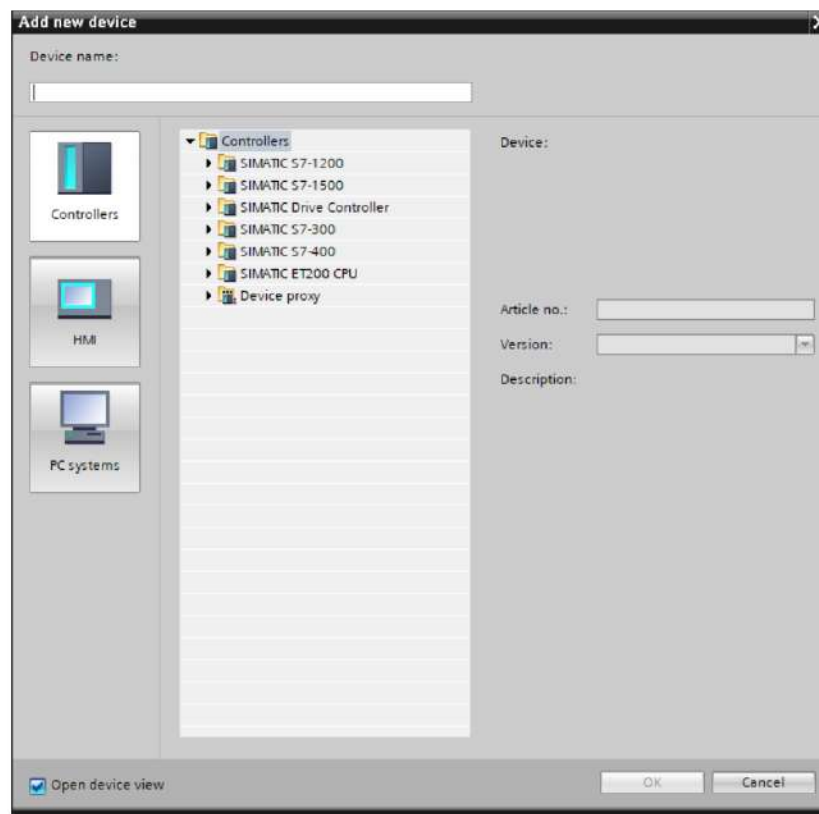


Figura 15. Ventana añadir nuevo dispositivo TIA PORTAL. Fuente: propia.

En esta ventana se selecciona el PLC con el que se cuenta físicamente, para ello se le pregunta al director de tesis, resultando ser: (SIMATIC S7-1200)/(CPU)/(CPU 1214C DC/DC/DC) / 6ES7 214-1AG31-0XB0. Pero hay un problema con esta versión y es que no se puede simular, entonces se realizarán pruebas en otra versión y con base a los resultados, se programará en esta versión para posteriormente probar en el laboratorio. Se selecciona la versión como se muestra en la figura 16.

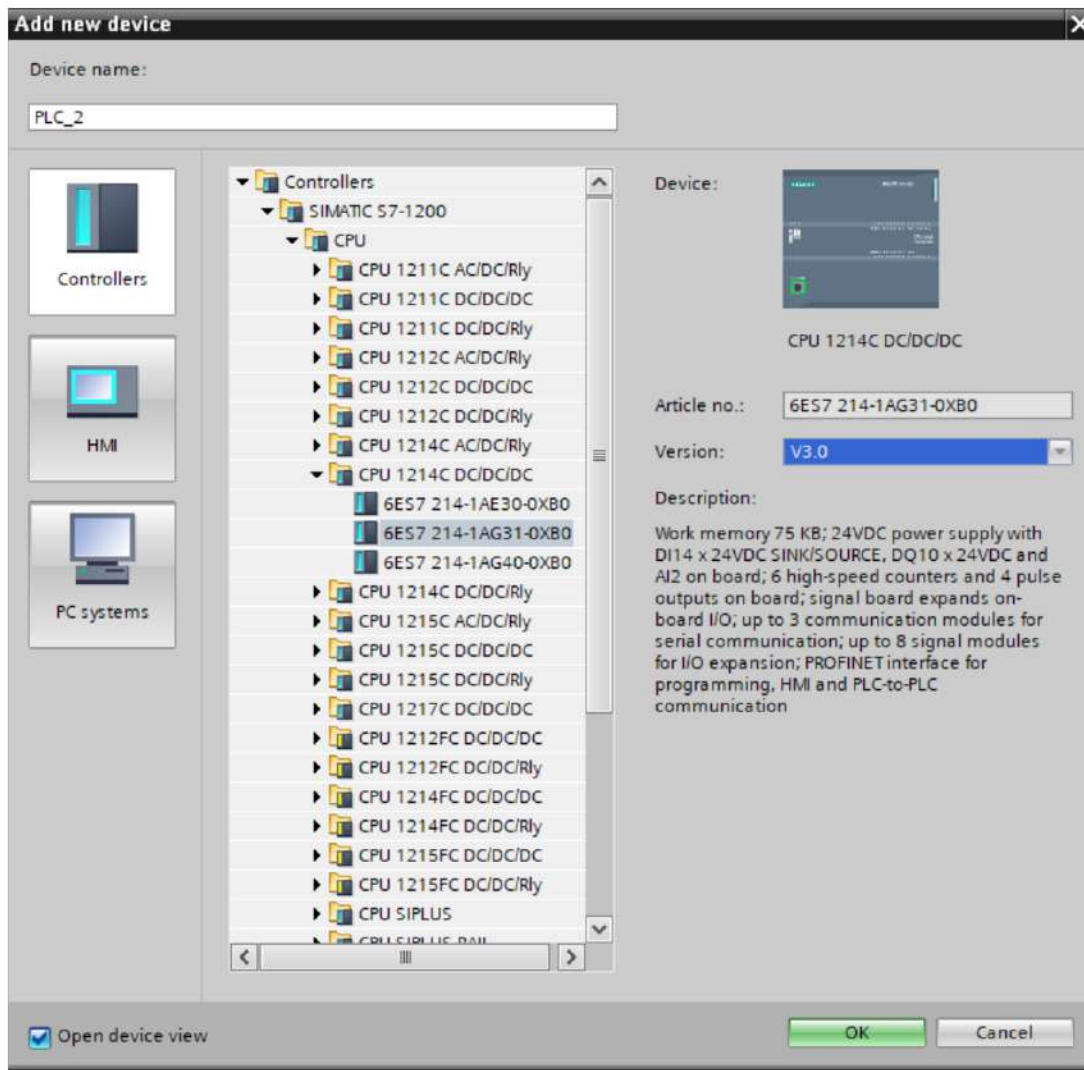


Figura 16. Ventana selección del dispositivo en TIA PORTAL. Fuente: propia.

Una vez seleccionado el dispositivo aparecerá el inicio del proyecto y sus partes como se puede ver en la figura 17.

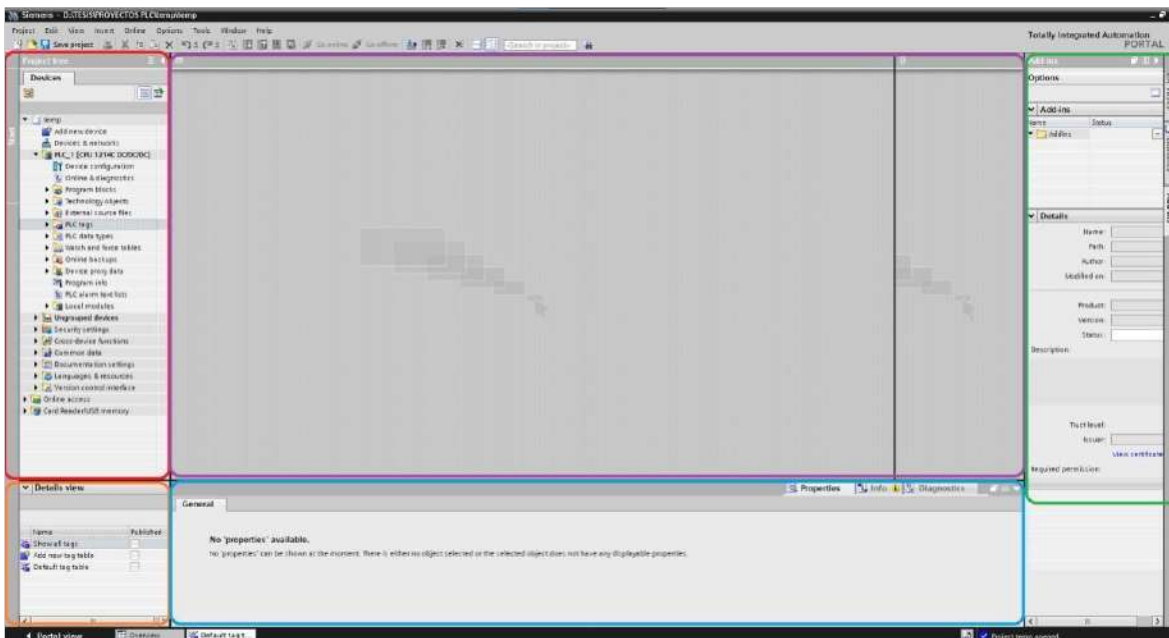


Figura 17. Ventana inicio del proyecto en TIA PORTAL. Fuente: propia.

Como se puede ver en la figura 17, se divide en secciones separadas la pantalla de inicio con cuadros de distintos colores que se colocaron para diferenciar con mayor facilidad las partes de este. En el cuadro rojo está el árbol del proyecto, donde están las principales funciones de este y lo que lo componen. La parte naranja es una vista previa de las variables. La parte violeta es el espacio destinado a visualizar todas las ventanas que se abran. La parte azul es ese apartado de configuraciones para ciertas operaciones y finalmente, la parte verde son adiciones extras que en algún momento las vamos a necesitar.

Para empezar con la configuración en Ladder se da clic en el apartado que dice “bloque de programas” y seleccionamos el denominado “Main [OB1]” como se muestra en la figura 18.



Figura 18. Bloque de programas TIA PORTAL. Fuente: propia.

A este se le puede cambiar el nombre, el cual será “Base”. Llegados a este punto, el siguiente paso es empezar con la programación del Ladder.

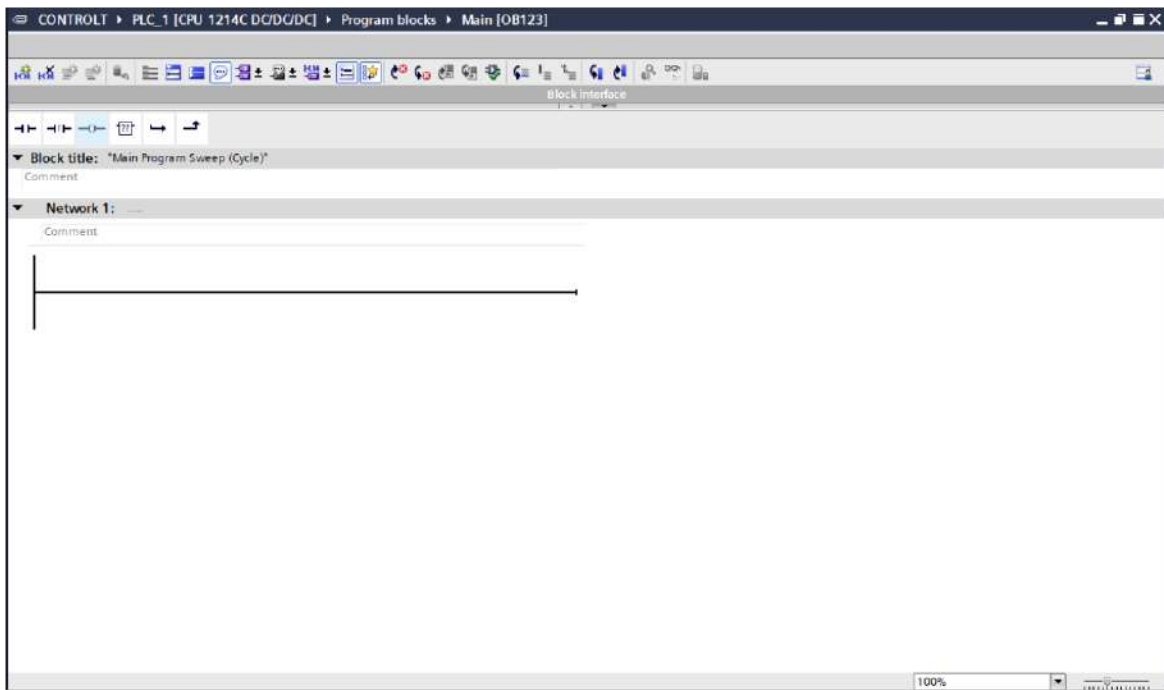


Figura 19. Ventana del bloque Main. Fuente: propia.

En la rama, se le pueden añadir los contactores o cualquier otro bloque de acción o función que se desee implementar, en la parte superior de la rama se pueden ver dichos contactores, en los cuales está los siguientes, mencionados de izquierda a derecha: el con normalidad abierto, normalmente cerrado, las bobinas, la caja vacía o libre que se refiere a un bloque de operaciones donde según el nombre colocado se comportará de una u otra forma y las funciones para abrir o cerrar la rama.

Se va a empezar creando el sistema de inicio y apagado principal de todo el sistema, como se ve en la figura 20.

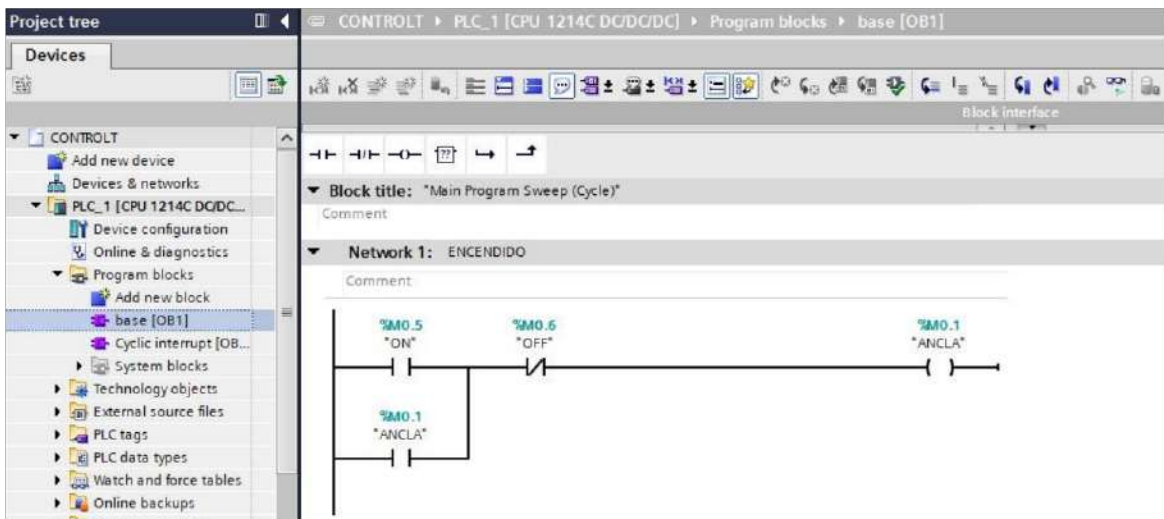


Figura 20. Creación encendida/apagado del sistema. Fuente: propia.

Como se puede ver es un sistema simple de encendido y apagado con memorias/contactores y actuadores, en el cual si se presiona la memoria por nombre "ON" se activará la rama principal y la bobina por nombre "ANCLA" funcionaría como un suministro constante de corriente, ya que la memoria "ON" no se mantiene cerrada todo el tiempo ya que es un botón, cuando por la bobina "ANCLA" deje de pasar corriente, el sistema se apagará y esto se consigue con esa memoria "OFF" en serie.

Ahora bien, en el sistema que se está trabajando hay que entender cómo funcionan las conexiones desde el sensor RTD hasta el PLC. Como se sabe el sensor RTD lee la temperatura y la reinterpreta como cambios en la resistividad del material que está hecho, siendo así que para el caso de una PT100 la resistencia a 0°C es de 100 Ohmios y para una temperatura de 100°C se obtendrá una resistencia de 138,51 Ohmios. Con base a eso se puede hacer una conversión de valores y encontrar la resistencia en determinadas temperaturas.

Una vez el sensor envía esa señal en forma de resistencia, el transmisor lo leerá y lo reinterpretará en una escala de corriente, que para el caso escogido es una escala de 4Ma – 20mA para una lectura de una temperatura de 0°C – 200°C, en este punto al PLC le va a llegar una entrada analógica, la cual así de simple el PLC no es capaz de leerlo. Obviando ciertos parámetros de conexión física los cuales se van a mencionar más adelante, tenemos una entra análoga la cual debemos transformar a términos entendibles para el PLC y esto se logra normalizando y escalando la señal, como se ve en la figura 21.

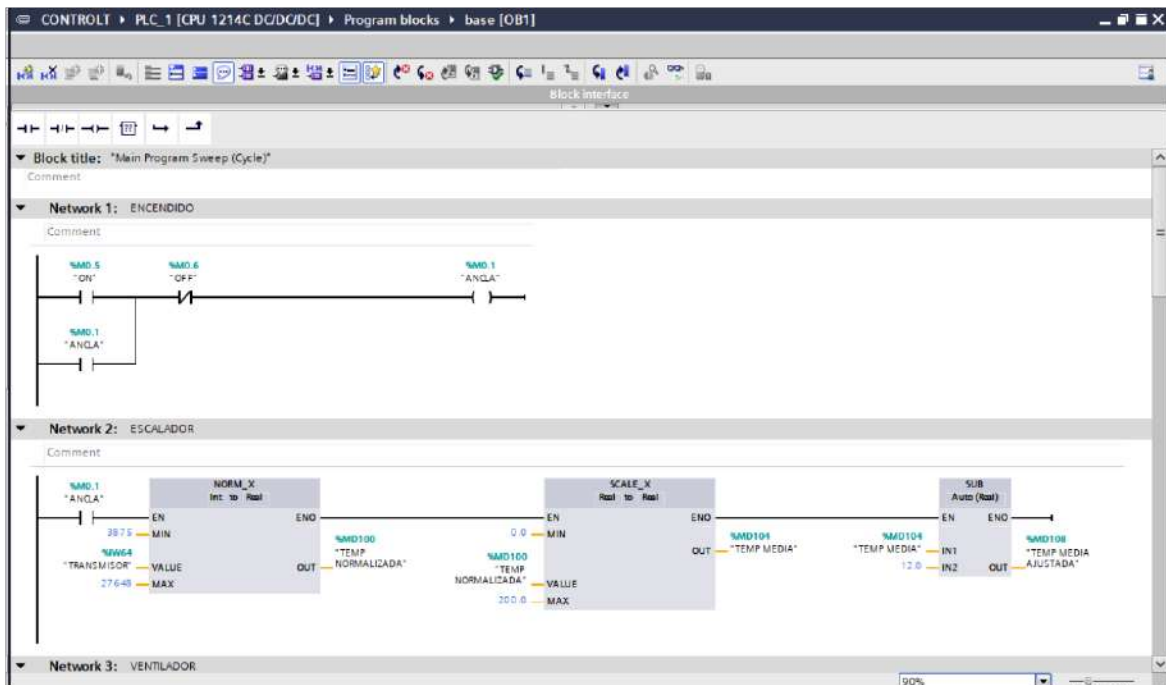


Figura 21. Creación escaladora del sistema. Fuente: propia.

Se coloca la memoria del “ANCLA” para asegurar que el sistema solo esté encendido/apagado cuando el usuario lo decida. Posteriormente se coloca la caja vacía y se le asigna el nombre “NORM_X” el cual es el bloque de normalización. Este bloque de operaciones a su entrada toma los valores de una entrada analógica entre un rango de 0 – 27648, siendo que si el transistor envía una corriente de 4mA el “NORM_X” lo interpretará como un 0 y si el transmisor envía 20 mA él lo determinará como un 27648, esto se puede ver mejor en la figura 22.

En el apartado de Value va la entrada de tipo analógica que en este caso es la %IW64 donde se conecta uno de los hilos que salen del transmisor llevando el nombre de “TRANSMISOR”.

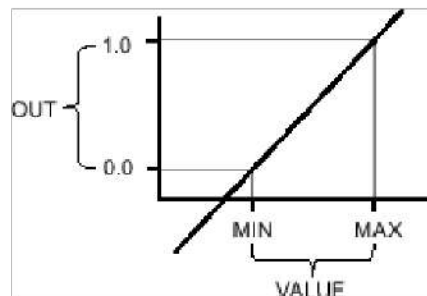


Figura 22. Gráfica de la instrucción NORM_X, help TIA PORTAL. Fuente: propia.

Una vez él tenga un rango en el cual leer los valores de entrada, ya que estos se pueden modificar de acuerdo al rango que se desee manejar, como se puede ver en la figura 22, la cual es una figura del sistema final se puede ver que el valor mínimo del valor de entrada no es 0, en cambio es 3875, y esto se debe principalmente al rango del sensor RTD, el cual tiene un rango de -50°C a 400°C no concordaba con los valores tolerables por el transmisor, generando grandes diferencias entre el las lecturas del PLC y las que mostraba el termómetro bimetalico, ubicado en la parte superior del horno, realizando pruebas se llegó a ese valor. dándonos una precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Luego el bloque "NORM_X" normaliza los valores entre 0 – 1 escalado linealmente, y la salida de esto la cual es un variable de memoria (real) denominada variable cálculo, la cual se nombró como "TEMP NORMALIZADA", va directamente a la entrada del bloque "SCALE_X" el cual toma los valores entre 0 – 1, la cual es la variable de salida del "NORM_X" llamada calculo y realiza una escala y los rangos de salida son el límite mínimo y máximo que le dé el usuario, en este caso, para un temperatura entre 0°C – 200°C la cual es la que lee el transmisor y la que se quiere obtener, como se ve en la figura 23.

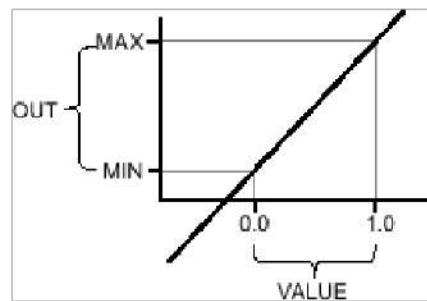


Figura 23. Gráfica de la instrucción SCALE_X, help TIA PORTAL. Fuente: propia.

La salida es del mismo tipo que la del "NORM_X" (real) la cual tiene por nombre "TEMP MEDIA", ahora se tendría el valor que lee el sensor RTD.

El siguiente bloque de operaciones que se puede visualizar en la rama es un bloque de resta "SUB" el cual se utiliza para restarle a la salida del "SCALE_X" por el margen de error, así que toma la salida de este y se le resta con un valor del error para obtener la temperatura exacta. La salida de este bloque de operación también es una memoria de tipo (real) la cual se le llamó "TEMP MEDIA AJUSTADA".

Este horno cuenta con un ventilador y su principal función es sacar aire caliente para bajar la temperatura dentro de la cámara de calentamiento. Para ello se implementará un sistema para que el ventilador se encienda cuando el horno alcance ciertas temperaturas. Esto se logró como se ve en la figura 24.

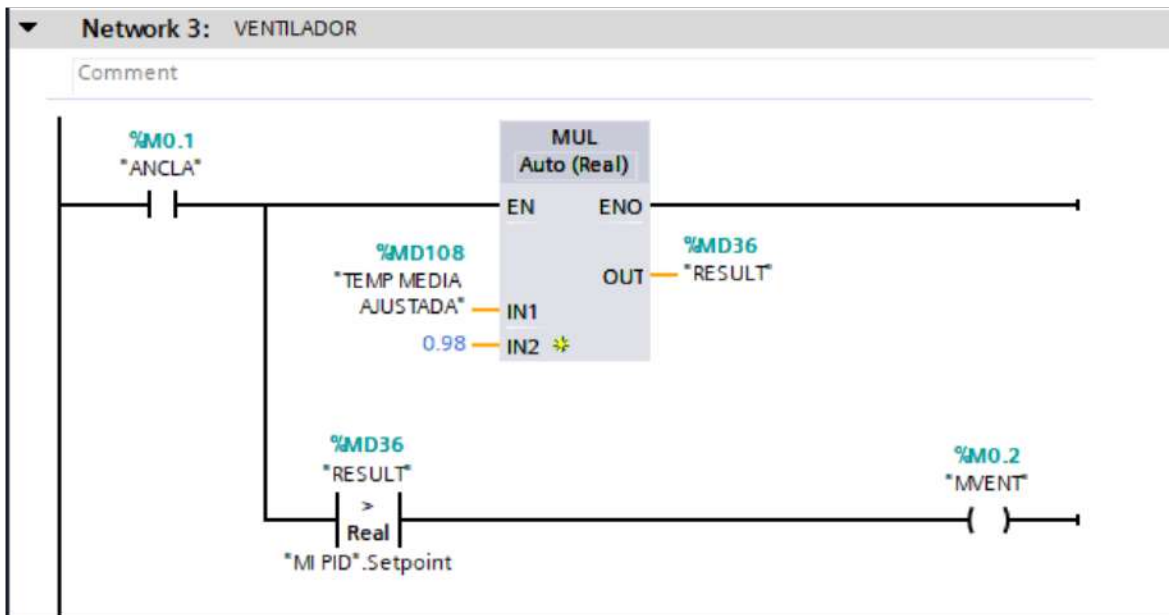


Figura 24. Creación auto activación del ventilador. Fuente: propia.

En una nueva línea se mantiene el “ANCLA” por la razón dicha anteriormente, luego se coloca una caja vacía con el nombre de “MUL” el cual es el bloque de multiplicación y con esto se busca que el ventilador se active desde cierto punto de temperatura, en este caso es a un 2% más que el valor de la temperatura real, para entender esto, se toma como ejemplo un Setpoint de 100°C como se puede ver en la rama paralela esta una función mayor que (>) siendo que el resultado del bloque de multiplicación “RESULT” tiene que ser mayor al Setpoint, entonces si en la temperatura real llega a 100°C esta se multiplicaría por 0.98, dando como resultado 98°C, por lo tanto a pesar que el horno ya haya alcanzado la temperatura del Setpoint el ventilador no se encenderá a menos que la temperatura “RESULT” sea mayor a 100°C, entonces para este caso, la temperatura que el horno debe alcanzar para que el ventilador se encienda debe ser de un poco más de 102°C.

Esto se hace con el objetivo de que el PID tenga tiempo de reaccionar, además, como el valor real va a estar oscilando en el Setpoint el ventilador se encendería con cada pico de temperatura que sea superior al Setpoint, generando inestabilidad en el control del PID.

En la figura 25. Se muestra el sistema de encendido del ventilador.

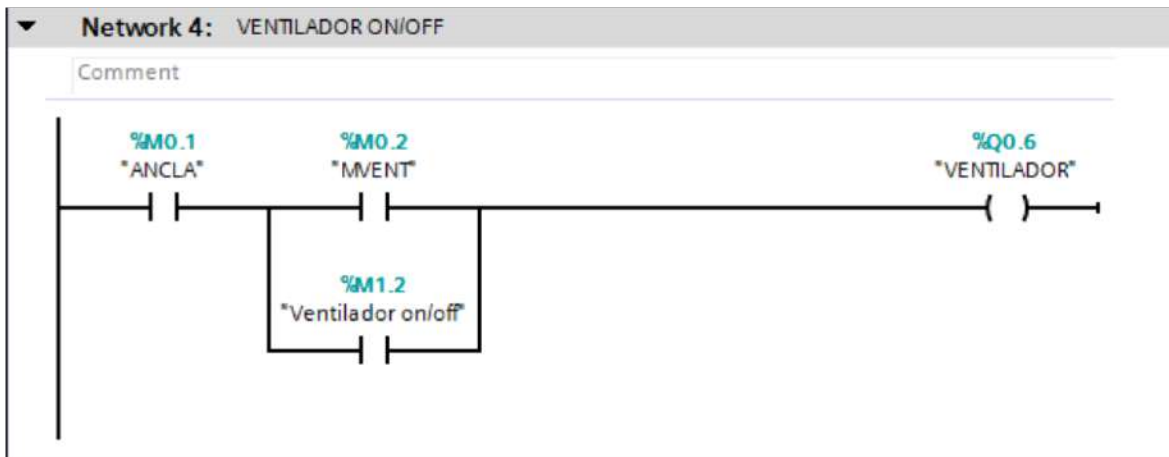


Figura 25. Creación activación del ventilador manual y por la memoria. Fuente: propia.

En este apartado si las condiciones anteriores se cumplen, el ventilador se activará automáticamente, pero si por alguna razón el usuario desea activar de forma manual el ventilador, lo puede hacer activando el contacto %M1.2 llamado "Ventilador on/off".

Ahora, como regla general, todo lo que se basa en calentar algo tiene un temporizador, para ello se creó el siguiente apartado, como se ve en la figura 26.

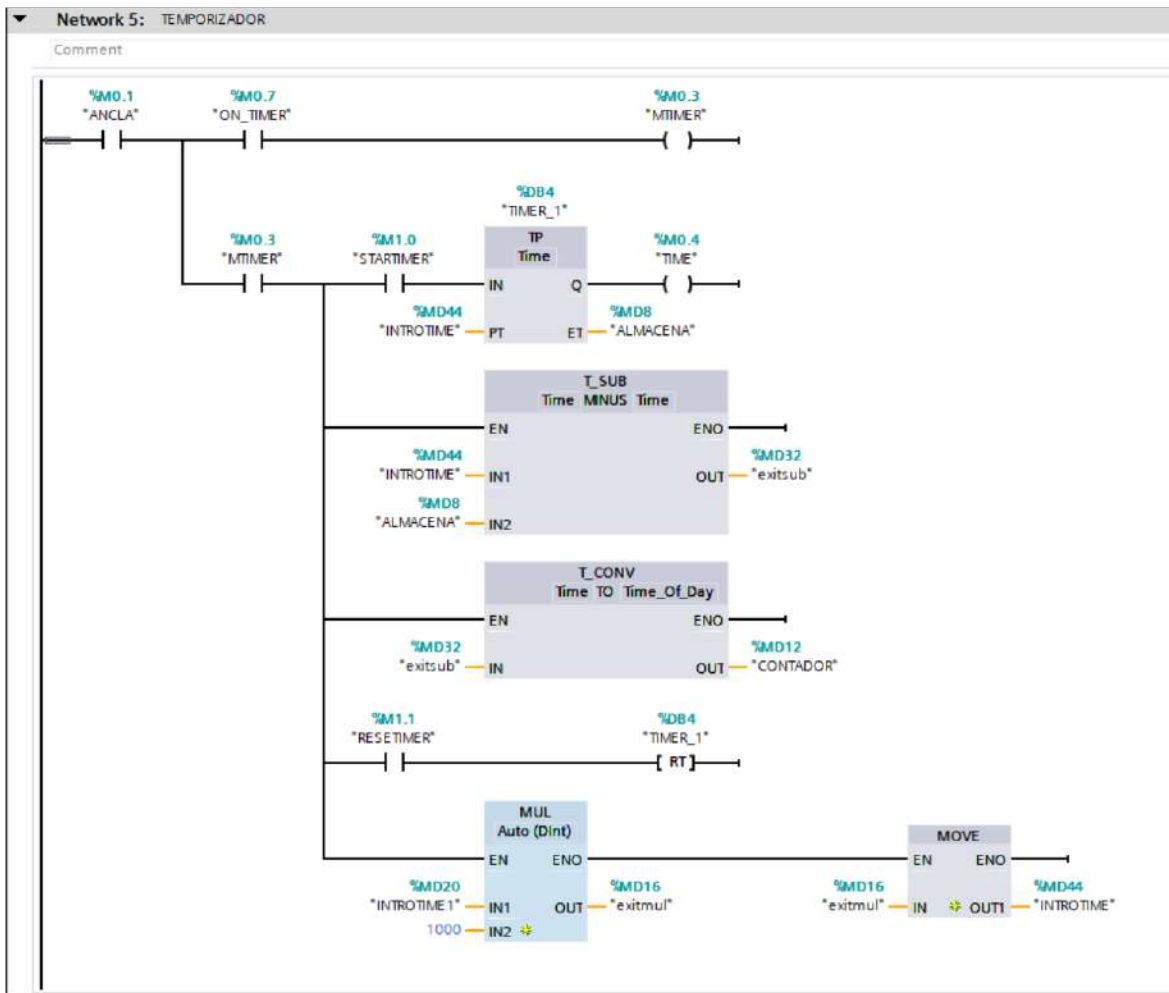


Figura 26. Creación del temporizador. Fuente: propia.

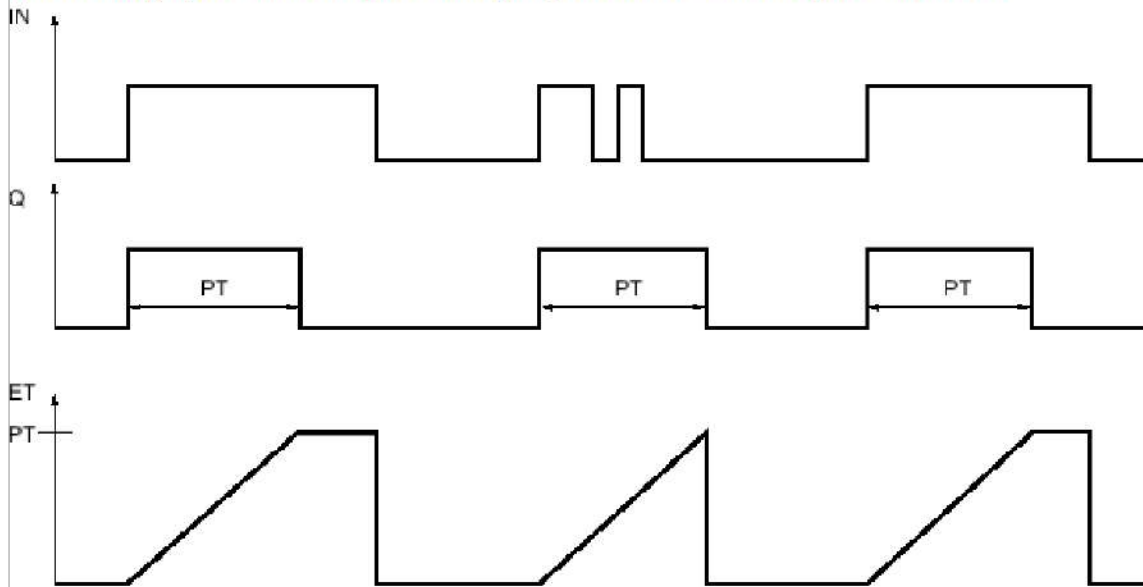
Como siempre de primero en cada rama el “ANCLA” después una memoria llamada “ON_TIMER” la cual servirá como un switch para activar la función de temporizador y desactivar la función de auto running, la cual se mostrará más adelante. Una vez activado “ON_TIMER” el sistema está a la espera de iniciar el conteo de forma regresiva, a continuación, se detallará como se realizó esto.

Al activarse la memoria “STARTIMER” le envía corriente a todo el sistema que está conectado a su derecha, en este apartado se encuentran los bloques de time “TP”, “T_SUB”, “T_CONV” y la memoria de “RESETIMER” la cual reinicia y pausa el contador y a su vez el sistema. Como se puede ver, se le colocó una bobina “RT” el cual reinicia cualquier temporizador con el nombre que se le asigne, en este caso el del temporizador “TP” con nombre “TIMER_1”.

Para entender el funcionamiento del temporizador “TP” es necesario observar la figura 27.

Pulse timing diagram

The following figure shows the pulse timing diagram of the "Generate pulse" instruction:



Example

The following example shows how the instruction works:

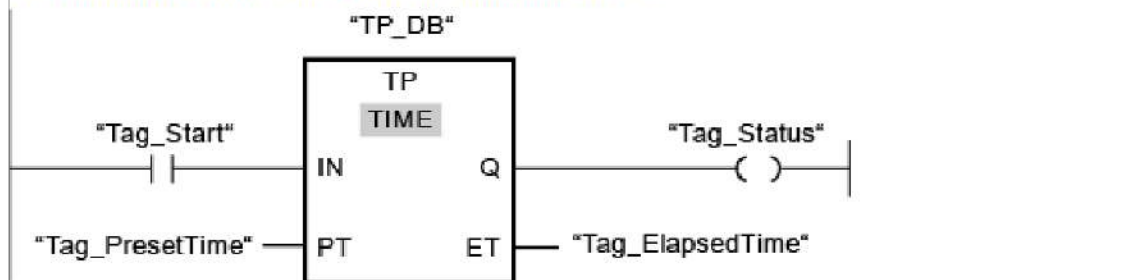


Figura 27. Gráfica del temporizador TP, help TIA PORTAL. Fuente: propia.

En la figura 27 se puede ver el funcionamiento de este bloque, el cual consiste en dos entradas, una de activación (IN) la cual puede ser un pulso o una alimentación constante, el temporizador se activará cuando haya un cambio de 0 – 1 en la entrada el temporizador empezará a contar el tiempo que se le asigne, en la otra entrada "PT" y a la salida Q, que activará una bobina el tiempo deseado, la otra salida es un contador "ET" el cual lleva la cuenta de forma ascendente del tiempo.

Para este caso "INTROTIME" es una memoria donde el usuario podrá ingresar el tiempo que desee y la bobina "TIME" activaría el temporizador y por ende el horno en ese tiempo ya se tiene un temporizador, pero hay dos problemas, uno de los valores de tiempo que lee este temporizador con una memoria como un acceso son en ms y para tiempos de 10 minutos sería incomodo digitar tantos números y segundo el tiempo que cuenta el temporizador "ET" es en forma ascendente y por

lógica todos los temporizadores de cualquier sistema de calentamiento cuentan de forma regresiva, y por eso están los demás bloques.

Ahora bien, para que todo funcione hay que tener en cuenta lo siguiente, la memoria por donde el usuario va a digitar lo datos será por "INTROTIME1" de tipo time el cual va a un bloque de multiplicación y se multiplicará por 1000, ya que se pretende pasar ese valor a milisegundos, siendo así que si el usuario digita 5s eso se convertiría en 5000 ms, la salida de esta multiplicación "estimulo" va a la entrada de otro bloque colocado en serie denominado "MOVE" el cual mueve el valor que tiene una memoria a otra memoria, en este caso de "exitmul" a "INTROTIME", como se puede ver en la figura 26.

En este punto se resolvió un problema, ahora viene otro. Para ello está el bloque de "T_SUB", el cual es capaz de restar tiempos. La forma de hacer un tiempo regresivo es mediante la diferencia de dos tiempos: "INTROTIME" menos "ALMACENA", este último es la salida del temporizador "TP". Por ejemplo, si el usuario introduce un tiempo de 5 segundos y la memoria "ALMACENA" está en 0 segundos, el resultado de la resta sería 5 segundos. Pero si "ALMACENA" es 1 segundo, el resultado sería $5 \text{ segundos} - 1 \text{ segundo} = 4 \text{ segundos}$, y si es $5 \text{ segundos} - 2 \text{ segundos} = 3 \text{ segundos}$, y así sucesivamente. De esta manera, se puede observar cómo el tiempo va en forma regresiva.

Sin embargo, si el usuario desea saber cuánto tiempo falta, verá el valor de la memoria "exitsub", la cual estará en milisegundos y eso es muy complicado. Para que ese sistema sea más adecuado para valores comunes, se utiliza el bloque "T_CONV", el cual convierte las variables del tipo "Time" al tipo "Time_Of_Day". Esto significa que toma los valores en términos de milisegundos y los transforma a términos de horas del día (00:00 AM/PM). De esta manera, en la salida, la memoria "CONTADOR" mostrará al usuario el tiempo restante en términos de minutos/segundos.

Ahora se debe crear un bloque de función como en la figura 28.

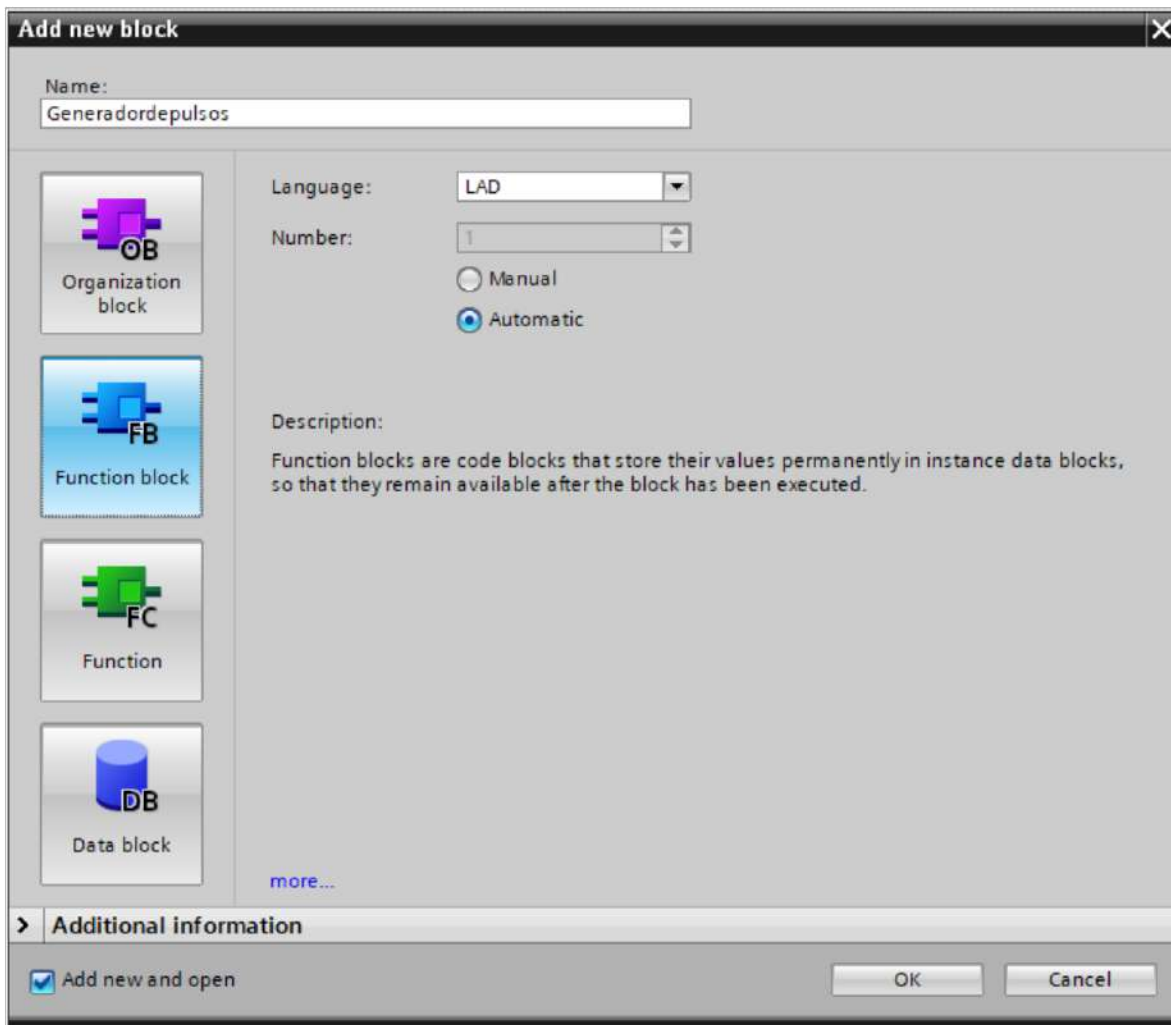


Figura 28. Añadir bloque de funciones. Fuente: propia.

En este bloque se crean un generador de pulso, para ello se toman dos temporizadores “TON” uno determinará el tiempo del pulso en 1 y el otro el tiempo del pulso en 0, “TIEMPO_ON” y “TIEMPO_OFF” respectivamente, siendo que la salida del “TIEMPO_ON” activará el temporizador del “TIEMPO_OFF” y la salida de este va a reiniciar el “TIEMPO_ON”. Para el tiempo de entrada se define con “local in” y “DInt” para colocar el tiempo en un bloque de datos. Los pulsos se activarán siempre y cuando “TIEMPO_ON este cambiando, como se ven la figura 29.

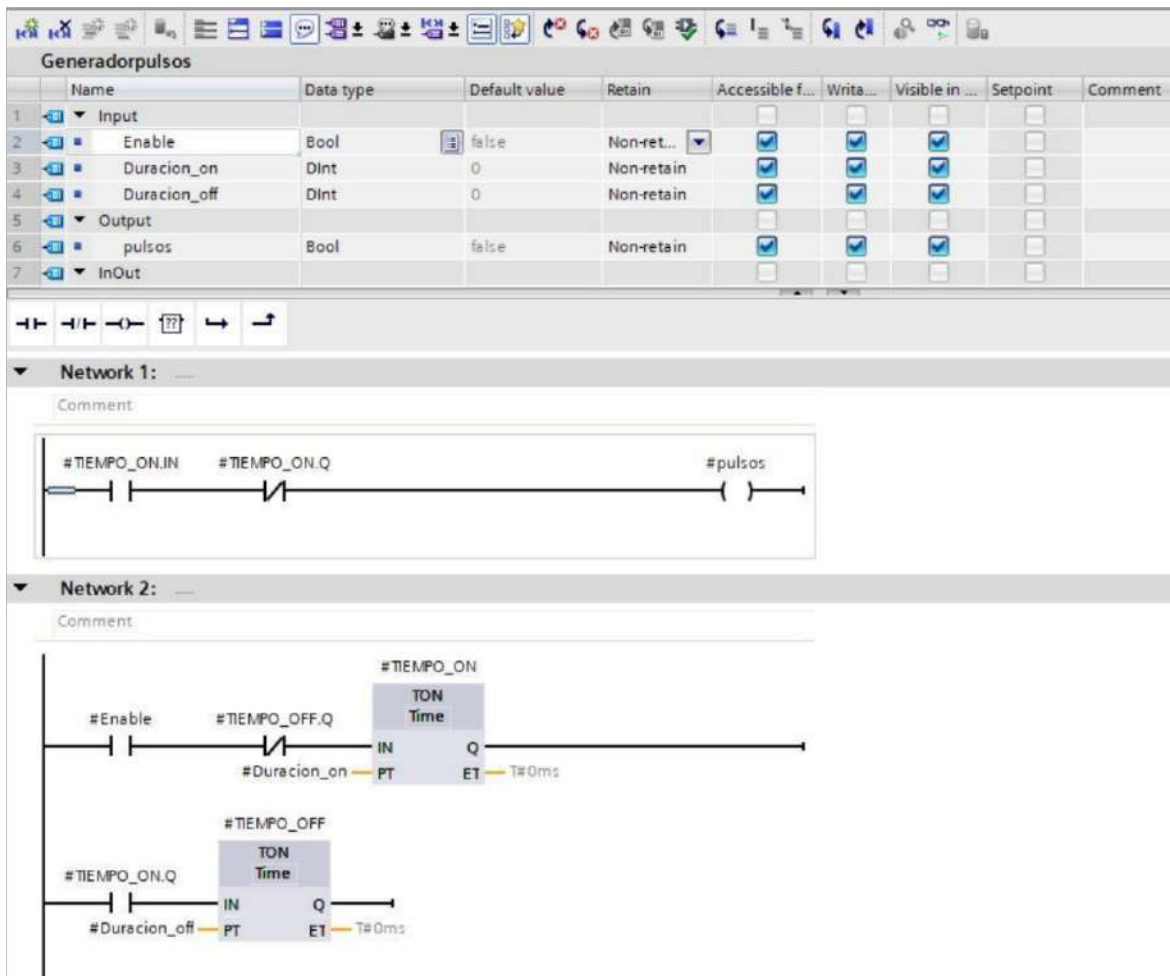


Figura 29. Generador de pulsos. Fuente: propia.

Ahora se debe implementar la base del sistema, el controlador PID. Para ello, se creará otro bloque de programa llamado "Cyclic interrupt", el cual activará el PID de forma cíclica en el intervalo deseado, en este caso, cada 100 ms, como se muestra en la figura 30.

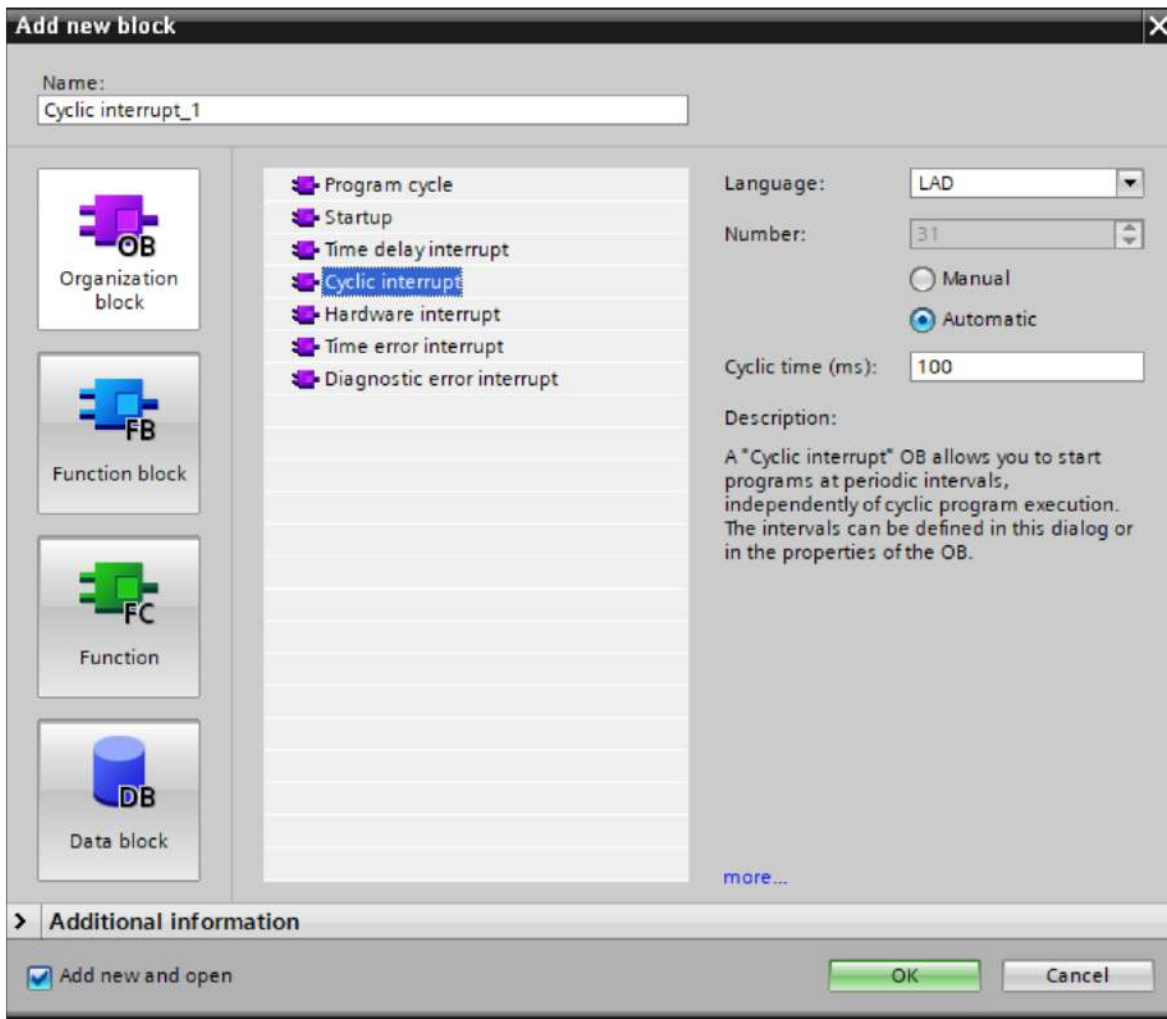


Figura 30. Añadir bloque *Cyclic interrupt* con *Cyclic time* de 100 ms. Fuente: propia.

Se escogió este valor del tiempo de ciclo porque se considera un tiempo más que aceptable para la activación del PID.

Una vez se haya seleccionado el bloque de programa, se procede a buscar el bloque PID que se encuentra en el apartado de instrucciones, en la opción de tecnologías. La carpeta se llama "PID control" y luego se accede a la carpeta "Compact PID". A continuación, se arrastra el bloque "PID_Compact" a la rama del bloque recién creado, tal como se muestra en la figura 31.

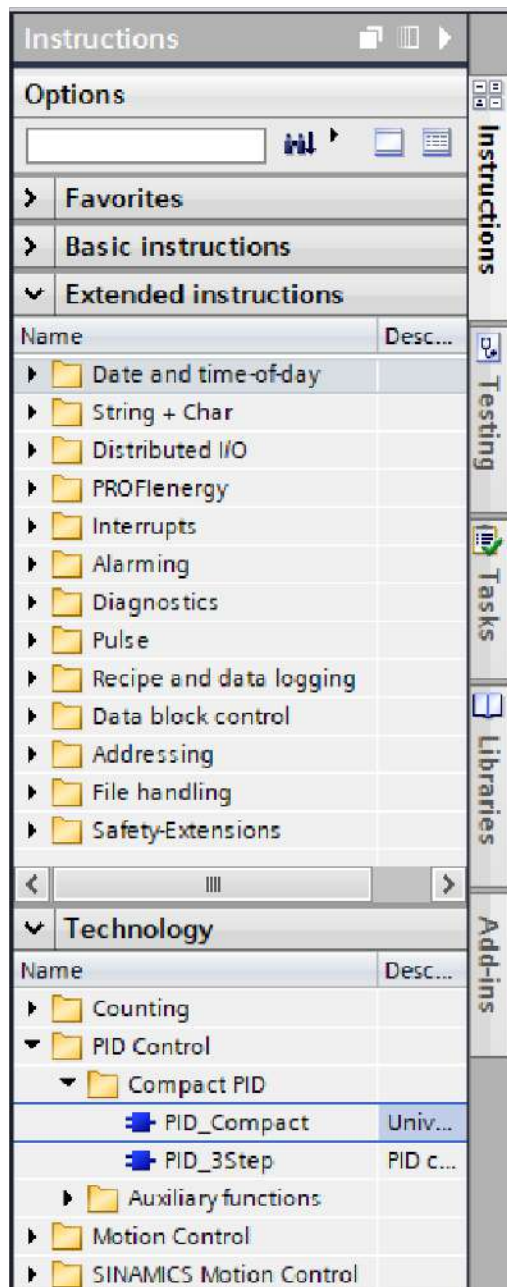


Figura 31. Añadir bloque PID_Compact. Fuente: propia.

Posterior a eso saldrá la siguiente opción en la cual se puede cambiar en nombre del PID, en este caso se denomina “MI PID”, como se ve en la figura 32.

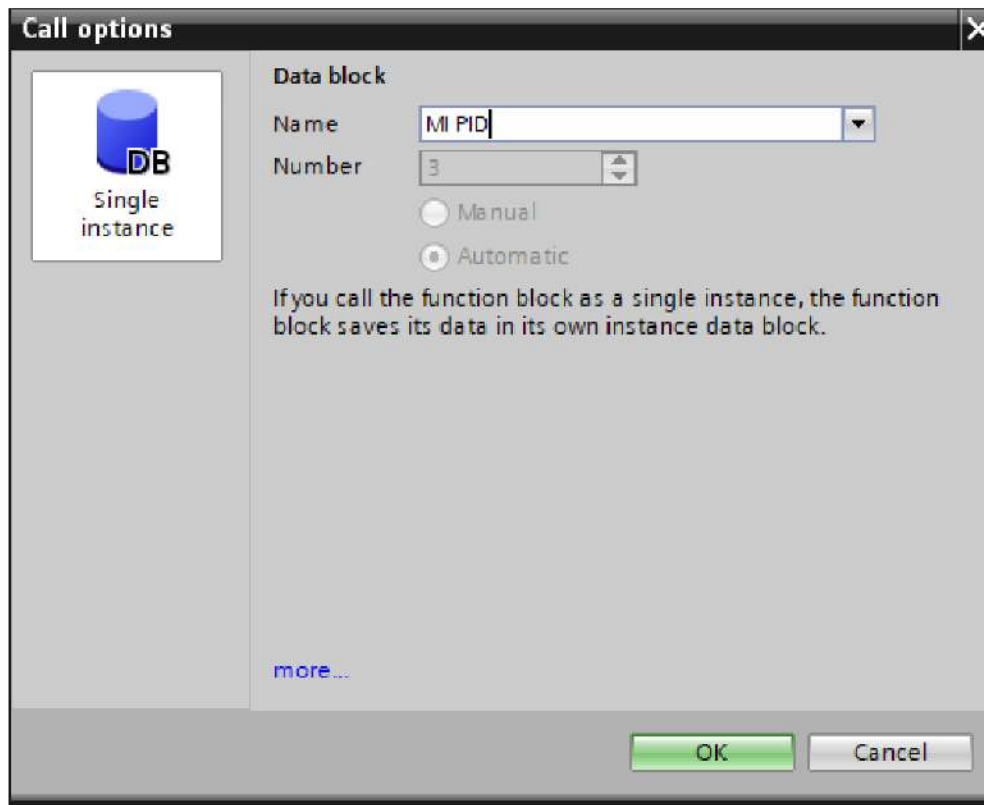


Figura 32. Nombrar el bloque PID_Compact. Fuente: propia.

Antes de empezar a hablar a fondo del PID_Compact, se debe tener en cuenta dos palabras, la primera en (encendido) la cual indica que por el PID_Compact fluye corriente y la segunda en (activo o activado) las cual indica que el PID_Compact está mandando una salida con relación a la entrada.

Una vez se haya colocado el bloque de datos "PID_Compact" se coloca en la entrada un simple sistema de switcheo en el cual se contiene el "ANCLA" que como ya se dijo permite el paso de la señal al sistema, luego está el switch "ON_TIMER" en paralelo normalmente cerrado en la línea principal y normalmente abierto en la otra. Adicional a ello, se coloca un contactor con la memoria "TIME", la función de este sistema es que una vez este activada el "ANCLA" el PID recibirá alimentación pero, si esta activado el "ANCLA" y además de ello está activado el "ON_TIMER" la rama principal se desactivaría y la rama secundaria estaría a la espera que se active la memoria "TIME" la cual estará en ON el tiempo que se le haya predeterminado en el temporizador, además de un normalmente abierto del ventilador "ventilador on/off" para que cuando se encienda manualmente se apague el PID.

Posterior a ello se establecen las entradas y salidas del PID_Compact, la salida es la del "RELE" la cual se define con la "Q0.7, en el apartado de "Output_PWM" puesto que al tener un PLC de salidas digitales solo puede enviar pulsos a la misma

intensidad y la frecuencia con la que se envíe este va a determinar su porcentaje de trabajo.

En las entradas, en el apartado del “Setpoint” se define una memoria de entrada la cual servirá para asignarle un valor desde el HMI, en el apartado de “Input” viene siendo la temperatura final leída por el sensor RTD, la cual ya se había establecido anteriormente y es “TEMP MEDIA AJUSTADA”, por último, se crea otra memoria con el mismo nombre de la entrada “RESET” la cual reiniciará el PID, esto se explicará más a fondo posteriormente.

además del ancla de encendido se crean dos memorias con el nombre de “SPULSO” y “SPULSOT”, los cuales son la salida de los dos bloques de datos generadores de pulso, uno para los botones de “OFF” y “RESET/STOP” y el otro para cuando el tiempo del temporizador se acaba, este pulso se hace con el fin de apagar por completo el PID_Compact y que este solo deja demandar salida cuando se reinicia y comprueba el estado encendiéndose. Por ello para apagar el PID_Compact por completo se debe mandar pulsos para que se encienda por 0.5s para comprobar el estado y cambien el estado, luego regresa a 0, como se ve en la figura 33.

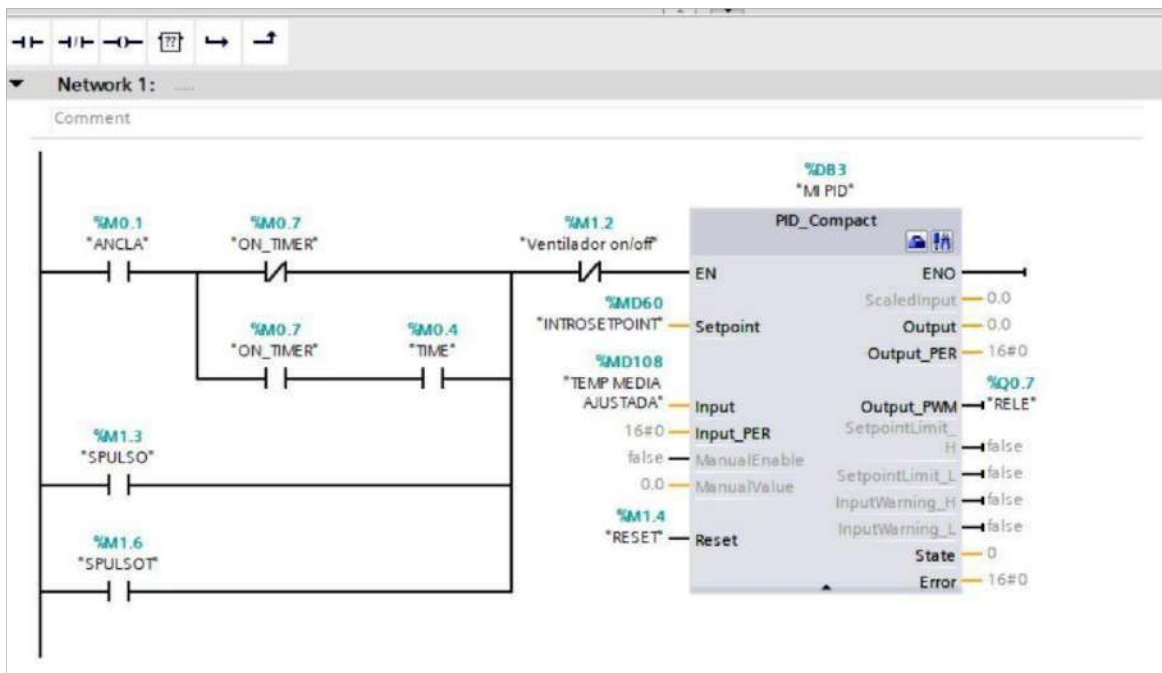


Figura 33. Sistema del encendido/apagado, entradas y salidas del PID. Fuente: propia.

Pero para que este PID_Compact funcione de forma automática, tienen que darse ciertas condiciones, de ello depende el funcionamiento eficaz y constante del PID.

En la configuración interna del PID_Compact tiene una configuración que se denomina "State" la cual define el estado del PID_Compact, si está en modo manual, el modo fine tuning, el modo pretuning, el modo inactivo y el modo automático. Para activar cada uno de esos se deben realizar ciertas acciones, en este caso para activar el modo automático, la variable "State" tiene que cambiar su estado en un valor de 0 a 3, pero este estado no se puede cambiar directamente, para ello está la instrucción llamada "sRet.i_Mode" la cual si permite cambios directos por el usuario.

El fin de todo esto es tener el control del PID_Compact y poder encenderlo a voluntad, ya que este sistema a pesar de estar en modo automático tiene ciertos fallos al momento de iniciarlo y apagarlo una y otra vez, haciendo que se apague automáticamente y no se podrá habilitar hasta que ocurran una de dos cosas, o se reinicia el PLC por completo o el "State" cambia de estado 0 a 3.

Pero además de ello este sistema necesita encenderse, en decir el PID_Compact puede que este recibiendo por la entrada corriente pero el bloque como tal no se va a energizar, para que este se inicie se debe reiniciar y al hacer eso se encenderá, pero no se activaría, al menos que el "State" cambie de 0 a 3.

Ahora solo hay que determinarle un 0 inicial al dato "sRet.i_Mode" para ello se crea otro nuevo bloque de programa, pero de otro tipo, este se denomina "Startup", el cual se ejecuta una vez el estado operativo del PLC cambia de STOP a RUN, y posteriormente se activan los otros bloques, este bloque se activa una sola vez y para activarlo otra vez hay que reiniciar el PLC, esto se hace para resetear el sistema una vez se encienda, asegurando que al iniciar el PLC el dato "sRet.i_Mode" siempre este en 0. La implementación de este se ve en la figura 34.

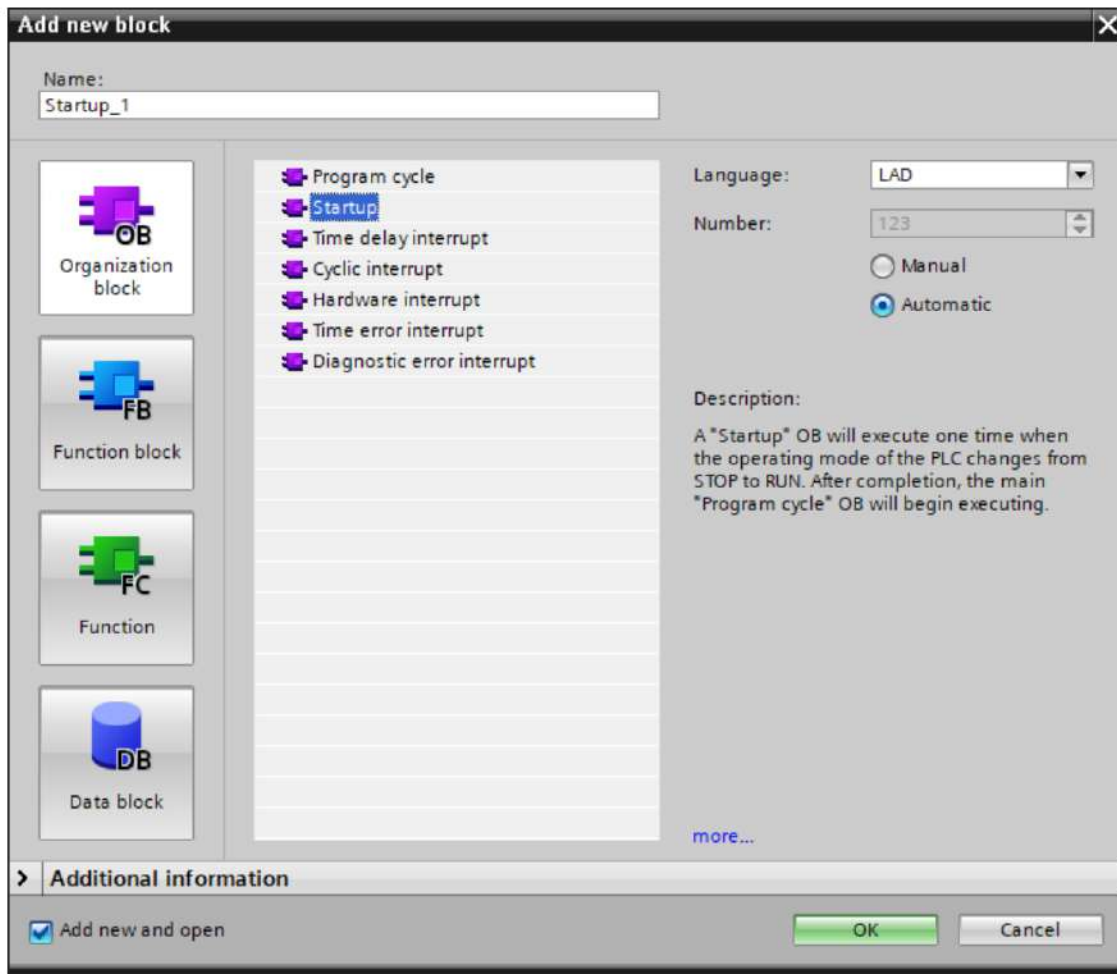


Figura 34. Añadir bloque Startup. Fuente: propia.

Para enviarle el 0 al dato "sRet.i_Mode" se coloca en una rama un bloque "MOVE" y se le determina un 0 en la entrada y a la salida una memoria de tipo real creada para que contenga datos reales, en este caso solo 0 y 3. Como se ve en la figura 35.

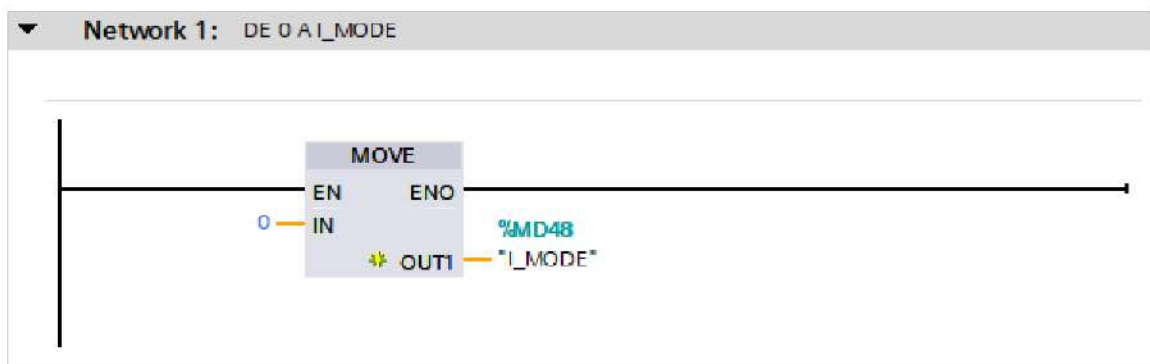


Figura 35. Asignación 0 a la memoria I_MODE. Fuente: propia.

Como se estaba diciendo anteriormente el PLC_Compact necesita ciertas acciones para que se active a voluntad, ya se habló una de ellas, ahora se va a hablar de la otra, el “RESET” si se deja el PID_Compact tal y como está, este solo se podría activarse una sola vez, si se apaga el sistema el PID_Compact no se volverá a encender, para que éste lo haga se debe reiniciar.

Para ello se creó en el bloque Cyclic interrupt otra red la cual llevará las condiciones del PID_Compact. Como se ve en la figura 36.

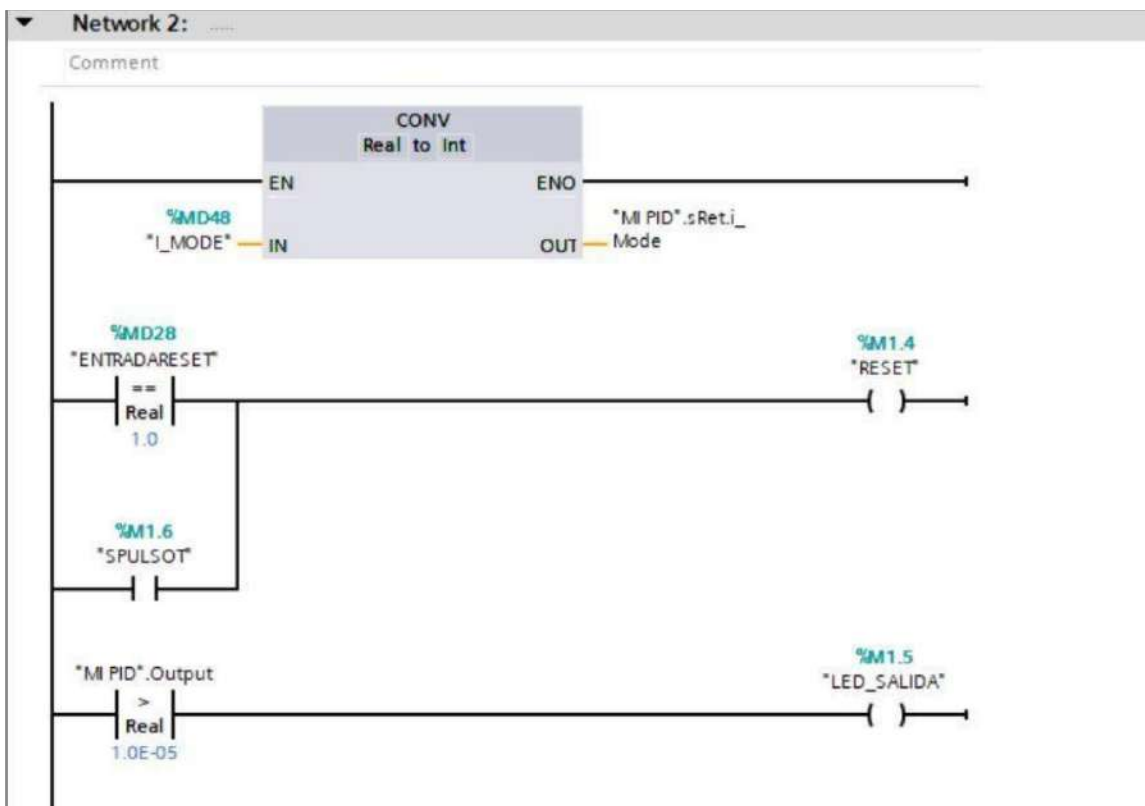


Figura 36. Condiciones e indicadores del PID_Compact. Fuente: propia.

Como se puede ver en esta red hay variables ya mencionadas anteriormente, lo importante de aquí es entender el propósito de esto. En la primera rama, con el bloque “CONV” convierte la memoria “I_MODE” la cual ya se había definido antes como una memoria que cambiaría ente 0 y 3, para activar el PID_Compact, en entero, con el fin de enviar el dato que está en la memoria “I_MODE” al dato “sRet.i_Mode” con esto el PID_Compact podrá ser activado.

En la siguiente rama está una condición la cual no es más que una forma diferente de activar la memoria de “RESET” para que este active dicha instrucción en el

PID_Compact, colocando una condición, que si en "ENTRADARESET" hay un 1 que se active.

Además, cuando el tiempo del temporizador se acaba, no solo basta con mandar el pulso para activar otra vez el PID_Compact además de ello se tiene que reiniciar. Por ello está "SPULSOT" para que cuando mande el pulso, al mismo tiempo se reinicie el PID_Compact.

Estas dos anteriores ramas no cuentan con el "ANCLA" pues no es necesario ya que dichas ramas no requieren un uso de la potencia más bien requieren un uso de la memoria, esto es importante puesto que para que "I_MODE" cambie a 0 cada vez que el PLC inicie, debe tener siempre una alimentación, ya que "Startup" se activa una sola vez, y para el caso del "RESET" este estará sujeto a los botones de apagado y encendido, tanto del funcionamiento normal como los del temporizador, para que cada vez que se encienda/apague se resetea, esperando a la instrucción "GO".

Y por último, la rama de abajo la cual no es nada más que hacer encender un led cuando el PID_Compact este activo para que así el usuario pueda saber si el sistema está en funcionamiento o no, este no tiene "ANCLA" debido a que necesita estar enviando la indicación a usuario si el PID_Compact, ya que este aunque se le corte la corriente, seguirá mandando la salida, para ello el doble clic en apagado que ya se había explicado, la condición principal para que se active el led es que la salida "MI PID. Output" sea mayor a un número cualquiera, en este caso 0.00001 para que se encienda con la mínima salida.

Ahora bien, para activar, los pulsos se crean dos temporizador que duren 2 segundos con la finalidad que el pulso dure dicho tiempo, este es el tiempo que las memorias "SPULSO" y "SPULSOT" están activas, el temporizador "TINE_pulso" va a ser activado si se apaga el sistema o se resetea/para el temporizador, y el segundo temporizador "TINE_pulsoT" es activado solo cuando el sistema encienda aunque el sistema no notará este cambio, pero si lo nota cuando el tiempo del temporizador se acaba y se cierra el contactor activando el temporizador "TINE_pulsoT".

Cada uno de estos temporizadores va a activar un generador de pulsos, en cual cada uno se determina las entradas, el tiempo del pulso en ON y en OFF además de la salida, que en este caso son las memorias "SPULSO" y "SPULSOT". Lo que hacen este bloque de datos es ingresar los datos que se ingresen a estos bloques se enviarán al bloque de función creado anteriormente denominado generador de pulsos, esto se puede apreciar en la figura 37.

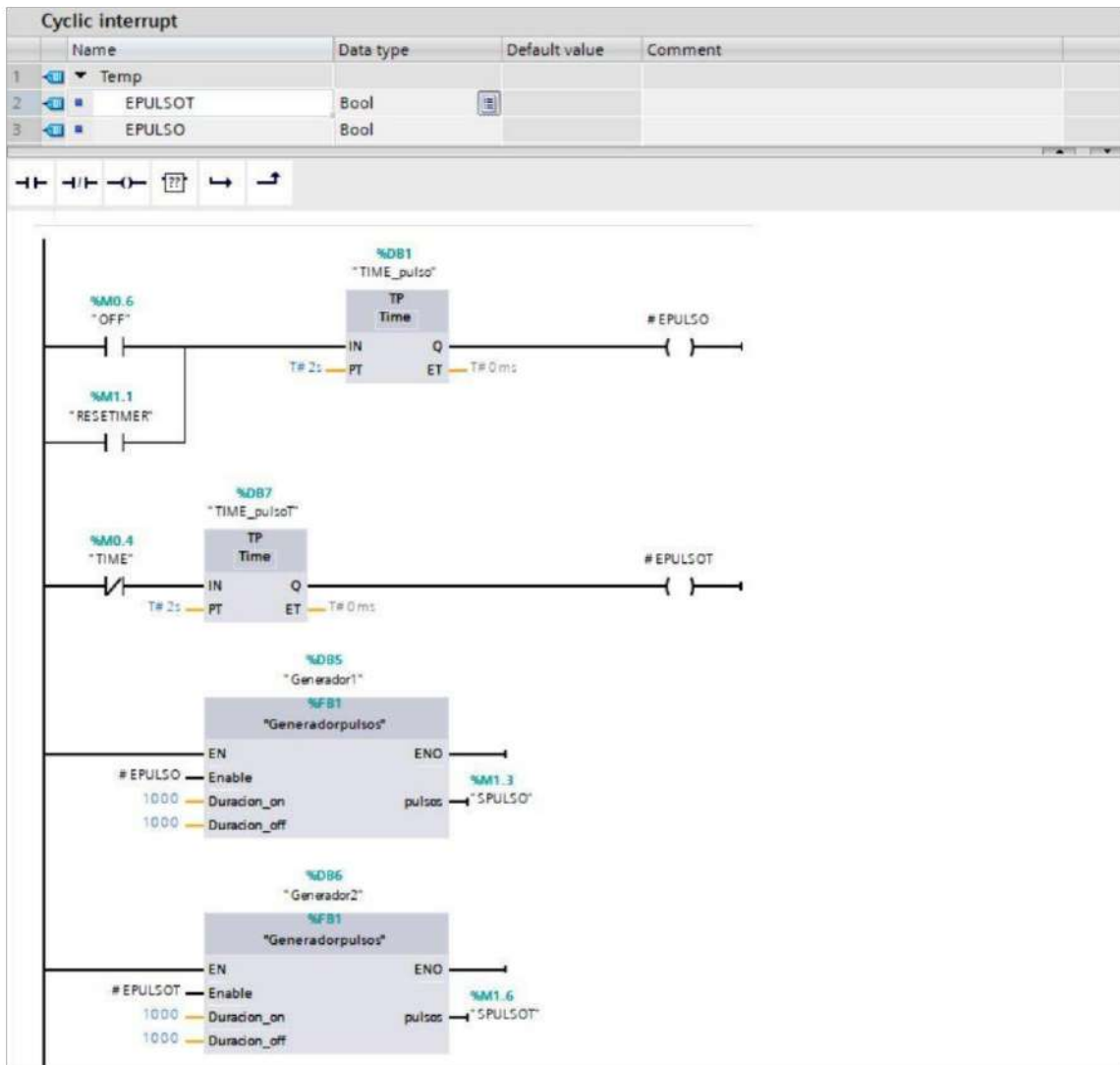


Figura 37. Configuración de los pulsos para el pago del PID_Compact. Fuente: propia.

Después de haber hecho eso, se procede a configurar el PID_Compact como tal.

La cual se accede dándole a la caja de herramienta azul arriba a la derecha del bloque PID_Compact, como se ve en la figura 38.

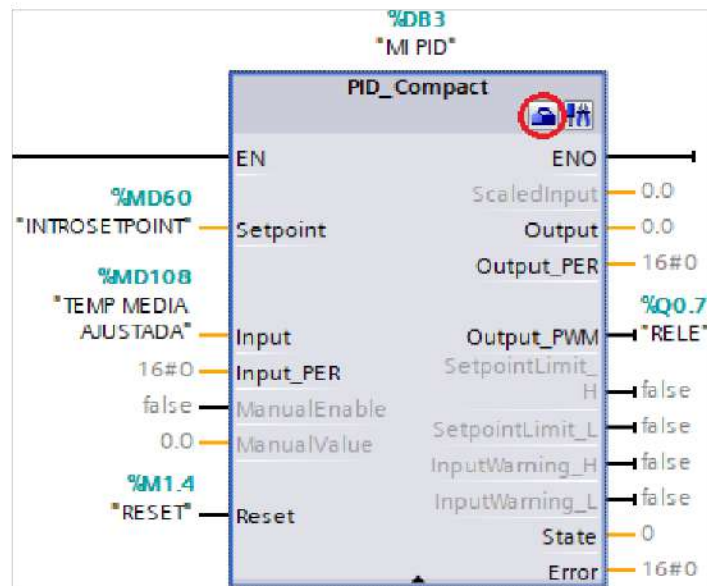


Figura 38. Ubicación de la ventana de configuración del PID_Compact. Fuente: propia.

Una vez entrado en esta ventana se pueden ver 3 apartados generales, en el primero son las configuraciones básicas, en las cuales se determina el tipo de control, en este caso un tipo de control de temperatura y se define el tipo de entrada y salida, como se puede ver, la entrada de tipo "input" de tipo real y la salida "Output_PWM" ya que la salida es digital. Como se ve en la figura 39.

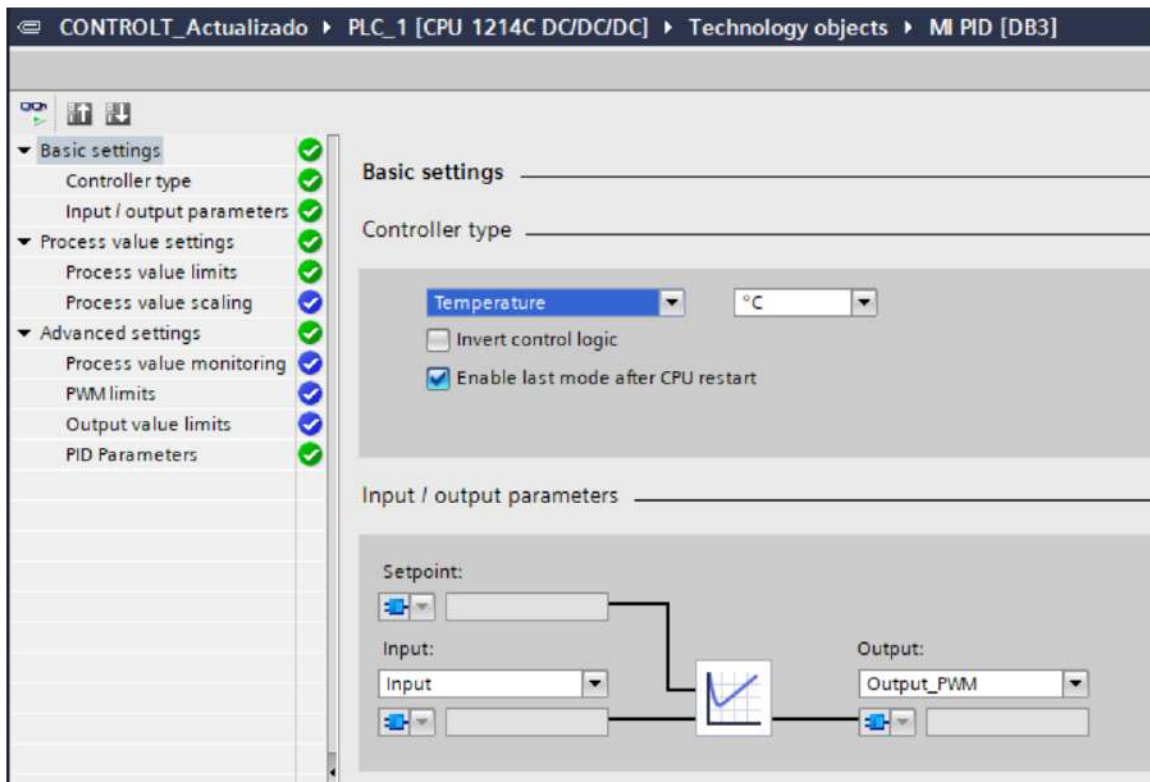


Figura 39. Ajustes básicos del PID_Compact. Fuente: propia.

En la siguiente parte están los ajustes del valor de los procesos, en esta parte solo se cambian los valores límites del proceso, en este caso de 0 °C a 200 °C, lo cual es el rango del transistor, con respecto al escalado no es necesario cambiar los valores. Como se ve en la figura 40.

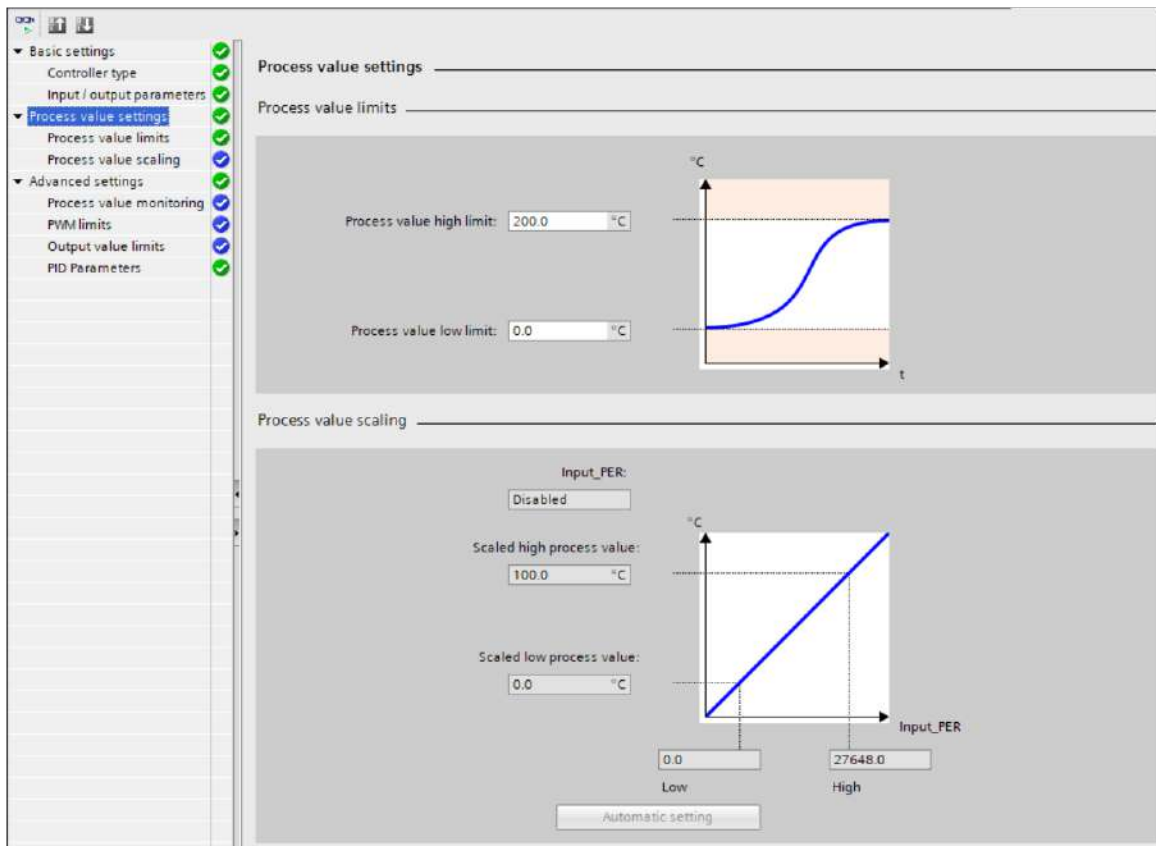


Figura 40. Ajustes del valor de los procesos del PID_Compact. Fuente: propia.

En el apartado de ajustes avanzados el único que es relevante son los parámetros del PID, siendo estos los que determinarán el comportamiento del sistema, están los parámetros de ganancia proporcional, el tiempo de acción integral y el tiempo de acción derivativo, estos son los 3 valores más importantes de este, los cuales el usuario podrá cambiar a satisfacción, el apartado de los parámetros del PID se puede ver en la figura 41.

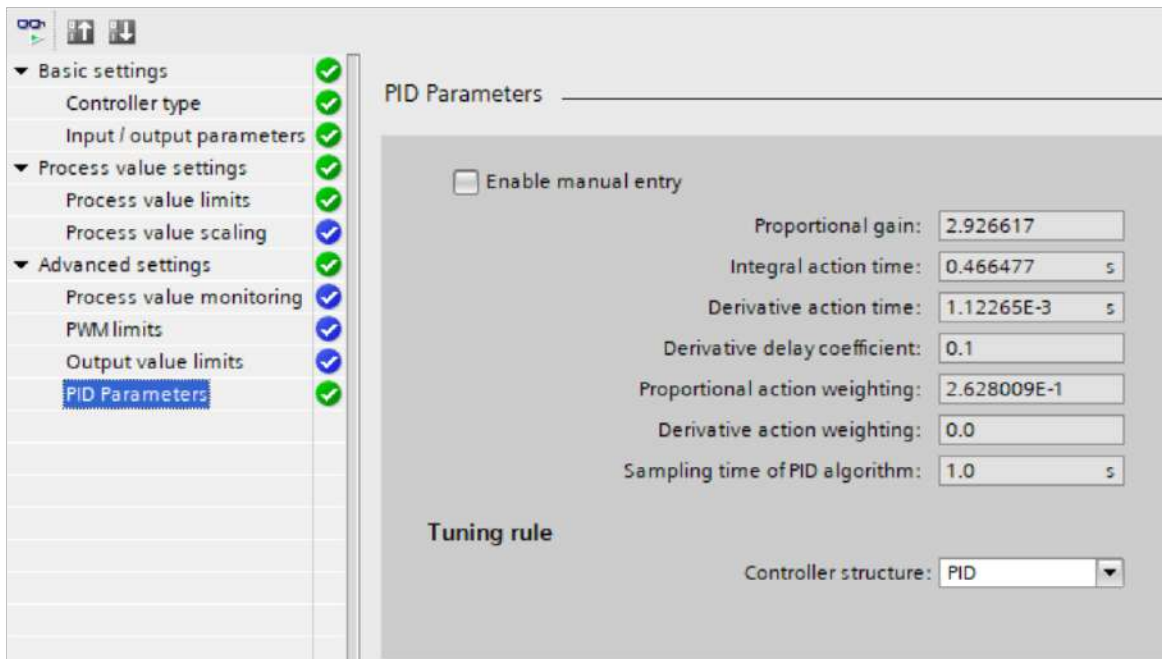


Figura 41. Ajustes avanzados (Paramtros del PID) PID_Compact. Fuente: propia.

4.3 Fase 3. Creación del sistema de interacción HMI (Interfaz Humano/Máquina) para el software.

Ahora el siguiente gran paso es crear el HMI, este se va a hacer en un dispositivo aparte pero incluido dentro del programa del PLC, para ello se debe agregar dicho dispositivo, para los HMI se usa un sistema PC, en el apartado de "SIMATIC HMI application" se selecciona el "WinCC RT Advanced" con la versión que se muestra en la figura 42.

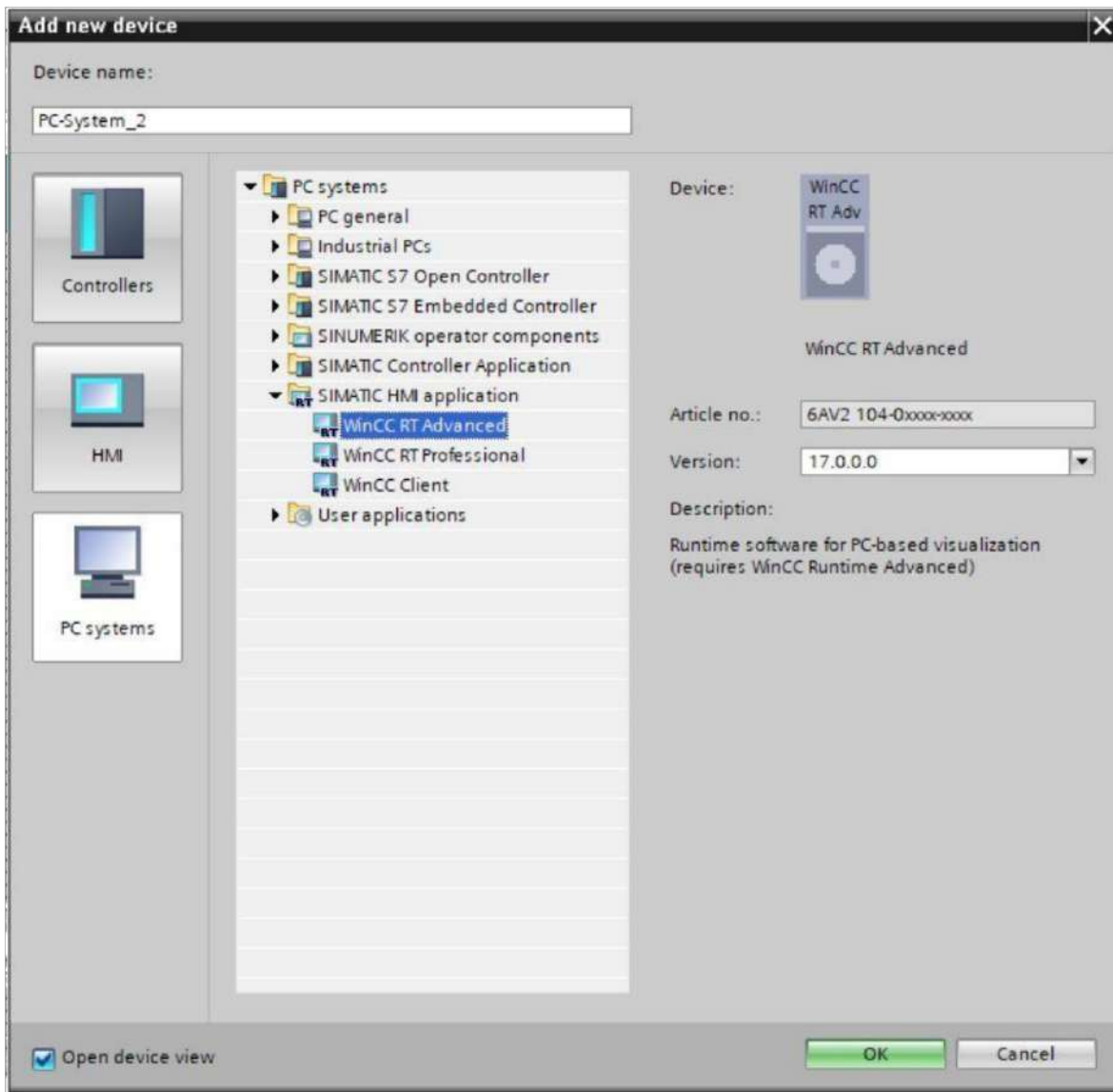


Figura 42. Añadir dispositivo “PC systems” WinCC RT Advanced. Fuente: propia.

Luego de haber hecho eso, se abre una ventana, en la cual, a la derecha en el apartado de catálogo, en la carpeta de “módulos de comunicación” se busca el módulo de IE general, como se ve en la figura 43.

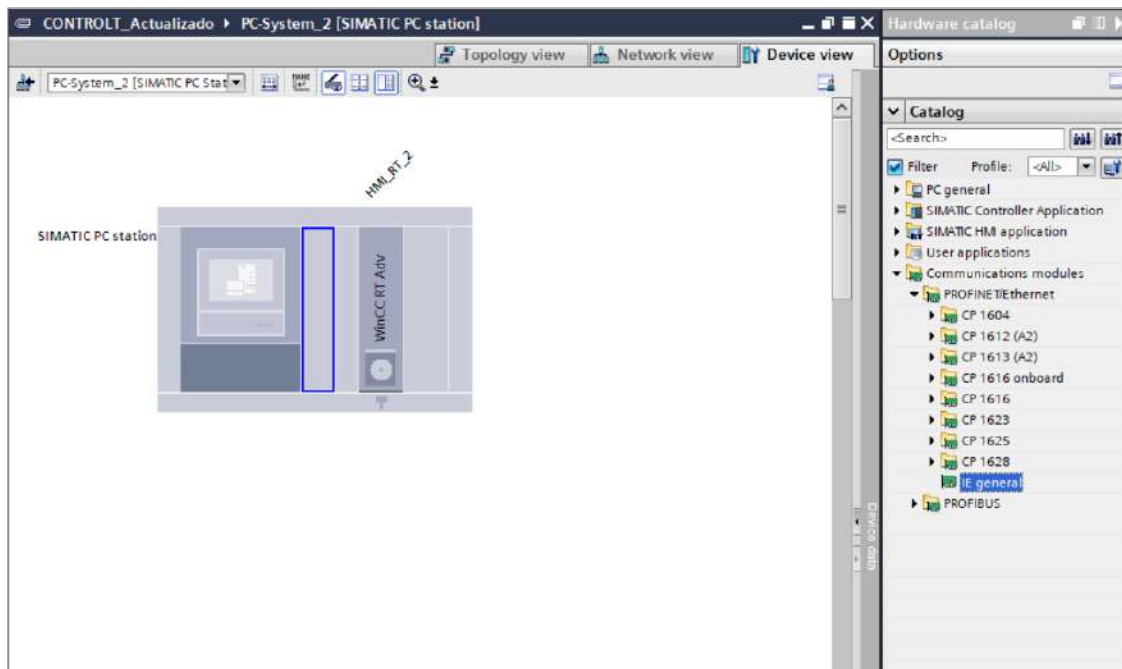


Figura 43. Ubicación de tarjeta IE general. Fuente: propia.

Posteriormente se arrastra este módulo a la estación SIMATIC PC, y se comprueba la IP, en este caso hay que cambiar la IP por defecto, por la del computador, como se ve en la figura 44. En el caso del PLC, normalmente se coloca la que viene por defecto, en este caso la que se ve en la figura 45.

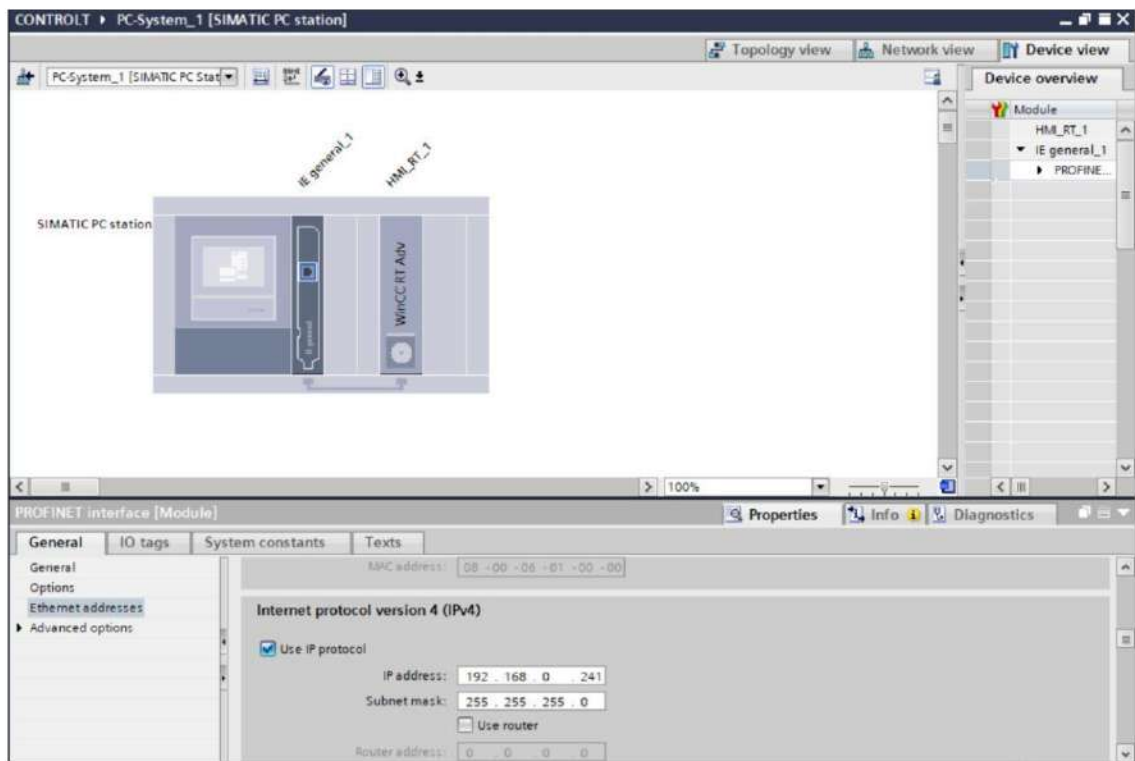


Figura 44. Ajuste IP de SIMATIC PC station. Fuente: propia.

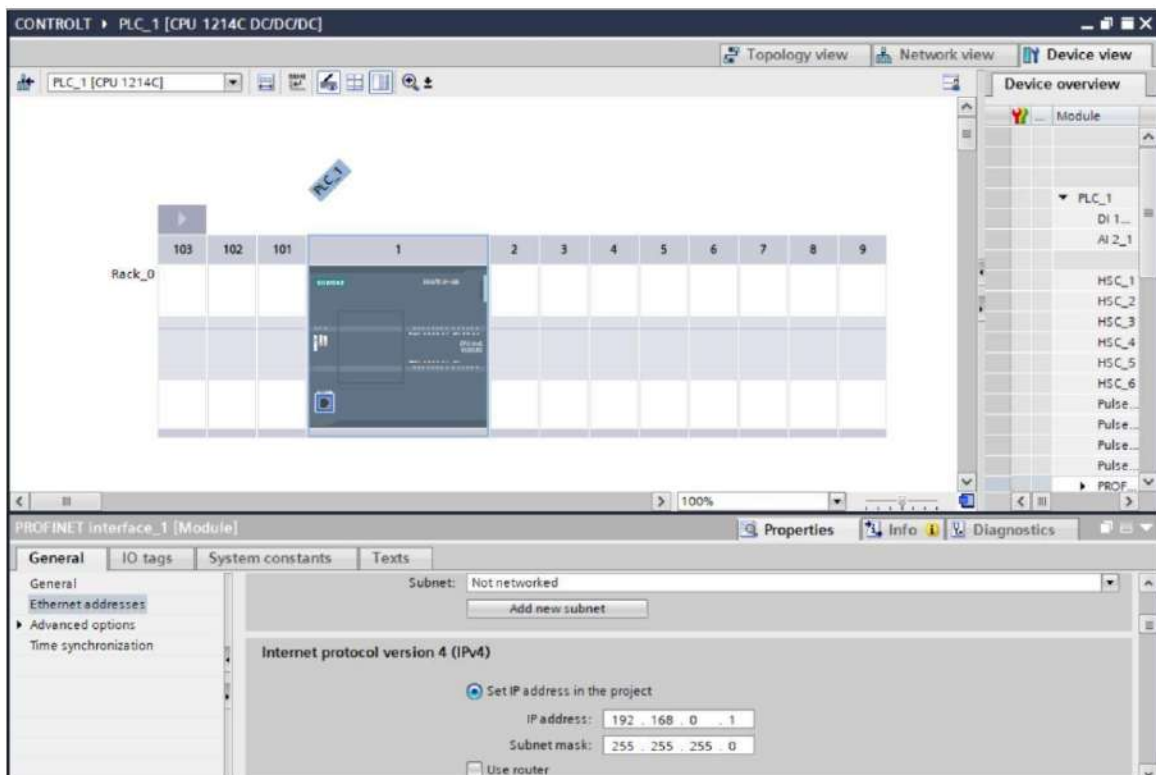


Figura 45. Ajuste IP del PLC. Fuente: propia.

En el apartado de “ver redes” en las entradas de red y selecciona una y se arrastra hasta la otra, creando una línea de conexión, como se ve en la figura 46.

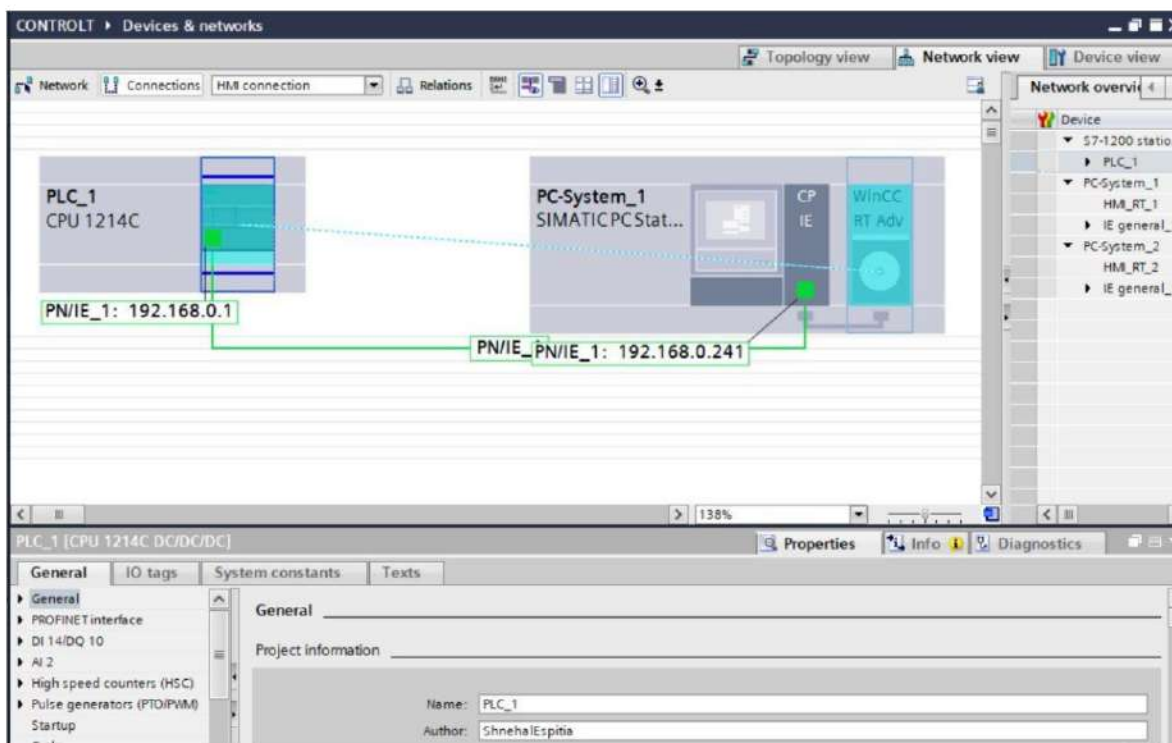


Figura 46. Ajuste IP del PLC. Fuente: propia.

Ahora se selecciona la parte física de cada dispositivo y se arrastra uno al otro, generando un lazo, para comprobar dicho lazo es dándole clic a la línea de conexión y mirar en las propiedades que existe el lazo entre los dos dispositivos, como se ve en la figura 47.

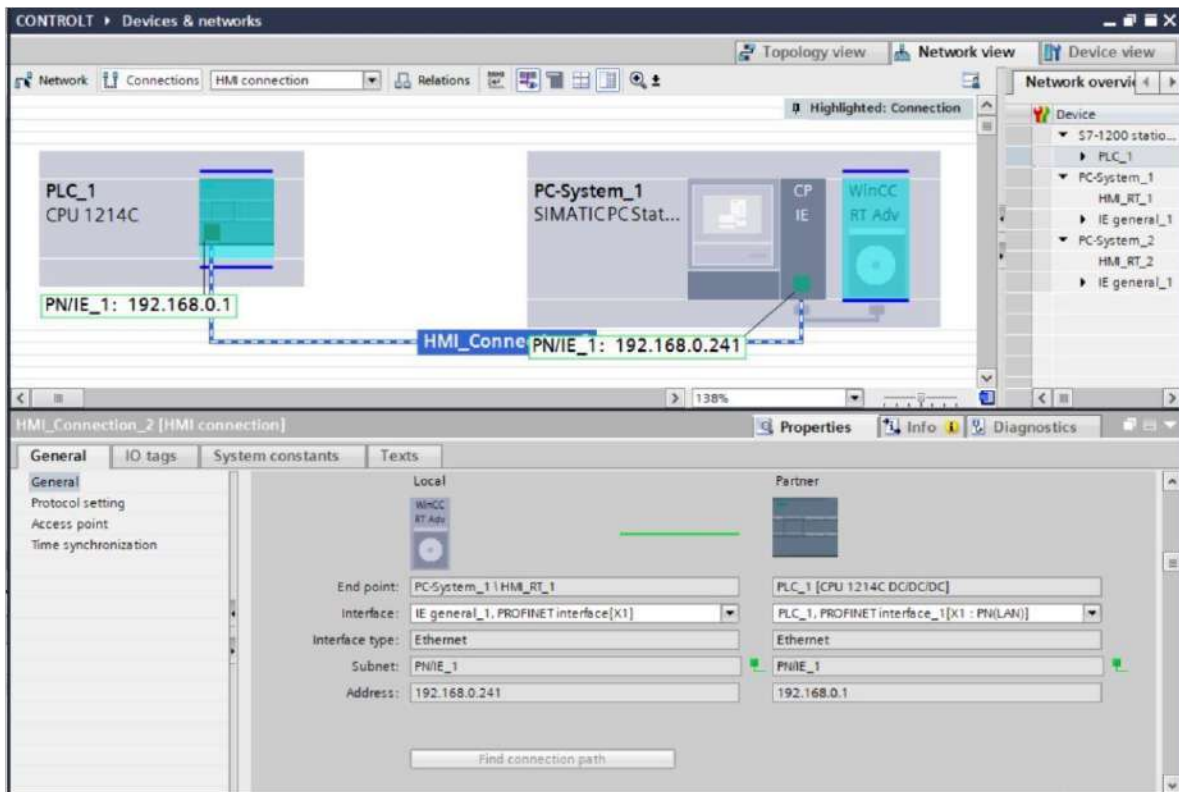


Figura 47. Ajuste de compatibilidad de los dispositivos. Fuente: propia.

En el apartado de dispositivos, se creará una carpeta con el nombre del dispositivo y otra con el nombre del HMI. En dicha carpeta hay dos más, una de nominada "Screens" y otra "Screen management". En la primera se definen 4 Pantallas, las cuales son "HOME", "ENTRADA", "TEMPORIZADOR" Y "PID". En el caso de la segunda carpeta hay otra que se llama "Templates" la cual se va a crear una Pantalla, en ella se trabajará una Pantalla fija para todo el HMI, como se ve en la figura 48.

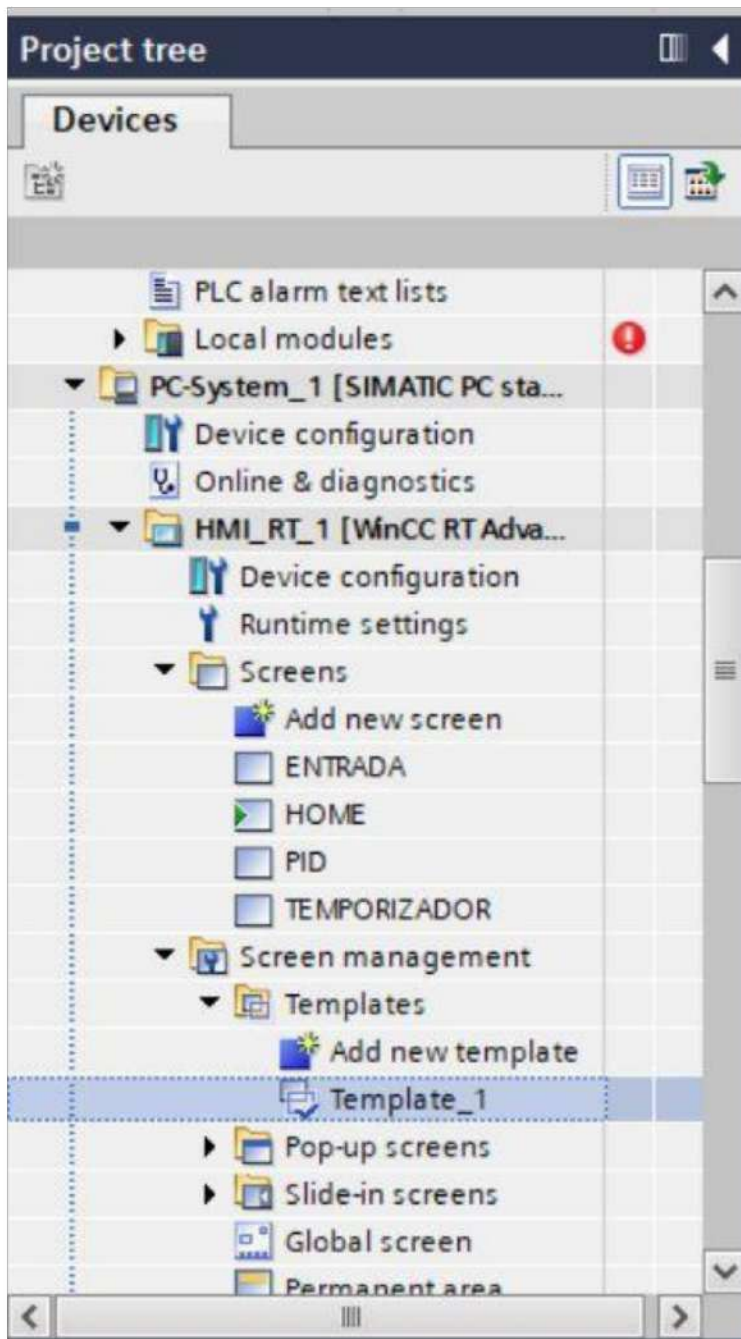


figura 48. Pantallas para el HMI. Fuente: propia.

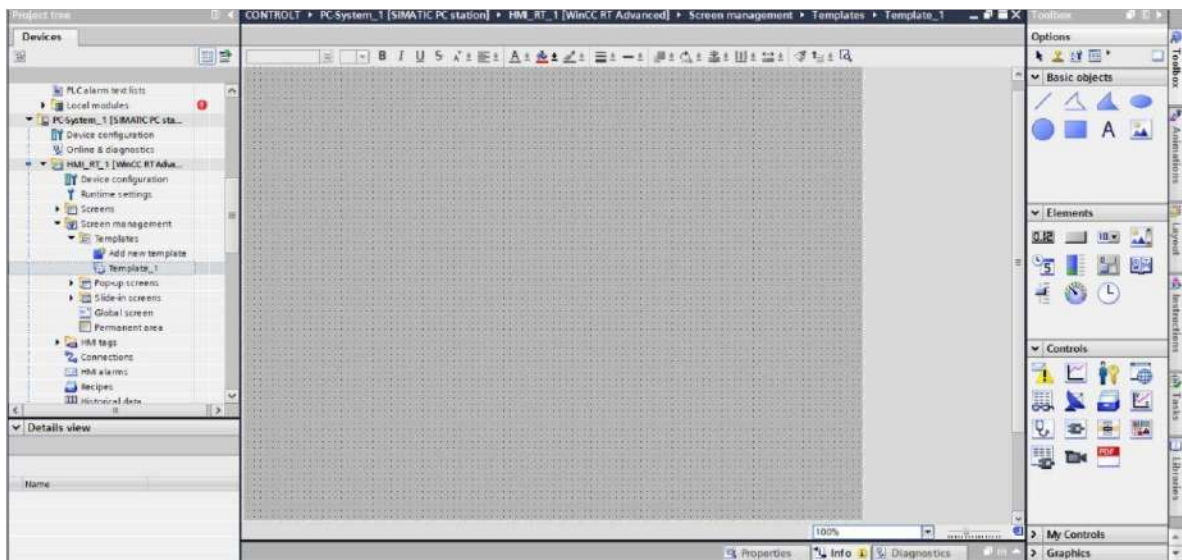


figura 49. Zona de trabajo del HMI. Fuente: propia.

A continuación, se llevará a cabo la creación de botones base para el sistema, para ello se accede al apartado de librería, el cual es un apartado donde se encontrarán la mayoría de los diseños para este HMI, en este caso se buscará la carpeta "square_small", como se ve en la figura 50.

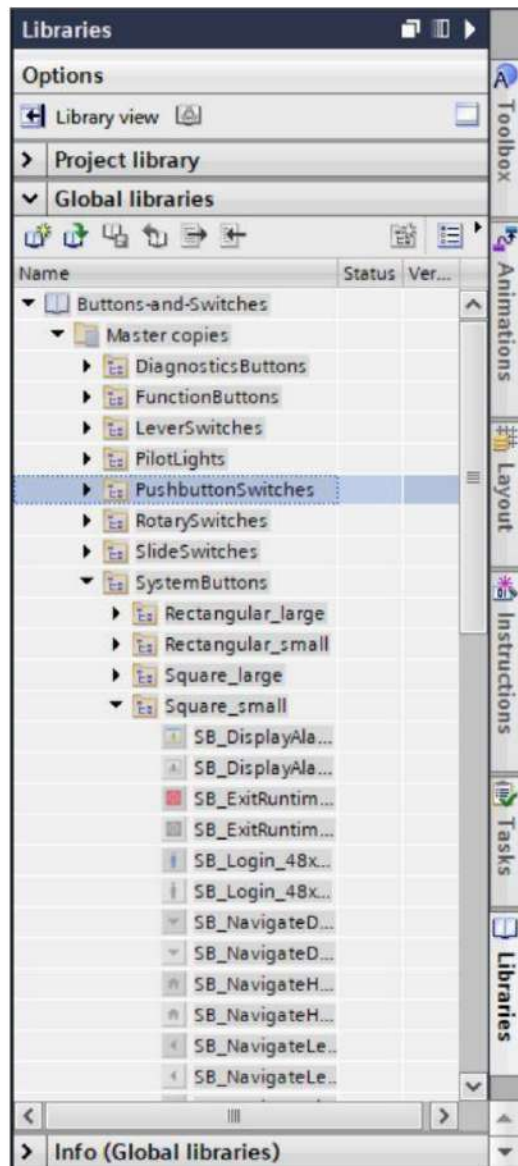


Figura 50. Zona de herramientas para el HMI. Fuente: propia.

Se buscan y se selecciona los botones que se ven en la figura 51, para cerrar el HMI y regresar a la pantalla inicial del programa, lo cual se explicará más adelante. Posterior a ello se selecciona la “screen: que se denominó como “HOME” y en esta se trabajará la parte inicial del HMI, en este apartado se diseña de la forma más limpia y comprensible posible.

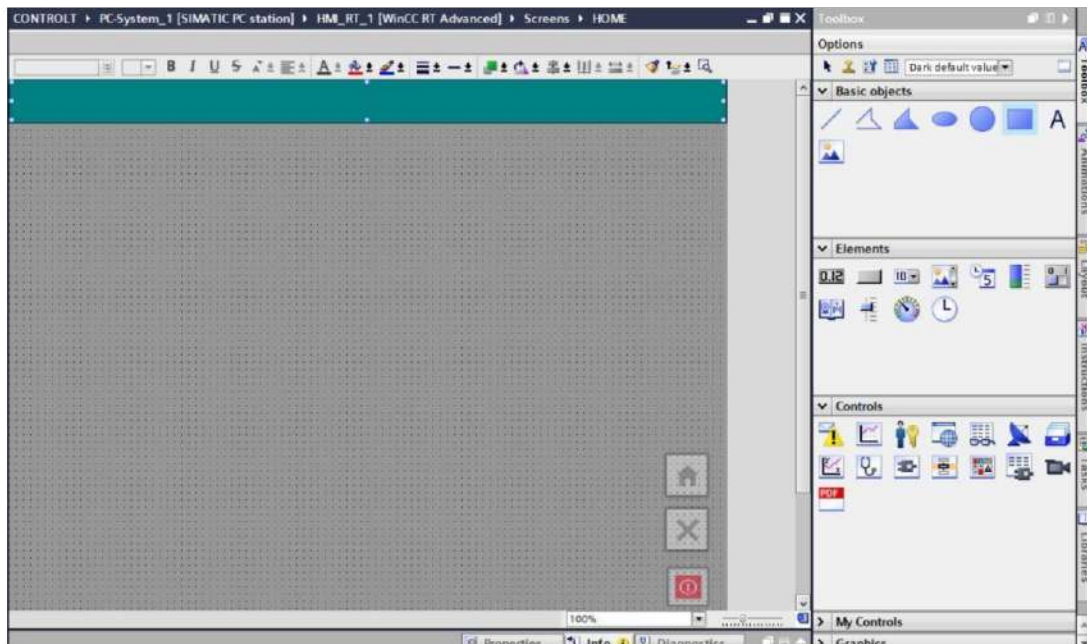


Figura 51. Adición de botones de navegación HMI. Fuente: propia.

Para darle identidad al HMI se colocan los logotipos de la Universidad Pontificia Bolivariana, además del nombre del sistema y el de los autores de este, lo cual se logró con la opción de escritura en “basic objects” y pegando las imágenes con el logotipo de la universidad, como se ve en la figura 52.



Figura 52. Escritura y señalización del HMI. Fuente: propia.

En el apartado de “elements” se puede visualizar un botón, ese se va a seleccionar y se le determinará un nombre y una función, en este caso el nombre es “INICIAR” y la función se puede determinar en diferentes apartados, en este caso se escogió “Release” se lecciones la función “ActivateScreen” y el nombre de la ventana que se va a mostrar cuando se presione ese botón, en este caso en “ENTRADA” como se ve en la figura 53.

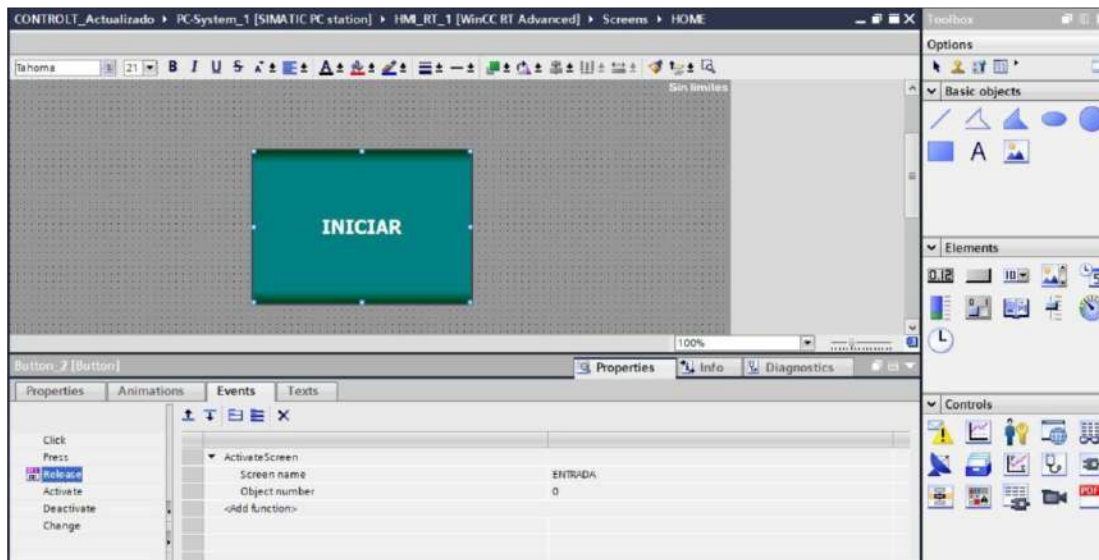


Figura 53. Funciones de los botones en el HMI. Fuente: propia.

En la pantalla de “ENTRADA” Se buscan dos botones, uno de encendido y otro de apagado, verde y rojo respectivamente, en estos se implementará la función de ON y OFF, seleccionando como acción en “Activar” invertirBit con el tag “ON” además de agregarle otra función denominada setTag con la salida “ENTRADARESET” y un valor de 1, para el otro caso en el evento “Desactivar” se selecciona la acción de resetBit con el tag “ON” y en el setTag con las mismas variables pero con un 0 en vez de un 1, esto se repite en el botón rojo pero con el Tag de OFF en vez de ON. Con se ve en la figura 54.

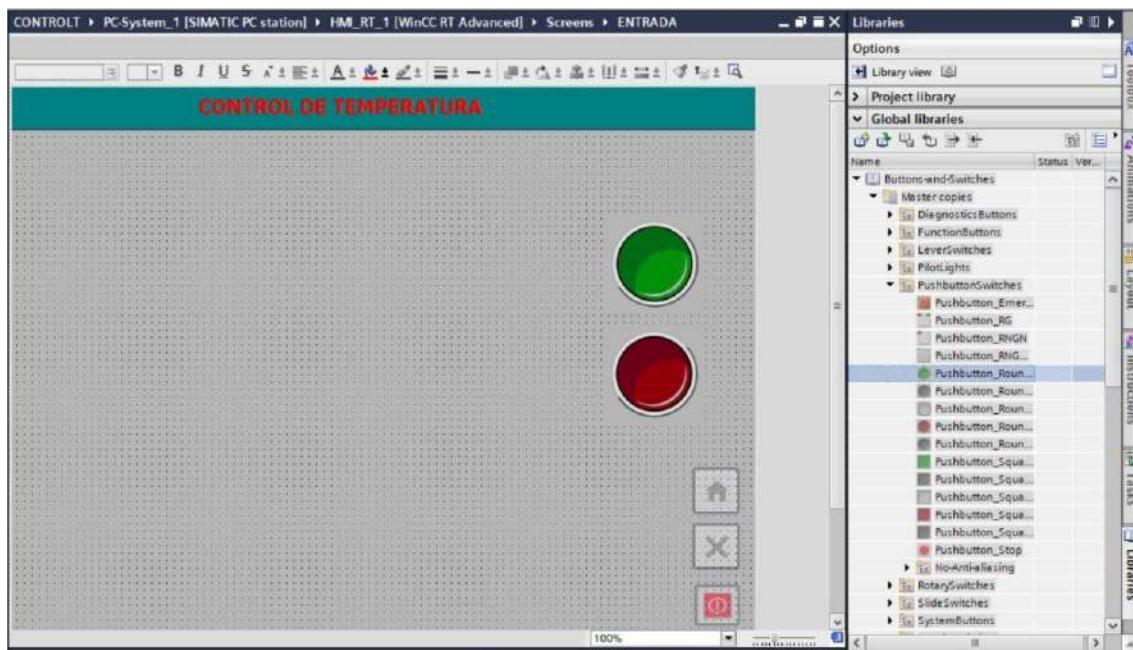


Figura 54. Función para el botón ON y OFF en el HMI. Fuente: propia.

En la siguiente adición se colocó un indicador de temperatura animado, en el cual se le coloca el Tag de la temperatura de entrada para que muestre en todo tiempo la temperatura, como se ve en la figura 55. Al igual que un cuadro donde muestre el número.

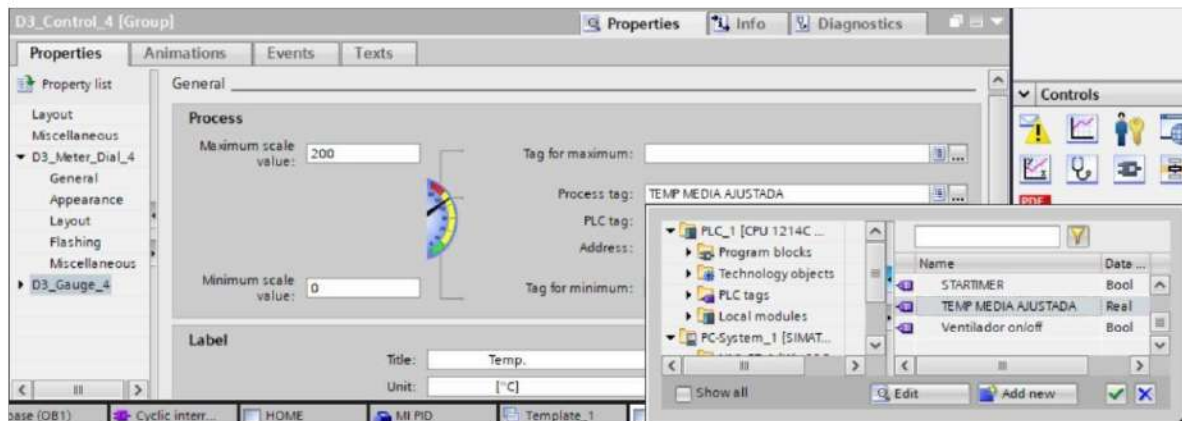


Figura 55. Configuración indicadora de temperatura en el HMI. Fuente: propia.

Se añade el setpoint, de modo que esta variable solo sea para que el usuario digite el setpoint, por ello se define con el Tag "INTROSETPOINT", como se ve en la figura 56.

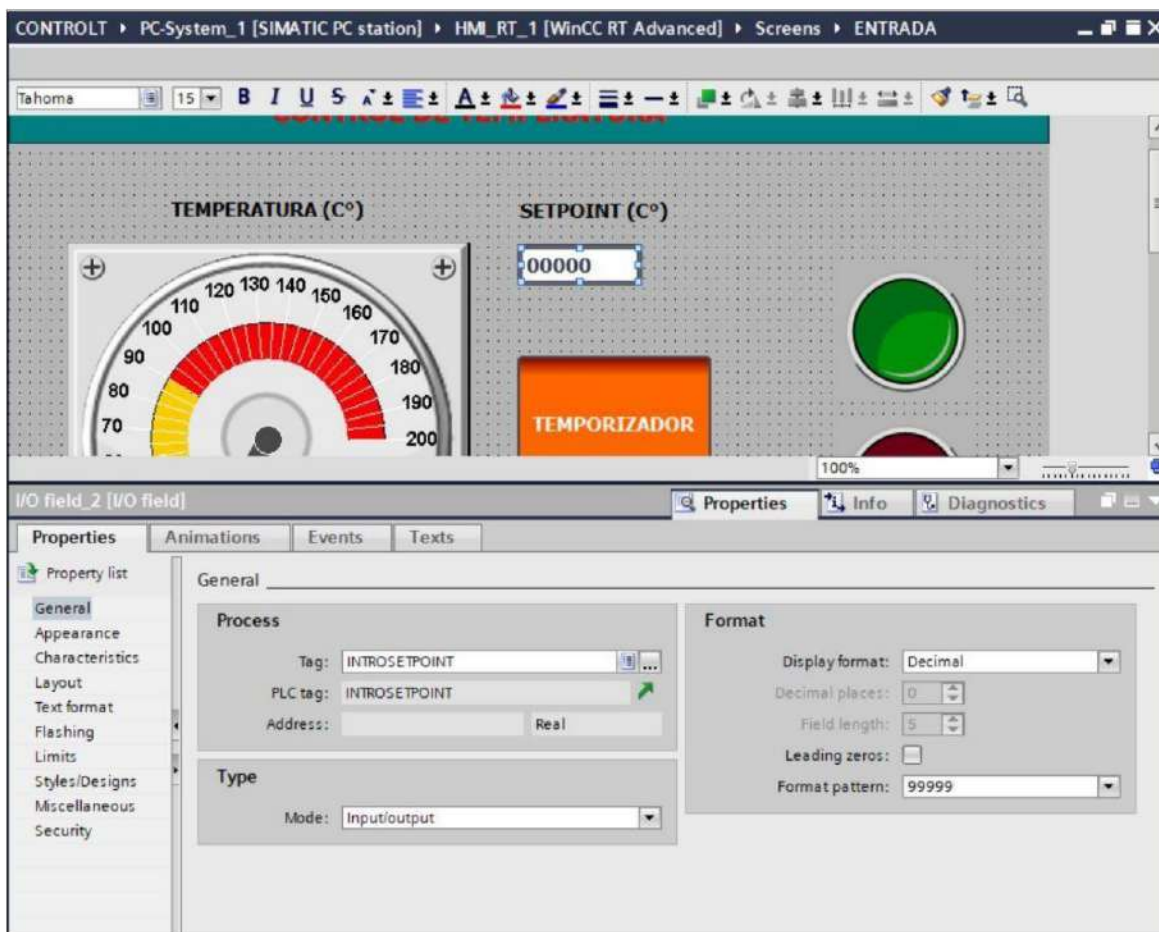


Figura 56. Configuración Setpoint en el HMI. Fuente: propia.

A continuación, se configuran los botones para acceder a las otras pantallas, las cuales son “TEMPRIZADOR” y “PID” los cuales tiene la misma configuración que el botón de “INICIO” pero aquí cada uno va dirigido a la pantalla con su nombre, como se ve en la figura 57.

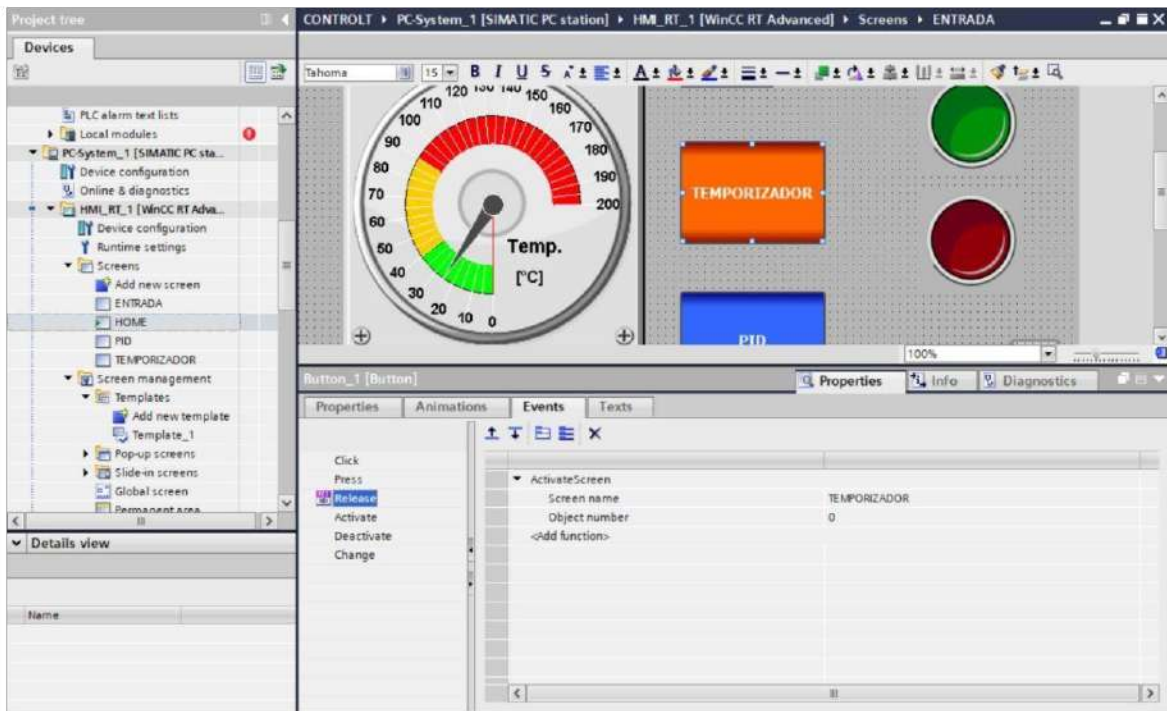


Figura 57. Configuración cambio de pantalla, TEMPORIZADOR y PID en el HMI. Fuente: propia.

Para activar el ventilador se utiliza un switch para encender y apagar el ventilador a propósito, de la forma de invertirBit y resetBit, tal como se muestra en la figura 58.

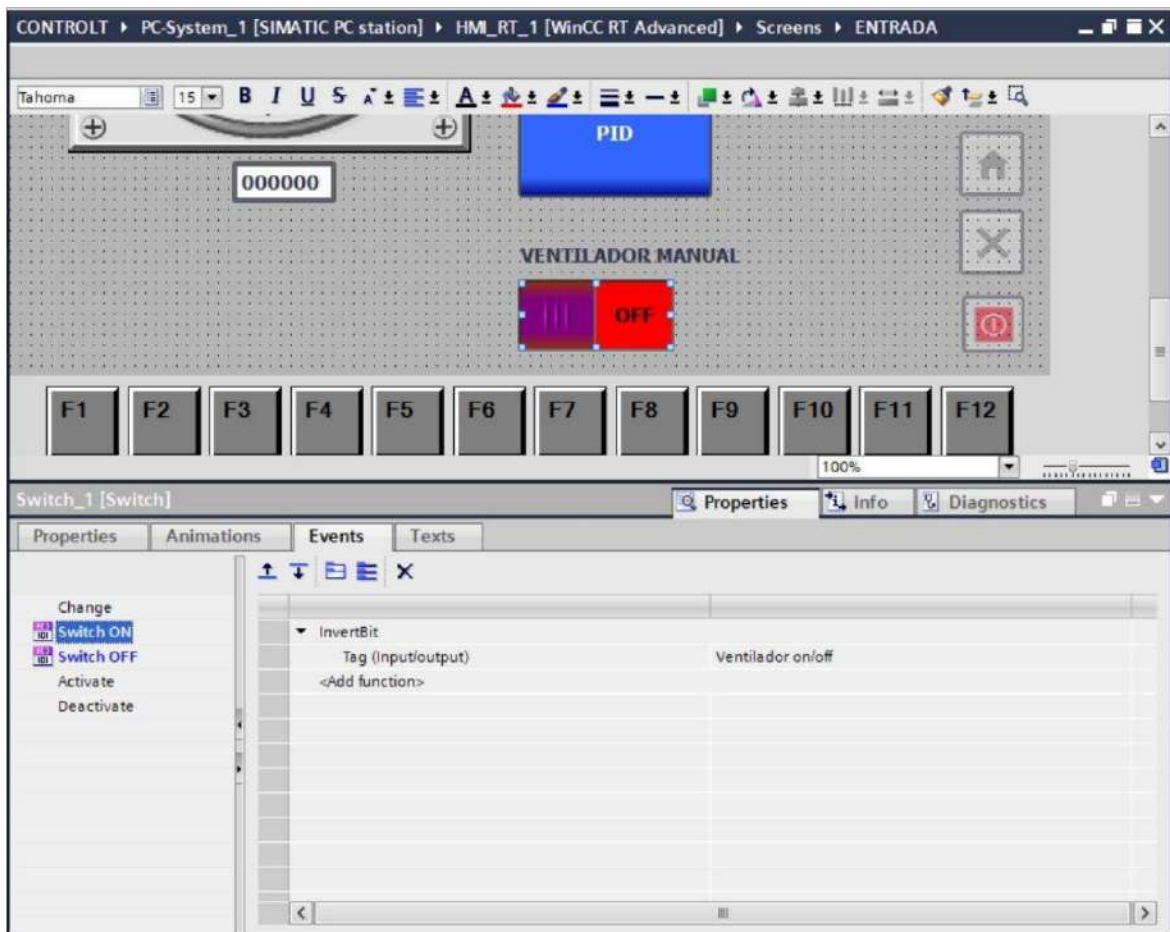


Figura 58. Configuración del ventilador manual en el HMI. Fuente: propia.

Se abre la pantalla “PID” y se define tanto en este como en el de “TEMPORIZADOR” un botón para regresar a la pantalla de “ENTRADA” la cual va a tener la misma configuración que los botones de cambio de pantalla, pero a la “ENTRADA”. además de ello se entran a los parámetros del PID y se buscan las 3 constantes más importantes, las cuales son, ganancia proporcional, tiempo de acción integral y tiempo de acción derivativo, los cuales sus Tag son, “sRet.r_Ctrl_Gain”, “sRet.r_Ctrl_Ti” y “sRet.r_Ctrl_Td” respectivamente, este se arrastra al HMI. Como se muestra en la figura 59.

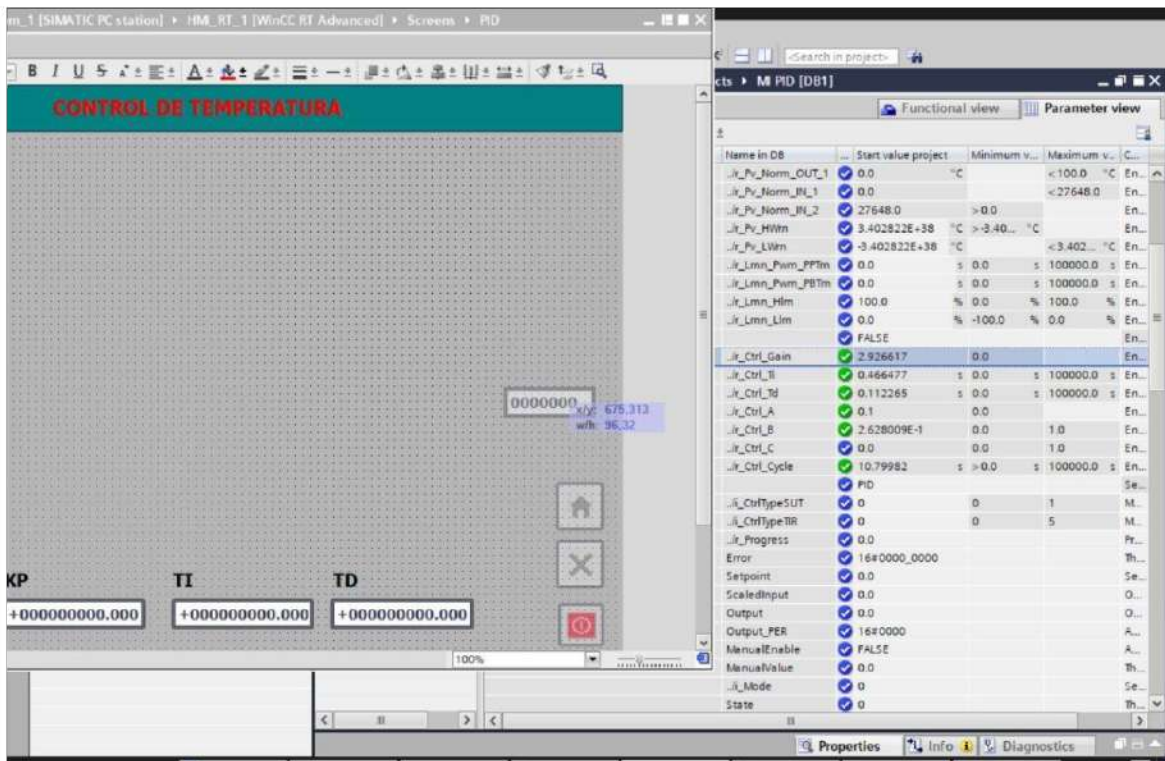


Figura 59. Adición de los parámetros del PID en el HMI. Fuente: propia.

Se añade una gráfica para poder ver las variables de “INTROSETPOINT”, “PID_OUTPUT” y “TEMP MEDIA AJUSTADA”, de forma que se puede ajustar parámetros de la gráfica hasta lograr el resultado deseado. Como se ve en la figura 60.

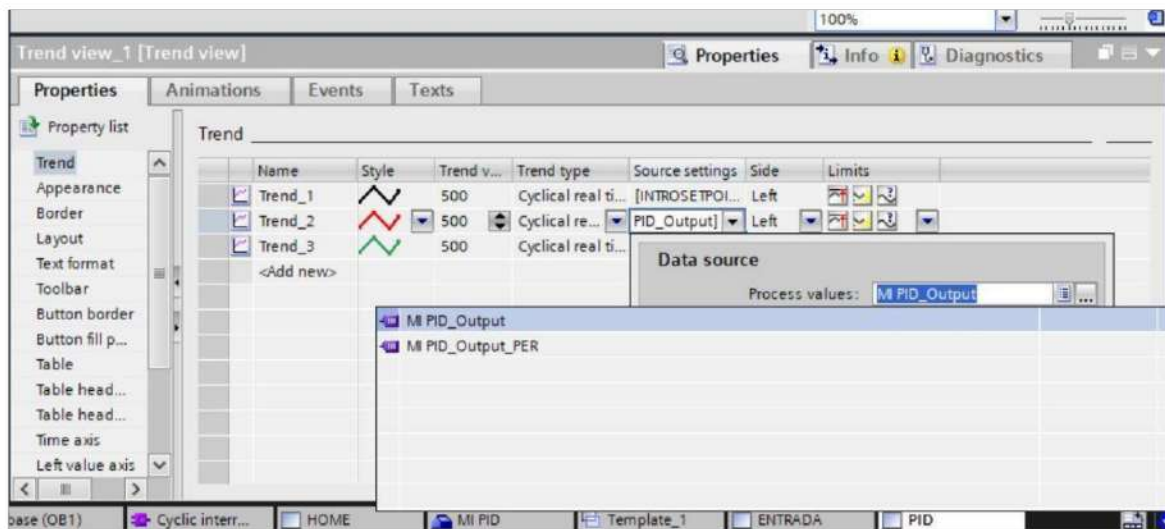


Figura 60. Configuración de la gráfica con parámetros de salida y entrada en el HMI. Fuente: propia.

Ahora se abre la pantalla de “TEMPORIZADOR” se añade un switch para activar el temporizador, lo que hace es evitar el paso de señal directa al PID y esperar a que el usuario active el temporizador para activar el PID, además de añadir el indicador de la temperatura actual. Como se muestra en la figura 61.

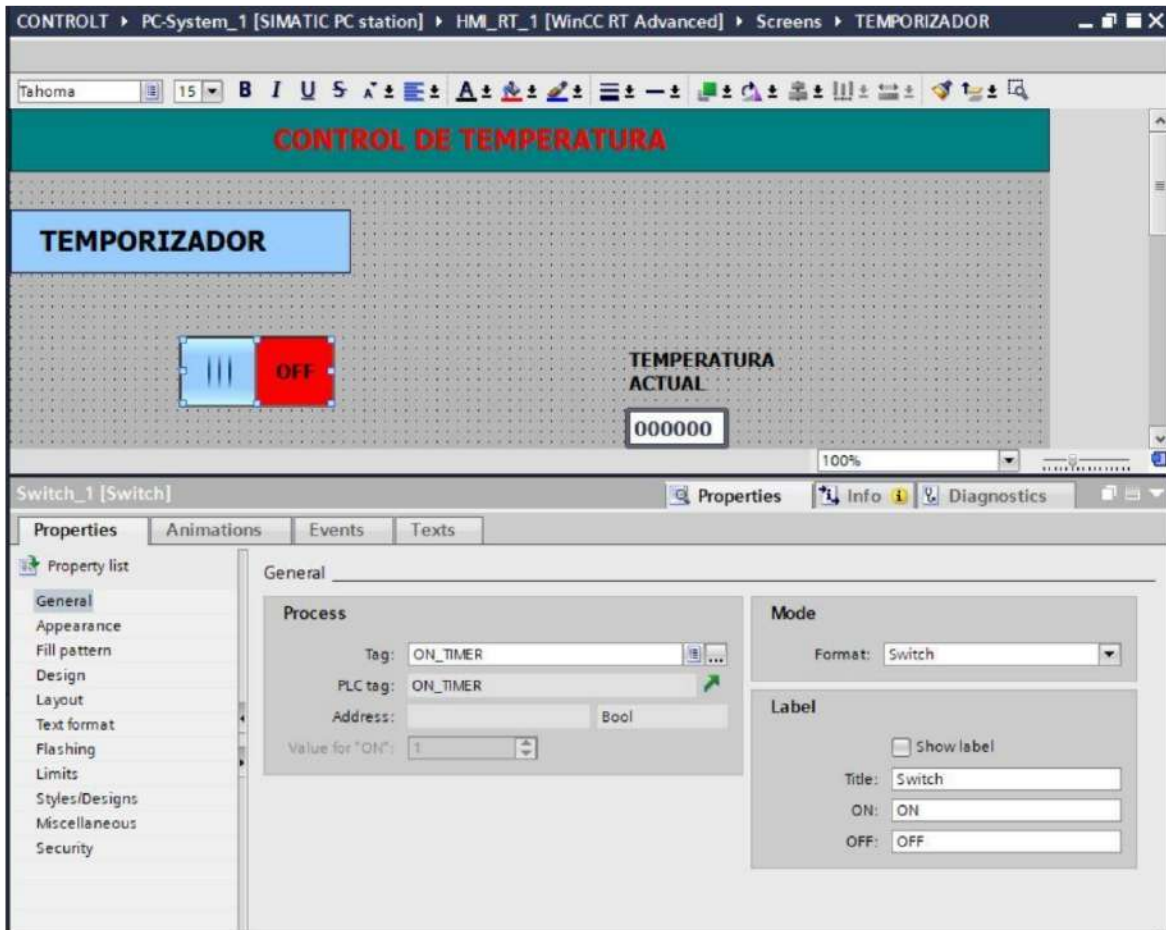


Figura 61. Configuración del switch para el temporizador en el HMI. Fuente: propia.

En la siguiente parte se colocan los botones de “start” del temporizador y el de “stop/reset”, para activar el contador regresivo se le añade el Tag de “STARTIME” al botón verde y para detener y reiniciar el temporizador se le añade el Tag “RESETIMER”. Para que el usuario coloque el tiempo del temporizador se le añade el Tag de “INTROTIME” y en el apartado del conteo se añade el Tag “CONTADOR” para que el usuario pueda ver el conteo regresivo, como se ve en la figura 62.

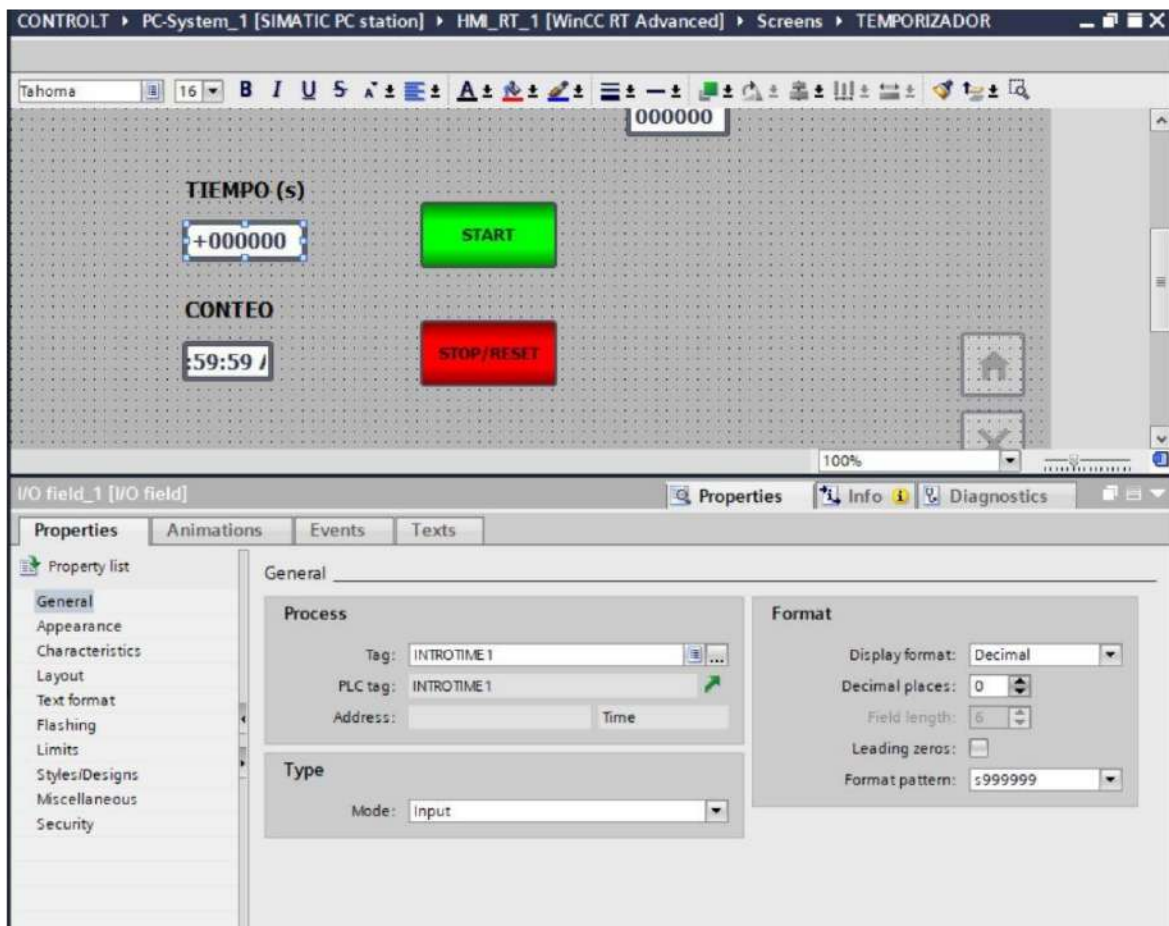


Figura 62. Configuración del Tag para la entrada de tiempo del temporizador y los botones en el HMI. Fuente: propia.

Luego se colocan indicadores LED, uno para indicar que el PID está mandando una salida, el cual va a hacer de color verde y otro de color naranja para indicar que el sistema está en modo temporizador.

Como se había comentado anteriormente para activar el PID hay que cambiar de un 0 a un 3 en la variable de dato "i_mode", para ello se crea un boton "GO" tanto en la pantalla "ENTRADA" como en la "TEMPORIZADOR", con el evento clic y la función de setTag con el Tag de "I_MODE" y un valor de 0 y 3 para que con cada clic cambie de 0 a 3, como se ve en la figura 61.

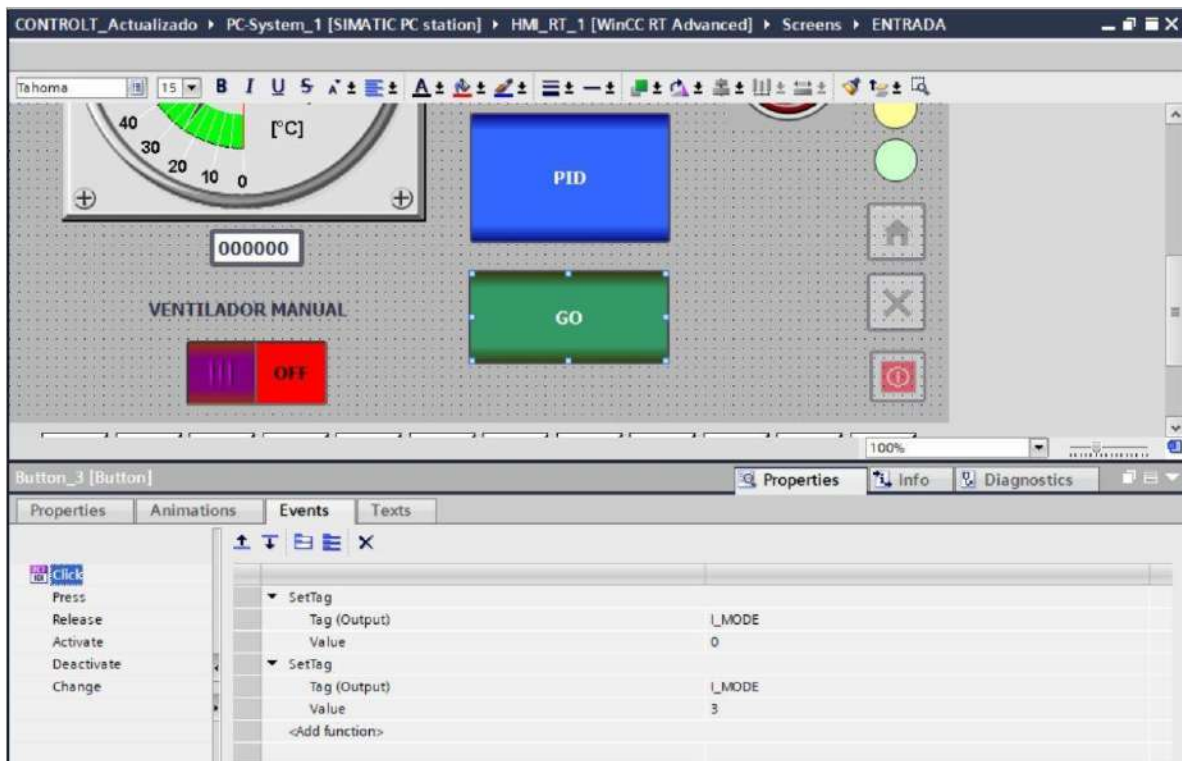


Figura 61. Configuración del botón GO y visualización de los leds indicativos en el HMI. Fuente: propia.

Posterior a ello se crea un acceso directo en el escritorio con el nombre de “HMI CONTROL DE TEMPERATURA”, como se ve en la figura 62.



Figura 62. Acceso directo a el HMI. Fuente: propia

En cual se crea buscando la ubicación que se encuentra en la figura 63.

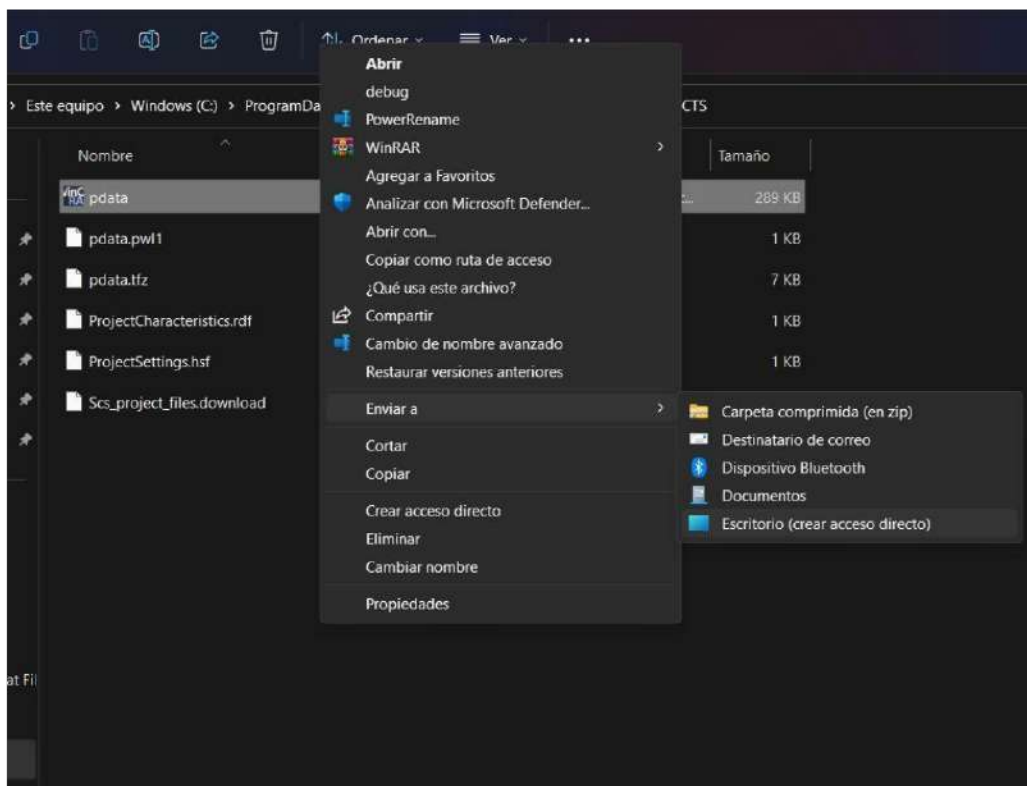


Figura 63. Ubicación del archivo para crear el acceso directo. Fuente: propia

4.4 Fase 4. Montaje físico de las conexiones de potencia y del PLC.

En este punto los componentes comprados ya llegaron, lo primero que se hace es realizarles pruebas de funcionamiento tanto al sensor RTD como al transmisor, para el caso del sensor al ser de 3 hilos se mide se mide la resistencia entre dos cables que están normalmente señalizados por colores, en este caso es la resistencia entre el cable blanco y el negro junto a él, como se ve en la figura 64.

Sabiendo donde medir, con un multímetro se mide la resistencia entre esos dos pines, al mirar la resistencia se puede comparar con la tabla del sensor RTD pt100 y la temperatura actual, mirando que el valor de la resistencia mostrada por el multímetro coincide con la tabla con respecto a la temperatura actual, y para campar variaciones se toma un mechero y se calienta el bulbo para observar que la temperatura aumenta.



Figura 64. Puntos de medición de la resistencia del sensor RTD. Fuente: propia

Ahora para el caso del transmisor se debe conectar como se ve en la figura 64, y en los pines de salida o como se ve en la figura entre el cable blanco y rojo se mide la corriente que envía con un multímetro, si se calienta el bulbo con un mechero se puede notar que la corriente aumentar.

Ahora viene la fase de prueba, en la cual se monta el sensor RTD a la Cámara de calentamiento, y sus conexiones de potencia como se muestra en la figura 65 y 66.

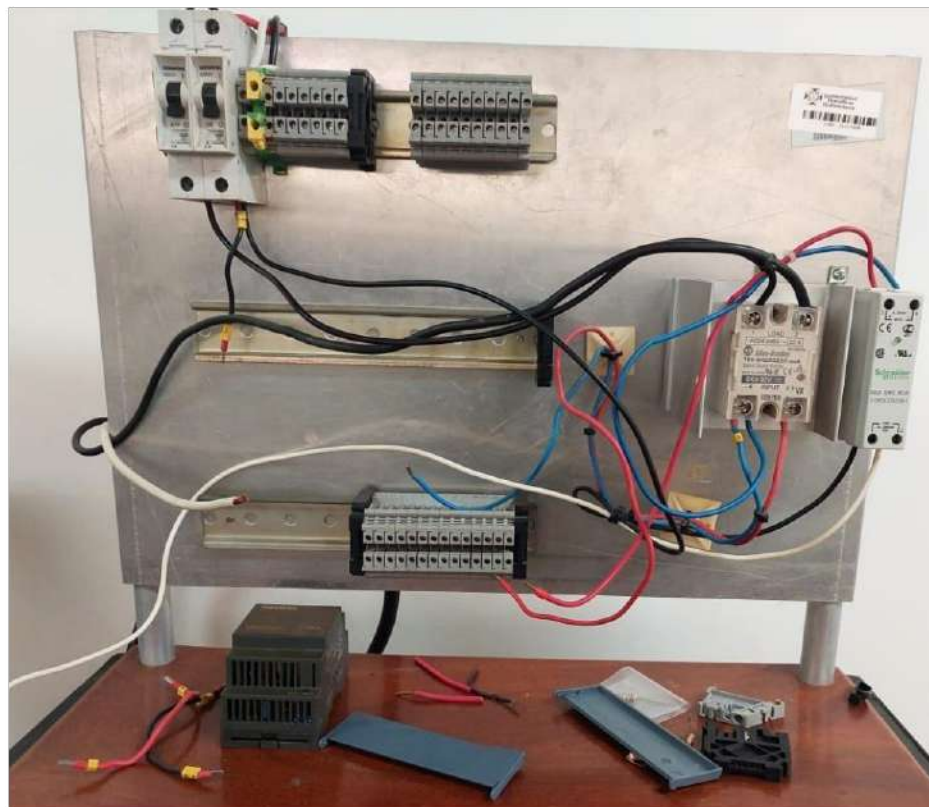


Figura 65. Conexiones de potencia en físico. Fuente: propia

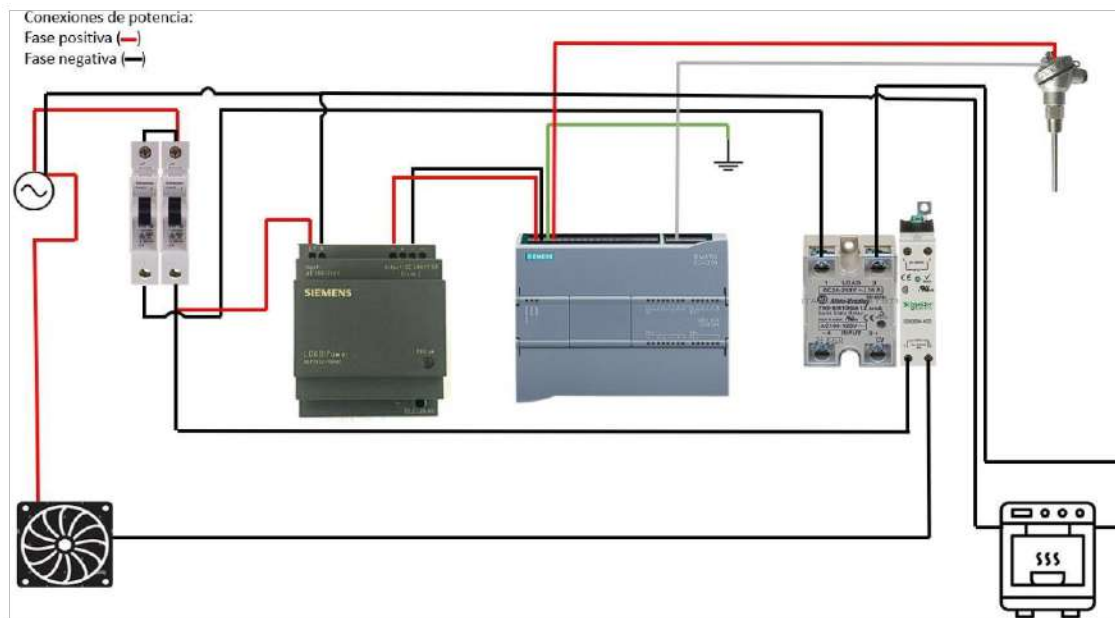


Figura 66. Conexiones de potencia. Fuente: propia

Posterior a ello se instala el PLC y la fuente de alimentación LOGOpower, encargada de convertir la corriente alterna en corriente directa, para alimentar el PLC, luego se realizan las conexiones justas y necesarias, como se muestra en la figura 67 y 68.



Figura 67. Conexiones del PLC en físico. Fuente: propia

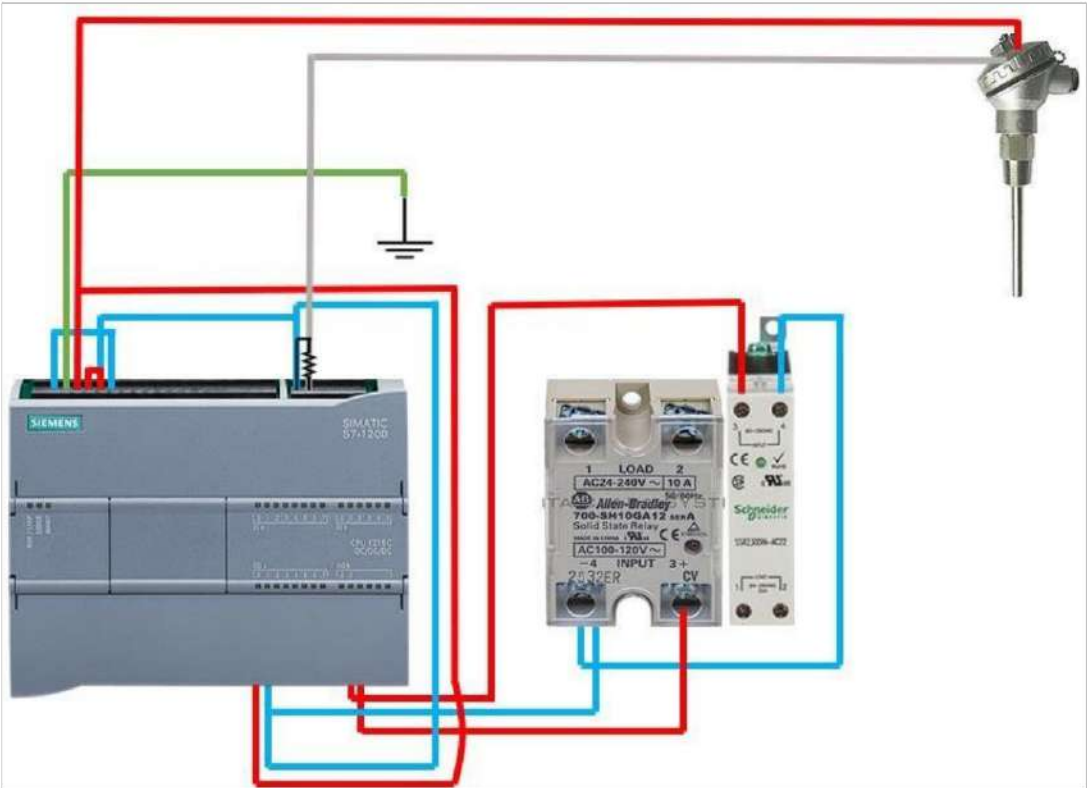


Figura 68. Conexiones del PLC. Fuente: propia

Se conecta el computador y se prueban las salidas y entradas con sistemas simples como encender un led con un botón.

Como se puede ver en la entrada IA hay un puente con una resistencia hacia la otra entrada 2M, pues esto se realiza debido a que el PLC, recibe entrada en termino de voltaje, específicamente de 0 a 10 V, y como se tiene una transmisor que envía la temperatura en términos de corriente, se debe calcular la resistencia necesaria para este lazo de corriente, para ello se usa la ley de Ohm y con una corriente máxima de 20 mA, la cual es la enviada por el transmisor y un voltaje máximo de 10 V, como resultado se utilizará una resistencia de 500 Ω , en este sistema se utilizó una resistencia de 510 Ω , el cual era la más cercana a la calculada.

4.5 Fase 5. Implementación de un controlador PID para la operación del horno.

Para el cálculo de los valores del PID_Compact se opta por utilizar una función del propio TIA PORTAL, el cual está en el apartado de puesta en marcha del PID_Compact el cual se encuentra en la parte superior izquierda del bloque. Para, el cual se muestra en la figura 69.

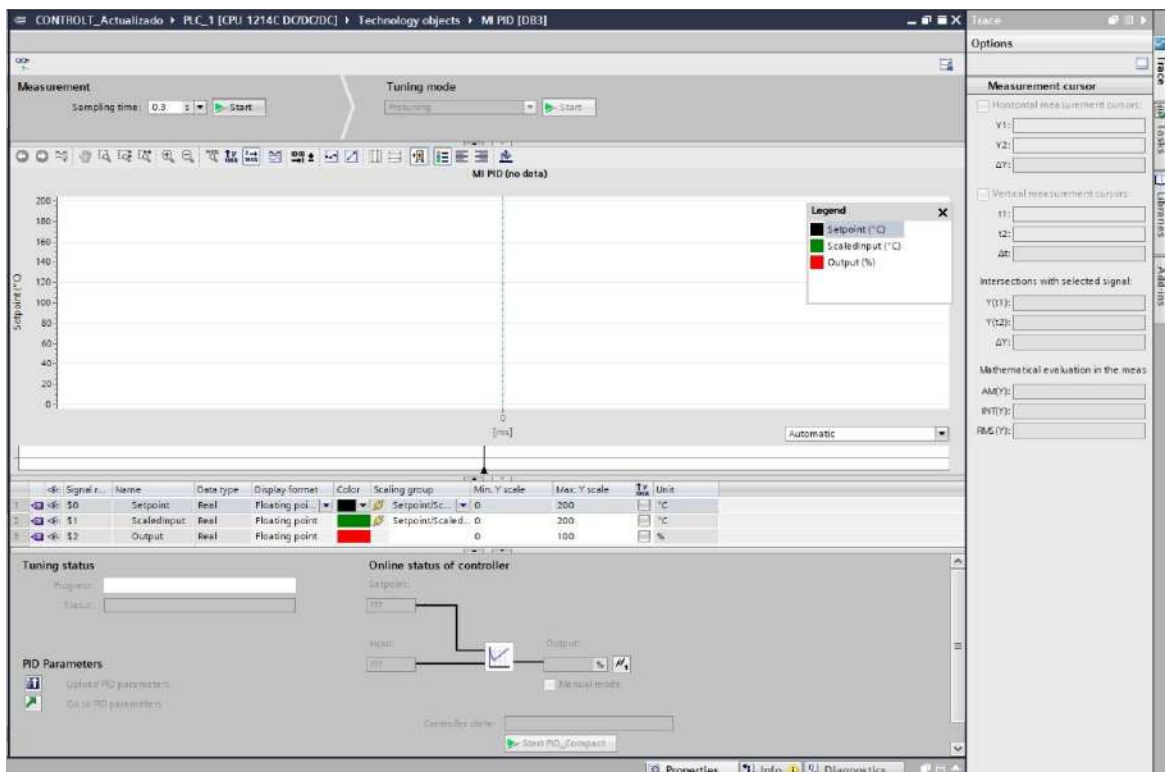


Figura 69. Ventana de puesta en marcha del PID_Compact. Fuente: propia.

El auto calibrado del PID se denomina “fine tuning” el cual se encuentra en el apartado de “Tuning mode” para empezar con este ajuste fino, el sistema debe estar

encendido y además de ello se debe abrir la señal del bloque que cambia el estado de “I_MODE” debido a que esto lo que hace es forzarle el modo al PID_Compact impidiendo que cambie a “fine tuning”.

Una vez hecho lo anterior para que en la gráfica se muestren los datos y el tiempo empiece a correr, se le presiona el botón de “start” en el apartado de “Sampling time” una vez hecho eso en el apartado de “Controller state” se activa el PID con el botón “Start PID_Compact” y ahora se activa el modo de “fine tuning” en el apartado de “Tuning mode” se cambia con la flecha al “fine tuning” y se presiona el botón de “Start” con eso el PID_Compact intentará llegar a la temperatura del setpoint previamente indicada, realizando diferentes tipos de pruebas hasta que la barra de progreso se llene, como se muestra en la figura 70.

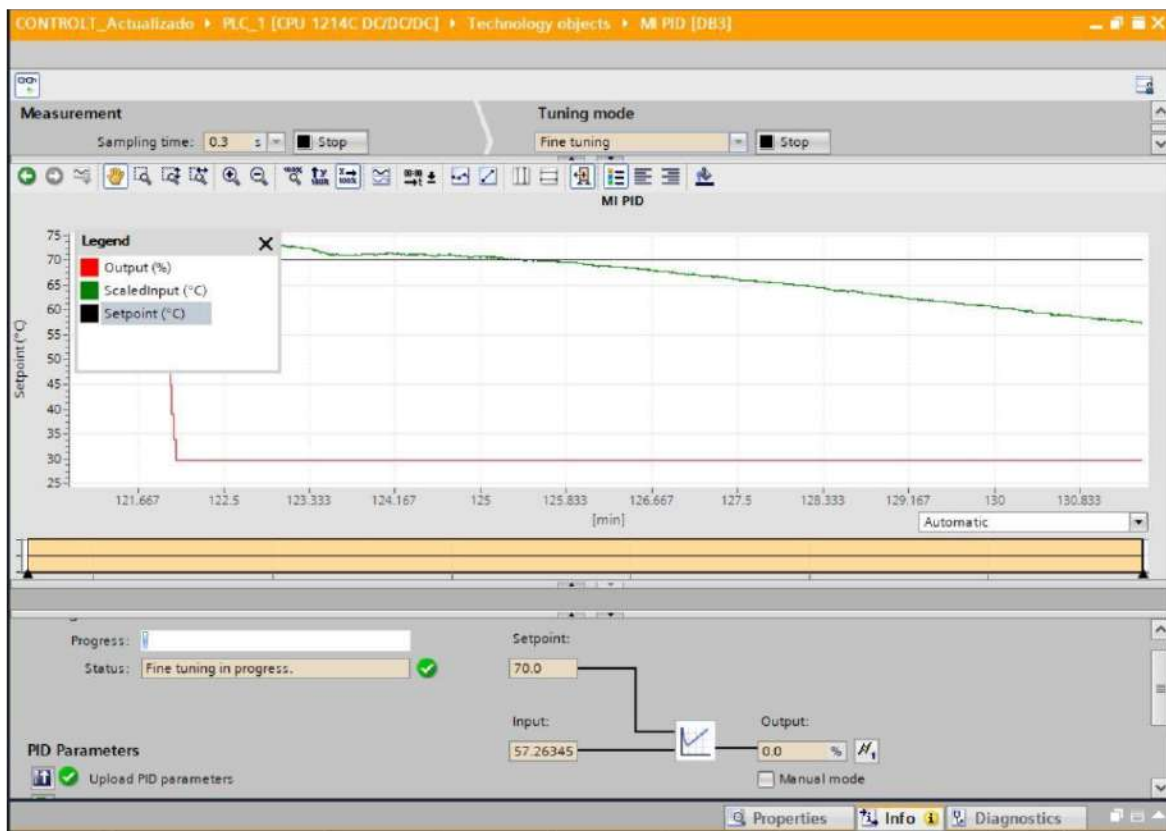


Figura 70. Ventana de puesta en marcha del PID_Compact con el Fine tuning en acción. Fuente: propia.

Una vez se haya completado el progreso, se suben los parámetros al PID, en la opción que se llama “Upload PID parameters” estos se pueden visualizar inmediatamente en la ventana de los parámetros del PID_Compact, como se ve en la figura 71.

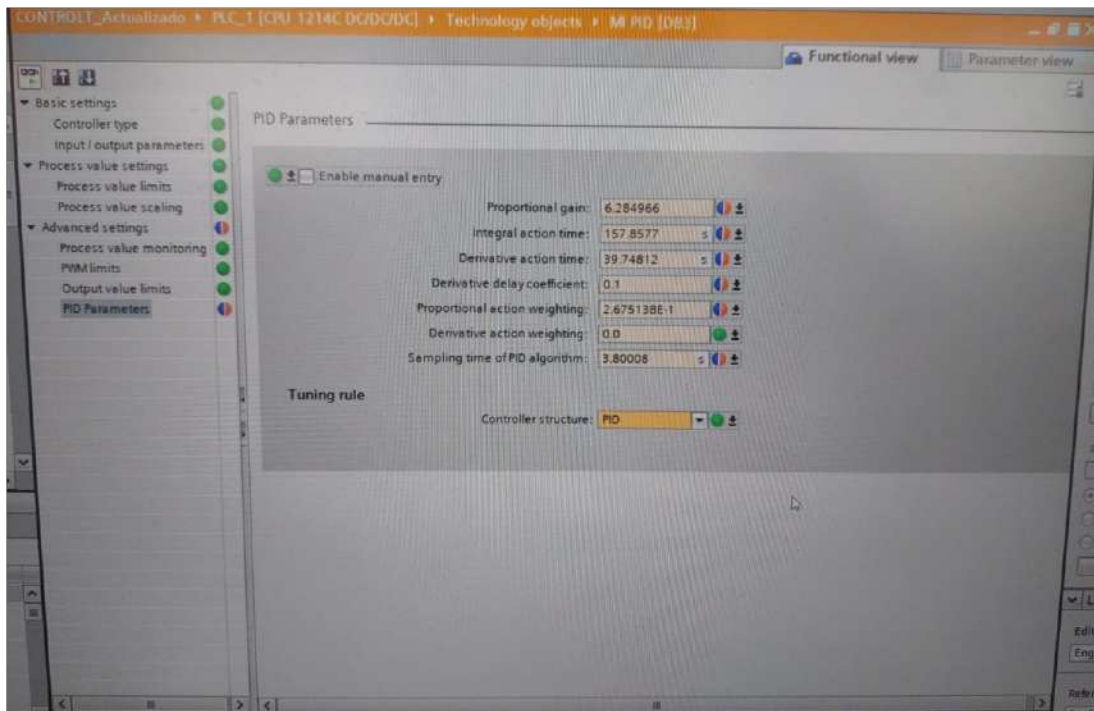


Figura 71. Parámetros del PID recién calculado por el Fine tuning. Fuente: propia

Posterior a ello se guardan los parámetros y el proyecto, el sistema de la Cámara de calentamiento estaría listo.

Luego de realizar las calibraciones y testeos pertinentes, como encender el PLC, iniciar el sistema y ver que ocurre y que no, presionar los botones de cambio de pantalla para ver si lo hacía, en resumen, ver si los botones de HMI funcionan correctamente y hacen lo esperado.

Posterior a ello se prueba el PID generado por el fine tuning, colocándolo en una temperatura deseada o setpoint y espera a que la cámara de calentamiento llega al setpoint, mirando cual es el desvío de temperatura con respecto al setpoint.

También se realizó una prueba de temperatura máxima por el horno y se llegó a una temperatura de 195, pero se recomienda no llegar a estas temperaturas por la estabilidad del ventilador ya que este cuenta con un cableado de fabrica muy delgado, como para soportar esas temperaturas.

Posterior que a ello se instalan los cables al PLC, para que estructuralmente se vea más organizado y aunque no se utilicen, estéticamente queda mejor colocar todos los cables que solo nos necesarios, además si el usuario desea implementar una entrada nueva o salida solo tendrá que colocar el cable en los bornes industriales, facilitando su uso y evitando que para realizar modificaciones se tenga que desmontar el PLC de su base, como se ve en la figura 72.



Figura 72. Conexión de los cables en las salidas y entradas del PLC. Fuente: propia.

Como se puede notar cada cable tienen unos números el cual significan que para las entradas están de dos tipos a y b, no tiene nada de diferente solo se hace por enumeración, el número de abajo, el 1 y el 2 se presentan las entradas a y b respectivamente, las salidas están representadas por 0, la Qb no se usa.

Arriba de esos números esta la numeración de las entradas 0, 1, 2... y así hasta el 7, empezando otra vez para el 2 del 0 al 5 y las salidas que van del 0 al 7. Para la alimentación están los determinador + y -, el montaje del PLC se puede ver en la figura 73.

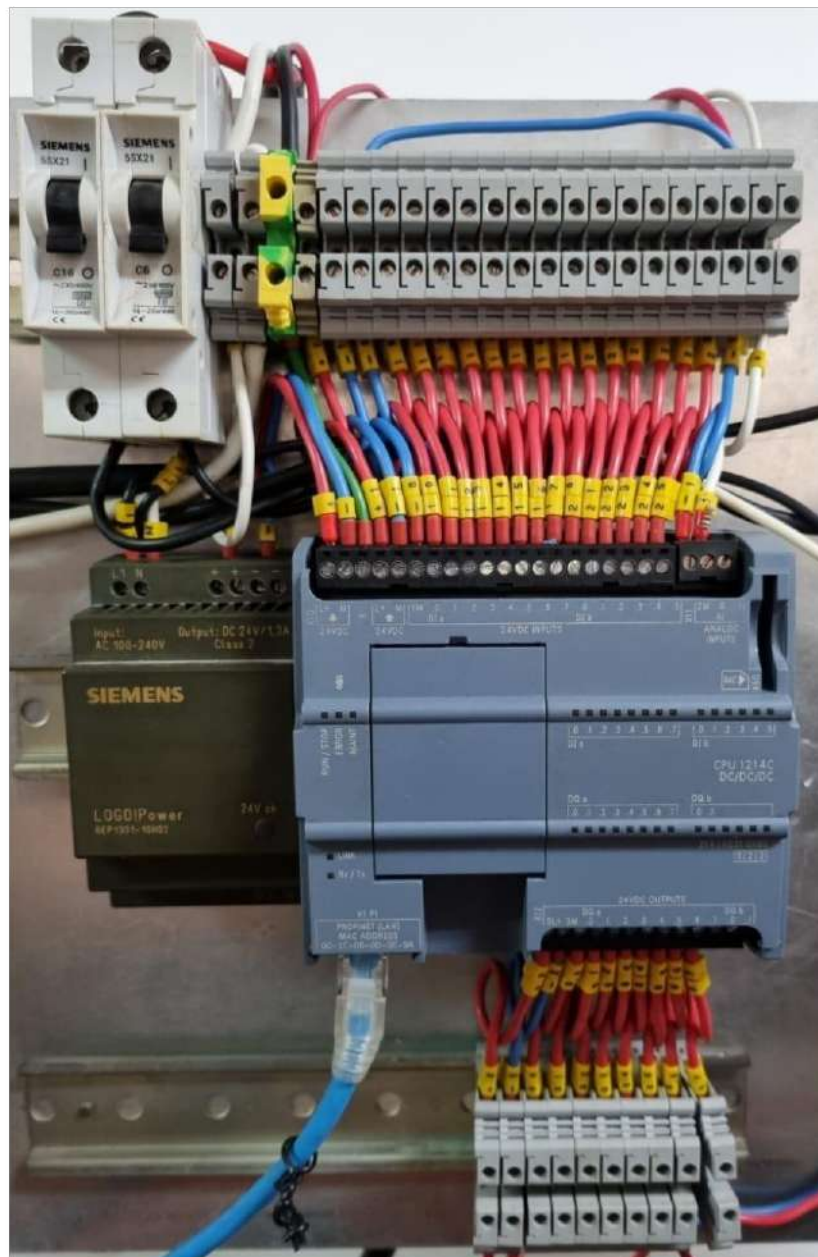


Figura 73. Montaje del PLC en la base del sistema. Fuente: propia.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme a los componentes establecidos y seleccionados se monta el sistema de forma que el PLC quede a la vista del usuario junto con los relés y todo el cableado. Físicamente el sistema se divide en dos partes: la parte de la cámara de calentamiento y la otra parte de control y potencia. La primera parte cuenta con la cámara como tal, la resistencia eléctrica, el ventilador, el indicador de temperatura y el sensor RTD pt-100.

La segunda parte cuenta con el PLC, los relés, las conexiones de potencia con sus respectivos interruptores termomagnéticos y el correspondiente computador para que el usuario pueda manejar el sistema con el HMI como se aprecia en la figura 74.

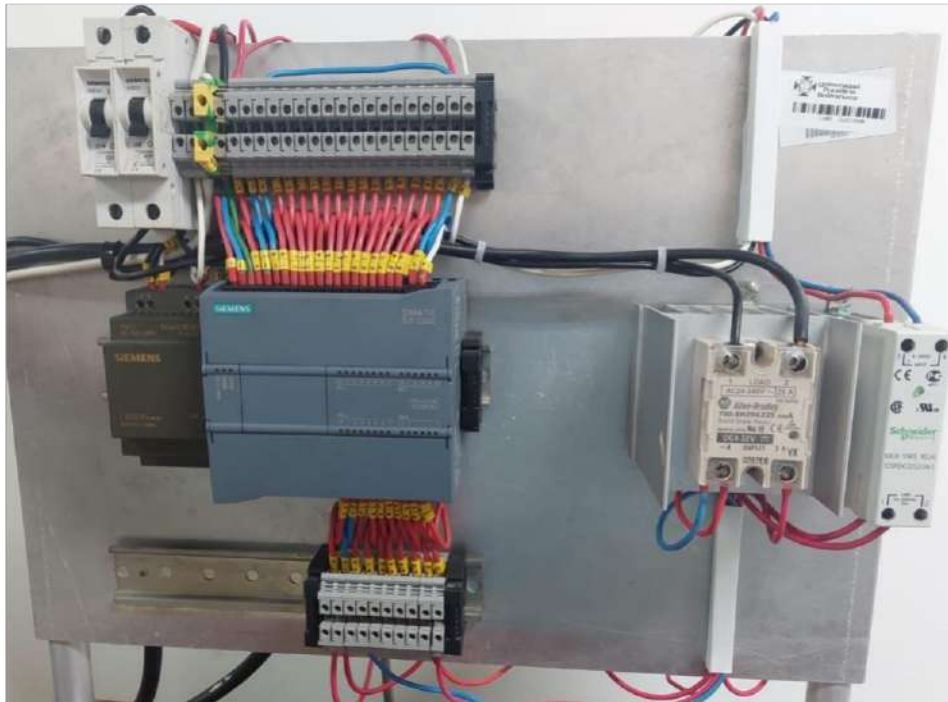


Figura 74. Tablero de las conexiones físicas del PLC. Fuente: propia.

La primera parte se puede ver en la figura 75.



Figura 75. Cámara de calentamiento. Fuente: propia.

El PID implementado es calculado por el mismo software, el cual es una muy buena opción para esta aplicación, los parámetros del PID se calculan poniendo en marcha el sistema y el automáticamente generará los valores de KP, TI y TD hasta encontrar los valores que se ajusten a este sistema en específico. Luego de unos minutos de auto testeo por parte del sistema en modo Fine Tuning, encontrará los valores para el PID que el cree más convenientes para este sistema. Determinando así los valores que se muestran en la figura 76.

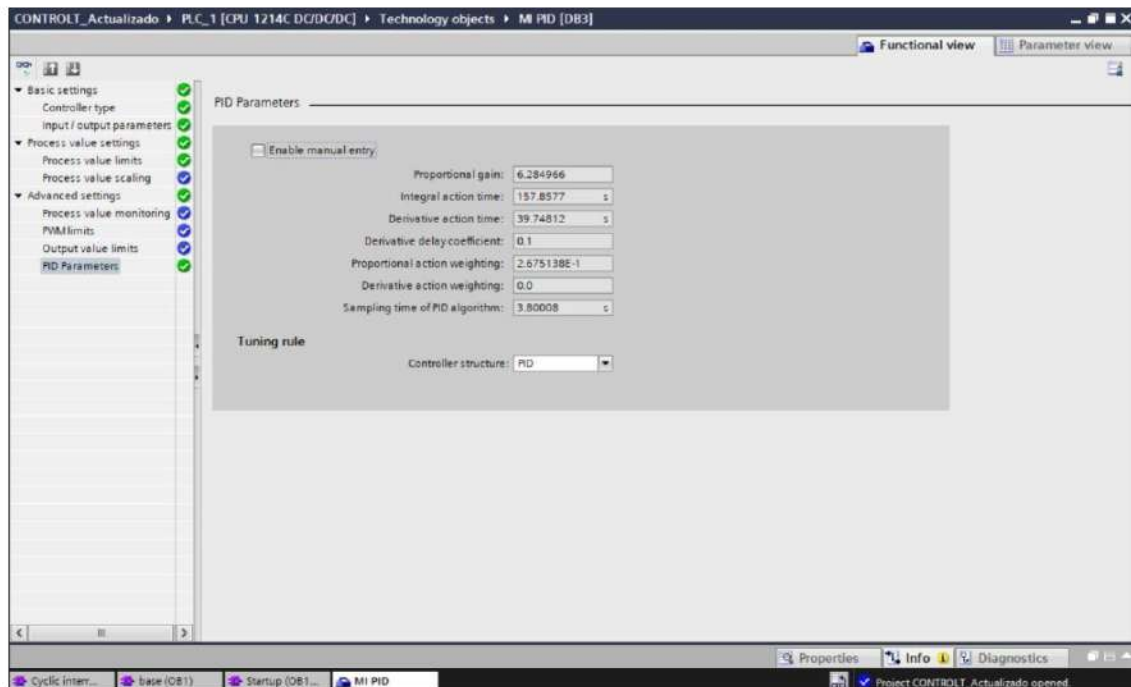


Figura 76. parámetros finales del PID. Fuente: propia

El PID en marcha se puede ver desde la ventana de puesta en marcha del PID_Compact o desde el HMI, la primera ya se mostró en la metodología y para mostrar que tan bueno es el PID se verá al final de los resultados.

Antes de mostrar la apariencia y el funcionamiento final del HMI, es prudente saber cómo funciona este sistema de calentamiento. Para ello está la figura 77, la cual es un diagrama de bloques del funcionamiento del sistema.

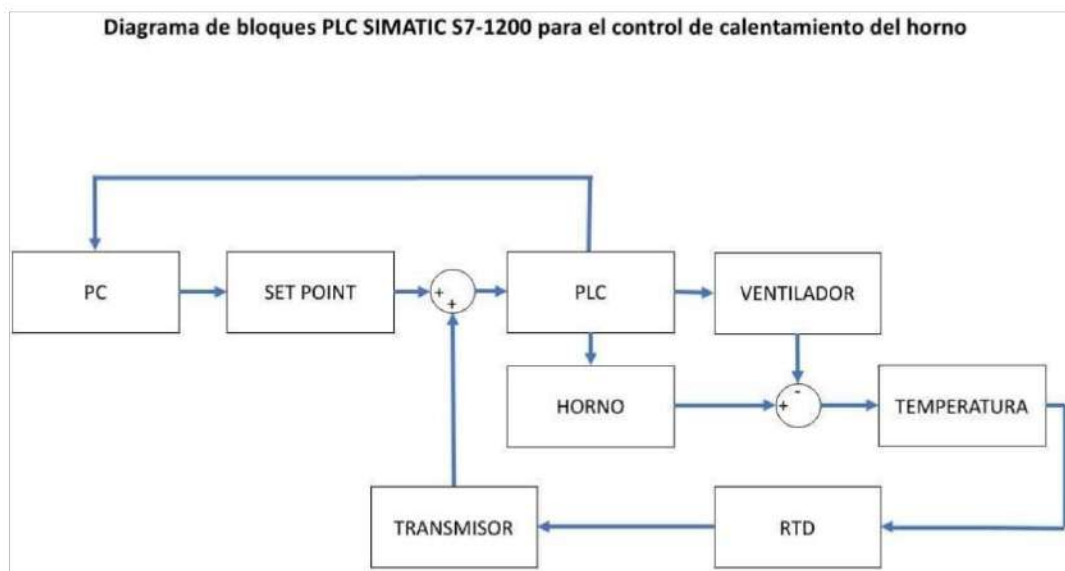


Figura 77. Diagrama de bloque del sistema. Fuente: propia

Como se puede apreciar, es un sistema muy simple que tiene una entrada y dos salidas. El PLC lee el valor de la temperatura captada por el sensor RTD. Gracias al transmisor, la normalización y escalado implementado, el bloque del PID lee el resultado de eso, comprándolo con el setpoint determinado por el usuario, para activar la salida PWM en la Q0.7 la cual activa el relé, cerrando el switch, dejando pasar la corriente alterna por la resistencia eléctrica, haciendo que este se caliente subiendo la temperatura de la cámara, esto lo hará hasta que llegue al setpoint, pero obviamente de forma progresiva subiendo y bajando de a poco el porcentaje en estado ON de la salida Q0.7, hasta que llegue a un valor que se ajuste a la temperatura que se desee llegar.

Si en cierto caso la temperatura del horno sobrepasa el 2% de la temperatura del setpoint, se activará la salida Q0.6 la cual va a activar el ventilador encargado ventilar el horno, ayudando a que la temperatura baje más rápido y no llegue a valores no permitidos para este sistema.

Sabiendo lo anterior; entender el HMI será más sencillo. El sistema de interacción HMI (Interfaz Humano/Máquina) consta con 4 pantallas: una es la pantalla “portada” del sistema, la otra en el inicio del sistema como tal, la otra es un apartado para visualizar gráficamente la entrada, la salida y el setpoint, donde además de ello se puede cambiar parámetros principales del PID y por último la pantalla del temporizador, para que el usuario pueda determinar el tiempo que quiera que el horno este activo.

En el primer apartado se puede ver la pantalla que primero verá el usuario, la cual contiene los logos de la Universidad Pontificia Bolivariana, los nombres de los autores y un botón con el nombre iniciar, el cual se debe presionar para entrar a la siguiente pantalla, como se ve en la figura 78.

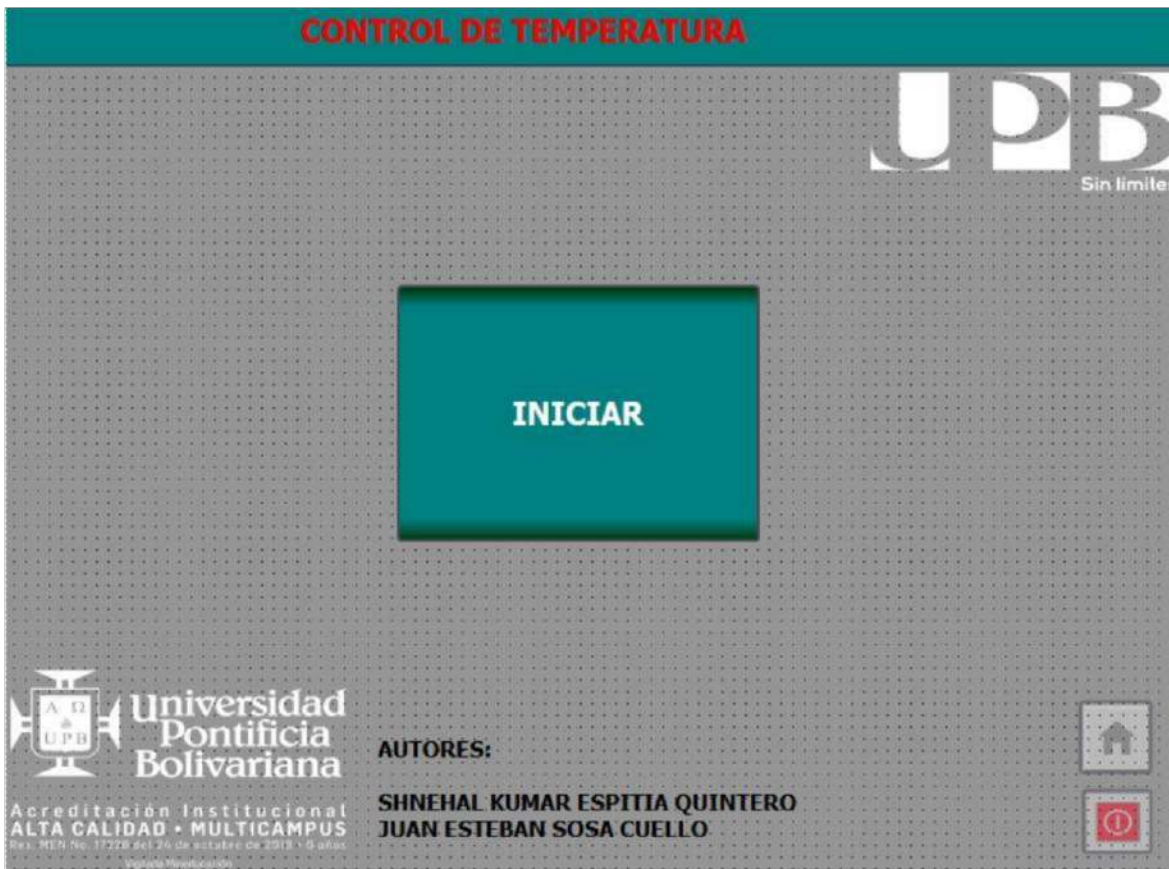


Figura 78. Pantalla de inicio del HMI. Fuente: propia

Esta es la pantalla principal y se puede ver el botón de inicio del sistema.

Al usuario dar Inicio lo primero que tiene que hacer es colocar la temperatura que desea llegar en el apartado de setpoint, y posteriormente presionar el botón verde, para encender el sistema, si no se coloca el setpoint primero, se activará el ventilador ya que la temperatura por defecto es 0°C.

Una vez iniciado el sistema en el apartado de temperatura actual se mostrará dicha temperatura al igual que el indicar animado, en este punto el sistema solo está a la espera que el usuario presione el botón "GO" para activar el PID, al presionar dicho botón el PID se pondrá en marcha y en la salida Q0.7, empezarán a salir pulsos dependiendo de la diferencia de temperatura entre la actual y la del setpoint.

En este punto ya se tendría un control de temperatura. Además de lo mencionado anteriormente este apartado cuenta con un switch denominado "ventilado manual" para que el usuario pueda activar el ventilador de forma manual, ya se para llegar a temperatura más bajas de forma más rápida o por otros motivos.

También cuenta con dos leds: uno de color verde que indica al usuario si el PID está mandando una salida, por muy pequeña que sea, el otro led es de color amarillo, en estado de (OFF) indica que el modo temporizador del sistema no está activado, si el usuario activa el switch del temporizador el led se enciende de color naranja, como el color del botón del temporizador para que tengan relación visual.

Y por último el botón rojo de apagado del sistema, este para que funcione correctamente debe ser presionado dos veces por el usuario asegurándose que el sistema se halla apagado por completo, esto lo puede comprobar observando el led verde. Esta pantalla se puede ver en la figura 79.

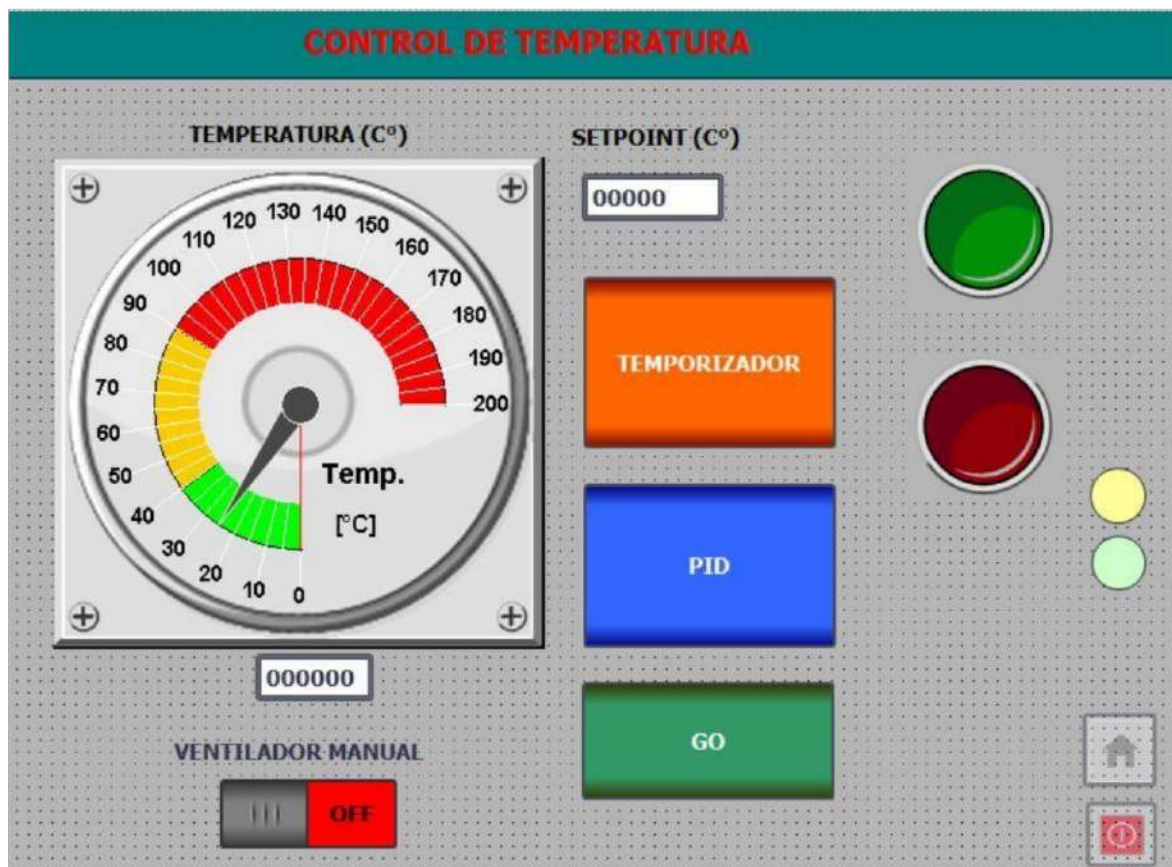


Figura 79. Pantalla principal del HMI. Fuente: propia

Supongamos que el usuario desea utilizar el temporizador, para ello en la pantalla principal debe presionar el botón naranja con el nombre de temporizador, este lo llevará directamente a su configuración.

Para activar el temporizador el sistema debe estar iniciado, es decir sin que el PID esté activo. Al activar el switch del temporizador el sistema se colocará en modo temporizador. Ya colocado el setpoint, lo siguiente que debe hacer el usuario es colocar el tiempo deseado para que el PID esté mandando una salida y en el

apartado de contador se verá un conteo en forma regresiva del tiempo colocado por el usuario. Para activar el contador se debe presionar el botón verde "start" seguido del botón "GO" para que éste envíe la señal de salida. Para reiniciar y detener el temporizador y PID_Compact se debe presionar el botón rojo "reset/stop". Esto se puede ver la figura 80.

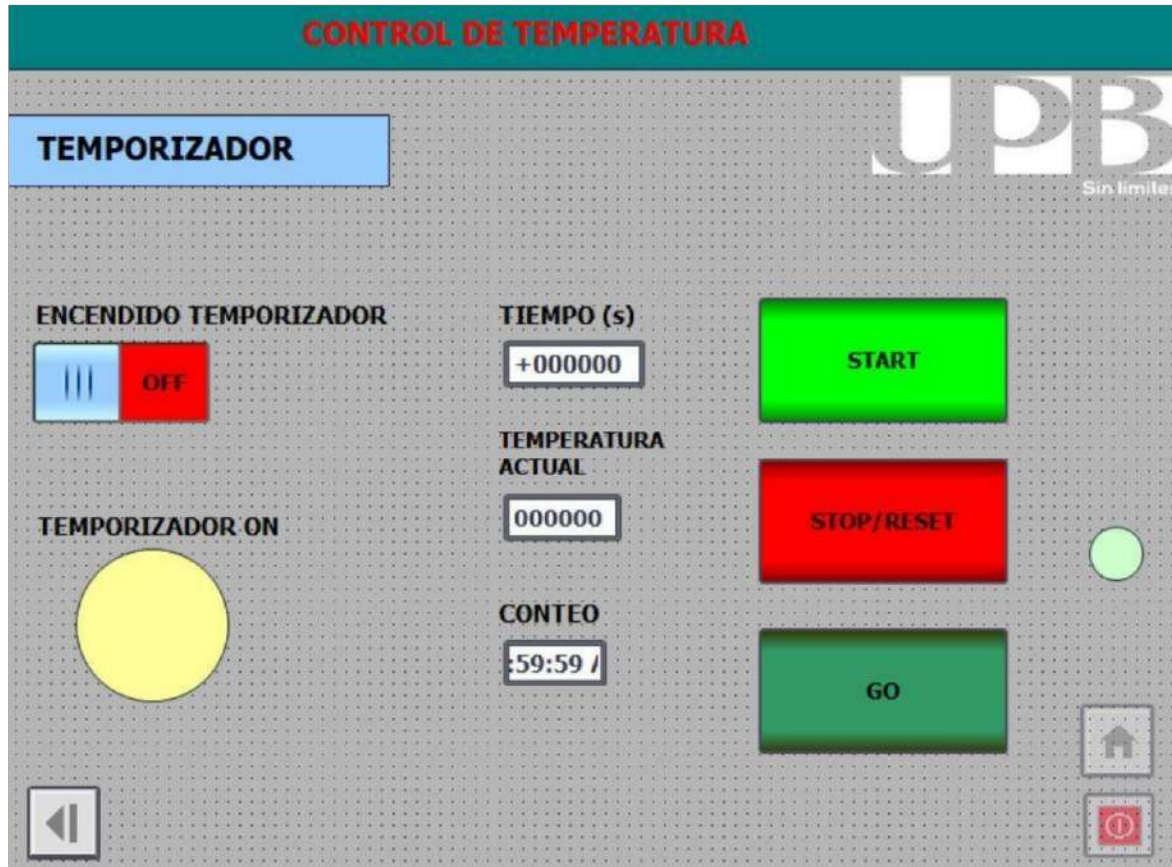


Figura 80. Pantalla temporizador del HMI. Fuente: propia

Si el sistema está activado y el usuario desea observar gráficamente el PID en la pantalla principal debe presionar al botón azul con el nombre de PID, el cual lo llevará a la pantalla del PID.

En este apartado el usuario puede observar en tiempo real el PID en acción. En dicha gráfica están las variables de la temperatura en tiempo real, la cual es "TEMP MEDIA AJUSTADA", se puede ver el setpoint determinado por el usuario y la salida en porcentaje de los pulsos mandados por el PID, "Output_PWM".

Además de ello en la parte de abajo están los parámetros del PID. En primera instancia están los parámetros ya determinados por el fine tuning. Dichos parámetros pueden ser cambiados por el usuario generando el PID que crea más conveniente para el sistema.

Con estas variables el usuario puede ver como la salida del PID cambia en función a los parámetros del PID y la diferencia del setpoint con la temperatura actual. Aquí también están los dos leds para que el usuario esté al tanto del estado del sistema, además de una flecha que lo retrocede a la pantalla anterior, lo cual se puede ver en la figura 81.

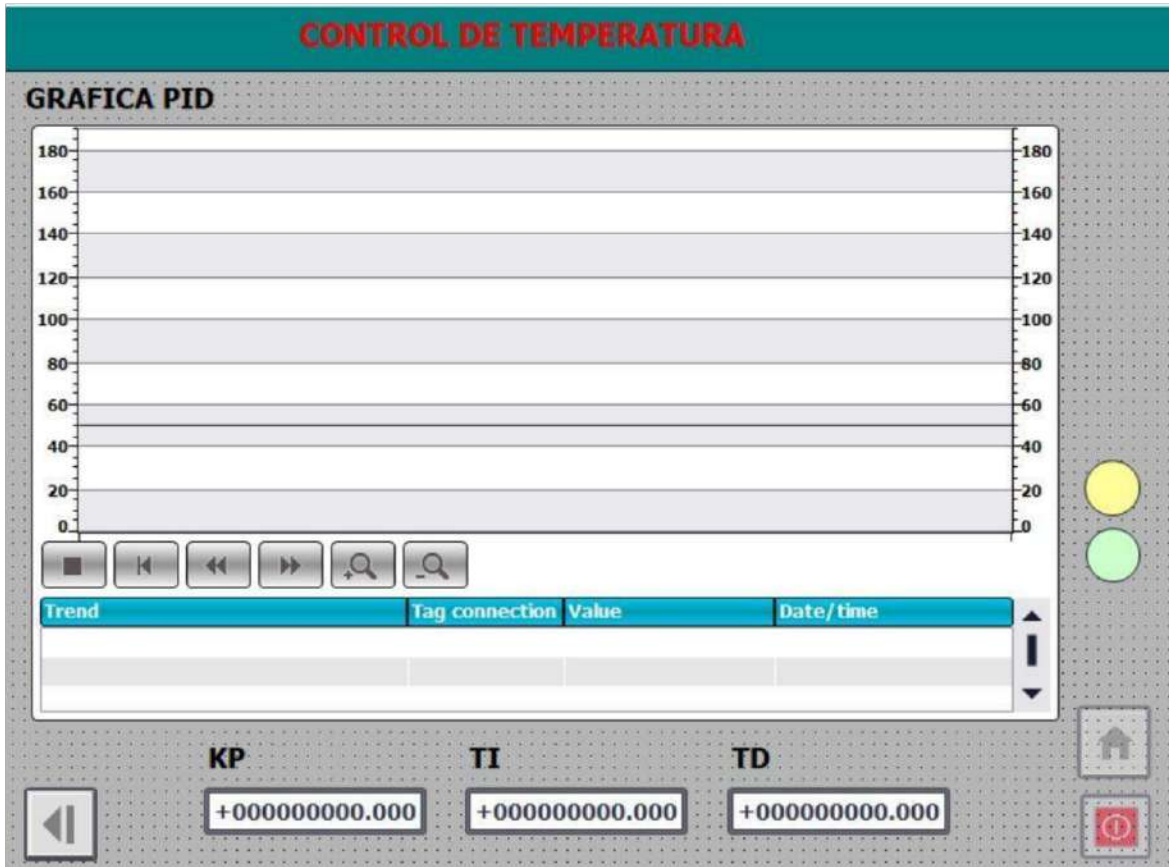


Figura 81. Pantalla PID del HMI. Fuente: propia

Por último, se prueba el PID y el HMI. Para ello se enciende el sistema y se pone en marcha el PID_Compact. En el apartado del PID se pueden ver los parámetros y el progreso de la temperatura y la salida del PID_Compact, con un setpoint de 50°C en la figura 82 se puede ver cuando inicia el sistema.

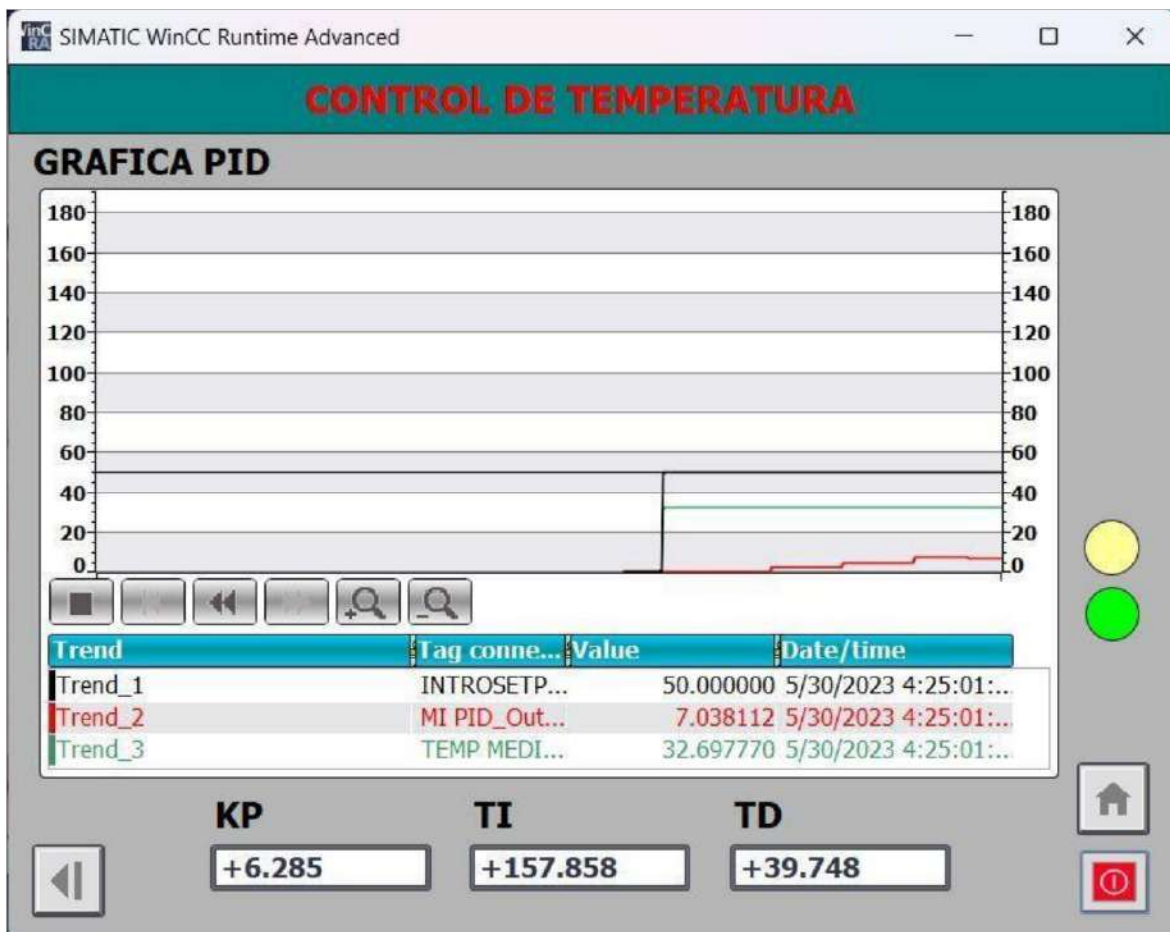


Figura 82. Inicio del control de la cámara de calentamiento con un setpoint de 50°C. Fuente: propia

En este punto solo falta esperar que la temperatura llegue a la del setpoint y mirar cuál es su desviación y el tiempo que tardó en alcanzar dicha temperatura, esto se puede ver en la figura 83.

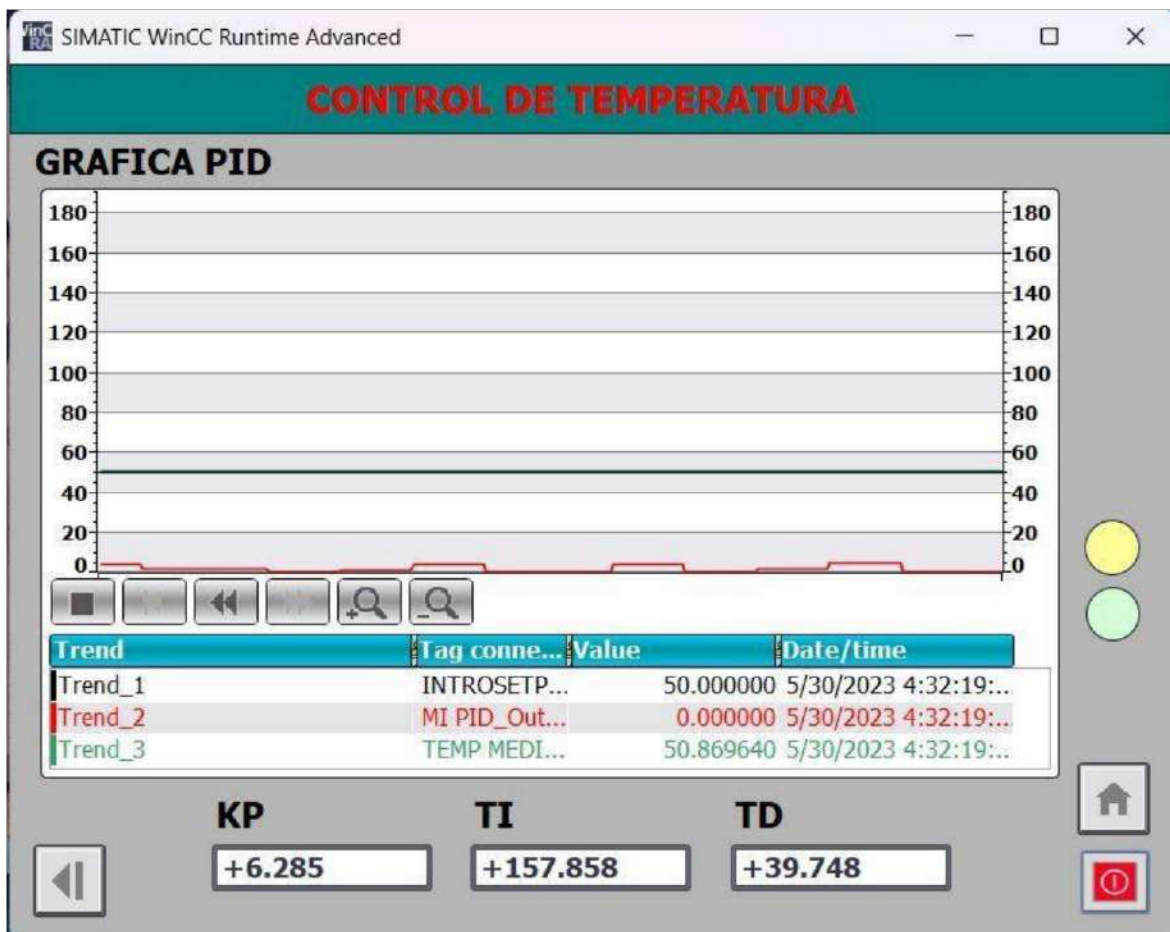


Figura 83. Estabilización del control de la cámara de calentamiento con un setpoint de 50°C.
Fuente: propia

A este punto la temperatura del horno ha llegado a la del setpoint, y como se puede ver el PID trata de ajustarse a esto, subiendo en breves instantes de tiempo la salida para evitar que la temperatura baje, como se puede ver la figura 82, con respecto a la figura 83, el tiempo que demoró aproximadamente en llegar a esa temperatura fue de 7 minutos, y esto puede ser mucho tiempo pero hay que tener en cuenta que la el control de temperatura en uno de los procesos más demorados en la industria y esto se debe a que el cambio de la temperatura no es inmediato, donde también afectan los componentes de este tipo de sistemas.

Este PID calculado por el sistema cuenta con un desvío de temperatura aproximado con respecto al setpoint de $\pm 1^\circ\text{C}$, lo cual para el uso que se le va a dar que son las prácticas de laboratorio, es un desvío aceptable; pero si este PID fuese a implementarse de forma industrial, se consideraría uno que deja mucho que desear, ya que estas variables tienen que ser controladas con mucha precisión para llegar a los resultados deseados.

Ahora bien, eso no evita que el sistema montado no simule un entorno industrial, de hecho, lo hace y muy bien. Es cierto que no cuenta con un controlador de temperatura ya creado para este fin, pero el PLC Simatic S7-1200 es una buena alternativa para el control de temperatura, la resistencia eléctrica es capaz de alcanzar temperaturas superiores a 200°C, pero por seguridad de todos en el laboratorio y teniendo en cuenta que no estamos en un ambiente industrial, se recomienda no sobrepasar temperaturas de 150°C por riesgo de quemaduras u otro tipo de accidente.

Con el fin de brindar al usuario una forma más sencilla de comprender el funcionamiento del sistema a través del HMI, se ha creado un manual de usuario. En este manual se explican los diferentes parámetros que se pueden modificar en la interfaz para lograr un correcto funcionamiento del sistema de calentamiento. Esto está relacionado con las capacidades del sistema, y se explican cada uno de los apartados del HMI, como la configuración del setpoint según la voluntad del usuario, el cambio de los parámetros del PID, la activación del modo temporizador y la configuración de un tiempo de activación deseado, así como los indicadores visuales, entre otras cosas.

6 CONCLUSIONES

El proceso de calentamiento de un horno mediante el uso del PLC Simatic S7-1200, el software TIA Portal y una interfaz de usuario HMI ha demostrado ser una solución altamente efectiva para dinamizar las clases de Controladores lógicos programables (PLC) y sistemas automáticos de control (SAC).

La implementación de esta automatización ha brindado numerosos beneficios, como un control más preciso de la temperatura, una reducción en el tiempo requerido para los ciclos de calentamiento y enfriamiento, y una mejora del funcionamiento del sistema en general. Además, la capacidad de monitorear y ajustar el proceso de forma remota a través de la interfaz de usuario HMI ha permitido una mayor flexibilidad y eficiencia en la operación.

El PLC Simatic S7-1200, con su confiabilidad y versatilidad, ha sido fundamental en la automatización del proceso, proporcionando un control robusto y confiable. El software TIA Portal ha facilitado el desarrollo y la programación del PLC, ofreciendo un entorno de desarrollo integrado que ha permitido una configuración eficiente y una implementación rápida.

La interfaz de usuario HMI creada con el TIA Portal ha mejorado significativamente la interacción entre los operadores y el proceso automatizado, proporcionando información en tiempo real y permitiendo ajustes intuitivos de los parámetros del proceso. La HMI ha facilitado la supervisión y el control del horno de manera segura y efectiva.

Todo esto en conjunto, tanto el hardware como el software logran una perfecta relación para el correcto funcionamiento del proceso de calentamiento del horno.

Aparte de lo anterior, ni el horno ni la resistencia eléctrica cuentan con las características físicas para alcanzar temperaturas industriales ya sean temperaturas superiores a 300°C, debido a los materiales utilizados para su construcción, pero a pesar de ello, cumple con la función para la cual fue creado y es para simular un control de temperatura industrial en un ambiente estudiantil.

RECOMENDACIONES

1. Implementar una mejora para el sistema HMI en el que no se necesite el uso del botón 'GO' para que el sistema empiece a operar.

Hacer que el funcionamiento del sistema se dé únicamente con los dos botones de acción "start" y "stop" haciendo que todo el sistema inicie su proceso inmediatamente cuando se presiona el botón de "start" y finalizando, presionando el botón de stop una vez.

2. Algo que puede aumentar la precisión de la temperatura actual con respecto al setpoint es implementar un segundo PID_Compact, el cual controlaría la salida Q0.6 relacionada con el ventilador. El objetivo es lograr que ambos PID_Compact, tanto el de la resistencia eléctrica como el del ventilador, se relacionen entre sí.

Esto permitiría que el sistema elija automáticamente el momento adecuado para activar o desactivar el ventilador junto con la resistencia eléctrica, creando momentos en los que, por ejemplo, si el PID detecta que la temperatura aumenta un poco más de lo deseado, activaría el ventilador y desactivaría la resistencia eléctrica. Por el contrario, si la temperatura es más baja de lo deseado, se desactivaría el ventilador y se activaría la resistencia eléctrica. Todo esto ocurriría en cuestión de milisegundos con respecto al ciclo del bloque "Cyclic interrupt", mejorando la estabilidad en la salida y reduciendo la desviación de temperatura de manera significativa.

3. Cambiar el termómetro bimetálico por uno que esté calibrado y ajustar el desvío de la temperatura en el escalado, además de recalcular los valores del PID, si es necesario.
4. Actualizar el estado físico del sistema y mejorar visualmente la HMI.

7 BIBLIOGRAFÍA

SIMENS AG Digital Industries. (2021). STEP 7 and WinCC Engineering V17. (Primera Edición).

Cañazaca Limachi, V. R., & Jamachi Espillico, C. W. (2018, November 30). Módulo didáctico para el análisis de sensores, mediante un PLC, controlada desde un HMI, en el laboratorio de control y automatización de la EPIME. Módulo Didáctico Para El Análisis de Sensores, Mediante Un PLC, Controlada Desde Un HMI, En El Laboratorio de Control y Automatización de La EPIME; repositorio.unap.edu.pe. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9206>

Herrera Bellodas, E. D., & Lumbres Álvarez, R. S. (2018). Diseño de una máquina vertical empacadora, dosificadora y selladora de accionamiento mecánico – neumático controlado por un PLC para fundas de arroz. Universidad Señor de Sipán.

Laurila, H. (2020). Sensor de temperatura Pt100 – lo que hay que saber. Beamex.com. Recuperado el 2 de junio de 2023, de <https://blog.beamex.com/es/sensor-de-temperatura-pt100-lo-que-hay-que-saber>

Gómez Borges, Manuel Israel, Acosta Corzo, Adriana Virginia, & Fundora Curbelo, Yaniel. (2020). Programación de un controlador lógico difuso en un PLC M241: Aplicación práctica a un túnel de lavado industrial de textil. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 14(3), 105-123. Epub 01 de septiembre de 2020. Recuperado en 01 de junio de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992020000300105&lng=es&tlng=pt.

Siemens AG. (2022). S7-1500 PID Control Function Manual [Manual de funciones de control PID S7-1500]. Recuperado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/036/108210036/att_916495/v1/s71500_pid_control_function_manual_esES_es-ES.pdf

Zayas Gato, F., Quintián Pardo, H., Jove Pérez, E., Casteleiro Roca, J. L., & Calvo Rolle, J. L. (2020). Diseño de controladores PID. Universidade da Coruña. Servizo de Publicacións.

Velasco, I. E. E. (2022). Diseño y aplicación de los algoritmos genéticos para la sintonización de un controlador PID. Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, 7(1), 51. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8331466>

Siemens AG. (2017). SCE-052-300: Control PID S7-1500 [Documento de aprendizaje y capacitación]. Recuperado de <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/advanced-programming-s7-1500/sce-052-300-pid-control-s7-1500-r1703-es.pdf>

Humpiri Rojo, C. N. (2020, June 11). Diseño e implementación de un control difuso del nivel de temperatura en un horno eléctrico usando un PLC de la serie SIMATIC S7-1200. Diseño e Implementación de Un Control Difuso Del Nivel de Temperatura En Un Horno Eléctrico Usando Un PLC de La Serie SIMATIC S7-1200; repositorio.unap.edu.pe. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13612>

Kumar, A., Garg, P., Shankar, A., & Kar, N. (2019, February 16). Implementation of a Temperature Control Process Trainer Through PID Controller Designed with Siemens S7-1200 PLC and HMI | SpringerLink. Implementation of a Temperature Control Process Trainer Through PID Controller Designed with Siemens S7-1200 PLC and HMI | SpringerLink; link.springer.com. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-3450-4_49

Dumani Carrillo, M. A., Benítez Sangurima, J. L., & Plaza, D. (2022). Diseño del sistema de control de temperatura en un horno de refinería considerando perturbaciones. www.dspace.espol.edu.ec. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54278>

Elmer, E. (2019). Control de temperatura de un horno eléctrico utilizando controlador lógico programable para la línea de producción de panadería. Handle.net. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12894/6628>

Ceciliano, Pablo Javier Jiménez. "Conceptos de Controladores PID E Implementación En Un Horno de Fundición de Acero." *Tecnología En Marcha*, vol. 2, no. Extra-2, 2014, pp. 31–40, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5109192>

Pérez Pájaro, A. J., & Ruiz Pérez, Á. L. (2012). Automatización de una planta piloto de un horno eléctrico. [Http://Biblioteca.utb.edu.co/Notas/Tesis/0063130.Pdf](http://Biblioteca.utb.edu.co/Notas/Tesis/0063130.Pdf). <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/479#page=1>

Álvarez Salazar, J., & Mejía Arango, J. G. (2017). TIA PORTAL. Aplicaciones de PLC. Instituto Tecnológico de Medellín. <http://hdl.handle.net/20.500.12622/1934>

Camacho Salvador, J. M. (2020). Medida de temperatura de precisión con sensor RTD y microcontrolador. Repositorio.ual.es. <http://repositorio.ual.es/handle/10835/9920>

SIEMENS. (2018). SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200, Manual de sistema. https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

8 ANEXOS

**Manual Para Control De Calentamiento y Enfriamiento De Un Horno
Mediante PLC SIMATIC S7-1200 Con Interfaz HMI En TIA Portal**

SHNEHAL KUMMAR ESPITIA QUINTERO – JUAN ESTEBAN SOSA CUELLO
Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería

Contenido

INTRODUCCION	3
PANTALLA DE INICIO	4
PANTALLA PRINCIPAL	5
SETPOINT (°C)	5
VENTILADOR MANUAL	6
BOTON DE ARRANQUE	6
BOTON DE STOP.....	6
GO.....	6
LED INDICADOR	7
LED INDICADOR VERDE.....	7
LED INDICADOR NARANJADO	7
TEMPORIZADOR	7
ENCENDIDO TEMPORIZADOR.....	8
LED TEMPORIZADOR ON	9
TIEMPO (S).....	9
TEMPERATURA ACTUAL.....	9
CONTEO	10
START	10
STOP/RESET.....	10
PID	10
GRAFICA PID	11

INTRODUCCION

Bienvenido al manual de usuario sobre el control de calentamiento y enfriamiento de un horno utilizando el PLC SIMATIC S7-1200 y la interfaz HMI en el programa TIA Portal! Este manual ha sido diseñado para proporcionarte una guía detallada y completa sobre cómo operar y controlar eficientemente el proceso de calentamiento y enfriamiento de tu horno utilizando la potencia del PLC y la facilidad de la interfaz hombre-máquina.

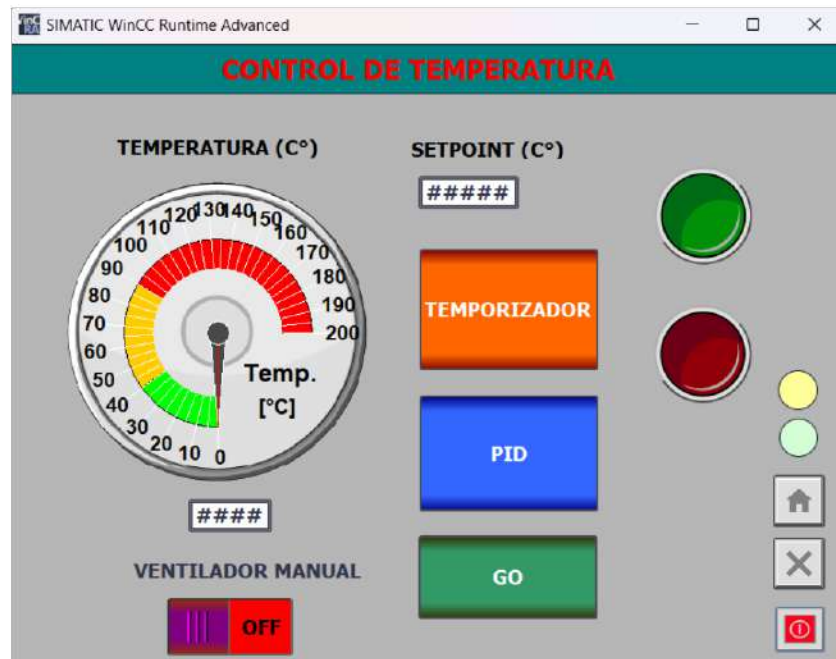
Este manual ha sido creado pensando en los usuarios que desean comprender y utilizar el PLC SIMATIC S7-1200 para automatizar y supervisar el proceso de calentamiento y enfriamiento de un horno en un entorno industrial. A lo largo de este manual se enseñará la configuración necesaria para controlar eficazmente el proceso de calentamiento y enfriamiento. También te guiaremos a través de la interfaz HMI del programa TIA Portal para brindarte una experiencia de control intuitiva y eficiente.

PANTALLA DE INICIO

Para iniciar la interfaz se debe dar clic en el botón “INICIAR”.



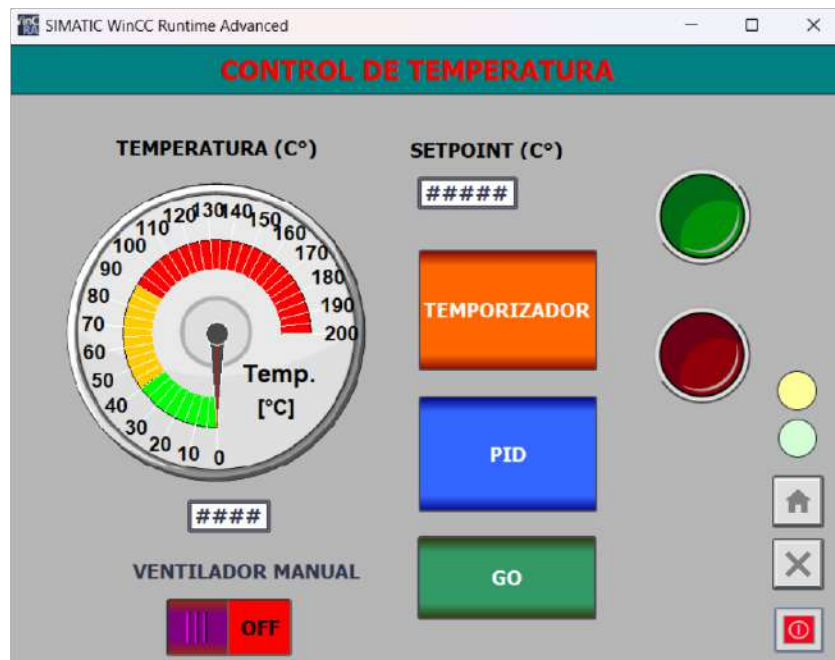
Una vez que se haya dado clic en el botón “INICIAR” se abrirá la siguiente pantalla.



En esta pantalla se pueden observar varios botones y campos los cuales tienen diferentes funciones.

PANTALLA PRINCIPAL

En esta pantalla tenemos dos campos uno de ellos modificable y varios botones con sus respectivas funciones, a continuación, se describe el propósito de estos.



SETPOINT (°C)

En este campo el usuario deberá ingresar la temperatura a la cual el sistema va a llegar durante su funcionamiento.

Nota.

Temperatura máxima que se recomienda ingresar 150°C, por favor no pasar de esta temperatura.

El otro campo que se encuentra en esta pantalla está ubicado debajo del indicador de temperatura (**TEMPERATURA (°C)**) este indicador se encarga de mostrar la temperatura exacta a la cual se encuentra el sistema (Este valor está en grados centígrados °C).

VENTILADOR MANUAL

Este switch activa de forma manual el ventilador que se encarga de refrigerar el horno, para activarlo se debe hacer doble clic sobre el switch.

Nota.

Al activar el ventilador de forma manual, el PID se deshabilita para que el horno deje de funcionar y así poder enfriarse más rápido. Si quiere volver a poner el horno en funcionamiento por favor apagar el ventilador.

BOTON DE ARRANQUE

El botón de arranque es el botón **verde** que se encuentra en la parte superior derecha, este tiene como función hacer que el sistema empiece a operar.

Nota.

El sistema PID no se encontrará en funcionamiento incluso después de haber pulsado el botón de arranque, para que este se active se debe accionar el botón GO.

BOTON DE STOP

El botón de stop es el botón **rojo** que se encuentra en la parte superior derecha debajo de el "BOTON DE ARRANQUE", este tiene como función detener el funcionamiento del sistema. Para detener correctamente el sistema de calentamiento se debe dar doble clic sobre este botón.

Nota.

*Para asegurarse de que el sistema se detuvo satisfactoriamente por favor revisar que el **LED INDICADOR VERDE** se encuentra apagado.*

GO

Este es el botón que se encarga de activar el funcionamiento del sistema de calentamiento y enfriamiento del horno mediante el PID.

LED INDICADOR

LED INDICADOR VERDE

Este led tiene como función indicar cuando el horno se encuentre en funcionamiento, si no está encendido quiere decir que el sistema de calentamiento no está operando.

LED INDICADOR NARANJADO

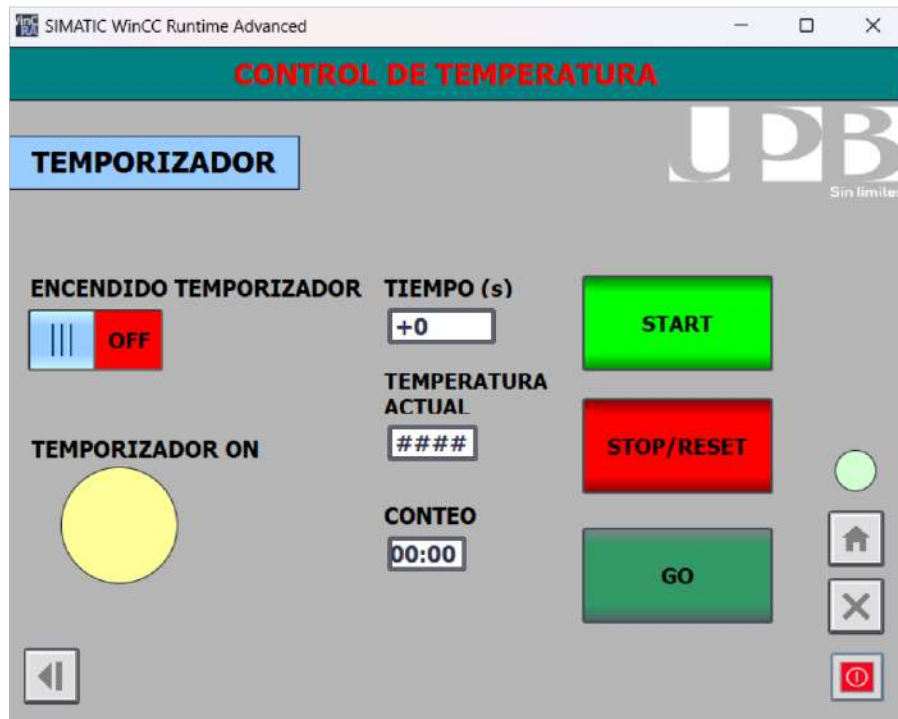
Este led tiene como función indicar cuando el “**TEMPORIZADOR**” se encuentra en funcionamiento.

Nota.

*Mientras este led este encendido no se puede activar el sistema de calentamiento desde la pantalla principal, solo se puede realizar desde el “**TEMPORIZADOR**”. Para activar el sistema de calentamiento desde la pantalla principal por favor desactive el temporizador en la pantalla “**TEMPORIZADOR**”.*

TEMPORIZADOR

Para empezar, tenemos el botón que se llama “**TEMPORIZADOR**”. Una vez que se da clic sobre este, se abrirá la siguiente pantalla.



Una vez que haya ingresado al apartado de “TEMPORIZADOR” se podrá visualizar este menú el cual tiene varias opciones que serán de ayuda para configurar el temporizador del sistema.

ENCENDIDO TEMPORIZADOR

En primer lugar, tenemos el switch de “ENCENDIDO TEMPORIZADOR”. Debemos dar doble clic sobre el para que se active.



Una vez que se haya activado se puede ver que el switch cambio a color *Verde* esto es un indicador de que el temporizador ya está encendido más NO en funcionamiento.

LED TEMPORIZADOR ON

Debajo del switch de encendido se encuentra un led el cual tiene como función indicar que el temporizador se encuentra en funcionamiento, cuando este se activa se torna de color *Anaranjado* lo cual indica que el temporizador esta activado.

TIEMPO (S)

En este campo se va a ingresar el tiempo que va a durar el temporizador activado (Este campo registra el tiempo en segundos).

TEMPERATURA ACTUAL

En este campo se muestra la temperatura actual en la que se encuentra el sistema.

El valor que se muestra en este campo esta dado en grados centígrados (°C).

CONTEO

En este campo se muestra el tiempo que le falta al sistema para terminar el proceso, dependiendo del valor que se ingrese en el campo “**TIEMPO (S)**” el conteo comenzara a partir de ese valor e ira en descenso hasta llegar a cero e indicar que el temporizador finalizo.

START

Este es el botón que dará inicio al conteo del temporizador.

Nota.

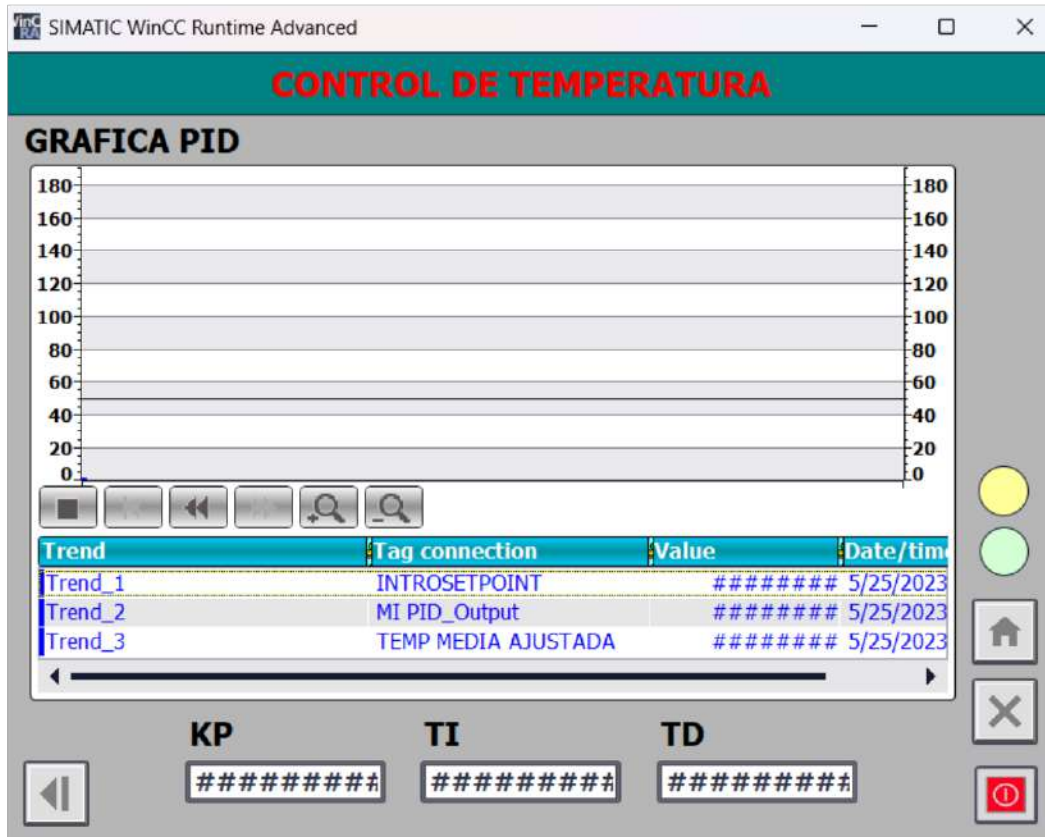
Después de dar clic a este botón se debe presionar el botón GO para que el sistema de calentado del horno empiece a funcionar ya que de lo contrario el horno no calentara en absoluto.

STOP/RESET

Este es el botón que se encarga de detener el funcionamiento del temporizador y al mismo tiempo detener el funcionamiento del sistema.

PID

Esta es la pantalla que nos muestra el funcionamiento en tiempo real del sistema PID del horno.



En esta pantalla tenemos 3 campos modificables los cuales son de suma importancia para el funcionamiento óptimo del sistema PID.

Nota.

Si se considera experto en el tema de los sistemas PID siéntase libre de cambiar las variables y observar el comportamiento del sistema para evidenciar la diferencia de comportamiento, de lo contrario se recomienda dejarlas como están por defecto.

GRAFICA PID

La “GRAFICA PID” se encarga de mostrar las gráficas importantes del sistema, concretamente se mostrarán tres líneas las cuales serán testigos de los parámetros INTROSETPOINT, PID_OUTPUT y TEMP MEDIDA AJUSTADA.

- INTROSETPOINT: Este será el valor de la temperatura que se establezca por el usuario en el campo **SETPOINT (°C)**.
- PID_OUTPUT: Este será el valor de la salida del sistema PID.

- TEMP MEDIDA AJUSTADA: En este campo se evidenciará la temperatura actual del sistema.

En esta pantalla también se encuentran los leds indicadores “**LED INDICADOR VERDE**” y “**LED INDICADOR ANARANJADO**”.

Nota.

*Si no sabe que función cumplen por favor ir a la sección **LED INDICADOR** y consultar su funcionamiento.*



PT100 - PT1000

Temperature probes



PT100-PT1000
100/1000 Ohm output, 2/3/4 wires
Analog output 4-20 mA
Cable outlet

FEATURES

Sensor:	PT100-PT1000 platinum resistance thermometer
Accuracy:	Class A $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ @ 0°C - DIN EN 60751
Probe:	stainless steel
Head:	DIN B in aluminum with blue painted cast
Execution:	IP 65 / NEMA 4X
Operating temperature:	With traditional insulation from -50 to 300°C (standard version) With mineral insulation MgO from -50 to 500°C Optional with minimum range from -200°C to 200°C (PT100 only)
Probe diameter:	standard $\varnothing 6$ mm (other a available)

TECHNICAL SPECIFICATIONS WITH CABLE VERSION

Sensor:	PT100-PT1000 platinum resistance thermometer
Accuracy:	Class A $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ @ 0°C , DIN EN 60751
Probe:	stainless steel
Anti-bend spring:	IP 65 / NEMA 4X version Silicone rubber cable, max 180°C in TTS, max 300°C Operating temperature: with traditional insulation from -50 to 300°C , with MgO mineral insulation from -50 to 500°C and optional with minimum range from -200°C to 200°C .
Probe diameter:	standard $\varnothing 6$ mm (other than available)



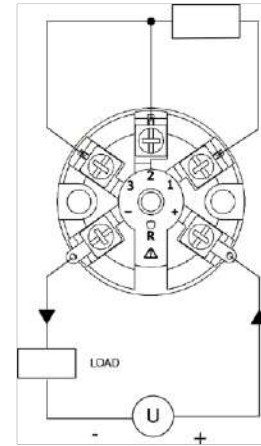
TRANSMITTERS

SEM 206 P: (RTD 100 2-3 wires)

PC configurable transmitter.

Transmitter specifications at 20°C and in nominal conditions.

Power supply:	10-30 Vcc
Analog output:	4-20 mA (2 wires)
Minimum span that can be set:	25°C
Calibration error:	0,2°C ±0,05% r.v.
Operating ambient temperature:	from -40 to 85°C
Relative humidity (without condensation):	0-90%



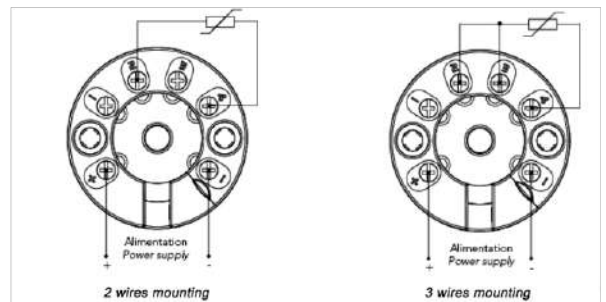
TIXO 1 B: (RTD 100 2-3 wires)

ATEX Transmitters configurable by PC.

Transmitter at 25°C and in nominal conditions.



Power supply	8-28 Vdc
Analog output:	4-20 mA (2 wires)
Minimum span can be set:	0°C PT-100 - 10°C
Transmission error:	≤ ±0,1% of the f.s.
Operating ambient temperature:	from -40 to 85°C
Relative humidity (without condensation):	5-95%



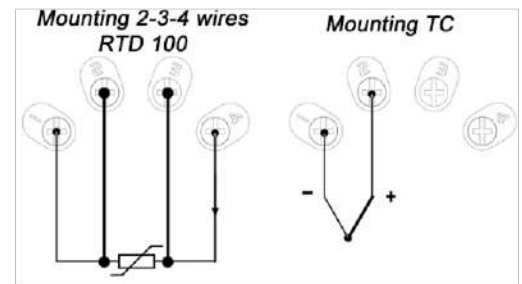
TIXO 2 B: (RTD 100 - RTD 1000 - Ni 100 - Ni 1000 - Thermocouples)

ATEX galvanically isolated transmitters configurable by PC.

Transmitter at 25°C and in nominal conditions.



Power supply:	10-28 Vcc
Analog output:	4-20 mA (2 wires)
Minimum span that can be set:	10°C (RTD) 50°C (TC)
Transmission error:	≤ ±0,1% of the f.s.
Operating ambient temperature:	from -40 to 85°C
Relative humidity (without condensation):	5-95%



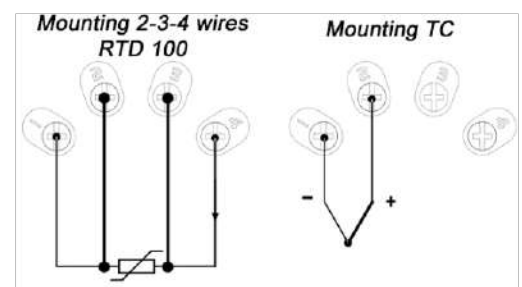
TIXO 3 B: (RTD 100 - RTD 1000 - Ni 100 - Ni 1000 - Thermocouples)

ATEX galvanically isolated transmitters configurable by PC.

Transmitter at 25°C and in nominal conditions.

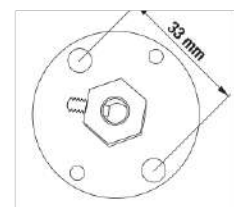


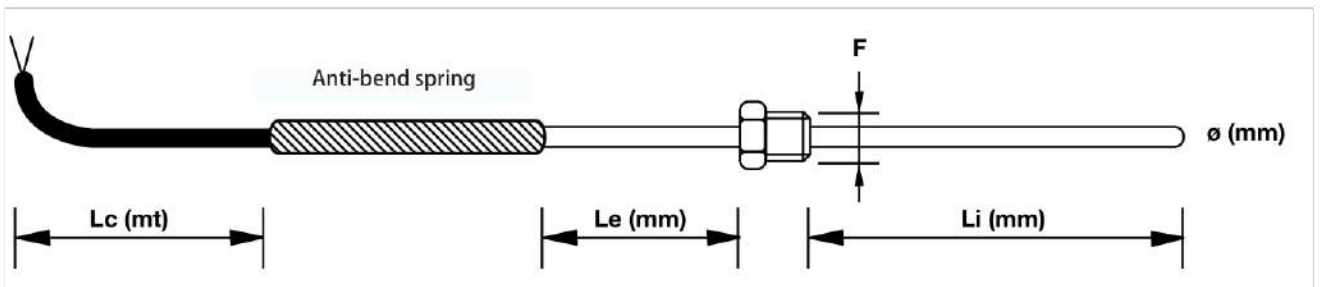
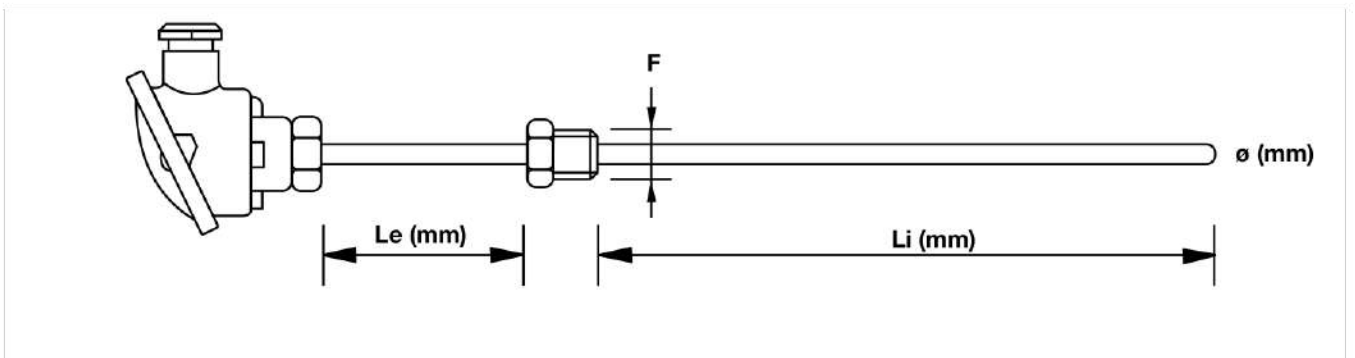
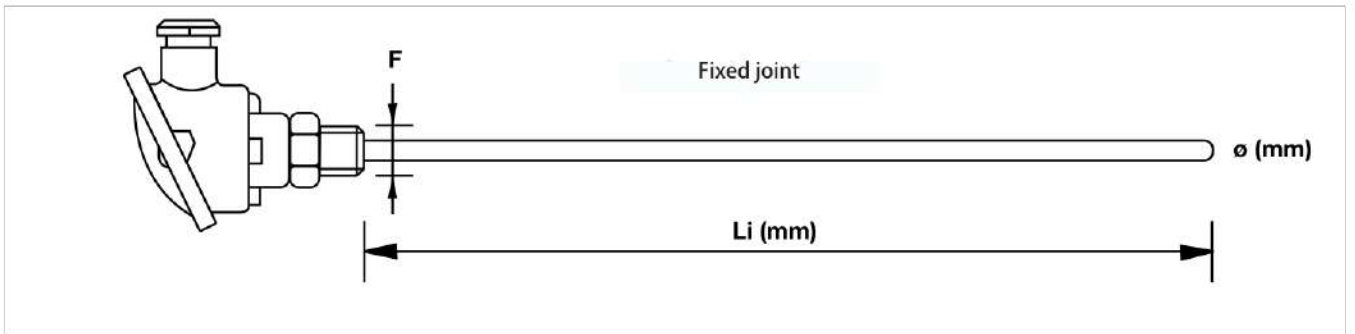
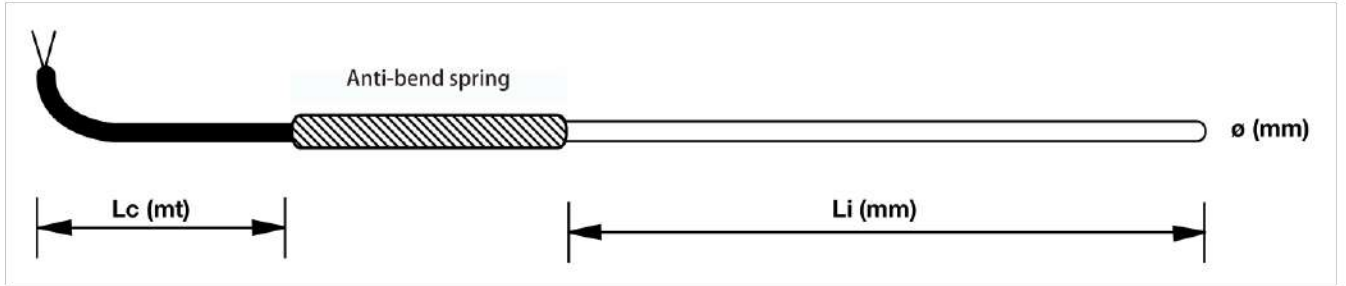
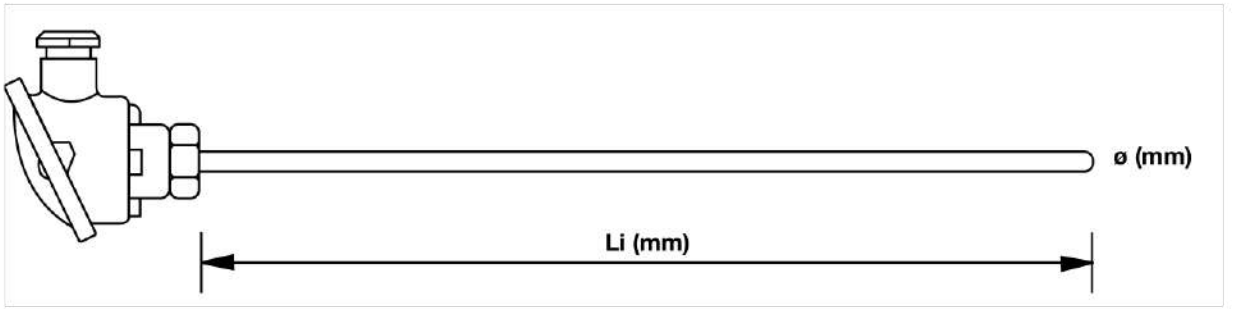
Power supply:	10-28 Vcc
Analog output:	4-20 mA (2 wires) + HART
Minimum span that can be set:	10°C (RTD) 50°C (TC)
Transmission error:	≤ ±0,1% of the f.s.
Operating ambient temperature:	from -40 to 85°C
Relative humidity (without condensation):	5-95%

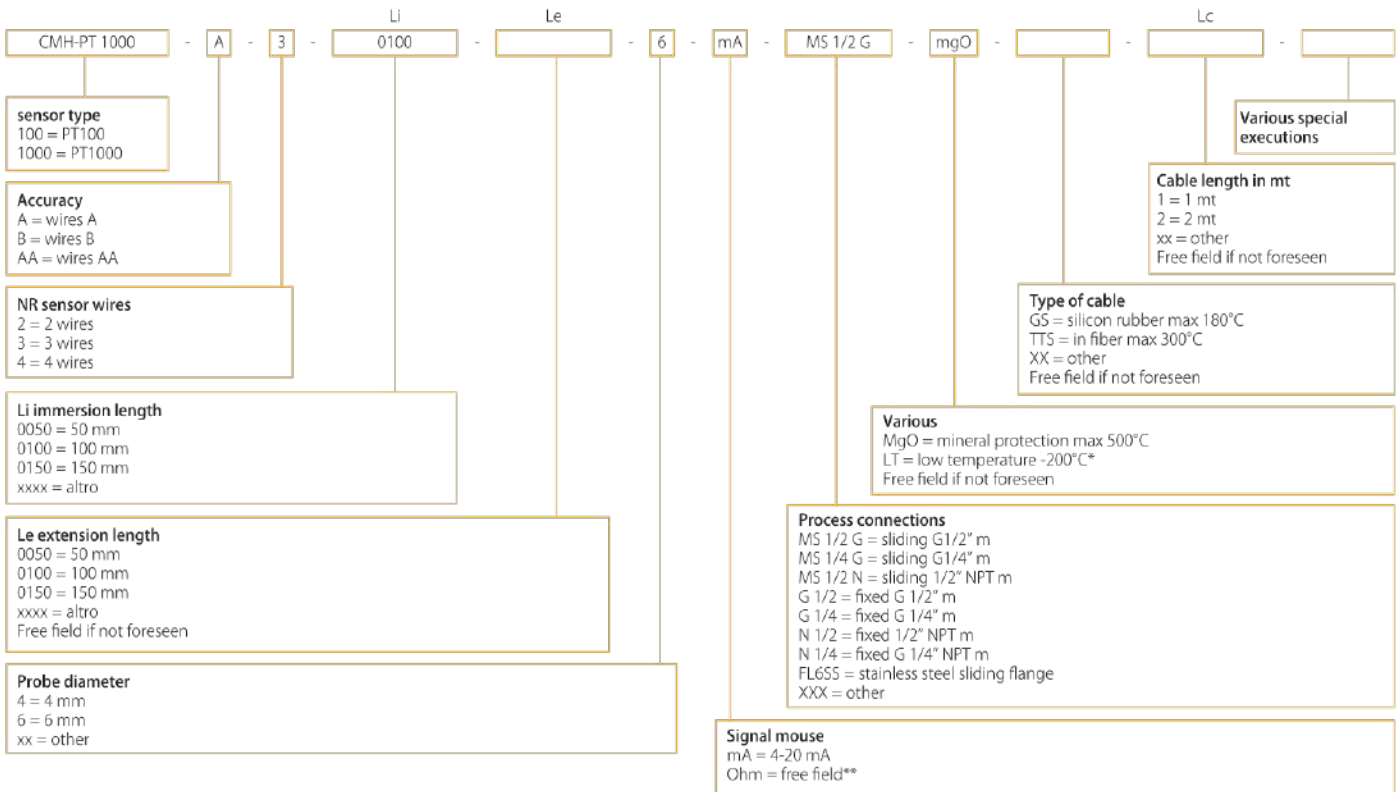


OTHER ACCESSORIES

MS1/2G:	sliding fitting compression
Materials:	316 stainless steel
Process connection:	1/2" male gas 1/2" male NPT 1/4" male NPT
Length:	44 mm
FL-6-SS:	sliding flange for probes diameter 6 mm
Material:	stainless steel
Distance between fixing holes:	33 mm





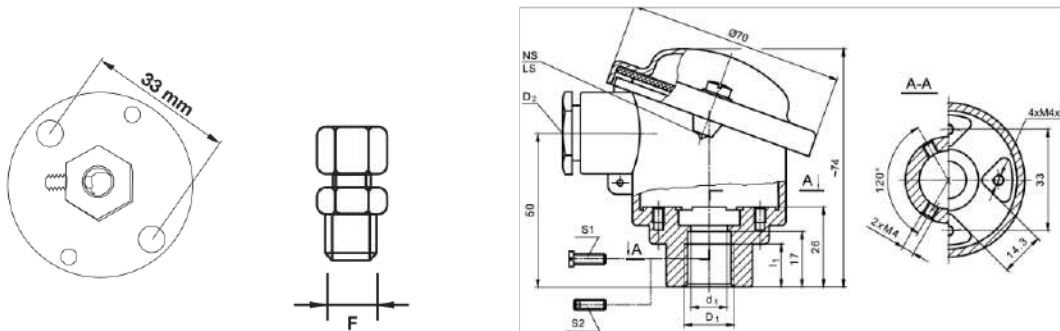


* Only PT100

** In case of Ohm output it will be supplied with internal terminal connection

OTHER ACCESSORIES

MS1/2G:	compression sliding joint.
Material:	316 stainless steel
Process connection:	1/2 "male gas
Length:	44 mm
FL-6-SS	sliding flange for 6 mm diameter probes
Material:	stainless steel
Interax fixing holes:	33 mm



PT100 / PT1000 RESISTANCE THERMORESISTANCE TOLERANCES ACCORDING TO IEC 60751: 2008

Range	Classe A		Classe B	
	°C	Ohm	°C	Ohm
-200	0,55	0,24	1,30	0,56
-100	0,35	0,14	0,80	0,32
0	0,15	0,06	0,30	0,12
100	0,35	0,13	0,80	0,30
200	0,55	0,20	1,30	0,48
300	0,75	0,27	1,80	0,64
400	0,95	0,33	2,30	0,79
500	1,15	0,38	2,80	0,93
600	1,35	0,43	3,30	1,06
650	1,45	0,46	3,55	1,13
700			3,80	1,17
800			4,30	1,28
850			4,55	1,34



CONVERSION TABLE FOR PT100 RESISTANCE THERMOMETERS ACCORDING TO IEC 75

Relationship between resistance and temperature

	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-200	18,493									
-190	22,803	22,374	21,944	21,514	21,083	20,653	20,221	19,790	19,358	18,926
-180	27,078	26,652	26,226	25,799	25,372	24,945	24,517	24,089	23,661	23,232
-170	31,320	30,897	30,474	30,051	29,627	29,203	28,779	28,354	27,929	27,504
-160	35,531	35,111	34,691	34,271	33,850	33,429	33,008	32,587	32,165	31,742
-150	39,714	39,297	38,879	38,462	38,044	37,626	37,208	36,789	36,370	35,951
-140	43,869	43,455	43,040	42,625	42,210	41,795	41,379	40,963	40,547	40,130
-130	47,999	47,587	47,175	46,763	46,350	45,937	45,524	45,111	44,697	44,283
-120	52,106	51,696	51,286	50,876	50,466	50,055	49,645	49,234	48,822	48,411
-110	56,190	55,783	55,375	54,967	54,559	54,151	53,742	53,333	52,924	52,515
-100	60,254	59,849	59,443	59,037	58,631	58,225	57,818	57,412	57,005	56,598
-90	64,299	63,895	63,491	63,087	62,683	62,279	61,874	61,469	61,065	60,659
-80	68,325	67,923	67,521	67,119	66,717	66,314	65,911	65,508	65,105	64,702
-70	72,335	71,934	71,534	71,134	70,733	70,332	69,931	69,530	69,128	68,727
-60	76,328	75,930	75,531	75,132	74,733	74,333	73,934	73,534	73,135	72,735
-50	80,307	79,910	79,512	79,115	78,717	78,319	77,921	77,523	77,125	76,727
-40	84,271	83,875	83,479	83,083	82,687	82,291	81,894	81,498	81,101	80,704
-30	88,222	87,828	87,433	87,038	86,643	86,248	85,853	85,458	85,063	84,667
-20	92,160	91,767	91,374	90,980	90,587	90,193	89,799	89,405	89,011	88,617
-10	96,086	95,694	95,302	94,910	94,517	94,125	93,732	93,339	92,946	92,553
0	100,000	99,609	99,218	98,827	98,436	98,045	97,653	97,262	96,870	96,478
0	100,000	100,391	100,781	101,172	101,562	101,953	102,343	102,733	103,123	103,513
10	103,902	104,292	104,681	105,071	105,460	105,849	106,238	106,627	107,016	107,404
20	107,793	108,181	108,570	108,958	109,346	109,734	110,122	110,509	110,897	111,284
30	111,672	112,059	112,446	112,833	113,220	113,607	113,994	114,380	114,767	115,153
40	115,539	115,925	116,311	116,697	117,083	117,469	117,854	118,240	118,625	119,010
50	119,395	119,780	120,165	120,550	120,934	121,319	121,703	122,087	122,471	122,855
60	123,239	123,623	124,007	124,390	124,774	125,157	125,540	125,923	126,306	126,689
70	127,072	127,454	127,837	128,219	128,602	128,984	129,366	129,748	130,130	130,511
80	130,893	131,274	131,656	132,037	132,418	132,799	133,180	133,561	133,941	134,322
90	134,702	135,083	135,463	135,843	136,223	136,603	136,982	137,362	137,741	138,121
100	138,500	138,879	139,258	139,637	140,016	140,395	140,773	141,152	141,530	141,908
110	142,286	142,664	143,042	143,420	143,797	144,175	144,552	144,930	145,307	145,684
120	146,061	146,438	146,814	147,191	147,567	147,944	148,320	148,696	149,072	149,448
130	149,824	150,199	150,575	150,950	151,326	151,701	152,076	152,451	152,826	153,200
140	153,575	153,950	154,324	154,698	155,072	155,446	155,820	156,194	156,568	156,941
150	157,315	157,688	158,061	158,435	158,808	159,180	159,553	159,926	160,298	160,671
160	161,043	161,415	161,787	162,159	162,531	162,903	163,274	163,646	164,017	164,388
170	164,760	165,131	165,501	165,872	166,243	166,613	166,984	167,354	167,724	168,095
180	168,465	168,834	169,204	169,574	169,943	170,313	170,682	171,051	171,420	171,789
190	172,158	172,527	172,895	173,264	173,632	174,000	174,368	174,736	175,104	175,472
200	175,840	176,207	176,575	176,942	177,309	177,676	178,043	178,410	178,777	179,143
210	179,510	179,876	180,242	180,609	180,975	181,340	181,706	182,072	182,437	182,803
220	183,168	183,533	183,899	184,264	184,628	184,993	185,358	185,722	186,087	186,451
230	186,815	187,179	187,543	187,907	188,271	188,634	188,998	189,361	189,724	190,088
240	190,451	190,813	191,176	191,539	191,901	192,264	192,626	192,988	193,350	193,712
250	194,074	194,436	194,798	195,159	195,520	195,882	196,243	196,604	196,965	197,326
260	197,686	198,047	198,407	198,768	199,128	199,488	199,848	200,208	200,568	200,927
270	201,287	201,646	202,006	202,365	202,724	203,083	203,442	203,800	204,159	204,517
280	204,876	205,234	205,592	205,950	206,308	206,666	207,024	207,381	207,739	208,096
290	208,453	208,810	209,167	209,524	209,881	210,237	210,594	210,950	211,307	211,663
300	212,019	212,375	212,731	213,086	213,442	213,797	214,153	214,508	214,863	215,218
310	215,573	215,928	216,282	216,637	216,991	217,346	217,700	218,054	218,408	218,762
320	219,115	219,469	219,822	220,176	220,529	220,882	221,235	221,588	221,941	222,294
330	222,646	222,999	223,351	223,703	224,055	224,407	224,759	225,111	225,463	225,814
340	226,166	226,517	226,868	227,219	227,570	227,921	228,272	228,622	228,973	229,323
350	229,673	230,023	230,373	230,723	231,073	231,423	231,772	232,122	232,471	232,820
360	233,169	233,518	233,867	234,216	234,565	234,913	235,261	235,610	235,958	236,306
370	236,654	237,002	237,349	237,697	238,044	238,392	238,739	239,086	239,433	239,780
380	240,127	240,473	240,820	241,166	241,513	241,859	242,205	242,551	242,897	243,242
390	243,588	243,933	244,279	244,624	244,969	245,314	245,659	246,004	246,349	246,693
400	247,038	247,382	247,726	248,070	248,414	248,758	249,102	249,445	249,789	250,132
410	250,476	250,819	251,162	251,505	251,848	252,190	252,533	252,875	253,218	253,560
420	253,902	254,244	254,586	254,928	255,269	255,611	255,952	256,294	256,635	256,976

CONVERSION TABLE FOR PT1000 RESISTANCE THERMOMETERS ACCORDING TO IEC 751 STANDARDS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
-80	683,25	687,27	691,29	695,3	699,31	703,32	707,33	711,34	715,34	719,34	723,35
-70	723,35	727,35	731,34	735,34	739,34	743,33	747,32	751,32	755,3	759,29	763,28
-60	763,28	767,26	771,25	775,23	779,21	783,19	787,17	791,14	795,12	799,09	803,06
-50	803,06	807,03	811	814,97	818,94	822,9	826,87	830,83	834,79	838,75	842,71
-40	842,71	846,66	850,62	854,57	858,53	862,48	866,43	870,38	874,33	878,27	882,22
-30	882,22	886,16	890,1	894,04	897,99	901,92	905,86	909,8	913,73	917,67	921,6
-20	921,6	925,53	929,46	933,39	937,32	941,24	945,17	949,09	953,02	956,94	960,86
-10	960,86	964,78	968,7	972,61	976,53	980,44	984,36	988,27	992,18	996,09	1000
0	1000	1003,9	1007,8	1011,7	1015,6	1019,5	1023,4	1027,3	1031,2	1035,1	1039
10	1039	1042,9	1046,8	1050,7	1054,6	1058,5	1062,4	1066,3	1070,2	1074	1077,9
20	1077,9	1081,8	1085,7	1089,6	1093,5	1097,3	1101,2	1105,1	1109	1112,9	1116,7
30	1116,7	1120,6	1124,5	1128,3	1132,2	1136,1	1140	1143,8	1147,7	1151,5	1155,4
40	1155,4	1159,3	1163,1	1167	1170,8	1174,7	1178,6	1182,4	1186,3	1190,1	1194
50	1194	1197,8	1201,7	1205,5	1209,4	1213,2	1217,1	1220,9	1224,7	1228,6	1232,4
60	1232,4	1236,3	1240,1	1243,9	1247,8	1251,6	1255,4	1259,3	1263,1	1266,9	1270,8
70	1270,8	1274,6	1278,4	1282,2	1286,1	1289,9	1293,7	1297,5	1301,3	1305,2	1309
80	1309	1312,8	1316,6	1320,4	1324,2	1328	1331,8	1335,7	1339,5	1343,3	1347,1
90	1347,1	1350,9	1354,7	1358,5	1362,3	1366,1	1369,9	1373,7	1377,5	1381,3	1385,1
100	1385,1	1388,8	1392,6	1396,4	1400,2	1404	1407,8	1411,6	1415,4	1419,1	1422,9
110	1422,9	1426,7	1430,5	1434,3	1438	1441,8	1445,6	1449,4	1453,1	1456,9	1460,7
120	1460,7	1464,4	1468,2	1472	1475,8	1479,5	1483,3	1487	1490,8	1494,6	1498,3
130	1498,3	1502,1	1505,8	1509,6	1513,3	1517,1	1520,8	1524,6	1528,3	1532,1	1535,8
140	1535,8	1539,6	1543,3	1547,1	1550,8	1554,6	1558,3	1562	1565,8	1569,5	1573,3
150	1573,3	1577	1580,7	1584,5	1588,2	1591,9	1595,6	1599,4	1603,1	1606,8	1610,5
160	1610,5	1614,3	1618	1621,7	1625,4	1629,1	1632,9	1636,6	1640,3	1644	1647,7
170	1647,7	1651,4	1655,1	1658,9	1662,6	1666,3	1670	1673,7	1677,4	1681,1	1684,8
180	1684,8	1688,5	1692,2	1695,9	1699,6	1703,3	1707	1710,7	1714,3	1718	1721,7
190	1721,7	1725,4	1729,1	1732,8	1736,5	1740,2	1743,8	1747,5	1751,2	1754,9	1758,6
200	1758,6	1762,2	1765,9	1769,6	1773,3	1776,9	1780,6	1784,3	1787,9	1791,6	1795,3
210	1795,3	1798,9	1802,6	1806,3	1809,9	1813,6	1817,2	1820,9	1824,6	1828,2	1831,9
220	1831,9	1835,5	1839,2	1842,8	1846,5	1850,1	1853,8	1857,4	1861,1	1864,7	1868,4
230	1868,4	1872	1875,6	1879,3	1882,9	1886,6	1890,2	1893,8	1897,5	1901,1	1904,7
240	1904,7	1908,4	1912	1915,6	1919,2	1922,9	1926,5	1930,1	1933,7	1937,4	1941
250	1941	1944,6	1948,2	1951,8	1955,5	1959,1	1962,7	1966,3	1969,9	1973,5	1977,1
260	1977,1	1980,7	1984,3	1987,9	1991,5	1995,1	1998,7	2002,3	2005,9	2009,5	2013,1
270	2013,1	2016,7	2020,3	2023,9	2027,5	2031,1	2034,7	2038,3	2041,9	2045,5	2049
280	2049	2052,6	2056,2	2059,8	2063,4	2067	2070,5	2074,1	2077,7	2081,3	2084,8
290	2084,8	2088,4	2092	2095,6	2099,1	2102,7	2106,3	2109,8	2113,4	2117	2120,5
300	2120,5	2124,1	2127,6	2131,2	2134,8	2138,3	2141,9	2145,4	2149	2152,5	2156,1

Pt-100 Clase B

Los sensores Pt100 son un tipo específico de detector de temperatura RTD (detector de temperatura por resistencia). La característica más importante de los elementos Pt100 es que están fabricados con platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0 °C y es el tipo más común de sensor RTD.

RTD Pt100 de clase B.

Tolerancia y precisión más comunes de elementos Pt100, clase B (IEC-751), alfa = 0,00385.

Datos Técnicos

Curva 0.00385

Norma IEC 751

Señal Ohmios

Exactitud $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ a 0°C

Elemento Simple

Tres Hilos

Material Acero Inoxidable

Diámetro del Bulbo $\frac{1}{4}$ " x 4" libres

Conexión a Proceso de $\frac{1}{2}$ " NPTM

Rango de -50°C a 400°C

Cabezote estándar en aluminio

Conexión eléctrica $\frac{1}{2}$ " NPTH

IP65



IMPLEMENTACIÓN DE UN PLC CON UN CONTROLADOR PID PARA UNA CÁMARA DE CALENTAMIENTO.

Shnehal Kumar Espitia Quintero, Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) Seccional Montería, shnehal.espitia@upb.edu.co

Juan Esteban Sosa Cuello, Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) Seccional Montería, juan.sosac@upb.edu.co

RESUMEN: En este trabajo de grado se propuso la automatización del proceso de calentamiento y enfriamiento de un horno en un entorno industrial. Se utilizó el PLC Simatic S7-1200 como controlador principal, el software TIA Portal como herramienta de desarrollo y se creó una interfaz de usuario (HMI) con el TIA Portal.

El PLC Simatic S7-1200 fue elegido por su confiabilidad y versatilidad. Permitted controlar y supervisar de manera eficiente las diferentes etapas del proceso de calentamiento y enfriamiento del horno. El software TIA Portal se utilizó para programar y configurar el PLC, brindando un entorno de desarrollo integrado.

La interfaz de usuario (HMI) desarrollada con el TIA Portal permitió a los operadores interactuar de manera intuitiva y visual con el proceso. Proporcionando información en tiempo real sobre los parámetros del proceso, como la temperatura, la velocidad de calentamiento y enfriamiento, y el tiempo restante. Además, permite a los operadores ajustar los parámetros del proceso de manera segura y sencilla.

PALABRAS CLAVES: Control de temperatura, HMI, PID, Sensor RTD, PLC.

ABSTRACT: In this degree work, the automation of the heating and cooling process of a furnace in an industrial environment was proposed. Simatic S7-1200 PLC was used as the main controller, TIA Portal software was used as the development tool and a user interface (HMI) was created with TIA Portal.

The Simatic S7-1200 PLC was chosen for its reliability and versatility. It allowed to efficiently control and monitor the different stages of the furnace heating and cooling process. TIA Portal software was used to program and configure the PLC, providing an integrated development environment.

The user interface (HMI) developed with TIA Portal allowed operators to interact intuitively and visually with the process. It provides real-time information on process parameters such as temperature, heating and cooling rate, and time remaining. It also allows operators to adjust process parameters safely and easily.

KEYWORDS: Temperature control, HMI, PID, RTD Sensor, PLC.

INTRODUCCIÓN.

En este artículo se destaca la importancia de implementar un sistema automatizado utilizando un PLC y un controlador PID para controlar la temperatura en una cámara de calentamiento. El proyecto tiene como objetivo principal brindar a los estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana la oportunidad de adquirir habilidades prácticas en el diseño, programación y puesta en marcha de sistemas de control industrial.

En el documento se explica el proceso de diseño e implementación del sistema, describiendo las herramientas y tecnologías utilizadas, y analizando los resultados obtenidos. Se espera que este trabajo sirva

como una guía útil para futuros proyectos similares en el campo de la automatización.

La implementación de sistemas de control es esencial para el funcionamiento eficiente y seguro de procesos industriales. La combinación de un controlador PID y un PLC se ha vuelto popular debido a su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones de funcionamiento y su alta precisión.

Específicamente, el control preciso de la temperatura mediante un PLC y un controlador PID es crucial en industrias como la química, alimentaria y farmacéutica. Garantizar la calidad y seguridad de los productos finales, así como optimizar los procesos de producción, depende en gran medida del control preciso de la temperatura.

METODOLOGÍA.

En la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) Seccional Montería, Colombia, a una temperatura ambiente de aproximadamente 30°C se realizó el siguiente control de temperatura para una cámara de calentamiento.

Estructura y conexiones física.

Se analizaron y comprobaron el estado funcional de los dispositivos con los que se contaba, posterior a ello se determinan los componentes faltantes para adquirirlos. Una vez se cuentan con dichos componentes, los cuales fueron el sensor RTD que trabaja de un rango de -50°C a 400°C y el transmisor de temperatura que trabaja en un rango de 0°C a 200°C, para una salida en corriente de 4 mA a 20 mA.

Teniendo en cuenta las conexiones de potencias y las conectadas al PLC, tal como se ve en las imágenes 1 y 2. Se realizan las conexiones físicamente.

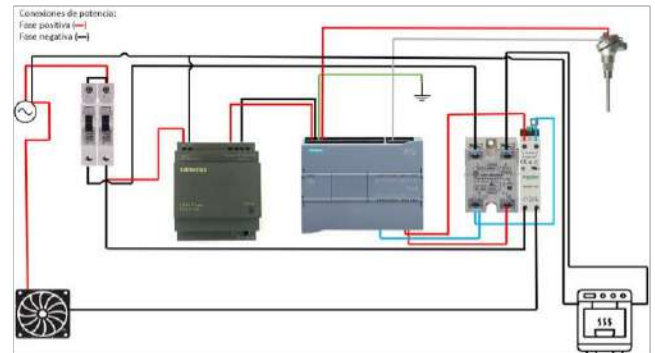


Imagen 1. Conexiones de potencia. Fuente: propia.

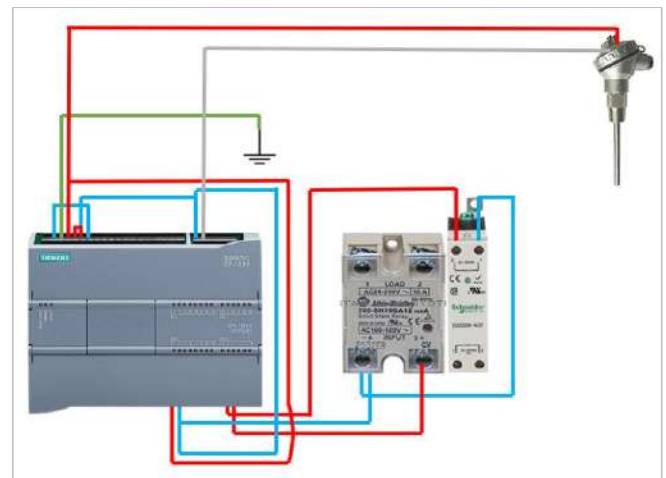


Imagen 2. Conexiones del PLC. Fuente: propia

Las entradas analógicas del PLC SIMATIC S7-1200, solo lee en la escala de voltios y el transmisor al enviar una señal en términos de mA se debe realizar un lazo de corriente, con una resistencia calculada con ley de Ohm, el cálculo dio 500 Ω, ya que se tiene 20 mA y 10 V que es el rango de entrada para el PLC, se colocó una resistencia de 510 Ω en la entrada analógica 0 y el neutro 2M del automático.

Para el caso de las conexiones del transmisor con el sensor RTD se instaló como se ve en la imagen 3.



Imagen 3. Conexión del sensor RTD con el transmisor.
Fuente: propia.

Siendo los cables de la derecha, dos negros y uno blanco, los 3 hilos del sensor RTD y los de la izquierda la salida del transmisor.

Software del sistema.

Se crea el proyecto con el PLC que se cuenta físicamente, en la imagen 4 se puede ver esto.

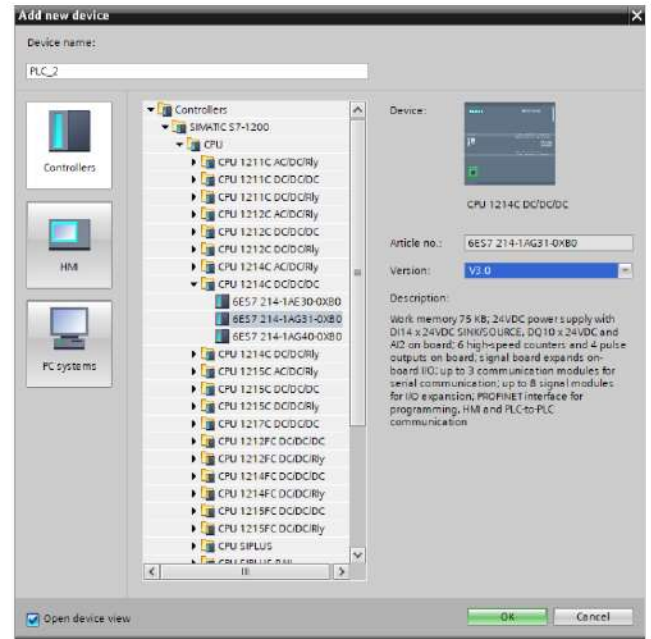


Imagen 4. Ventana selección del dispositivo en TIA PORTAL. Fuente: propia.

La programación de este se realizó en el TIA PORTAL e cual es el software creado para controlar el PLC, se programó en LADDER y este consta de 3 grandes secciones y 3 subsecciones que no son tan grande como las creadas en el bloque de organización, pero tienen gran importancia. Se crearon dichos bloques y en cada uno de ellos se realizaron distintas acciones. Los bloques se ven en la imagen 5.

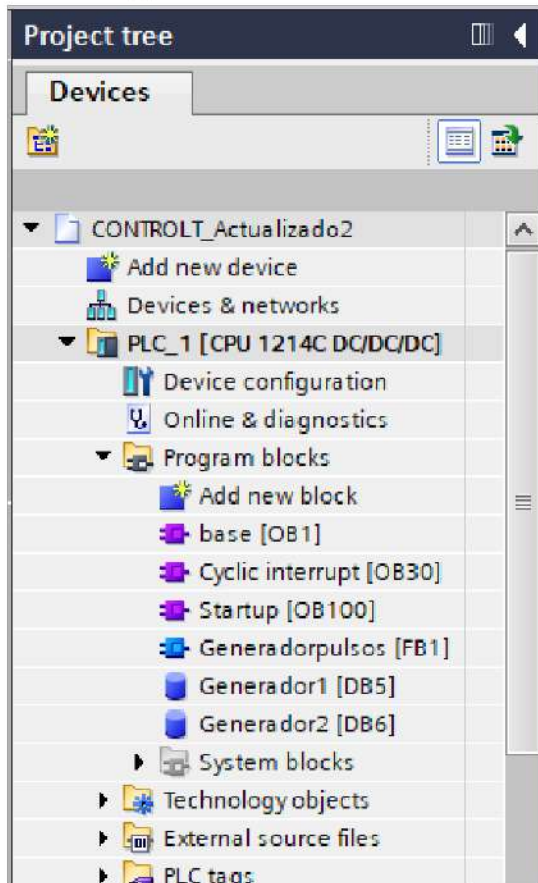


Imagen 5. Bloques de programas. Fuente: propia.

En el bloque “Base” se creó do el apartado de inicio del sistema, el escalado de la entrada de la señal analógica, la activación automática y manual del ventilador y todo el apartado del temporizador. Tal como se ve en las imágenes 6, 7 y 8.

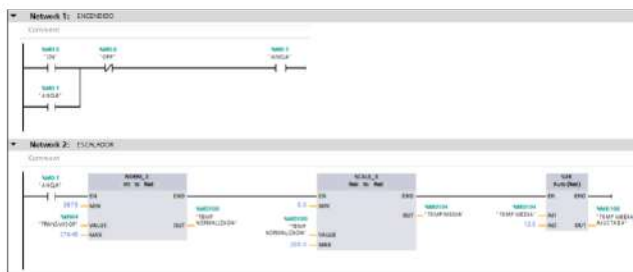


Imagen 6. Apartado del encendido y del escalado en el bloque Base. Fuente: propia.

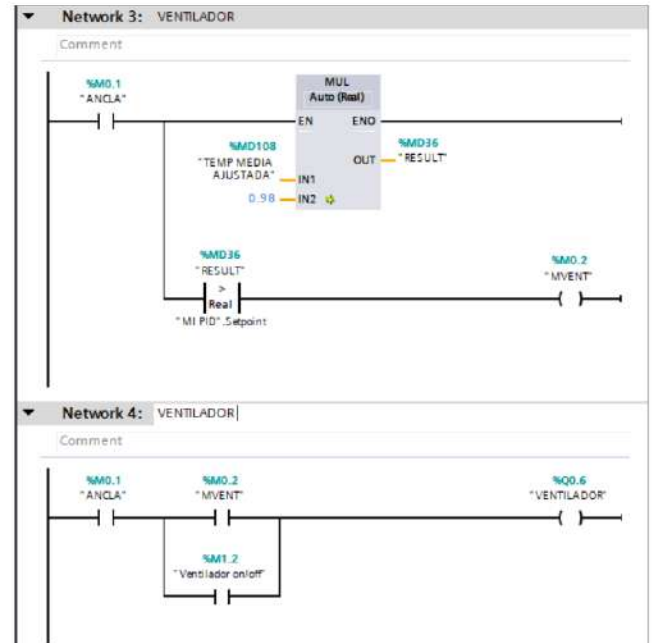


Imagen 7. Apartado del ventilador en el bloque Base. Fuente: propia.

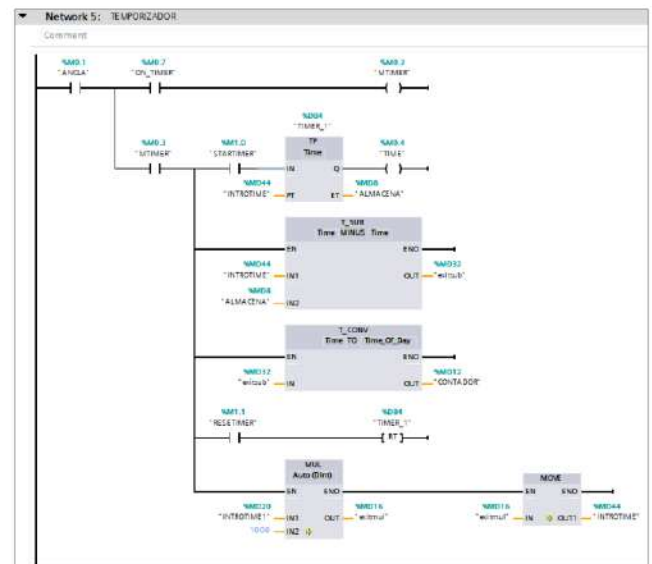


Imagen 8. Apartado del temporizador en el bloque Base. Fuente: propia

Luego de ello se creó el bloque “Cyclic interrupt” este se creó para que permite iniciar programas a intervalos periódicos, independientemente de la ejecución cíclica del programa esos intervalos periódicos se determinan al crear el bloque en este caso “200 ms”, también esta dividido en secciones, la primera y la principal es el

apartado del bloque PID_Compact, el cual es el control de sistema, gracias a este bloque se puede controlar el sistema a voluntad, la configuración se puede ver en la figura 9.

También en este mismo bloque de programa se crearon las condiciones necesarias para el encendido y apagado. También cuenta con apartado de pulsos de para el apagado del PID_Compact. Esto se puede ver en las imágenes 10 y 11.

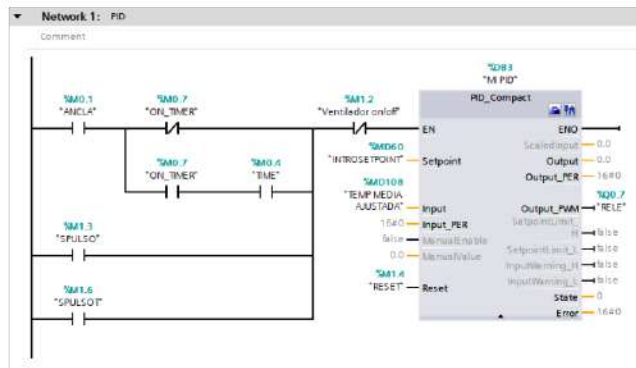


Imagen 9. Apartado del PID_Compact en el bloque Cyclic interrupt. Fuente: propia

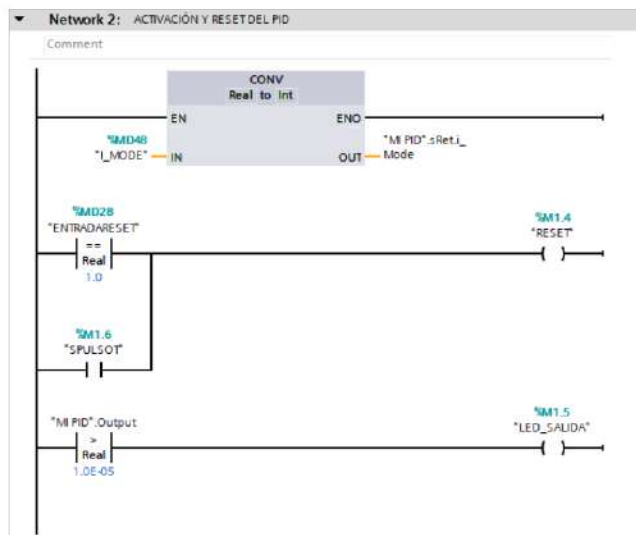


Imagen 10. Apartado de activación y reset del PID_Compact en el bloque Cyclic interrupt. Fuente: propia

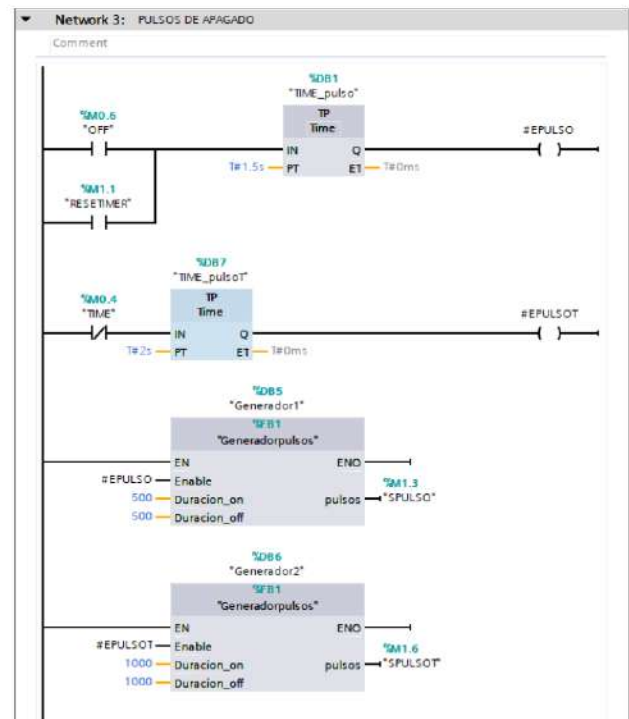


Imagen 11. Apartado de los pulsos de apagado del PID_Compact en el bloque Cyclic interrupt. Fuente: propia

Pero esta ultima parte de la imagen 11, es la segunda parte de la creación de los pulsos, para ello se creo un bloque de funciones, en el cual está configurado el tiempo en que los pulsos van a estar en ON y OFF, además de las condiciones para que se envíe el pulso. Esto se puede ver en la imagen 12.

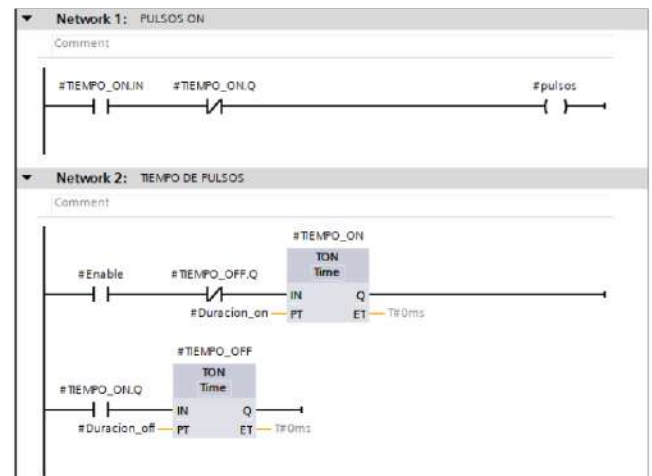


Imagen 12. Apartado de la creación de los pulsos en el bloque de función. Fuente: propia

Ahora cuando en el apartado de “pulsos de apagado” en el bloque Cyclic interrupt se arrastra el bloque de funciones ahí y se crea los bloques de datos redirigiendo los valores digitados aquí al bloque de funciones creado anteriormente (imagen 12).

Se necesitó que cada vez que el PLC cambie de estado STOP a RUN, en el dato “I_MODE” halla un 0, para ello se crea el bloque Startup y se le envía un cero a ese dato, como se ve en la imagen 13.

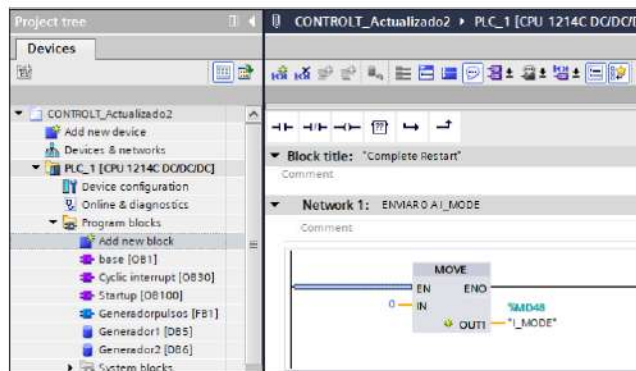


Imagen 13. Enviar 0 al dato I_MODE. Fuente: propia

Posterior a ello se configuran los parámetros del PID_Compact como aparece en las imágenes 14, 15 y 16.

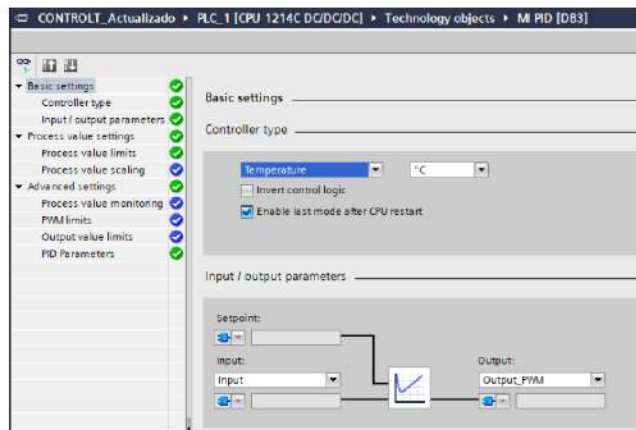


Imagen 14. Ajustes básicos del PID_Compact. Fuente: propia.

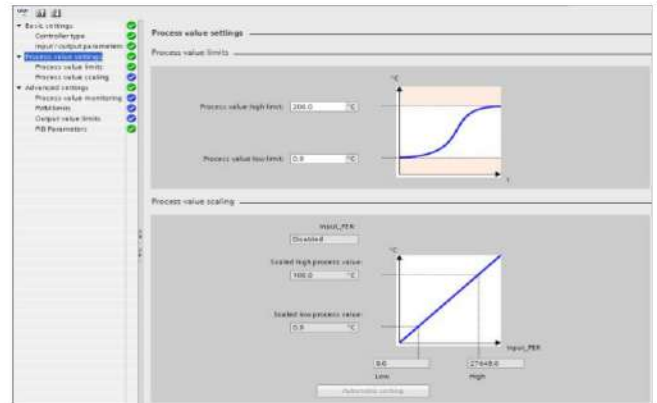


Imagen 15. Ajustes del valor de los procesos del PID_Compact. Fuente: propia.

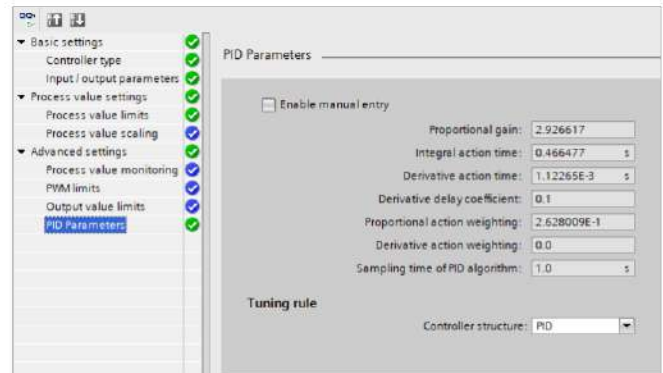


Imagen 16. Ajustes avanzados (Paramtros del PID) PID_Compact. Fuente: propia.

Creación de la HMI.

Para ello se añadió otro dispositivo al sistema, el cual permitirá la creación del interfaz humano máquina, para ello se añade el dispositivo y se conecta al PLC gracias a una tarjeta de red “IE general”. Esto se puede ver en las imágenes 17 y 18 respectivamente.



Imagen 17. Añadir dispositivo "PC systems" WinCC RT Advanced. Fuente: propia.

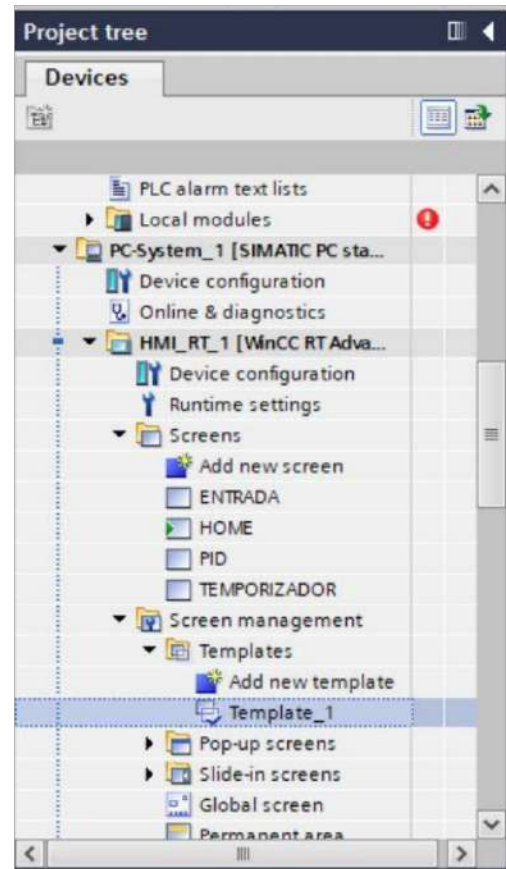


Imagen 19. Pantallas para el HMI. Fuente: propia.

La parte de Home es el inicio del sistema y se muestran el nombre del sistema, los autores y la universidad, eso se puede ver en la imagen 20.

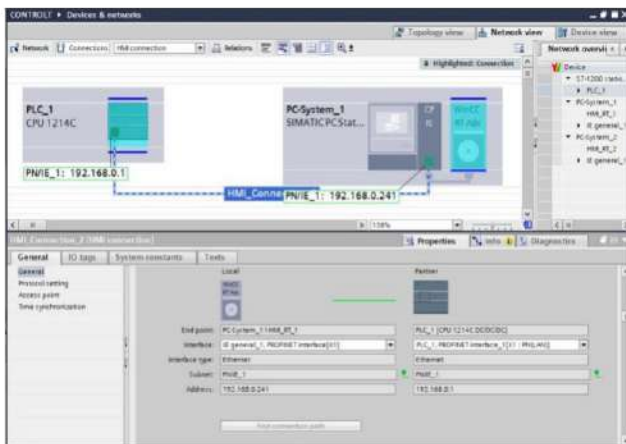


Imagen 18. Ajuste de compatibilidad de los dispositivos. Fuente: propia.

Ahora se crea la parte visual de HMI, el cual se divide en pantallas, exactamente 4, las cuales se denominan Home, Entrada, PID, TEMPORIZADOR, como se ve en la imagen 19.



Imagen 20. Escritura y señalización del HMI. Fuente: propia.

Y se crea el botón para ingresar a la otra pantalla, eso se puede ver en la imagen 21.

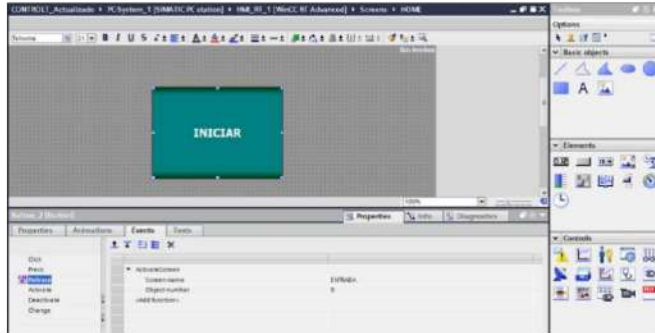


Imagen 21. Funciones de los botones en el HMI.
Fuente: propia.

Posterior a ello se accede a la pantalla de entrada y se configuran los botones, como lo son de inicio del sistema “color verde” de apagado del sistema “color rojo”, el de cambio de pantalla al apartado del PID, al apartado del TEMPORIZADOR y el boton “GO” para iniciar al sistema y que el PID_Compact envíe la salida, Además, está el apartado para digitar el setpoint deseado.

Existen 4 indicadores, 2 leds, uno de color verde y otro de color amarillo y se activan si el PID_Compact está mandando una salida y el otro si el modo temporizador está activada, por otra parte, hay dos indicadores de temperatura actual, uno de ellos muestra de forma grafica y otro de forma numérica.

Por ultimo el switch para activar el ventilador manualmente. Toda esta pantalla se puede ver en la imagen 22 y 23.



Imagen 22. Configuración Setpoint, visualización de los botones de activación y apagado del sistema, del botón temporizador y indicador de temperatura grafico en el HMI. Fuente: propia.

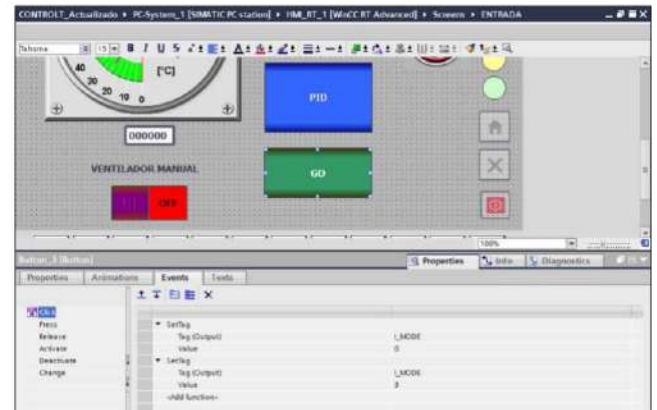


Imagen 23. Configuración del botón GO, visualización de los leds indicativos, el botón PID, el switch del ventilador y el indicador de temperatura digital en el HMI. Fuente: propia.

Luego de asignarle una función o tag a cada objeto y redireccionar los botones “PID” y “TEMPORIZADOR” a sus respectivas pantallas, se procede a configurar la pantalla PID.

En dicha pantalla se pueden observar los parámetros principales del PID_Compact, los cuales son KP, TI, TD. Los cuales se encuentran en el apartado de parámetros del PID_Compact, además de añadir una gráfica que muestra los valores del setpoint, de la temperatura de entrada y la salida del PID_Compact, como se ve en la imagen 24 y 25.

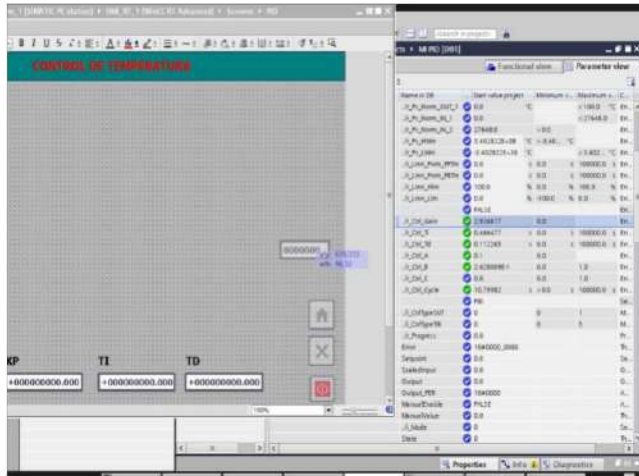


Imagen 24. Adición de los parámetros del PID en el HMI. Fuente: propia.



Imagen 25. Configuración de la gráfica con parámetros de salida y entrada en el HMI. Fuente: propia.

Ahora se procede a configurar la pantalla del temporizador, el cual consta de un switch que activa el modo temporizador y activa un led de color amarillo, con el respectivo led verde.

Además de una entrada en la cual es usuario digitará el tiempo deseado para el contador, y dos indicadores, uno muestra la temperatura actual y el otro el conteo de forma regresiva.

Esta pantalla costa con 3 botones, uno de color verde con el nombre "START" activa el contador, otro de color rojo "STOP/RESET" el cual detiene el contador y reinicia el temporizador y por último el botón "GO" que

activa la salida del PID_Compact. Como se ve en la figura 26 y 27.

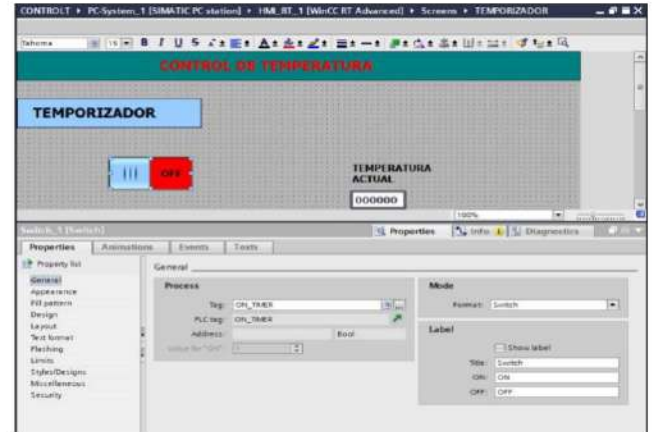


Imagen 26. Configuración del switch para el temporizador e indicador de temperatura actual en el HMI. Fuente: propia.

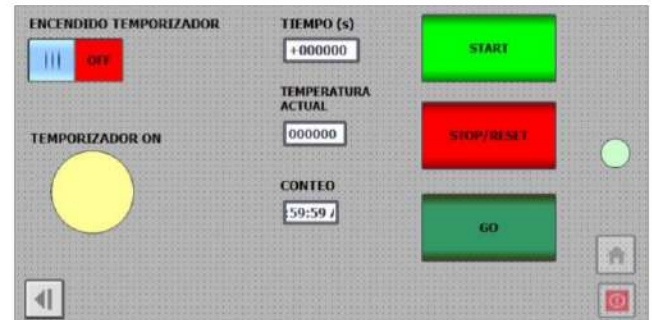


Imagen 27. Pantalla temporizador con los 3 botones, los indicadores (conteo/temperatura actual), 2 leds y la entrada del tiempo deseado para el HMI. Fuente: propia

En las pantallas de PID y TEMPORIZADOR, hay una flecha para regresar a la pantalla "ENTRADA", el botón con el símbolo de la casa regresa al usuario a la pantalla "HOME" y el botón rojo en la parte derecha inferior cierra el HMI.

Pruebas

Siendo la parte final para completar el sistema, se procedió a calcular las variables adecuadas para el PID, para hacerlo se decidió utilizar una herramienta que poseía el mismo software TIA PORTAL para calcular todos los parámetros necesarios del bloque PID_Compact. Dicha

herramienta se denomina “Fine Tuning”, el cual se encuentra en la parte superior del bloque PID_Compact, el cual se denomina objeto tecnológico, la ventana se ve en la imagen 28.

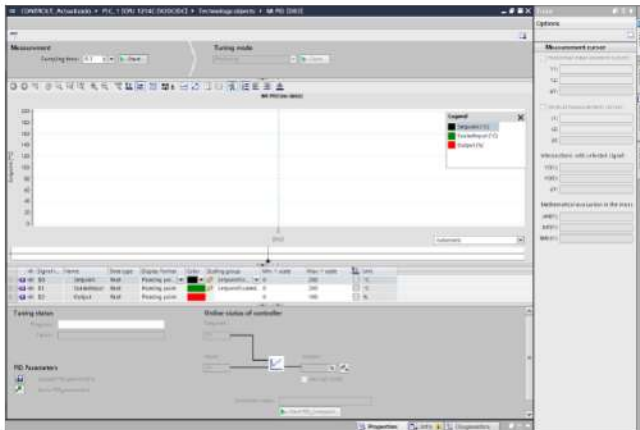


Imagen 28. Ventana de puesta en marcha del PID_Compact. Fuente: propia.

Se inició el “sampling times”, luego el se inicia el “Start PID_Compact” para que se active la salida (se debe desconectar el bloque comv, en el apartado de “ACTIVACIÓN Y RESET DEL PID), posterior a ello en la parte “Tuning mode” se coloca en modo Fine Tuning y se inicia el sistema.

En este modo el PID_Compact intenta calcular los parámetros de este, con un setpoint determinado, el sistema al mismo tiempo que llega a la temperatura deseada va variando los valores y con ello la salida, generando al principio desvíos de temperatura grandes, con el fin de establecer límites y encontrar los parámetros ideales para este tipo de sistema, con las condiciones que se contaban en el medio, como se puede ver en la imagen 29.

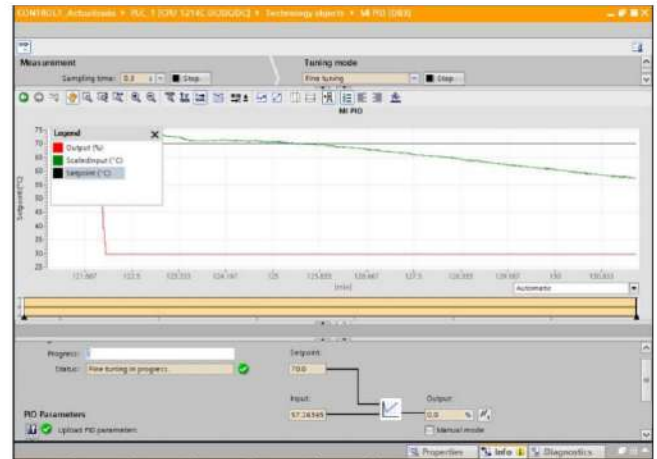


Imagen 29. Ventana de puesta en marcha del PID_Compact con el Fine tuning en acción. Fuente: propia.

Para tener una vista más general del sistema de calentamiento está la imagen 30, la cual es un diagrama de bloques del funcionamiento del sistema.

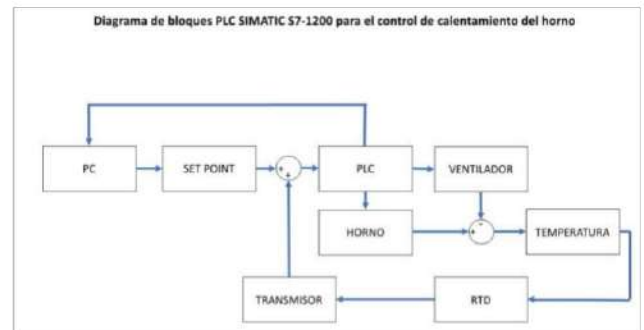


Imagen 30. Diagrama de bloque del sistema. Fuente: propia

RESULTADOS.

Conforme a los componentes establecidos y seleccionados se montó el sistema de forma que el PLC esté a la vista del usuario, junto con los relés y todo el cableado. Físicamente el sistema se divide en dos partes, la parte de la cámara de calentamiento y la otra parte de control y potencia, en la primera parte cuenta con la cámara como tal, la resistencia eléctrica, el ventilador, el indicador de temperatura y el sensor RTD pt-100.

La segunda parte cuenta con el PLC, los relés, las conexiones de potencia con sus respectivos interruptores termomagnéticos y el correspondiente computador para que el usuario pueda manejar el sistema con el HMI. Como en la imagen 31.

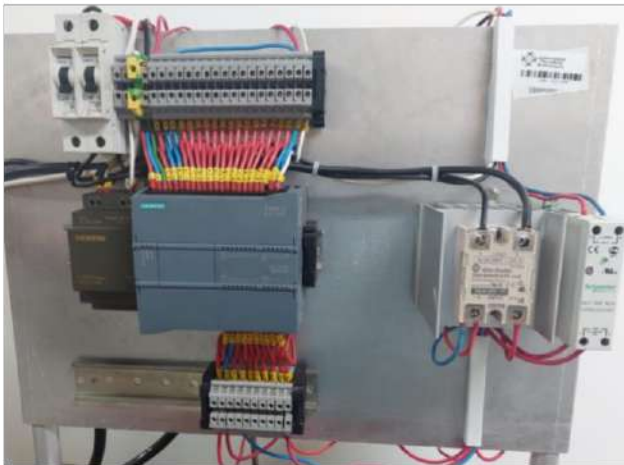


Imagen 31. Tablero de las conexiones físicas del PLC. Fuente: propia.

Para la primera parte se puede ver en la imagen 32.



Imagen 32. Cámara de calentamiento. Fuente: propia.

El PID implementado es uno calculado por el mismo software, el cual es uno bastante

decente, que lo calcula poniendo en marcha el sistema y generando valores de KP, TI y TD hasta encontrar unos que se ajusten a este sistema en específico, luego de realizar estas pruebas el Fine Tuning los encontró. Determinando así que con los que se muestran en la imagen 33.

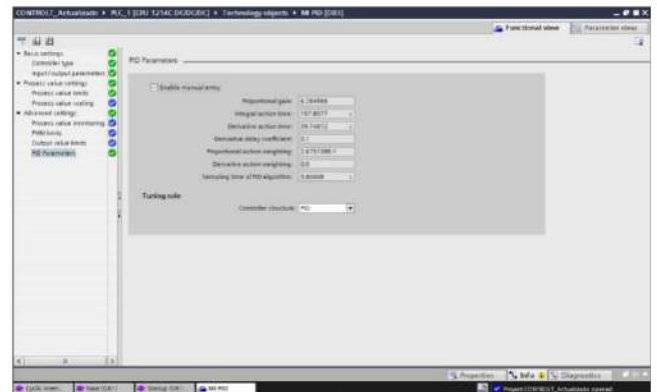


Imagen 33. parámetros finales del PID. Fuente: propia

El PID en marcha se puede ver desde la ventana de puesta en marcha del PID_Compact o desde el HMI, la primera ya se mostró en la metodología y para mostrar que tan bueno es el PID mejor en que se vea desde el HMI.

Es un sistema simple que utiliza un PLC para controlar la temperatura de un horno. El PLC lee la temperatura captada por un sensor RTD y la compara con un valor de referencia establecido por el usuario. Si la temperatura se desvía en un 2% del valor de referencia, se activa un ventilador para enfriar el horno más rápido. El sistema incluye una interfaz HMI con cuatro pantallas que muestran información gráfica de la entrada, salida y valor de referencia, y permiten al usuario ajustar los parámetros del controlador PID. También hay una pantalla para establecer el tiempo de funcionamiento del horno.

En el primer apartado se puede ver la pantalla que primero verá el usuario, la cual es una que contiene los logos de la Universidad Pontificia Bolivariana, los nombres de los autores y un botón con el nombre iniciar, el cual se debe

presionar para entrar a la siguiente pantalla, como se ve en la imagen 34.

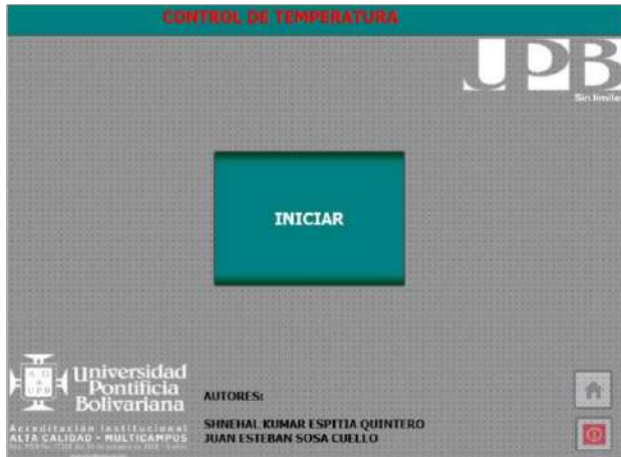


Imagen 34. Pantalla de inicio del HMI. Fuente: propia

La pantalla principal del sistema fue diseñada para que permita al usuario manipularlo de la siguiente manera:

El usuario debe ingresar la temperatura deseada en el campo de "setpoint" y luego presionar el botón verde para encender el sistema. Si no se establece el setpoint, el ventilador se activará automáticamente con una temperatura predeterminada de 0°C.

Una vez iniciado el sistema, la temperatura actual se muestra en el campo correspondiente junto con un indicador animado. En este punto, el sistema espera a que el usuario presione el botón "GO" para activar el controlador PID. Al presionar este botón, el PID comienza a funcionar y se generan pulsos en la salida Q0.7 según la diferencia de temperatura entre la actual y la del setpoint.

La pantalla también incluye un interruptor llamado "ventilador manual" que permite al usuario activar el ventilador manualmente cuando sea necesario, ya sea para enfriar rápidamente o por otras razones.

Hay dos LED en la pantalla: uno verde indica si el PID está generando una salida, aunque sea pequeña (ON) o no (OFF), y otro LED amarillo

indica si el modo temporizador está desactivado (OFF) o no (ON, naranja, coincidiendo con el color del botón del temporizador).

Por último, hay un botón rojo de apagado del sistema. Para apagar correctamente el sistema, el usuario debe presionarlo dos veces y asegurarse de que el sistema esté completamente apagado, lo cual se puede confirmar observando el LED verde. Esta pantalla se muestra en la imagen 35.

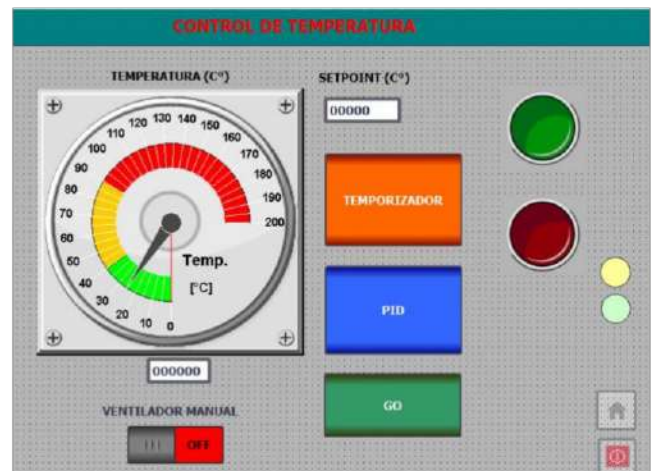


Imagen 35. Pantalla principal del HMI. Fuente: propia

Supongamos que el usuario desea utilizar el temporizador, para ello en la pantalla principal debe presionar el botón naranja con el nombre de temporizador, este lo llevará directamente a él.

Para activar el temporizador el sistema debe estar iniciado, es decir sin que el PID esté activo, si esto pasa no tendría sentido, al activar el switch del temporizador el sistema de colocará en modo temporizador, ya colocado el setpoint lo siguiente que debe hacer el usuario es colocar el tiempo deseado que el PID esté mandando una salida y en el apartado de contador se verá un conteo en forma regresiva del tiempo colocado por el usuario, en este punto el temporizador está en OFF para activar el contador se debe presionar el botón verde "start" para que el tiempo empiece a correr, en este punto el tiempo está corriendo pero no está

mandando salida ya que el usuario debe darle al botón "GO" para que este envíe la salida, para para y resetear el temporizador se debe presionar el botón rojo "reset/stop" y para detener el PID se debe presionar el botón dos veces rojo de la pantalla principal. Esto se puede ver en la imagen 36.

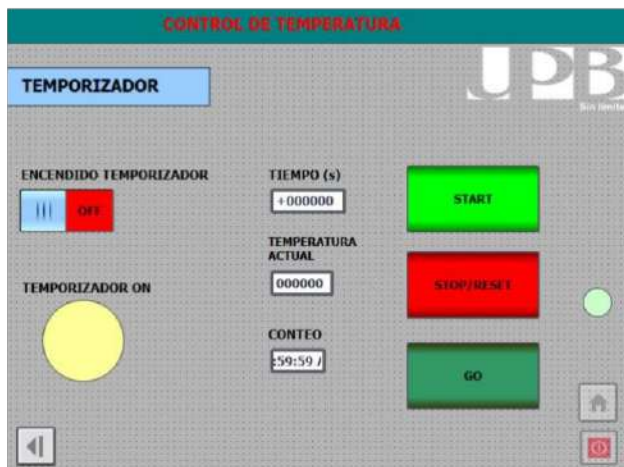


Imagen 36. Pantalla temporizador del HMI. Fuente: propia

Suponiendo que el sistema está activado el usuario desea observar gráficamente el PID en acción para ello en la pantalla principal le debe presionar al botón azul con el nombre de PID, el cual lo llevará a la pantalla del PID.

En este apartado el usuario puede observar en tiempo real el PID en acción, en dicha gráfica están las variables de la temperatura en tiempo real, la cual es "TEMP MEDIA AJUSTADA", se puede ver el setpoint determinado por el usuario y la salida en porcentaje de los pulsos mandados por el PID, "Output_PWM".

Además de ello en la parte de abajo están los parámetros del PID, en primera instancia están los parámetros ya determinados por el fine tuning, estos parámetros el usuario los puede cambiar a la voluntad, generando el PID que ellos crean más conveniente para el sistema.

Para así con estas variables el usuario puede ver como la salida del PID cambia en función a los parámetros del PID y la diferencia del

setpoint con la temperatura actual, aquí también están los dos leds para que el usuario esté al tanto del estado del sistema, además de una flecha que lo retrocede a la pantalla anterior, lo cual se puede ver en la imagen 37.



Imagen 37. Pantalla PID del HMI. Fuente: propia

Por último, se prueba el PID y como se ve en el HMI, para ello se enciende el sistema y se pone en marcha el PID_Compact, en el apartado del PID se pueden ver los parámetros y el progreso de la temperatura y la salida del PID_Compact, con un setpoint de 50°C en la imagen 38 se puede ver cuando inicia el sistema.

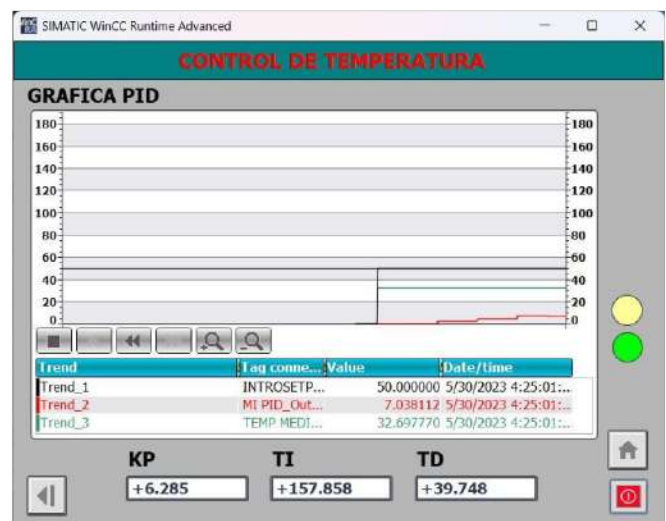


Imagen 38. Inicio del control de la cámara de calentamiento con un setpoint de 50°C. Fuente: propia

En este punto solo falta esperar que la temperatura llegue a la del setpoint y mirar cual se su desviación y el tiempo que tardó en alcanzar dicha temperatura, esto se puede ver en la imagen 39.

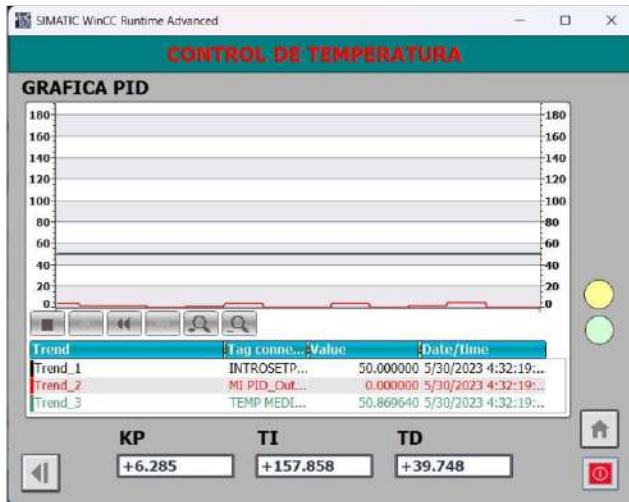


Imagen 39. Estabilización del control de la cámara de calentamiento con un setpoint de 50°C. Fuente: propia

A este punto, la temperatura del horno había alcanzado la del setpoint, y como se podía observar, el PID intentaba ajustarse a ello. Incrementaba la salida en breves instantes para evitar que la temperatura disminuyera, como se muestra en la imagen 38 en comparación con la imagen 39. El tiempo que tomó aproximadamente llegar a esa temperatura fue de 7 minutos. Es importante tener en cuenta que el control de temperatura es uno de los procesos más demorados en la industria, ya que los cambios de temperatura no son inmediatos y también están influenciados por los componentes de este tipo de sistemas.

Este PID cuenta con un desvío aproximado con respecto al setpoint de $\pm 1^\circ\text{C}$, el cual para el uso que se le va a dar, que son las prácticas de laboratorio es un desvío aceptable, pero, si este PID se implementarían de forma industrial se considerarían uno de deja mucho que desear, ya que estas variables tienen que ser

controladas al milímetro para llegar a los procesos deseados.

Ahora bien eso no quita que el sistema montado no simule un entorno industrial de hecho lo hace y muy bien, ya si bien es cierto no cuenta con un controlador de temperatura ya creado para este fin, el PLC Simatic S7-1200 es una buena alternativa para el control de temperatura, la resistencia eléctrica es capaz de alcanzar temperatura superiores a 200°C , pero por seguridad de todos en el laboratorio y teniendo en cuenta que no estamos en un ambiente industrial, se recomienda no sobrepasar temperaturas de 150°C , puede ser peligroso manejar dichas temperaturas, por cualquier tipo de lesiones.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.

El proceso de calentamiento de un horno mediante el uso del PLC Simatic S7-1200, el software TIA Portal y una interfaz de usuario HMI ha demostrado ser una solución altamente efectiva para optimizar la producción industrial.

La implementación de esta automatización ha brindado numerosos beneficios, como un control más preciso de la temperatura, una reducción en el tiempo requerido para los ciclos de calentamiento y enfriamiento, y una mejora en la calidad del producto final. Además, la capacidad de monitorear y ajustar el proceso de forma remota a través de la interfaz de usuario HMI ha permitido una mayor flexibilidad y eficiencia en la operación.

El PLC Simatic S7-1200, con su confiabilidad y versatilidad, ha sido fundamental en la automatización del proceso, proporcionando un control robusto y confiable. El software TIA Portal ha facilitado el desarrollo y la programación del PLC, ofreciendo un entorno de desarrollo integrado que ha permitido una configuración eficiente y una implementación rápida.

La interfaz de usuario HMI creada con el TIA Portal ha mejorado significativamente la interacción entre los operadores y el proceso automatizado. Proporcionando información en tiempo real y permitiendo ajustes intuitivos de los parámetros del proceso, la HMI ha facilitado la supervisión y el control del horno de manera segura y efectiva.

Aparte de lo anterior el horno ni la resistencia eléctrica cuentan con las características físicas para alcanzar temperaturas industriales ya sean temperaturas superiores a 300°C, debido a los materiales utilizados para su construcción, pero a pesar de ello, cumple con la función para la cual fue creado y es para simular un control de temperatura industrial en un ambiente estudiantil.

BIBLIOGRAFÍA.

SIMENS AG Digital Industries. (2021). STEP 7 and WinCC Engineering V17. (Primera Edición).

Siemens AG. (2022). S7-1500 PID Control Function Manual [Manual de funciones de control PID S7-1500]. Recuperado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/036/108210036/att_916495/v1/s71500_pid_control_function_manual_esES_es-ES.pdf

Humpiri Rojo, C. N. (2020, June 11). Diseño e implementación de un control difuso del nivel de temperatura en un horno eléctrico usando un PLC de la serie SIMATIC S7-1200. Diseño e Implementación de Un Control Difuso Del Nivel de Temperatura En Un Horno Eléctrico Usando Un PLC de La Serie SIMATIC S7-1200; repositorio.unap.edu.pe.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13612>

Laurila, H. (2020). Sensor de temperatura Pt100 – lo que hay que saber. Beamex.com. Recuperado el 2 de junio de 2023, de <https://blog.beamex.com/es/sensor-de-temperatura-pt100-lo-que-hay-que-saber>

Zayas Gato, F., Quintián Pardo, H., Jove Pérez, E., Casteleiro Roca, J. L., & Calvo Rolle, J. L. (2020). Diseño de controladores PID. Universidade da Coruña. Servizo de Publicacións.

Camacho Salvador, J. M. (2020). Medida de temperatura de precisión con sensor RTD y microcontrolador. Repositorio.ual.es. <http://repositorio.ual.es/handle/10835/9920>

Elmer, E. (2019). Control de temperatura de un horno eléctrico utilizando controlador lógico programable para la línea de producción de panadería. Handle.net. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12894/6628>

SIEMENS. (2018). SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200, Manual de sistema. https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf