



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



## FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL  
AUTOMATIZADOS CON LA PLATAFORMA TIA PORTAL.”

### TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

Licenciatura en Ingeniería Ambiental

Presenta:

FARID SUÁREZ BONILLA

Asesor de tesis:

DR. FRANCISCO MANUEL PACHECO AGUIRRE

Periodo:

Otoño 2023

Fecha de entrega: 3 de mayo del 2024

## RESUMEN

En el presente trabajo se aborda una propuesta metodológica para la implementación de sistemas de control automatizados empleando la plataforma TIA Portal, una innovación en el campo de la automatización de la empresa alemana SIEMENS. Esta propuesta surge como respuesta a la necesidad de que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química, quienes tienen un acceso limitado o nulo a esta plataforma o carecen de conocimientos suficientes sobre su funcionamiento.

En este contexto, el objetivo general de este trabajo fue desarrollar una propuesta metodológica que capacite a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química para adquirir conocimientos en el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de control automatizados utilizando la plataforma TIA Portal.

En conclusión, fue posible configurar con éxito los componentes de hardware y software requeridos para implementar el sistema de control PID en el caso de estudio propuesto donde la variable manipulada fue el flujo y la variable ajustada fue el porcentaje de la apertura de la válvula mediante la plataforma TIA Portal. Finalmente, para evaluar la efectividad de la metodología desarrollada mediante la medición de la adquisición de conocimientos y habilidades de los estudiantes en la implementación de sistemas de control automatizados con la plataforma TIA Portal se desarrolló un proceso de capacitación a estudiantes de ingeniería química y que mediante una pequeña evaluación (ENCUESTA) se pudo evidenciar de manera concluyente la efectividad de la metodología desarrollada para la capacitación e implementación de sistemas de control automatizados con la plataforma TIA Portal.

## ÍNDICE GENERAL

Índice de figuras .....	IV
Índice de tablas .....	VI
Introducción.....	1
1 Antecedentes y marco teórico .....	2
1.1 Fundamentos de los sistemas de control .....	2
1.2 Controlador proporcional integral derivativo (PID).....	3
1.2.1 Acción proporcional .....	4
1.2.2 Acción integral .....	4
1.2.3 Acción derivativa.....	5
1.2.4 Integrador windup .....	5
1.3 Controlador lógico programable (PLC).....	6
1.4 Estándar de comunicación PROFINET .....	8
1.5 TIA Portal.....	9
1.6 Estado actual de los sistemas de la implementación de sistemas de control automatizados .....	10
1.6.1 Un vaso lleno de automatización para el mayor productor de vino de Italia .	10
2 Planteamiento del problema .....	11
3 Justificación.....	11
4 Objetivo general .....	12
5 Objetivos específicos.....	12
6 Hipótesis.....	12
7 Metodología .....	12
7.1 Metodología del objetivo específico 1.....	13
7.1.1 Visualización de la interfaz de TIA Portal e identificación de sus portales y tareas principales .....	14
7.1.2 Análisis de la estructura del proyecto, sus iconos y funciones principales. ...	15
7.1.3 Descripción de la estructura y contenido árbol del proyecto.....	15
7.1.4 Identificación de las herramientas de configuración y parametrización de “Dispositivos y redes” .....	16
7.2 Metodología del objetivo específico 2.....	17
7.2.1 Diseño del sistema de control en lazo cerrado .....	18
7.2.2 Diseño del PLC y descripción de sus características principales .....	19

7.2.3	Configuración del hardware .....	20
7.2.4	Compilación y carga de la configuración del hardware .....	21
7.2.5	Herramientas de diagnóstico en línea.....	21
7.3	Metodología del objetivo específico 3.....	22
7.3.1	Introducción al uso de STEP 7 .....	22
7.3.2	Descripción de los bloques de programación .....	23
7.3.3	Clasificación de los tipos de datos.....	24
7.3.4	Procesamiento de los valores analógicos.....	25
7.3.5	Operación de los contadores rápidos .....	26
7.3.6	Creación de bloques de datos .....	27
7.3.7	Creación de las pantallas HMI.....	28
7.3.8	Implementación del bloque PID_Compact .....	29
7.4	Metodología del objetivo específico 4.....	30
8	Resultados .....	30
8.1	Resultado del objetivo específico 1 .....	30
8.2	Resultado del objetivo específico 2 .....	34
8.3	Resultado del objetivo específico 3 .....	51
8.4	Resultado del objetivo específico 4 .....	62
9	Conclusiones .....	63
10	Referencias .....	65
11	Anexos .....	67
11.1	Anexo 1 .....	67
11.2	Anexo 2 .....	68
11.3	Anexo 3 .....	68
11.4	Anexo 4 .....	73
11.5	Anexo 5 .....	77

## Índice de figuras

Figura 1.	Control de lazo abierto (Bishop & Dorf, 2016).....	2
Figura 2.	Sistema de control por realimentación (Bishop & Dorf, 2016).....	3
Figura 3.	Controlador PID con mecanismo de protección anti-windup (Åström & Hägglund , 2009) .....	6
Figura 4.	Arquitectura de un PLC típico (McMillan & Hunter Vegas, 2019).....	8
Figura 5.	Metodología para el desarrollo del proyecto de tesis .....	13
Figura 6.	Metodología del objetivo específico 1.....	14
Figura 7.	Metodología del objetivo específico 2.....	18
Figura 8.	Ejemplo de un lazo de control para caudal.....	18
Figura 9.	Metodología del objetivo específico 4.....	22
Figura 10.	Rotación de las ruedas ovaladas del caudalímetro (BOOP & REUTHER MESSSTECHNIK, 2024).....	26
Figura 11.	Vista de la interfaz de TIA Portal.....	30
Figura 12.	Estructura del proyecto.....	31
Figura 13.	Descripción del árbol del proyecto.....	32
Figura 14.	Vista de la topología.....	33
Figura 15.	Vista de red.....	33
Figura 16.	Vista del dispositivo .....	33
Figura 17.	Sistema de control en lazo cerrado para el flujo.....	34
Figura 18.	Diagrama de tuberías e instrumentación para el sistema de control.....	36
Figura 19.	Isométrico de red de tuberías del sistema de control.....	37
Figura 20.	Diseño del PLC.....	37
Figura 21.	Configuración avanzada de red .....	38
Figura 22.	Asignación de dirección IP al dispositivo de programación .....	39
Figura 23.	Selección de la CPU 1215C DC/DC/Rly .....	40
Figura 24.	Vista de la información general de la CPU 1215 DC/DC/Rly .....	41
Figura 25.	Selección de IM y tarjetas de E/S digitales .....	42
Figura 26.	Selección del grupo potencial de las tarjetas digitales .....	42
Figura 27.	Selección del HMI KTP700 Basic PN .....	43
Figura 28.	Establecimiento de comunicación entre HMI y la CPU.....	44
Figura 29.	Establecimiento de comunicación entre la IM y la CPU.....	45

Figura 30.	Vista de inicio del software PRONETA.....	45
Figura 31.	Visualización de los dispositivos conectados.....	46
Figura 32.	Configuración de los parámetros de la CPU 1215C.....	47
Figura 33.	Pasos para asignar la dirección IP y nombre al HMI .....	48
Figura 34.	CPU compilada correctamente .....	49
Figura 35.	Descarga de la CPU .....	50
Figura 36.	Estado de la CPU .....	51
Figura 37.	Programación de un semáforo .....	52
Figura 38.	Programación modular .....	52
Figura 39.	Tipos de datos utilizados en el proyecto.....	53
Figura 40.	Normalización y escalamiento de la presión .....	53
Figura 41.	Normalización y escalamiento de la válvula proporcional.....	54
Figura 42.	Programación para el caudal.....	55
Figura 43.	Habilitación del HSC.....	55
Figura 44.	Direccionamiento del HSC.....	56
Figura 45.	Configuración del tiempo de filtrado .....	56
Figura 46.	Optimización del DB .....	57
Figura 47.	Creación de un DB global .....	57
Figura 48.	Diseño de la pantalla de la portada del HMI .....	58
Figura 49.	Diseño de la pantalla del sistema de control del HMI.....	59
Figura 50.	Vista de las variables de entrada del HMI.....	59
Figura 51.	Vista de las variables de salida del HMI .....	60
Figura 52.	Configuración de un botón del HMI .....	60
Figura 53.	Programación de la instrucción PID_Compact .....	61
Figura 54.	Sintonización del sistema de control .....	62
Figura 55.	Resultados del primer cuestionario sobre automatización de sistemas de control con la plataforma TIA Portal.....	63
Figura 56.	Resultados del cuestionario final después de la implementación de la metodología propuesta.....	63

## Índice de tablas

Tabla 1.	Componentes del PLC .....	19
Tabla 2.	Configuración del hardware .....	21
Tabla 3.	Configuración de la IM.....	21
Tabla 4.	Tipos de datos.....	25

## Glosario

AWL	Lenguaje de programación en lista de instrucciones
DB	Bloque de datos
DI	Entrada digital
DQ	Salida digital
DC	Corriente directa
e	Error de control
FB	Bloque de función
FC	Bloque de funciones
FBD	Diagrama de bloques de funciones
Graph	Lenguaje de programación gráfico de funciones secuenciales
HMI	Human Machine Interface
HSC	Contadores rápidos
IP	Protocolo de Internet
IM	Módulo de interfaz
K	Ganancia proporcional
KOP	Lenguaje de programación tipo escalera
OB	Bloque de organización
PC	Computadora personal
PG	Dispositivo de programación
PID	Proporcional integral derivativo
PLC	Controlador lógico programable
PROFINET	Process Field Network
PRONETA	Software para el diagnóstico y puesta en marcha de redes PROFINET
Rly	Relevador
SCADA	Control de Supervisión y Adquisición de Datos
SCL	Lenguaje de programación tipo texto estructurado

$\tau$	Constante de tiempo
TCP	Protocolo de Control de Transmisión
$T_i$	Tiempo integral
$T_d$	Tiempo derivativo
TIA	Totally Integrated Automation
$u_b$	Variable de polarización
$u(t)$	Señal de control
WinnCC	Software de visualización

## **Introducción**

Los procesos industriales son muy variados y exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos, por ejemplo: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, los centrales generadores de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc. En dichos procesos, es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc. (Solé, 2010). Por lo tanto, debido a la complejidad y el gran número de variables en muchos sistemas de control de procesos, se utilizan controladores lógicos programables basados en microprocesadores (PLC) para la toma de decisiones. El PLC puede configurarse para recibir un pequeño número de entradas (analógicas y digitales) y controlar un pequeño número de salidas o el sistema puede ampliarse con módulos enchufables para recibir un gran número de señales y controlar simultáneamente un gran número de actuadores, pantallas u otros tipos de dispositivos (Dunn, 2018).

En este contexto, la investigación realizada por (Babel, 2022) destaca la evolución de los PLC desde su inicio con capacidades limitadas hasta su estado actual con memoria central ampliada, sistemas operativos y software avanzado (TIA Portal). Los PLC actúan como interfaces vitales entre los sensores y actuadores del nivel de campo y los sistemas SCADA ubicados en la sala de control. Esta interconexión es facilitada por diversos protocolos de bus, como PROFIBUS PA, PROFIBUS DP, entre otros.

Consecuentemente la adquisición de conocimientos en la plataforma TIA Portal es esencial para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química ya que además de ser una herramienta valiosa para la automatización y el diseño de sistemas de control enseña a los estudiantes a pensar de manera lógica y a resolver problemas de manera sistemática, habilidades esenciales para cualquier ingeniero afín a la ingeniería química.

## 1 Antecedentes y marco teórico

### 1.1 Fundamentos de los sistemas de control

De acuerdo con (Niese, 2006) los sistemas de control son parte integrante de la sociedad moderna y sus numerosas aplicaciones están alrededor de nosotros, (Bishop & Dorf, 2016) define un sistema de control como una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema que proporcionará la respuesta deseada del sistema. Según (Visioli, 2006) esto puede hacerse con un sistema de control de lazo abierto o con un sistema de control de lazo cerrado.

Un control de lazo abierto usa un controlador y un actuador para obtener la respuesta deseada como se muestra en la Figura 1.

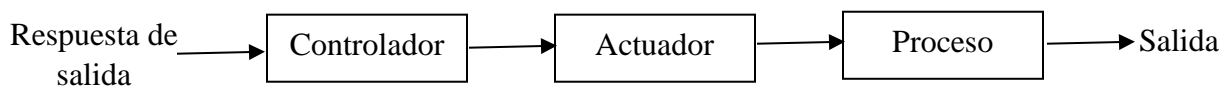


Figura 1. Control de lazo abierto (Bishop & Dorf, 2016).

En contraste a un control de lazo abierto, un sistema de control de lazo cerrado utiliza una medición adicional de la salida real para comparar la salida real con la respuesta de la salida deseada. La medición de la salida es llamada la señal de realimentación (Bishop & Dorf, 2016).

El control por retroalimentación utiliza una medición de salida del sistema para modificar la entrada, de tal forma que la salida permanezca próxima al valor deseado. Existen muchos sistemas cuya operación apropiada depende del control por retroalimentación. Por lo general en la mayoría de los casos existe un instrumento de medición (sensor) o elemento de retroalimentación que mide la variable de salida y transmite la medida a un controlador. Éste compara la señal con el valor deseado, y envía las instrucciones pertinentes al mecanismo actuador (o elemento final de control), que a su vez actúa sobre el sistema u objeto de control (o planta), para adecuar las salidas subsecuentes con el valor deseado o setpoint. La entrada

al actuador, procedente del controlador, se conoce como variable manipulada (Umez-Eronini, 2001)

(Åström & Hägglund , 2009) consideran que la idea de la realimentación es engañosamente simple y sin embargo extremadamente potente. La realimentación puede reducir los efectos de las perturbaciones, puede hacer que un sistema sea insensible a las variaciones del proceso y puede lograr que un sistema siga fielmente a sus señales de entrada y la aplicación del principio de realimentación ha producido grandes avances en los campos del control, comunicación e instrumentación. Un sistema de control por realimentación o lazo cerrado es representado en la Figura 2.

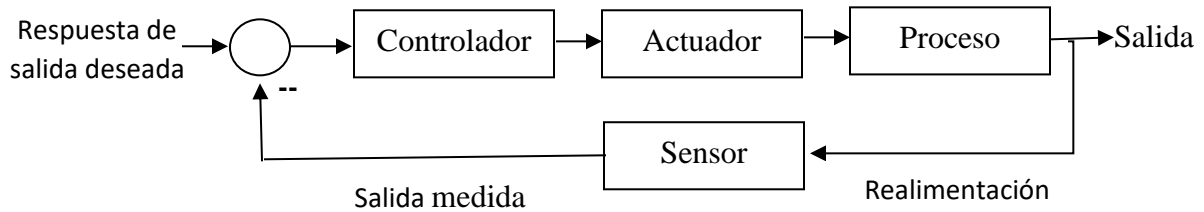


Figura 2. Sistema de control por realimentación (Bishop & Dorf, 2016)

## 1.2 Controlador proporcional integral derivativo (PID)

De acuerdo con (Åström & Hägglund , 2009) el controlador PID es una implementación simple de la idea de realimentación y con diferencia la forma más común de realimentación.

El controlador PID se puede expresar matemáticamente como se muestra en la Ec. 1.

$$u(t) = K(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}) \dots \dots \dots (1)$$

donde

$u(t)$  = señal de control

$e$  = error de control ( $e = y_{sp} - y$ )

$\tau$  = constante de tiempo

$K$  = ganancia proporcional,

$T_i$  = tiempo integral,

$T_d$  = tiempo derivativo

La señal de control es así una suma de tres términos: el término-P (que es proporcional al error), el término-I (que es proporcional a la integral del error), y el término-D (que es proporcional a la derivada del error) (Åström & Hägglund , 2009).

### 1.2.1 Acción proporcional

En el caso del control proporcional puro, la ley de control se describe como en la Ec. 2.

$$u(t) = Ke(t) + u_b \dots \dots \dots (2)$$

la acción de control es simplemente proporcional al error de control. La variable  $u_b$  es una polarización o un reset y cuando el error de control  $e$  es cero, la señal de control toma el valor de  $u(t) = u_b$  (Åström & Hägglund , 2009).

### 1.2.2 Acción integral

La función principal de la acción integral es asegurarse de que la salida del proceso coincida con el punto de consigna en estado estacionario. Con el control proporcional, hay normalmente un error de control en estado estacionario, con acción integral, un pequeño error positivo conducirá siempre a una señal de control creciente y por lo tanto un error negativo dará una señal de control decreciente sin tomar en cuenta lo pequeño que sea el error.

La acción integral se puede también visualizar como un dispositivo que automáticamente reinicia el término de polarización  $u_b$  de un controlador proporcional (Åström & Hägglund , 2009).

### 1.2.3 Acción derivativa

El objetivo de la acción derivativa es mejorar la estabilidad en lazo cerrado, con la forma derivativa del controlador, la salida del controlador es proporcional a la razón de cambio con el tiempo del error  $e$  (Åström & Hägglund , 2009).

### 1.2.4 Integrador windup

Si bien se pueden comprender muchos aspectos de un sistema de control basándose en la teoría lineal, deben tomarse en consideración algunos efectos no lineales. Todos los actuadores tienen limitaciones: un motor tiene una velocidad limitada, una válvula no puede estar más que totalmente abierta o cerrada, etc. Para un sistema de control con un extenso rango de condiciones operativas, puede pasar que la variable de control alcance los límites del actuador. Cuando esto sucede el lazo de realimentación se rompe y el sistema opera como un sistema en lazo abierto ya que el actuador permanecerá en su límite independientemente de la salida del proceso. Si se utiliza un controlador con acción integral, el error puede continuar siendo integrado si el algoritmo no se diseña apropiadamente. Esto significa que el término integral puede hacerse muy grande o, coloquialmente realiza un “windup”. La saturación del integrador (windup) puede ocurrir en conexión con grandes cambios en el punto de consigna, o puede ser causado por grandes perturbaciones o mal funcionamiento del equipo (Åström & Hägglund , 2009).

Uno de los métodos para evitar el windup es el “Recálculo y seguimiento”: cuando la salida se satura, se recalcula el término integral en el controlador de forma que su nuevo valor da una salida en el límite de la saturación. Es ventajoso no reiniciar el integrador instantáneamente sino dinámicamente con una constante de tiempo  $T_t$ . La Figura 3 detalla un diagrama de bloques de un controlador PID con protección anti-windup basado en el recálculo (Åström & Hägglund , 2009).

El sistema tiene un camino de realimentación adicional que se genera midiendo la salida del actuador y formando una señal de error ( $e_s$ ) como la diferencia entre la salida del controlador ( $v$ ) y la salida del actuador ( $u$ ). La señal  $e_s$  se alimenta a la entrada del integrador a través de la ganancia  $1/T_t$ . La señal es cero cuando no hay saturación (Åström & Hägglund , 2009).

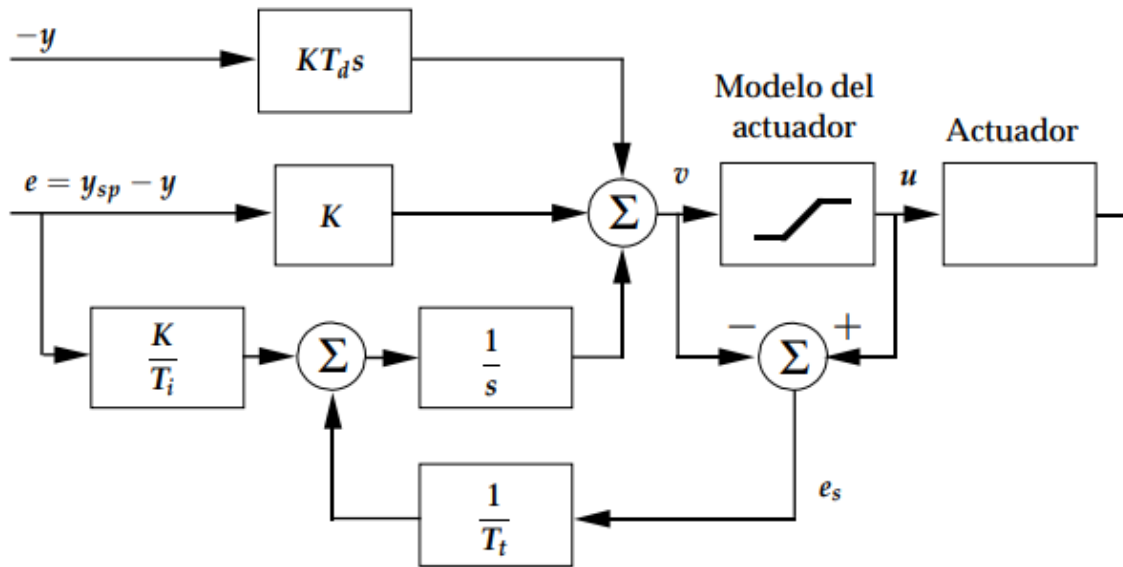


Figura 3. Controlador PID con mecanismo de protección anti-windup (Åström & Hägglund , 2009)

El controlador PID tiene una larga historia en el campo del control automático (Visioli, 2006). En la actualidad las funciones PID se encuentran en los controladores lógicos programables que fueron originalmente diseñados para sustituir los relés (Åström & Hägglund , 2009).

### 1.3 Controlador lógico programable (PLC)

Inicialmente el PLC fue usado para reemplazar la lógica de relés, debido a que los relés tenían que ser conectados mediante cables para llevar a cabo funciones específicas y cuando el sistema requería un cambio, el cableado del relé debía ser cambiado o modificado, lo cual era muy costoso. El PLC es capaz no solo de realizar tareas de conmutación de relés sino también puede realizar otras funciones como: temporización, contaje, cálculos, comparaciones, procesamiento de señales analógicas. Algunos de los beneficios que ofrecen los PLC son los siguientes:

1. Mayor flexibilidad
2. Mayor fiabilidad

3. Bajo costo
4. Capacidad de comunicación
5. Rápido tiempo de respuesta
6. Facilita la solución de problemas

El PLC es actualmente la tecnología de control de procesos industriales más utilizada, un PLC es una computadora industrial que puede programarse para realizar funciones de control (Petruzella, 2017).

En muchos aspectos, la arquitectura del PLC (Figura 4) se asemeja a una computadora de propósito general, sin embargo, algunas características importantes distinguen un PLC de una computadora de uso general, de entrada, un PLC puede operar en un entorno industrial con una cantidad sustancial de ruido eléctrico, vibración, temperaturas extremas y humedad. Los componentes principales del PLC son:

1. Módulo del procesador: consta de la unidad central de procesamiento (CPU) y la memoria.
  - 1.1. CPU: es el cerebro del PLC, un típica CPU consiste en un microprocesador para implementar la lógica y controlar la comunicación entre módulos, la CPU requiere una memoria para almacenar las instrucciones en el programa del usuario, valores numéricos y los estados de los dispositivos de entradas y salidas (E/S).
2. Fuente de alimentación: suministra alimentación de corriente directa a otros módulos que se conectan al bastidor.
3. Módulos de E/S: los tipos de módulos de E/S incluyen discretos (on/off), analógicos (variables continuas), y módulos especiales como control de movimiento o contadores rápidos (McMillan & Hunter Vegas, 2019).
  - 3.1. Módulos de E/S discretos: es el módulo de E/S más común, este tipo de interfaz conecta dispositivos de entrada de campo, de naturaleza encendido o apagado (ON/OFF), como interruptores, paros de emergencia y pulsadores. De manera similar, el control de salida se limita a dispositivos como luces, relés, solenoides que requieren un simple encendido/apagado.

3.2. Módulos de E/S analógicos: los dispositivos analógicos representan cantidades físicas que pueden tener un infinito número de valores. Las típicas entradas y salidas analógicas varían de 0 a 20 mA, 4 a 20 mA y de 0 a 10 V (Petruzella, 2017).

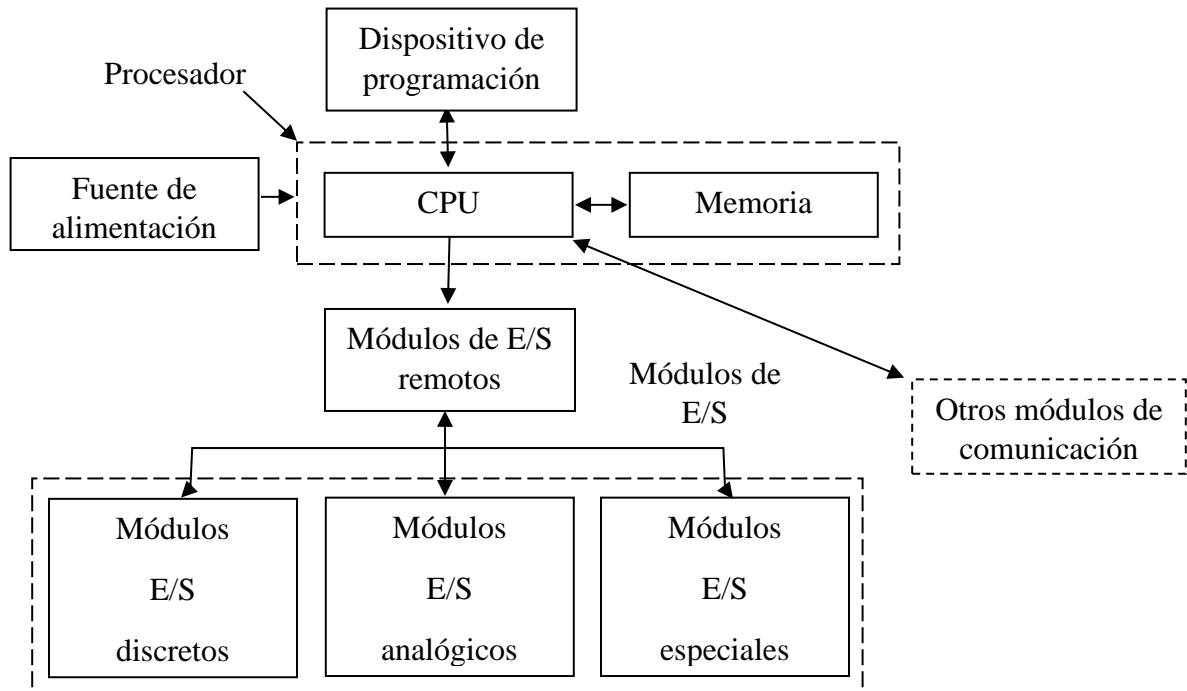


Figura 4. Arquitectura de un PLC típico (McMillan & Hunter Vegas, 2019).

Dichos tipos de módulos de E/S forman la interfaz mediante la cual los dispositivos de campo se comunican a través de protocolos con el controlador. Un protocolo es un conjunto de reglas que 2 o más dispositivos deben seguir para poder comunicarse (Petruzella, 2017).

#### 1.4 Estándar de comunicación PROFINET

PROFINET es el estándar abierto de Ethernet Industrial de la asociación PROFIBUS que utiliza estándares TCP/IP y TI. PROFINET es un bus de campo de rápido crecimiento debido a su capacidad en tiempo real. Entre 2007 y 2019 se lanzaron al mercado aproximadamente 30 millones de dispositivos PROFINET. En la actualidad, el número sigue aumentando considerablemente. Hoy, el crecimiento anual es de alrededor del 18%. En este contexto, PROFINET es uno de los sistemas de bus más extendidos en procesos industriales y

automatización de fábricas (por ejemplo, automoción, solar, semiconductores) (McMillan & Hunter Vegas, 2019).

PROFINET IO (Input/Output) se ha desarrollado especialmente para conectar periféricos descentralizados a un controlador (PLC). Un sistema PROFINET IO está compuesto de la siguiente manera:

1. Controlador IO: Normalmente se trata de un PLC en el que se ejecuta el programa de automatización.
2. Supervisor de IO (PC): Se trata de un dispositivo de programación (PG) o dispositivo de interfaz hombre-máquina (PC, HMI) para la puesta en marcha y el diagnóstico de los dispositivos de campo.
3. Dispositivo IO: Un dispositivo IO es un dispositivo IO situado de forma descentralizada que se acopla a través de PROFINET IO, por ejemplo, equipos de hidráulica, equipos de neumática, robots, variador de velocidad, etc. (McMillan & Hunter Vegas, 2019)

## **1.5 TIA Portal**

A través de su capacidad para abordar una amplia gama de aspectos en la ingeniería, el TIA Portal de SIEMENS se destaca como un actor clave en el panorama de la automatización industrial. En el ámbito de la programación, el TIA Portal ofrece un entorno unificado que abarca desde la configuración de controladores periféricos hasta la gestión de la energía, lo que facilita enormemente la labor de los ingenieros (SIEMENS, 2023).

El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) integra diferentes productos SIMATIC, por ejemplo:

1. STEP 7: software de programación de PLC
2. WinCC: software de visualización

Dentro del TIA Portal, los productos TIA interactúan entre sí, ofreciendo soporte en todas las áreas implicadas en la creación de una solución de automatización. Una solución de automatización típica abarca lo siguiente:

1. Un controlador (PLC) que controla el proceso con la ayuda del programa
2. Un panel de operador (HMI) con el que se maneja y visualiza el proceso (SIEMENS, 2009).

En el terreno de los lenguajes de programación, el TIA Portal permite a los ingenieros utilizar varios estándares de lenguajes de programación, por ejemplo:

1. Diagrama de Escalera (KOP): una representación simbólica de instrucciones dispuestas en escalones, similar a diagramas esquemáticos con formato de escalera.
2. Diagrama de Bloques de Funciones (FBD): una representación gráfica del flujo de procesos utilizando bloques interconectados simples y complejos.
3. Gráfico de Funciones Secuenciales (Graph): una representación gráfica de pasos, acciones y transiciones interconectados.
4. Lista de Instrucciones (AWL): un lenguaje de bajo nivel basado en texto que utiliza instrucciones mnemotécnicas.
5. Texto Estructurado (SCL): un lenguaje basado en texto de alto nivel, como BASIC, C o PASCAL, desarrollado específicamente para aplicaciones de control industrial.

Lo que brinda flexibilidad para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto. Esta versatilidad es esencial en un entorno industrial donde la diversidad de sistemas y procesos requiere enfoques programáticos diversos (Babel, 2022).

## **1.6 Estado actual de los sistemas de la implementación de sistemas de control automatizados**

En el presente, las empresas e industrias se encuentran en un contexto de constante evolución en la implementación de sistemas de control automatizados. La adopción del software TIA Portal ha desempeñado un papel fundamental en esta transformación, permitiendo mejoras significativas en la eficiencia operativa y facilitando casos de éxito que merecen ser destacados:

### **1.6.1 Un vaso lleno de automatización para el mayor productor de vino de Italia**

El mayor productor de vino de Italia, Caviro, tiene una cuota de mercado del 8,3%. Caviro es una cooperativa agrícola, la mayor del sector vitivinícola italiano, con vinos de 12,000 viticultores, que cultiva el 10% de la uva italiana en ocho regiones.

La amplia gama de tamaños y formas de los recipientes de almacenamiento en la instalación requiere una solución de medición de nivel altamente flexible. El monitoreo continuo de los recipientes es esencial para lograr un embotellado eficiente de todos los tipos de vino.

La solución implementada incluye el transmisor de radar SITRANS LR250, el medidor de flujo SITRANS F M MAG 6000 en combinación con SITRANS F M MAG 1100, los inversores SINAMICS G120C, el transmisor de presión SITRANS P DS III, el PLC SIMATIC S7-1500 con TIA Portal y el sistema de E/S SIMATIC ET 200SP.

Esto proporciona mediciones precisas de la capacidad y el volumen de los recipientes de almacenamiento en tiempo real, lo que es esencial para los procesos de llenado de alta velocidad. Además, el TIA Portal de Siemens permite a los operadores supervisar todos los procesos desde la sala de control, lo que facilita la detección inmediata y la corrección de cualquier fallo en el equipo (SIEMENS, 2023).

## **2 Planteamiento del problema**

La plataforma TIA Portal representa una innovación significativa en el campo de la automatización industrial ya que ofrece una amplia gama de herramientas y recursos para la creación de sistemas de control automatizados. Sin embargo, muchos estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química tienen un acceso limitado o nulo a esta plataforma o carecen de conocimientos suficientes sobre su funcionamiento y aplicaciones.

Esta situación presenta un problema, ya que la falta de familiaridad con la plataforma TIA Portal puede limitar la capacidad de los estudiantes para desarrollar habilidades relevantes para la industria y obstaculizar su capacidad para diseñar, implementar y mantener sistemas de control automatizados. Por lo tanto, es necesario encontrar una solución para que los estudiantes tengan acceso adecuado a la plataforma TIA Portal y puedan adquirir los conocimientos necesarios para utilizarla de manera efectiva.

## **3 Justificación**

La adquisición de conocimientos en la plataforma TIA Portal es esencial para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química, incluyendo aquellos en el Colegio de Ingeniería Ambiental, Alimentos, Química y Materiales. Además de ser una herramienta valiosa para

la automatización y el diseño de sistemas de control, los estudiantes que tienen acceso y conocimiento de TIA Portal son más competitivos en el mercado laboral, ya que las empresas buscan candidatos con experiencia en herramientas de automatización de última generación. Asimismo, TIA Portal es una herramienta de aprendizaje valiosa en sí misma, ya que enseña a los estudiantes a pensar de manera lógica y a resolver problemas de manera sistemática, habilidades esenciales para cualquier ingeniero afín a la ingeniería química.

#### **4 Objetivo general**

Desarrollar una propuesta metodológica que permita a los estudiantes la Facultad de Ingeniería Química adquirir conocimientos para diseñar, implementar y mantener sistemas de control automatizados con la plataforma TIA Portal.

#### **5 Objetivos específicos**

1. Identificar y describir las características y componentes principales de la plataforma TIA Portal.
2. Configurar los componentes de hardware y software necesarios para la implementación de sistemas de control automatizados con la plataforma TIA Portal.
3. Proporcionar una introducción a la programación de PLCs con la plataforma TIA Portal, a través del lenguaje de programación KOP e implementar un controlador PID para regular el sistema de control.
4. Evaluar la efectividad de la metodología desarrollada mediante la medición de la adquisición de conocimientos y habilidades de los estudiantes en la implementación de sistemas de control automatizados con la plataforma TIA Portal.

#### **6 Hipótesis**

La implementación de este trabajo mejorará la capacidad de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química para diseñar, implementar y mantener sistemas de control automatizados.

#### **7 Metodología**

La metodología para el desarrollo de este proyecto de tesis se llevó a cabo en 4 etapas, como se presenta en la Figura 5, dichas etapas fueron realizadas en el Laboratorio de operaciones

unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. En la primera etapa se hizo una exploración y descripción de las características principales del software TIA Portal, como son íconos, fichas de tareas, árbol de un proyecto, etc. Para esto se usó TIA Portal V.18 trial versión.

En la segunda etapa se configuró los componentes de hardware y software necesarios para la implementación de sistemas de control automatizados con TIA Portal.

En la tercera etapa se analizaron los fundamentos esenciales de control, y se realizó la programación automatizar el sistema de control propuesto con TIA Portal.

Para la cuarta etapa se desarrolló una evaluación sobre la efectividad de la metodología propuesta.

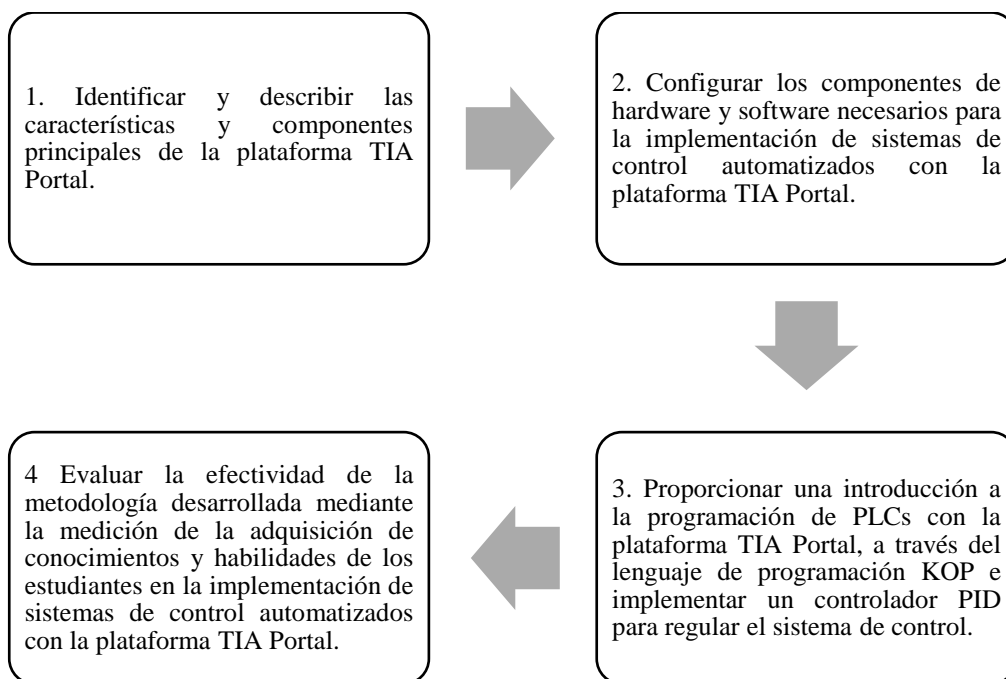


Figura 5. Metodología para el desarrollo del proyecto de tesis

### 7.1 Metodología del objetivo específico 1

Para el desarrollo de este objetivo se siguieron los pasos que se detallan en la Figura 6, cabe mencionar que fue necesario la creación de una cuenta de SIEMENS como se muestra en el anexo 1, para poder instalar correctamente el software TIA Portal V18 trial versión, esto desde la página oficial de SIEMENS (anexo 2), ya instalado dicho software se procedió a dar

los primeros pasos en la plataforma TIA Portal, se identificaron y describieron los íconos más importantes, se analizó la estructura del proyecto, se hizo una descripción del árbol del proyecto y por último se identificaron las herramientas de configuración y parametrización de hardware.

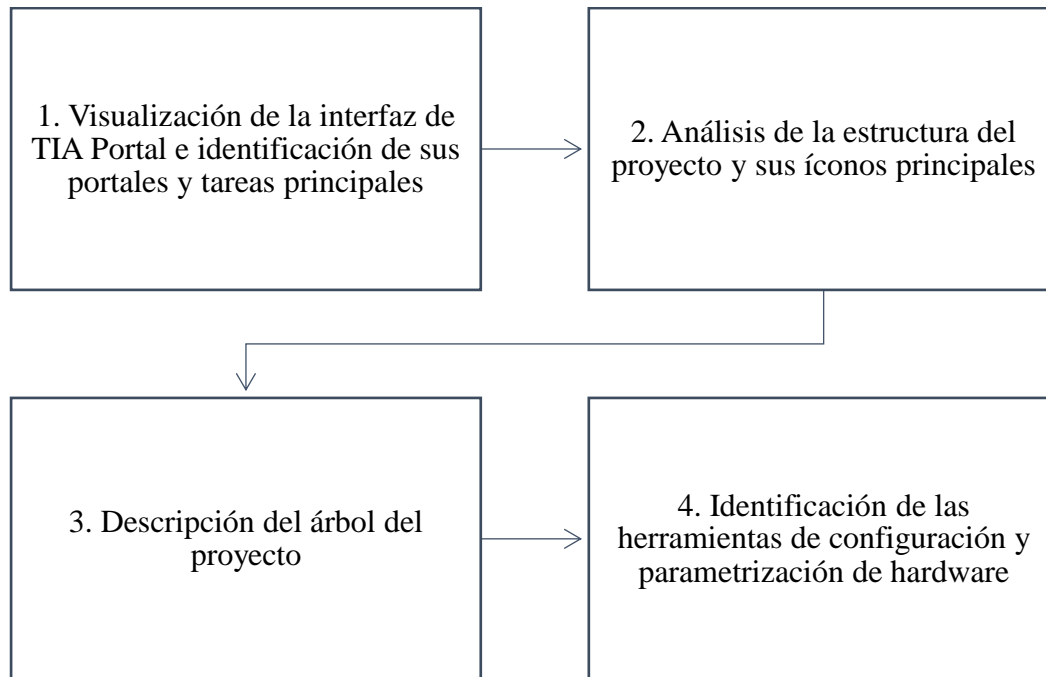


Figura 6. Metodología del objetivo específico 1

### 7.1.1 Visualización de la interfaz de TIA Portal e identificación de sus portales y tareas principales

En este paso, se visualizó la interfaz de TIA Portal, un entorno de programación propuesto por la empresa SIEMENS para la automatización industrial, identificando los iconos y funciones principales para el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de control automatizados, entre los cuales destacan:

1. Creación de un nuevo proyecto: al seleccionar esta tarea se facilita la creación de un proyecto nuevo.
2. Ventana de selección de la tarea seleccionada: en esta área se visualiza la tarea seleccionada.

3. Configuración de hardware y redes: este portal proporciona una opción para configurar el hardware del proyecto y sus redes correspondientes.
4. Editor de bloques de programación: este portal proporciona una alternativa para la creación y edición de los bloques de programación.
5. Movimiento y tecnología: este portal facilita la creación de objetos tecnológicos como la instrucción PID\_Compact.
6. Configuración del HMI: este portal permite la creación y diseño de pantallas HMI.
7. Cambiar a vista del proyecto: este icono nos dirige a la vista actual del proyecto.

### **7.1.2 Análisis de la estructura del proyecto, sus iconos y funciones principales.**

En esta etapa, se abordó el análisis de la estructura del proyecto en TIA Portal, destacando 5 partes principales para nuestro caso de estudio:

- 1 Menú y barra de herramientas: es un conjunto de iconos y comandos situados en la parte superior del proyecto que permite acceder rápidamente a las acciones que se usan con mayor frecuencia en el proyecto.
- 2 Árbol del proyecto: esta herramienta permite tener acceso a todos los componentes y datos del proyecto.
- 3 Área de trabajo: dependiendo del componente que se seleccione en el árbol de trabajo se mostrara sus funciones en esta área.
- 4 Fichas de tareas: al igual que el “Área de trabajo” dependiendo de la acción seleccionada en el árbol del proyecto se despliegan en el lado izquierdo del proyecto estas fichas que agilizan las operaciones dentro del proyecto.
- 5 Ventana de inspección: esta interfaz proporciona información adicional del objeto seleccionado o de acciones ejecutadas, por ejemplo, compilación del proyecto.

### **7.1.3 Descripción de la estructura y contenido árbol del proyecto**

En este paso se proporcionó una descripción de la estructura y contenido del árbol del proyecto en TIA Portal, considerando que las pestañas del árbol se despliegan de manera

jerárquica a continuación se presentan las pestañas principales para la implementación, diseño y mantenimiento del sistema de control propuesto:

- 1 Proyecto: en esta pestaña se visualiza el nombre del proyecto.
- 2 Agregar nuevo dispositivo: esta pestaña facilita la adición de dispositivos en nuestro proyecto, tales como CPU, HMI y Sistemas PC.
- 3 Dispositivos y redes: esta pestaña es una alternativa para la configuración de hardware del proyecto de automatización.
- 4 CPU: al seleccionar esta pestaña se despliegan las acciones y objetos que proporciona la CPU, por ejemplo:
  - 4.1 Online y diagnóstico: esta acción facilita la verificación del estado de la CPU.
  - 4.2 Bloques de programación: esta pestaña proporciona una alternativa para la creación y edición de los bloques de programación.
  - 4.3 Objetos tecnológicos: esta pestaña permite gestionar los objetos tecnológicos que proporciona el PLC.
  - 4.4 Etiquetas del PLC: en esta pestaña se puede visualizar una tabla con las variables que se utilizaron dentro de la programación.
- 5 HMI: al seleccionar y hacer clic en esta pestaña se puede disponer de las herramientas necesarias para la gestión de paneles táctiles
  - 5.1 Pantallas: esta pestaña se utiliza para diseñar las pantallas que se mostrarán en el HMI.
  - 5.2 Plantillas: esta pestaña permite la creación de plantillas que se ocupan si es necesario en las pantallas.
  - 5.3 Etiquetas del HMI: Esta pestaña facilita el enlazamiento entre las variables del PLC y el HMI para una mejor gestión del proyecto. Cabe mencionar que es posible la creación de variables internas del HMI.

#### **7.1.4 Identificación de las herramientas de configuración y parametrización de “Dispositivos y redes”**

Una de las principales herramientas que ofrece el TIA Portal para la implementación, diseño y mantenimiento de sistemas de control es la de “Dispositivos y redes”, esta herramienta

facilita la comunicación entre los dispositivos para su correcto funcionamiento a través de protocolos de comunicación, para nuestro caso en específico se utilizó el protocolo PROFINET. Por lo tanto, se identificó las herramientas clave utilizadas para configurar y parametrizar el hardware de nuestro proyecto, las cuales son:

1. Vista de la topología: esta ventana permite el diseño de las diferentes topologías de red que ofrece el protocolo PROFINET.
2. Vista de la red: esta ventana facilita la visualización de la red y la comunicación de los dispositivos.
3. Vista del dispositivo: en esta ventana se muestra el dispositivo agregado o seleccionado y los módulos que tiene conectado. Al seleccionar cualquier dispositivo y dirigimos a la ventana de inspección en la pestaña “Propiedades” se despliega la información del objeto seleccionado.
4. Catálogo del hardware: esta ficha de tarea permite la agregación de dispositivos a una red y la inserción de módulos a dispositivos.

## **7.2 Metodología del objetivo específico 2**

Para el desarrollo de este objetivo específico se siguieron los pasos que se presentan en la Figura 7, primero se diseñó el sistema de control en lazo cerrado para el caudal, posteriormente se realizó una descripción de las características principales de los componentes del hardware que se implementaron para la automatización del sistema de control propuesto, estos involucran una CPU 1215C DC/DC/Rly, un SCALANCE XC206-2SFP, una IM 155-6 PN ST y una HMI KTP 700 Basic PN. Posteriormente se configuraron los componentes del hardware tanto físicamente utilizando el software PRONETA de SIEMENS como dentro del proyecto en el TIA Portal. Una vez configurado el hardware se realizó la compilación y descarga del proyecto, y se realizó el diagnóstico en línea de la CPU y del HMI.

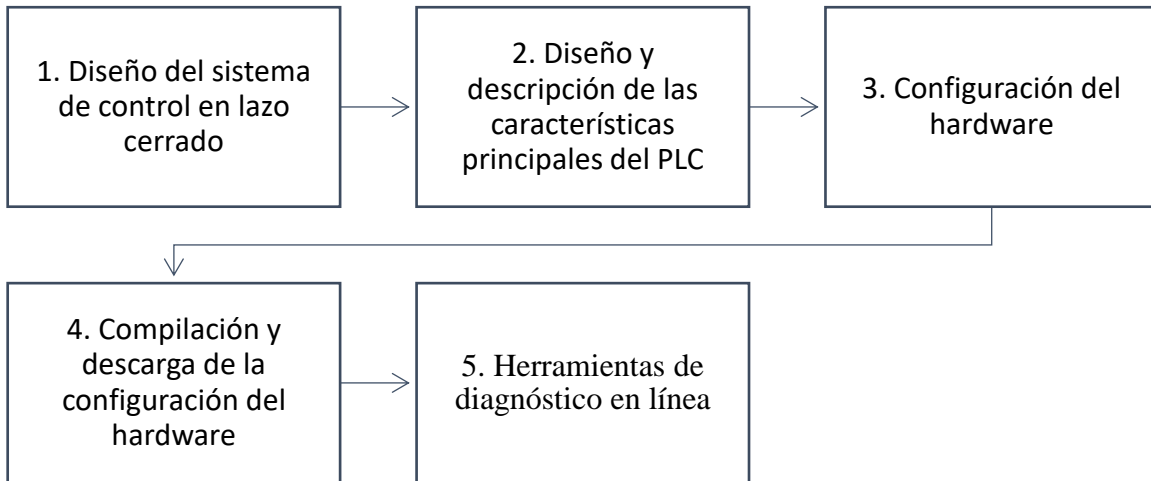


Figura 7. Metodología del objetivo específico 2.

### 7.2.1 Diseño del sistema de control en lazo cerrado

Un ejemplo sencillo de un lazo de control en lazo cerrado es la regulación del caudal mediante una válvula proporcional. El caudal se mide con un sensor y se transmite a un controlador (PLC). El PLC compara el caudal actual con un punto de consigna y calcula un valor de salida (variable manipulada) para controlar el caudal mediante el actuador (válvula proporcional), como se puede observar en la siguiente Figura 8:

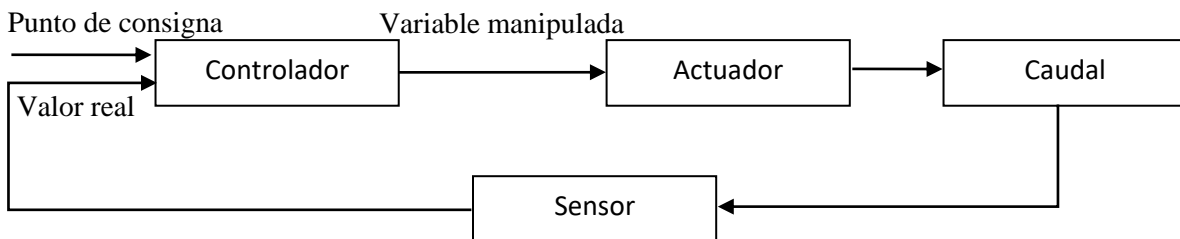


Figura 8. Ejemplo de un lazo de control para caudal

Tomando en cuenta la Figura 8 se propusieron los siguientes elementos para nuestro sistema de control:

1. Variable de proceso = caudal
2. Controlador = PLC
3. Actuador = Válvula proporcional
4. Sensor = Caudalímetro

Además, se precisó de un tanque atmosférico, una bomba presurizadora, un sensor de ultrasónico y de presión y una válvula solenoide. Es importante señalar que se utilizó tubería y conexiones galvanizadas de ¾” para nuestro sistema.

### 7.2.2 Diseño del PLC y descripción de sus características principales

Una vez armado el sistema se llevó a cabo el diseño del PLC, para esto se precisó de los componentes que se presentan en la Tabla 1:

Tipo de dispositivo	Número del artículo	Versión
CPU 1215 DC/DC/Ry	6ES7 215-1HG31-0XB0	3.0
IM 155-6 PN ST	6ES7 155-6AU00-0BN0	3.1
DI16 x 24VDC ST	6ES7 131-6BH00-0BA0	1.0
DQ16 x 24VDC / 0.5A ST	6ES7 132-6BH00-0BA0	1.0
SCALANCE XC206-2SFP	6GK5 206-2BS00-2AC2	---
HMI KTP700 Basic PN	6AV2 123-2GB03-0AX0	15.1

Tabla 1. Componentes del PLC

Donde:

1. CPU 1215C DC/DC/Rly: tiene una memoria de trabajo de 100 KB, y se alimenta a una tensión de 24 volts de corriente directa (VDC) y 5 amperes. Además, cuenta con:
  - 1.1. 14 entradas digitales a 24 VDC
  - 1.2. 10 salidas de relevador
  - 1.3. 2 entradas y salidas analógicas
  - 1.4. 6 contadores rápidos (HSC)
  - 1.5. 2 puertos PROFINET

2. IM (módulo de interfase) 155-6 PN ST: es un sistema de periferia descentralizado que permite conectar señales del proceso a un controlador a través de módulos de periferia (DI, DQ)
3. DI16 x 24VDC ST: es un módulo de entradas digitales, cuenta con 16 entradas digitales
4. DQ16 x 24VDC / 0.5A ST: es un módulo de salidas digitales, cuenta con 16 salidas digitales
5. SCALANCE XC206-2SFP: este módulo permite la comunicación entre los dispositivos al formar redes PROFINET, cuenta con 6 puertos PROFINET.
6. HMI KTP700 Basic PN: este panel tiene un tamaño de 7 pulgadas, con una resolución de 800 x 480 pixeles, opera mediante teclas y su pantalla táctil, además cuenta con 1 puerto PROFINET.

### 7.2.3 Configuración del hardware

Después de haber diseñado y descrito los componentes del PLC pertinentes para el diseño e implementación del sistema de control de caudal, se configuraron para que se puedan comunicar a través de una red PROFINET con el controlador (CPU 1215C), en consecuencia, se les asignó una dirección IP y máscara de subred tanto dentro del proyecto en la plataforma TIA Portal como físicamente con ayuda del software PRONETA de SIEMENS. Es pertinente mencionar que todos los componentes de nuestra red PROFINET deben permanecer en el mismo segmento de red.

Por consiguiente, en el primer paso fue identificar los componentes de nuestro PLC dentro del software TIA Portal usando el “Catalogo del hardware” luego se seleccionaron y arrastraron dichos componentes uno por uno en nuestra área de trabajo.

A continuación, se le asignaron sus respectivas direcciones IP y nombres, como se puede observar en la Tabla 2:

No.	Módulo	Nombre	Dirección IP	Máscara de subred
-----	--------	--------	--------------	-------------------

1	CPU	PN-IO	192.168.0.1	255.255.255.0
2	IM	IM_FARID	192.168.0.2	255.255.255.0
3	HMI	HMI FARID	192.168.0.13	255.255.255.0
4	Dispositivo de programación	----	192.168.0.254	255.255.255.255

Tabla 2. Configuración del hardware

Al seleccionar la ventana “Vista de dispositivo” y seleccionar la IM\_FARID se procedió a insertar las 2 tarjetas adicionales, una de entradas digitales (DI) y otra de salidas digitales (DQ), como se observa en la Tabla 3. Al igual que los módulos anteriores se precisó del “Catalogo del hardware”, para identificarlas.

No.	Dispositivo/Módulo	Numero de articulo	Versión
1	DI16 x 24VDC ST	6ES7 131-6BH00-0BA0	1.0
2	DQ16 x 24VDC / 0.5A ST	6ES7 132-6BH00-0BA0	1.0

Tabla 3. Configuración de la IM

#### 7.2.4 Compilación y carga de la configuración del hardware

Tras completar la configuración del hardware correctamente, seleccionamos el dispositivo a cargar, comenzando con la CPU (PN-IO) y luego con el HMI (HMI FARID), por lo tanto, nos dirigimos a la barra de tareas, guardamos el proyecto haciendo clic en el icono “Save Project”, después compilamos el proyecto al hacer clic en el icono “Compile” para asegurarnos de que todo este correcto y por último cargamos el proyecto al hacer clic en el icono “Download to device”.

#### 7.2.5 Herramientas de diagnóstico en línea

Después de cargar el hardware de manera exitosa, seleccionando el icono "Go Online" ubicado en la barra de tareas. Este paso nos permite realizar un diagnóstico tanto de la CPU como el HMI, lo que nos brinda una visión detallada del estado operativo de los dispositivos,

permitiéndonos identificar posibles problemas y efectuar ajustes según sea necesario, para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

### 7.3 Metodología del objetivo específico 3

Para el desarrollo de este objetivo específico se siguieron los pasos mostrados en la Figura 9, primero se procedió a interactuar con las instrucciones que ofrece STEP 7 de TIA Portal para con el objetivo de automatizar dicho sistema de control y visualizarlo en tiempo real a través de una interfaz HMI.

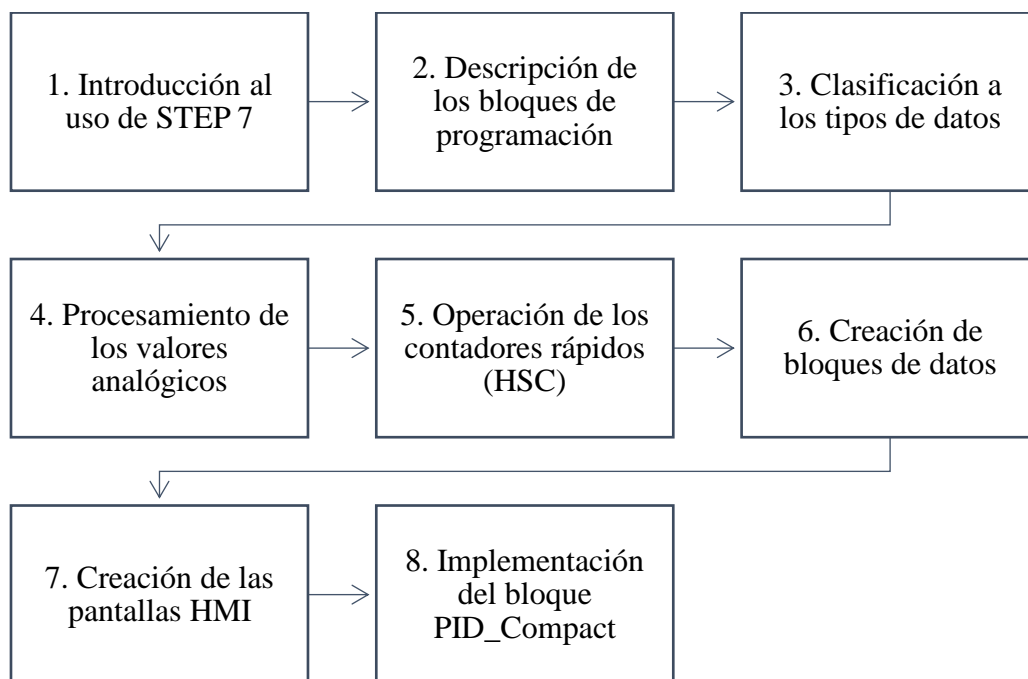


Figura 9. Metodología del objetivo específico 4

#### 7.3.1 Introducción al uso de STEP 7

STEP 7 forma parte del conjunto de software utilizado para la programación y configuración dentro del entorno TIA Portal. STEP 7 provee un entorno que facilita el desarrollo, la edición y la visualización de la lógica del programa necesaria para controlar los sistemas de control.

STEP 7 proporciona los siguientes lenguajes de programación estándar para S7-1200

1. KOP (Diagrama se escalera)
2. FUP (Diagrama de bloque de funciones)
3. SCL (Texto estructurado)

Cuando se está creando un bloque lógico, es necesario elegir el lenguaje de programación que se utilizará para ese bloque. En nuestro caso, optamos por emplear KOP.

KOP (Kontakplan)

En este lenguaje de programación, se utilizan componentes de un esquema de circuitos, como contactos normalmente cerrados, normalmente abiertos y bobinas, que se combinan para constituir segmentos.

Para diseñar la lógica de operaciones complejas, es posible incorporar ramas para circuitos paralelos. Estas ramas paralelas pueden abrirse hacia abajo o conectarse directamente a la barra de alimentación.

En KOP, se proporcionan instrucciones para diversas funciones, como operaciones matemáticas, temporizadores, contadores y transferencias, etcétera. Es importante destacar que en STEP 7 no hay límite en el número de instrucciones que puede tener un segmento.

Dichas instrucciones se insertan en bloques lógicos, como los bloques de organización, bloques de función y funciones.

### **7.3.2 Descripción de los bloques de programación**

Dentro del árbol de trabajo, al seleccionar la CPU (PN-IO), se despliegan varias carpetas, incluida "Program blocks". Al hacer clic en esta carpeta, se presenta la opción "Add new block", donde se presentan diversos tipos de bloques para ejecutar la programación, por ejemplo:

1. Bloques de organización (OB): Los bloques de organización desempeñan la función de estructurar el programa, así como de la ejecución cíclica del programa.
2. Bloques de funciones (FB): Los bloques de función son bloques de código que almacenan permanentemente sus valores en bloques de datos de instancia,

3. Funciones (FC): Las funciones son bloques de código o subrutinas que no cuentan con bloques de instancia.
4. Bloque de datos (DB): Los bloques de datos son generados en el programa con el propósito de almacenar los datos correspondientes a los bloques lógicos. Los DB creados arbitrariamente se denomina DB globales, por otro lado, un DB de instancia se genera al crear un FB.

De acuerdo con los requisitos de la aplicación, es posible seleccionar una programación lineal o modular:

1. Programación lineal: ejecuta todas las instrucciones de la tarea de automatización de forma secuencial y generalmente, la programación lineal deposita todas las instrucciones del programa en el OB encargado de la ejecución del programa.
2. Programación modular: este tipo de programación llama a los bloques de función y/o funciones que ejecutan determinadas tareas dentro del OB principal, generalmente este tipo de programación se usa para organizar de mejor manera el proyecto.

En nuestro caso particular, optamos por una programación modular para gestionar de manera más efectiva nuestro sistema de control. En este enfoque, creamos los siguientes FBs, cada uno con funciones específicas:

1. Caudal (FB1):
2. Salida\_PID (FB2)
3. Presión (FB3)

Y también de creó un FC:

1. Programación general (FC1)

Todos estos bloques lógicos de programación se llamaron en el bloque de organización principal OB1.

### **7.3.3 Clasificación de los tipos de datos**

En el contexto de la automatización mediante controladores lógicos programables (PLC), los tipos de datos desempeñan un papel fundamental en la organización y manipulación de las

señales e información, debido a que cada entrada y salida física, tanto digital como analógica necesita de un direccionamiento para poder utilizarse dentro de la programación.

Por lo que, para este proyecto los datos que se utilizaron se muestran en la Tabla 4:

Tipo de dato	Longitud en bits	Constantes	Ejemplo de direccionamiento
BOOL	1	1 o 0	I0.0
WORD	16	W#16#12AF	MW10
DWORD	32	DW#16#ADA	MD1
INT	16	1234	MW2
DINT	32	L#65539	MD10
REAL	32	1.2 o 1.12E-12	MD60

Tabla 4. Tipos de datos

### 7.3.4 Procesamiento de los valores analógicos

Debido a que una señal analógica representa una cantidad física que puede tener un infinito número de valores, típicamente estas señales varían de 0 a 20 mA, 4 a 20 mA o 0 a 10 V. El PLC 1215 C DC/DC/Rly cuenta con 2 entradas analógicas por defecto a voltaje de 0 a 10 V y dos salidas analógicas a corriente de 0 a 24 mA.

Para poder utilizar las señales analógicas en la programación, el PLC transforma estas señales analógicas normalizadas a valores de 0 a 27648 cuentas para intensidad y de -27648 a 27648 cuentas para tensión, a través de las instrucciones NORM\_X y SCALE\_x, para convertirlas en unidades de ingeniería (volumen, temperatura, presión, viscosidad, etcétera), dichas instrucciones se encuentran en las fichas de tareas en la carpeta de “Conversion operations”, ambas se colocan en serie, primero la instrucción NORM\_X y después la instrucción SCALE\_X (SIEMENS, 2016).

En el contexto de una entrada analógica, el procedimiento implica inicialmente normalizar el valor analógico a un rango de 0.0 a 1.0, representado como un número real (coma flotante). Posteriormente, es necesario ajustar este valor normalizado a los límites mínimo y máximo correspondientes a las unidades de ingeniería que representa (En nuestro caso en específico el rango del sensor de presión es de 0 a 145 psi). En el caso de convertir valores de unidades de ingeniería a salidas analógicas, se sigue un proceso similar: primero se normaliza el valor de las unidades de ingeniería a un rango entre 0.0 y 1.0 (Para nuestro caso, el rango de la

abertura de la válvula proporcional es de 0 a 90°), y luego se escala dentro de un rango específico, que puede ser de 0 a 27648 o de -27648 a 27648 (SIEMENS, 2016).

### 7.3.5 Operación de los contadores rápidos

El caudalímetro utilizado en el sistema de control conocido como medidor de rueda oval pertenece al grupo de medidores volumétricos directos para líquidos con paredes móviles y consta de una carcasa de cámara de medición con dos ruedas ovaladas pivotantes que tienen dientes y ruedan entre sí en contra rotación como se puede observar en la Figura 10, cada revolución de las ruedas ovaladas desplaza un volumen discreto de líquido a través de la cámara (BOOP & REUTHER MESSTECHNIK, 2024).

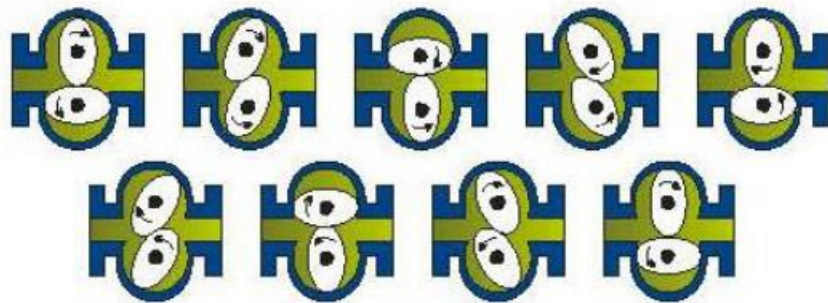


Figura 10. Rotación de las ruedas ovaladas del caudalímetro (BOOP & REUTHER MESSTECHNIK, 2024)

Con fines de medición, la rotación de las ruedas ovaladas se transmite a un captador de pulsos mediante un acoplamiento magnético y un dispositivo de engranajes, este captador manda pulsos a un contador rápido (High-Speed Counter, HSC) del PLC que ofrece la posibilidad de contar los pulsos que ocurren a una velocidad muy rápidas para poder ser programados. Además de contar, el HSC puede configurarse para que pueda medir la frecuencia (pulsos/s), esto es importante ya que por medio de un análisis dimensional (Ecuación 2) se pudo obtener el valor del caudal de nuestro sistema, cabe mencionar que el caudalímetro está calibrado para que cada 99.518 pulsos equivalgan a 1 litro,

$$\text{Caudal (litros/min)} = [\text{Frecuencia (pulsos/s)} / 99.518 \text{ pulsos/l}] * [60 \text{ min/s}] \dots \dots \dots \text{Ec. (2)}$$

Para implementar la ecuación anterior el primer paso fue habilitar el contador rápido. En el árbol del proyecto, seleccionamos el PLC (PN-IO), clic derecho en “Propierties” donde se

desplegó las características de la CPU, posteriormente seleccionamos y damos clic a “High speed counters (HSC)” y habilitamos el HSC 3, que es el que se utilizó para nuestro sistema de control, posteriormente en “Type of counting” seleccionamos “Frequency”. En el apartado de “Input address” podemos observar el direccionamiento de inicio (1008.0) y el direccionamiento final (1011.7), indicando que los HSC utilizan una sección de palabra doble (double word) de la memoria de entrada donde guardan el contaje actual. Una vez habilitado el HSC, SIEMENS sugiere ajustar el tiempo de filtrado de la entrada digital a 0.8 microsegundos.

Con la configuración del HSC completa, se procedió a programar la Ecuación 2 en el PLC mediante una instrucción denominada “CALCULATE”, el primer paso consistió en convertir los datos DInt que son los que utilizan los HSC a datos de tipo REAL, por lo que se utilizó una instrucción llamada “CONVERT”. Una vez convertidos los datos del HSC se implementó la instrucción “CALCULATE”.

### **7.3.6 Creación de bloques de datos**

Para tener una mejor organización del programa se creó un bloque de datos “optimizado” para almacenar los datos y hacer la comunicación con el HMI:

- Visualización\_HMI

Es importante mencionar que los bloques de datos con acceso optimizado carecen de un direccionamiento. En su declaración dentro del programa las variables únicamente contienen un nombre simbólico, sin poseer una dirección fija dentro del bloque. La CPU almacena automáticamente estos elementos en el área de memoria disponible del bloque, esta característica facilita la optimización del uso de la capacidad de memoria, adaptándose dinámicamente a las necesidades del sistema.

Cabe mencionar que los demás bloques de datos son de instancia ya que se generaron al crear FBs:

- Caudal
- Presión

- Salida\_PID

### 7.3.7 Creación de las pantallas HMI

De acuerdo con (Petruzella, 2017) en el pasado, la interfaz de usuario típica consistía en un panel con interruptores, pulsadores, medidores analógicos etcétera. Con la llegada de los sistemas de control digital, los paneles con cableado extenso han sido reemplazados por una pantalla de computadora con gráficos del proceso y comandos del operador ingresados mediante un teclado. Las interfaces hombre-maquina (HMI) proporcionan la capacidad de visualizar los procesos en tiempo real. A través de TIA Portal es posible configurar las pantallas de visualización para:

1. Sustituir pulsadores con cableado y luces piloto con iconos de apariencia realista. El operador de la máquina solo necesita tocar el panel de visualización para activar los pulsadores.
2. Mostrar las operaciones en formato gráfico para una visualización más fácil.
3. Permitir al operador cambiar las configuraciones de temporizadores y contadores tocando el teclado numérico en la pantalla táctil.
4. Mostrar alarmas, con detalles como el momento de ocurrencia y la ubicación.
5. Exhibir variables a medida que cambian con el tiempo.

En el caso de nuestro proyecto, diseñamos dos pantallas: una de portada y otra donde se visualiza de manera gráfica el sistema de control propuesto.

La configuración de la pantalla “Portada” implicó el uso de elementos que se arrastraron desde la carpeta “Basic objects” ubicada en la ficha de tarea denominada “Toolbox”. En específico, se incluyeron:

1. Text field: para añadir texto descriptivo.
2. Graphic view: para agregar las imágenes del escudo de la BUAP y de la Facultad de Ingeniería Química.

Adicionalmente, se añadieron botones que se arrastraron de la carpeta “Elements”, con los siguientes eventos específicos y sus respectivas funciones:

1. Click: este evento se activa al realizar un clic en el botón, y se ha vinculado con funciones particulares, por ejemplo “StopRuntime” para reiniciar el HMI y “ActivateScreen” para activar una determinada pantalla.
2. Press: el evento Press se desencadena cuando el usuario mantiene presionado el botón. En este contexto, se ha programado para que al mantener presionado el botón, se ejecute la función SetBit que está vinculada a una variable del PLC que se almacenó en un DB global denominado “Visualización\_HMI” a través de etiquetas que se crearon en la carpeta “HMI tags”.
3. Release: el evento Release se produce cuando el usuario levanta el dedo después de haber presionado el botón. En esta instancia, se ha asignado la función “ResetBit” que se ejecuta al soltar el botón. Normalmente esta función opera con la misma variable que se utilizó en “Press”

Para la configuración de la pantalla “Sistema de control” además de botones y el elemento “Text field” se empleó el elemento “I/O Field” para poder configurar el setpoint del sistema de control, a través de un teclado numérico.

### **7.3.8 Implementación del bloque PID\_Compact**

En la fase de implementación del sistema de control, se abordó la configuración de la instrucción PID\_COMPACT para el control de sistemas en lazo cerrado.

Dado que en un proceso las variables (temperatura, presión, nivel, flujo, etc.) experimentan cambios constantes, se implementó la instrucción PID\_Compact dentro de un OB de ciclo ininterrumpido que permite iniciar programas en intervalos de tiempo periódicos. Para el PLC 1215C el intervalo de tiempo por default fue de 100 milisegundos. Ya insertada la instrucción en el programa se creó automáticamente un objeto tecnológico y un DB de instancia para dicha instrucción. El DB de instancia contiene todos los parámetros que se utilizan para la instrucción PID.

A continuación, se configuró los parámetros del objeto tecnológico (Anexo 3) y se asignó su entrada (valor del caudal), punto de consigna o setpoint, y salida (apertura de la válvula proporcional)

Una vez configurado los parámetros seleccionamos el modo automático (autotuning) para que se sintonizara el sistema y se ajustara continuamente la salida del sistema (válvula proporcional) para mantener al caudal en los valores deseados.

## 7.4 Metodología del objetivo específico 4

En el último objetivo específico, se creó un cuestionario en Google Formularios para evaluar el nivel de conocimiento de los participantes antes y después de la implementación de la metodología propuesta para sistemas de control automatizados con la plataforma TIA Portal.

## 8 Resultados

### 8.1 Resultado del objetivo específico 1

A partir de la metodología propuesta se identificó y describió la interfaz de TIA Portal como se presenta en la Figura 11: en ella se destacan 7 elementos principales con los cuales se puede inicializar un proyecto nuevo de control.

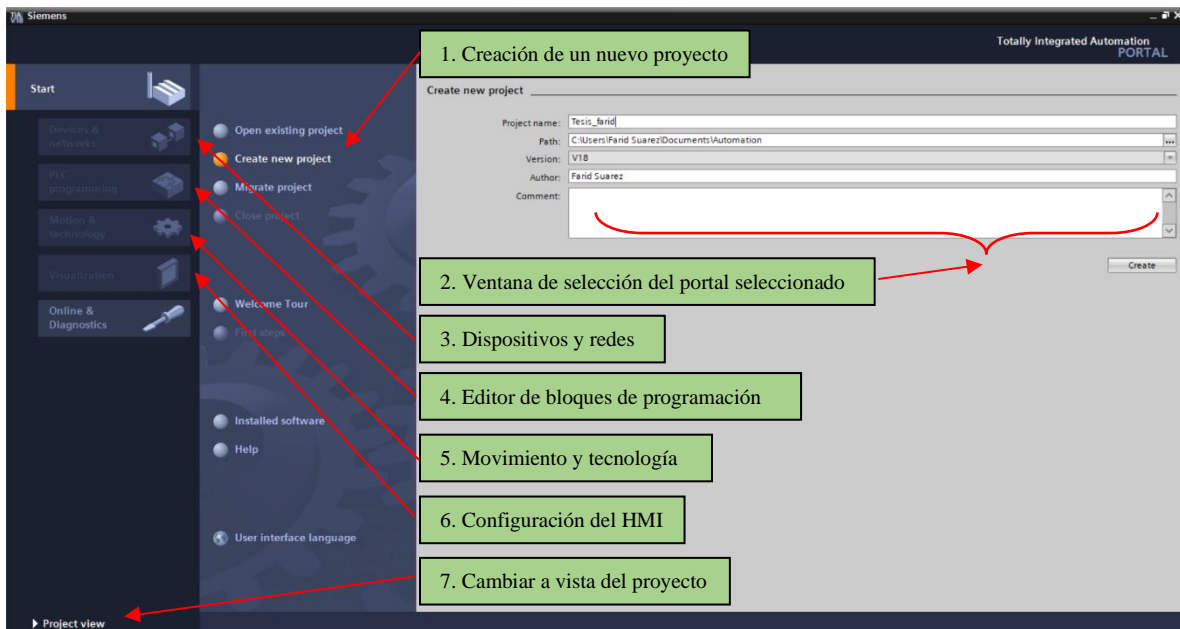


Figura 11. Vista de la interfaz de TIA Portal

Por otra parte, una vez descrita e identificada la primera interfase, al seleccionar el icono “Vista del proyecto” se abrió la siguiente interfase como se puede observar en la Figura 12, que corresponde a la estructura del proyecto donde se analizó y resaltó los iconos y funciones principales que lo conforman.

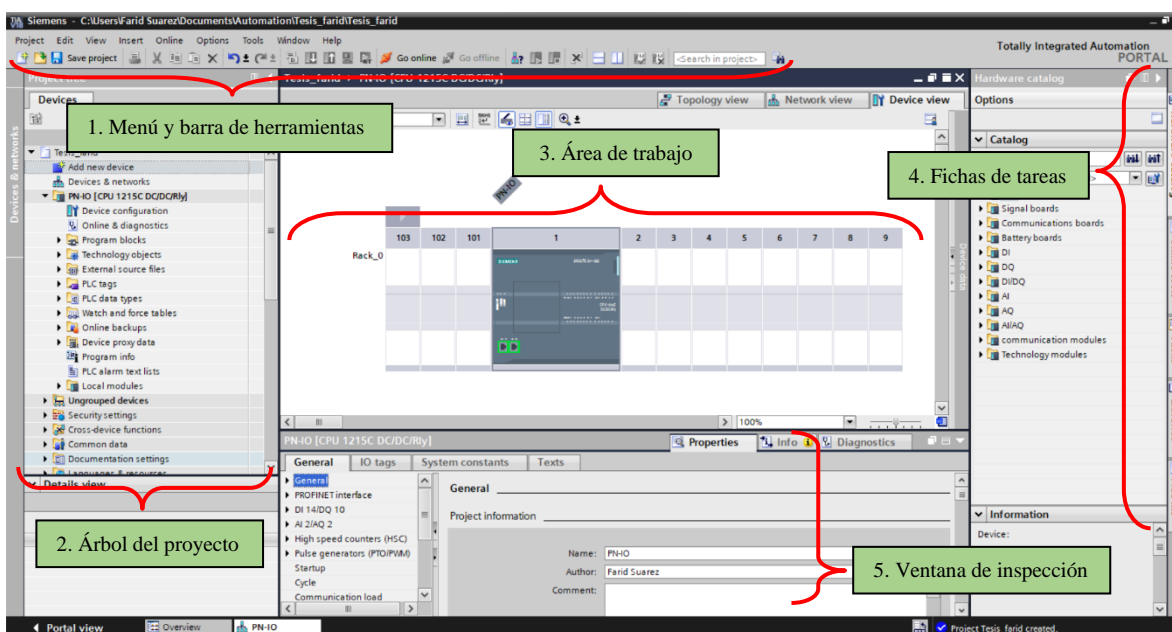


Figura 12. Estructura del proyecto

Debido a que la mayoría de las funciones, objetos y aplicaciones que ofrece la plataforma TIA Portal se localizan dentro del árbol del proyecto se describió su contenido como se visualiza en la Figura 13, donde se destacan las 12 principales pestañas utilizadas para el diseño del sistema de control propuesto:



Figura 13. Descripción del árbol del proyecto

Una vez descrito el árbol del proyecto, se procedió a identificar las herramientas de configuración y parametrización de hardware, destacando sus principales ventanas y fichas de tareas como se muestra en las Figuras 14, 15 y 16 para la vista de topología, red y dispositivo respectivamente, en esta última se puede apreciar en la “Ventana de inspección” la información del módulo seleccionado para su configuración. Cabe mencionar que en las 3 Figuras se presenta la ficha de tarea “Catalogo del hardware”.

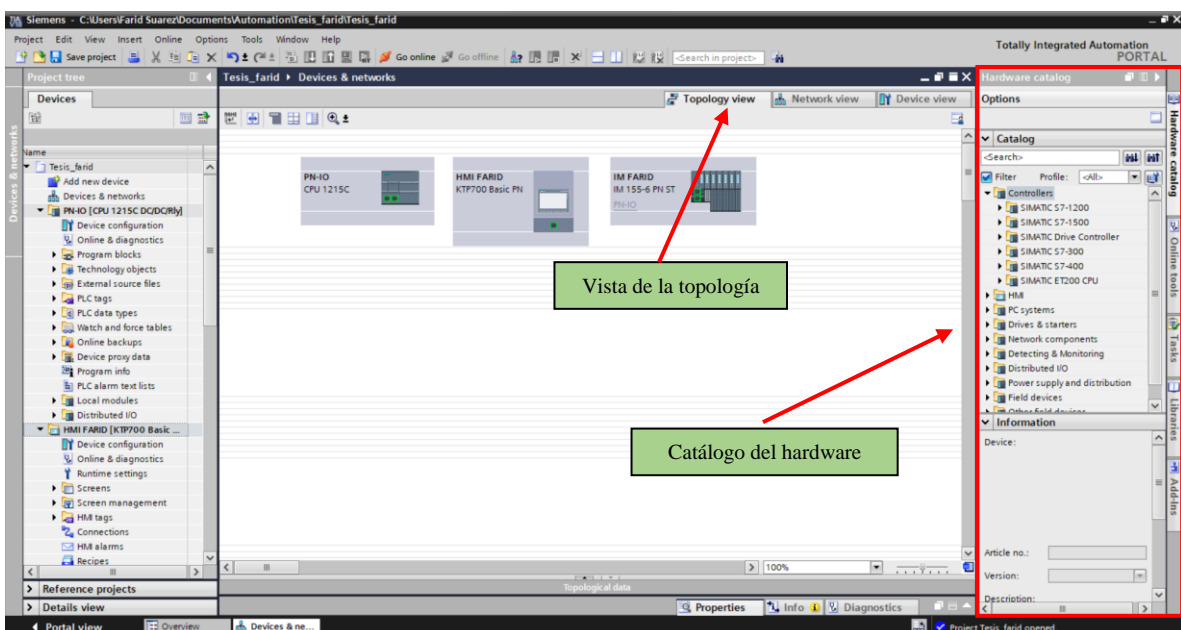


Figura 14. Vista de la topología

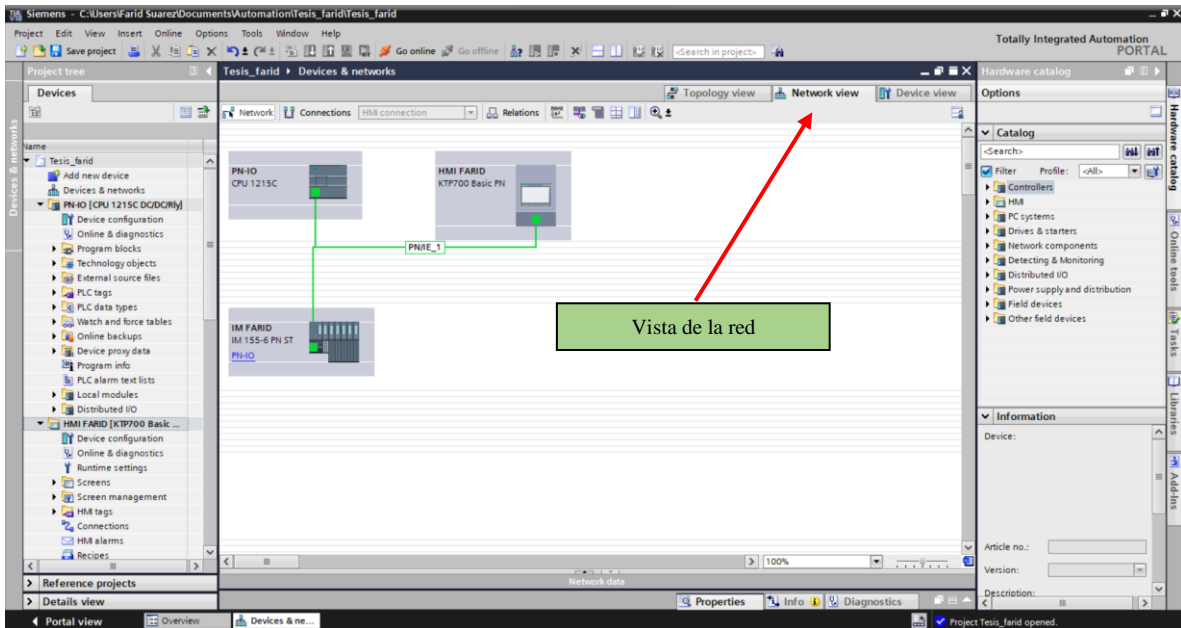


Figura 15. Vista de red

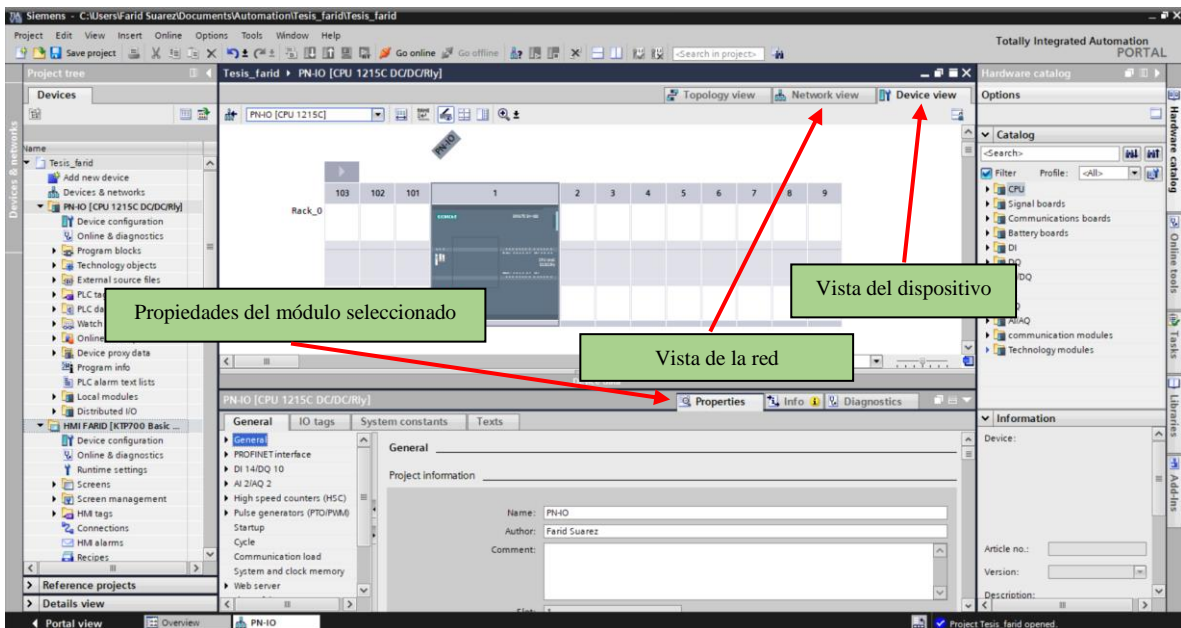


Figura 16. Vista del dispositivo

## 8.2 Resultado del objetivo específico 2

Como resultado de la metodología del objetivo específico 2, se obtuvo el diseño del sistema de control en lazo cerrado para el caudal como se presenta en la Figura 17, donde se destacan los 8 elementos principales para la implementación de sistema de control propuesto.

En la Figura 18 se detalla el Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI) del sistema de control propuesto mientras que en la Figura 19 se puede apreciar el Isométrico de red de tuberías del sistema de control.

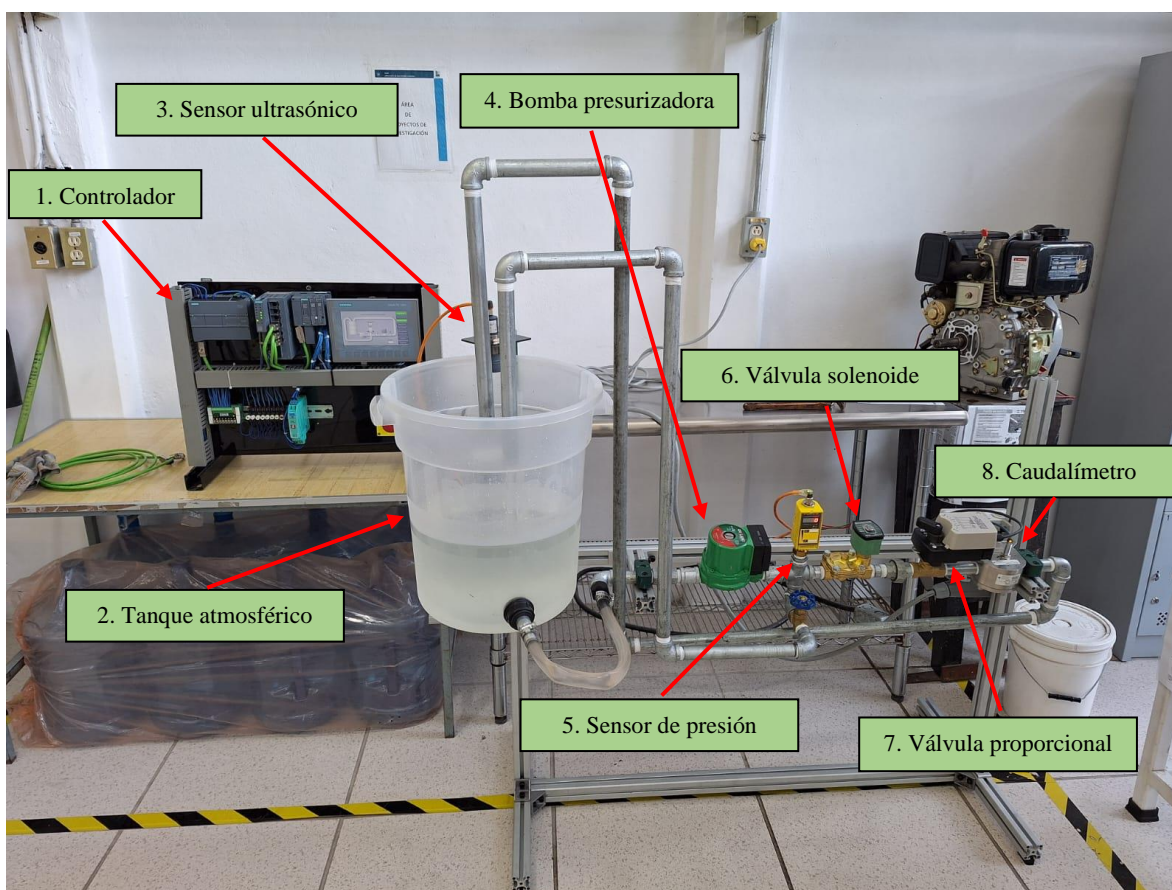


Figura 17. Sistema de control en lazo cerrado para el flujo



Figura 18. Diagrama de tuberías e instrumentación para el sistema de control

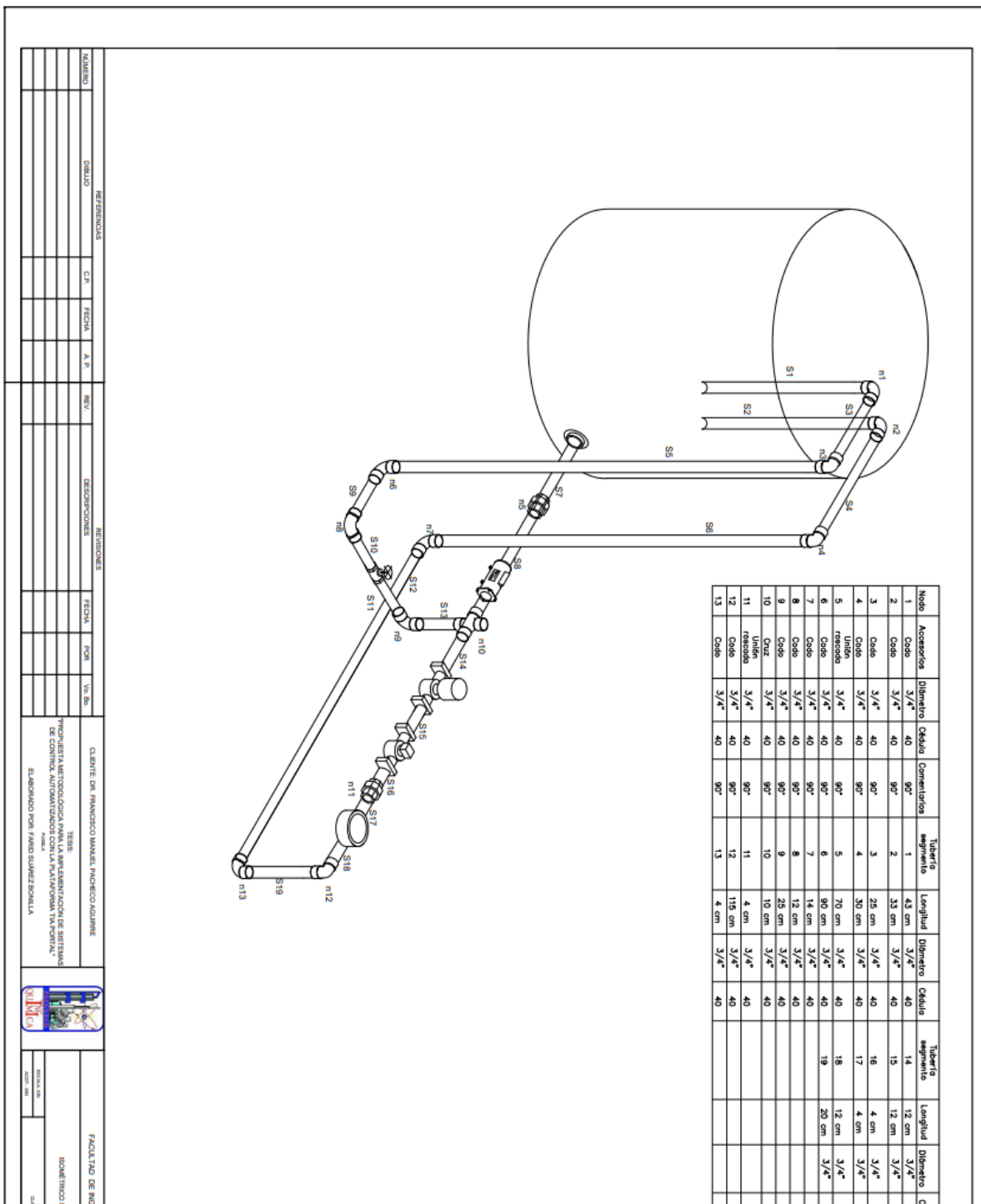


Figura 19. Isométrico de red de tuberías del sistema de control

Una vez armado el sistema de control en lazo cerrado propuesto se procedió a diseñar el controlador lógico programable, dando como resultado la Figura 20, donde se destacan los 6 componentes principales que permiten el control de nuestro sistema:

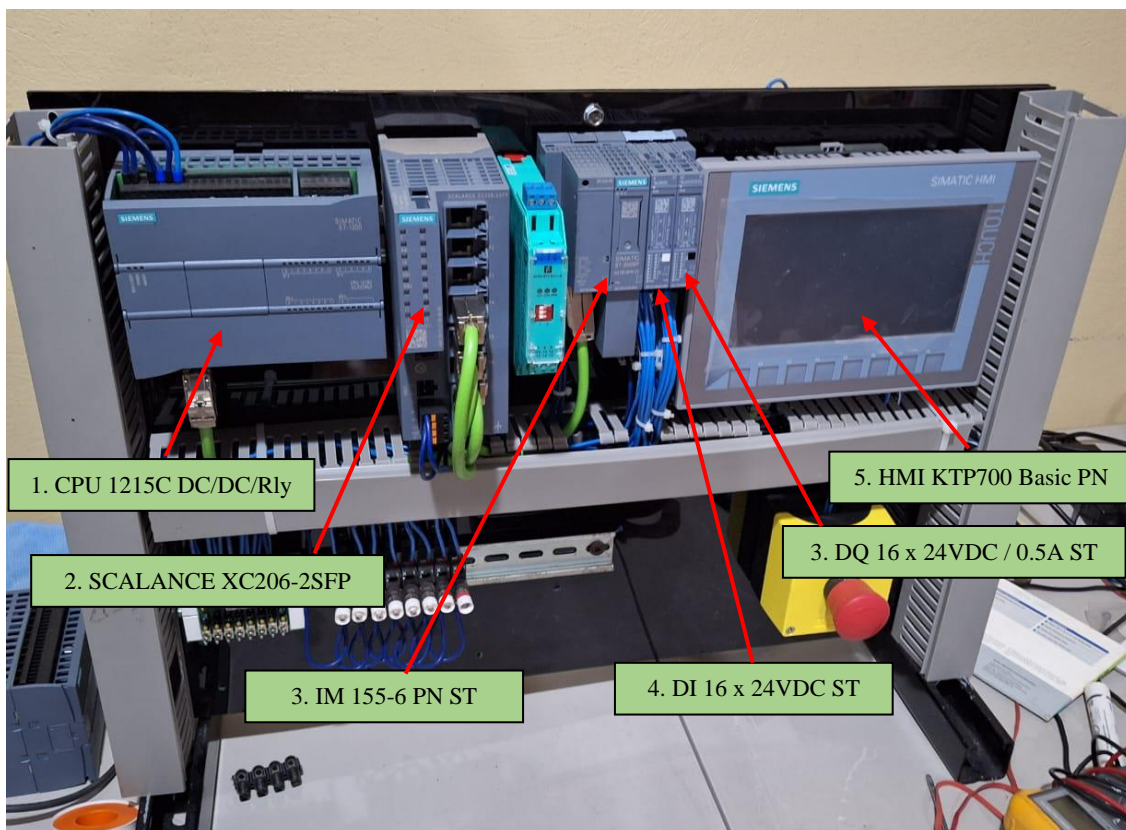


Figura 20. Diseño del PLC

Después de haber diseñado el PLC se procedió a configurar las direcciones IP y nombres de nuestros componentes como se especificó en la Tabla 2, por tal motivo el primer paso fue dirigirse al dispositivo de programación, en la parte de “Configuración avanzada de red”, para así abrir “Propiedades de Ethernet” y seleccionar la opción “Habilitar el protocolo de Internet versión 4 (TCP/Pv4)” como se visualiza en la Figura 21.

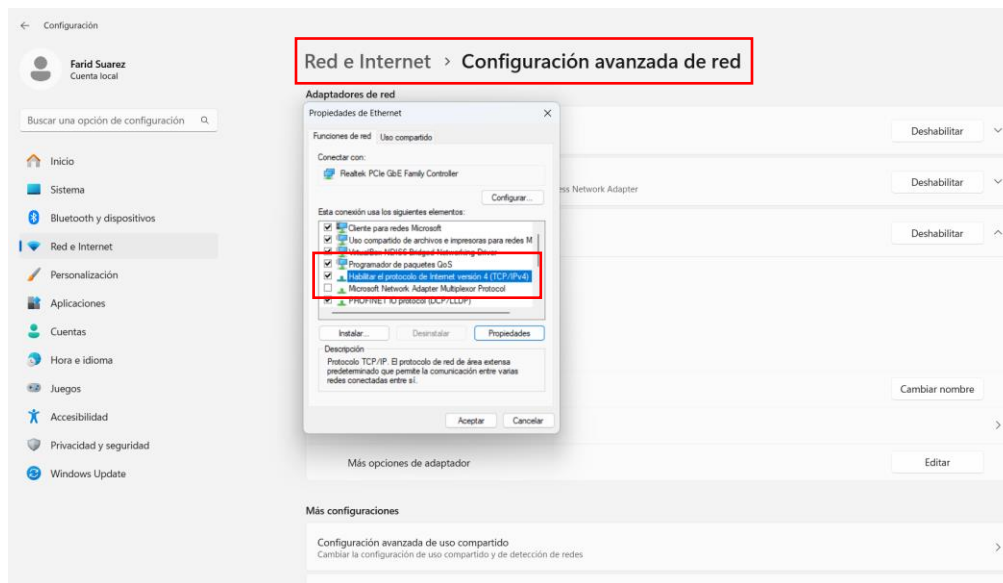


Figura 21. Configuración avanzada de red

Tras a haber seleccionado “Habilitar el protocolo de Internet versión 4 (TCP/Pv4)” y dar clic en la opción “Propiedades” se mostró la siguiente ventana (Figura 22) y se procedió a asignar la dirección IP: 192.168.0.254 a nuestro dispositivo de programación y la máscara de subred siguiente: 255.255.255.0.

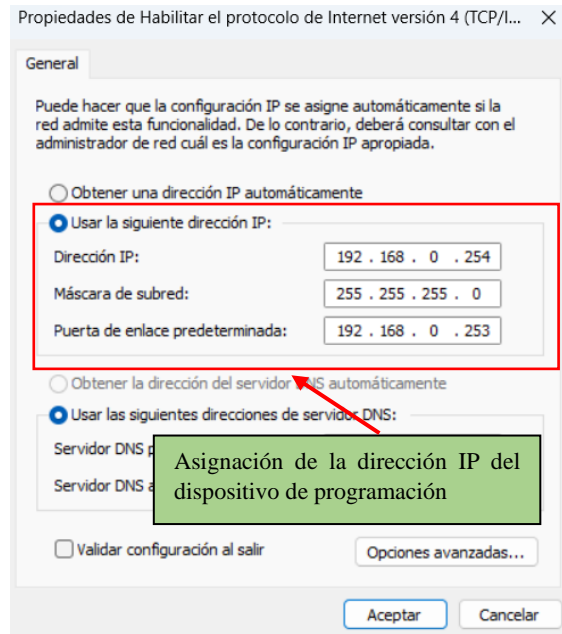


Figura 22. Asignación de dirección IP al dispositivo de programación

Una vez asignada su respectiva dirección IP y máscara de subred a nuestro dispositivo de programación se configuraron los componentes del hardware dentro del TIA Portal, empezando con la CPU como se observa en la Figura 23, donde se evidencian las 4 partes principales de la ventana “Add new device”.

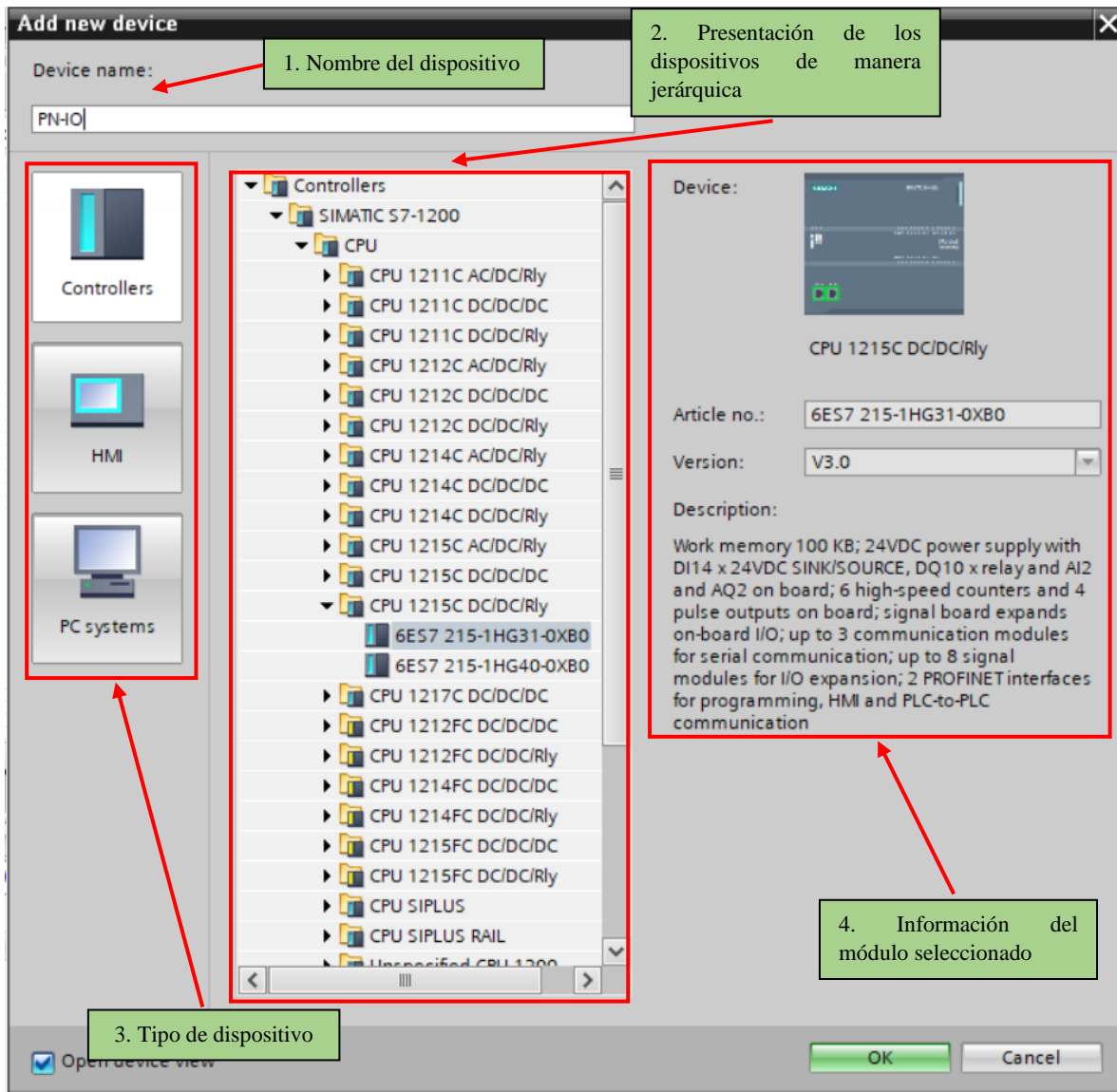


Figura 23. Selección de la CPU 1215C DC/DC/Rly

Luego al seleccionar la CPU, que se representa gráficamente en la “Vista del dispositivo” y hacer doble clic se pudo acceder a su información general que se desplegó en la "Ventana de inspección", como se presenta en la Figura 24, esto con el fin de realizar sus respectivas modificaciones de la dirección IP, nombre y máscara de subred.

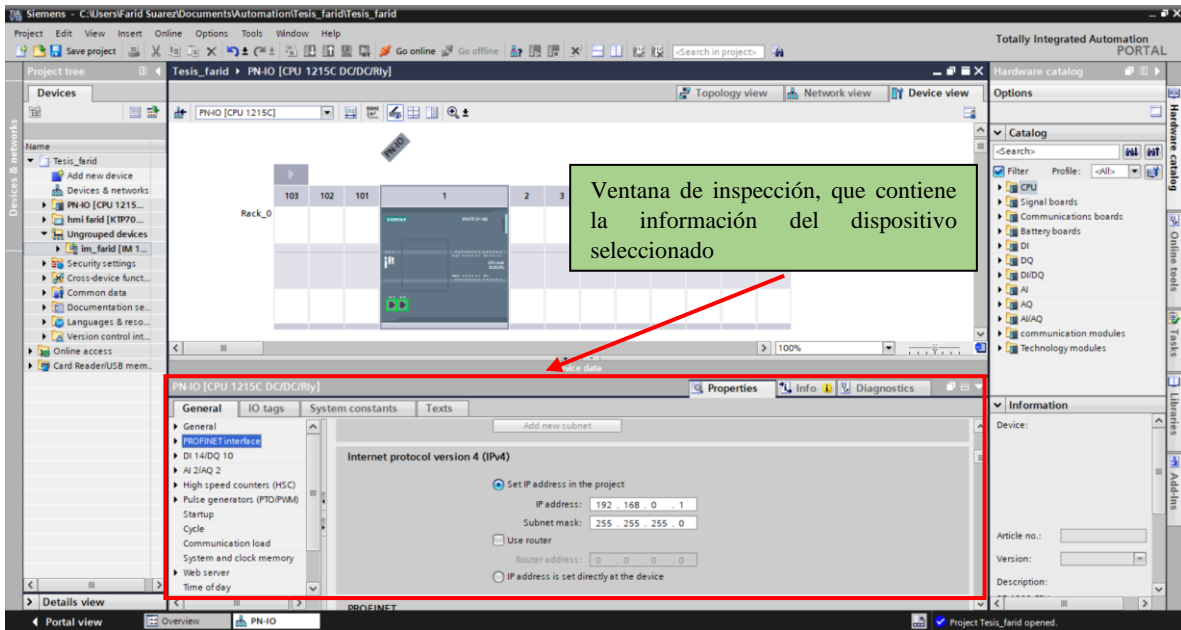


Figura 24. Vista de la información general de la CPU 1215 DC/DC/Rly

A continuación, desde la ventana “Vista de red” se seleccionó la IM con ayuda del “Catalogo del hardware” y le asignamos el nombre de IM\_FARID y su respectiva dirección IP como se presenta en la Figura 25. Seguidamente insertamos sus respectivas tarjetas de entradas y salidas digitales tal como se muestra en la Figura 26.

Hay que tomar en cuenta que la tarjeta de entrada (DI16 x 24VDC ST, versión 1.0) y la tarjeta de salida (DQ16 x 24VDC / 0.5A ST, versión 1.0), fueron instaladas en una Baseunit clara, esto implica que se debe activar su grupo potencial dentro de su configuración. Para llevar a cabo este procedimiento, seleccionamos las tarjetas y realizamos doble clic en cada una de ellas. Esto nos permitió acceder a su información general, la cual se desplegó en la "Ventana de inspección". A continuación, seleccionamos la pestaña "Potential group" y marcamos la opción "Enable new potential group (Unitbase light)" para ambas tarjetas, como se muestra en la Figura 26.

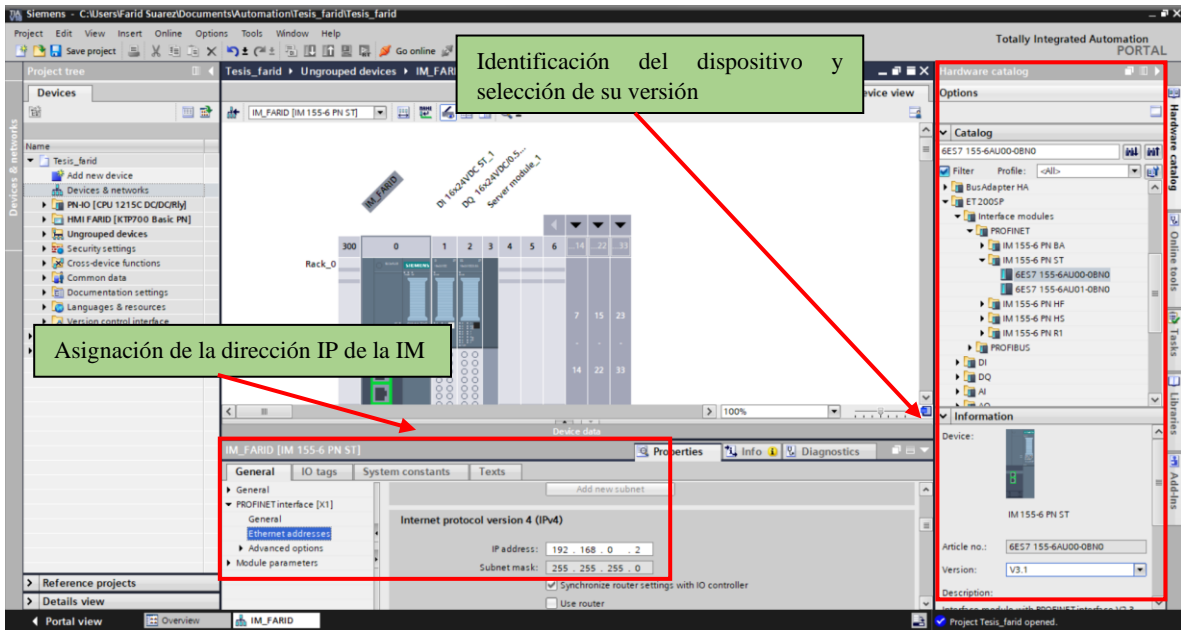


Figura 25. Selección de IM y tarjetas de E/S digitales

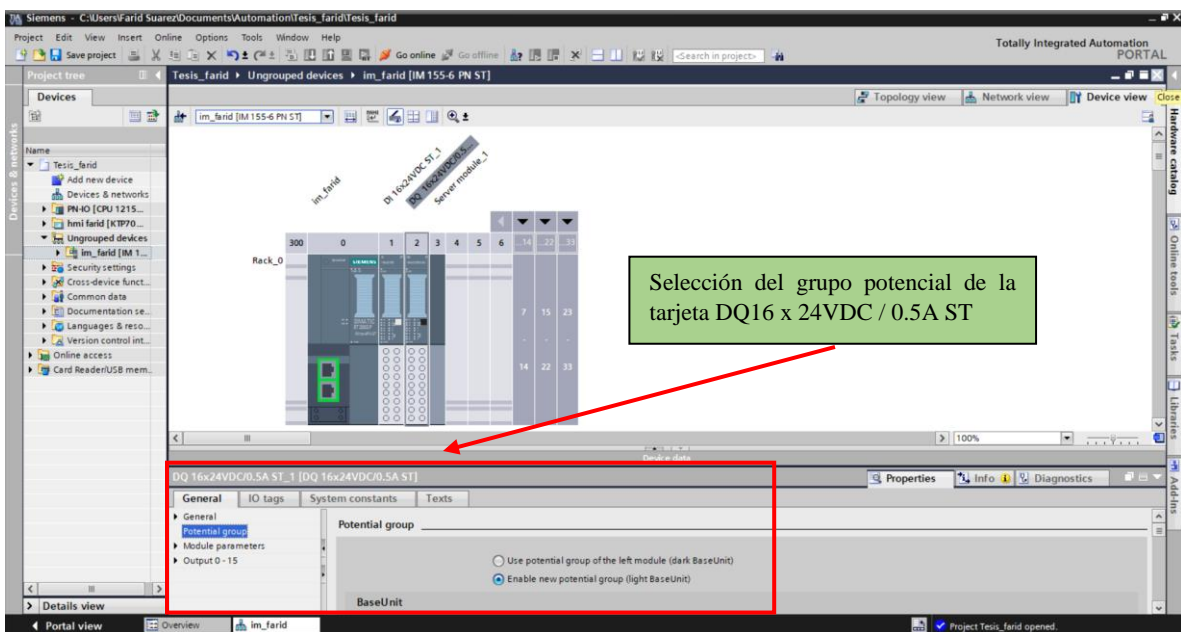


Figura 26. Selección del grupo potencial de las tarjetas digitales

De la misma manera para agregar el HMI nos dirigimos a la pestaña “Add new device” como se puede observar en la Figura 27.

Para asignar la dirección IP se hicieron los mismos pasos que para la CPU y la IM.

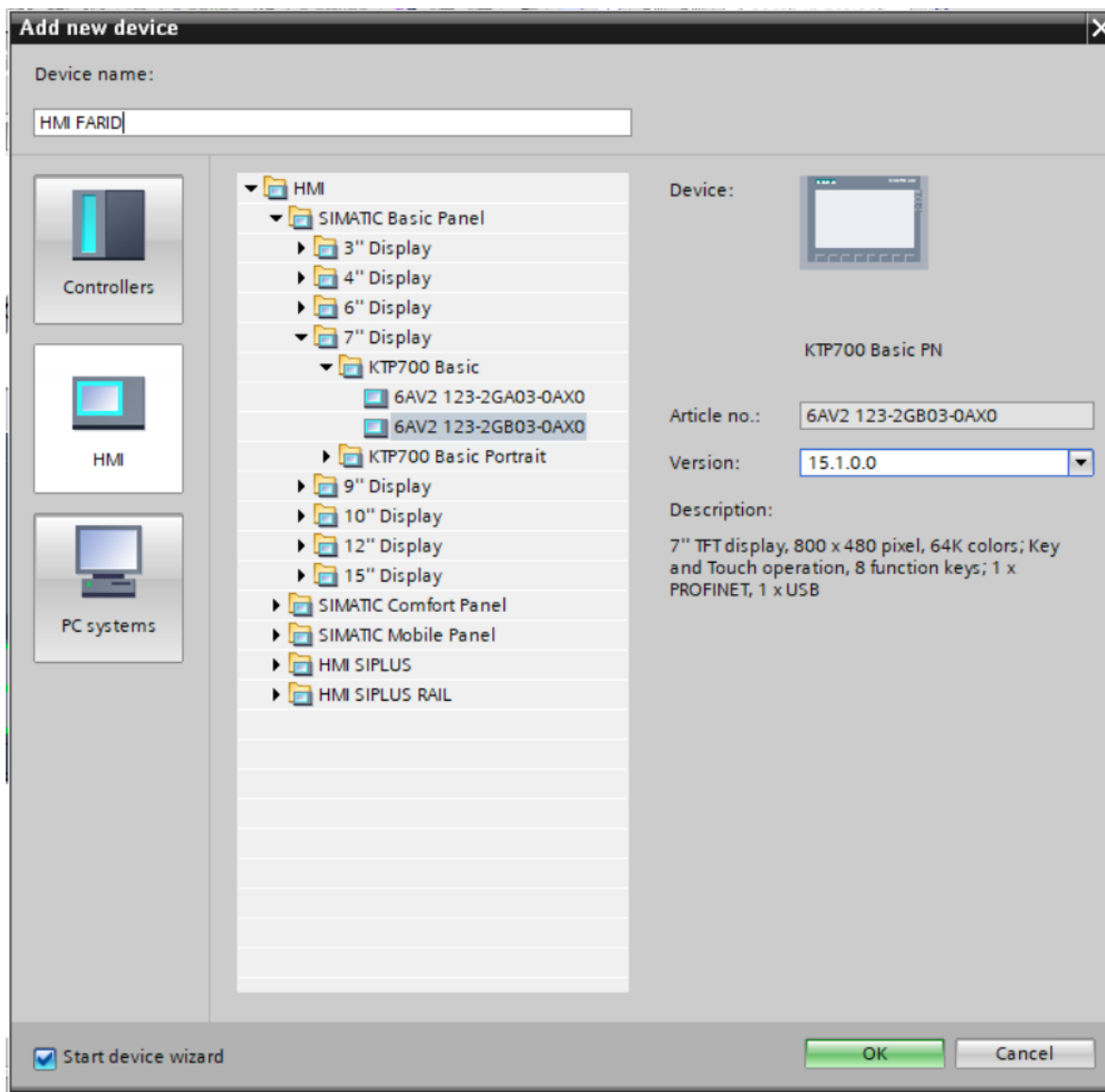


Figura 27. Selección del HMI KTP700 Basic PN

Una vez añadido el HMI, se estableció comunicación con la CPU, como se muestra en la Figura 28.

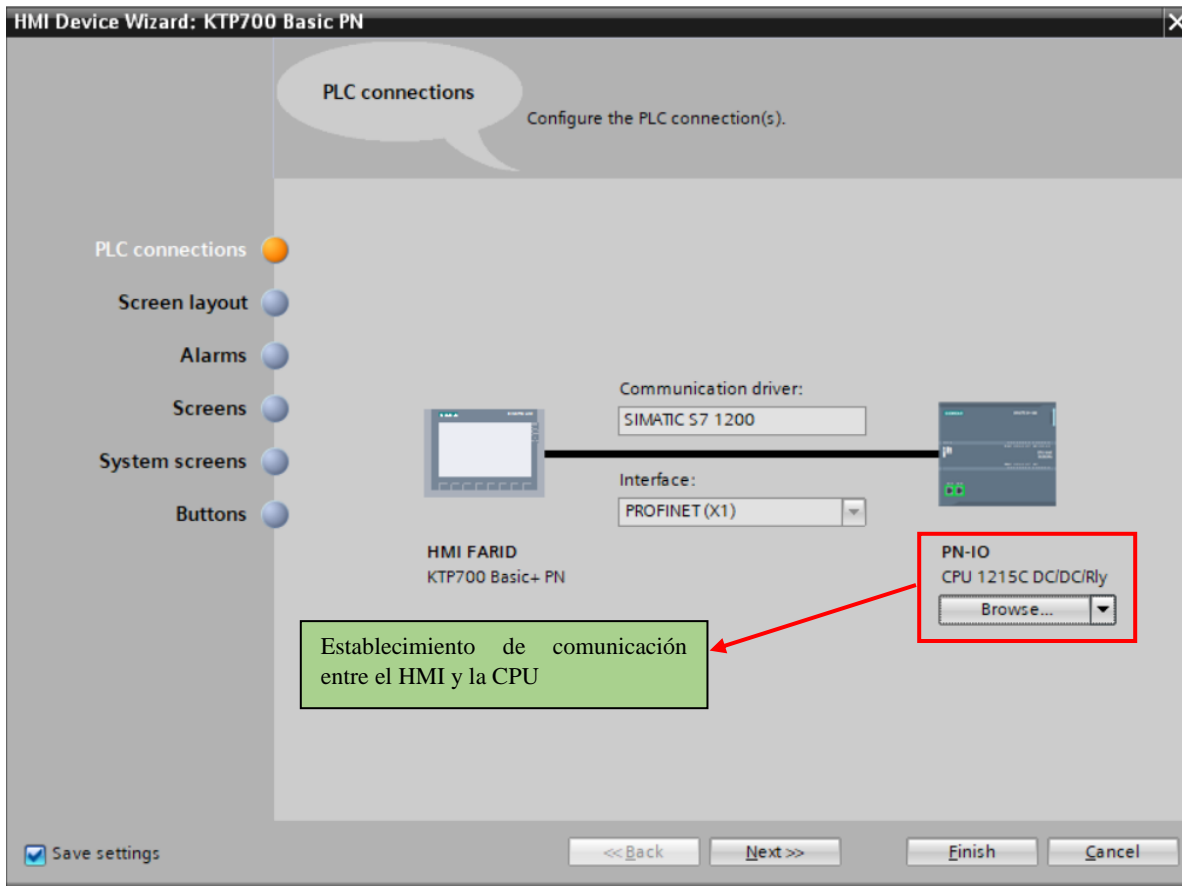


Figura 28. Establecimiento de comunicación entre HMI y la CPU

Una vez incorporadas la CPU, IM y HMI con sus respectivos nombres y direcciones IP, en la ventana "Vista de red" se llevó a cabo la comunicación entre la IM y la CPU, tal como se muestra en la Figura 29.

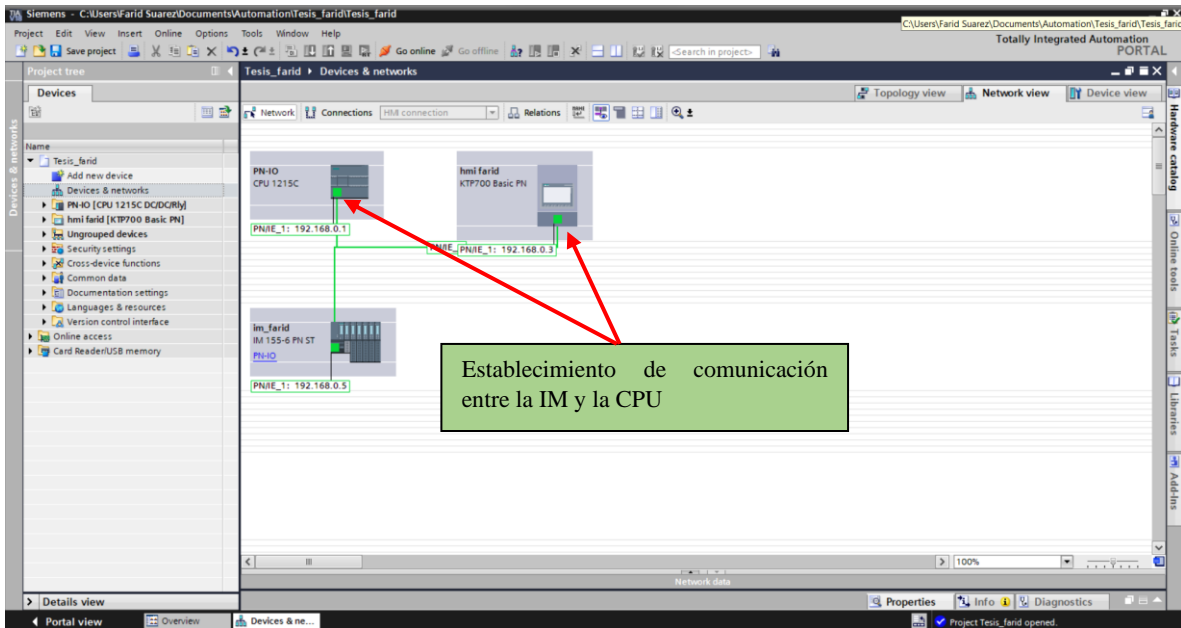


Figura 29. Establecimiento de comunicación entre la IM y la CPU

Después de haber configurado el hardware dentro del TIA Portal, se procedió a modificar el nombre, la dirección IP y la máscara de subred en los dispositivos físicos. Para este proceso, se utilizó la herramienta PRONETA de Siemens, como se puede observar en la Figura 30. Este software permite la gestión eficiente y rápida de la nomenclatura y configuración de las direcciones IP de los dispositivos

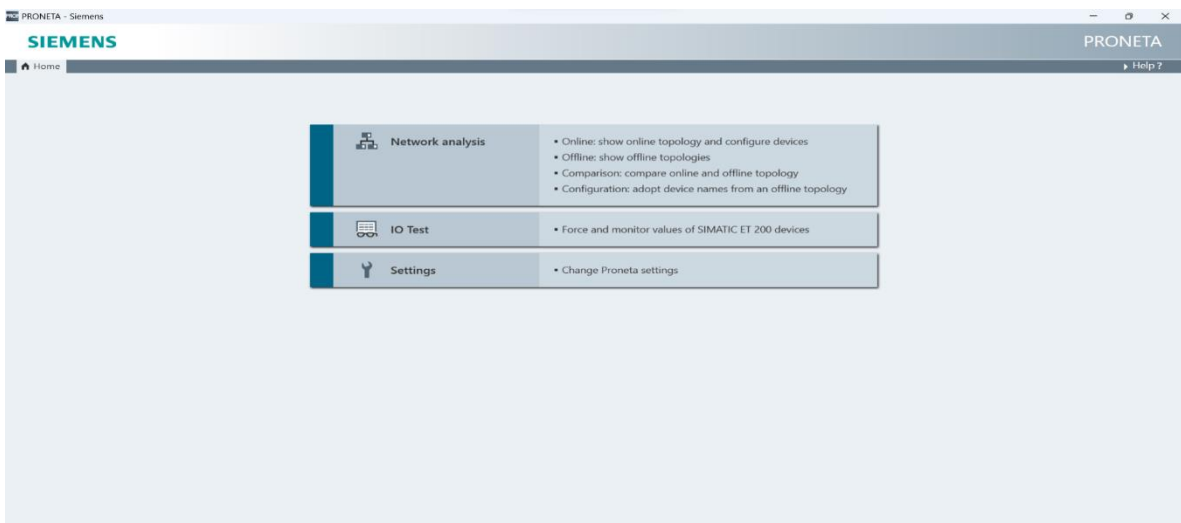


Figura 30. Vista de inicio del software PRONETA

El primer paso fue seleccionar la opción "Network analysis", posteriormente se realizó un escaneo para acceder a los dispositivos que conforman nuestra red PROFINET, tal como se puede apreciar en la Figura 31, donde se brinda una visión de los dispositivos presentes en la red, permitiendo identificar y gestionar eficientemente cada componente.

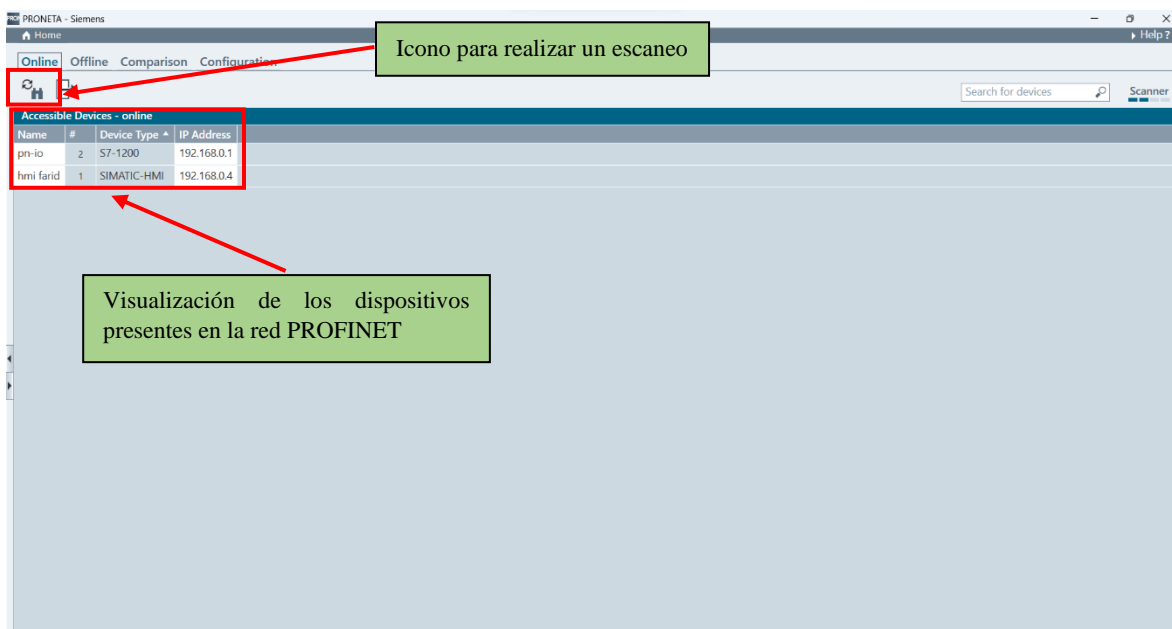


Figura 31. Visualización de los dispositivos conectados

Después de completar el escaneo, se eligió el dispositivo a configurar y, mediante un clic derecho, y se seleccionó la opción "Reset network parameters" para reiniciar el dispositivo a sus valores de fábrica. Posteriormente, se configuró el nombre y la dirección IP al seleccionar la opción "Set network parameters" como se muestra en la Figura 32, donde se asigna el nombre PN-IO y la dirección IP 192.168.0.1 a la CPU 1215C.

El mismo procedimiento se llevó a cabo para la IM.

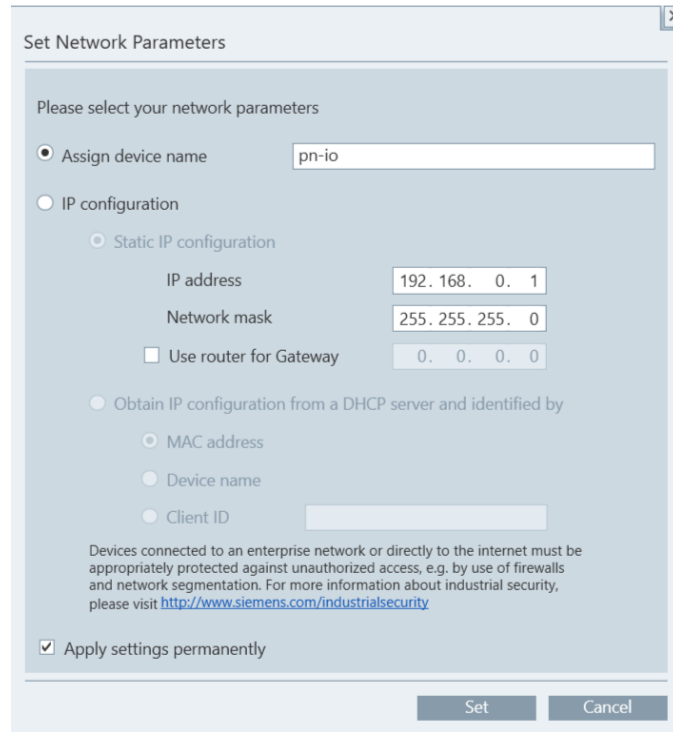
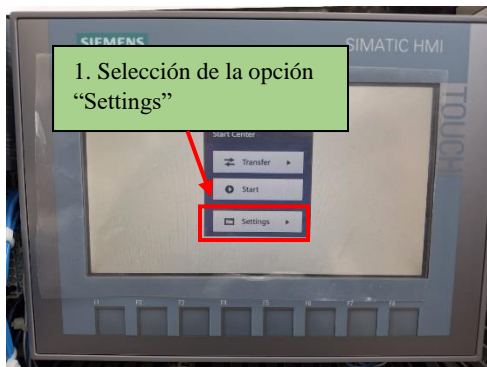
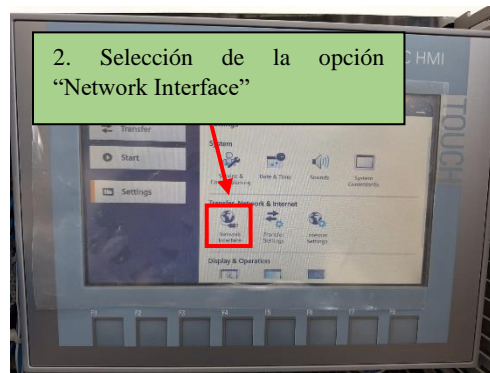


Figura 32. Configuración de los parámetros de la CPU 1215C

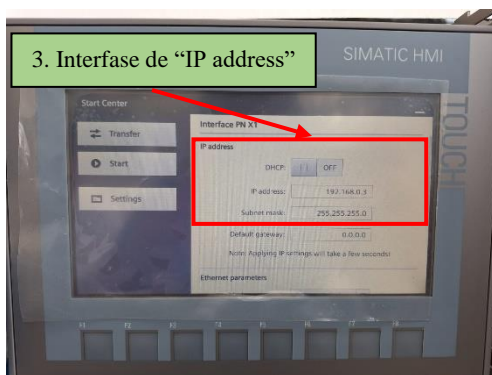
En el caso de la configuración del HMI, se ingresó directamente al panel y se seleccionó la opción "Settings" visible al inicio de la pantalla (Figura 33a). Posteriormente, se eligió la opción "Network Interface" (Figura 33b), la cual despliega la opción "IP address" (Figura 33c) donde fue posible asignar la dirección IP deseada. Al hacer doble clic en esta opción, se pudo asignar la dirección IP 192.168.0.13 al HMI (Figura 33d). Al descender en la pantalla, se encontró la Figura 33e, donde se muestra la opción para asignar el nombre al HMI (HMI FARID).



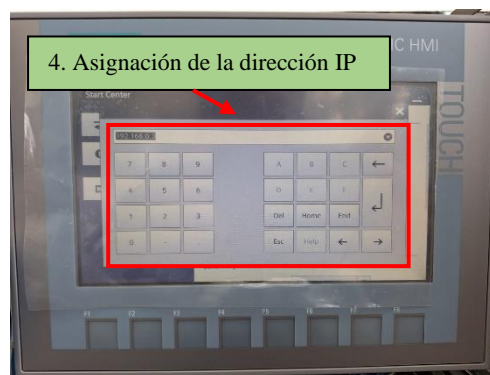
a)



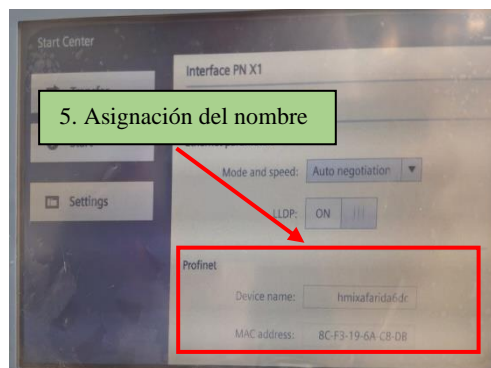
b)



c)



d)



e)

Figura 33. Pasos para asignar la dirección IP y nombre al HMI

Una vez configurado el hardware del proyecto correctamente se guardó, compiló y descargó el proyecto. En la Figura 34 se verifica que el hardware ha sido compilado correctamente.

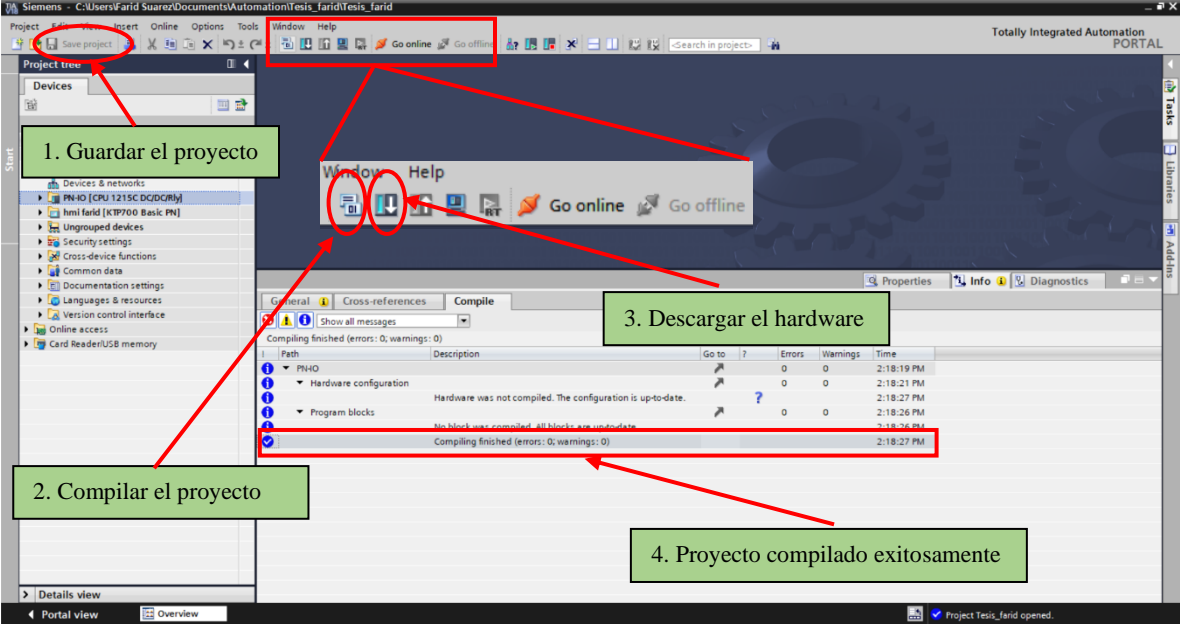


Figura 34. CPU compilada correctamente

Mientras que en la Figura 35 se observa que el hardware ha sido descargado correctamente y está listo para programarse.

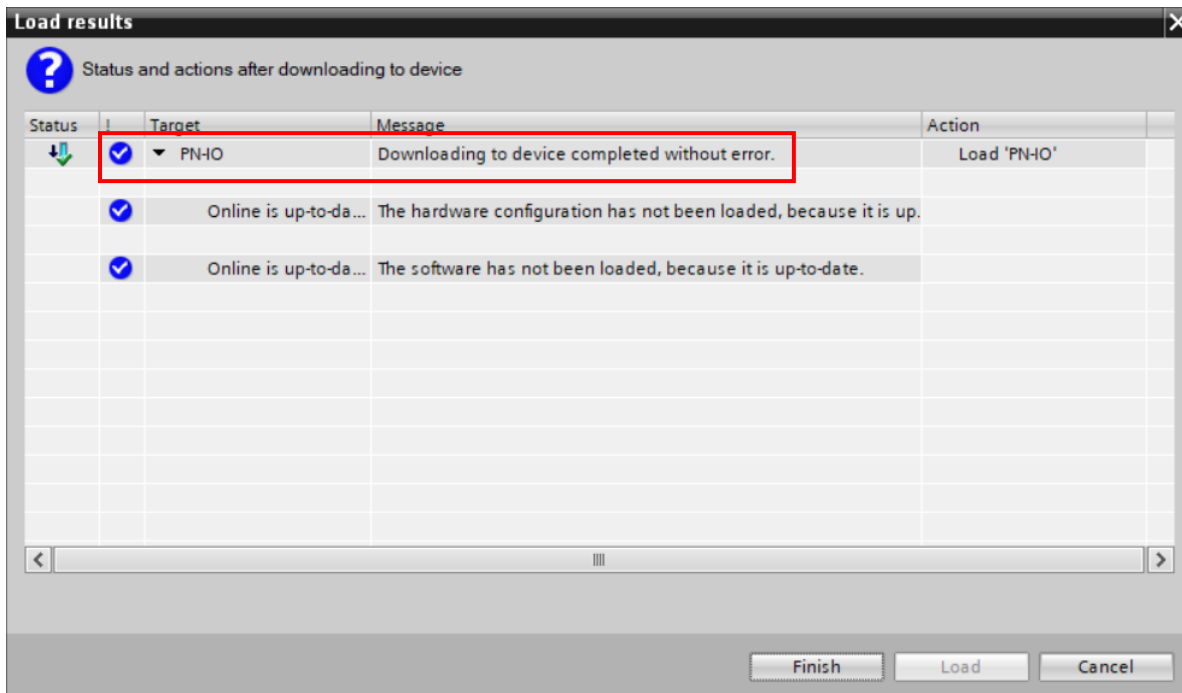


Figura 35. Descarga de la CPU

El mismo procedimiento que se realizó en la Figura 34 y 35 se utilizó para el HMI, con la diferencia que esta vez se seleccionó la pestaña “HMI FARID”.

Después de descargar el proyecto, se llevó a cabo un diagnóstico en línea (Go online) para observar el estado de la CPU. Este paso nos permitió verificar el rendimiento y la salud operativa de la CPU, identificando cualquier anomalía o problema potencial.

En la Figura 36 se puede observar que el estado de la CPU es el óptimo.

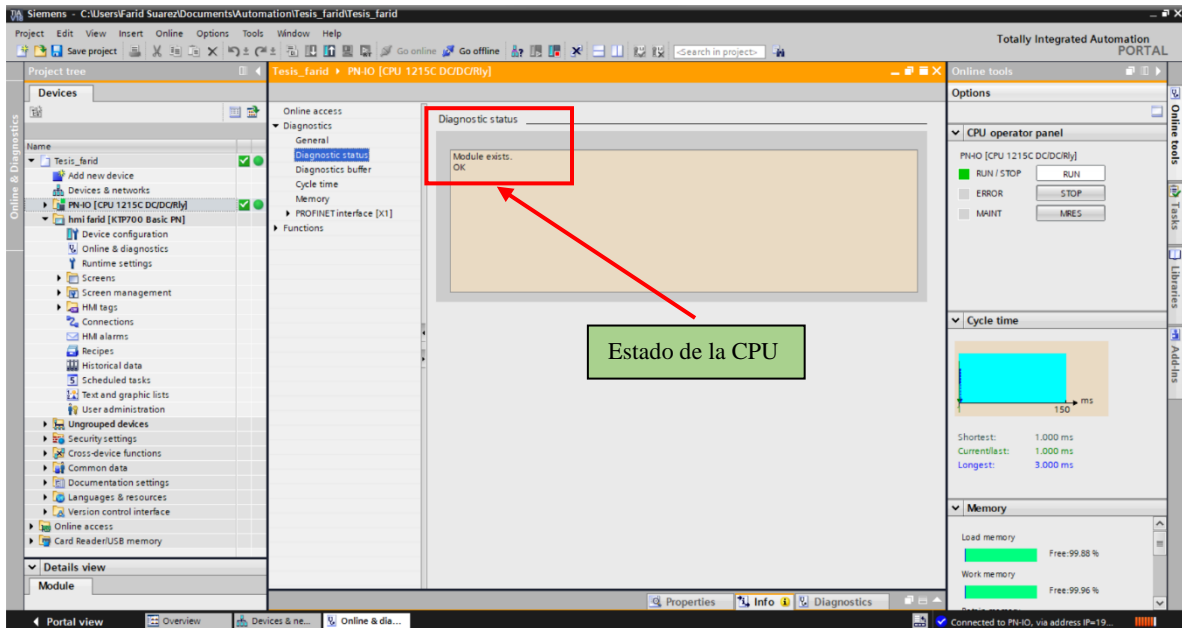


Figura 36. Estado de la CPU

El mismo procedimiento se que visualiza en la Figura 36 se realizó para el HMI, con la excepción de que esta vez se seleccionó la pestaña HMI FARID”.

### 8.3 Resultado del objetivo específico 3

Para poder interactuar con STEP 7 y el lenguaje de programación KOP, se programó la simulación de un semáforo, directamente en el OB principal como se puede observar en la Figura 37, donde se destacan los contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados, las marcas internas, los temporizadores, un flanco negativo y las bobinas para poder programar el semáforo.

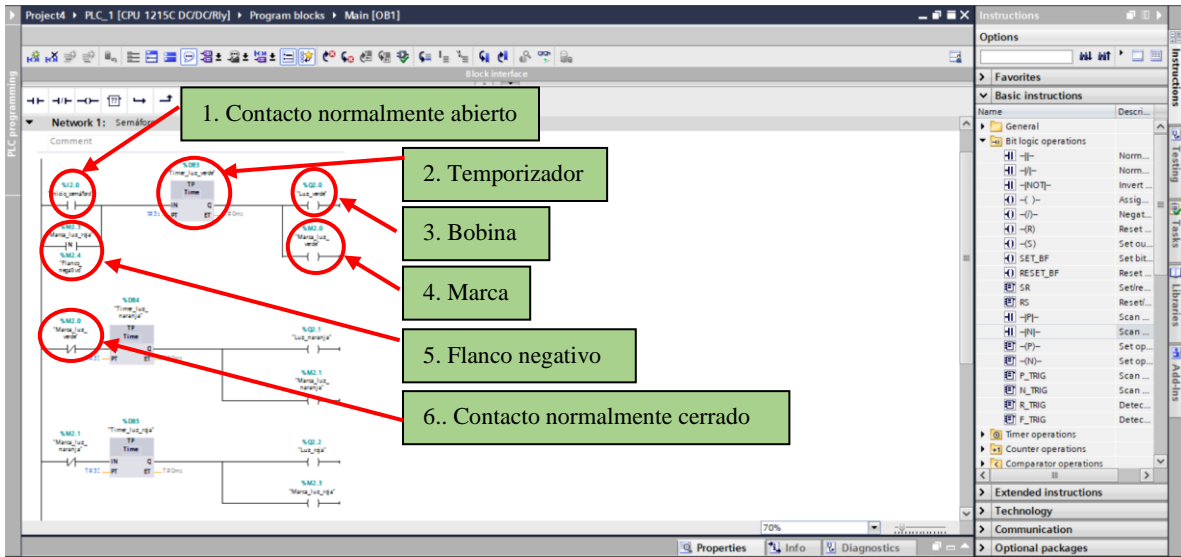


Figura 37. Programación de un semáforo

Una vez familiarizado con la programación a través de KOP se desarrolló una programación modular para nuestro sistema de control propuesto, como se puede apreciar en la Figura 38. Esto significa que se crearon bloques lógicos de programación y se llamaron en el OB1 (Main) al arrástralo desde el “Árbol del proyecto” hacia un segmento del OB1.

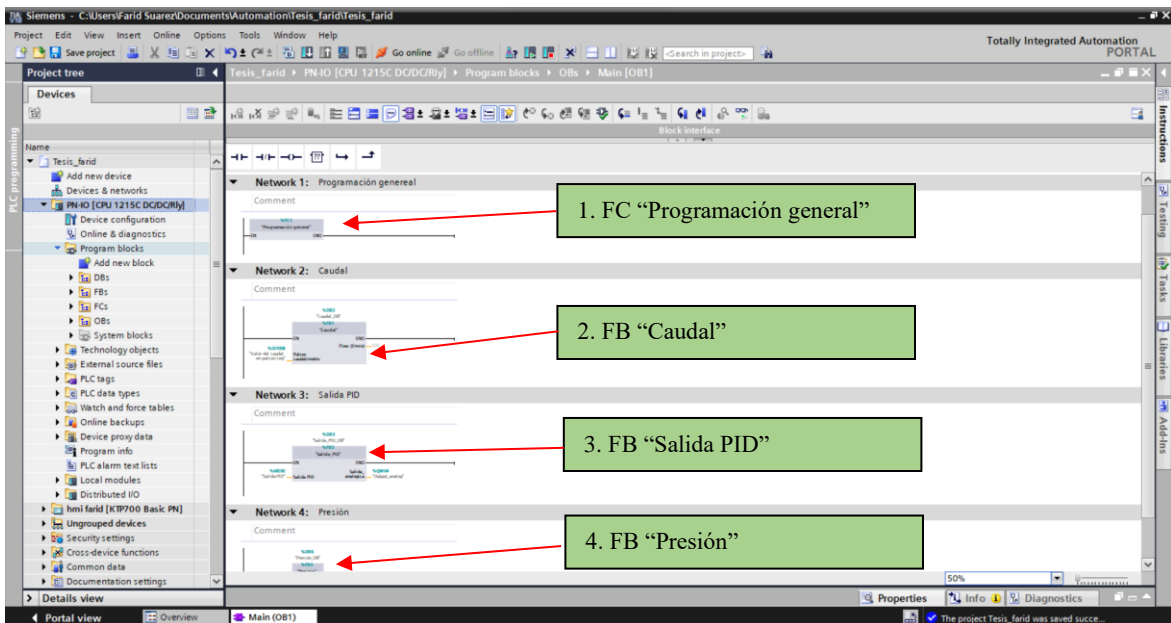


Figura 38. Programación modular

Los tipos de datos utilizados en el proyecto se pueden visualizar en la Figura 39, donde se destaca, el nombre de la variable, su tipo de dato y su dirección.

	Name	Tag...	Data type	Address
1	Activar modo manual	Def...	Bool	%M0.0
2	Activar modo automático	Def...	Bool	%M0.1
3	Activar bomba presurizadora	Def...	Bool	%M0.2
4	Desactivar valvula solenoide	Def...	Bool	%M0.3
5	Bomba	Def...	Bool	%Q3.1
6	Válvula_solenoide	Def...	Bool	%Q3.7
7	Valor del caudal en pulsos/seg	Def...	Dint	%ID1008
8	Output_analog	Def...	Int	%QW64
9	Salida-PID	Def...	Real	%MD30
10	Entrada escalada PID	Def...	Real	%MD35
11	Input_analog	Def...	Int	%IW64

Figura 39. Tipos de datos utilizados en el proyecto

Dado que nuestro sistema incluye dos dispositivos que son controlados mediante señales analógicas, uno de entrada y otro de salida (sensor de presión y válvula proporcional, respectivamente), se procedió a normalizar y escalar sus señales para poder utilizar eficientemente estos dispositivos dentro de nuestra programación. Esto se ilustra en las Figuras 40 y 41, donde se visualiza el proceso de normalización y escalamiento de las señales analógicas.

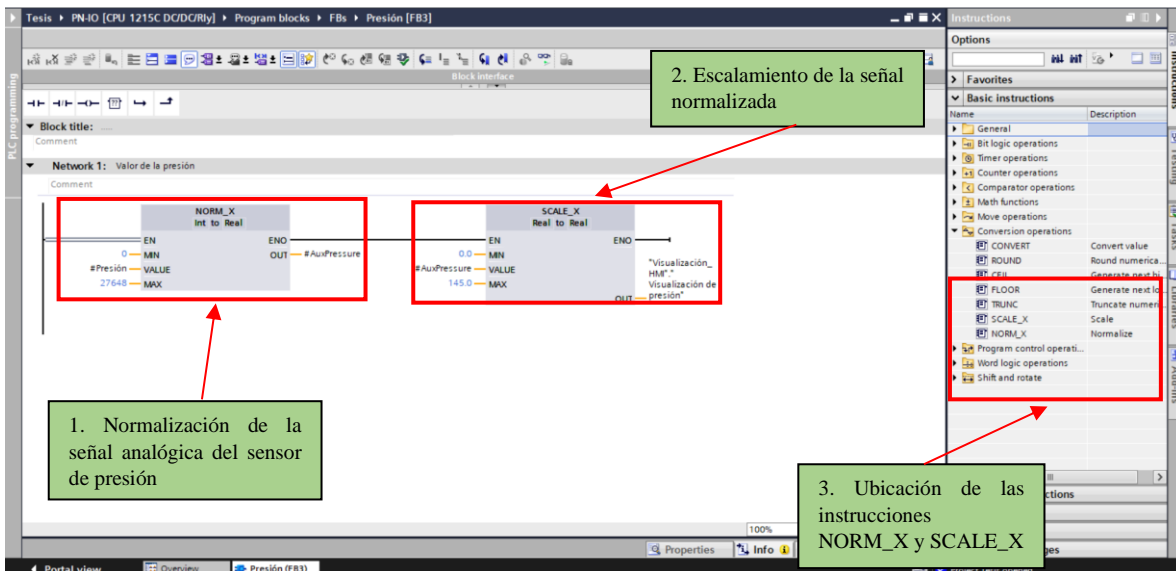


Figura 40. Normalización y escalamiento de la presión

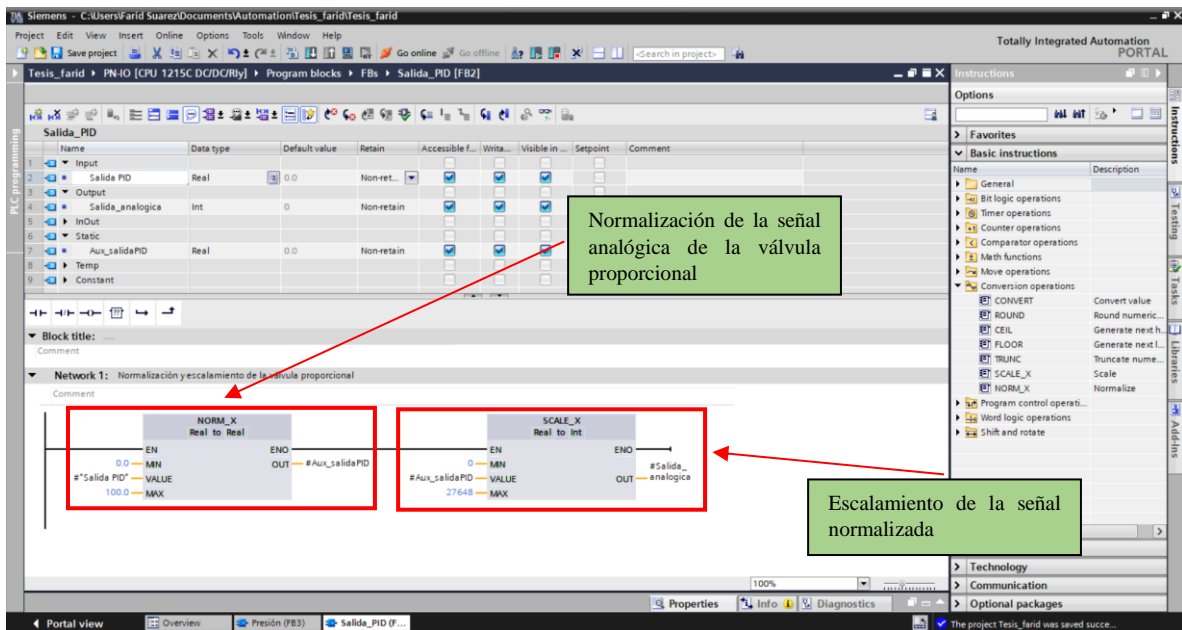


Figura 41. Normalización y escalamiento de la válvula proporcional

La programación de HSC para poder obtener el caudal se presenta en la Figura 42. Previo a esto se habilitó el HSC\_3 como se evidencia en la Figura 43, y se ajustó el tiempo de filtrado a 0.8 microsegundos, tal como se muestra en la Figura 45.

Es importante señalar que se realizó el ajuste únicamente en el canal I0.4-I0.7, debido a que según se observa en la Figura 44, la dirección del HSC\_3 habilitada es la entrada digital I0.4.

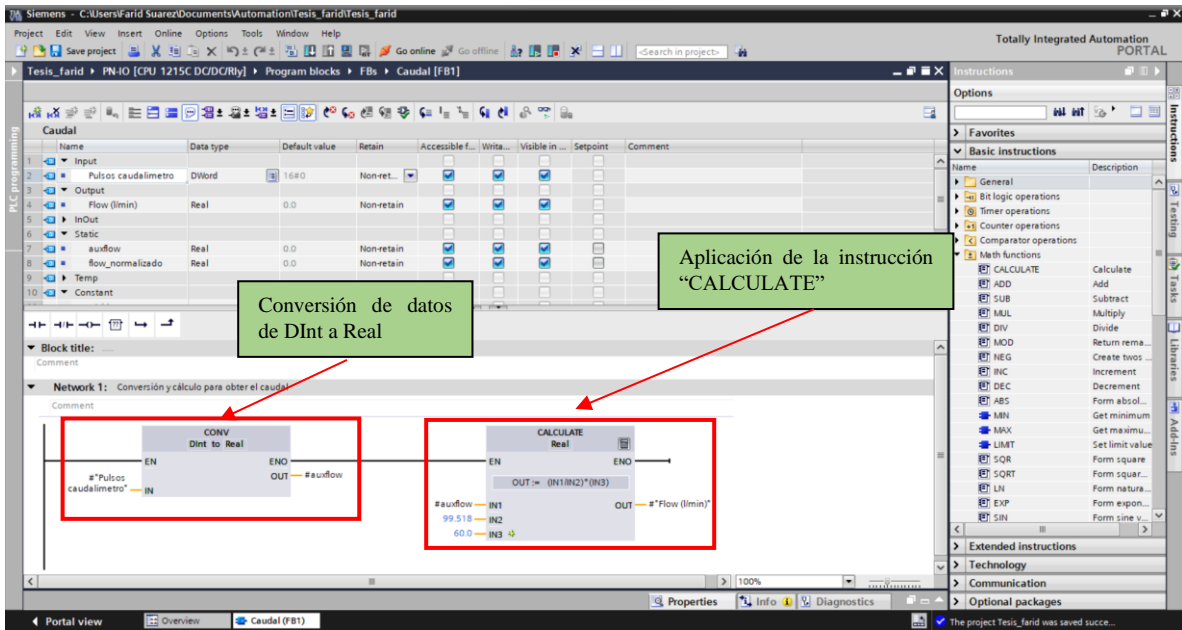


Figura 42. Programación para el caudal

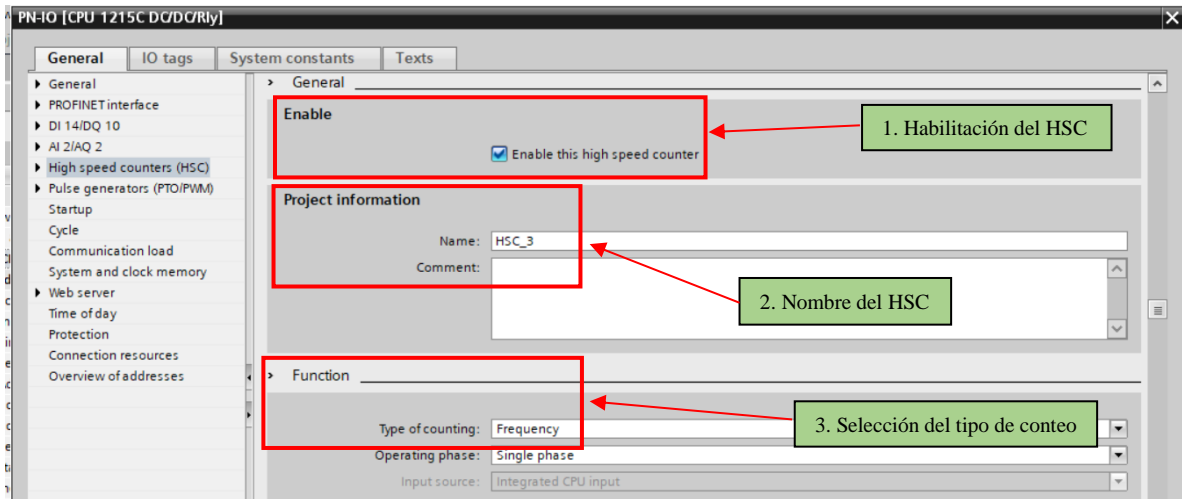


Figura 43. Habilitación del HSC

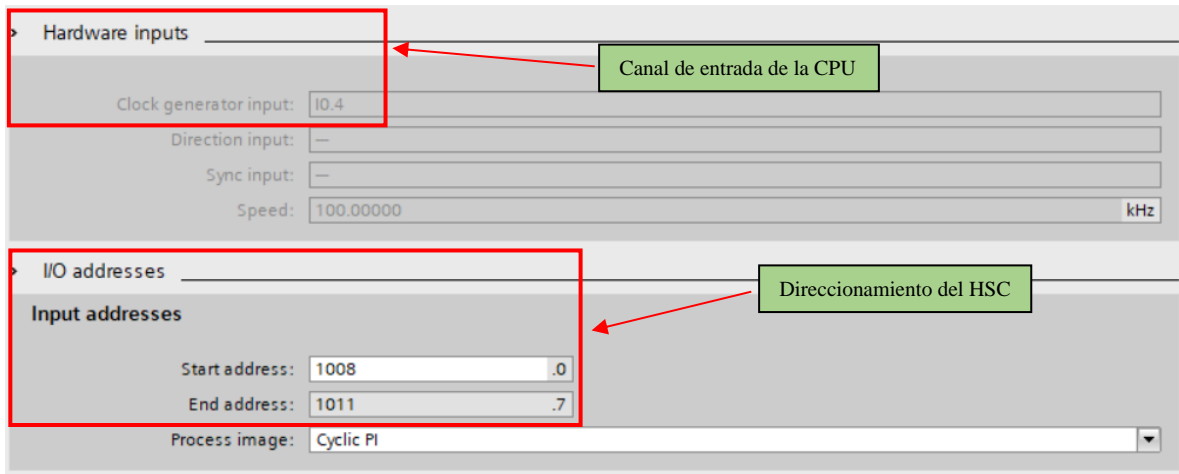


Figura 44. Direccionamiento del HSC

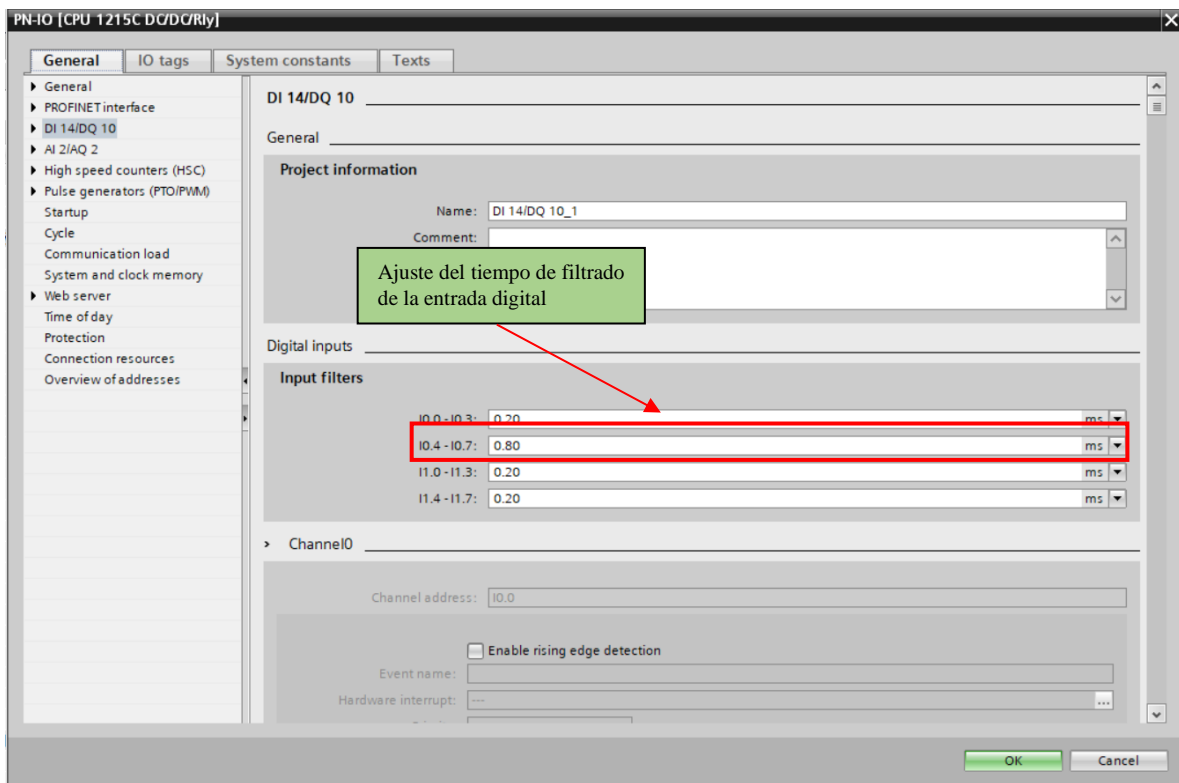


Figura 45. Configuración del tiempo de filtrado

Una vez procesada las señales analógicas de nuestro sistema se creó un DB global denominado “Visualización\_HMI” como se puede visualizar en la Figura 47, para poder gestionar mejor las variables utilizadas en la programación del sistema de control propuesto a través de un HMI se optimizó el DB como se observa en la Figura 46.

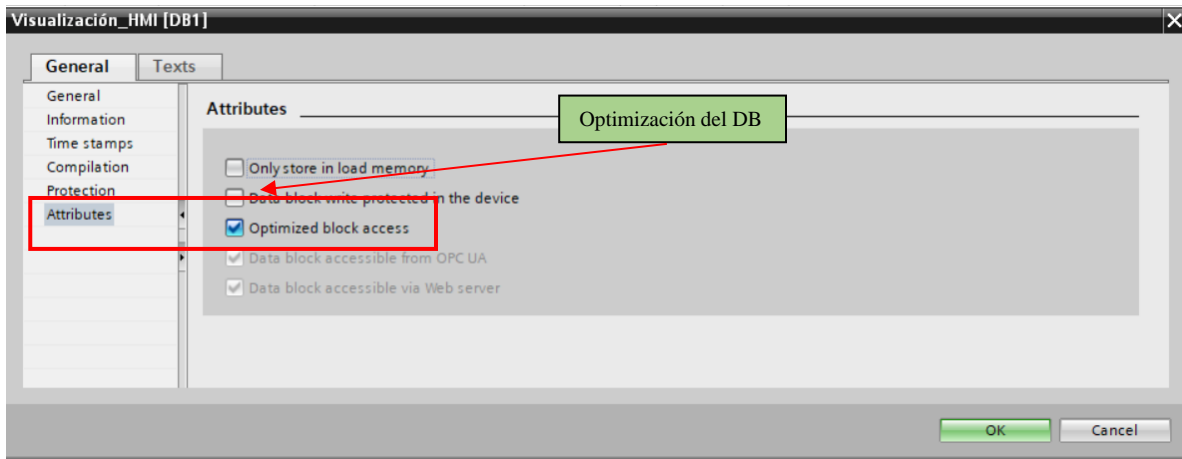


Figura 46. Optimización del DB

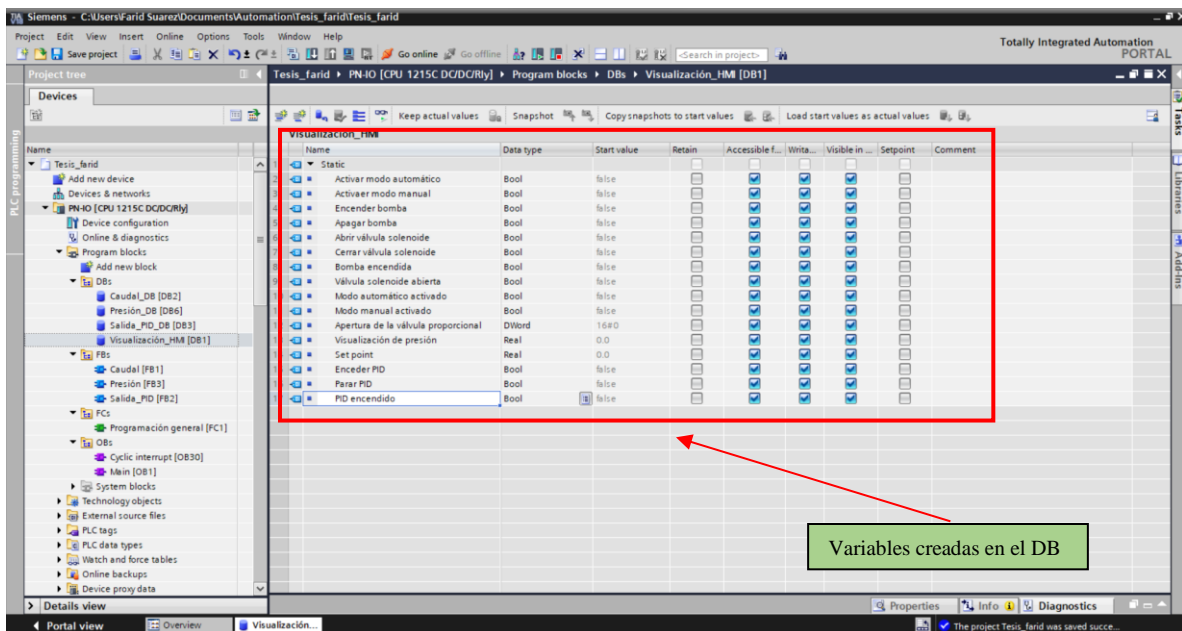


Figura 47. Creación de un DB global

Las pantallas en el HMI fueron diseñadas para mejorar la gestión del sistema de control. La Figura 48 corresponde a la portada, donde se presentan las herramientas necesarias para su configuración.

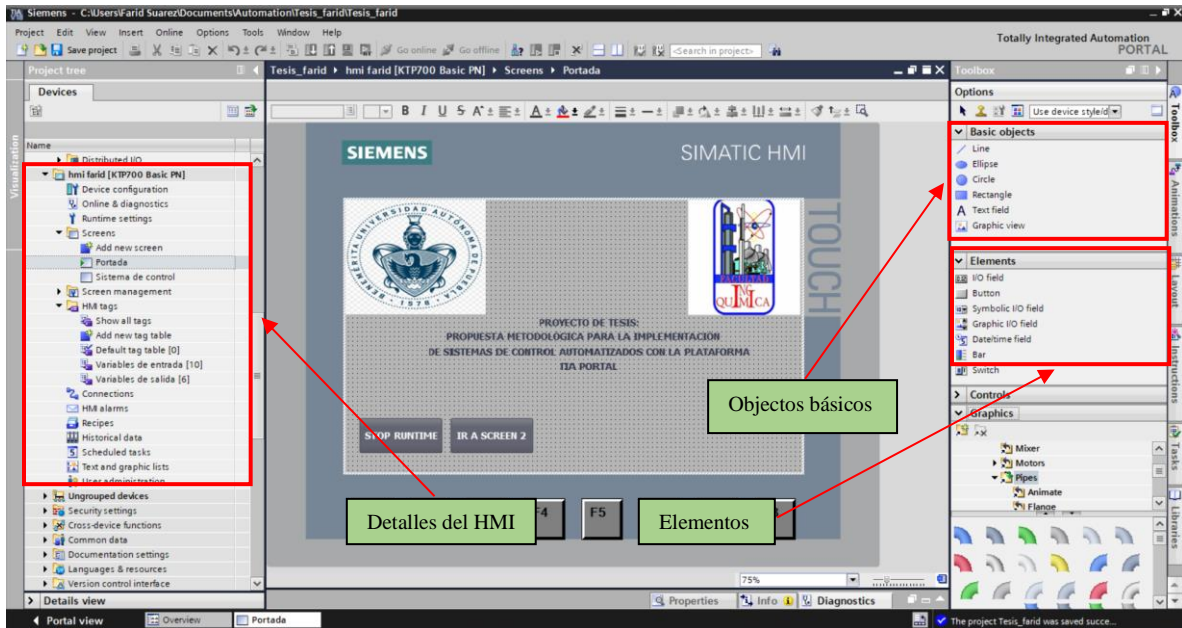


Figura 48. Diseño de la pantalla de la portada del HMI

La Figura 49 representa el sistema de control propuesto, donde es posible visualizar las pestañas “Graficos” que se aplicaron para la creación de la pantalla denominada “Sistema de control”.

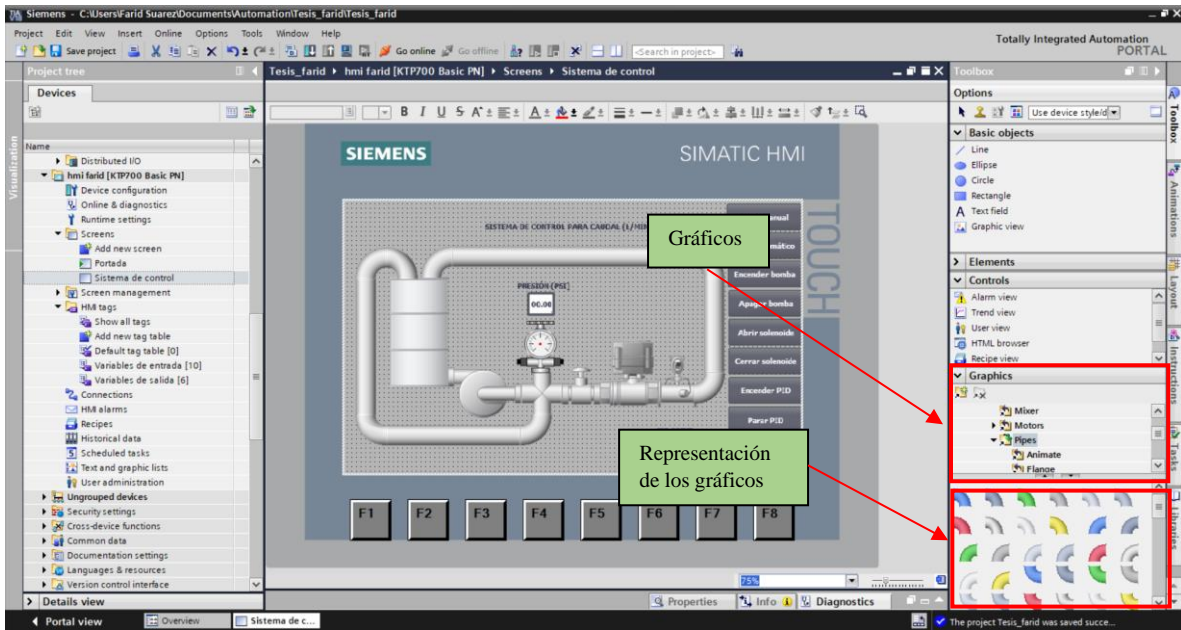


Figura 49. Diseño de la pantalla del sistema de control del HMI

En las Figuras 50 y 51, respectivamente, se presentan las variables de entrada y salida que se emplearon para enlazar al PLC y llevar a cabo la programación del sistema de control.

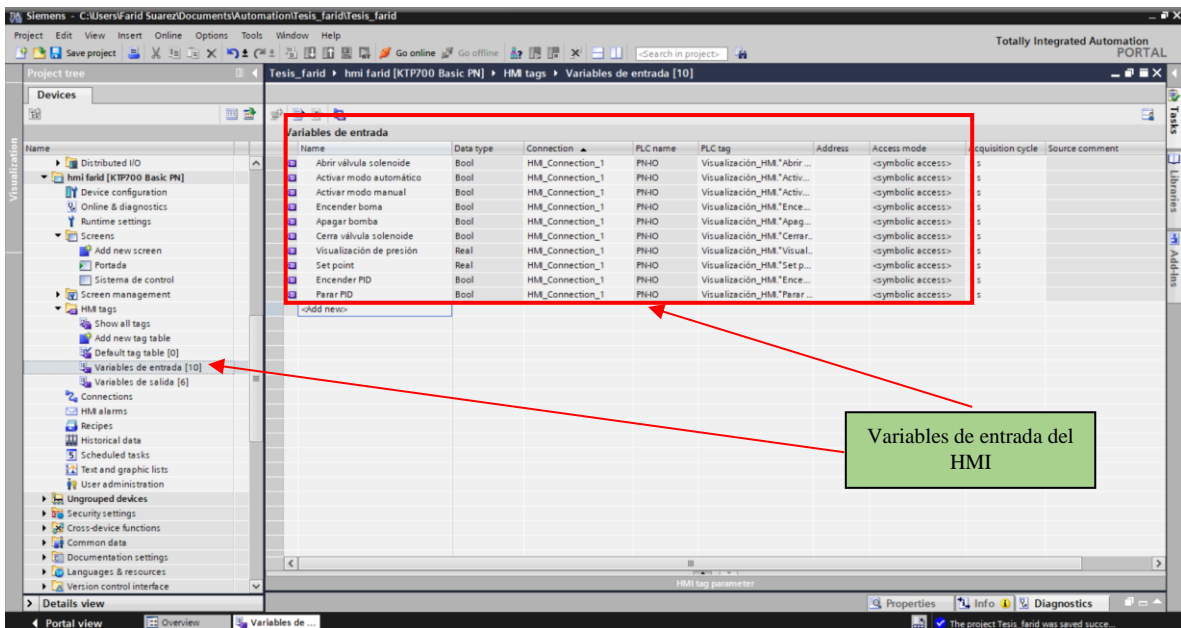


Figura 50. Vista de las variables de entrada del HMI

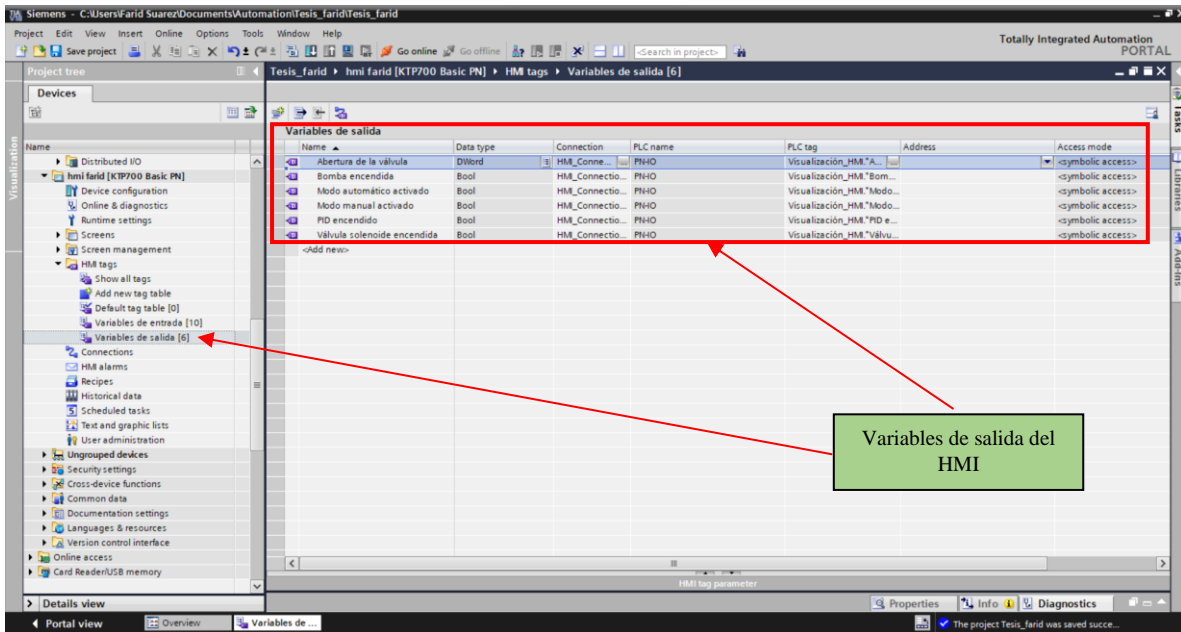


Figura 51. Vista de las variables de salida del HMI

En la Figura 52 se puede observar la configuración de botón “Modo manual” del HMI, junto con su función y evento correspondiente, así como la variable asociada a la programación.

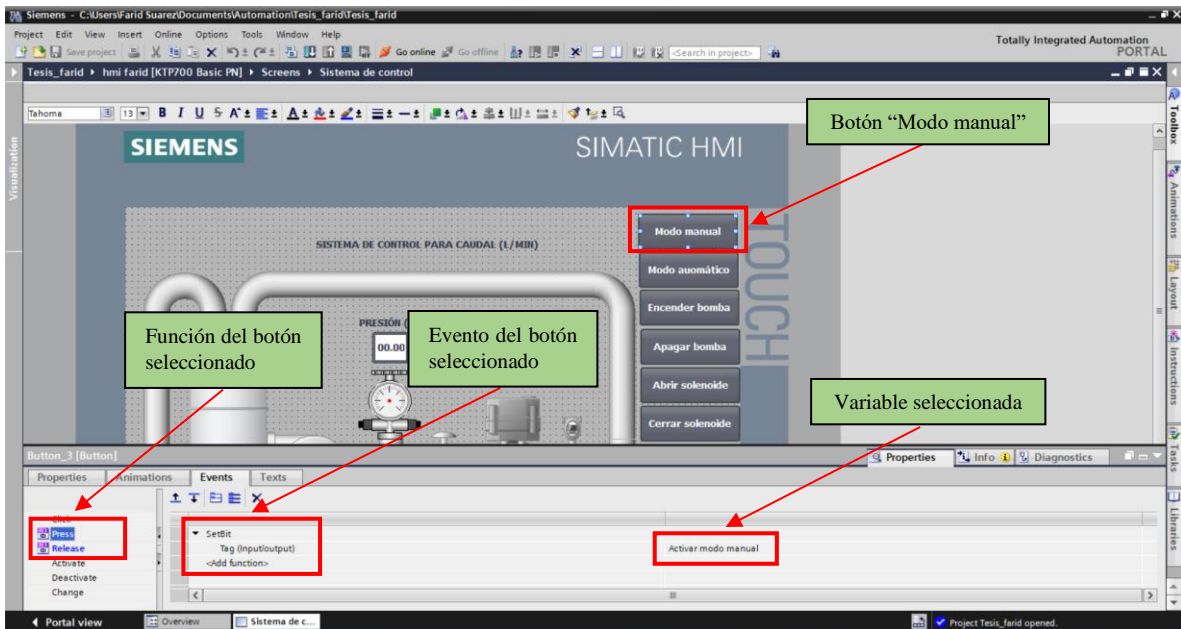


Figura 52. Configuración de un botón del HMI

Tras crear las pantallas del HMI se implementó la instrucción PID\_Compact dentro de un OB de ciclo ininterrumpido (OB 30) como se puede visualizar en la Figura 53. En la entrada

de la instrucción (input), se asignó el valor del caudal obtenido a través del FB denominado "Caudal". Por otro lado, en la salida de la instrucción (output), se asignó el valor de la salida analógica de la válvula proporcional, la cual fue programada en el FB "Salida\_PID".

La configuración del objeto tecnológico de la instrucción PID\_Compact se muestra en el Anexo 3.

Luego, se procedió a guardar, compilar y descargar el proyecto tanto en el HMI como en el PLC. Posteriormente, se asignó un setpoint al sistema y se accedió al objeto tecnológico de la instrucción PID\_Compact para llevar a cabo una auto sintonización, continuando este proceso hasta lograr la sintonización óptima del sistema, como se ilustra observa en la Figura 54.

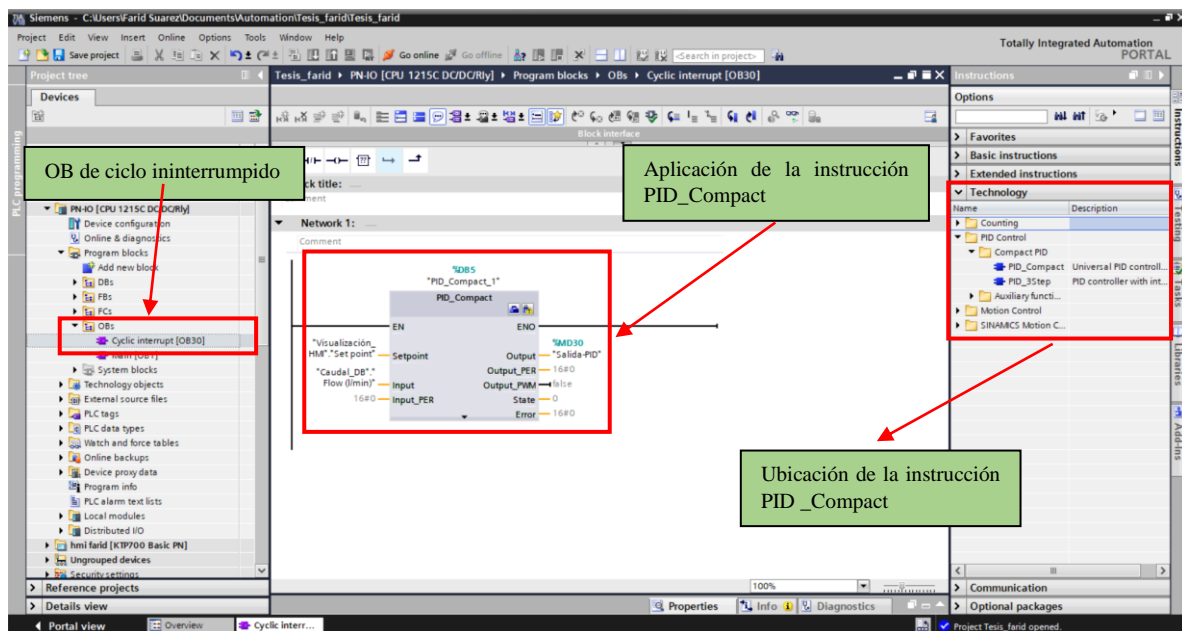


Figura 53. Programación de la instrucción PID\_Compact

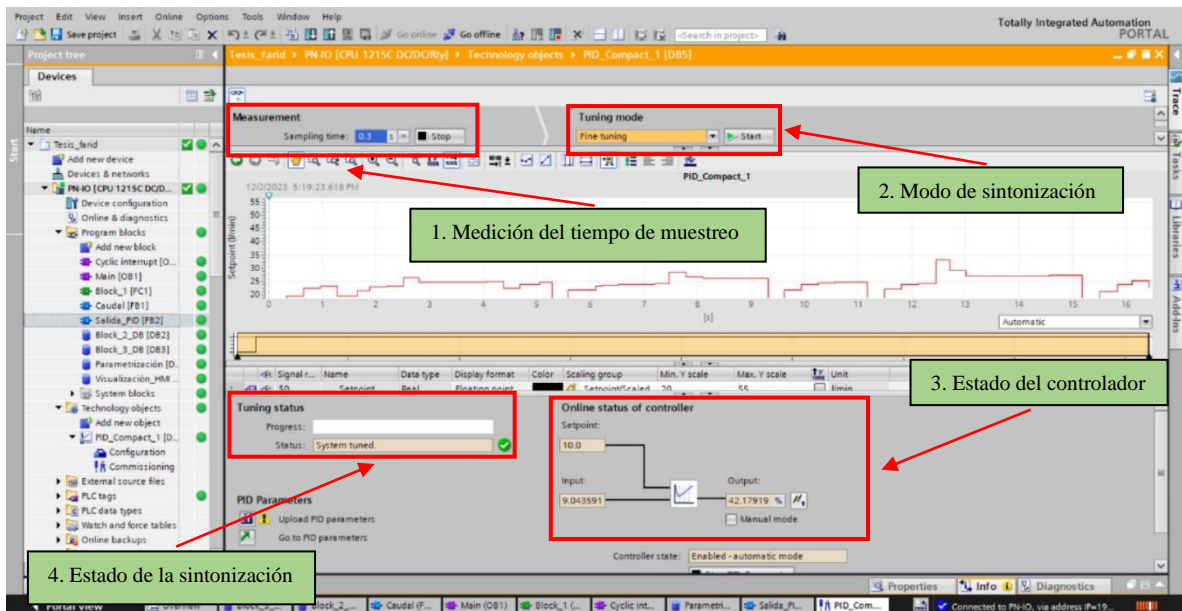


Figura 54. Sintonización del sistema de control

#### 8.4 Resultado del objetivo específico 4

A partir de los resultados obtenidos en el primer cuestionario (Anexo 4) como se muestra en la Figura 55, donde los participantes no poseían los conocimientos sobre la automatización de sistemas de control con la plataforma TIA Portal, y los resultados del cuestionario final (Anexo 5) como se presentan en la Figura 55 después de la implementación de la metodología propuesta, se evidencia una mejora del significativa.

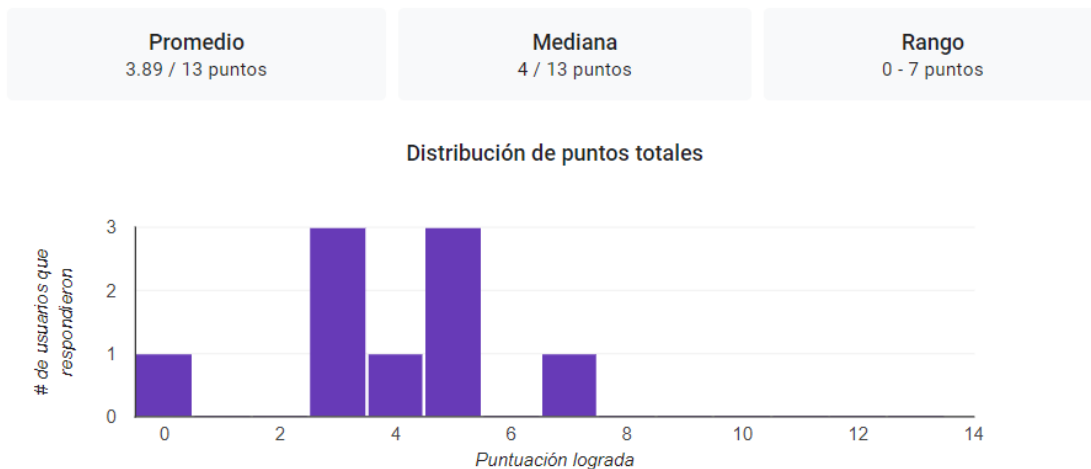


Figura 55. Resultados del primer cuestionario sobre automatización de sistemas de control con la plataforma TIA Portal

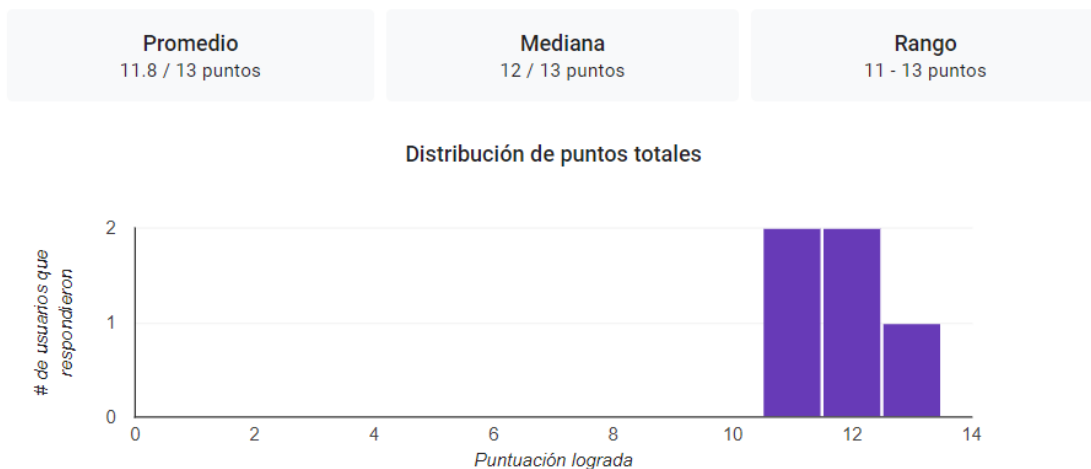


Figura 56. Resultados del cuestionario final después de la implementación de la metodología propuesta

## 9 Conclusiones

En conclusión, ha sido posible identificar y describir con precisión las principales características de la interfase de trabajo y los componentes más importantes de la plataforma TIA Portal. Este proceso nos proporciona una base sólida para continuar el proceso de explorar y utilizar eficazmente esta herramienta en la implementación de sistemas de control

automatizados tanto para el caso de estudio propuesto, así como también para otros casos de implementación de control PID. Por otra parte, en lo que respecta a la configuración de los componentes de hardware y software necesarios para la implementación de sistemas de control automatizados con la plataforma TIA Portal, en resumen, ha sido posible sintetizar los pasos y procedimientos de configuración como se describe en el apartado de los resultados de este objetivo, logrando configurar con éxito los componentes de hardware y software requerido para implementar el sistema de control PID en el caso de estudio propuesto donde la variable manipulada es flujo y la variable ajustada es el porcentaje de la apertura de la válvula mediante la plataforma TIA Portal. Esta capacidad nos permitió diseñar y desplegar sistemas de control con eficiencia y precisión a pesar de utilizar un proceso de Autotuning lo que no lo limita. También, se desarrolló una introducción a la programación de PLCs con la plataforma TIA Portal, a través del lenguaje de programación (KOP) para implementar un controlador PID para regular el sistema de control, con lo que, fue posible desarrollar habilidades sólidas en la programación de PLCs utilizando el lenguaje de programación (KOP) en la plataforma TIA Portal. Además, ha sido demostrada la capacidad de implementar un controlador PID para regular sistemas de control, lo que amplía nuestras capacidades para diseñar sistemas automatizados más complejos y precisos. Finalmente, para evaluar la efectividad de la metodología desarrollada mediante la medición de la adquisición de conocimientos y habilidades de los estudiantes en la implementación de sistemas de control automatizados con la plataforma TIA Portal se desarrolló un proceso de capacitación a estudiantes de ingeniería química y que mediante una pequeña evaluación (ENCUESTA) se pudo evidenciar de manera concluyente la efectividad de la metodología desarrollada para la capacitación e implementación de sistemas de control automatizados con la plataforma TIA Portal. Los estudiantes han mostrado una mejora significativa en sus conocimientos y habilidades, lo que indica que la metodología implementada es exitosa en alcanzar sus objetivos educativos.

## 10 Referencias

- Åström, K. J., & Hägglund, T. (2009). Control PID avanzado. Madrid: Pearson Educación.
- Babel, W. (2022). Industry 4.0, China 2025, IoT. Wiesbaden: Springer.
- Bishop, R. H., & Dorf, R. C. (2016). Modern Control Systems. Boston: Pearson Education.
- BOOP & REUTHER MESSTECHNIK. (2024). Boop & Reuther Messtechnik. Obtenido de Oval Wheel Meter Flowal Plus, Series OR/OF Operating manual: [https://www.bopp-reuther.com/wp-content/uploads/\\_pdfs/download\\_anleitung/englisch/Operating\\_Manual\\_Oval\\_Wheel\\_Meter\\_Flowal%20Plus\\_OR\\_OF.pdf](https://www.bopp-reuther.com/wp-content/uploads/_pdfs/download_anleitung/englisch/Operating_Manual_Oval_Wheel_Meter_Flowal%20Plus_OR_OF.pdf)
- Dunn, W. C. (2018). Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control. New York: McGraw-Hill Education.
- Khan, W. A., Raouf, A., & Cheng, K. (2011). Virtual Manufacturing. Berlin: Springer.
- McMillan, G. K., & Hunter Vegas, P. (2019). Process/Industrial Instruments and Controls Handbook. New York: McGraw-Hill Education.
- Niese, N. S. (2006). Sistemas de control para ingeniería. México, D.F.: Patria.
- Petruzella, F. (2017). Programmable Logic Controls. New York: McGraw-Hill.
- SIEMENS. (2009). SIMATIC TIA Portal STEP 7 Basic V10.5. Obtenido de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/542/40263542/att\\_829827/v1/GS\\_STEP7Bas105enUS.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/542/40263542/att_829827/v1/GS_STEP7Bas105enUS.pdf)
- SIEMENS. (2016). SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200. Obtenido de Siemens Industry Online Support : <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741593/simatic-s7-controlador-programable-s7-1200?dti=0&lc=es-MX>
- SIEMENS. (2023). SIEMENS. Obtenido de El núcleo de la automatización eficaz: la ingeniería integrada: <https://www.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/industry-software/automation-software/tia-portal/integrated-engineering.html>

SIEMENS. (2023). SIEMENS. Obtenido de A glass full of automation for Italy's largest wine producer:  
<https://references.siemens.com/reference/?id=533E68AA285759B291F22811FB6E9D16&portfolio=Industrial%20automation~/~Process%20instrumentation~/~Flow%20measurement&sortby=LastModificationDate>

Solé, A. C. (2010). Instrumentación industrial. Barcelona España: Alfaomega.

Umez-Eronini, E. (2001). Dinámica de sistemas de control. México, D.F.: Thomson Learning.

Visioli, A. (2006). Practical PID control. Berlin: Springer.

# 11 Anexos

## 11.1 Anexo 1

Creación de una cuenta de SIEMENS.

**SIEMENS**  
Register now at Identity Management

User data > Data privacy notice / terms of use > Completion

General access data

Salutation  Mr.  Ms.

First Name \*

Last Name \*

Company

Department

Street / No.

Zip Code

City

Country / Region \*

Login \*

Email \*

Phone

Language \*

\* Mandatory field

**Identity Management**  
Siemens: Confirmation of your registration

Dear user,

To complete your free registration for the Industry Online Services, your login must be activated by your initial registration.

Please click on the link below to log on:

<https://signin.siemens.com/tinyurl/tinyurl.ashx?ticketid=49b54860-9b39-49cc-a2f2-14f33bea78e4>

Your login [REDACTED]  
Your password [REDACTED]

Please note that the password is only valid for 48 hours. After this, you can request a new temporary password using the "Password forgotten" link on the registration form.

If you have any questions regarding this email, please reply to this email in German or English.

Your Siemens Web Single Sign-On Team

## 11.2 Anexo 2

Instalación de la plataforma TIA Portal (software).

### SIMATIC STEP 7 incl. Safety, S7-PLCSIM and WinCC V18 TRIAL Download

Entry Associated product(s)

SIMATIC STEP 7, S7-PLCSIM, STEP 7 Safety and WinCC V18 TRIAL Download

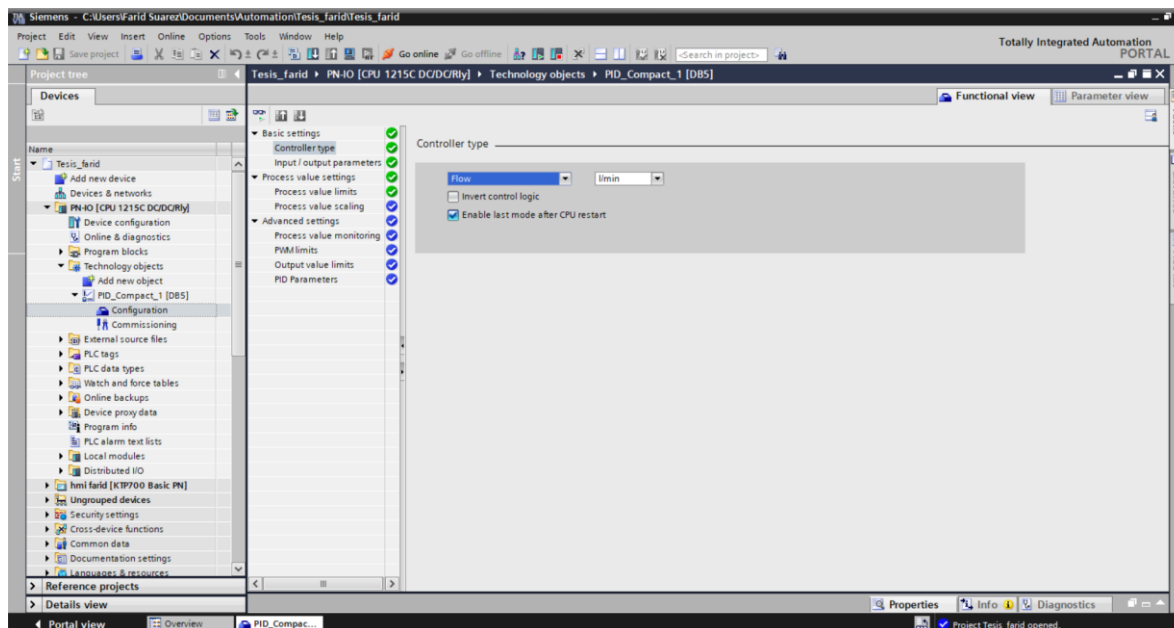
TRIAL Download for: SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) V18 incl. Safety and S7-PLCSIM V18, as well SIMATIC WinCC (TIA Portal) V18.  
As a registered customer, you can download the trial version for SIMATIC STEP 7 V18 incl. Safety, WinCC V18 and S7-PLCSIM V18 and test it for 21 days.

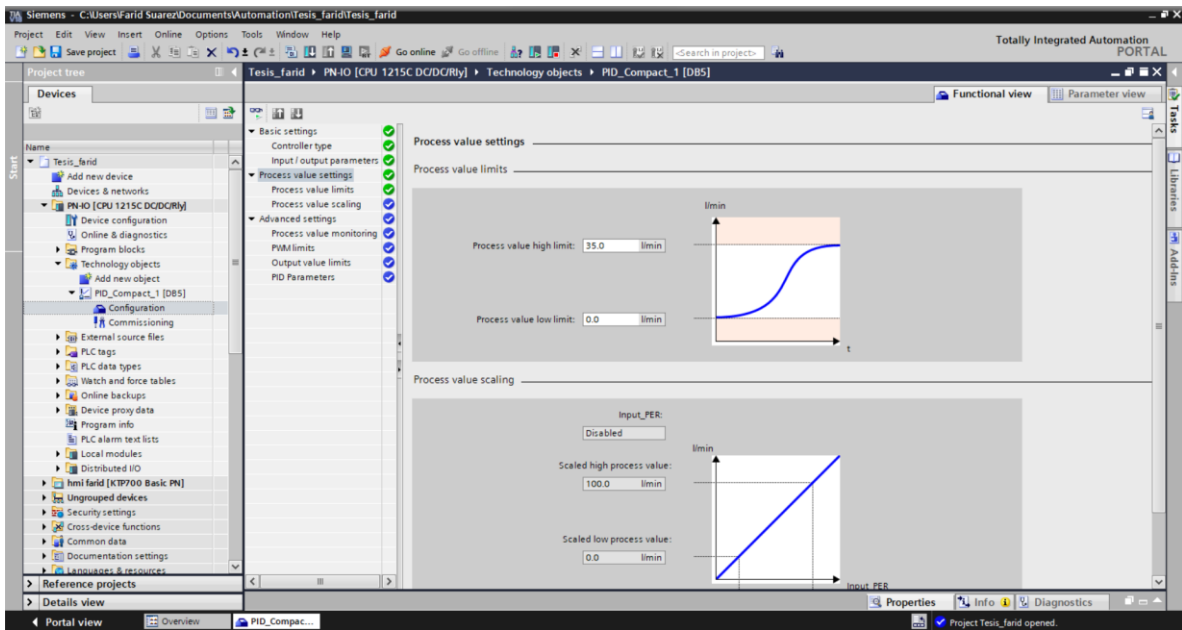
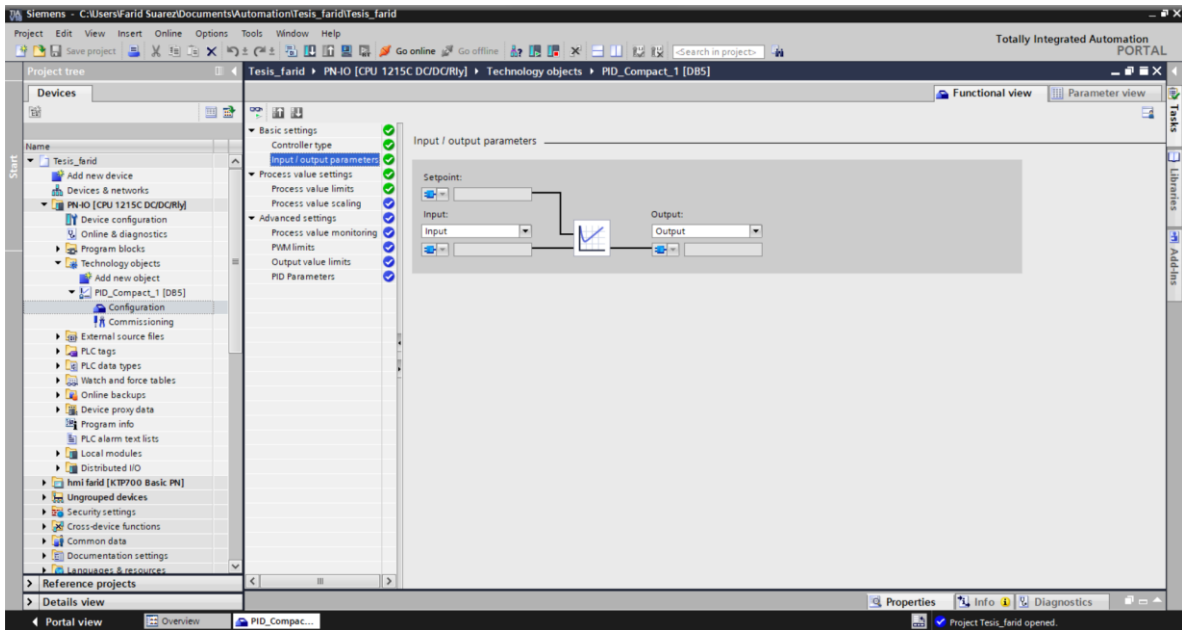
New features and changes compared to earlier versions are described in the delivery releases:

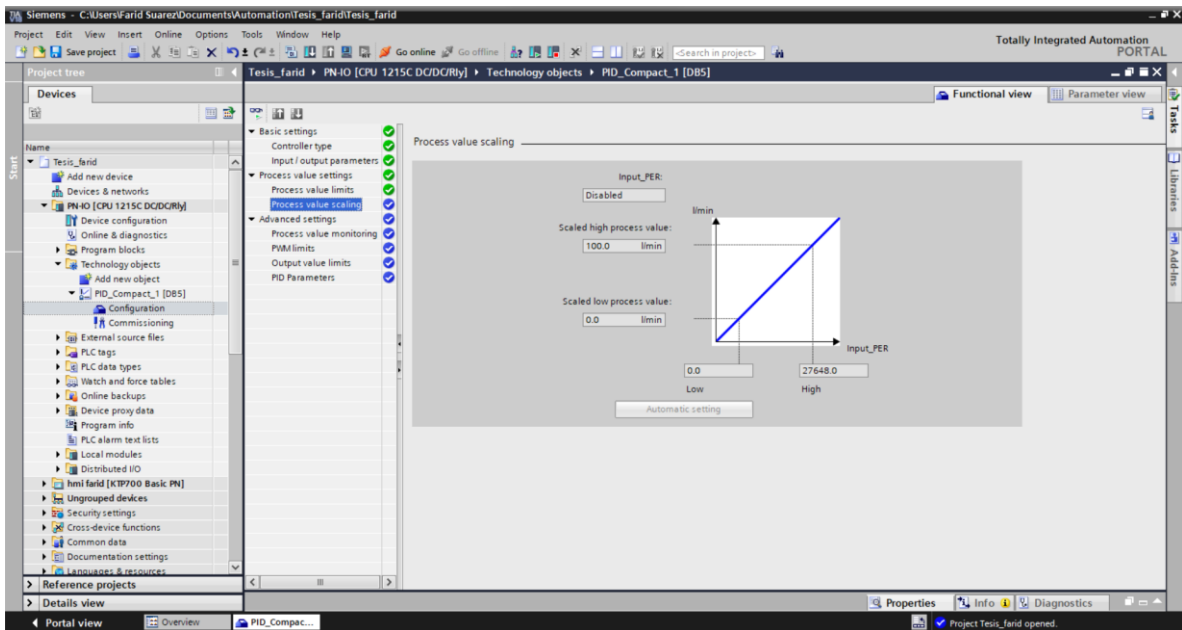
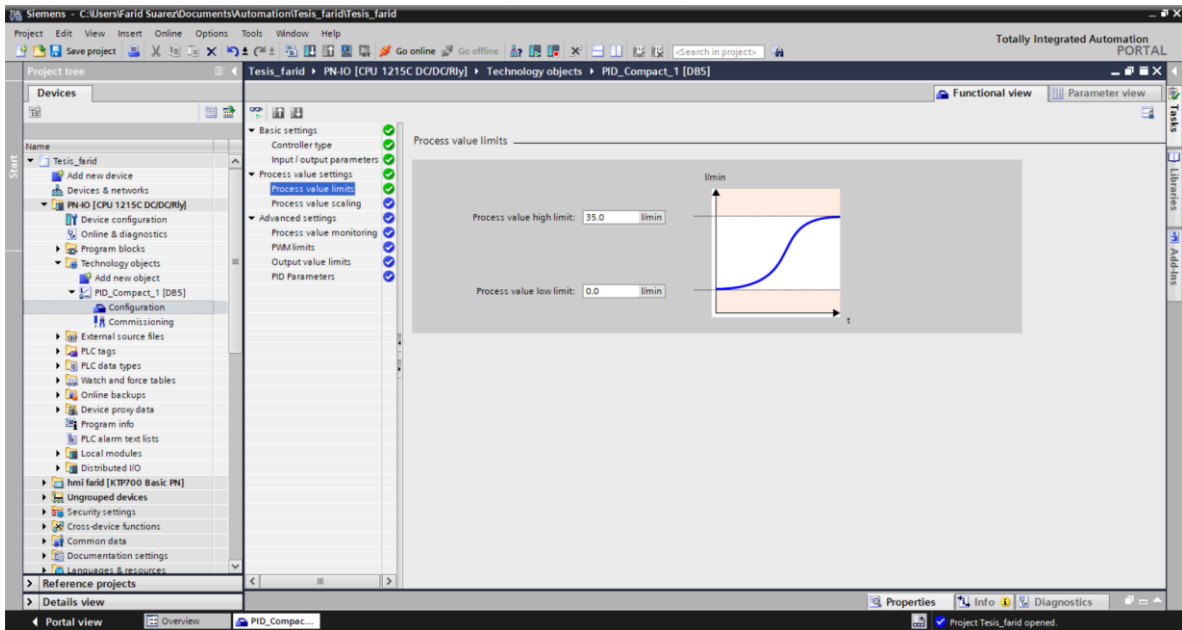
<b>TIA Portal V18</b>	> 109807106
SIMATIC STEP 7 V18 (incl. S7-PLCSIM)	> 109807107
SIMATIC WinCC V18	> 109813587
SIMATIC WinCC Unified V18	> 109807122
SIMATIC STEP 7 Safety V18	> 109807820

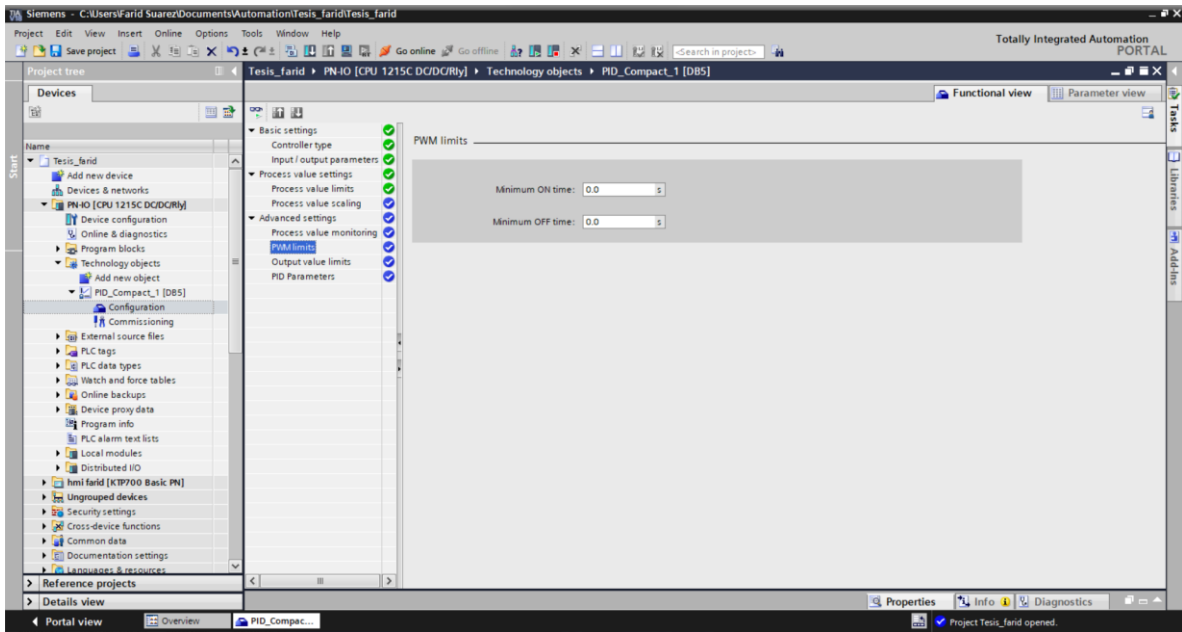
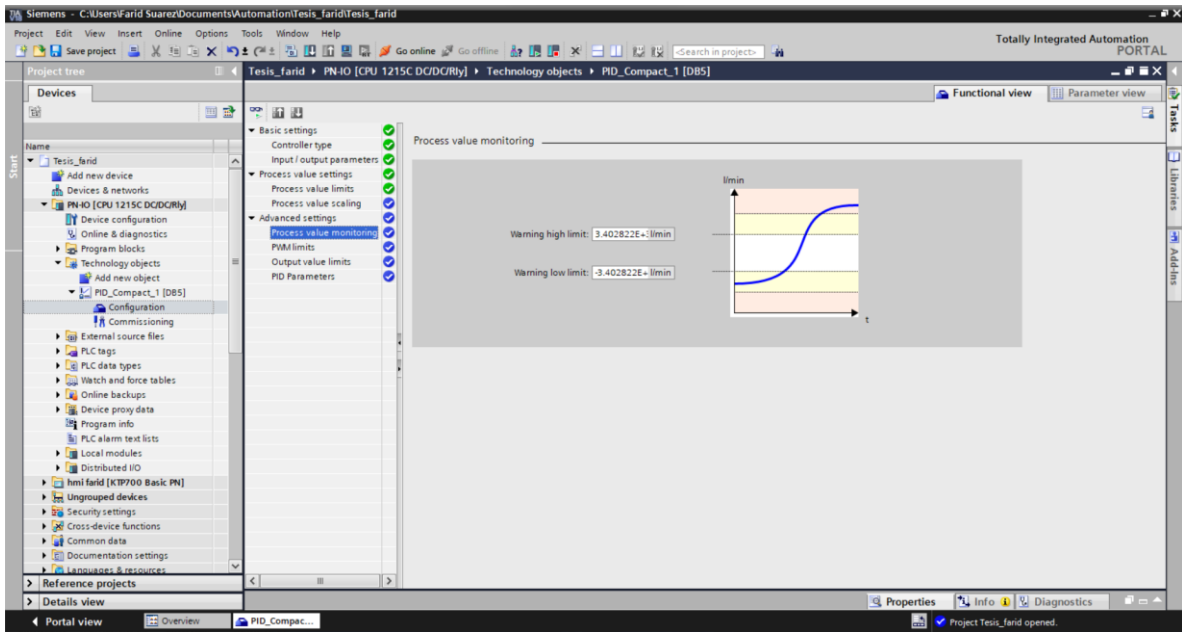
## 11.3 Anexo 3

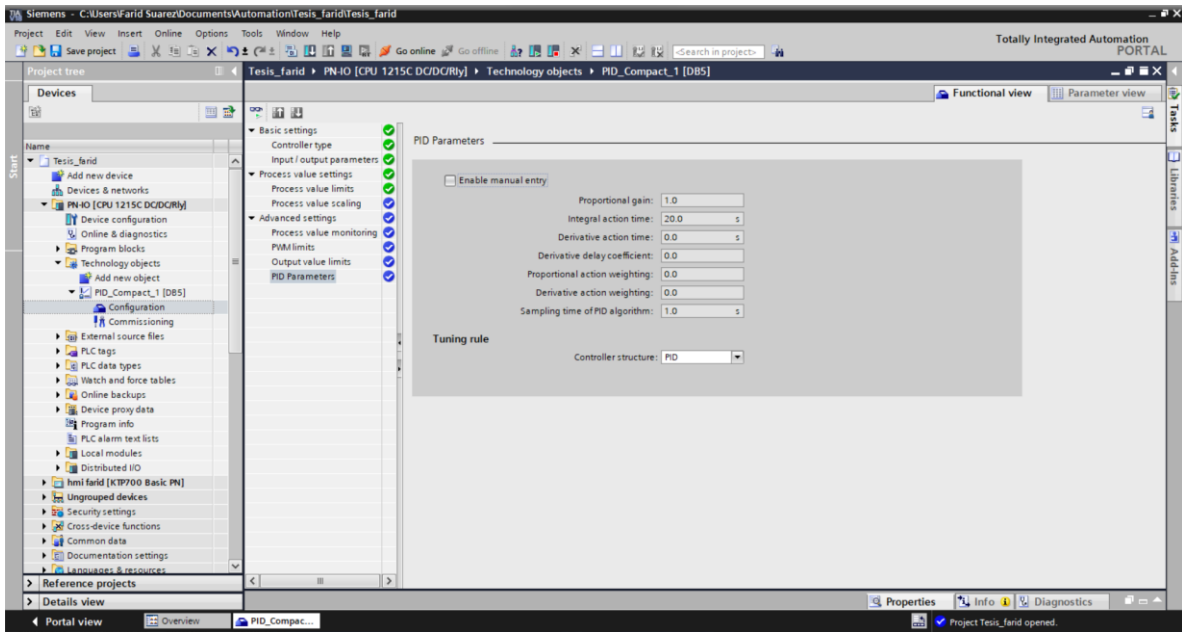
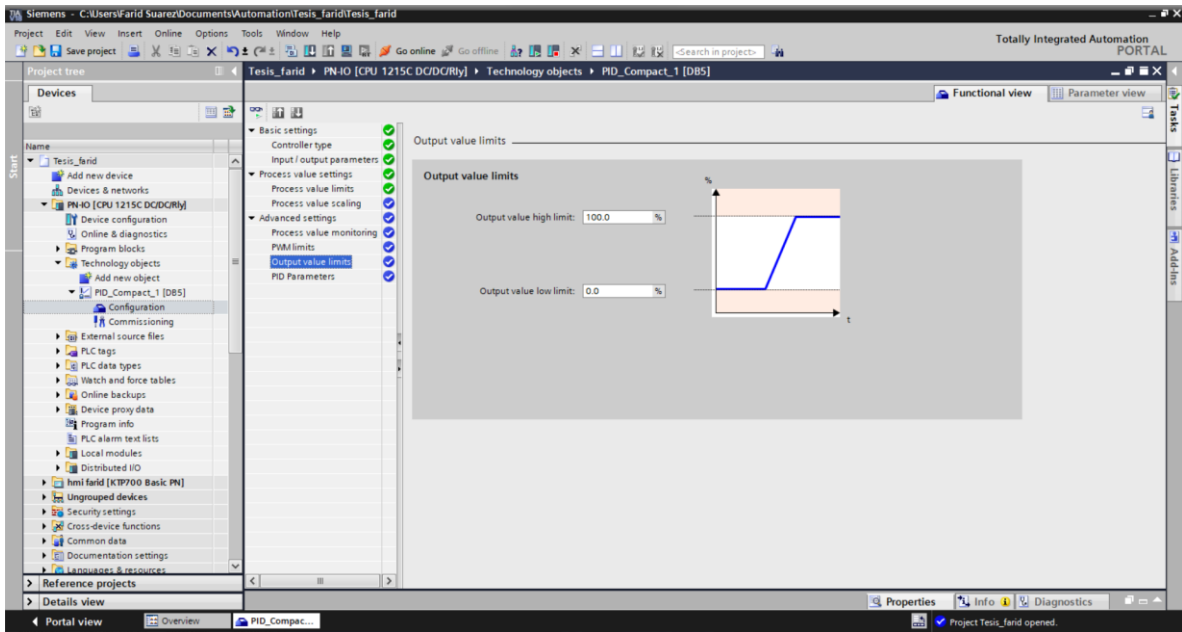
Configuración del objeto tecnológico de la instrucción PID\_Compact.









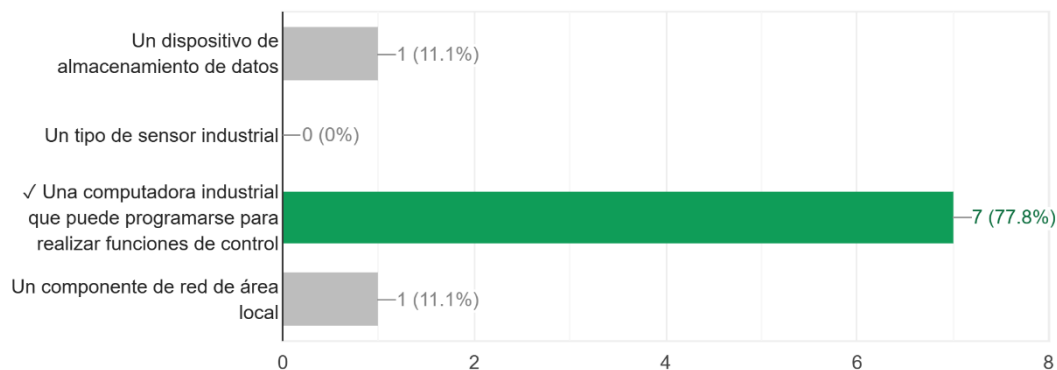


## 11.4 Anexo 4

Resultado de las preguntas del cuestionario inicial.

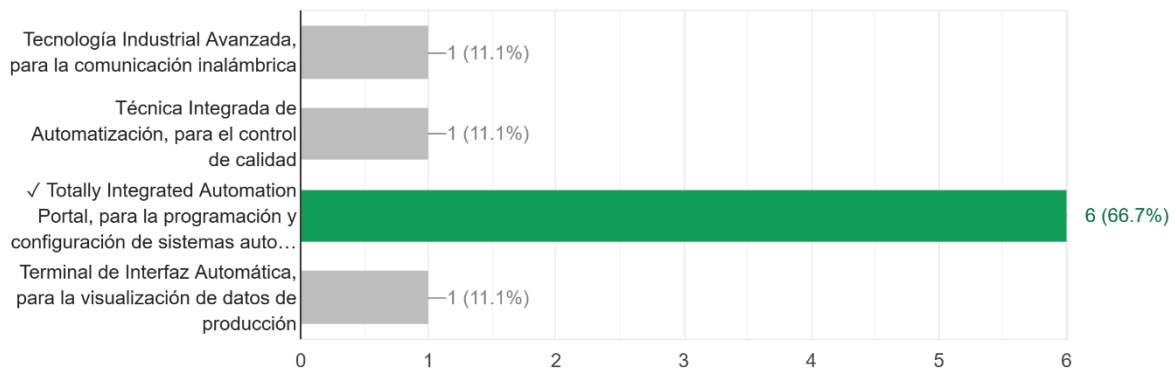
### 1. ¿Qué es un controlador lógico programable?

7/9 respuestas correctas



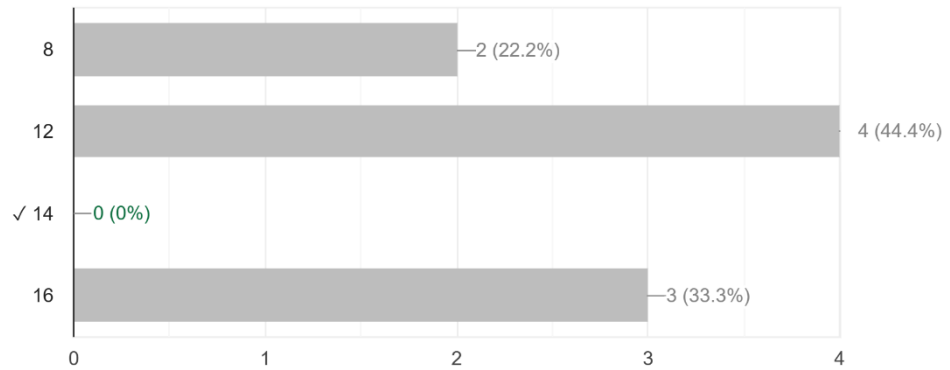
### 2. ¿Qué significa TIA Portal y para qué sirve?

6/9 respuestas correctas



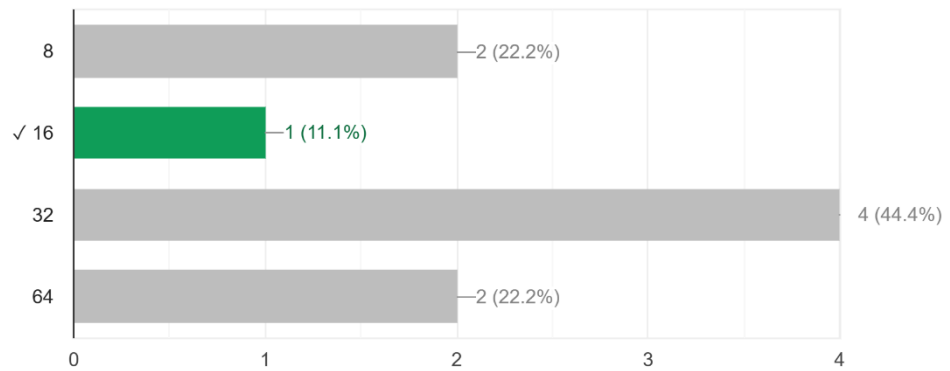
3. ¿Cuál es el número de entradas digitales que tiene la CPU 1215 C DC/DC/Rly?

0/9 respuestas correctas



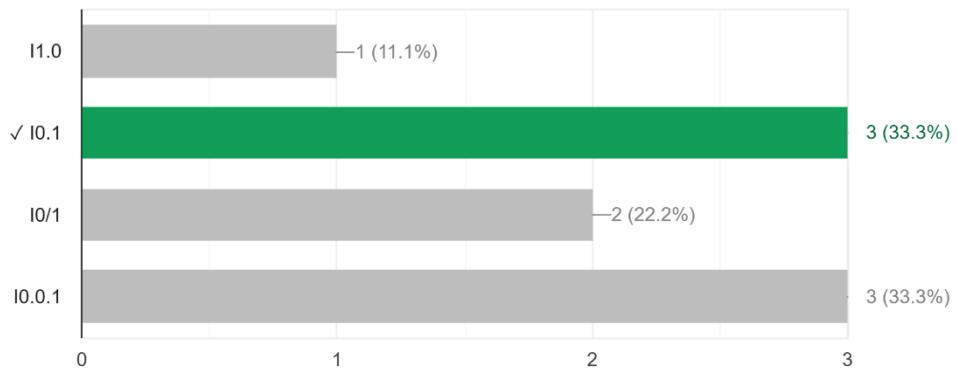
4. ¿Cuántos bits contiene una word?

1/9 respuestas correctas



5. ¿Cómo se direcciona una entrada digital que se localiza en el byte 0 y el bit 1 en TIA Portal?

3/9 respuestas correctas



6. ¿Cuántos bytes se ocupan para direccionar una señal analógica en TIA Portal?

0/0 respuestas correctas

Todavía no hay respuestas para esta pregunta.

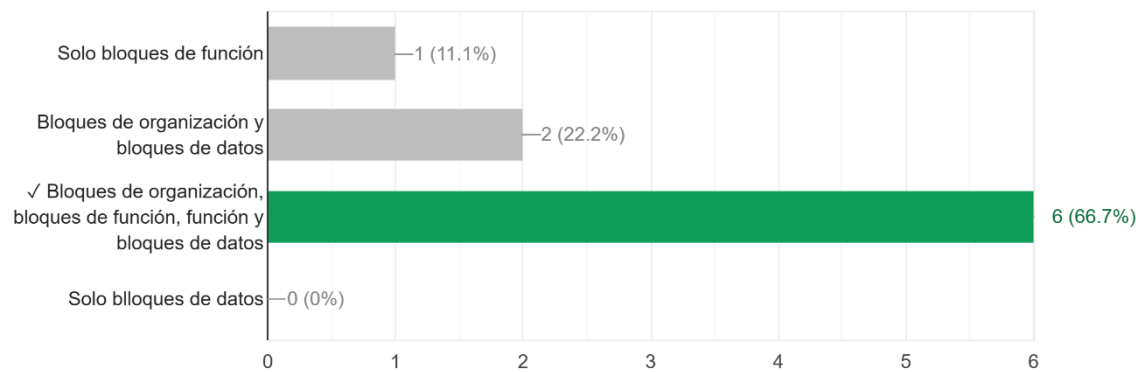
7. ¿Cuáles son las instrucciones utilizadas para procesar una señal analógica en TIA Portal?

0/0 respuestas correctas

Todavía no hay respuestas para esta pregunta.

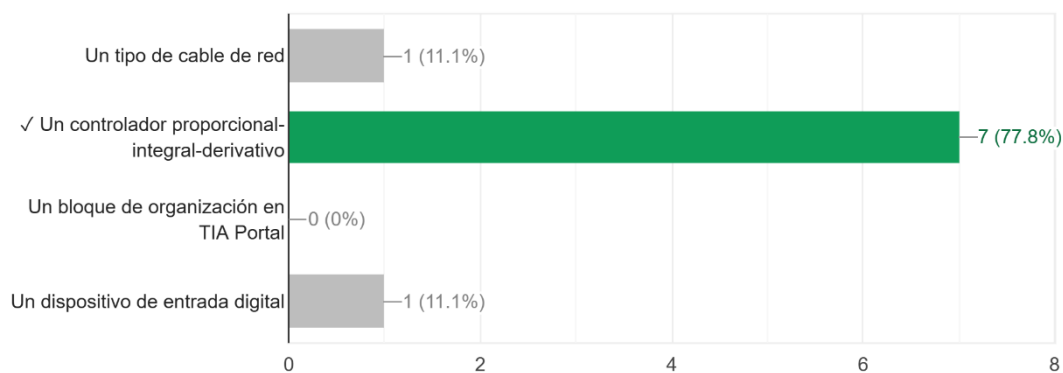
8. ¿Cuáles son los bloques de programación que contiene TIA Portal?

6/9 respuestas correctas



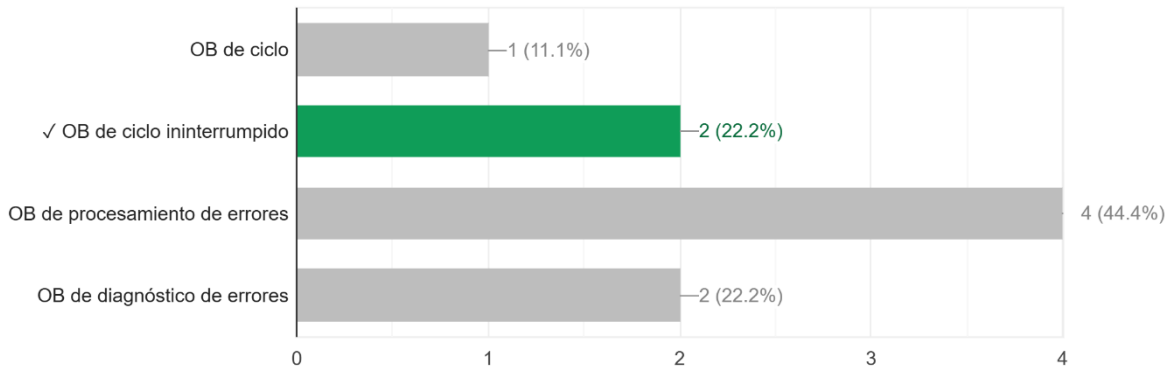
9. ¿Qué es un controlador PID?

7/9 respuestas correctas



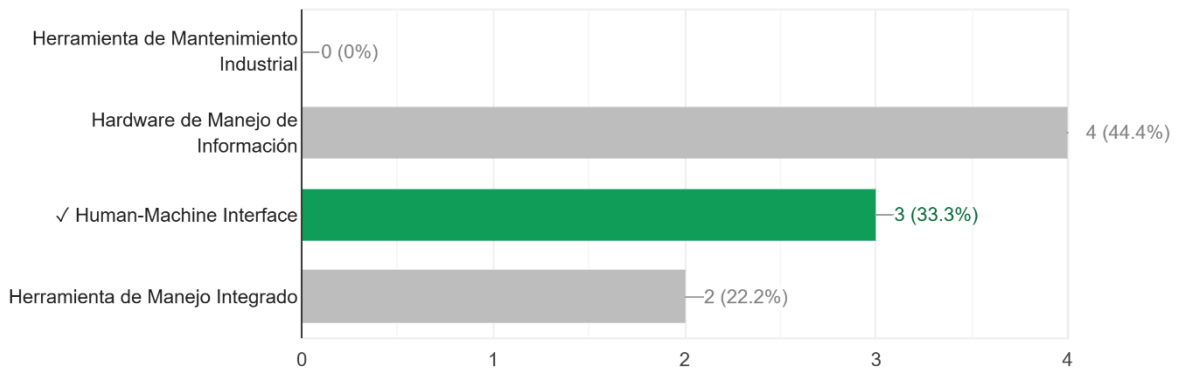
10. ¿En qué bloque de organización se debe utilizar el PID\_Compact?

2/9 respuestas correctas



11. ¿Qué es un HMI?

3/9 respuestas correctas



12. ¿Cuál es el máximo número de módulos que se puede conectar a una red PROFINET?

0/0 respuestas correctas

Todavía no hay respuestas para esta pregunta.

13. ¿Que eventos de un botón en el HMI usamos para reemplazar un botón físico?

0/0 respuestas correctas

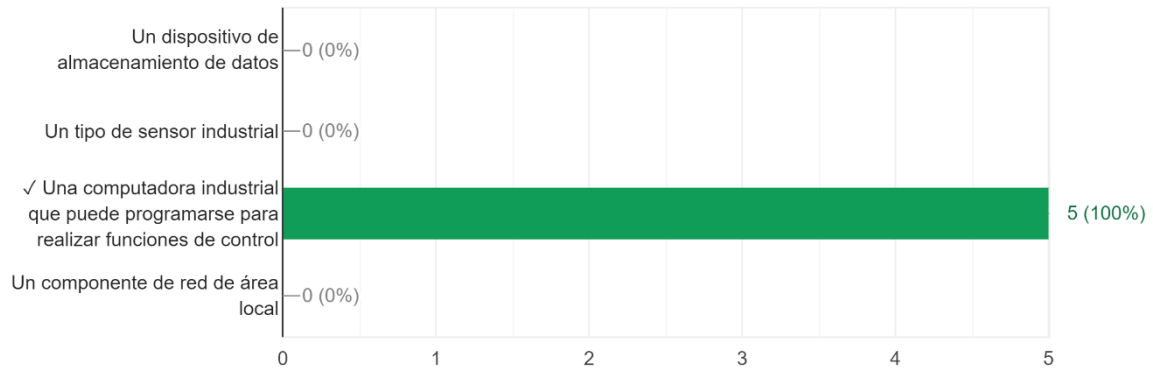
Todavía no hay respuestas para esta pregunta.

## 11.5 Anexo 5

Resultado de las preguntas del cuestionario final.

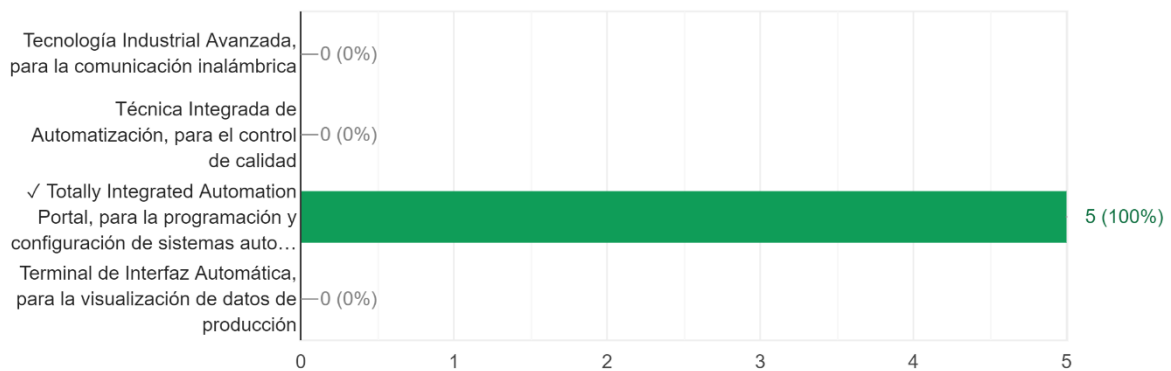
### 1. ¿Qué es un controlador lógico programable?

5/5 respuestas correctas



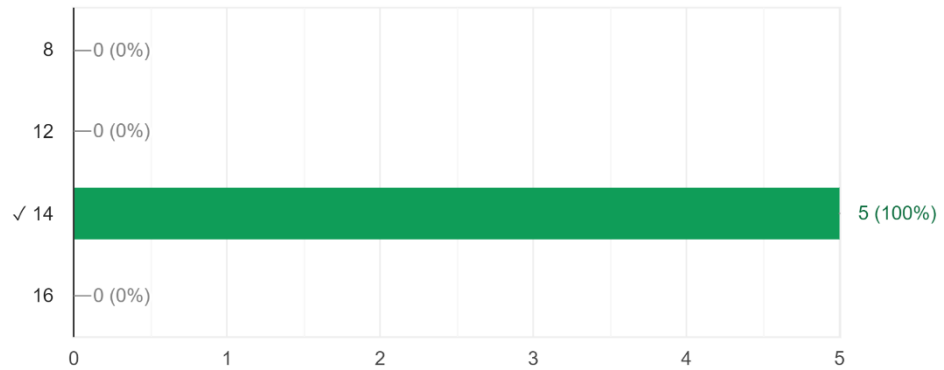
### 2. ¿Qué significa TIA Portal y para qué sirve?

5/5 respuestas correctas



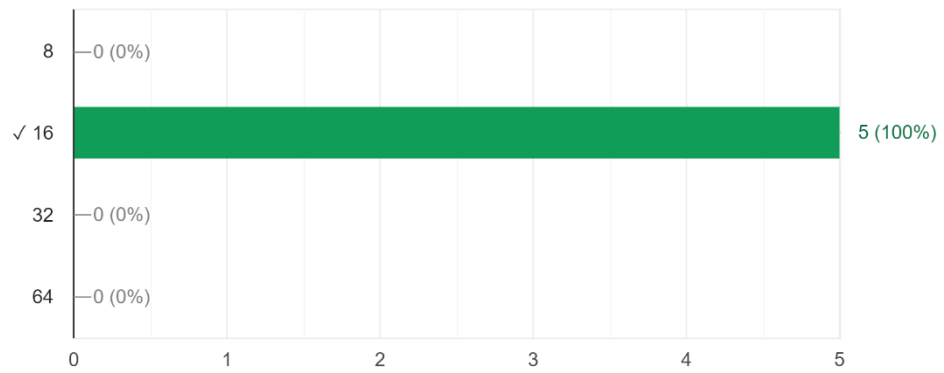
3. ¿Cuál es el número de entradas digitales que tiene la CPU 1215 C DC/DC/Rly?

5/5 respuestas correctas



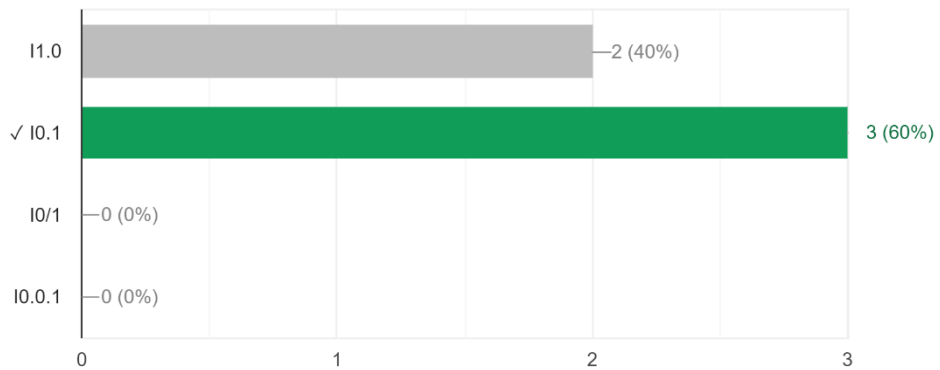
4. ¿Cuántos bits contiene una word?

5/5 respuestas correctas



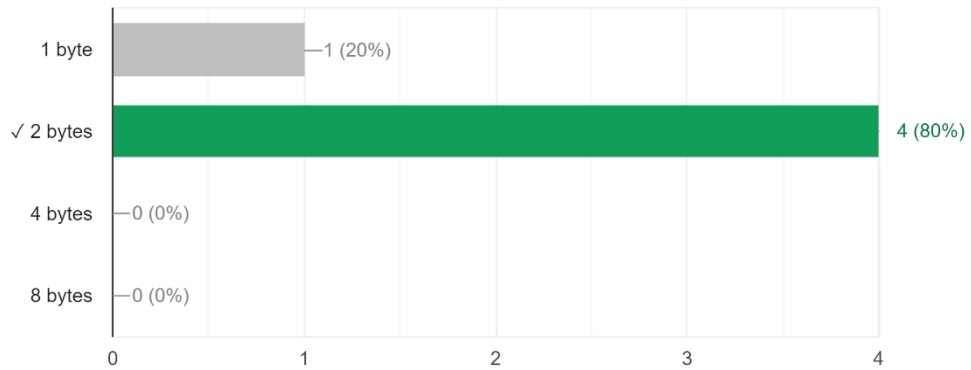
5. ¿Cómo se direcciona una entrada digital que se localiza en el byte 0 y el bit 1 en TIA Portal?

3/5 respuestas correctas



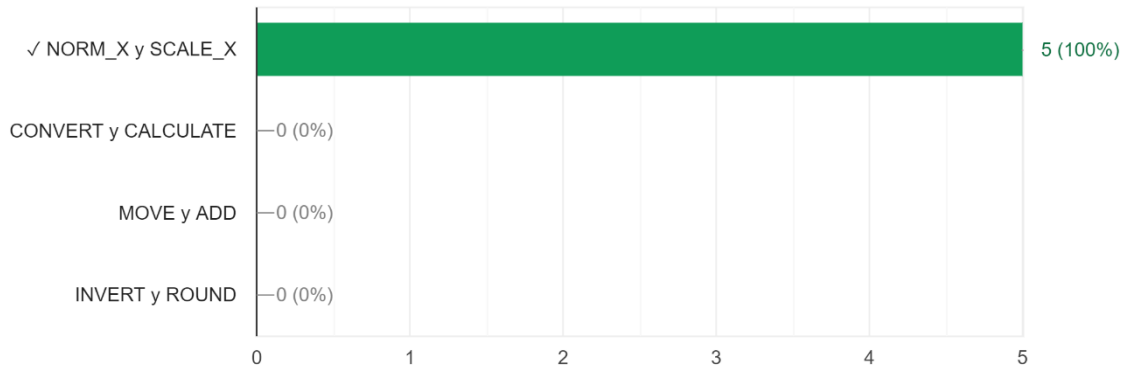
6. ¿Cuántos bytes se ocupan para direccionar una señal analógica en TIA Portal?

4/5 respuestas correctas



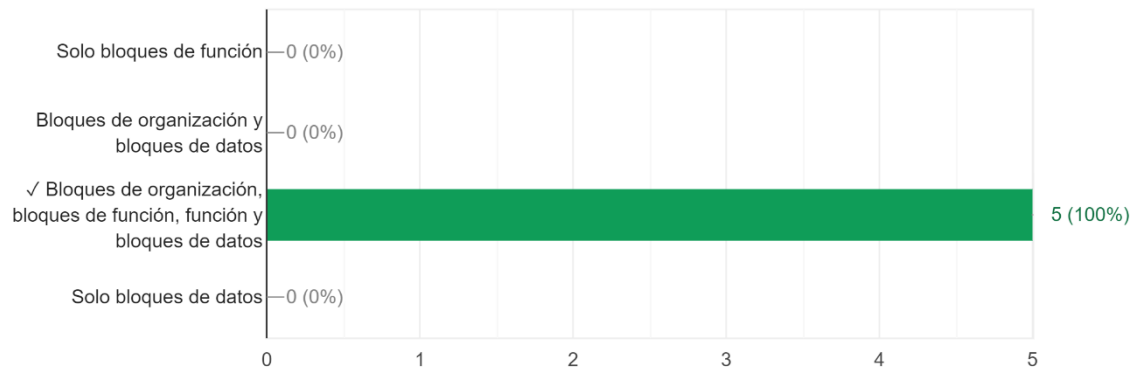
7. ¿Cuáles son las instrucciones utilizadas para procesar una señal analógica en TIA Portal?

5/5 respuestas correctas



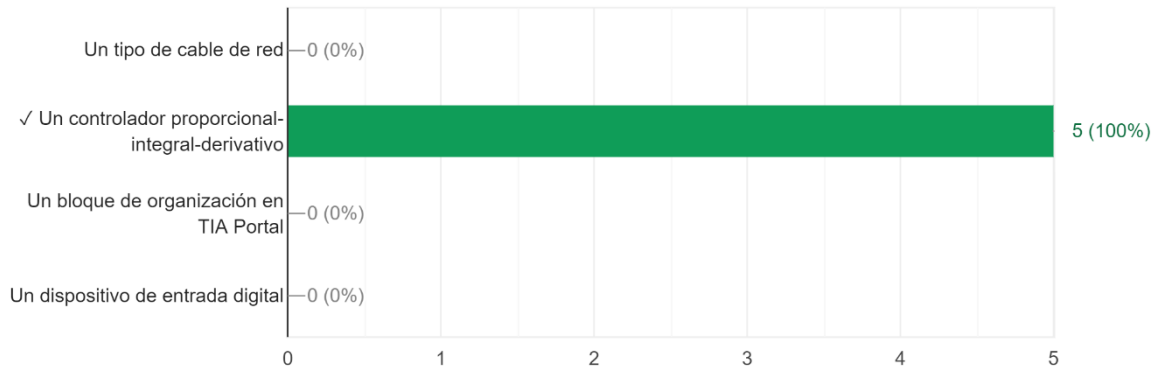
8. ¿Cuáles son los bloques de programación que contiene TIA Portal?

5/5 respuestas correctas



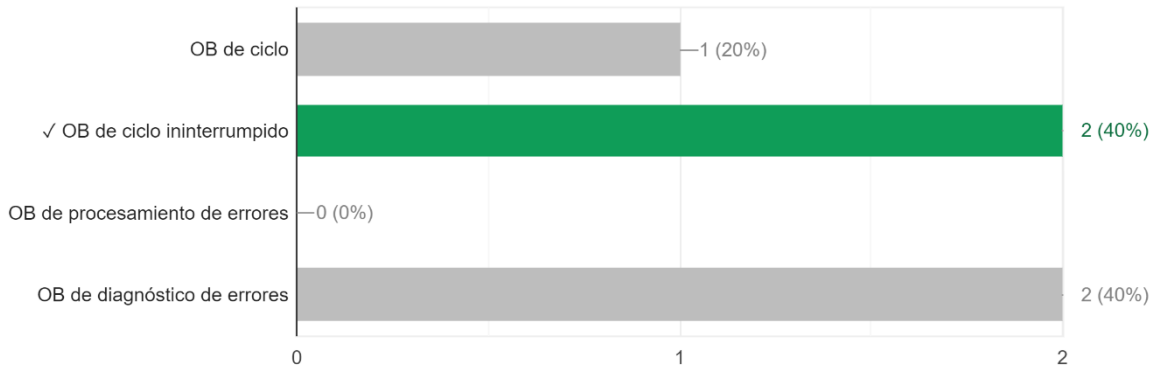
### 9. ¿Qué es un controlador PID?

5/5 respuestas correctas



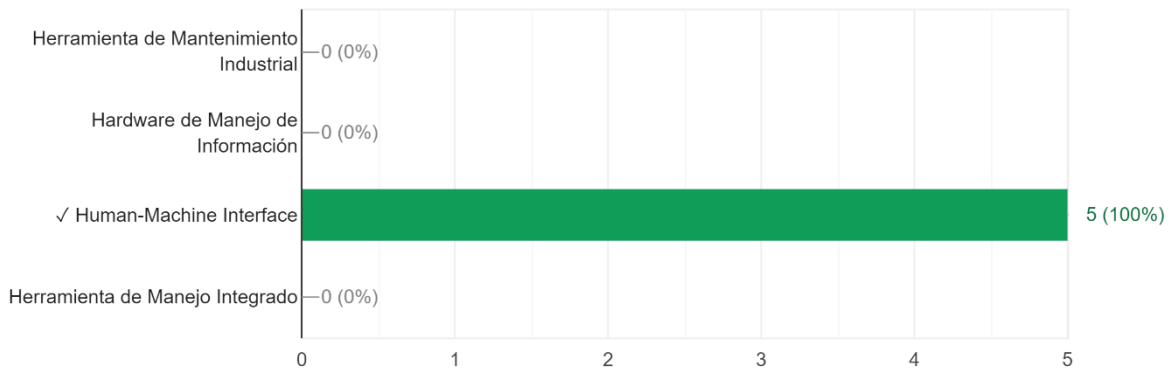
### 10. ¿En qué bloque de organización se debe utilizar el PID\_Compact?

2/5 respuestas correctas



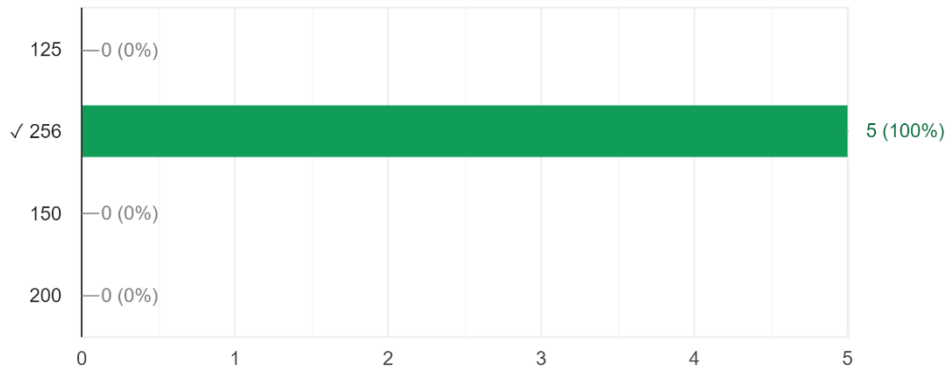
### 11. ¿Qué es un HMI?

5/5 respuestas correctas



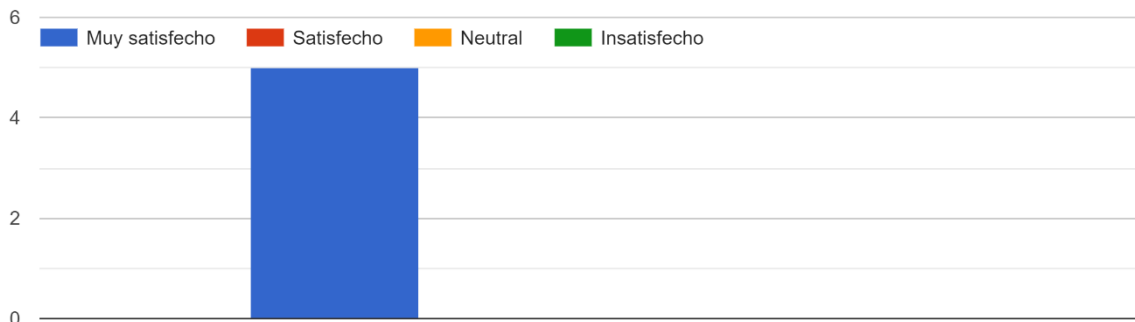
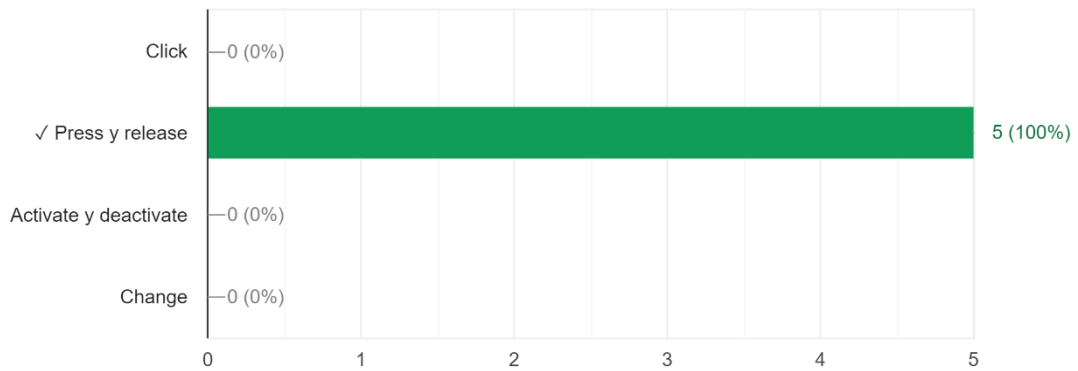
12. ¿Cuál es el máximo número de módulos que se puede conectar a una red PROFINET?

5/5 respuestas correctas



13. ¿Que eventos de un botón en el HMI usamos para reemplazar un botón físico?

5/5 respuestas correctas



¿Cómo calificarías tu nivel de satisfacción con los conocimientos adquiridos durante la capacitación en la implementación de sistemas de control con la plataforma TIA Portal?

