



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
PROPUESTA TECNOLÓGICA

DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE PROCESOS VIRTUALES.

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros en Electromecánica.

Autores:

Córdova Chuquitarco Alex Santiago

Tapay Tapaicela Manuel Cipriano

Tutor:

Ing. Corrales Bastidas Byron Paúl

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Córdova Chuquitarco Alex Santiago y Tapay Tapaicela Manuel Cipriano, declaramos ser los autores de la presente Propuesta Tecnológica:

“DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE PROCESOS VIRTUALES”, siendo el Ing. Corrales Bastidas Byron Paúl, tutor del presente; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Atentamente,

CÓRDOVA CHUQUITARCO ALEX SANTIAGO

C.I. 180434406-5

TAPAY TAPAICELA MANUEL CIPRIANO

C.I. 060481367-5

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de tutor de la siguiente propuesta tecnológica sobre el título: **“DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE PROCESOS VIRTUALES”**, de los ponentes: Córdova Chuquitarco Alex Santiago y Tapay Tapaicela Manuel Cipriano, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho informe tecnológico cumple con los requisitos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyectos que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo 2022

.....
Ing. Corrales Bastidas Byron Paúl Ms.C.

C.I.0502347768

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Córdova Chuquitarco Alex Santiago con cédula de ciudadanía No 1804344065 y Tapay Tapaicela Manuel Cipriano, con cédula de ciudadanía No 0604813675 con el título de Proyecto de Titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE PROCESOS VIRTUALES”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 09 Marzo 2022

Para constancia firman.

Lector 1

Ing. Cruz Panchi Luis Rolando Ms.C.

C.I. 050259517-6

Lector 2

Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto Ms.C.

C.I. 070440044-9

Lector 3

Ing. Freire Martínez Luigi Orlando Ms.C.

C.I. 050252958-9

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios y a la Virgen de las Lajas por su bondad infinita, la cual ha permitido lograr una meta más en mi vida.

A mi padre Narciso Córdova, mi madre Evita Chuquitarco, por ser los pilares fundamentales en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo

A mi esposa Karina por todo el apoyo que brindo en los momentos más difíciles a lo largo de mis estudios.

Un sincero agradecimiento al Ing. Paul Corrales por la colaboración prestada para la elaboración de este proyecto.

Santiago C.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido tener la familia que tengo, por protegerme en cada una de las instancias que he atravesado dentro y fuera de la universidad y por darme fortaleza para seguir adelante.

A mis padres por haberme enseñado con su ejemplo a nunca rendirme, y brindarme su apoyo incondicional en todo momento, a mi familia que siempre estuvieron apoyándome y queriendo verme cumplir mis metas, a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la carrera de Ingeniería Electromecánica por haberme acogido y formarme dentro de sus aulas.

Manuel T.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Mis padres, Narciso Córdova y mi madre Evita Chuquitarco porque me inculcaron buenos valores, me apoyaron en los momentos difíciles y gracias a ellos he podido llegar a culminar con éxito mi carrera.

A mi esposa Karina quien con su amor y paciencia siempre estuvo conmigo apoyándome en los momentos más difíciles.

A mi hijo Juan Diego Córdova, por ser la motivación e inspiración para ser mejor cada día.

Santiago C.

DEDICATORIA

A mis padres por todos los sacrificios que han realizado por la familia, a mis seres queridos que se encuentran en el cielo cuidándome, a toda mi familia que siempre me han brindado apoyo incondicional, A mi hija que es lo más hermoso que me dio la mi vida y me brindado la motivación para alcanzar esta meta, a mis hermanos por estar siempre a mi lado en cada momento de mi vida y ayudarme a surgir como persona, también agradecer a todos los docentes de mi universidad que me ayudaron a formarme como profesional y me inculcaron buenos valores y compartieron conmigo todos sus conocimientos.

Manuel T.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

TÍTULO: “DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE PROCESOS VIRTUALES”

Autores:

Córdova Chuquitarco Alex Santiago

Tapay Tapaicela Manuel Cipriano

RESUMEN

El auge de la automatización industrial implica que el control de varios procesos integre un sistema SCADA, que permita la incorporación de todas las plantas que se encuentran dentro de la industria.

El presente trabajo de titulación se fundamenta en el desarrollo de un sistema SCADA para el monitoreo y control de los procesos virtuales de nivel, flujo y una planta real de temperatura, a través de protocolos de comunicación (Modbus RTU y Ethernet) que permitirá centralizar toda la información de las plantas, el protocolo Modbus se emplea para la comunicación entre la planta de nivel y el PLC maestro, mientras que la comunicación Ethernet efectúa la adquisición de datos entre las plantas de flujo y temperatura con la estación maestra. También se configura una pasarela OPC que será la encargada de comunicar al PLC maestro con la interfaz Ignition SCADA.

Se desarrolla una comparación entre varios métodos de sintonización proporcional-integral-derivativo (PID), para los procesos autorregulables (temperatura y flujo) y el proceso integrante (nivel). Los parámetros calculados permitieron obtener diferentes tipos de respuestas para cada sintonía.

La implementación del protocolo Modbus permitió que la información se transmita con más facilidad entre los autómatas PLC S7-1200 de versiones diferentes.

Palabras Claves: Sistema SCADA, Protocolos, Modbus RTU, Ethernet, Sintonización.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED
SCIENCES**

TITLE: "DESIGN OF A SCADA SYSTEM FOR VIRTUAL PROCESS CONTROL".

Authors:

Córdova Chuquitarco Alex Santiago

Tapay Tapaicela Manuel Cipriano

ABSTRACT

The rise of industrial automation implies that the control of several processes integrates a SCADA system, which allows the incorporation of all the plants within the industry.

This degree work is based on the development of a SCADA system for the monitoring and control of virtual processes of level, flow and a real temperature plant, through communication protocols (Modbus RTU and Ethernet) that will centralize all the information of the plants, the Modbus protocol is used for communication between the level plant and the master PLC, while the Ethernet communication performs the data acquisition between the flow and temperature plants with the master station. An OPC gateway is also configured to communicate the master PLC with the Ignition SCADA interface.

A comparison between several proportional-integral-derivative (PID) tuning methods is developed for the self-regulating processes (temperature and flow) and the integrating process (level). The calculated parameters allowed obtaining different types of responses for each tuning.

The implementation of the Modbus protocol allowed information to be transmitted more easily between S7-1200 PLCs of different versions.

Keywords: SCADA System, Protocols, Modbus RTU, Ethernet, Tuning.

Aval de traducción

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE TABLAS	xix
ÍNDICE DE ECUACIONES	xx
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN:.....	2
2.1. EL PROBLEMA:.....	2
2.1.1. Situación Problémica:.....	2
2.1.2. Formulación del Problema:.....	2
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	2
2.2.1. Objeto de estudio.....	2
2.2.2. Campo de Acción.....	2
2.2.3. Diagrama de ISHIKAWA	3
2.3. BENEFICIARIOS.....	3
2.3.1. Beneficiarios Directos	3
2.3.2. Beneficiarios Indirectos.....	3
2.4. JUSTIFICACIÓN	3
2.5. HIPÓTESIS	4
2.6. OBJETIVOS.....	4
2.6.1. Objetivo General	4
2.6.2. Objetivos Específicos	4
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1. Antecedentes.....	7

3.2. Automatización.....	7
3.2.1. Pirámide De Automatización.....	8
3.3. SISTEMA SCADA EN EL CONTROL DE PROCESOS VIRTUALES	10
3.3.1. Definición de sistema SCADA	10
3.3.2. Redes de comunicación industrial.....	11
3.3.3. Bus de campo.....	11
3.3.4. Protocolo MODBUS	11
3.3.5. Modbus RTU & Modbus TCP/IP	12
3.3.6. Características del protocolo MODBUS.	12
3.3.7. Protocolo Ethernet.....	13
3.3.8. Arquitectura del sistema SCADA	14
3.4. PARTES O ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN SISTEMA SCADA.	14
3.4.1. Estación Maestra.....	15
3.4.2. Unidades Remotas.....	15
3.4.3. Estación de Supervisión	15
3.5. SOFTWARE SCADA IGNITION	15
3.6. COMUNICACIÓN OPC	16
3.6.1. Tipos de datos soporta OPC	17
3.6.2. Beneficios de utilizar el ESTÁNDAR OPC	17
3.7. CONTROLADORES PID.....	17
3.8. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID.....	18
3.8.1. Métodos de sintonización de procesos autorregulados	18
3.8.2. Métodos de sintonización para procesos integrales	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
4.1. DECLARACIÓN DE VARIABLES	20
4.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	20
4.2.1. Investigación Exploratoria.....	20
4.2.2. Investigación Descriptiva.	20
4.2.3. Investigación de campo.....	20
4.2.4. Investigación Experimental.	21
4.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	21
4.3.1. Método de análisis.....	21

4.3.2. Método de medición.....	21
4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	21
4.4.1. Comunicación Modbus RTU.....	21
4.4.2. Comunicación Ethernet.....	22
4.4.3. Comunicación OPC.....	22
4.4.4. Sensores.....	22
4.4.5. Planta virtual N46 de nivel.....	22
4.4.6. Planta virtual N35 de Flujo.....	23
4.4.7. Planta de temperatura.....	23
4.4.8. Módulo de comunicación Siemens CM1241 RS422/485.....	23
4.4.9. Software SCADA Ignition.....	24
4.5. METODOLOGÍA.....	24
4.5.1. Diagrama de funcionamiento del sistema SCADA.....	24
4.5.2. Detalles de las entradas y salidas en las estaciones de nivel, flujo y temperatura.....	25
4.6. Protocolos de comunicación en el desarrollo del sistema Scada.....	28
4.6.1. Diagrama de flujo con los diferentes protocolos de comunicación en el sistema SCADA.....	29
4.7. SOBRE IMPULSO (PEM%) EN LOS CONTROLADORES PID.....	29
4.8. DISEÑO DE LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN PARA EL SISTEMA SCADA.....	30
4.8.1. Configuración para el envío y recepción de datos por el protocolo Modbus RTU.....	30
4.8.2. Configuración de las comunicaciones Ethernet para la planta de flujo y temperatura.....	34
4.9. CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO OPC.....	35
4.10. CONFIGURACIÓN DE LAS BASES DE DATOS EN LOS PROCESOS Y EL PLC MAESTRO.....	41
4.10.1. Bases de datos en el proceso de nivel.....	41
4.10.2. Bases de datos en el proceso de temperatura.....	43
4.10.3. Bases de datos en el proceso de flujo.....	44
4.10.4. Bases de datos en la estación Maestro (PLC_1_Master).....	45
4.10.5. Red de flujo de datos entre las estaciones esclavos y maestro.....	45
4.11. DISEÑO DE LA INTERFAZ EN EL SOFTWARE SCADA IGNITION.....	46
4.11.1. Diseño del panel principal para el control y monitoreo de las variables.....	46
4.11.2. Diseño del panel para el proceso de nivel.....	46

4.11.3.	Diseño del panel para el proceso de flujo.....	48
4.11.4.	Diseño del panel para el proceso de temperatura.....	49
4.12.	MODELADO MATEMÁTICO Y FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LOS PROCESOS	51
4.12.1.	Modelo matemático para el proceso de nivel.	51
4.12.2.	Modelado matemático de la planta de flujo.....	52
4.12.3.	Modelado matemático para el proceso de Temperatura (Horno).....	52
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	54
5.1.	SINTONÍA PID DE LOS PROCESOS AUTORREGULABLES.	54
5.2.	SINTONÍA PID DEL PROCESO INTEGRANTE.	56
5.3.	VALIDACIÓN DE DATOS EN LA PLANTA DE NIVEL.....	58
5.4.	VALIDACIÓN DE DATOS EN LA PLANTA DE FLUJO.....	59
5.5.	VALIDACIÓN DE DATOS EN LA PLANTA DE TEMPERATURA.....	61
6.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS	63
6.1.	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTO.....	63
6.1.1.	Gastos indirectos	63
6.1.2.	Gastos totales	63
6.2.	ANÁLISIS DE IMPACTOS	64
6.2.1.	Impacto tecnológico	64
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	66
	ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. La automatización como una convergencia de las tecnologías. _____	9
Figura 3.2. Pirámide de la automatización _____	9
Figura 3.3. Esquema del sistema SCADA _____	11
Figura 3.4. Comparación entre un cableado normal y un bus de campo _____	11
Figura 3.5. Características del protocolo Modbus _____	13
Figura 3.6. Protocolo ethernet _____	14
Figura 3.7. Arquitectura del sistema SCADA _____	14
Figura 3.8. Estación maestra _____	15
Figura 3.9. Interfaz de la plataforma Ignition SCADA _____	16
Figura 3.10. Comunicación OPC _____	17
Figura 3.12. Controlador PID _____	18
Figura 4.1. Módulo de comunicación CM1241 RS422/485 _____	24
Figura 4.2. Interconexión de los elementos del sistema SCADA _____	25
Figura 4.3. Diagrama P&ID ISA de la planta de nivel. _____	26
Figura 4.4. Diagrama P&ID ISA de la planta de flujo. _____	27
Figura 4.5. Diagrama P&ID ISA del proceso de temperatura. _____	28
Figura 4.6. Diagrama de flujo de sistema SCADA para el control y monitoreo. _____	29
Figura 4.6. PLC-1200 con el módulo CM 1241 RS422/485, fuente Autores. _____	30
Figura 4.7. Agregar dispositivos y módulos. _____	31
Figura 4.8. Configuraciones de los parámetros en el módulo RS422/485 _____	32
Figura 4.9. Activar marcas de ciclo en PLC S7-1200 _____	32
Figura 4.10. Desactivar protección de escritura en versiones actuales. _____	33
Figura 4.11. Desactivar protección contra escritura en versiones antiguas. _____	33
Figura 4.12. Ubicación de los bloques para la comunicación Modbus. _____	33

Figura 4.13. Red de comunicación Ethernet entre los 3 autómatas. _____	34
Figura 4.14. Ubicación de los bloques de programación para la comunicación Ethernet. _____	34
Figura 4.15. Ingresar en el módulo OPC UA de Ignition SCADA. _____	35
Figura 4.16. Crear un nuevo dispositivo OPC UA en Ignition SCADA. _____	36
Figura 4.17. Selección del PLC siemens s7-1200 _____	36
Figura 4.18. Asignación de un nombre al dispositivo y colocar la dirección IP en Hostname. ____	37
Figura 4.19. Dispositivo OPC UA creado. _____	37
Figura 4.20. Dirección IP del maestro configurada igual que en el Hostname de Ignition. _____	37
Figura 4.21. Permitir acceso vía comunicación PUT/GET del interlocutor remoto activado. ____	38
Figura 4.22. Crear un nuevo New Data Type. _____	38
Figura 4.23. Crear una variable OPC Tag. _____	39
Figura 4.24. Tag para la lectura de nivel creado en Ignition SCADA. _____	39
Figura 4.25. Nombre del dispositivo Siemens1 creado para comunicarse con el maestro. _____	40
Figura 4.26. Bloque de datos, tipo y Offset en Tia Portal. _____	40
Figura 4.27. Código para que la variable de nivel sea monitoreada. _____	40
Figura 4.28. Creación de la base de datos en la estación de nivel. _____	41
Figura 4.29. Bloques de datos creados en la planta de nivel. _____	42
Figura 4.30. Creación de una tabla tipo Array en bloque de datos. _____	42
Figura 4.31. Array tipo tabla de 4 datos tipo Real. _____	43
Figura 4.32. Ingreso a propiedades del bloque de datos. _____	43
Figura 4.33. Desactivar Acceso optimizado al bloque. _____	43
Figura 4.34. Bloque de datos creado en la planta de temperatura (Horno). _____	44
Figura 4.35. Bloque de datos creado en la planta de flujo. _____	44
Figura 4.36. Bloques de datos en la estación Maestro. _____	45
Figura 4.37. Interconexión de las bases de datos entre los procesos y el Maestro _____	45

Figura 4.38. Panel principal para el control y monitoreo de variables _____	46
Figura 4.39. Panel para el control y monitoreo de nivel. _____	47
Figura 4.40. Gráficas de nivel en tiempo real (a) y en modo histórico (b) _____	47
Figura 4.41. Panel de alarmas para todos los procesos. _____	48
Figura 4.42. Panel para el control y monitoreo de flujo. _____	48
Figura 4.43. Gráficas de flujo en tiempo real (a) y en modo histórico (b) _____	49
Figura 4.44. Panel para el control y monitoreo de temperatura. _____	50
Figura 4.45. Gráficas de temperatura en tiempo real (a) y en modo histórico (b) _____	50
Figura 4.46. Bloque de un controlador automático _____	51
Figura 4.47. Parámetros (a) y función de transferencia integrante (b) para nivel en Matlab. _____	51
Figura 4.48. Parámetros (a) y función de transferencia (b) para flujo en Matlab. _____	52
Figura 4.49. Parámetros (a) y función de transferencia (b) para temperatura en Matlab. _____	53
Figura 5.1. Respuesta de temperatura con cada método de sintonización _____	55
Figura 5.2. Respuesta de flujo con cada método de sintonización _____	56
Figura 5.3. Respuesta de nivel con cada método de sintonización _____	57
Figura 5.4. Planta de nivel en estado estable con Set Point de 50 cm. _____	58
Figura 5.5. Interfaz de la planta virtual de nivel. _____	59
Figura 5.6. Planta de flujo en estado estable con Set Point de 40 l/min. _____	60
Figura 5.7. Variables de proceso de flujo en la planta virtual. _____	60
Figura 5.8. Comportamiento de las variables de temperatura en la plataforma SCADA. _____	61
Figura 5.9. Variables de temperatura con la cámara termográfica en el sensor RTD PT-100. _____	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Sistema de tareas por objetivos.	5
Tabla 3.1: Métodos de sintonización de procesos autorregulados	18
Tabla 3.2: Métodos de sintonización para procesos integrantes	19
Tabla 4.1: Variables de los procesos	20
Tabla 4.2: Módulo virtual de nivel (N45)	25
Tabla 4.3: Módulo virtual de flujo (N34)	26
Tabla 4.4: Planta de temperatura	28
Tabla 4.5: Parámetros y configuración CM1241	31
Tabla 5.1: Parámetros K_c , T_i y T_d para la planta de temperatura.	55
Tabla 5.2: Parámetros K_c , T_i y T_d para la planta de flujo.	56
Tabla 5.3: Parámetros K_c , T_i y T_d para la planta de nivel.	58
Tabla 5.4: Error en las lecturas entre la Interfaz SCADA y la planta virtual de nivel.	59
Tabla 5.5: Error de las lecturas entre la Interfaz SCADA y la planta virtual de flujo.	61
Tabla 5.6: Error de las lecturas entre la Interfaz SCADA y la planta industrial de temperatura.	62
Tabla 6.1: Presupuesto del proyecto	63
Tabla 6.2: Gastos Indirectos	63
Tabla 6.3: Gastos totales	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación PID para controladores_____	23
Función de Transferencia_____	23
Métodos de sintonía de procesos Autorregulables_____	24
Sobreimpulso (PEM%) de los controladores PID_____	35
Función de Transferencia de procesos autorregulables_____	60
Función de Transferencia de procesos Integrantes_____	63

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Diseño de un sistema SCADA para el control de procesos virtuales.

Fecha de inicio:

25 de octubre del 2021

Fecha de finalización:

14 de marzo del 2022

Lugar de ejecución:

Cotopaxi, Latacunga, laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica

Equipo de Trabajo:

Ing. Mgs. Byron Paúl Corrales Bastidas

Córdova Chuquitarco Alex Santiago

Tapay Tapaicela Manuel Cipriano

Área del Conocimiento:

071 Ingeniería y Profesiones Afines

0714 Electrónica y Automatización

Línea de investigación:

Procesos industriales

Sublíneas de investigación de la Carrea:

Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN:

2.1. EL PROBLEMA:

2.1.1. Situación Problémica:

En la actualidad muchas industrias están encaminados a la mejora de su infraestructura enfocados en la automatización e implementación de nuevas tecnologías, que permitan integrar las variables mediante un sistema SCADA de todos los procesos que involucran la producción en una empresa pública o privada.

Las variables de control más empleados en las industrias son el nivel, flujo y temperatura las mismas que son ampliamente manejados en las plantas lácteas, envasado de bebidas, plantas de tratamiento de aguas residuales entre otros. En muchas industrias cada proceso de las variables mencionadas es controlados localmente mediante un autómatas PLC, las plantas de producción a menudo son automatizadas en base a las necesidades que se dieron por la escalabilidad de la empresa.

Las diferencias en las versiones de los PLC's. que se encargan de controlar cada proceso de la planta dificultan la centralización de información y la administración de todos los procesos.

La implementación y el desarrollo del sistema SCADA con procesos reales son de elevados costos, por lo cual no se pueden realizar prácticas de varios procesos que se presentan en la industria. Las prácticas que se realizan en las aulas implican como elementos de adquisición de datos y controladores a elementos económicos y básicos.

2.1.2. Formulación del Problema:

La falta de un sistema SCADA para el control de una planta real de temperatura y los procesos virtuales de nivel y flujo, provoca que las variables no se monitoreen en tiempo real, causando fallas en el control de procesos.

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1. Objeto de estudio

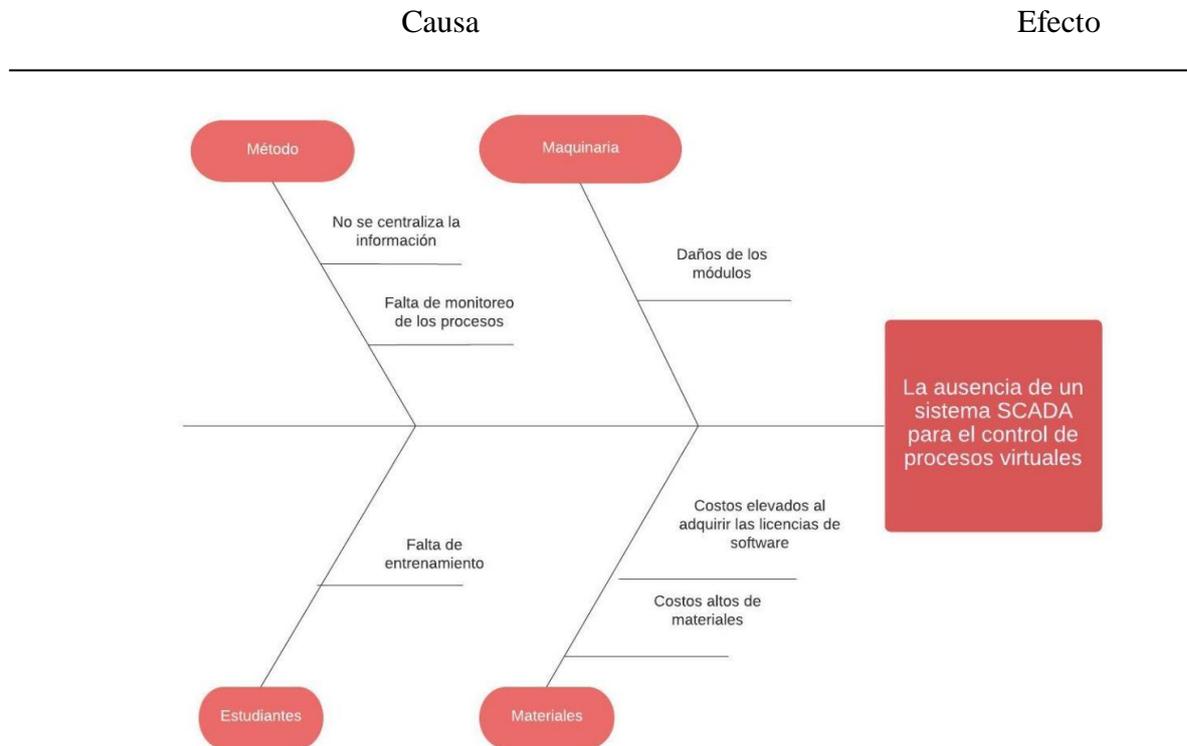
El sistema SCADA en procesos virtuales.

2.2.2. Campo de Acción

3311 tecnología de la Instrumentación 3311.01

Tecnología de la Automatización 3311.02

2.2.3. Diagrama de ISHIKAWA



2.3. BENEFICIARIOS:

2.3.1. Beneficiarios Directos

Estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.3.2. Beneficiarios Indirectos

Comunidad Científica.

2.4. JUSTIFICACIÓN:

El presente trabajo es de interés, ya que reconoce nuevas alternativas para el desarrollo de aplicaciones en el campo de la automatización industrial, mediante la cual se puede aprovechar las capacidades brindadas en el mismo para el control y monitoreo de los sistemas automatizados previo a su implementación en la realidad.

En esta investigación se ha identificado un problema el cual es la falta de control y monitoreo de los procesos virtuales y una planta real, para aquello se realizará una investigación para realizar un

sistema SCADA que se encargará de centralizar la información adquirida de los procesos virtuales y la planta real.

Para esto se desarrollará una interfaz en la plataforma IGNITION que permitirá adquirir datos los cuales permitirán monitorear y controlar dicho sistema. También es necesario la utilización de un software de licencia libre que nos permita realizar el sistema SCADA, de igual manera se implementará un PLC maestro quien será el encargado de recibir la información de los procesos virtuales. Para complementar se implementará protocolos de comunicación (Modbus y Ethernet).

2.5. HIPÓTESIS

El desarrollo de un sistema SCADA de un proceso real de temperatura y los procesos virtuales de nivel y flujo, a través de protocolos de comunicación Modbus y Ethernet que permitirá el control y monitoreo de todas las variables en una estación centralizada de todos los procesos en tiempo real.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo General

Diseñar un sistema SCADA de un proceso real de temperatura y dos procesos virtuales de flujo y nivel, mediante protocolos de comunicación (Modbus y Ethernet), para el control y monitoreo de las variables.

2.6.2. Objetivos Específicos

- Investigar la dinámica de los procesos de temperatura, flujo y nivel, los sistemas SCADA, sus características y funcionalidad.
- Seleccionar cada uno de los componentes para la elaboración del sistema de control y monitoreo de los procesos de nivel, flujo y temperatura.
- Implementar los protocolos de comunicación Modbus RTU, Ethernet y OPC en el sistema SCADA.
- Validar el funcionamiento, mediante una guía práctica para el control y monitoreo de los procesos de nivel, flujo y temperatura.

Tabla2.1: Sistema de tareas por objetivos.

Objetivos específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, medios e Instrumentos
Investigar la dinámica de los procesos de temperatura, flujo y nivel, los sistemas SCADA, sus características y funcionalidad.	Revisión de información bibliográfica, papers, tesis, artículos científicos, entre otros, referente a los procesos de nivel flujo y temperatura y los sistemas SCADA	La información encontrada ayudará a realizar una redacción técnica científica para la elaboración del marco teórico, corroborando con las referencias bibliográficas.	Revisión de información mediante el uso de internet en el que se encontraron tesis, libros y artículos científicos.
Seleccionar cada uno de los componentes para la elaboración del sistema de control y monitoreo de los procesos de nivel, flujo y temperatura.	Verificación de los elementos a implementarse en el proceso de control y monitoreo.	Con la información obtenida se seleccionaron los PLC's S7-1200, un módulo CB1232 de salidas analógicas y los módulos Modbus CM 1241.	Revisión de manuales y proyectos de investigación para la selección de componentes.
Implementar los protocolos de comunicación y el sistema SCADA.	Diseño y programación de la interfaz SCADA con	Una interfaz de los todos los procesos virtuales con un panel principal y secundarios	Investigación de los protocolos de comunicación Modbus RTU y

	<p>los parámetros de las plantas virtuales y la planta real.</p> <p>Comprobar la comunicación entre las plantas y el PLC maestro.</p>	<p>para cada proceso.</p> <p>Una comunicación eficiente entre las plantas industriales y el PLC maestro</p>	<p>Ethernet con distintas versiones de PLC's S7-1200.</p>
<p>Validar el funcionamiento, mediante una guía práctica para el control y monitoreo de los procesos de nivel, flujo y temperatura.</p>	<p>Adquisición de datos de los tres procesos.</p> <p>Realizar pruebas de funcionamiento de los procesos utilizados para la medición de las variables</p>	<p>Determinar que las variables monitoreadas y controladas en la interfaz SCADA coincida con los valores de las plantas.</p>	<p>Visualización de las variables en las plantas y en la interfaz SCADA.</p>

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. Antecedentes

En el proyecto elaborado por Anacleto Medina John Jairo y Yatampala Cunachi Bryan Rafael manifiestan que la implementación de un sistema SCADA para el monitoreo de las variables de temperatura, humedad y nivel en el invernadero #2 de la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache, ayudará con el desarrollo y producción de los cultivos [1].

El proyecto realizado por Alvarez Pastuña Jorge Enrique y Mosquera Masabanda, Bryan Stalin se ha implementado un sistema SCADA para el control, monitoreo y análisis de indicadores de operación del invernadero del Campus Salache, dicho proyecto fue elaborado por la falta de un sistema de automatización, el cual es necesario para el desarrollo óptimo del crecimiento de las semillas y granos andinos [2].

Se desarrolló en el proyecto de titulación de Andagana Paredes, Luis Adrián y Taco Muñoz, Anderson Daniel la automatización de un sistema de riego por goteo, para poder resolver el problema del control de humedad y monitoreo de temperatura existente en el cultivo de mora, para esto se proporcionará agua en la cantidad justa y en el momento necesario para mantener estas variables dentro de los rangos aceptables [3].

En la tesis de López Herrera, Joseph Michael y Vargas Soria, Luis Esteban, se ha implementado un sistema SCADA para el control de temperatura de dos hornos a través de una red Ethernet, con el fin de adquirir habilidades prácticas para la supervisión y control de procesos de temperatura empleando redes de comunicación [4].

En el proyecto de investigación se ha implementado un control PID que permitirá controlar las variables de caudal sin generar muchas perturbaciones, para este proyecto se desarrollará un software que nos permitan adquirir nuestras constantes y con estos establecer cada uno de los parámetros de sintonización [5].

3.2. Automatización

La Real Academia de Física Exacta y Ciencias Naturales define la automatización como la ciencia que se ocupa de métodos y procedimientos cuyo fin es sustituir a operadores humanos por un operador artificial para realizar tareas físicas o mentales previamente programadas.

Por definición, pegándose al ámbito industrial, la automatización se puede definir como el estudio y la aplicación de la automática en control de procesos industriales, ya sea de circuito abierto o de circuito cerrado. Cuando se refiere de automatización de procesos de fabricación, se engloba en la

automatización de procesos de fabricación continua como la automatización de procesos de fabricación discontinuos [6].

En otros términos, la automatización industrial se refiere al uso de sistemas mecánicos, electrónicos o computarizados para controlar procesos y sistemas industriales, reduciendo así la intervención humana. El objetivo básico de la automatización de procesos es combinar elementos que controlen el funcionamiento de la instalación, de la máquina o del sistema en general, para reducir los costos de producción, eliminar el trabajo laborioso e inseguro y mejorar el rendimiento de la producción bajo demanda [7].

Las técnicas utilizadas en los procesos de control tienen como objetivo contralar las variables de tal manera que sigan correctamente las instrucciones asignadas, siendo, en lo posible, resistentes a las perturbaciones.

En general la automatización implica la aplicación y el conocimiento de tres disciplinas, la mecánica, electrónica y la informática (hardware y software), incluyendo:

- Sistemas de regulación
- Máquinas con control numérico
- Sistemas de almacenamiento y transporte
- Sistemas de comunicaciones
- Robots industriales
- Sistemas de actuación

En la actualidad los sistemas de fabricación las operaciones están automatizadas y/o computarizadas. No obstante, en los sistemas de fabricación se debe incluir a las personas quienes son los encargados en poner en funcionamiento y deben ser tomados en cuenta en los procesos de automatización. En varios sistemas altamente automatizados no hay virtual participación humana en la planta de producción [6].

3.2.1. Pirámide De Automatización

En la actualidad la automatización es la integración de tecnologías que están representada en la llamada "pirámide de automatización", que reúne los cinco niveles tecnológicos que se pueden encontrar en un entorno industrial. En la Figura 3.1. se muestra las diferentes ramas de la ingeniería que convergen en la automatización.

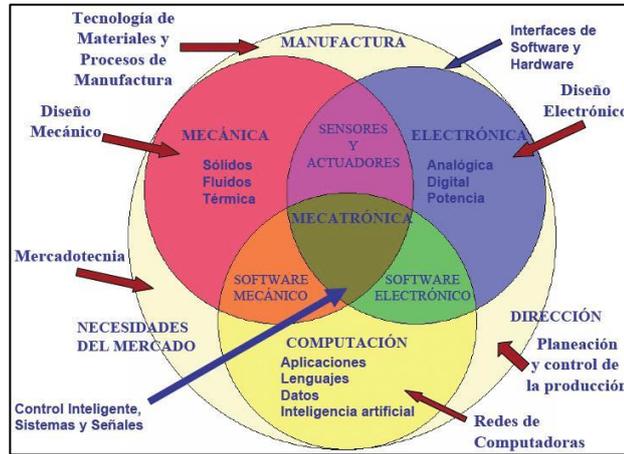


Figura 3.1. La automatización como una convergencia de las tecnologías [8].

Una parte importante de la automatización es que es un proceso conformado por varios niveles de jerarquía, es por eso que se lo ha denominado pirámide de la automatización. En la Figura 3.2. se puede visualizar la llamada pirámide de la automatización, donde los primeros tres niveles corresponden a la automatización de máquina, en los que se encuentran elementos de software y hardware que permiten la adquisición, control y supervisión de datos, mientras en las etapas siguientes se están los temas de automatización organizacional, planeación, económica y administrativa, generalmente se simplifican estos niveles en un solo cuarto nivel denominado de gestión [9].



Figura 3.2. Pirámide de la automatización [10]

A. NIVEL DE CAMPO

En el rango jerárquico de la pirámide de la automatización este es el nivel más bajo denominado nivel de instrumentación. Se refiere a los instrumentos de medición y acción del proceso automatizado. En el que se puede mencionar los medidores de flujo, presión, densidad y temperatura, arrancadores suaves de bombas, actuadores de válvulas, solenoides, motores,

robots, entre otros [11]. Estos sensores y actuadores que interaccionan directamente con el proceso productivo se lo conocen como dispositivos de campo. Se caracterizan por el trabajo con poca información y su gestión es relativamente sencilla [6].

B. NIVEL DE CONTROL

En este nivel están los distintos dispositivos de control y monitoreo tales como: PLC's, HMI, variadores de frecuencia, etc. Los equipos de este nivel utilizarán datos del proceso proporcionados por los instrumentos del nivel de campo y darán consignas a los actuadores. [12]

C. NIVEL DE SUPERVISIÓN

En este nivel se puede observar, como están trabajando los procesos de la planta. Permitiendo controlar y supervisar las variables, en el cual se tiene interfaz virtual del proceso donde se ejecutan los mandos disponibles y observar posibles fallos o alteraciones del proceso por medio de alarmas [9].

D. NIVEL DE GESTIÓN

Es el punto más alto de la pirámide, es el encargado de realizar el control de la planta, además en este nivel puede realizar el control y monitoreo [9]. En otras palabras se puede decir que el nivel de gestión es considerado como el de administración a nivel gerencial, en muchos casos son una aplicación procedente del sistema de supervisión, que almacenan los datos recibidos para luego poder ser revisados cuando se necesite, para ser analizados y tomar acciones para mejorar.

3.3. SISTEMA SCADA EN EL CONTROL DE PROCESOS VIRTUALES

El crecimiento de las aplicaciones computacionales aplicadas en la industria ha incrementado la complejidad, eficiencia y confiabilidad de las operaciones. En particular, los sistemas SCADA como elementos de control y los procesos virtuales como herramientas de formación tienen un papel fundamental en la industria moderna. Para comprender mejor los conceptos básicos relacionados con estos temas, en este capítulo se realizará un análisis general del sistema SCADA [13].

3.3.1. Definición de sistema SCADA

El sistema SCADA es una herramienta de automatización y control industrial utilizada en los procesos productivos que puede controlar, supervisar, recopilar datos, analizar datos y generar informes a distancia mediante una aplicación informática. Su función principal es evaluar los datos para corregir posibles errores [14]. Los sistemas de control y adquisición de datos son aplicaciones de software especialmente diseñados para funcionar sobre ordenadores, en el control de producción proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando de forma automática desde la pantalla de un ordenador.

A continuación, en la Figura 3.3, se muestra el esquema básico de un sistema SCADA enlazado a

un proceso automatizado, que se corresponde a los primeros tres niveles de la pirámide de automatización.

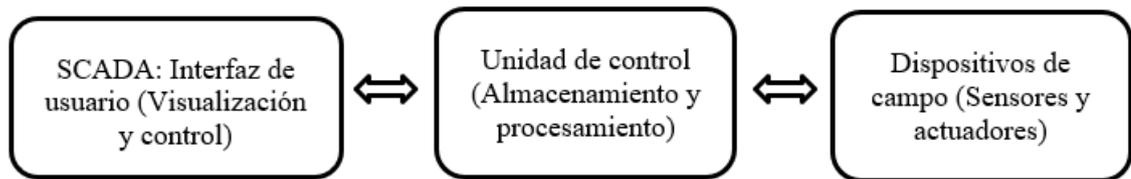


Figura 3.3. Esquema del sistema SCADA [9]

3.3.2. Redes de comunicación industrial

Las redes de comunicación industrial se encuentran diseñadas y elaboradas para manejar el control en tiempo real y la integridad de los datos a la vez que se instalan en grandes industrias que pueden operar en entornos difíciles. Cada uno de los niveles de la pirámide de la automatización cuenta con redes de comunicación cuya aplicación se basa según las siguientes características [15]:

- Volumen de datos: cantidad de datos que viajan por la red en cada envío.
- Velocidad de transmisión: velocidad a la que viajan los datos en la red.
- Velocidad de respuesta: velocidad que hay entre el momento de dar la orden y la respuesta del dispositivo [9].

3.3.3. Bus de campo

Es un sistema de dispositivos de campo (sensores y actuadores) y dispositivos de control, que comparten un bus digital serie bidireccional para compartir información entre ellos, reemplazando a la convencional transmisión analógica punto a punto. En la Figura3.4 [16]

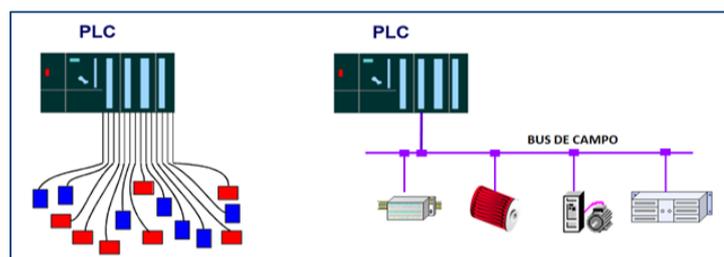


Figura 3.4. Comparación entre un cableado normal y un bus de campo [16]

Se puede observar cómo se ha podido sustituir el cableado entre sensores, actuadores, y controladores, en una sola red, y dependiendo de cada aplicación reduce el uso de recursos al máximo.

3.3.4. Protocolo MODBUS

El Protocolo Modbus es una estructura de mensajería desarrollada por Modicon (Modular Digital Controller) en el año 1979, Con la finalidad transmitir información entre controladores y sensores mediante un puerto RS-232.. Se utiliza para establecer una comunicación maestro-esclavo/cliente-

servidor entre dispositivos. Modbus tiene muchas opciones de protocolo de automatización industrial. Pero los dos más utilizados son el Modbus RTU (Remote Terminal Unit) y el Protocolo de Control de Transmisión Modbus (TCP/IP) [17].

En Modbus, la transmisión de datos es serial, un bit sigue a otro y la comunicación es del tipo maestro – esclavo, existiendo en el bus un solo dispositivo maestro y varios dispositivos esclavos conectados, el maestro es el encargado de tomar la iniciativa de intercambio de información, no pudiendo los esclavos comunicarse directamente [16].

3.3.5. Modbus RTU & Modbus TCP/IP

El modo Modbus RTU es la implementación más común, pero el Modbus TCP/IP está ganando terreno y está listo para superarlo. Modbus es un estándar abierto y es un protocolo de red industrial muy utilizado en el entorno de la fabricación industrial.

Una comunicación Modbus siempre es iniciada por el nodo maestro al nodo esclavo. Los nodos esclavos nunca transmitirán datos sin recibir una solicitud del nodo maestro ni se comunicarán entre sí. El nodo maestro inicia sólo una transacción Modbus al mismo tiempo.

El modo Modbus RTU es la implementación más común, usando la codificación binaria y la comprobación de errores CRC. El protocolo RTU es un protocolo binario eficiente en el que cada ocho bits (un byte) de un mensaje contiene dos caracteres hexadecimales de cuatro bits. Cada mensaje debe ser transmitido en un flujo continuo. El formato de cada byte (11 bits) en el modo RTU es: Sistema de codificación: binario de 8 bits, Bits por Byte: 1 bit de inicio, 8 bits de datos, el bit menos significativo enviado primero, 1 bit para completar la paridad, 1 bit de parada [18].

Los paquetes Modbus RTU sólo están destinados a enviar datos; no tienen la capacidad de enviar parámetros, como el nombre del punto, la resolución, las unidades, entre otros.

El RTU es extremadamente popular para las redes de control industrial, ya que existe desde hace mucho tiempo, y hay mucho hardware y software que lo soporta.

Modbus TCP/IP es básicamente el protocolo Modbus RTU usando la interfaz TCP en una red Ethernet. La estructura de datos Modbus se define utilizando la capa de aplicación usada en el protocolo TCP/IP. El TCP, o protocolo de transporte, se utiliza para garantizar que los datos se reciben y envían correctamente, y el IP es la dirección y la información de enrutamiento [19].

3.3.6. Características del protocolo MODBUS.

Es el protocolo de comunicación que más se usa en procesos industriales por todas las ventajas que presenta, es considerado un protocolo muy seguro cuando se realiza el control sobre diferentes dispositivos.

En la Figura 3.5. se establece las características y ventajas más sobresalientes del protocolo MODBUS.

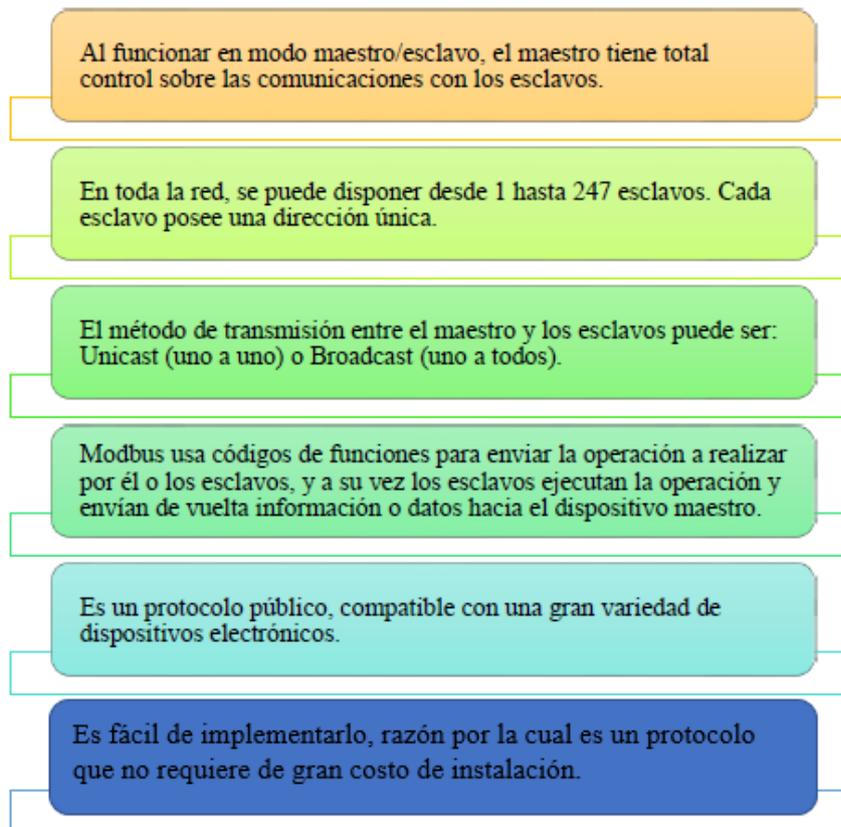


Figura 3.5. Características del protocolo Modbus [9]

3.3.7. Protocolo Ethernet.

Es esencialmente un método de comunicación entre computadoras y otros dispositivos de una red, cualquier nodo de la red puede comunicar con otro nodo, revisa si la red está ocupada y espera y trata de enviar la información después cuando esté disponible [17].

En la Figura 3.6. Se puede ver el método de comunicación por protocolo ethernet.

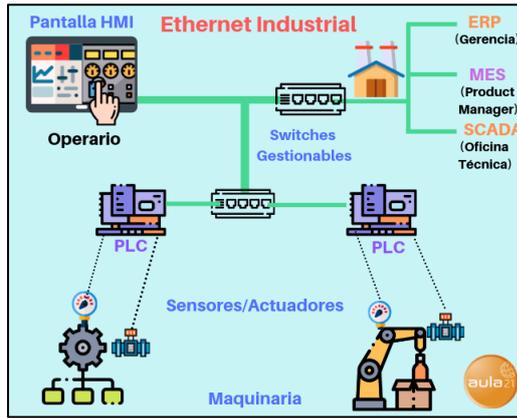


Figura 3.6. Protocolo ethernet [20]

3.3.8. Arquitectura del sistema SCADA

La arquitectura básica de un sistema SCADA está compuesta por controladores lógicos programables (PLC) o unidades terminales remotas (RTU). Los PLC's y las RTU son microprocesadores que se comunican con una serie de instrumentos, tales como maquinaria de fabricación, HMI, sensores y dispositivos finales.

Con posterioridad, dirigen la información de esos objetos a computadoras con software SCADA. Este mismo procesa, distribuye y muestra los datos, ayudando a los operarios y a los técnicos de mantenimiento a analizar los datos y a tomar decisiones importantes [21].

En la Figura 3.7. Se puede ver la arquitectura del sistema SCADA

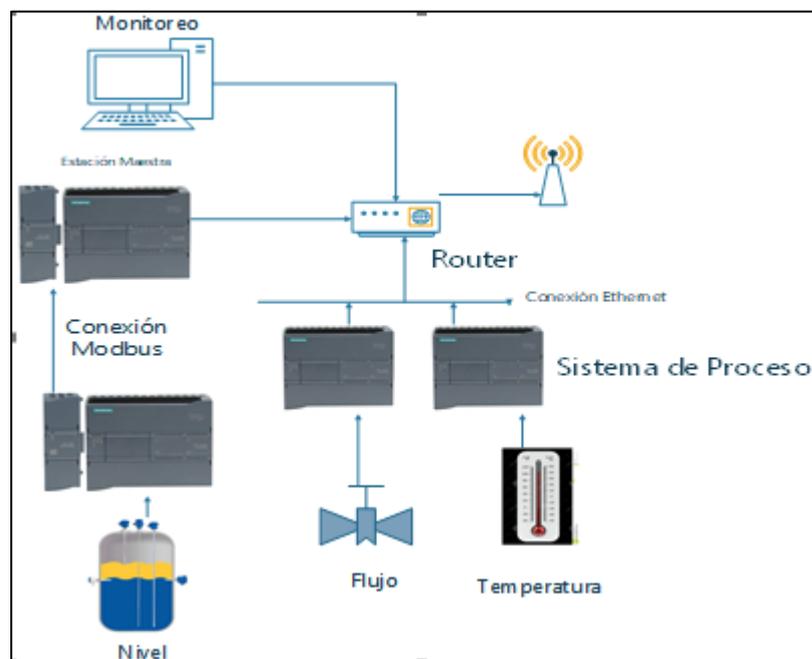


Figura 3.7. Arquitectura del sistema SCADA

3.4. PARTES O ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN SISTEMA SCADA.

3.4.1. Estación Maestra

La estación maestra recibe datos de las condiciones de los equipos en campo, la cual es enviada por las estaciones remotas, que actúan a modo de emisoras. Así, su principal función es la del procesamiento de la información que recibe, tras lo cual envía una serie de comandos a aquellas estaciones remotas para así mantener las variables de los procesos dentro de los parámetros establecidos [22].

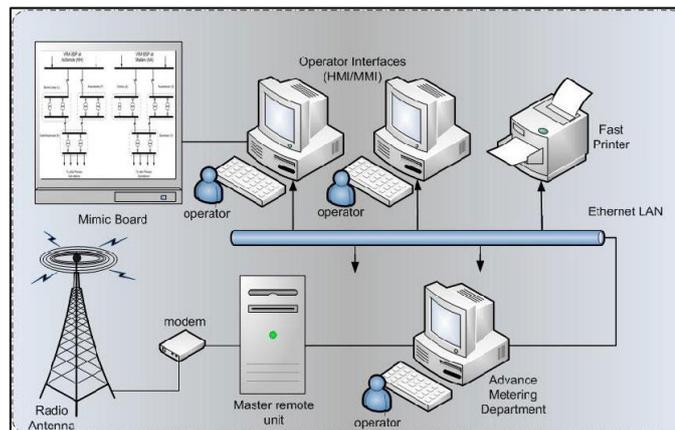


Figura 3.8. Estación maestra [23]

3.4.2. Unidades Remotas

Las unidades remotas están encargadas de controlar todas las señales de entrada y las de salida del campo: válvulas, equipos de medición, motores. Lo que permiten monitorear en tiempo real de los dispositivos que se encuentran en el campo y, además, almacenan todos los estados de las alarmas. Así, una de sus principales funciones es la de enviar datos y recibir órdenes de la estación maestra. [23]

3.4.3. Estación de Supervisión

La estación de supervisión permite al usuario la visualización en tiempo real mediante una interfaz gráfica que muestra el estado en el que se encuentra al proceso [23].

3.5. SOFTWARE SCADA IGNITION

Ignition SCADA, es un software que pertenece a Ignition, que fue fundado por la empresa Inductive Automation, el cual proporciona las principales características de un sistema SCADA, además Ignition SCADA está basado en la web [24]. Como se puede observar en la Figura 3.8.

Ignition SCADA trabaja como una clase de servidor ya que está basado en tecnología web, esto quiere decir que todas las funcionalidades se configuran a través de un cliente web, ejecuta varias aplicaciones en paralelo a diferencia de un monitoreo tradicional. Ignition SCADA puede crear y utilizar diferentes sistemas de supervisión para: salas de control y supervisión.

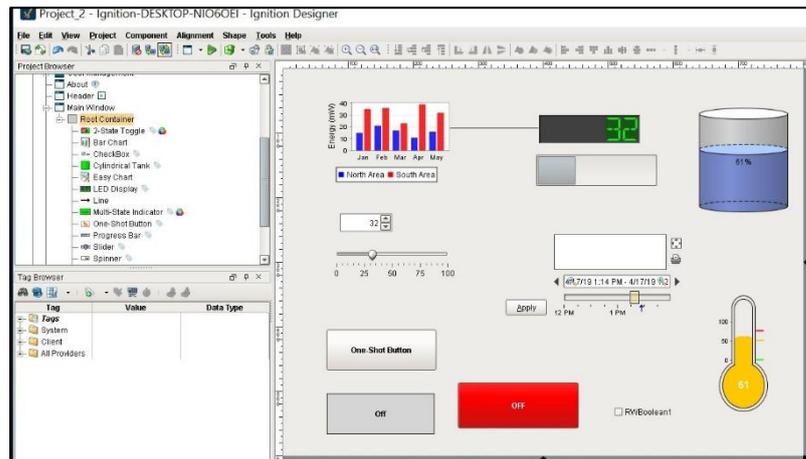


Figura 3.9. Interfaz de la plataforma Ignition SCADA [25]

Los datos de proceso de control, se guardan de manera segura y libre acceso, es compatible con cualquier base de datos SQL [24].

Una de las grandes ventajas que brinda Ignition SCADA, es el paso ilimitado de usuarios a las aplicaciones que permitirá el control y supervisión de la línea de producción [24].

Al igual que Visual Studio, Ignition SCADA trabaja con softwares adicionales que implementa controladores necesarios para la comunicación con PLC's. Dentro de sus múltiples características en el sistema SCADA se puede encontrar [24].

- Alarmas
- Base de Datos
- Históricos

3.6. COMUNICACIÓN OPC

El sistema OPC es un modelo de comunicación en el campo del control y supervisión de que se encuentran en la industria, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece una interfaz común para comunicación que permite que interactúen individualmente los componentes de software [26]. Conocido como el estándar de conectividad de datos más utilizado para la comunicación entre los controladores, dispositivos, aplicaciones y otros sistemas basados en el uso de transferencia de datos.

OPC es un sistema abierto con la facilidad de intercambiar datos desde los dispositivos de nivel de campo. Figura 3.10.

Los dos tipos de componentes OPC, son:

- **Cientes:** Son aquellos que se comunican con el servidor para poder acceder y permitir el

funcionamiento del sistema.

- **Servidor:** Es el encargado de almacenar y administrar los datos de los diferentes elementos de campo y permite acceder libremente a dichos elementos desde otras aplicaciones que necesiten información [20].

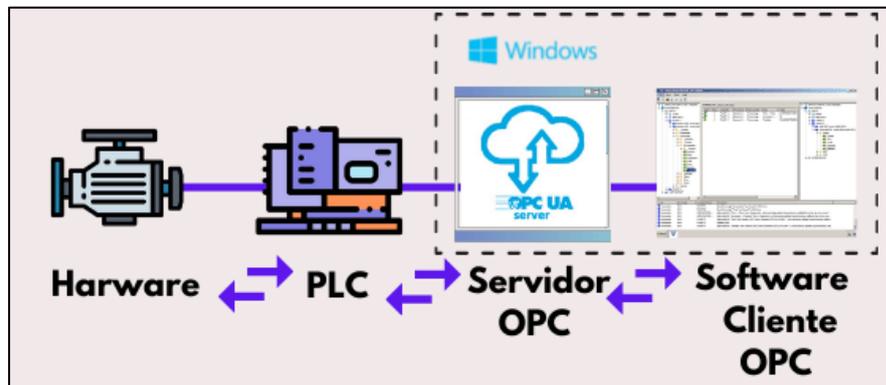


Figura 3.10. Comunicación OPC [20]

3.6.1. Tipos de datos soporta OPC

Los tipos transferencia de datos más comunes entre dispositivos, controladores y aplicaciones en automatización se pueden encuadrar en tres categorías [27]:

- (a) Datos de tiempo real.
- (b) Datos históricos.
- (c) Alarmas y Eventos.

3.6.2. Beneficios de utilizar el ESTÁNDAR OPC

Una aplicación cliente OPC puede libremente comunicarse con cualquier servidor OPC visible en la red, sin la necesidad de usar ningún driver específico para la fuente de datos [27]. Entre los beneficios aporta esta tecnología en un sistema de automatización industrial sobresalen [20]:

- Reducción de la carga en el dispositivo de hardware.
- Aumento de la escalabilidad del sistema.
- Debido al servidor OPC, las aplicaciones cliente no necesitan saber nada sobre los detalles del protocolo de hardware.
- Estandarización

3.7. CONTROLADORES PID

Un controlador o regulador PID este dispositivo admite controlar un sistema en lazo cerrado para

que alcance el estado de salida deseado. El controlador PID se compone de tres elementos que brindan una acción Proporcional, Integral y Derivativa. Partiendo de estas tres acciones se da el nombre de PID [28].

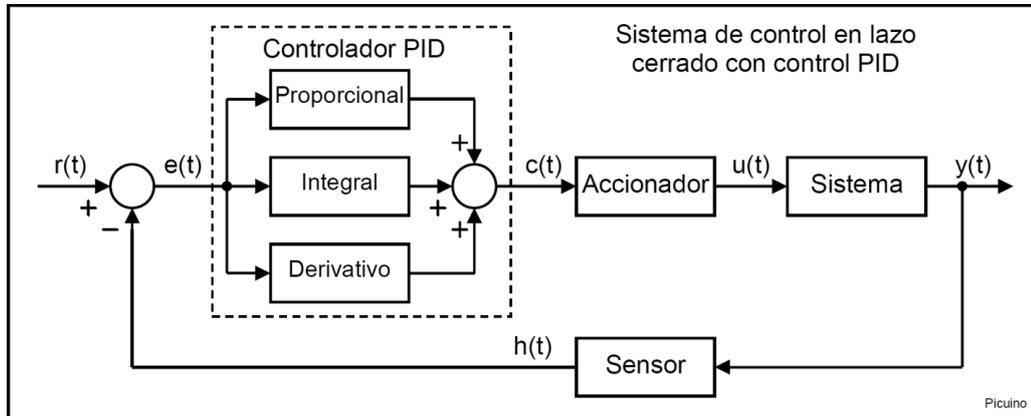


Figura 3.11. Controlador PID [28]

Ecuación PID más usada para los controladores es:

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$

Función de transferencia

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \quad (3.2)$$

3.8. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID

3.8.1. Métodos de sintonización de procesos autorregulados

Los métodos más utilizados en la industria para los controladores PID en procesos autorregulados se describen en la siguiente tabla 3.1, donde se puede observar las fórmulas correspondientes para el cálculo de las constantes K_c , T_i y T_d , proporcional e integral y derivativo respectivamente [29].

Tabla 3.1: Métodos de sintonización de procesos autorregulados

Método de sintonía	K_c	T_i	T_d
López, Miller	$K_c = \frac{1.435}{K} \left(\frac{L}{T} \right)^{-0.921}$	$T_i = \frac{T}{0.878} \left(\frac{L}{T} \right)^{0.749}$	$T_d = 0.482T \left(\frac{L}{T} \right)^{1.137}$

PI Lambda	$K_C = \frac{T}{K(L + \lambda)}$	$T_i = T$	0
PID Lambda	$K_C = K'_c \frac{T'_i T'_d}{T'_i}$	$T_i = T'_i + T'_d$	$T_d = \frac{T'_i T'_d}{T'_i + T'_d}$
Ziegler and Nichols	$\frac{aT_m}{K_M \tau_m}$	$2\tau_m$	$0.5\tau_m$

3.8.2. Métodos de sintonización para procesos integrantes

Los métodos más utilizados en la industria para los controladores PID en procesos integrantes se describen en la siguiente tabla 3.2, donde se detallan las fórmulas correspondientes para el cálculo de las constantes K_c , T_i y T_d , proporcional e integral y derivativo respectivamente [29].

Tabla 3.2: Métodos de sintonización para procesos integrantes

Método de sintonía	K_c	T_i	T_d
Ford	$\frac{1.48}{K_m \tau_m}$	$2\tau_m$	$0.37\tau_m$
Astrom and Haugglund	$\frac{0.94}{K_m \tau_m}$	$2\tau_m$	$0.5\tau_m$
Rotach	$\frac{1.21}{K_m \tau_m}$	$1.60\tau_m$	$0.48\tau_m$
Lambda	$K_C = \frac{2\lambda + T_d}{K_p(\lambda + T_d)^2}$	$T_i = 2\lambda + T_d$	0

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. DECLARACIÓN DE VARIABLES

(a) Variable dependiente

Funcionamiento de un sistema SCADA mediante protocolos de comunicación Ethernet, Modbus RTU y OPC.

(b) Variable independiente

Control y monitoreo de varios procesos:

Tabla 4.1: Variables de los procesos

Variables Independiente	Unidad de medida	Instrumento de medición
Nivel	cm	Sensor de nivel
Flujo	l/min	Sensor de flujo
Temperatura	°C	Termocupla

4.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN.

Los tipos de investigación empleados en el desarrollo de un sistema SCADA para los procesos de nivel, flujo y temperatura son de tipo exploratorio, descriptiva, campo, experimental.

4.2.1. Investigación Exploratoria.

Este tipo de investigación es importante en los sistemas SCADAS porque permite explorar las condiciones de las plantas, tales como: los voltajes y corrientes de las salidas y entradas de los sensores y transmisores que van a permitir parametrizar y normalizar las señales y mostrar en la interfaz como datos más sencillos de comprender y analizar.

4.2.2. Investigación Descriptiva.

Este tipo de investigación detalla los procedimientos que se siguen en los protocolos de comunicación Modbus RTU con los módulos RS485, el protocolo Ethernet, y la comunicación OPC que se emplean para realizar el sistema SCADA de los tres procesos en el software SCADA Ignition.

4.2.3. Investigación de campo.

Se emplea para recopilar datos del campo donde se ubican las plantas y realizar una evaluación detallada con un informe de las condiciones de los procesos de nivel, flujo y temperatura, ubicados

en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

4.2.4. Investigación Experimental.

Este tipo de investigación se emplea cuando se realiza las pruebas de control y monitoreo de las variables en las plantas de Nivel, Flujo y Temperatura, primero de manera individual y posterior en conjunto. También se emplea en las pruebas de comunicación con los protocolos Modbus y Ethernet que están conformado por Autómatas esclavos para comunicarse con un PLC maestro, este integrará todas las variables de los 3 procesos y enviará a una interfaz SCADA. El PLC de la planta de nivel se comunicará por protocolo Modbus mediante los módulos RS422/485, las plantas de flujo y temperatura se comunican con el maestro mediante el protocolo Ethernet, y finalmente el maestro emplea la comunicación OPC para enviar y recibir datos de la interfaz SCADA.

4.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

4.3.1. Método de análisis.

Este método permite analizar los procesos desde un enfoque general hasta las específicas de cada proceso, esto implica descomponer de cada planta todos los elementos y sus características y comprender las funcionalidades para una correcta transmisión de datos de cada una de las variables.

4.3.2. Método de medición.

En este método se analiza la adquisición de datos de cada variable y se normaliza para que el control y monitoreo se realice en una escala estándar y única para cada planta. En la planta de nivel se realiza de 0 a 100 cm, en el de flujo de 0 a 100 l/min, y en proceso de temperatura de 20 a 100° C.

4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.

Las plantas de los procesos virtuales para nivel y flujo integran sensores internos que arrojan señales normalizadas de 0 a 10 V y de 0 a 5 V, adicional la planta de control de temperatura es un elemento físico que dispone de un sensor RTD que cuenta con un transmisor de 0 a 400°C, con estas características se realiza las parametrizaciones de las señales.

En el caso de los actuadores las plantas virtuales también están dispuestos en las entradas de control con voltajes nominales de 0 a 10 V y 0 a 5 V, en la planta de temperatura (Horno) cuenta con una niquelina o resistencia eléctrica que es controlado mediante el cruce por cero, con una entrada de voltaje de 0 a 10 V.

4.4.1. Comunicación Modbus RTU.

La comunicación Modbus RTU es un tipo de protocolo que se realiza como maestro - esclavo y emplea registros en series de 4000X, una ID de identificación para cada esclavo y un byte de estado que controla el maestro para entrar en modo de lectura o escritura. En el SCADA del proyecto se emplea para recibir y enviar datos de la planta virtual N46 de nivel que está controlado con un PLC 1200, este se comunica con el maestro (PLC S7-1200 Master) identificándose como esclavo con el ID = 5, para esta comunicación se ha empleado 2 módulos RS422/485 de Siemens cada uno colocado en el maestro y esclavo.

4.4.2. Comunicación Ethernet.

Este tipo de transferencia es basado en Profibus o comunicación S7, una gran ventaja para utilizar este tipo de comunicación en los PLC S7-1200 de Siemens es que ya vienen integrado en la CPU y no necesitan de módulos adicionales, sin embargo, en las industrias es común encontrar integraciones de varios protocolos de comunicación.

En este proyecto se emplea este protocolo de comunicación para la transferencia de datos entre el módulo N35 de flujo y el Horno, cada uno controlado con un PLC S7-1200 de Siemens que se comunican con el PLC S7-1200 master mismo con el que se comunica el protocolo Modbus RTU.

4.4.3. Comunicación OPC.

Este protocolo de comunicación es empleado para la comunicación del PLC S7-1200 master con la interfaz SCADA Ignition, este software ya incluye una pasarela de comunicación OPC server y cliente que facilita la transferencia de datos, sin la necesidad de softwares externos.

4.4.4. Sensores.

Los sensores internos de las plantas virtuales representan al de nivel y flujo con salidas de voltajes de 0 a 10 V y 0 a 5 V, respectivamente.

El sensor del horno es un RTD PT-100 que tiene un transmisor con una salida de corriente de 4 a 20 mA el cual es implementado con una resistencia de 250 Ohm para obtener voltajes en un rango de 1 a 5 V que es admitido por la entrada analógica del PLC S7-1200.

4.4.5. Planta virtual N46 de nivel.

La planta virtual de nivel desarrollado por Brayan Alexander Bonilla Correa con el tema IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL (HARDWARE IN THE LOOP) PARA EL CONTROL DE NIVEL un software y hardware creado para representar un proceso de nivel real

existente en los laboratorios de la UTC, este consta de un procesador Rasperry PI que contiene una salida HDMI para visualizar la planta en un monitor, dispone de un sensor de nivel de 0 a 100 Litros (salida analógica 0-10 V), una bomba de 0 a 100 % de su potencia (Entrada analógica de 0-10 V), una perturbación que es la llave de descarga abierto de 0 a 100 % (Entrada analógica 0-10 V), y el set point que es ingresado mediante una entrada analógica(0-10 V) [30].

4.4.6. Planta virtual N35 de Flujo.

La planta virtual de flujo desarrollado por Flores Llugcha Luis Esteban y Herrera Lema Guillermo Alexander con el tema DISEÑO DE HARDWARE IN THE LOOP PARA CONTROL DE FLUJO también es un software y hardware que representa un proceso real de flujo que hay en los laboratorios de la UTC, este consta de una CPU de computadora con una pantalla integrado en el propio módulo que permite visualizar la planta en funcionamiento, dispone de un sensor de flujo de 0 a 100 L/min (Salida analógica 0-5 V), un bomba de agua de 0 a 100 % (Entrada analógica de 0 a 10 V) de su potencia, y un set point que es ingresado mediante una entrada analógica de 0 a 5 V [31].

4.4.7. Planta de temperatura.

Esta es una planta física desarrollado por López Herrera Joseph Michael y Vargas Soria Luis Esteban con el tema IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA DE DOS HORNOS A TRAVÉS DE UNA RED ETHERNET ubicada en los laboratorios de la UTC, el cual dispone de un sensor RTD PT-100 que dispone de una salida analógica de corriente de 4 a 20 mA, el cual tiene implementado un conversor de corriente a voltaje por medio de una resistencia de 250 Ohm en su salida, resultando un voltaje en un rango de (1-5V) [4].

4.4.8. Módulo de comunicación Siemens CM1241 RS422/485.

El módulo de comunicación Siemens CM 1241 RS422/485 – 6ES7241-1CH32-0XB0 de la figura 4.1 es un elemento para la conexión punto a punto mediante el protocolo Modbus RTU y serial en lenguaje ASCII, tiene una capacidad de transmisión a una distancia máxima de 1000 metros, cuenta con un conector hembra de Sub-D de 9. Para utilizar como interfaz RS485-Modbus se emplean los pines 4, 5 y 8 del conector DB9, mientras que si se emplea como la interfaz RS422-Modbus se utilizan los pines 1, 2, 3, 6 y 7. En esta tesis se emplea en modo RS485-Modbus por lo tanto se emplean solo tres pines para la comunicación. Para la comunicación exitosa entre dos PLC S7-1200 (PLC Master y el PLC de Nivel) se requieren de 2 módulos de este tipo. El datasheet del módulo se puede ver en anexo F [32].

La conexión de los dos módulos se realiza mediante CABLE ADAPTADOR SERIAL RS232 DB9 MACHO-MACHO, las características y especificaciones se adjunta en Anexo G.



Figura 4.1. Módulo de comunicación CM1241 RS422/485

4.4.9. Software SCADA Ignition.

Una plataforma abierta y escalable, que combina los beneficios de la implementación basada en web, licenciamiento ilimitado y las mejores herramientas para supervisión y adquisición de datos. A través de la relación estrecha con nuestros clientes, Ignition se ha posicionado como plataforma del futuro al solucionar los principales problemas de los SCADA antiguos [33].

4.5. METODOLOGÍA.

4.5.1. Diagrama de funcionamiento del sistema SCADA.

La interconexión del sistema SCADA para los 2 procesos virtuales flujo, nivel y una planta real de temperatura se puede observar en la figura 4.2. La planta de virtual de nivel se comunica con la estación maestra mediante el protocolo Modbus RTU, esta comunicación es posible con la implementación de dos módulos CM 1241 RS422/485 colocados uno en el PLC Maestro y el otro en el PLC de la planta virtual de nivel. La planta de flujo y temperatura se comunican con la estación maestro mediante el protocolo Ethernet, para esto se emplea un Router TP-Link como un switch mediante el cual se efectúa la configuración. La estación maestra recibe todos los datos de las plantas y envía inalámbricamente con el protocolo OPC UA a la plataforma SCADA diseñado en el software Ignition SCADA.

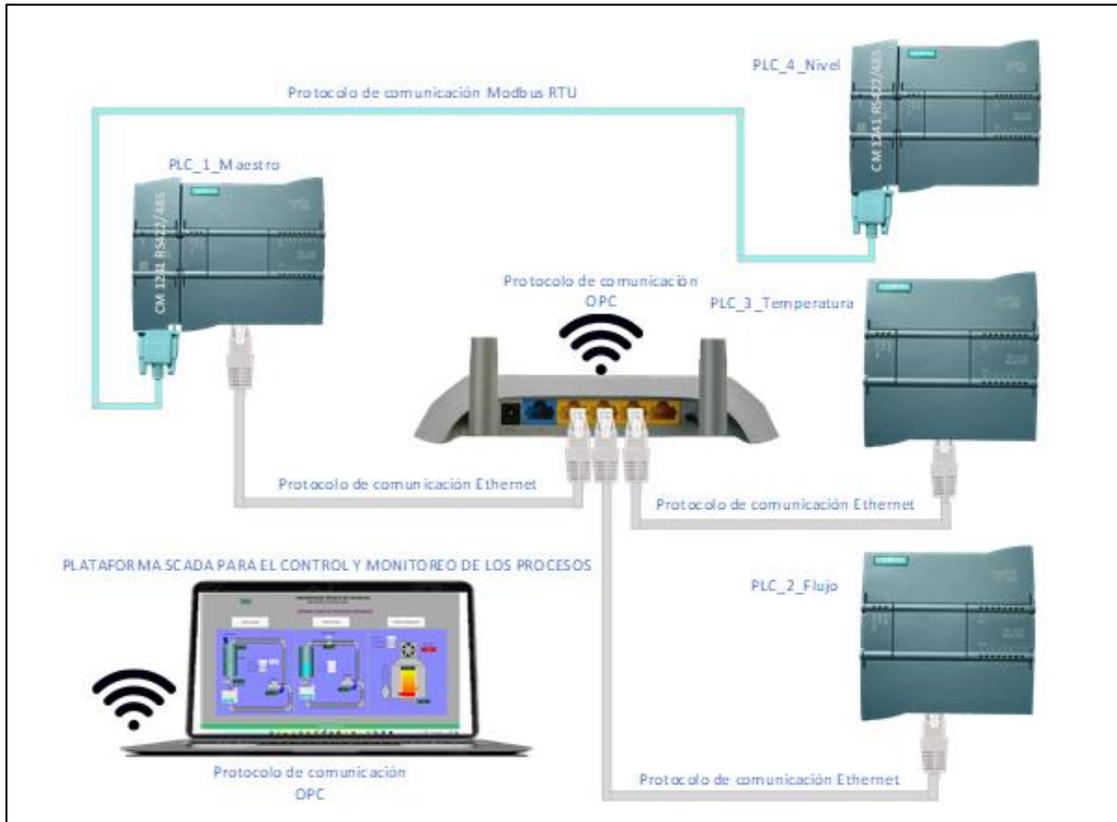


Figura 4.2. Interconexión de los elementos del sistema SCADA

4.5.2. Detalles de las entradas y salidas en las estaciones de nivel, flujo y temperatura.

4.5.2.1. Estación de Nivel N46.

El módulo N46 in hardware in the loop es una planta que consta de 2 entradas analógicas y 2 salidas analógicas normalizadas de 0 a 10 V como las variables del proceso Set Point, Control Value, Process Value y la perturbación. Estas señales se detallan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Módulo virtual de nivel (N45)

Set Point (SP)	Salida Analógica	0-10 V
Process Value (PV)	Salida Analógica	0-10 V
Perturbación	Salida Analógica	0-5 V
Control Value (CV)	Entrada Analógica	0-10 V

En la figura 4.3. se muestra el diagrama P&ID ANSI/ISA-S5.4 de la planta virtual de nivel N45.

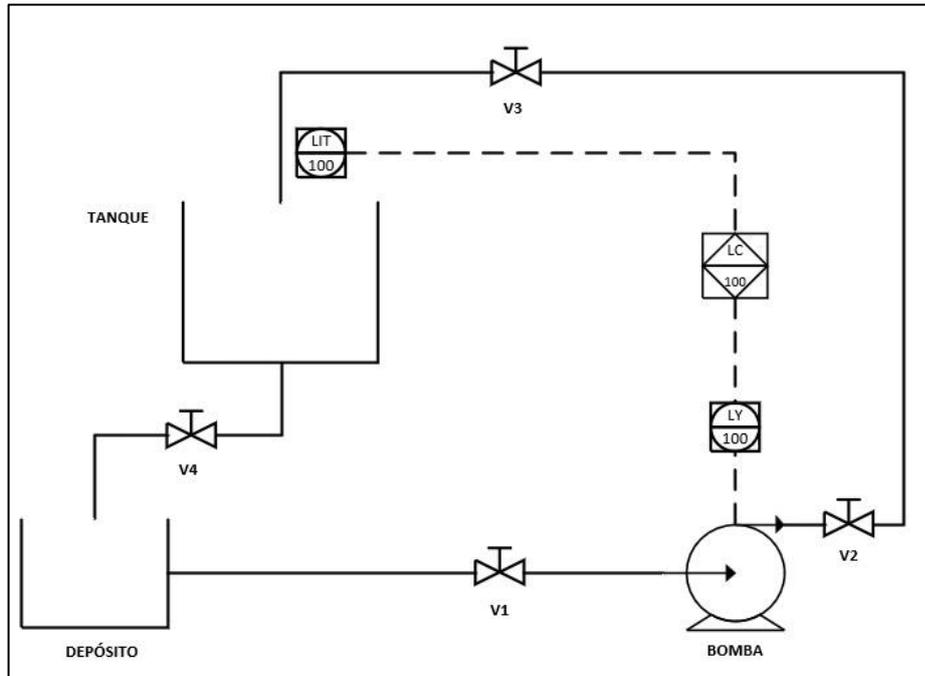


Figura 4.3. Diagrama P&ID ISA de la planta de nivel.

Señales de la planta de nivel

Señal de control (Control Value), se ingresa por la entrada analógica en un rango de 0 a 10 V a la planta para controlar el motor de la bomba que se encuentra en la planta virtual.

Señal de proceso (Process Value), Es la señal correspondiente a la lectura de nivel en un rango de 0 a 10 V, esta señal es proporcionado por el sensor interno de la planta.

Señal de consigna (Set Point), el escalón es directamente controlado desde la interfaz SCADA, que tiene una celda asignada para ingresar desde el centro de control. La planta también dispone de una señal de salida como consigna o set point en un rango de 0 a 10 V el cual no se empleará en este proyecto.

4.5.2.2. Estación de Flujo N35.

En la tabla 4.3. se detallan las entradas y salidas analógicas de las que dispone la planta virtual de flujo, tales como: Set Point, Process Value, y Control Value.

Tabla 4.3: Módulo virtual de flujo (N34)

Set Point (SP)	Salida Analógica	0-5 V
Process Value (PV)	Salida Analógica	0-5 V

Control Value (CV)	Entrada Analógica	0-10 V
--------------------	-------------------	--------

En la figura 4.4. se muestra el diagrama P&ID ANSI/ISA-S5.4 de la planta virtual de flujo N34.

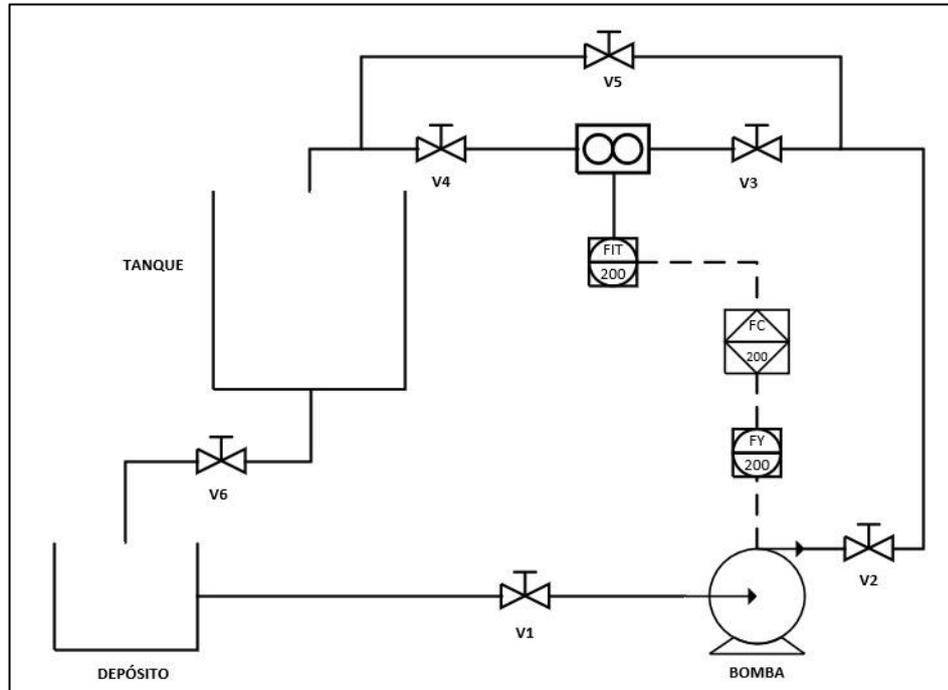


Figura 4.4. Diagrama P&ID ISA de la planta de flujo.

Señales de la planta de flujo

Señal de control (Control Value), corresponde a la señal de entrada a la planta en un rango de 0 a 10 V para controlar el motor de la bomba que se encuentra en la planta virtual.

Señal de proceso (Process Value), Es la señal correspondiente a la lectura de flujo en un rango de 0 a 5 V, esta señal es proporcionado por el sensor interno de la planta.

Señal de consigna (Set Point), el escalón es directamente controlado desde la interfaz SCADA al igual que en el de nivel, dispone de una celda para ingresar desde el centro de control. La planta también dispone de una señal de salida como consigna o set point en un rango de 0 a 5 V el cual no se empleará en este proyecto.

4.5.2.3. Planta de Temperatura

En la tabla 4.4 se muestran las variables del proceso correspondiente a la planta de temperatura que son: Set Point, Process Value, Control Value y la perturbación.

Tabla 4.4: Planta de temperatura

Set Point (SP)	Control SCADA	Control SCADA
Process Value (PV)	Salida analógica	4-20mA
Control Value (CV)	Entrada Analógica	0-10 V
Perturbación	Entrada Digital	0 -110 V

En la figura 4.5. se muestra el diagrama P&ID ANSI/ISA-S5.4 de la planta de temperatura (Horno).

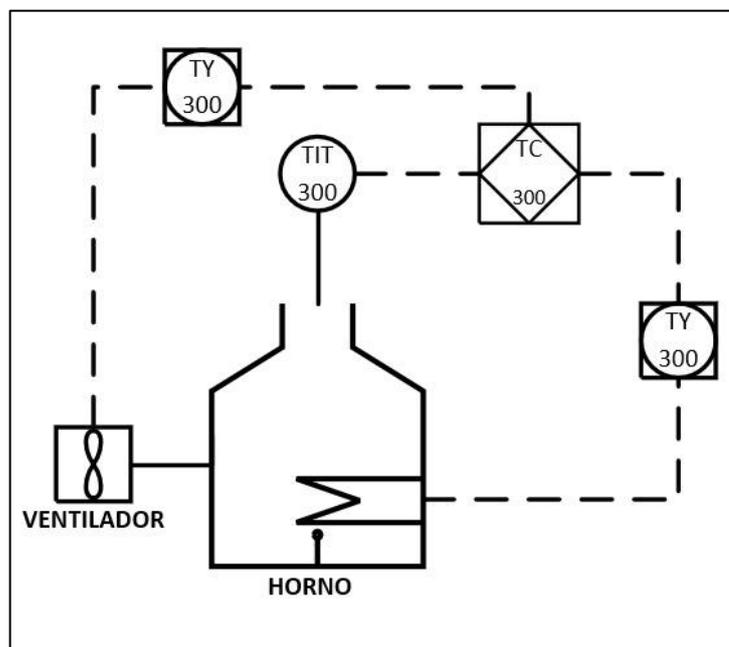


Figura 4.5. Diagrama P&ID ISA del proceso de temperatura.

Señales de la planta de Temperatura.

Señal de control (Control Value), esta señal con un rango de 0 a 10 V es ingresado a un módulo de control que funciona con el cruce por cero para variar el voltaje (0-110 V) de salida controlando la potencia en las resistencias (niquelinas) del horno.

Señal de proceso (Process Value) corresponde a la lectura de la temperatura que se obtiene mediante un sensor RTD-PT100 ubicado dentro del horno y un transmisor RTD que proporciona una salida de corriente de 4 a 20 mA.

Señal de consigna (Set Point), el escalón es directamente ingresado desde la interfaz SCADA.

4.6. Protocolos de comunicación en el desarrollo del sistema Scada.

4.6.1. Diagrama de flujo con los diferentes protocolos de comunicación en el sistema SCADA.

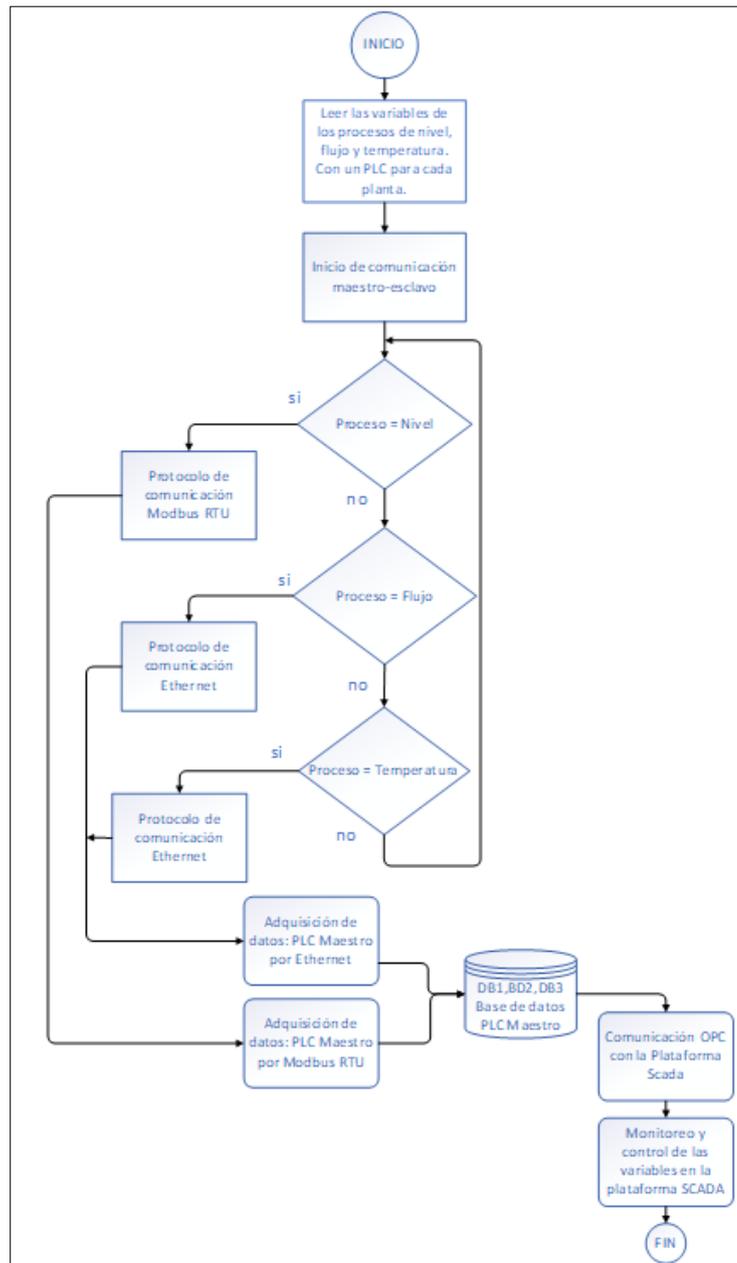


Figura 4.6. Diagrama de flujo de sistema SCADA para el control y monitoreo de procesos.

4.7. SOBRE IMPULSO (PEM%) EN LOS CONTROLADORES PID

Los diferentes métodos de sintonía se caracterizan por estabilizar la respuesta de un proceso con sobre impulsos que se calculan en función al valor de la consigna. Es importante determinar la relación entre un Set Point y el máximo sobre impulso para evitar pérdidas o daños en las plantas.

Al tratarse con sistemas de nivel el líquido se puede derramar si se producen excesivos sobre impulsos

La fórmula para calcular el sobre impulso es:

$$PEM\% = \frac{U(s)}{Y(s)} * 100\% - 100\% \quad (4.1)$$

4.8. DISEÑO DE LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN PARA EL SISTEMA SCADA.

Las configuraciones de los protocolos Modbus RTU, Ethernet y OPC se desarrollan de acuerdo al diagrama de flujo de la figura 4.

En esta sección se detallan las configuraciones que se realizan en el software de Tia Portal para emplear los protocolos de comunicación Modbus RTU y Ethernet.

4.8.1. Configuración para el envío y recepción de datos por el protocolo Modbus RTU

Para la configuración de envío y recepción de datos se colocan los módulos RS422/485 en los autómatas como se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7. PLC-1200 con el módulo CM 1241 RS422/485, fuente Autores.

Se crea un nuevo proyecto en Tia Portal y se agrega un PLC S7-1200. En este proyecto para la estación del maestro se utiliza una CPU (6ES7 212-1BE40-0XB0), este autómata será la central que integre los datos de los 3 procesos. Para la estación del esclavo Modbus RTU se emplea una CPU (6ES7 212-1BE31-0XB0) misma que estará ubicado en la planta virtual de nivel para controlar el proceso localmente.

Agregar los autómatas S7-1200 y los módulos CM1241 RS422/485 (6ES7 241-1CH32-0XB0) en la estación del maestro y esclavo respectivamente. Como se ve en la figura 4.8.

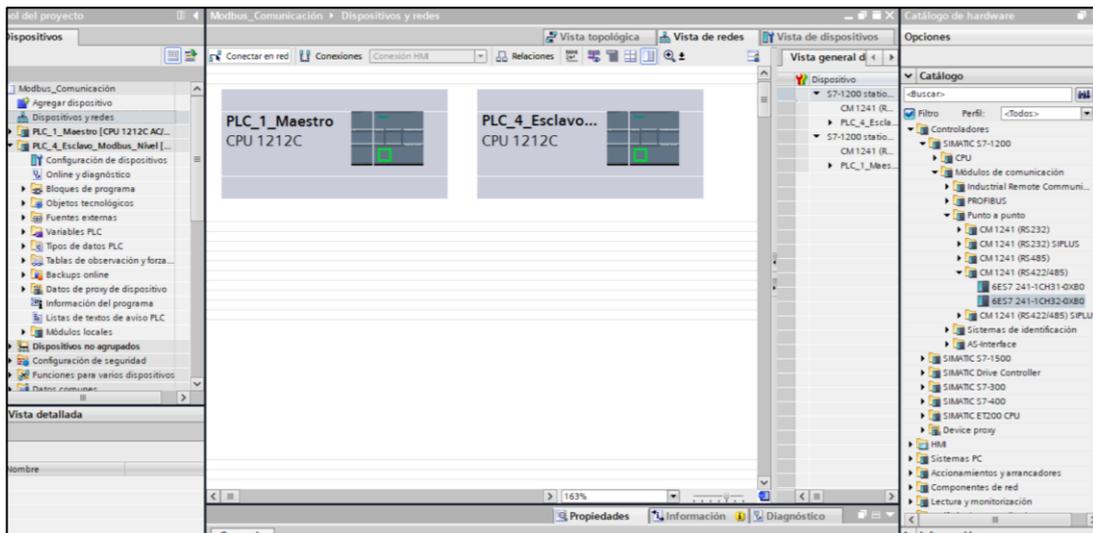


Figura 4.8. Agregar dispositivos y módulos.

Se procede a configurar los parámetros en los módulos CM1241 RS422/485, es importante que los módulos de la estación maestro y esclavo tengan las mismas configuraciones.

Para eso se selecciona el módulo CM1241 y se va a propiedades, luego a la opción de interfaz RS422/485 y se colocan los parámetros indicados en la tabla 4.5.

Estos son los parámetros más importantes configurados en este proyecto tanto en el módulo del esclavo y maestro. Una vez ingresado los datos

Tabla 4.5: Parámetros y configuración CM1241

Parámetros	Configuración
Protocolo	Freeport
Modo de operación	Semidúplex RS485 2hilos
Velocidad de transferencia	38.4 kbits
Paridad	Paridad par
Bits de datos	8 bits por carácter
Bit de parada	1

Todos los demás parámetros se dejan por defecto, salvo alguna aplicación especial se puede modificar. Los pasos se pueden ver en la figura 4.9.

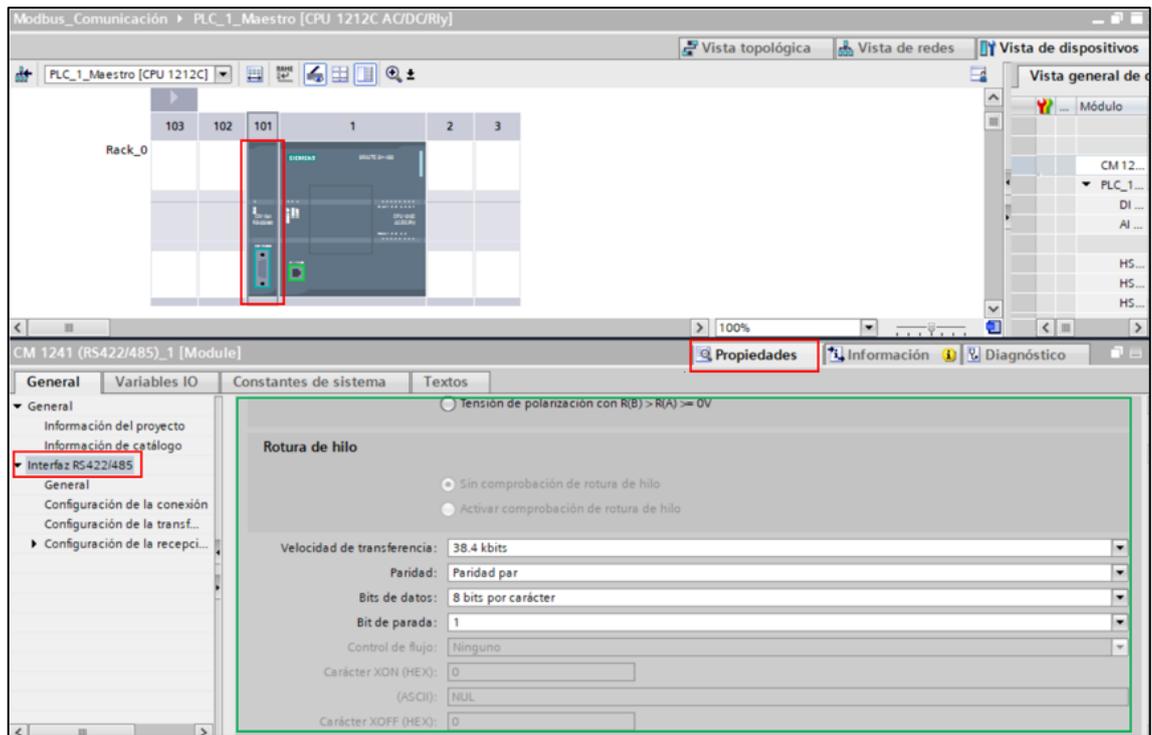


Figura 4.9. Configuraciones de los parámetros en el módulo RS422/485

Se activan los relojes internos del PLC maestro y esclavo, este paso se deberá realizar en los 4 autómatas S7-1200 tal como se ve en la figura 4.10.

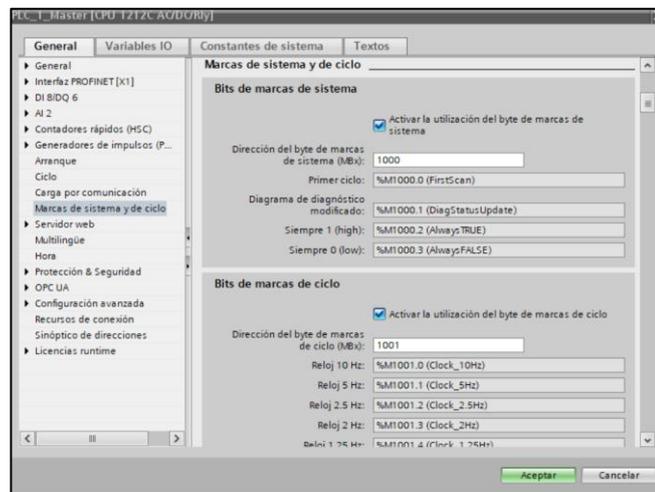


Figura 4.10. Activar marcas de ciclo en PLC S7-1200

En protección y seguridad de los PLC S7-1200 con versión firmware 4.0 o superior se debe activar la opción de: permitir acceso PUT/GET como se muestra en la figura 4.11. Esta configuración permite que los bloques de datos creados en el PLC S7-1200 puedan ser escritas desde una fuente de comunicación externa, por ejemplo, el protocolo OPC, Modbus RTU o el conocido Ethernet. Si no se activa esta opción el autómatas sólo transmitirá datos mas nunca será controlado desde afuera.

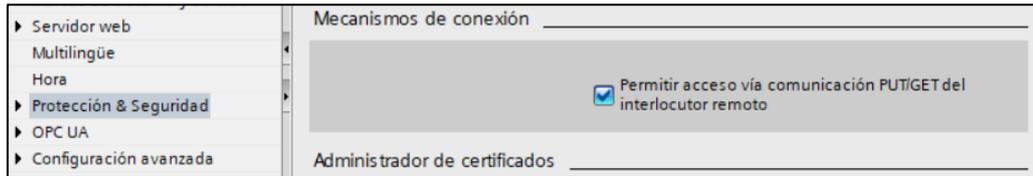


Figura 4.11. Desactivar protección de escritura en versiones actuales.

Para las versiones antiguas del PLC -1200 con firmware menor a 4.0, se debe asegurar que esté seleccionado en sin protección tal como se detalla en la figura 4.12.

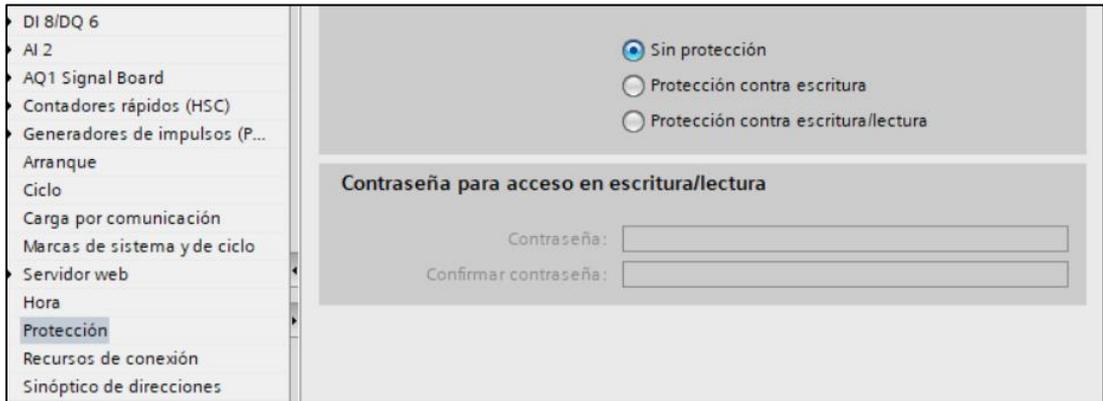


Figura 4.12. Desactivar protección contra escritura en versiones antiguas.

Dirigirse al entorno de programación MAIN y a la ventana de instrucciones de Tia Portal, donde se debe abrir la pestaña de Comunicación, posterior se selecciona la carpeta Modbus y se comienza a agregar los bloques que se ubican en la misma. Para el maestro seleccionar MB_COM_LOAD y MB_MASTER. Para el esclavo MB_COM_LOAD y MB_SLAVE. Los bloques se detallan en la

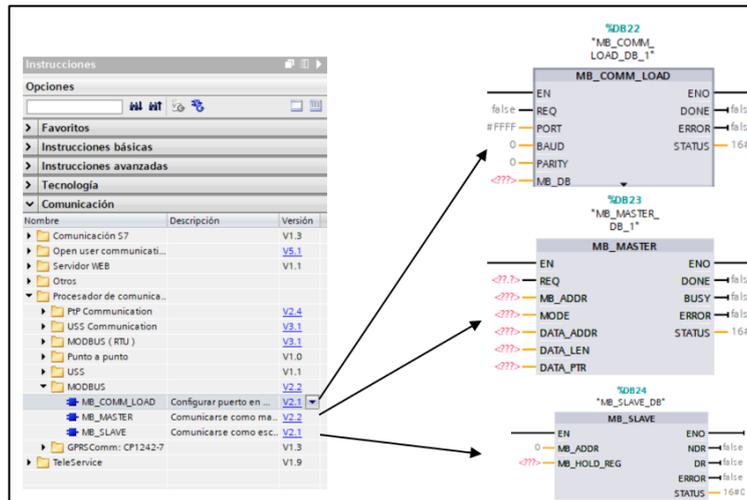


Figura 4.13. Ubicación de los bloques para la comunicación Modbus.

figura 4.13. Las programaciones Ladder se localizan en los anexos D y A para el esclavo y maestro respectivamente.

4.8.2. Configuración de las comunicaciones Ethernet para la planta de flujo y temperatura.

Este protocolo transmite los datos mediante la entrada Profibus del propio PLC S7-1200, por lo tanto, no requiere de ningún módulo externo, sin embargo, se deben asegurar que en las propiedades del PLC estén activados las marcas de sistema y de ciclo, además estén desactivados las protecciones contra la escritura en seguridad, resumiendo, se realizan los pasos de la comunicación Modbus RTU detallados en la Figura 4.10. de este proyecto. Las configuraciones que siguen se detallan a continuación:

Agregar los autómatas que se van a comunicar mediante el protocolo Ethernet que corresponden a las plantas de Flujo y Temperatura. Se emplea una CPU (6ES7 212-1BE30-0XB0), para el proceso de Flujo y una CPU (6ES7 212-1BE40-0XB0), para la planta de temperatura (Horno).

Seleccionar en Dispositivos y redes y ubicarse en vista de redes para unir a todos los PLC's que se van a comunicar mediante el protocolo Ethernet como se ve en la figura 4.14.



Figura 4.14. Red de comunicación Ethernet entre los 3 autómatas.

Dirigirse al entorno de programación MAIN de cada PLC que se comunicará mediante este protocolo y luego ubicarse en la ventana de instrucciones de Tia Portal, donde se debe abrir la pestaña de Comunicación, posterior se selecciona la carpeta Open user communication y se colocan los bloques de programación de acuerdo a los requerimientos de comunicación. Para enviar datos del PLC que se está programando se selecciona TSEND_C y para recibir los datos propiamente se selecciona TRCV_C como se ve en la figura 4.15.

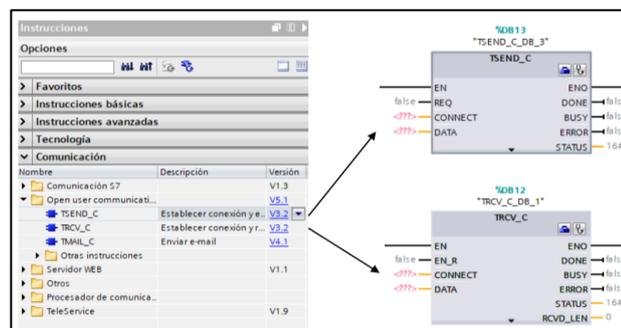


Figura 4.15. Ubicación de los bloques de programación para la comunicación Ethernet.

Las configuraciones para enviar y recibir los datos mediante este protocolo se realizan en cada bloque, de modo que deben estar entrelazados el TSEND_C y TRCV_SEND. Las configuraciones

y las programaciones en el lenguaje Ladder y el entorno MAIN se encuentran en los anexos A, B y C.

4.9. CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO OPC

El software Ignition SCADA ya tiene integrado el Módulo OPC UA en el paquete de instalación básica para configurar y agregar dispositivos autómatas de algunas marcas incluido Siemens en las cuales se puede seleccionar las versiones S7-1200, 1500, 300 y 400. La comunicación OPC UA del Ignition SCADA para Siemens funciona abriendo un canal como Ethernet TCP/IP, misma que puede funcionar sin problemas inalámbricamente si el PLC autómata está conectado al router de WI-FI a la que la computadora está anclado. En este proyecto la comunicación entre el PLC maestro y la interfaz SCADA se realiza inalámbricamente. En la figura siguiente se muestra los pasos a seguir para agregar un dispositivo PLC-1200 en el software Ignition.

Primero se selecciona Config, después ubicarse en OPC UA y seleccionar Device Connections. Todas estas configuraciones se deben seguir paso a paso porque el protocolo OPC UA se comunica a través de la dirección IP el cual es de vital importancia que coincida con la marca del PLC S7-1200 Siemens en el caso de esta tesis que se desarrolla. El objetivo de estos ajustes es lograr una comunicación efectiva y rápida optimizando el tiempo que antes era muy difícil de implementar, el software de arranque y el diseñador de los paneles funcionan como dos aplicaciones separadas, esto es para conseguir separar la parte de las configuraciones de comunicación de la sección de diseño.

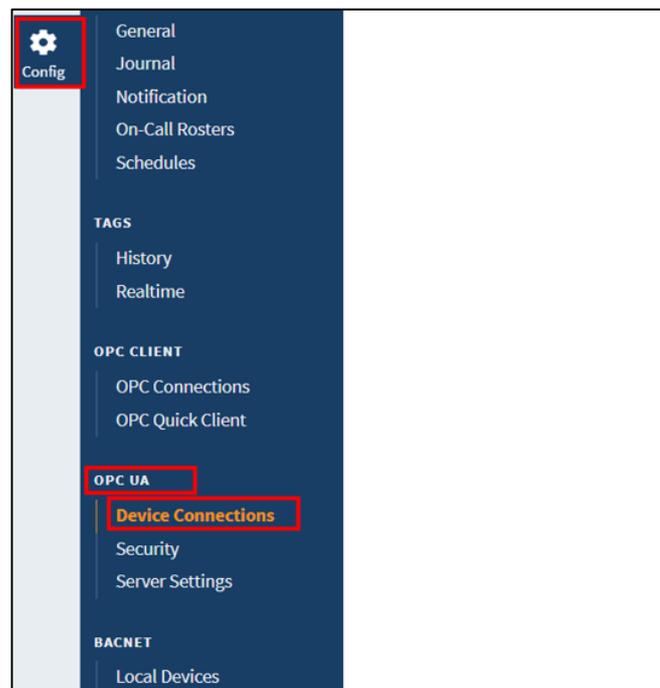


Figura 4.16. Ingresar en el módulo OPC UA de Ignition SCADA.

Una vez en Device Connections se selecciona Create new Device y se despliega una nueva pantalla

donde se debe seleccionar la marca y serie del autómeta como se ve en la figura 4.17.

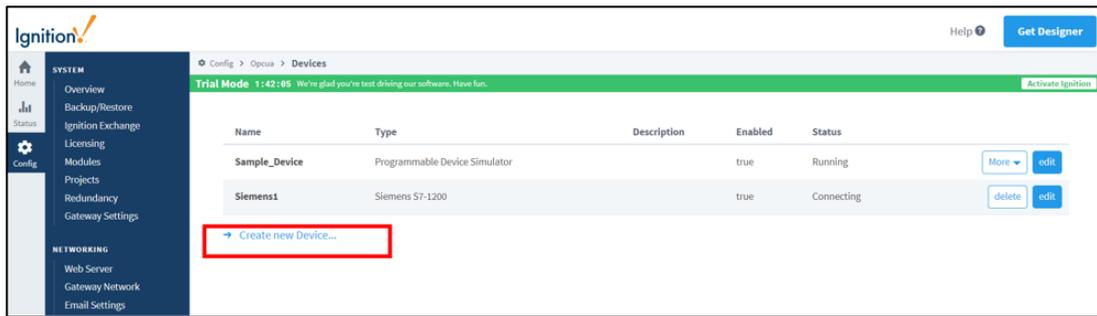


Figura 4.17. Crear un nuevo dispositivo OPC UA en Ignition SCADA.

Al ingresar a Create new Device se despliega la pantalla que se muestra en la siguiente figura 4.18, en esta se debe seleccionar el PLC autómeta con el que se está trabajando, en este caso se escoge un siemens S7-1200 ya que la estación maestra consta de este PLC después se selecciona Next. Esta selección es de vital importancia ya que permite directamente cargar los parámetros del tipo de CPU que poseen las versiones de los autómetas PLC's, es así que no es lo mismo seleccionar un controlador S7-200 que un S7-1200 aunque son del mismo fabricante los tipos de variables, la seguridad interna, protección contra escritura, marcas del reloj, contadores, temporizadores raramente coinciden y son configurables de manera similar.

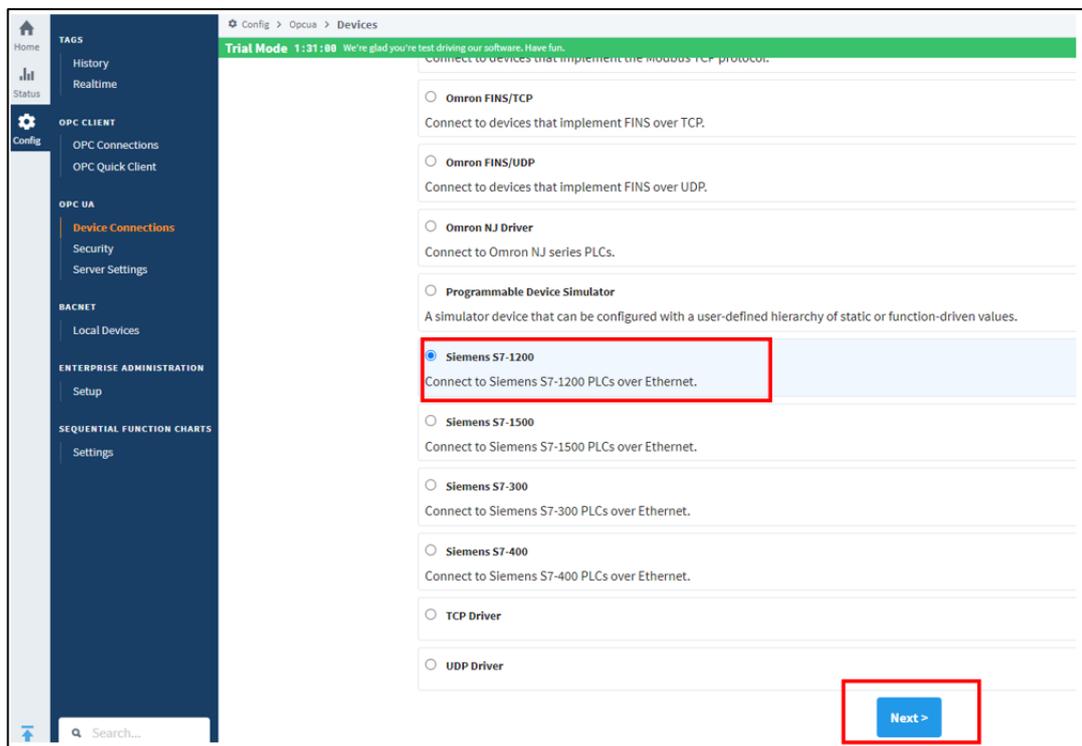


Figura 4.18. Selección del PLC siemens s7-1200

Una vez seleccionado el autómeta siemens S7-1200 se procede a colocar un nombre en el cuadro name (nombre cualquiera) al dispositivo y se procede a colocar la dirección IP del PLC a conectarse

con la plataforma en el recuadro del Hostname, para el caso de este proyecto el PLC maestro tiene una dirección IP asignado de 192.168.0.2. y finalmente se presiona en Create NEW Device como en la figura 4.19. El resto de los parámetros de deja por defecto.

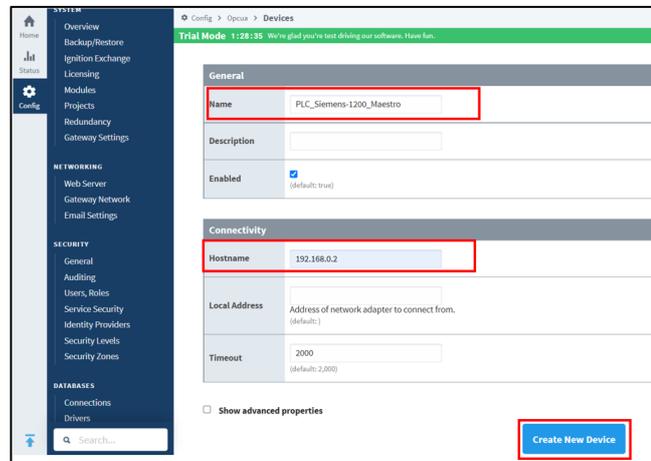


Figura 4.19. Asignación de un nombre al dispositivo y colocar la dirección IP en Hostname.

Una vez realizado todos los pasos se debe crear una conexión nueva y en la parte derecha se muestra el estado de la conexión conectado o desconectado como se ve en la figura 4.20, si el PLC ya se conecta mediante el cable ethernet a la computadora o al router del Wi-Fi al que está anclado la computadora debe aparecer en Conected el estado de conexión o Status.



Figura 4.20. Dispositivo OPC UA creado.

Una vez creado el dispositivo revisar en Tia Portal si el PLC a conectarse tiene asignado la misma dirección configurado en el Software Ignition SCADA. El PLC maestro en este proyecto tiene la dirección 192.168.0.2 que es la misma configurado en el Hostname de Ignition como se ve en la figura 4.21.

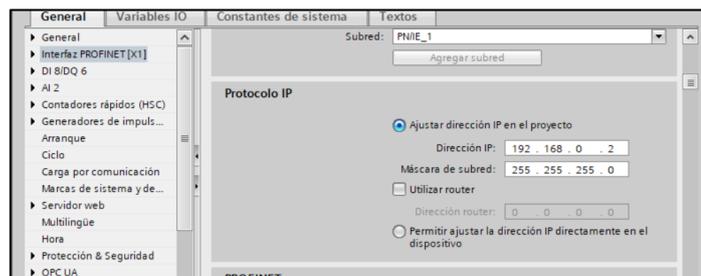


Figura 4.21. Dirección IP del maestro configurada igual que en el Hostname de Ignition.

Después también se debe revisar en protección y seguridad que la opción de Permitir acceso vía comunicación PUT/GET del interlocutor remoto como se aprecia en la figura 4.22.

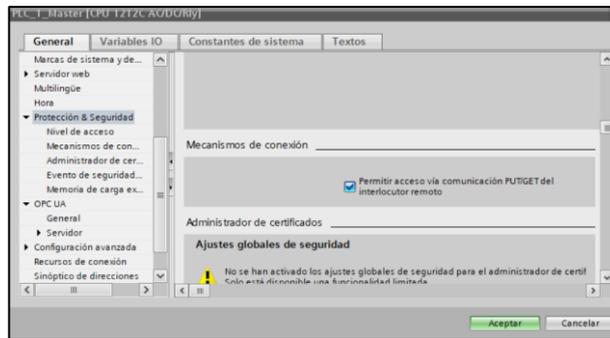


Figura 4.22. Permitir acceso vía comunicación PUT/GET del interlocutor remoto activado.

Una vez establecida la conexión se agregan los tags correspondientes desde la interfaz Ignition Designer. Las variables o tags se debe organizar un Data Type, que contendrá todas las variables de un proceso. Para crear estos tags se selecciona UDT Definitions, luego se dirige a + y se presiona en New Data Type como se ve en la figura 4.23.

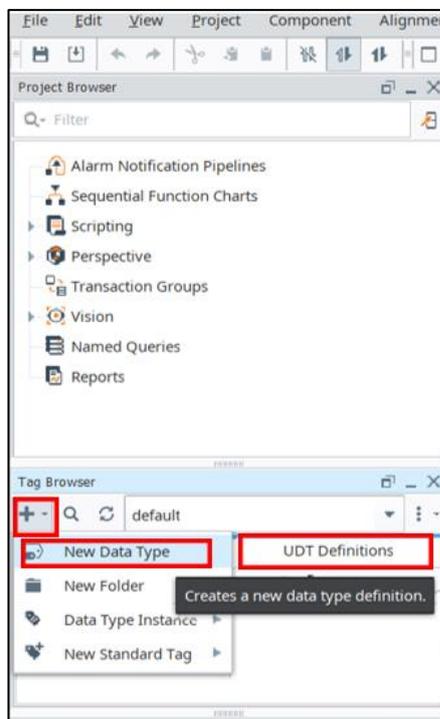


Figura 4.23. Crear un nuevo New Data Type.

Creado un nuevo Data Type se le asigna un nombre en este caso se ha colocado Proceso1, luego se

crea un nuevo tag y se selecciona OPC Tag como se aprecia en la figura 4.24.

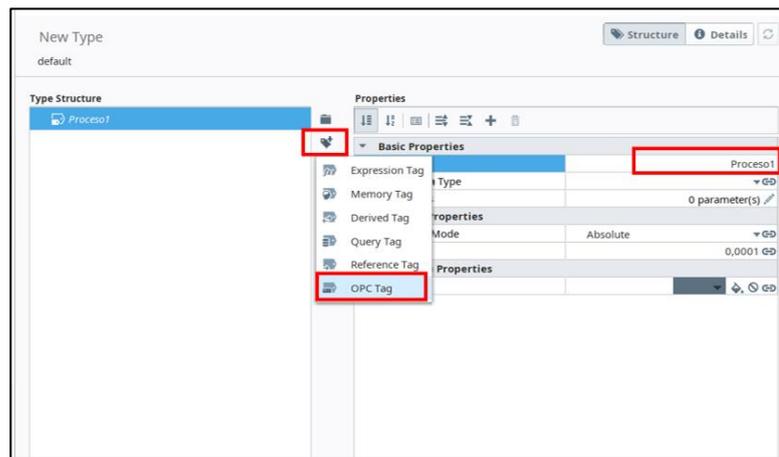


Figura 4.24. Crear una variable OPC Tag.

Al presionar sobre OPC Tag se crea una variable o tag, entonces se le asigna un nombre adecuado a la lectura o escritura de datos que se le asignará, en este caso por medio de este tag se quiere leer el nivel de tanque que el PLC Maestro guarda en el bloque de datos DB1 como un dato real. En name se coloca el nombre de la variable a leer (Nombre cualquiera) en Data Type se coloca el tipo de variable que está asignado en el PLC es un flotante en este caso así que se coloca en Float, en OPC Server se selecciona Ignition OPC UA Server y finalmente en OPC Item Path se colocará el nombre del dispositivo OPC UA que se creó en Ignition el bloque de datos donde está almacenado la variable y finalmente el tipo del mismo. Antes de colocar este código se explica todos los pasos.

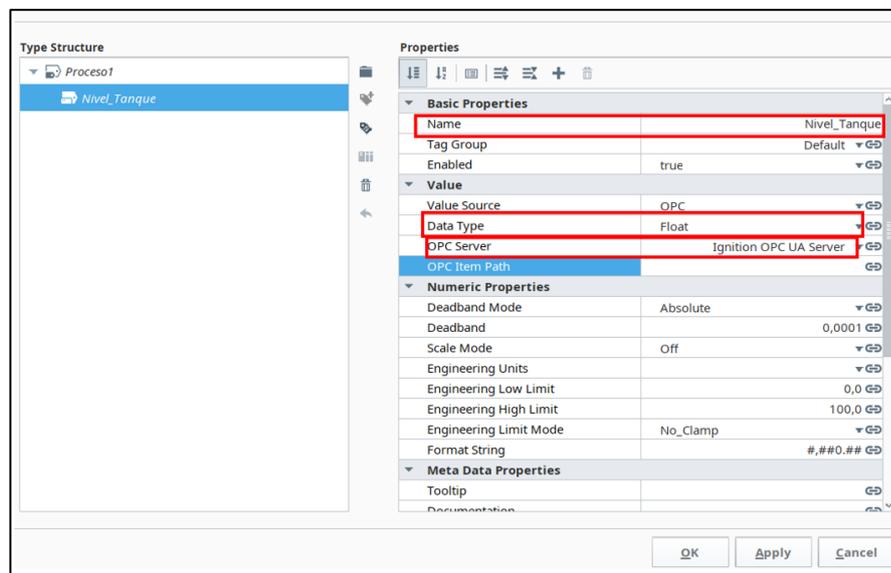


Figura 4.25. Tag para la lectura de nivel creado en Ignition SCADA.

Regresando a la configuración de dispositivos OPC UA (de ejemplo) recordando se le asignó el nombre de PLC_Siemens-1200_Maestro, pero en el proyecto principal se creó con el nombre de Siemens1 siguiendo los mismos pasos mencionados y con la misma dirección IP (ver figura 4.26).

Successfully created new Device "PLC_Siemens-1200_Maestro"

Name	Type	Description	Enabled	Status	
PLC_Siemens-1200_Maestro	Siemens S7-1200		true	Connecting	delete edit
Sample_Device	Programmable Device Simulator		true	Running	More edit
Siemens1	Siemens S7-1200		true	Connecting	delete edit

Figura 4.26. Nombre del dispositivo Siemens1 creado para comunicarse con el maestro.

Y se revisa el bloque de datos en Tia Portal donde está almacenado la variable a configurar, en este caso el Process Value (Nivel tanque) se almacena en DB1 y el Offset 0.0 además es de tipo real. Estas características se colocan en el OPC Item Path de la variable en configuración de Ignition SCADA como se aprecia en la figura 4.27. El bloque de datos Modbus está creado desde Offset 0.0 hasta 12.0 mientras que el bloque para el horno de temperatura parte desde 16.0 hasta 28.0, continuando la estación de flujo empieza desde 32.0 y termina en 44.0.

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ...	Valor d...
Static								
Modbus_Nivel	Array[0..3] of Real	0.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Modbus_Nivel[0]	Real	0.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Modbus_Nivel[1]	Real	4.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Modbus_Nivel[2]	Real	8.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Modbus_Nivel[3]	Real	12.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet	Array[0..3] of Real	16.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet[0]	Real	16.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet[1]	Real	20.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet[2]	Real	24.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet[3]	Real	28.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet	Array[0..3] of Real	32.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet[0]	Real	32.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet[1]	Real	36.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet[2]	Real	40.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet[3]	Real	44.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 4.27. Bloque de datos, tipo y Offset en Tia Portal.

Finalmente, el orden del código es:

[NombreDelDispositivoOPC UA]NombrebloqueDatosTiaPortal(DBn),TipoVariable.Offset, como se ve en la figura 4.28, para este caso el nombre del dispositivo es Siemens1, el nombre del bloque de datos en DB es DB1, el tipo de datos es Real y el Offset 0. El código es:

[Siemens1]DB1, Real.0

Basic Properties	
Name	Process_Value
Tag Group	Default
Enabled	true
Value	
Value Source	OPC
Data Type	Float
OPC Server	Ignition OPC UA Server
OPC Item Path	[Siemens1]DB1,Real0

Figura 4.28. Código para que la variable de nivel sea monitoreada.

Y de esta manera se configuran todas las variables que van a ser monitoreadas y controladas desde la interfaz SCADA.

4.10. CONFIGURACIÓN DE LAS BASES DE DATOS EN LOS PROCESOS Y EL PLC MAESTRO.

La adquisición de datos se realiza en cada planta, por lo que se crean los bloques de datos en cada estación.

4.10.1. Bases de datos en el proceso de nivel.

La planta de nivel tiene una tabla “DB4” para guardar los datos leídos del maestro y otra “DB5” para escribir al mismo. En la siguiente gráfica se presenta cómo empezar a crear una base de datos en Tia Portal.

Crear una base de datos en bloques de programa, para esto se debe dirigir al PLC_4_Nivel en el caso, aunque esto se puede realizar en cualquier PLC, después dirigirse a Bloques de programa/Agregar bloque y seleccionar Bloques de datos como en la figura 4.29.

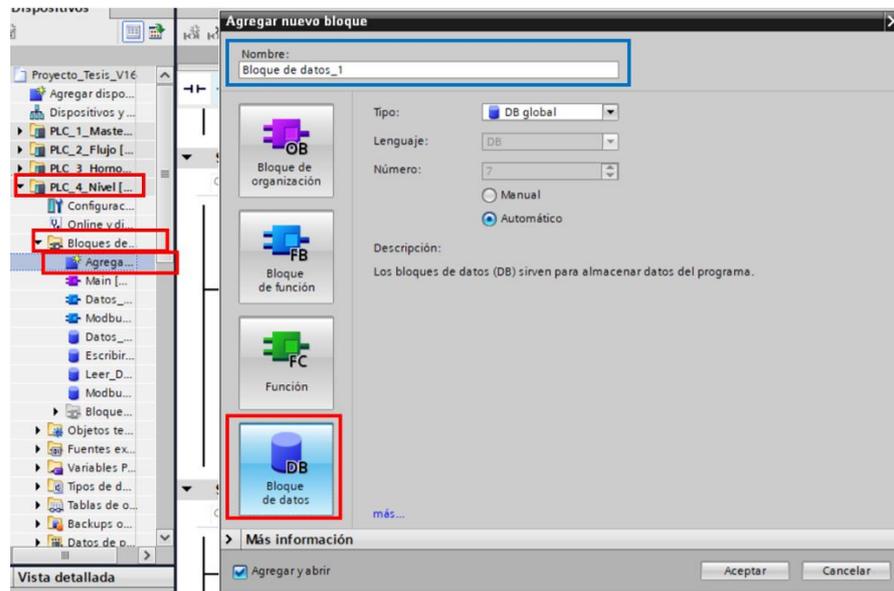


Figura 4.29. Creación de la base de datos en la estación de nivel.

Al seleccionar DB Bloques de datos se puede cambiar el nombre (contenedor azul), los nombres asignados en este caso son: Escribir_Datos (DB5) y Leer_datos (DB4), estos bloques de datos pueden contener datos booleanos, enteros, doble enteros, palabra, doble palabra, flotantes, string entre otros que maneja el autómatas de la serie S7-1200. Los datos pueden crearse uno por uno declarando cada tipo individualmente o en conjuntos de array para separar de una manera mas

eficiente cuando se tienen varias plantas, es el tipo de configuración que se empleará en este

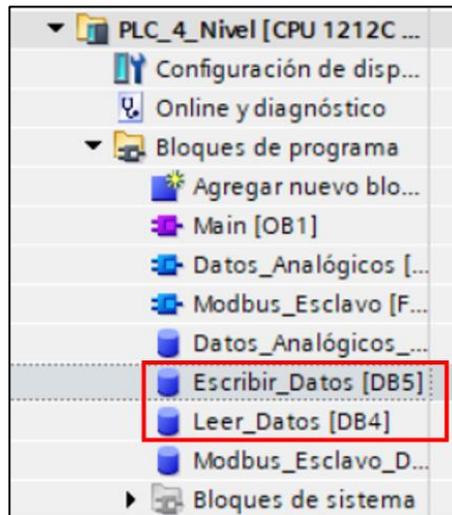


Figura 4.30. Bloques de datos creados en la planta de nivel.

desarrollo del proyecto. Se creará 2 arrays para los datos de tipo Real. Se procede a crear una tabla de una columna y las filas necesarias para almacenar los datos que se van a enviar y recibir del maestro. Primero se selecciona el bloque de datos y colocar un nombre a la tabla en este caso: datos, luego en tipo de datos se crea un *Array [0...n] of Variable*. Siendo $0...n$ el número de filas a crearse, y en el caso de *Variable* se refiere al tipo de variable (booleano, int, float, entre otros) que se guardará en cada fila de la tabla como se ve en la figura 4.31.

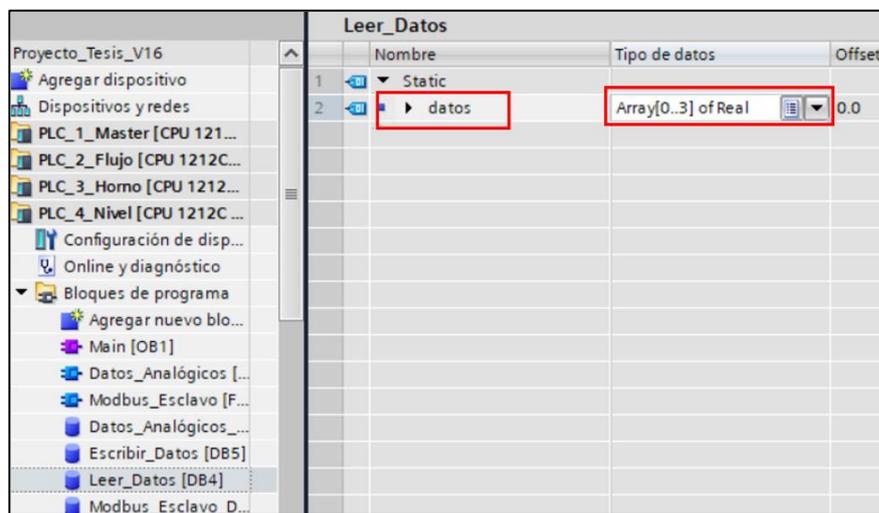


Figura 4.31. Creación de una tabla tipo Array en bloque de datos.

En la planta de nivel para leer los datos se crea una tabla tipo Array de 4 filas y los tipos de variables a guardar serán Reales tal como se detalla en la figura 4.32. Al crearse el bloque de datos primero en la parte superior se observa Static, este indica que todas las variables o datos constantes estarán contenidas en ella. Pero se pueden crear bloques separados como subbloques que se ha asignado como datos y esta es de tipo array que tiene la capacidad de almacenar datos reales o coma flotantes.

Static				
▼	datos	Array[0..3] of Real	0.0	
■	datos[0]	Real	0.0	0.0
■	datos[1]	Real	4.0	0.0
■	datos[2]	Real	8.0	0.0
■	datos[3]	Real	12.0	0.0

Figura 4.32. Array tipo tabla de 4 datos tipo Real.

Por último, se retira la seguridad de escritura al DB de bloque de datos para que estos puedan ser utilizados como de lectura y escritura.

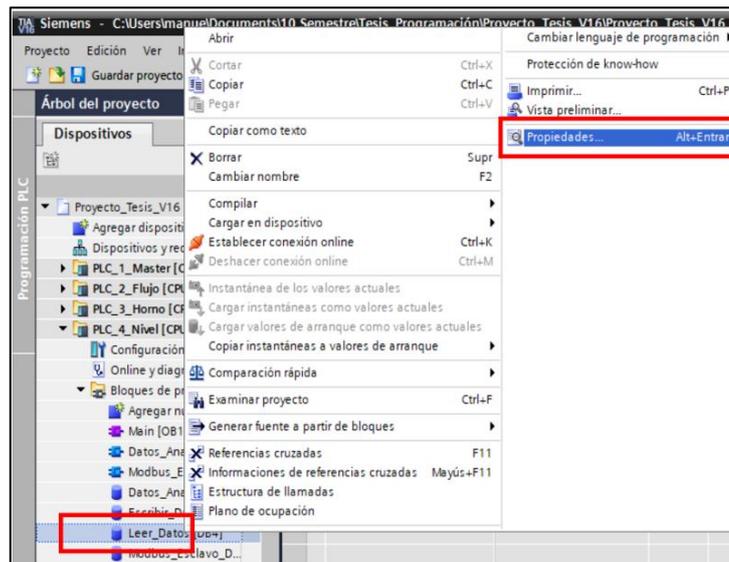


Figura 4.33. Ingreso a propiedades del bloque de datos.

Se selecciona el bloque de datos y luego propiedades, una vez ingresado a propiedades se busca Atributos y desactivar Acceso optimizado al bloque como se aprecia en la figura 4.34.

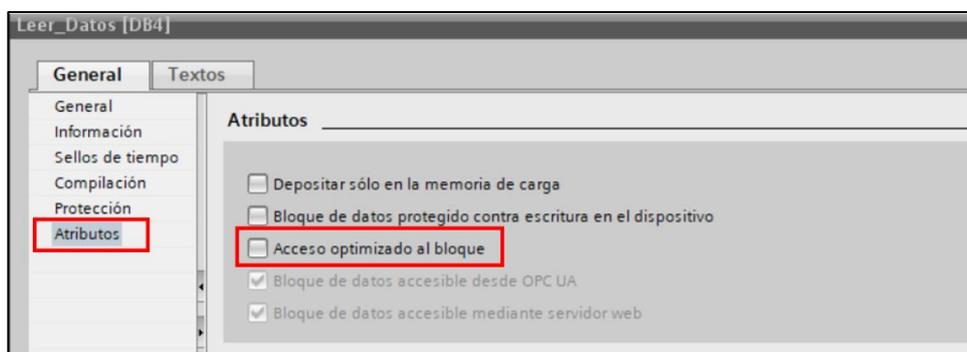


Figura 4.34. Desactivar Acceso optimizado al bloque.

4.10.2. Bases de datos en el proceso de temperatura.

La planta de temperatura tiene una sola tabla Horno datos (DB1) para guardar los datos de lectura y escritura. No se crean 2 bloques de datos como en el caso de la planta de nivel porque la comunicación es de tipo ethernet y este protocolo permite guardar, escribir y leer en cada fila del bloque de datos por separado. La creación y las configuraciones de los bloques de datos se realizan de la misma manera que en 4.10.1. Se puede apreciar los bloques de datos creados en la figura 4.35.

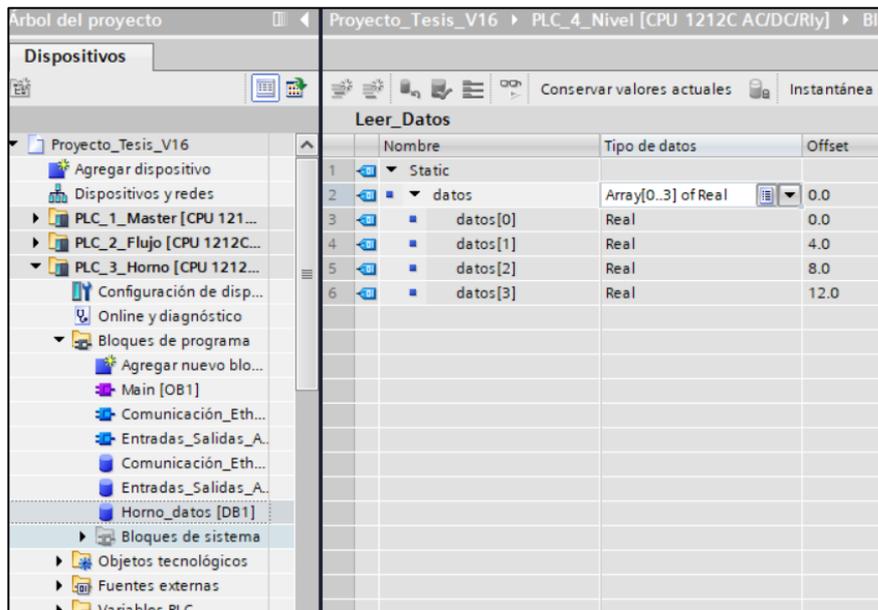


Figura 4.35. Bloque de datos creado en la planta de temperatura (Horno).

4.10.3. Bases de datos en el proceso de flujo.

Al igual que la planta anterior planta el proceso de flujo cuenta con un solo bloque de datos Flujo datos (DB1) para guardar los datos de lectura y escritura. No se crean 2 bases de datos como en el caso de la planta de nivel porque la comunicación es de tipo Ethernet. La creación y las configuraciones de los bloques de datos se realizan de la misma manera que en 4.10.1. y los bloques de datos creados se puede apreciar en la figura 4.36.

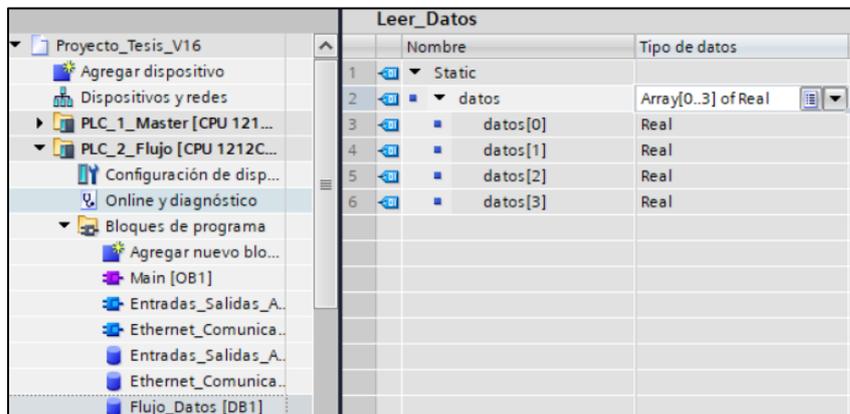


Figura 4.36. Bloque de datos creado en la planta de flujo.

4.10.4. Bases de datos en la estación Maestro (PLC_1_Maestro).

En el PLC Maestro que recibirá la información de las tres plantas se crean 2 bloques de datos una para leer los datos y otra para escribir. El bloque Lectura (BD1) recibe los datos de los tres procesos y guarda en las respectivas tablas que están asignadas para cada proceso; el bloque Escribir (DB2) se emplea para enviar los datos a los esclavos de la misma manera que el bloque anterior. La creación y las configuraciones de los bloques de datos se realizan de la misma manera que en la sección 4.10.1. Los bloques de datos creados se pueden ver en la gráfica 4.37.

Nombre	Tipo de datos	Offset
Static		
Modbus	Array(0..3) of Real	0.0
Modbus[0]	Real	0.0
Modbus[1]	Real	4.0
Modbus[2]	Real	8.0
Modbus[3]	Real	12.0
Homo_Ethernet	Array(0..3) of Real	16.0
Homo_Ethernet[0]	Real	16.0
Homo_Ethernet[1]	Real	20.0
Homo_Ethernet[2]	Real	24.0
Homo_Ethernet[3]	Real	28.0
Flujo_Ethernet	Array(0..3) of Real	32.0
Flujo_Ethernet[0]	Real	32.0
Flujo_Ethernet[1]	Real	36.0
Flujo_Ethernet[2]	Real	40.0
Flujo_Ethernet[3]	Real	44.0

Nombre	Tipo de datos	Offset
Static		
Modbus	Array(0..3) of Real	0.0
Modbus[0]	Real	0.0
Modbus[1]	Real	4.0
Modbus[2]	Real	8.0
Modbus[3]	Real	12.0
Homo_Ethernet	Array(0..3) of Real	16.0
Homo_Ethernet[0]	Real	16.0
Homo_Ethernet[1]	Real	20.0
Homo_Ethernet[2]	Real	24.0
Homo_Ethernet[3]	Real	28.0
Flujo_Ethernet	Array(0..3) of Real	32.0
Flujo_Ethernet[0]	Real	32.0
Flujo_Ethernet[1]	Real	36.0
Flujo_Ethernet[2]	Real	40.0
Flujo_Ethernet[3]	Real	44.0
Boolean	Array(0..3) of Bool	48.0
Boolean[0]	Bool	48.0
Boolean[1]	Bool	48.1
Boolean[2]	Bool	48.2
Boolean[3]	Bool	48.3

Figura 4.37. Bloques de datos en la estación Maestro.

4.10.5. Red de flujo de datos entre las estaciones esclavos y maestro.

El intercambio de datos se resume en la Figura 4.38. Donde se aprecia el flujo de datos entre las estaciones de los procesos y el maestro. Las programaciones internas en lenguaje Ladder se adjuntan en anexos.

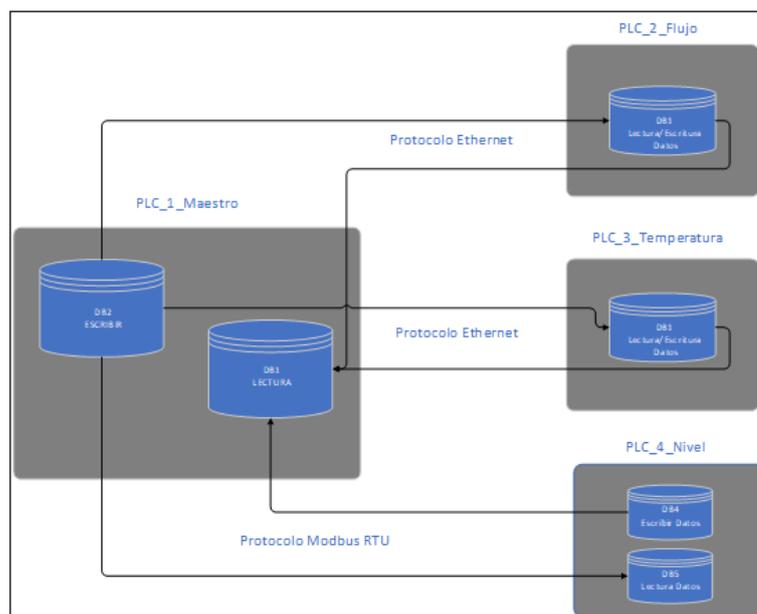


Figura 4.38. Interconexión de las bases de datos entre los procesos y el Maestro

4.11. DISEÑO DE LA INTERFAZ EN EL SOFTWARE SCADA IGNITION.

La plataforma de monitoreo y control se diseña con varias ventanas para que el operario navegue con facilidad entre cada proceso, cuenta con una pantalla principal donde se aprecian los tres procesos, cada una de ellas dispone de un botón para ingresar a las plantas respectivas donde se puede seleccionar para ir al panel de gráficos o alarmas. El panel de gráficos cuenta con dos tipos de visualizaciones una en tiempo real y otro de manera histórico.

4.11.1. Diseño del panel principal para el control y monitoreo de las variables.

El entorno de control principal cuenta con los tres procesos en miniatura desde los cuales se pueden apreciar el estado de las variables en tiempo real y también ingresar los valores de los Set Points para cada proceso. En la parte superior de cada planta hay un botón desde el cual se puede ingresar al proceso respectivo. También hay un indicador en la parte superior izquierda que indica el estado de la conexión por el protocolo OPC entre la plataforma SCADA y el PLC Maestro, si este está en estado desconectado no se podrá ejecutar el proceso de control y monitoreo.

En la figura 4.39. se puede apreciar el diseño del panel principal para el control y monitoreo de las variables de los procesos de nivel, flujo y temperatura.

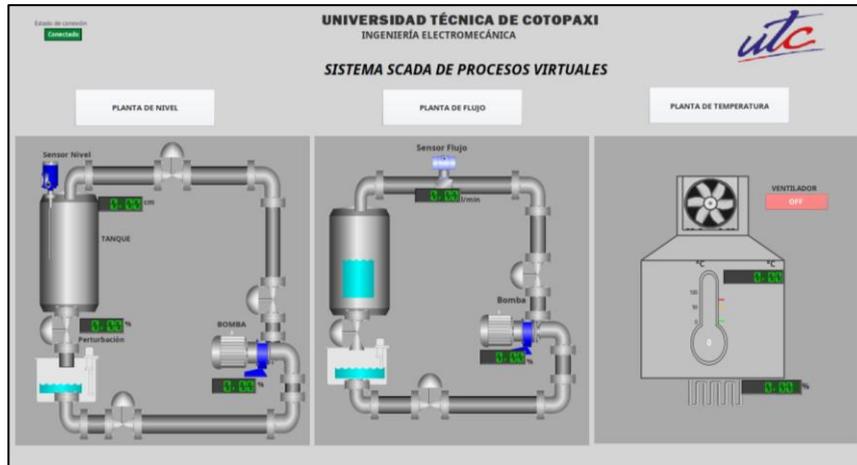


Figura 4.39. Panel principal para el control y monitoreo de variables

4.11.2. Diseño del panel para el proceso de nivel.

El panel para el control y monitoreo de nivel se compone de varios displays indicadores, un control numérico para ingresar el Set Point y tres botones que permiten la navegación entre los demás procesos, gráficas y alarmas. Los displays indicadores están asignados para monitorear el nivel de tanque (Process Value) en un rango de 0 a 100 litros, La potencia a la que el motor está trabajando

(Control Value) en un rango de 0 a 100 % y la apertura de la válvula de descarga (Perturbación) en un rango de 0 a 100%. El control numérico está asignado como Set Point o el nivel deseado de 0 a 100 Litros. El diseño del proceso se puede apreciar en la Figura 4.40.

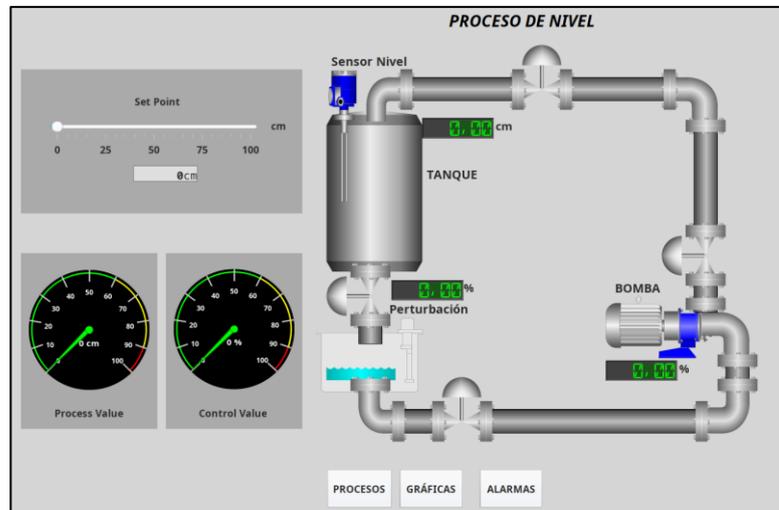


Figura 4.40. Panel para el control y monitoreo de nivel.

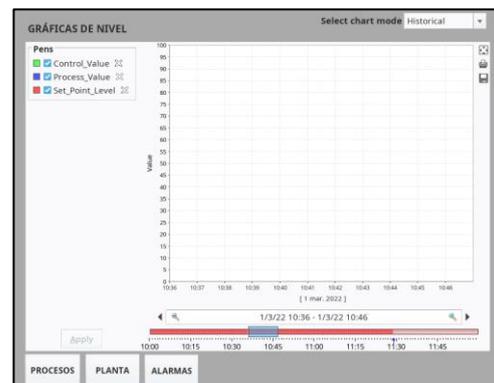
Los botones ubicados en la parte inferior izquierda están diseñados para navegar entre los procesos, ingresar a las gráficas de las variables en el proceso de nivel y dirigirse al panel de alarmas.

- Al presionar en el primer botón PROCESOS regresa al panel principal.
- Al presionar el botón GRÁFICAS se ingresa al panel donde se grafican las variables del proceso.
- Al presionar en el botón ALARMAS se dirige al panel de alarmas.

El panel de las gráficas se aprecia en la Figura 4.41. El cual cuenta con 2 modos de observación en tiempo real (Realtime) o histórico (Historical). También dispone de tres botones para la navegación.



(a)



(b)

Figura 4.41. Gráficas de nivel en tiempo real (a) y en modo histórico (b)

Cada panel de proceso dispone de un botón ALARMAS que redirige al panel mencionado, en la figura 4.42 se puede visualizar el panel de alarmas. En esta pantalla se guardan las alarmas configuradas tales, como: nivel de tanque muy bajo o alto, flujo tendiendo a cero o en máximo y temperaturas muy altas o bajas. El panel de alarmas es único para los 3 procesos.

Active Time	Display Path	Current State	Priority	Severity	Panel ID	Label
1/3/22 11:23	Instances/Control_Nivel/Control...	Active, Unacknowledged	High	353271c3-20e-4c24-9...		NivelMuelOff
1/3/22 11:07	Instances/Control_Nivel/Control...	Active, Unacknowledged	High	af6c64fe-f209-41aa-9...		MotorNivelOff
1/3/22 11:08	Instances/Control_Flujo/Control.v...	Active, Unacknowledged	High	73265c2f-ba94-4f66-a...		MotorFlujoOff
1/3/22 10:25	Level Lo Alarm	Active, Unacknowledged	Medium	4887d021-9a68-4...		Lo
1/3/22 11:03	Instances/Control_Nivel/Co...	Cleared, Unacknowledged	High	6710c24f-58fb-48...		MotorNivelOff
1/3/22 11:03	Instances/Control_Flujo/Con...	Cleared, Unacknowledged	High	ca3c0ba9-97df-4b...		MotorFlujoOff

Figura 4.42. Panel de alarmas para todos los procesos.

4.11.3. Diseño del panel para el proceso de flujo.

El panel para el control y monitoreo de flujo en la figura 4.43 se puede ver que se compone de varios displays indicadores, un control numérico para ingresar el Set Point y tres botones que permiten la navegación entre los demás procesos, gráficas y alarmas. Los displays indicadores están asignados para monitorear el flujo del líquido (Process Value) en un rango de 0 a 100 l/min y la potencia de la bomba (Control Value) en un rango de 0 a 100 %. El control numérico está asignado como Set Point o el flujo deseado de 0 a 100 l/min.

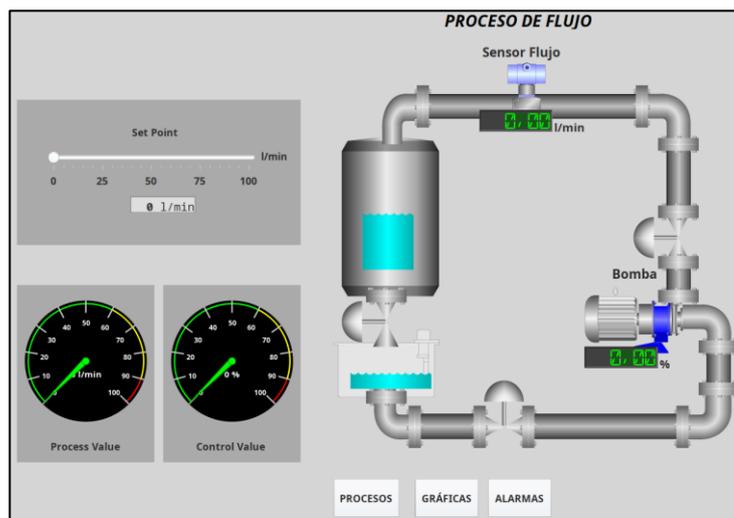


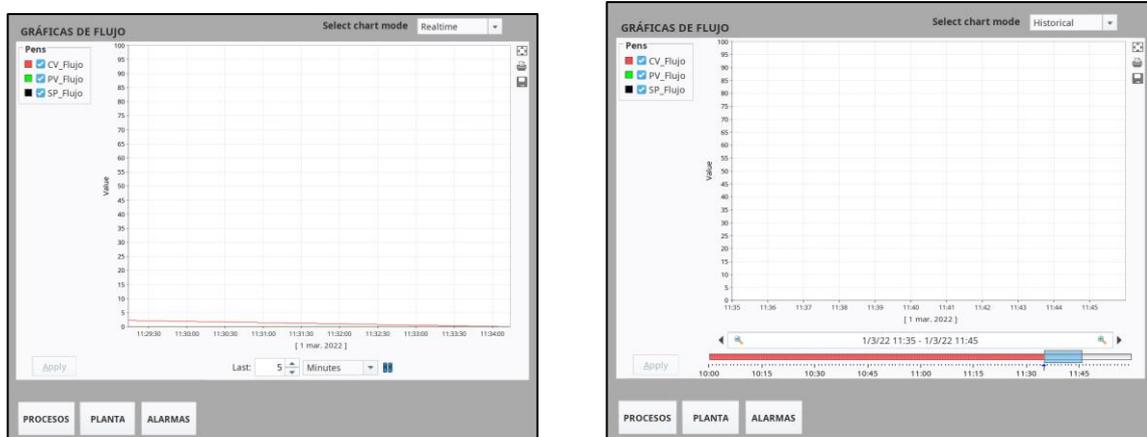
Figura 4.43. Panel para el control y monitoreo de flujo.

Los botones ubicados en la parte inferior izquierda al igual que en la planta anterior están diseñados

para navegar entre los procesos, ingresar a las gráficas de las variables en el proceso de flujo y dirigirse al panel de alarmas.

- Al presionar en el primer botón PROCESOS regresa al panel principal.
- Al presionar el botón GRÁFICAS se ingresa al panel donde se grafican las variables del proceso.
- Al presionar en el botón ALARMAS se dirige al panel de alarmas.

El panel de las gráficas se aprecia en la Figura 4.44. El cual cuenta con dos modos de observación en tiempo real (Realtime) o histórico (Historical). También dispone de tres botones para la navegación.



(a)

(b)

Figura 4.44. Gráficas de flujo en tiempo real (a) y en modo histórico (b)

4.11.4. Diseño del panel para el proceso de temperatura.

El panel para el control y monitoreo de la temperatura en el horno compone de varios displays indicadores, un control numérico para ingresar el Set Point, un botón para encender y apagar el ventilador de la planta y tres botones que permiten la navegación entre los demás procesos, gráficas y alarmas. Los displays indicadores están asignados para monitorear la temperatura del horno (Process Value) en un rango de 0 a 100 °Celsius y la potencia de las niquelinas o resistencias (Control Value) en un rango de 0 a 100 Watts. El control numérico está asignado como Set Point o la temperatura deseada en un rango de 25 a 100 °Celsius. El panel de control y monitoreo de temperatura se puede ver en la Figura 4.45.

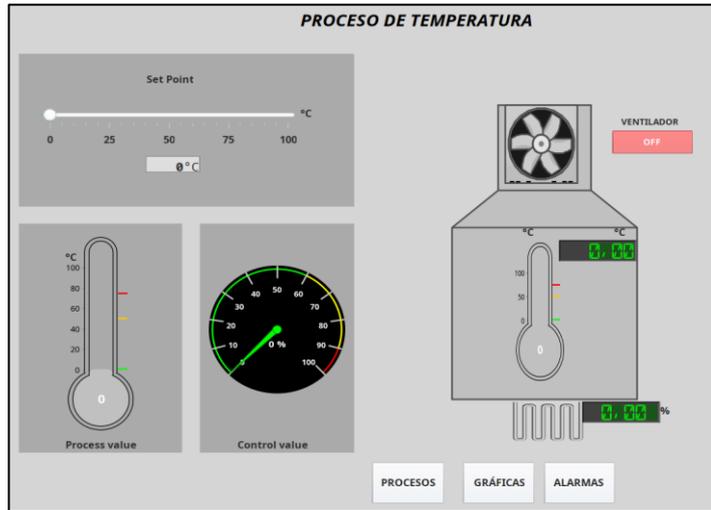
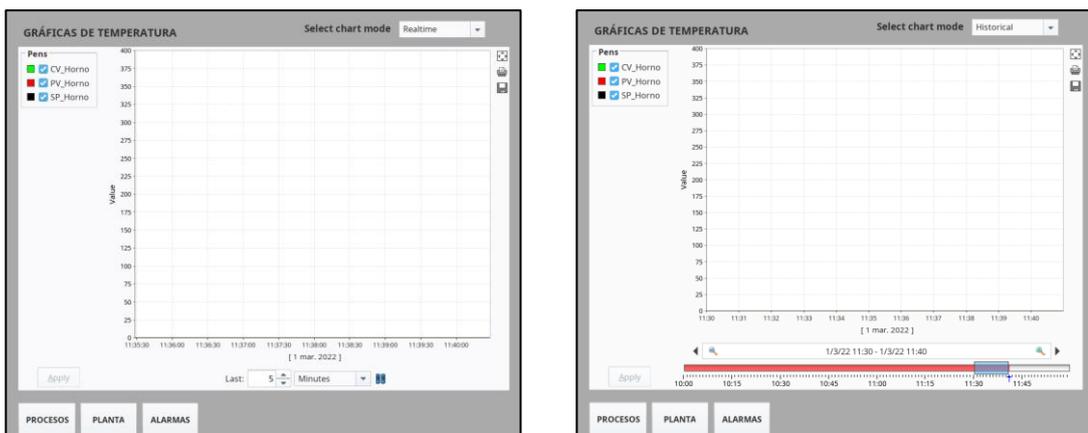


Figura 4.45. Panel para el control y monitoreo de temperatura.

Los botones ubicados en la parte inferior izquierda al igual que en las plantas anteriores están diseñados para navegar entre los procesos, ingresar a las gráficas de las variables en el proceso de temperatura y dirigirse al panel de alarmas.

- Al presionar en el primer botón PROCESOS regresa al panel principal.
- Al presionar el botón GRÁFICAS se ingresa al panel donde se grafican las variables del proceso.
- Al presionar en el botón ALARMAS se dirige al panel de alarmas.

El panel de las gráficas para el horno se aprecia en la Figura 4.46. El cual cuenta con dos modos de observación en tiempo real (Realtime) o histórico (Historical). También dispone de tres botones para la navegación.



(a)

(b)

Figura 4.46. Gráficas de temperatura en tiempo real (a) y en modo histórico (b)

4.12. MODELADO MATEMÁTICO Y FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LOS PROCESOS

El modelado matemático de las plantas seguirá el proceso de los controladores automáticos.

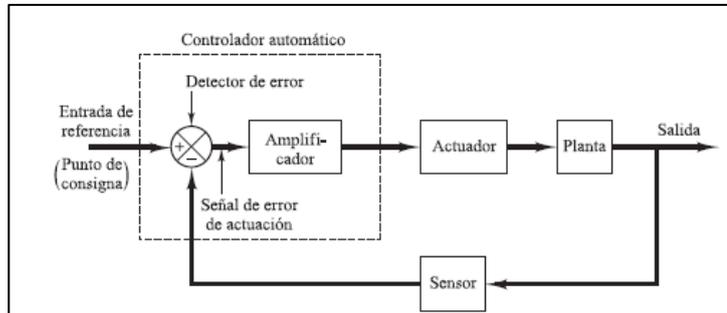


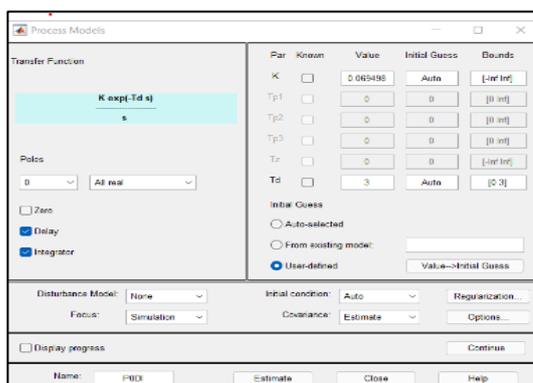
Figura 4.47. Bloque de un controlador automático [34]

4.12.1. Modelo matemático para el proceso de nivel.

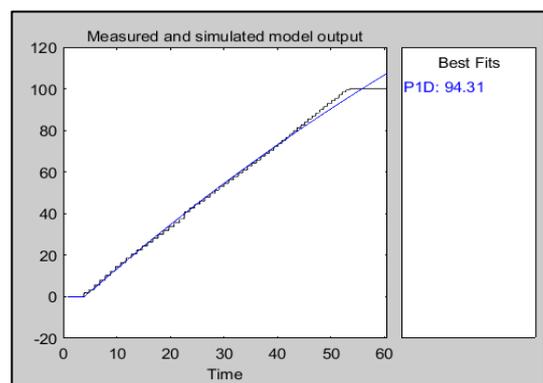
El modelado matemático del proceso de nivel se obtiene mediante los datos experimentales de la planta, para esto, primero se enciende la planta virtual de nivel y se configura las variables para que estén en un mismo rango, luego se ingresa un valor de 30% en la potencia del motor, paralelamente se realiza la adquisición de datos de la variable de nivel o process value, como último paso se cargan estos datos en Matlab para obtener la función de transferencia en la estación de nivel. El modelo de la planta tiene la respuesta de un proceso integrante por lo cual se modela en base a esta característica. La función de transferencia determinada se aprecia en la figura 4.48.

$$G(s) = \frac{K}{s} e^{-ts}$$

$$G(s) = \frac{0.069498}{s} e^{-3s}$$



(a)



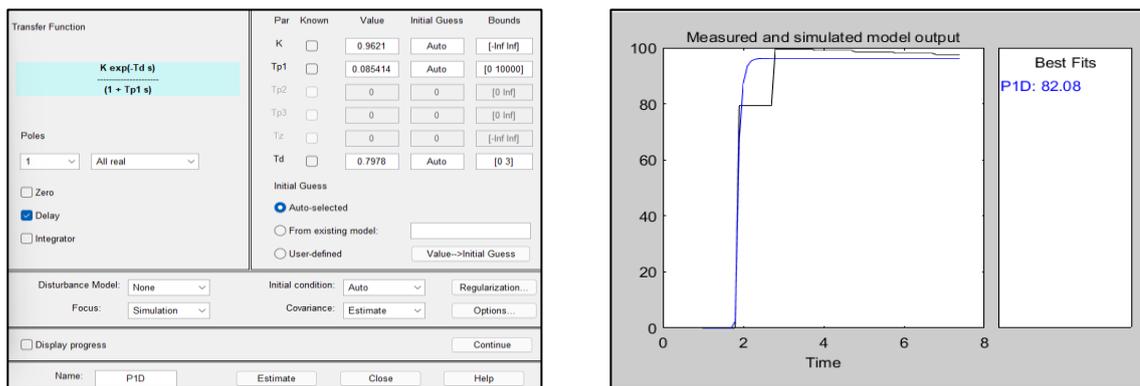
(b)

Figura 4.48. Parámetros (a) y función de transferencia integrante (b) para nivel con System Identification en Matlab.

4.12.2. Modelado matemático de la planta de flujo.

La función de transferencia del proceso de flujo se obtiene mediante los datos experimentales de la planta, para esto, primero se enciende la planta virtual de flujo y se configura las variables para que estén en un mismo rango, luego se ingresa un valor de 100% en la entrada de control value del motor para que funcione a su máxima potencia, paralelamente se realiza la adquisición de datos a la variable de flujo o process value, como último paso se cargan estos datos en Matlab para obtener la función de transferencia de la planta (ver en la figura 4.49.):

$$G(s) = \frac{0.9621}{0.085414s + 1} e^{-0.7978s}$$



(a)

(b)

Figura 4.49. Parámetros (a) y función de transferencia (b) para flujo con System Identification en Matlab.

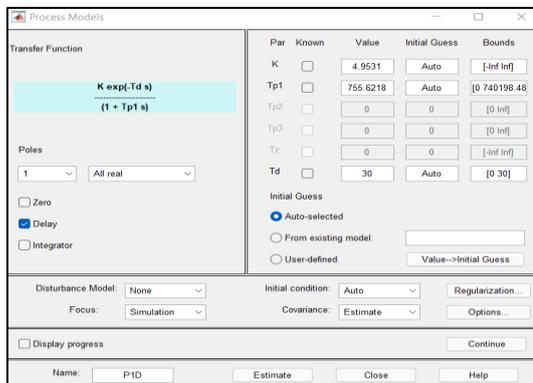
4.12.3. Modelado matemático para el proceso de Temperatura (Horno).

EL modelado de la planta de temperatura se obtiene a partir de los datos experimentales en el horno implementado de la tesis “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA DE DOS HORNOS A TRAVÉS DE UNA RED ETHERNET”, por López Herrera Joseph Michael y Vargas Soria Luis Esteban. Se ingresa una potencia del 20% (Control Value) en la resistencia del horno industrial y se obtiene la respuesta (Process Value). Estos datos se grafican en Matlab para obtener la función de transferencia con el comando System Identification estos procedimientos se ve en la figura 4.50.

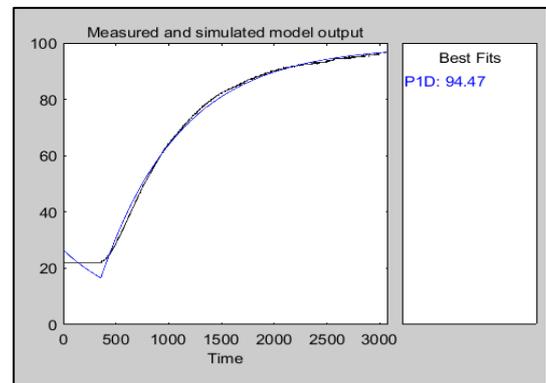
$$G(s) = \frac{4.9632}{1 + 755.6218s} e^{-30s}$$

La función de transferencia se obtiene desde los datos almacenados en un archivo Excel que se recupera cuando la temperatura del horno se estabiliza con la potencia ingresada del 20%, es precisamente por esto que este proceso se clasifica como autorregulable porque en un determinado

tiempo tiende a estabilizarse en un valor máximo sin importar la potencia ingresada en el actuador. El archivo Excel se crea desde la gráfica de la interfaz SCADA, precisamente desde el panel de gráficas correspondiente a cada proceso.



(a)



(b)

Figura 4.50. Parámetros (a) y función de transferencia (b) para temperatura con System Identification en Matlab.

Para cada proceso existe un panel principal desde el cual mediante unos botones se puede navegar entre el panel principal, panel de gráficas y el panel de alarmas. El bloque PID que se encuentra en Tia Portal se puede desactivar para el propósito de adquirir el modelado matemático en cada planta. Una vez realizado este paso se ingresa un Set Point de un porcentaje moderadamente bajo al actuador. Para la planta de temperatura se ingresa el 20% de la potencia en Control Value y se espera hasta que la variable del proceso se estabilice, el mismo paso se realiza para la planta de flujo, claro tomando en consideración que ésta tiene una respuesta muy rápida, porque es un proceso extremadamente dinámico, mediante el análisis de la respuesta en la planta de flujo se puede comprobar que la variable del proceso se estabiliza inmediatamente en un cierto valor y por lo tanto, se clasifica también como autorregulable al igual que la planta de temperatura.

Al analizar la respuesta en la planta de nivel se puede observar que al ingresar una potencia a la bomba la variable del proceso o Process Value tiene un comportamiento integral, y si se colocará un tanque infinitamente grande seguiría llenándose y nunca se estabilizaría en un cierto valor como si pasa con los procesos de temperatura y flujo. Por lo tanto, la planta de nivel se clasifica como un proceso integrante y se emplearán los métodos de sintonía adecuadas para este tipo de proceso. En la sección 5 se realizan los análisis de resultados en estas 3 plantas.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En este capítulo se realizan los análisis de resultados para el control y monitoreo las variables y la respuesta de las plantas ante la implementación del control PID que fue sintonizado en el capítulo anterior. En el control PID la señal de Set Point se ingresa desde la interfaz SCADA que envía este valor a cada planta para que el control se realice localmente por el PLC respectivo. También se realiza una comparativa de las variables visualizadas en la plataforma SCADA con los que muestran los monitores de las plantas virtuales, en el caso del horno se verifica la variable del proceso (Process Value) mediante una cámara termográfica.

5.1. SINTONÍA PID DE LOS PROCESOS AUTORREGULABLES.

La sintonía PID de los procesos autorregulables corresponden a la planta industrial de temperatura y la planta virtual de flujo que son sintonizados por los métodos detallados en la sección 3. Estos procesos parten de una función de transferencia de primer orden y el respectivo modelo matemático que ya se tiene para cada planta.

$$G(s) = \frac{K}{1 + Ts} e^{-Ls} \quad (5.1)$$

Sintonía PID Lambda, PI Lambda, PID Ziegler Nichols y López Miller en la planta industrial de temperatura.

En la figura 5.1. se muestran los resultados mediante los valores calculados para el proceso industrial de temperatura, con 4 métodos de sintonización detallados en la sección 3 de los procesos industriales autorregulables. Para obtener los parámetros se considera la función de transferencia obtenida en el capítulo 4 mediante la adquisición de datos de la planta industrial física.

$$G(s) = \frac{4.9632}{1 + 755.6218s} e^{-30s} \quad (5.2)$$

De este modelo matemático se calculan las constantes de sintonía y se grafican las curvas de respuestas ingresando un Set Point de 50°C para cada método.

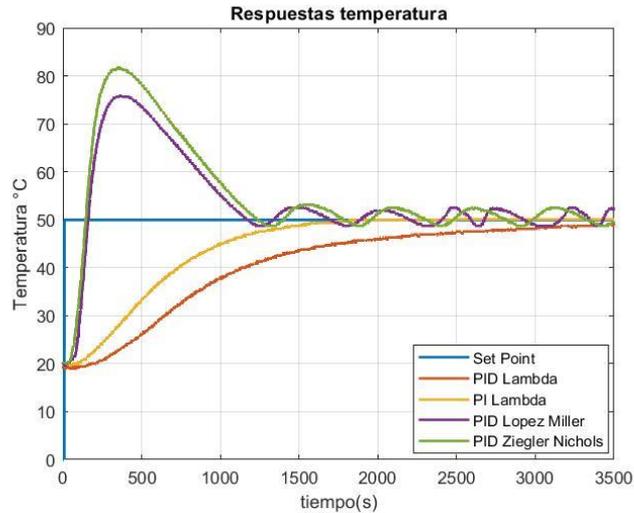


Figura 5.1. Respuesta de temperatura con cada método de sintonización

En la tabla 5.1 se detallan los parámetros de sintonía K_c , T_i , y T_d , para obtener las diferentes respuestas según las constantes calculadas. También se agregan columnas donde se aprecian los sobre impulsos que se ven en la figura 5.1.

Tabla 5.1: Parámetros K_c , T_i y T_d para la planta de temperatura.

Métodos	Parámetros			
	K_c	T_i	T_d	(PEM)%
PID Lambda	0.2015	770.621	14.708	No Overshoot
PI Lambda	0.1938	755.6218	00.00	No Overshoot
PID Ziegler Nichols	6.0898	60.00	15.00	51.36
PID López Miller	5.6439	76.7933	9.2941	63.16

Sintonía PID Lambda, PI Lambda, PID Ziegler Nichols y López Miller en la planta virtual de flujo.

En la figura 5.2. se muestran las respuestas mediante los valores calculados para el proceso virtual de flujo, con 4 métodos de sintonización detallados en la sección 3 de los procesos industriales autorregulables. Para obtener los parámetros se considera la función de transferencia obtenida en el capítulo 4 mediante la adquisición de datos en la planta virtual de flujo.

(5.3)

$$G(s) = \frac{0.9621}{1 + 0.085414s} e^{-0.7978s}$$

De este modelo matemático se calculan las constantes de sintonía y se grafican las curvas de respuestas ingresando un Set Point de 50 l/min para cada método.

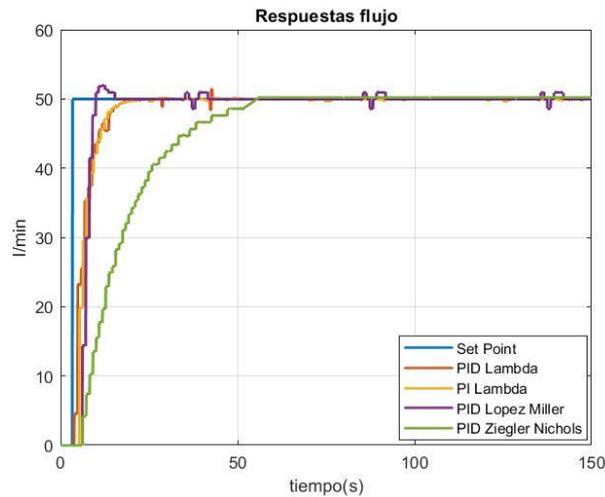


Figura 5.2. Respuesta de flujo con cada método de sintonización

En la tabla 5.2 se detallan los parámetros de sintonía K_c , T_i , y T_d , para obtener las diferentes respuestas según las constantes calculadas. También se agregan columnas donde se aprecian los sobre impulsos.

Tabla 5.2: Parámetros K_c , T_i y T_d para la planta de flujo.

Métodos	Parámetros			
	K_c	T_i	T_d	(PEM)%
PID Lambda	0.6071	1.3302	0.2962	No Overshoot
PI Lambda	0.1453	0.4452	00.000	No Overshoot
PID Ziegler Nichols	0.3059	3.54	0.885	No Overshoot
PID López Miller	0.4079	1.4257	1.0307	3.85

5.2. SINTONÍA PID DEL PROCESO INTEGRANTE.

La sintonía PID del proceso integrante corresponden a la planta virtual de nivel que es sintonizado

por el método detallado en la sección 3. Este método se calcula a partir de la función de transferencia integrante expresado por la siguiente ecuación.

$$G(s) = \frac{K}{s} e^{-ts} \quad (5.4)$$

Sintonía PI Lambda, PID Ford, PID Rotach y PID Astrom and Haugglund en la planta virtual de nivel.

Los valores se calculan para el proceso virtual de nivel con 4 métodos de sintonización detallados en la sección 3 de los procesos industriales integrantes. Para obtener los parámetros se considera la función de transferencia obtenida en el capítulo 4 mediante la adquisición de datos en la planta virtual de nivel.

$$G(s) = \frac{0.069498}{s} e^{-3s} \quad (5.5)$$

De este modelo matemático se calculan las constantes de sintonía y se grafican las curvas de respuesta que se muestran en la figura 5.3 ingresando un Set Point de 50 cm para cada método. Las gráficas resultantes a partir de los distintos parámetros se muestran a continuación.

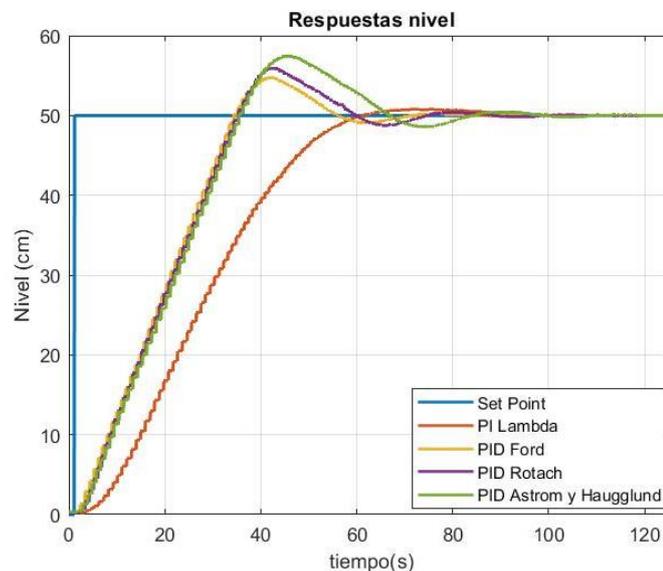


Figura 5.3. Respuesta de nivel con cada método de sintonización

En la tabla 5.3 se detallan los parámetros de sintonía K_c , T_i , y T_d , para obtener las diferentes respuestas según las constantes calculadas. También se agregan columnas donde se aprecian los sobre impulsos.

Tabla 5.3: Parámetros Kc, Ti y Td para la planta de nivel.

Métodos	Parámetros			
	Kc	Ti	Td	(PEM)%
Ford	7.0985	6.0000	1.1100	1.46
Astrom y Haugglund	4.5085	6.0000	1.5000	9.36
Lambda PI	4.7963	27.000	0.0000	11.82
Rotach	5.8035	4.8000	1.4400	14.84

5.3. VALIDACIÓN DE DATOS EN LA PLANTA DE NIVEL.

La validación de los datos para la planta de nivel como se ve en la figura 5.4. que se muestran en la plataforma SCADA se realiza mediante la comparación de los valores mostrados en la pantalla del proceso de nivel ya que la misma dispone de una conexión HDMI para conectarse a una pantalla y mostrar las variables de la planta en tiempo real.

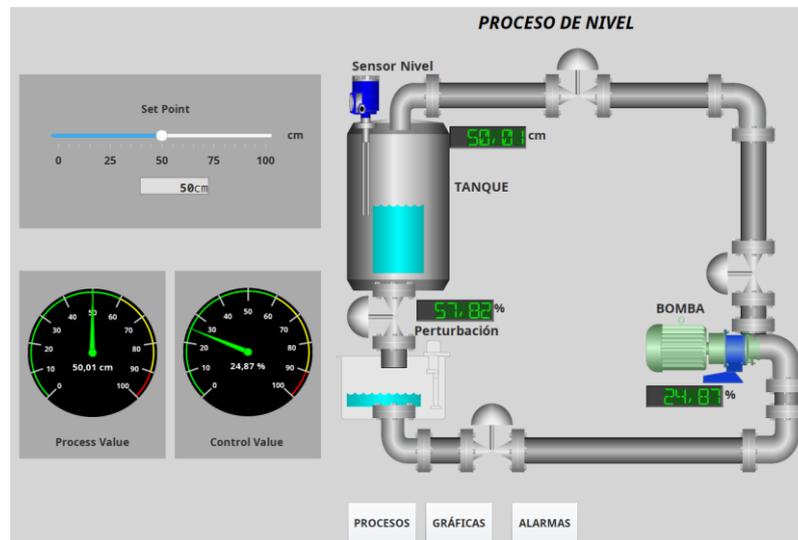


Figura 5.4. Planta de nivel en estado estable con Set Point de 50 cm.

En la figura 5.5. siguiente se muestra las variables del proceso que se visualizan mediante una pantalla conectado a la planta virtual de nivel. En esa gráfica se aprecian las señales de proceso Process Value a 50.00 cm, la señal de control Control Value a 24.6% y la perturbación en 57.3%. En la plataforma SCADA se visualizan los valores Process Value 50.01 cm, Control Value 24.87% y la perturbación a 57.82%

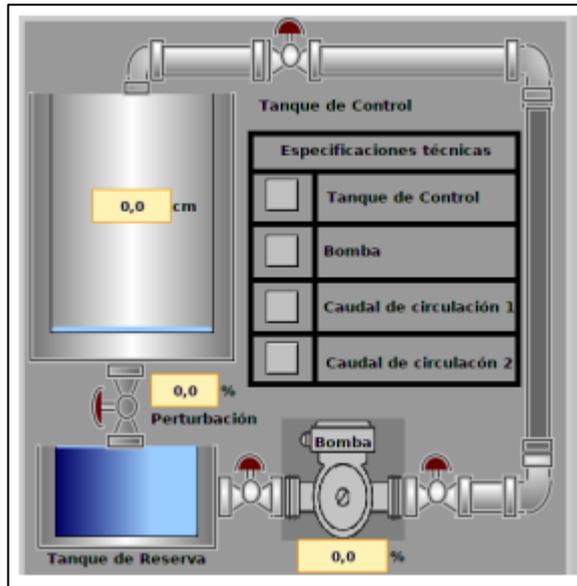


Figura 5.5. Interfaz de la planta virtual de nivel [30]

En la siguiente tabla 5.4. se muestra el error entre los valores de la planta y la plataforma SCADA.

Tabla 5.4: Error en las lecturas entre la Interfaz SCADA y la planta virtual de nivel.

Variables	Plataforma SCADA	Planta virtual de Nivel	Variación
Process Value (cm)	50.01	50.00	0.01
Control Value (%)	24.87	24.6	0.27
Perturbación (%)	57.82	57.3	0.52

$$\text{Variación} = \text{Plataforma SCADA} - \text{Planta virtual}$$

Esta tabla muestra un error mínimo entre los valores visualizados de la interfaz SCADA y la planta virtual de nivel. En porcentajes la lectura de nivel o Process Value tiene un error de 0.01%, el Control Value de 0.27% y la perturbación un error de 0.52%.

5.4. VALIDACIÓN DE DATOS EN LA PLANTA DE FLUJO.

La validación de los datos para la planta de flujo que se muestran en la plataforma SCADA se realiza mediante la comparación de los valores mostrados en la planta de flujo que cuenta con un monitor integrado este valor se muestra en la figura 5.6.

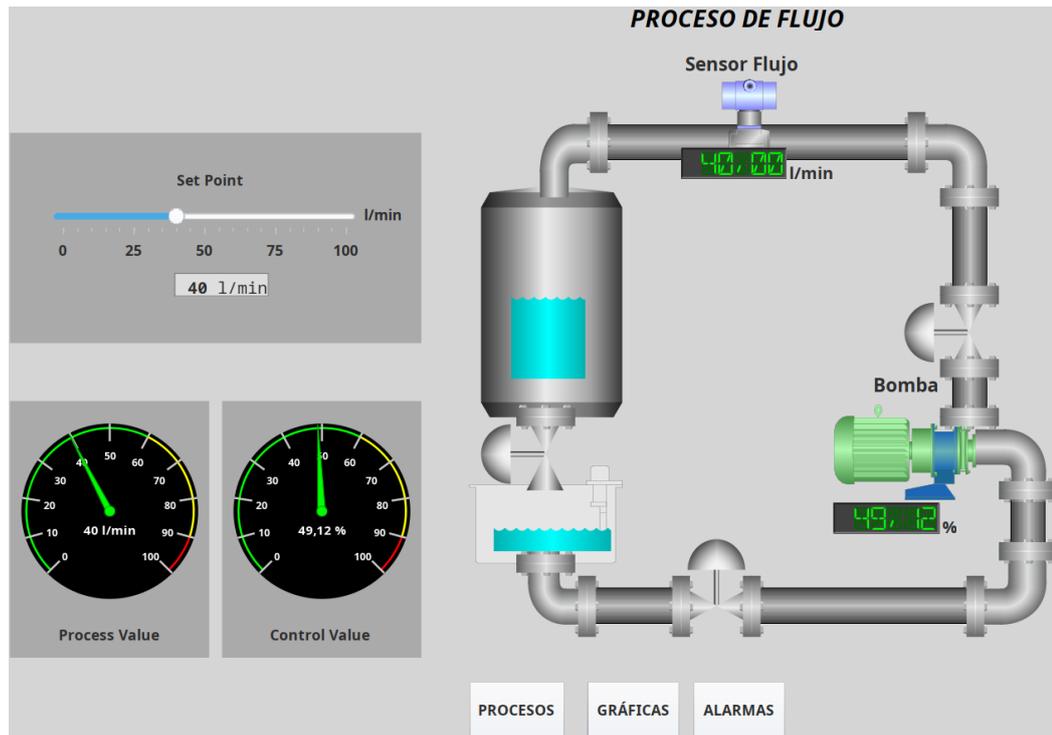


Figura 5.6. Planta de flujo en estado estable con Set Point de 40 l/min.

En la figura siguiente 5.7. se muestran las variables del proceso que se visualizan en el monitor de la planta virtual de flujo. En esa gráfica se aprecian las señales del proceso Process Value a 39.99, la señal de control Control Value a 49.12 y la perturbación en 0%. En la plataforma SCADA se visualizan los valores Process Value 40.00 l/min y Control Value 49.00 %.



Figura 5.7. Variables de proceso de flujo en la planta virtual. [31]

En la siguiente tabla se muestra el error entre los valores de la planta y la plataforma SCADA.

Tabla 5.5: Error de las lecturas entre la Interfaz SCADA y la planta virtual de flujo.

Variables	Plataforma SCADA	Planta virtual de flujo	Variación
Process Value (l/min)	40.00	39.29	0.71
Control Value (%)	49.12	49.12	0.00

$$\text{Variación} = \text{Plataforma SCADA} - \text{Planta virtual}$$

Esta tabla muestra un error mínimo entre los valores visualizados de la interfaz SCADA y la planta virtual de nivel. En porcentajes la lectura de nivel o Process Value tiene un error de 0.29%, el Control Value de 0.00%.

5.5. VALIDACIÓN DE DATOS EN LA PLANTA DE TEMPERATURA.

La validación de los datos para la planta de temperatura que se muestran en la plataforma SCADA se realiza mediante una cámara termográfica enfocando en el extremo del sensor que se encuentra en el interior del horno. También se realizan mediciones con una termocupla digital implementado en el horno, se monitorea con la planta en estado estable cuando alcanza un Set Point de 145° Celsius. Los valores de las variables de temperatura en la plataforma SCADA se muestra en la figura 5.8.

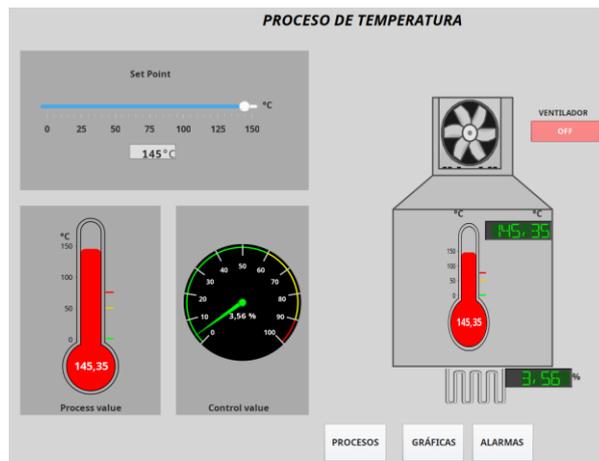


Figura 5.8. Comportamiento de las variables de temperatura en la plataforma SCADA.

En la siguiente figura 5.9. se muestra la temperatura del proceso con un Set Point de 145 ° Celsius, en la gráfica anterior se muestra el panel de la interfaz SCADA para la planta de temperatura con los valores Set Point 145° Celsius, Process Value 145.35° Celsius y el Control Value 3.46 %. En el

gráfico siguiente se muestra la cámara termográfica enfocada en el extremo del sensor que indica una temperatura de 145° Celsius.



Figura 5.9. Variables del proceso de temperatura con la cámara termográfica en el sensor RTD PT-100.

En la siguiente tabla se muestra el error entre los valores de la planta y la plataforma SCADA.

Tabla 5.6: Error de las lecturas entre la Interfaz SCADA y la planta industrial de temperatura.

Variables	Plataforma SCADA	Planta real de temperatura	Variación
Process Value (l/min)	145.35	145	0.35
Control Value (%)	3.56	3.56	0.00

$$\text{Variación} = \text{Plataforma SCADA} - \text{Planta real}$$

Esta tabla muestra un error mínimo entre los valores visualizados de la interfaz SCADA y la planta industrial de temperatura. En porcentajes la lectura de la temperatura o Process Value tiene un error de 0.35%, el Control Value de 0.00%.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTO

En la tabla se detallará el costo de inversión para el desarrollo de la propuesta tecnológica.

Tabla 6.1: Presupuesto del proyecto

MATERIALES	Cantidad	C. Unitario	C. Total
PLC S7-1200	1	\$450,00	\$450,00
Módulo de salidas analógicas SB1232	1	\$150,00	\$150,00
Módulo Modbus CM1241 RS422/485	2	\$205,00	\$410,00
Router TP Link	1	\$20,00	\$20,00
Sensor de temperatura digital	1	\$12,00	\$12,00
Cable serial DB9 macho - macho	1	\$12,00	\$12,00
Cable UTP categoría 5	5	\$0,75	\$3,75
Módulo didáctico de nivel	1	\$1442,14	\$1442,14
Módulo didáctico de flujo	1	\$363,00	\$363,00
Módulo didáctico de temperatura	1	\$560,00	\$560,00
TOTAL			\$3422,89

6.1.1. Gastos indirectos

Tabla 6.2: Gastos Indirectos

Detalle	V. Unidad	V. Total
Transporte	\$100,00	\$100,00
Alimentación	\$60,00	\$60,00
	Total	\$160,00

6.1.2. Gastos totales

Tabla 6.3: Gastos totales

GASTOS DIRECTOS	\$3422,89
GASTOS INDIRECTOS	\$160,00
TOTAL	\$3582,89

6.2. ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.2.1. Impacto tecnológico

Mediante este proyecto se aprovecha los avances tecnológicos en los sistemas de automatización, control y monitoreo; implementando plantas virtuales que ayudan a representar varios procesos reales que se encuentran en la industria, esta tecnología permite interactuar al operario en un entorno casi real donde se visualizan todas las características propias que implican a cada proceso. Además, este tipo de aplicación permite comprobar diferentes opciones de control sin implicar riesgo para la planta o la persona encargada.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La bibliografía consultada sobre el uso de los sistemas SCADA en los procesos virtuales de demostró la utilidad de este tipo de aplicaciones. Se puede consolidar que los sistemas SCADA con procesos simulados, a pesar de no ser muy utilizados, constituyen una alternativa posible ante la falta de equipamiento real.
- La selección del software Ignition SCADA, para la implementación del sistema en los procesos virtuales resalto la flexibilidad y funcionalidad de dicho software. Su entorno de desarrollo sencillo y amigable facilitó en gran medida el trabajo realizado.
- El uso de protocolos de comunicación como Modbus, Ethernet y OPC facilita el desarrollo de aplicaciones de automatización, ya que se disponen de una amplia gama de dispositivos industriales con los cuales se puede establecer una comunicación. Empleando la compatibilidad del simulador con el protocolo,
- Desarrollar este tipo de proyectos que emulan a un sistema SCADA aplicando normas industriales, permite diseñar de mejor manera posibles aplicaciones en ambientes reales, como es el caso de las plantas lácteas, envasado de bebidas, plantas de tratamiento de aguas residuales entre otros., presentándose la posibilidad de servir como precedente para las fábricas que existen en nuestro país

Recomendaciones

- En la configuración de la comunicación Ethernet con los bloques TSEND_C y TRCV_C se debe considerar las versiones del firmware de los PLC que se van a conectarse mediante esta red, si las mismas son distintas se debe seleccionar el bloque TSEND_C y TRCV_C de la máxima versión que dispone el PLC más antiguo.
- Es importante que el software de desarrollo brinde facilidades de modificación, o migración a otras plataformas, en especial, la elaboración de interfaces gráficas.
- Se recomienda usar el método de sintonía lambda por que garantiza robustez, estabilidad y respuesta no oscilatoria
- Se debe tener en cuenta el rango mínimo y máximo del nivel, flujo y temperatura dependiendo de las características de cada una de las plantas utilizadas para la adquisición de datos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. M. J. J. y. Y. C. B. Rafael, Artist, *DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA DEL INVERNADERO EXPERIMENTAL # 2 DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI CAMPUS SALACHE*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2021.
- [2] Á. P. J. E. y. M. M. B. Stalin, Artist, “*IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL, MONITOREO Y ANÁLISIS DE INDICADORES DE OPERACIÓN DEL INVERNADERO DEL CAMPUS SALACHE*.”. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2020.
- [3] A. P. L. A. y. T. M. A. Daniel, Artist, “*CONTROL Y MONITOREO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA MEDIANTE UN SISTEMA SCADA PARA EL CULTIVO DE MORA EN EL SECTOR DE YANAHURCO*”. [Art]. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2021.
- [4] L. H. J. M. y. V. S. L. Esteban, Artist, *Implementación de un sistema SCADA para el control de temperatura de dos hornos a través de una red ethernet..* [Art]. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2021.
- [5] P. S. M. Miranda, Artist, *ESTUDIO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN EN CONTROLADORES PID APLICADO A UN PROCESO DE CAUDAL VARIABLE*. [Art]. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2021.
- [6] A. B. Gambao, *Sistemas de Producción Automatizados*, Madrid: DEXTRA, 2014.
- [7] D. Sánchez Morillo, *Introducción a la síntesis y programación de automatismos secuenciales*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2013.
- [8] J. A. T. O. a. L. F. V. T. L. E. Contreras Bravo, Artist, “*Automatización en nivel de control de planta mediante el uso de herramientas libres y computación*,”. [Art]. Univ. Dist. Fancisco José Caldas, 2015.
- [9] H. G. A. Jaya, Artist, “*DESARROLLO DE UN SCADA PARA UNA PLANTA SIMULADA DE PRODUCCIÓN DE VIDRIO TEMPLADO*”. [Art]. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2019.
- [10] I. M. W. Cuervo, «*Linkedin*,» 16 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://es.linkedin.com/pulse/m%C3%B3dulos-industriales-fundamentados-en-la-pir%C3%A1mide-de-william-cuervo>. [Último acceso: 25 Febrero 2022].
- [11] J. & R. L. & N. C. & P. V. Aquino, «*ResearchGate*,» Enero 2018. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Interaccion-de-Tecnologias-en-la-Mecatronica-El-origen-del-concepto_fig2_310768242. [Último acceso: 05 Febrero 2022].
- [12] SEGU-INFO, «*SEGU-INFO*,» 12 Junio 2017. [En línea]. Available: https://blog.segu-info.com.ar/2017/06/ciberseguridad-en-la-piramide-de.html?utm_source=Segu.Info&utm_medium=twitter&utm_campaign=seguinfo. [Último acceso: 05 Febrero 2022].

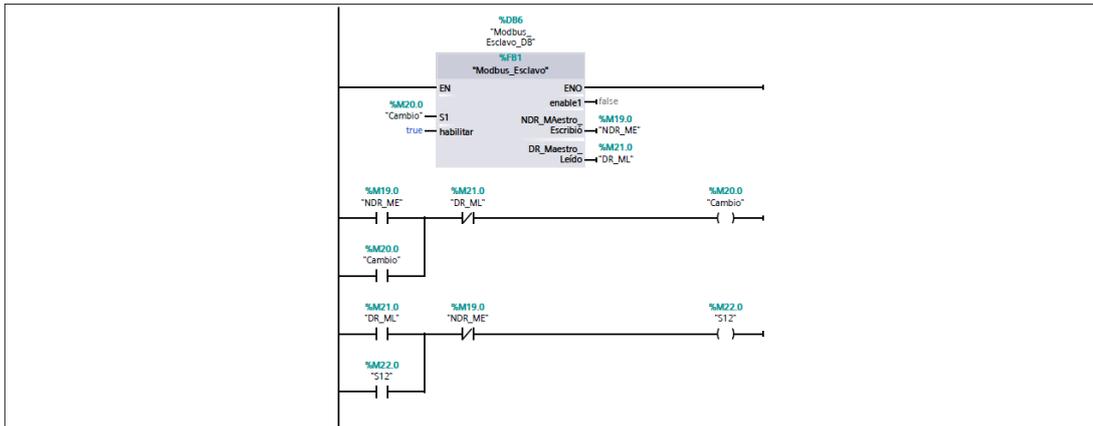
- [13] O. H. Ramos, Artist, *Sistema SCADA para control de proceso virtual*. [Art]. Universidad Central "Marta Abreu" de las villas, 2018.
- [14] O. H. Ramos, Artist, *Sistema SCADA para control de proceso virtual*. [Art]. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, 2018.
- [15] Sicma21, «Sicma21 Soluciones Integrales para la Industria,» 22 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.sicma21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/>. [Último acceso: 07 Febrero 2022].
- [16] J. M. Hurtado, Artist, *Redes de Comunicación Industrial*. [Art]. Ciclo superior de automatización y robótica industrial, 2020.
- [17] J. J. y. C. C. R. S. Alvarez Gonzáles, Artist, *"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE*. [Art]. Universidad Católica de Santa María, 2021.
- [18] B. Canet, «industrial_Shields,» 29 Junio 2020. [En línea]. Available: https://www.industrialshields.com/es_ES/blog/blog-industrial-open-source-1/post/comunicaciones-y-protocolos-en-la-automatizacion-industrial-231.
- [19] Logicbus, «Logicbus.Blog,» 14 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/blog/modbus-rtu/>.
- [20] cursosaula21, «Centro de formación técnica para la industria,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-opc-y-como-funciona/>.
- [21] E. L. Noticias, «Coopelectric montó un sistema remoto para control del servicio eléctrico,» *En Línea Noticias*, 02 Enero 2022.
- [22] P. S. Salamanca, Artist, *Componentes del sistema SCADA*. [Art]. 2021.
- [23] «Vester industrial,» 2022. [En línea]. Available: <https://vestertraining.com/blog/componentes-sistema-scada/>. [Último acceso: 08 febrero 2022].
- [24] M. P. Miguel Gualan, Artist, *Elaboración de un módulo de guías de práctica para el aprendizaje y entrenamiento en el desarrollo de sistemas SCADA*. [Art]. Universas Politécnica Salesiana sede Cuenca, 2019.
- [25] J. Rejón, «mundotelematico.com,» 17 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.mundotelematico.com/ignition-scada-server/>. [Último acceso: 08 Febrero 2022].
- [26] R. Jimenez, Artist, *Comunicación OPC para el enlace entre los software de rockwel automation del plc allenbradley micrologix 1000 e intouch*. [Art]. Universidad de Pamplona, 2018.
- [27] J. R. G. Laura Tayde Contreras Álvarez, Artist, *IMPLEMENTACIÓN DE UN SERVIDOR OPC PARA EL*. [Art]. Universidad Tecnológica de Altamira, 2018.
- [28] C. Pardo, «PICUINO,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.picuino.com/es/control->

- pid.html. [Último acceso: 25 FEBRERO 2022].
- [29] G. M. y. T. A. H. A. Balladares Vargas, Artist, *Sistema virtual 3D de una torre de destilación, mediante la técnica de Hardware in The Loop, para la enseñanza en el Control de Procesos..* [Art]. ESPE, 2020.
- [30] B. C. B. Alexander, Artist, *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL (HARDWARE IN THE LOOP) PARA EL CONTROL DE NIVEL.* [Art]. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2021.
- [31] F. L. L. E. y. H. L. G. Alexander, Artist, *DISEÑO DE HARDWARE IN THE LOOP PARA CONTROL DE FLUJO..* [Art]. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI , 2021.
- [32] I. Scada. [En línea]. Available: <https://www.nvtecnologias.com/ignition-scada-solicitar-consultoria/>. [Último acceso: 19 01 2022].
- [33] K. Ogata, Ingeniería de control moderna, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2010.
- [34] SIEMENS, «SIEMENS,» SIEMENS, 26 02 2021. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/catalog/product/6es7241-1ch32-0xb0>. [Último acceso: 15 11 2021].
- [35] V. Arcos, «Mercado Libre,» TECNICS TECNOLOGÍA INFORMÁTICA TELECOM. Y, [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-509197718-cable-adaptador-serial-rs232-db9-macho-macho-delta-15-metro-_JM#position=9&search_layout=stack&type=item&tracking_id=70c7c30e-da31-476a-b5f8-392429964696. [Último acceso: 18 11 2021].
- [36] Arquitecsolar, «Arquitecsolar,» [En línea]. Available: http://arquitecsolar.com/termografia/68-camara-termografica-flir-e50.html?content_only=1. [Último acceso: 15 02 2022].
- [37] B. A. Bonilla Correa, «IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL (HARDWARE IN THE LOOP) PARA EL CONTROL DE NIVEL,» *Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi*, vol. 1, n° 1, p. 73, 2021.
- [38] K. Ogata, Ingeniería de control moderna, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2010.
- [39] R. A. Solano, D. L. Alabazares y Mario, «Modelado del sistema de nivel para la operación de sanitizado lima persa,» *Ingeniantes*, vol. 1, n° 2, p. 5, 2019.
- [40] Siemens, «Turll,» Siemens, 02 08 2021. [En línea]. Available: <https://turll.com/6es7241-1ch32-0xb0/>. [Último acceso: 01 01 2022].

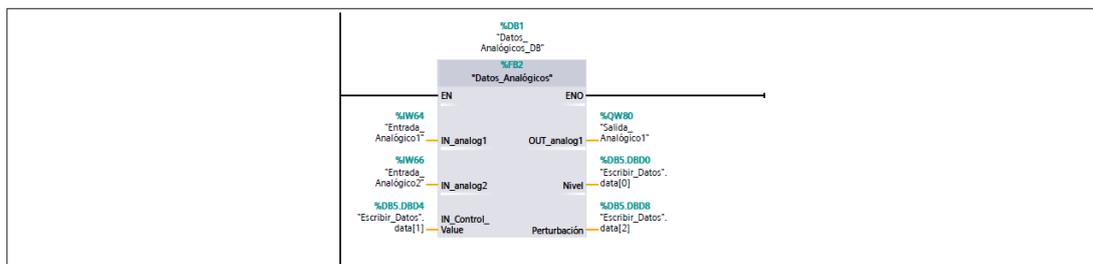
ANEXOS



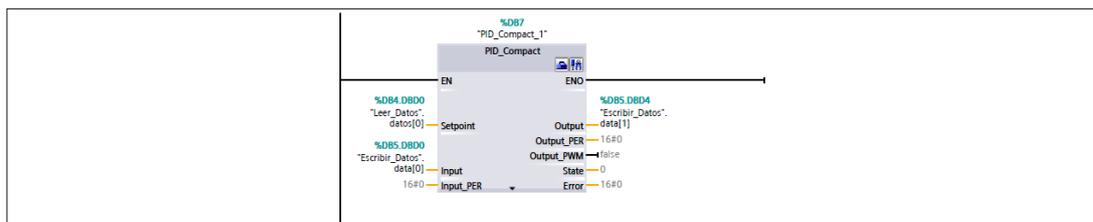
Segmento 1: Comunicación Modbus Esclavo



Segmento 2: Datos Analógicos



Segmento 3: Control PID



Anexo A.1. Programación Ladder en el bloque principal MAIN[OB1]

ANEXO A.

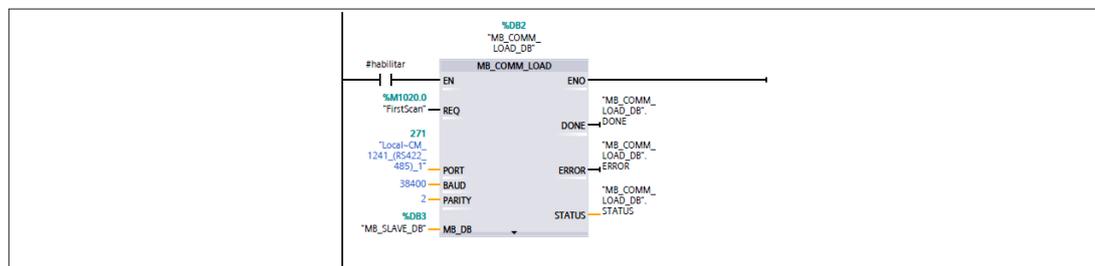
(bloque de función Modbus_Esclavo [FB1])



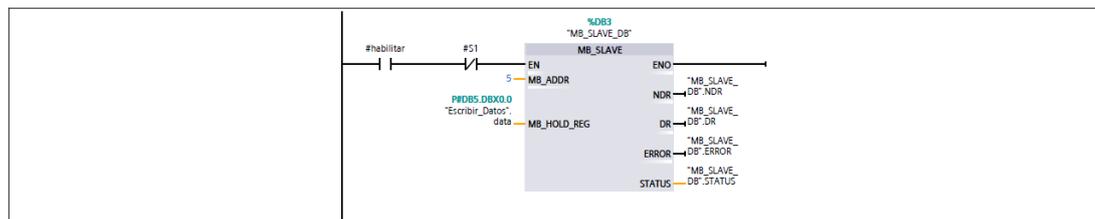
▼ Input								
S1	Bool	false	No remanente	True	True	True	False	
habilitar	Bool	false	No remanente	True	True	True	False	
▼ Output								
enable1	Bool	false	No remanente	True	True	True	False	
NDR_Maestro_Escribió	Bool	false	No remanente	True	True	True	False	
DR_Maestro_Leído	Bool	false	No remanente	True	True	True	False	
InOut								
Static								
▼ Temp								
e1	Bool							
Constant								

Anexo A.2. Declaración de variables internas en el bloque de función FB1

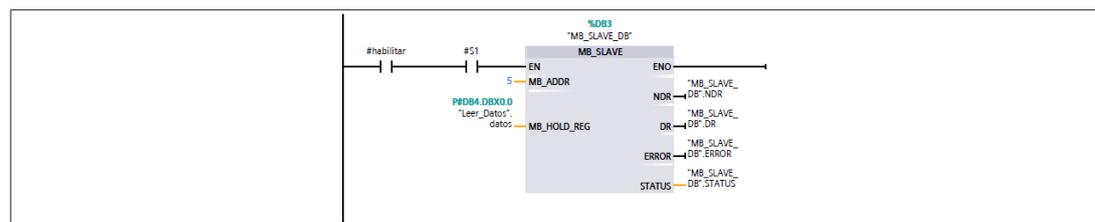
Segmento 1: MB_COMM_LOAD (Arrancar comunicación Modbus Esclavo)



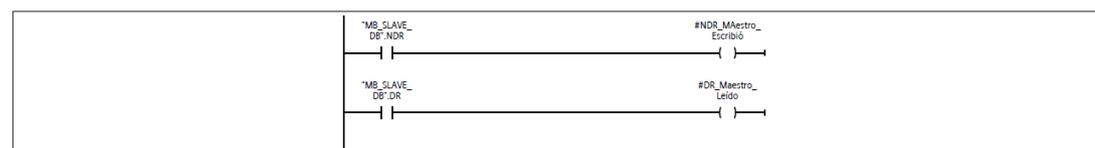
Segmento 2: MB_SLAVE para escribir datos al maestro



Segmento 3: MB_SLAVE para leer datos enviados por el maestro



Segmento 4: Señales de respuesta a la ejecución actual del esclavo



Anexo A.3. Programación Ladder en el bloque de función FB1

ANEXO A.

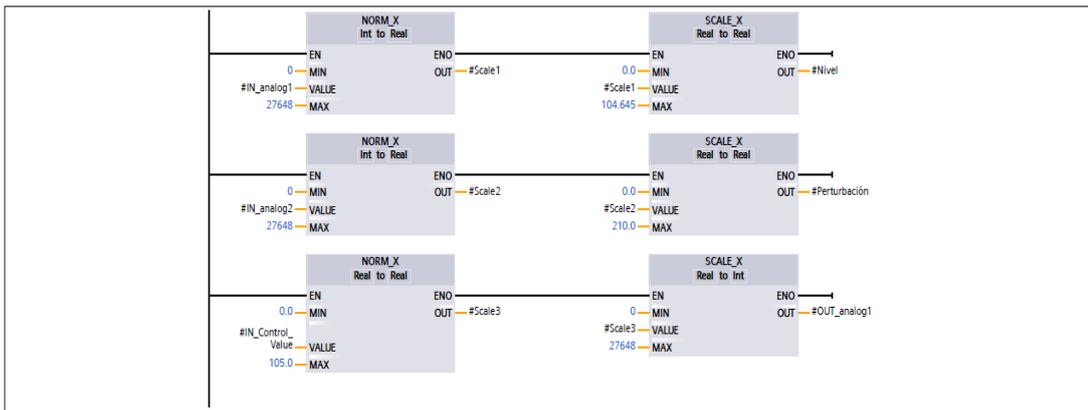
(bloque de función Datos_Analógicos [FB2]) y PARÁMETROS PID INGRESADOS EN EL BLOQUE (PID_COMPACT)



▼ Input									
IN_analog1	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
IN_analog2	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
IN_Control_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
▼ Output									
OUT_analog1	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
Nivel	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
Perturbación	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
InOut									
Static									
▼ Temp									
Scale1	Real								
Scale2	Real								
Scale3	Real								
Constant									

Anexo A.4. Declaración de variables internas en el bloque de función FB2

Segmento 1: Normalizado y escalado de las señales analógicas (Entradas y salidas)

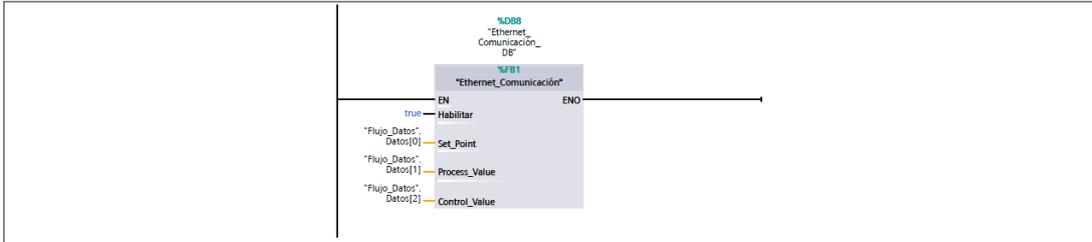


Anexo A.5. Programación Ladder en el bloque de función FB1

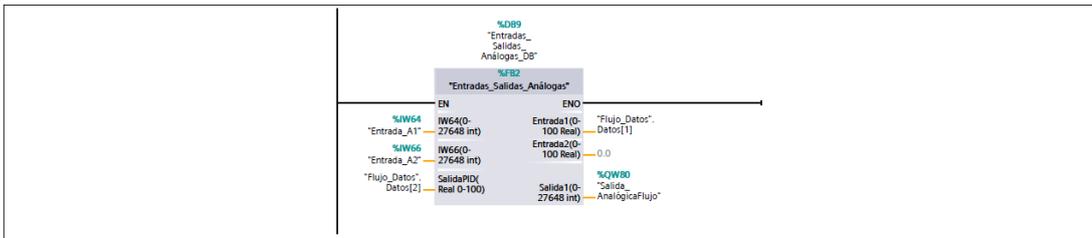
Anexo A.6. Parámetros PID ingresados para la planta de nivel.



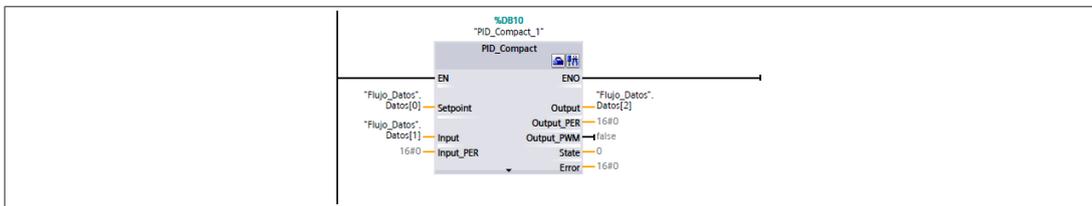
Segmento 1: Comunicación Ethernet de las variables



Segmento 2: Entradas y salidas analógicas



Segmento 3: Control PID Flujo



Anexo B.1. Programación Ladder del bloque principal MAIN (OB1) para la planta de flujo.

ANEXO B.

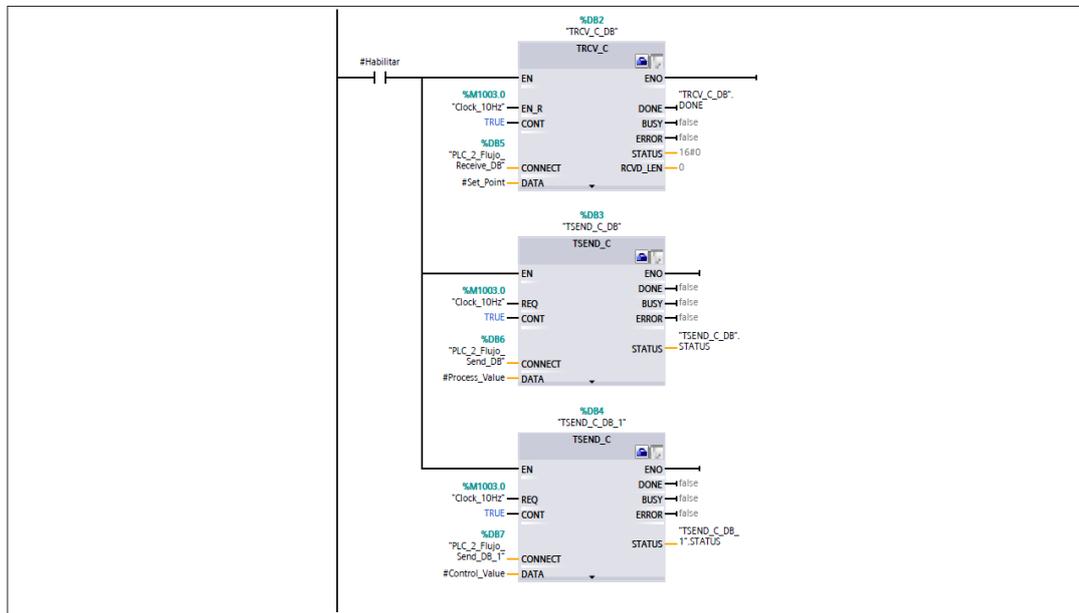
(bloque de función Ethernet_Comunicación[FB1])



▼ Input								
Habilitar	Bool	false	No remanente	True	True	True	False	
Output								
▼ InOut								
Set_Point	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False	
Process_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False	
Control_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False	
Static								
Temp								
Constant								

Anexo B.2. Declaración de variables internas en el bloque de función FB1

Segmento 1: Configuración de la comunicación Ethernet con los bloques TSEND_C y TRCV_C



Anexo B.3. Programación Ladder del bloque de función (FB1) para la planta de flujo.

ANEXO B.

(bloque de función Entradas_Salidas_Análogas[FB2]) y parámetros PID.

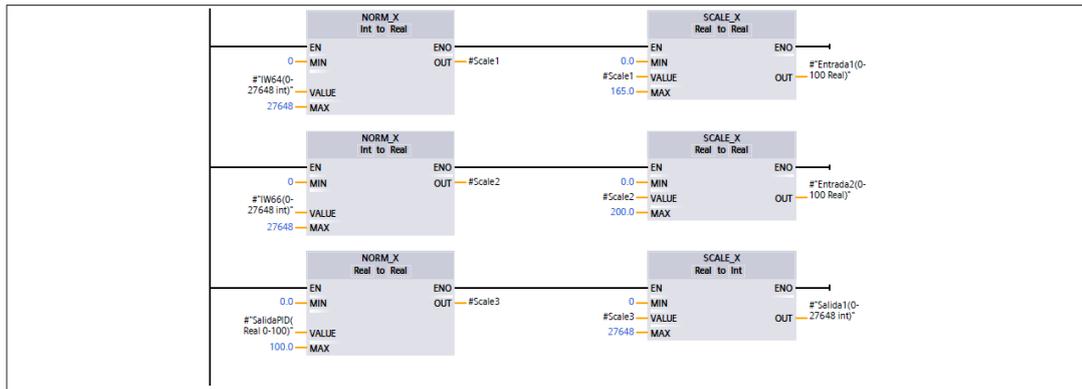


▼ Input							
IW64(0-27648 int)	Int	0	No remanente	True	True	True	False
IW66(0-27648 int)	Int	0	No remanente	True	True	True	False
SalidaPID(Real 0-100)	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False
▼ Output							
Entrada1(0-100 Real)	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False
Entrada2(0-100 Real)	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False
Salida1(0-27648 int)	Int	0	No remanente	True	True	True	False
InOut							
Static							
▼ Temp							
Scale1	Real						
Scale2	Real						
Scale3	Real						
Constant							

Anexo

B.4. Declaración de variables internas en el bloque de función FB2

Segmento 1: Normalizado y escalado de las entradas y salidas analógicas



Anexo B.5. Programación Ladder en el bloque de función FB2

The screenshot shows the configuration interface for the PID controller. The left sidebar lists various adjustment categories, with 'Parámetros PID' selected. The main area displays the following parameters:

- Activar entrada manual
- Ganancia proporcional: 0.1905
- Tiempo de integración: 0.5186 s
- Tiempo derivativo: 0.5223 s
- Coefficiente retardo derivativo: 0.0
- Ponderación de la acción P: 0.0
- Ponderación de la acción D: 0.0
- Tiempo muestreo algoritmo PID: 1.0 s

Regla para la optimización: Estructura del regulador: PID

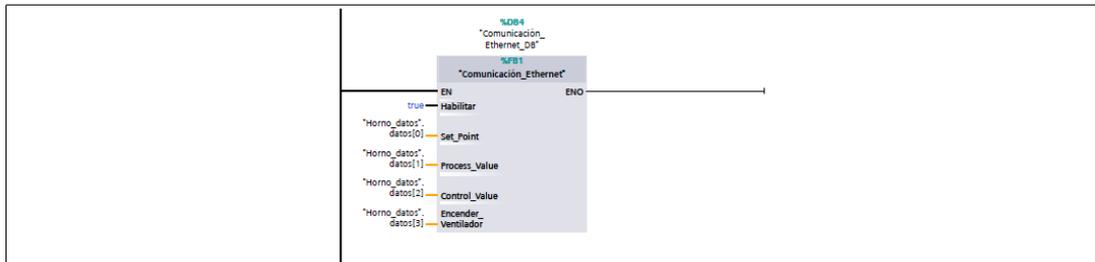
Anexo B.6. Parámetros PID en la planta de flujo

ANEXO C.

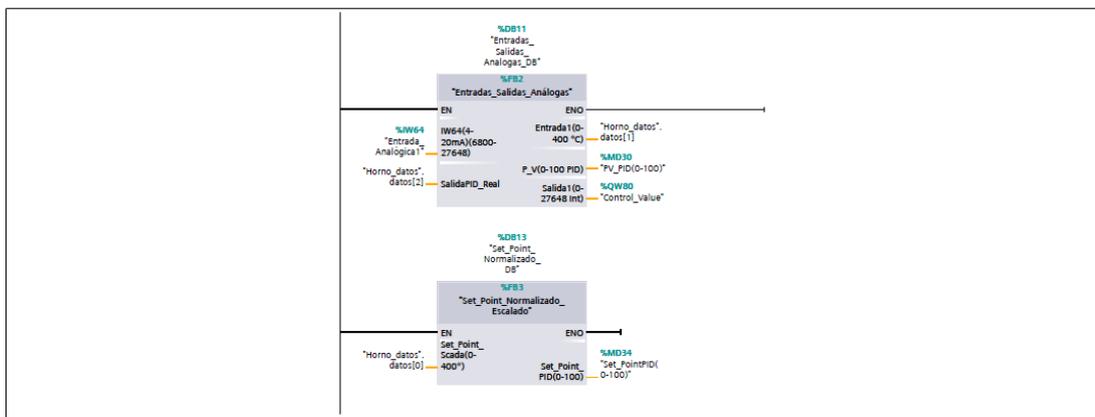
PROGRAMACIÓN LADDER EN TIA PORTAL PARA LA PLANTA DE TEMPERATURA (bloque MAIN[OB1])



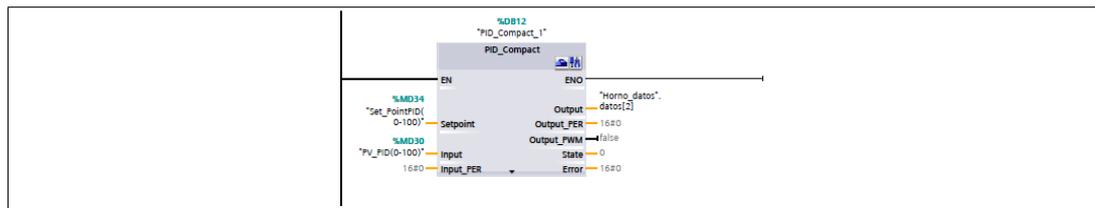
Segmento 1: Comunicación Ethernet de la planta de flujo



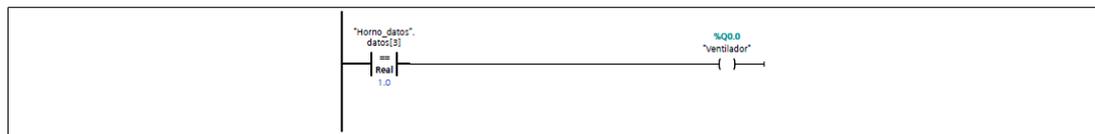
Segmento 2: Entradas y salidas analógicas



Segmento 3: Control PID de temperatura



Segmento 4: Control del Ventilador



Anexo C.1. Programación Ladder del bloque principal MAIN (OB1) para la planta de temperatura.

ANEXO C.

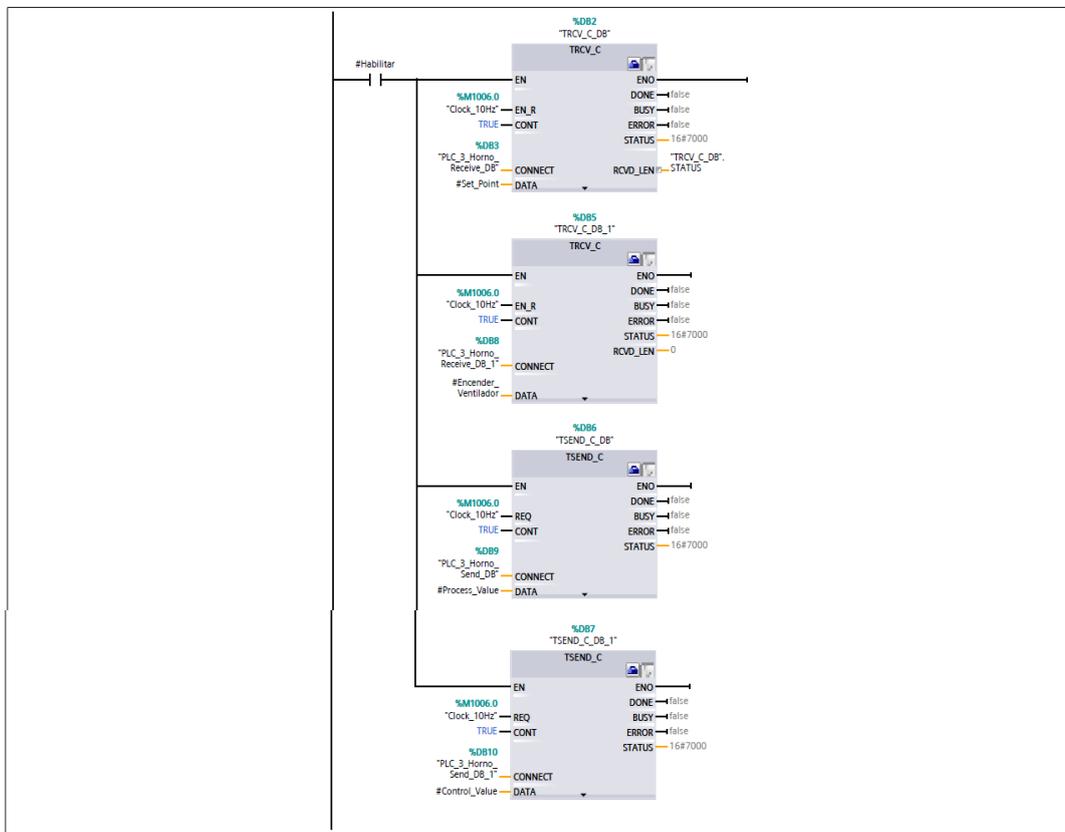
(bloque de función Comunicación_Ethernet [FB1])



▼ Input									
Habilitar	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
Output									
▼ InOut									
Set_Point	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
Process_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
Control_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
Encender_Ventilador	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
Static									
Temp									
Constant									

Anexo C.2. Declaración de variables internas en el bloque de función FB1

Segmento 1: Configuración de la comunicación Ethernet con los bloques TSEND_C y TRCV_C



Anexo C.3. Programación Ladder del bloque de función (FB1) para la planta de temperatura.

ANEXO C.

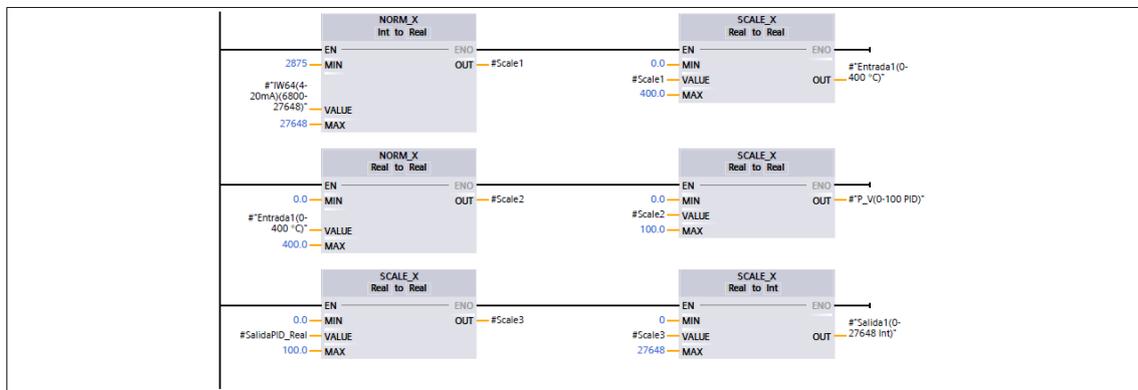
(bloque de función Entradas_Salidas_Analogas[FB2]).



▼ Input									
IW64(4-20mA)(6800-27648)	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
SalidaPID_Real	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
▼ Output									
Entrada1(0-400 °C)	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
P_V(0-100 PID)	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
Salida1(0-27648 Int)	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
InOut									
Static									
▼ Temp									
Scale1	Real								
Scale2	Real								
Scale3	Real								
Constant									

Anexo C.4. Declaración de variables internas en el bloque de función FB2

Segmento 1: Normalizado y escalado de las entradas y salidas analógicas



Anexo C.5. Programación Ladder en el bloque de función FB2

ANEXO C.

(bloque de función Set_Point_Normalizado_Escalado [FB3]), y los parámetros PID.



▼ Input									
Set_Point_Scada(0-400°)	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
▼ Output									
Set_Point_PID(0-100)	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
InOut									
Static									
▼ Temp									
Scale1	Real								
Constant									

Anexo C.6. Declaración de variables internas en el bloque de función FB3

Segmento 1:



Anexo C.7. Programación Ladder en el bloque de función FB3 para normalizar y escalar el Set Point para ingresar en el bloque PID estandarizado de 0 a 100%.

- ▼ Ajustes básicos
- Tipo de regulación ✓
- Parámetros de entrad... ✓
- ▼ Ajustes del valor real
- Límites del valor real ✓
- Escala del valor real ✓
- ▼ Ajustes avanzados
- Monitorización del va... ✓
- Limitaciones PWM ✓
- Límites del valor de sa... ✓
- Parámetros PID ✓

Parámetros PID

Activar entrada manual

Ganancia proporcional:

Tiempo de integración: s

Tiempo derivativo: s

Coefficiente retardo derivativo:

Ponderación de la acción P:

Ponderación de la acción D:

Tiempo muestreo algoritmo PID: s

Regla para la optimización

Estructura del regulador:

Anexo C.8. Parámetros PID en la planta de temperatura.

Segmento 1: Comunicación Ethernet con la planta de flujo y temperatura

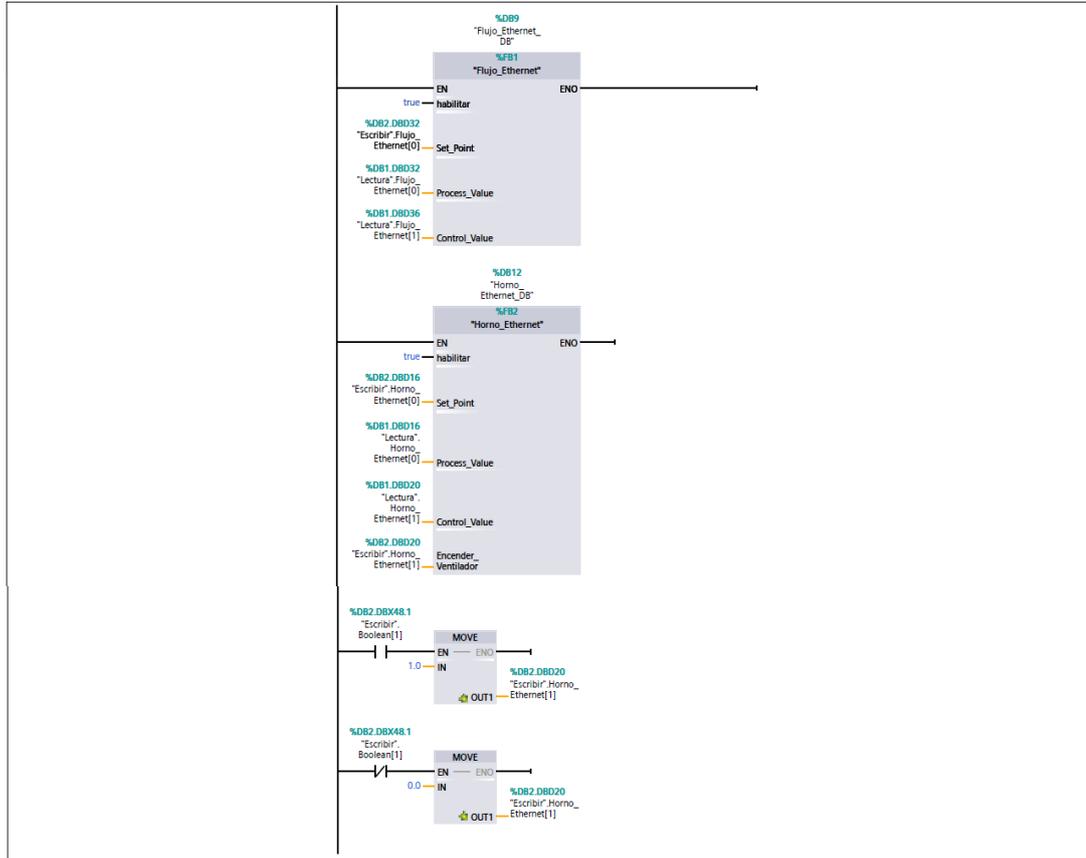
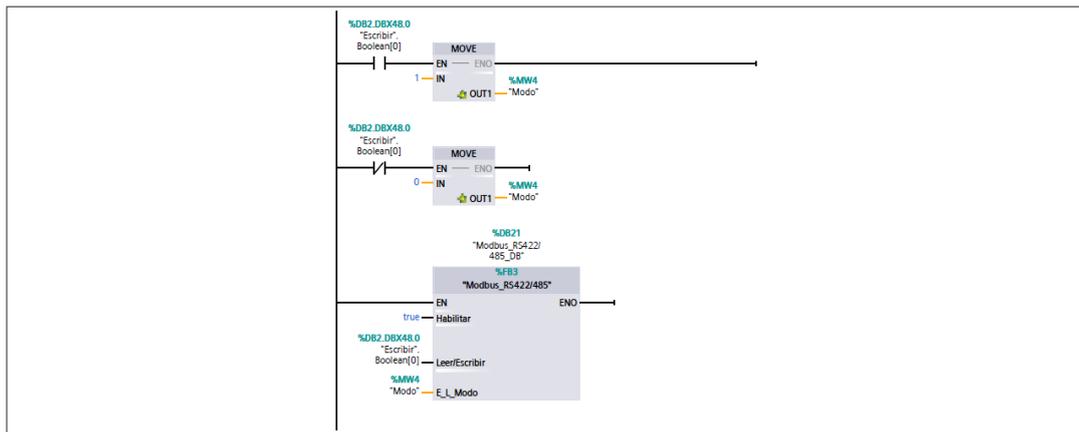
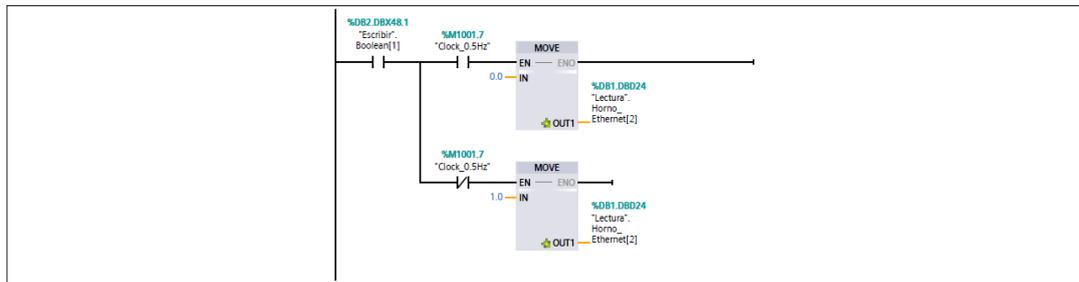


Figura D.1. Comunicación Ethernet.

Segmento 2: Comunicación Modbus RTU con la planta de nivel



Segmento 3: Animar Ventilador del horno



Anexo D.2. Programación Ladder del bloque principal MAIN (OB1) para la planta de temperatura.

ANEXO D.

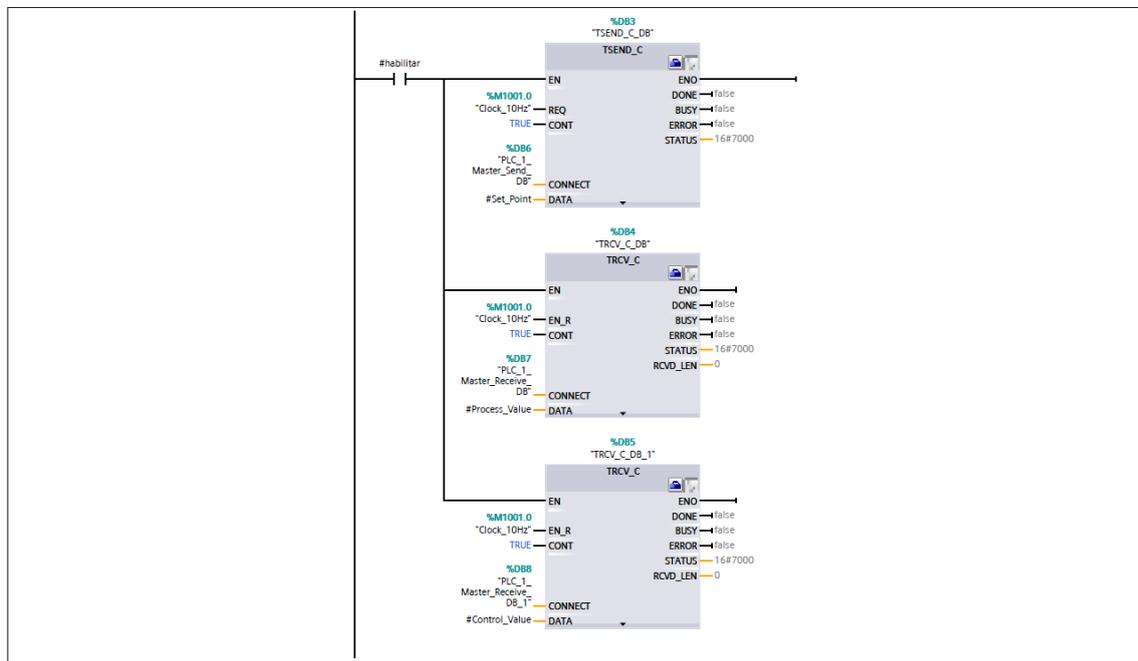
**(bloque de función Flujo_Ethernet
[FB1])**



▼ Input									
habilitar	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
Output									
▼ InOut									
Set_Point	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
Process_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
Control_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False		
Static									
Temp									
Constant									

Anexo D.3. Declaración de variables internas en el bloque de función FB1

Segmento 1: Configuración Ethernet con TSEND_C y TRCV_C para la planta de flujo



Anexo D.4. Programación Ladder del bloque de función (FB1).

ANEXO D.

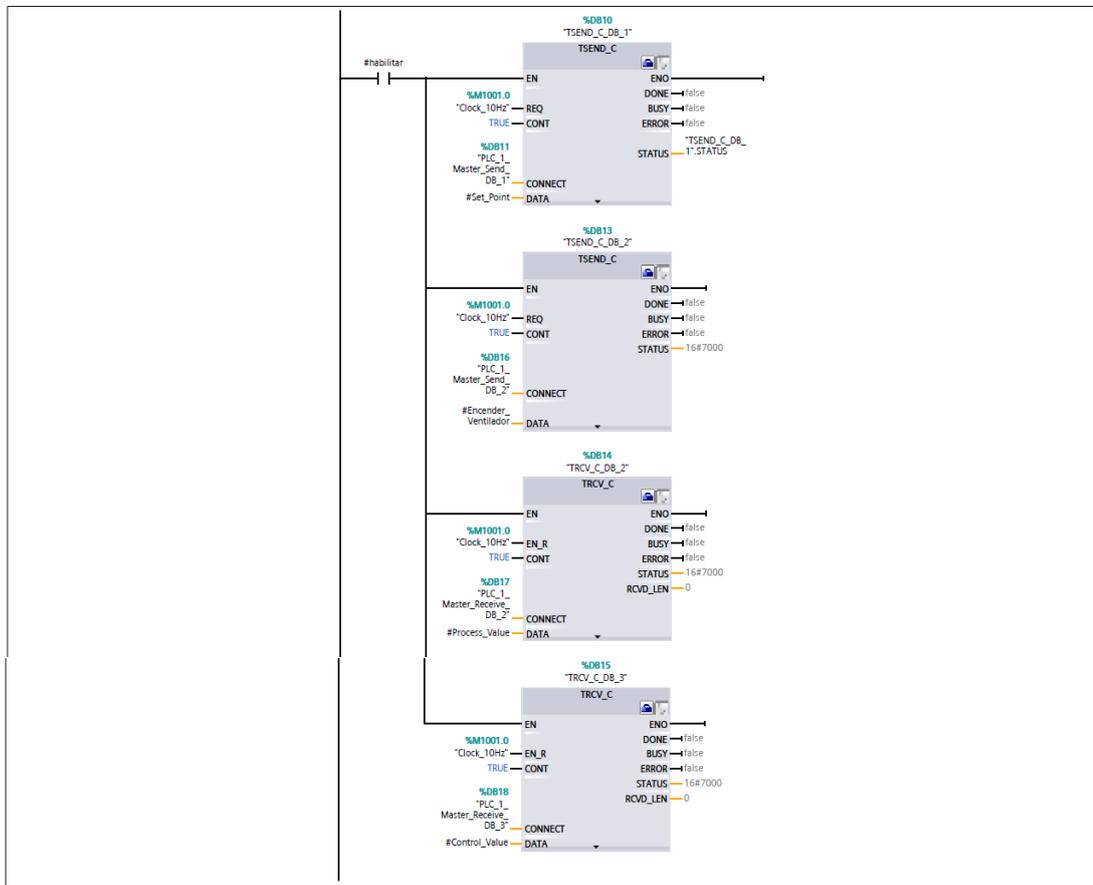
(bloque de función Horno_Ethernet [FB2])



▼ Input								
habilitar	Bool	false	No remanente	True	True	True	False	
Output								
▼ InOut								
Set_Point	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False	
Process_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False	
Control_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False	
Encender_Ventilador	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False	
Static								
Temp								
Constant								

Anexo D.5. Declaración de variables internas en el bloque de función FB2

Segmento 1: Configuración Ethernet con TSEND_C y TRCV_C para la planta de temperatura



Anexo D.6. Programación Ladder del bloque de función (FB2).

ANEXO D.

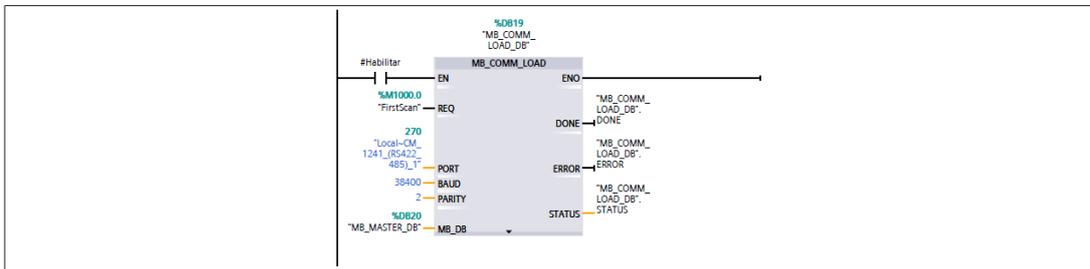
(bloque de función Modbus_RS422/485[FB3])



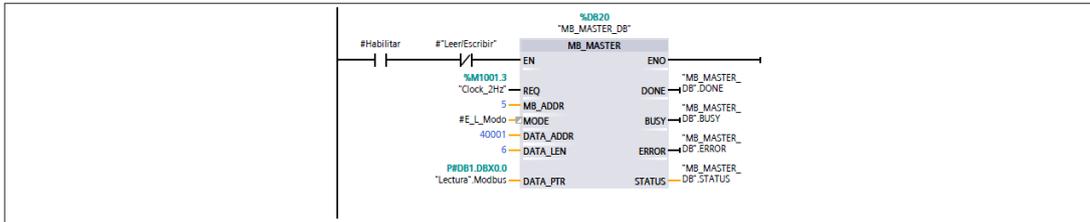
▼ Input								
Habilitar	Bool	false	No remanente	True	True	True	False	
Leer/Escribir	Bool	false	No remanente	True	True	True	False	
E_L_Modo	Int	0	No remanente	True	True	True	False	
Output								
InOut								
Static								
Temp								
Constant								

Anexo D.7. Declaración de variables internas en el bloque de función FB3

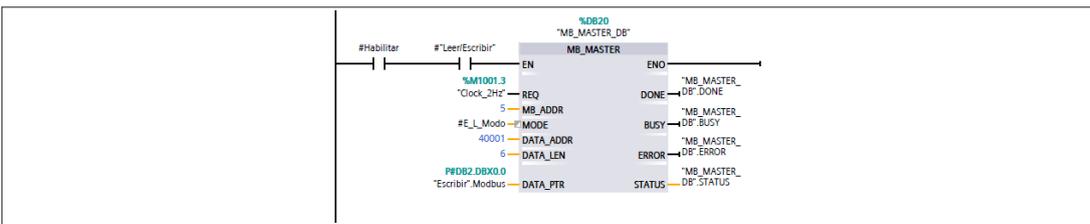
Segmento 1: Arrancar el módulo RS422/485 con el bloque MB_COMM_LOAD



Segmento 2: Bloque MB_MASTER para leer los datos del módulo Modbus esclavo de nivel



Segmento 3: Bloque MB_MASTER para escribir los datos al módulo Modbus esclavo de nivel



Anexo D.8. Programación Ladder del bloque de función (FB3).



Tags		UDT Definitions
Definition		Config
MasterRead		
Tags		
Control_Flujo		
Control_Value	🕒 🔔	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB1,Real36
Process_Value	🕒 🔔	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB1,Real32
Set_Point	🕒	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB2,Real32
Control_Horno		
Animar		Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB1,Real24
Control_Value	🕒 🔔	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB1,Real20
Process_Value	🕒 🔔	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB1,Real16
Set_Point_Horno	🕒	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB2,Real16
Ventilador	🔔	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB2,X48.1
Control_Nivel		
bool1		Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB2,X48.0
Control_Value	🕒 🔔	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB1,Real4
Perturbación_Nivel	🕒	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB1,Real8
Process_Value	🕒 🔔	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB1,Real0
Set_Point_Level	🕒	Ignition OPC UA Server/[Siemens1]DB2,Real0

Anexo E.1. Configuración de las variables tipo Data Type OPC para monitorear y controlar desde Ignition SCADA.



Fuente: [35]

Información general	
Designación del tipo de producto	CM 1241 RS 422 / 485
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo, máx.	220 mA; De bus de fondo 5 V DC
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	1,1 W
Interfaces	
Interfaces/tipo de bus	RS 422 / 485 (X.27)
Nº de interfaces	1
Acoplamiento punto a punto	
• Longitud del cable, máx.	1 000 m
Drivers de protocolo integrados	
— Freeport	Sí
— ASCII	Sí; disponible como función de librería
— RTU maestro Modbus	Sí
— RTU esclavos Modbus	Sí
— USS	Sí; disponible como función de librería
Protocolos	
Protocolos integrados	
Freeport	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
3964 (R)	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
RTU maestro Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)
— N.º de esclavos, máx.	247; 1 a 247, máximo 32 dispositivos por cada segmento de red MODBUS. se precisan repetidores adicionales para ampliar la red a la

ANEXO F.

**DATASHEET DEL MÓDULO DE
COMUNICACIÓN CM 1241
RS422/485**


	máxima configuración
RTU esclavos Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)
Alarmas/diagnósticos/información de estado	
Función de diagnóstico	Sí
LED señalizador de diagnóstico	
• para el estado de las salidas	Sí
Grado de protección y clase de protección	
Grado de protección IP	IP20
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Sí
Homologación CSA	Sí
Homologación UL	Sí
cULus	Sí
Homologación FM	Sí
RCM (anteriormente C-TICK)	Sí
Homologación KC	Sí
Homologaciones navales	Sí
Condiciones ambientales	
Caída libre	
• Altura de caída, máx.	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
Temperatura ambiente en servicio	
• mín.	-20 °C
• máx.	60 °C
• Posición de montaje horizontal, mín.	-20 °C
• Posición de montaje horizontal, máx.	60 °C
• Posición de montaje vertical, mín.	-20 °C
• Posición de montaje vertical, máx.	50 °C
• Cambio permitido de temperatura	5°C a 55°C, 3°C/minuto
Temperatura ambiente en almacenaje/transporte	
• mín.	-40 °C
• máx.	70 °C
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
• En servicio mín.	795 hPa
• En servicio máx.	1 080 hPa
• Almacenamiento/transporte, mín.	660 hPa
• Almacenamiento/transporte, máx.	1 080 hPa
Humedad relativa del aire	
• Funcionamiento a 25 °C sin condensación, máx.	95 %
Dimensiones	
Ancho	30 mm
Altura	100 mm
Profundidad	75 mm
Pesos	
Peso, aprox.	155 g
Última modificación:	26/02/2021

ANEXO G.

**CABLE ADAPTADOR SERIAL RS232
DB9 MACHO-MACHO**



Fuente: [36]

MARCA	ANERA
MODELO	AE-RS232-M/M

DESCRIPCIÓN:

El adaptador DB9 RS232 macho macho Ideal para establecer una conexión serial entre dispositivos, trabaja con módems, PDA, cámaras digitales, impresoras, routers, decodificadores, et

ESPECIFICACIONES:

- Longitud 1.5 metros
- Conectores Serial DB9 RS232 macho a macho
- Transferencia de datos de 128kbps
- Apto para Conmutadores (Data Switchs)
- Soporta Windows 98SE/2000/ME/XP/VISTA/7

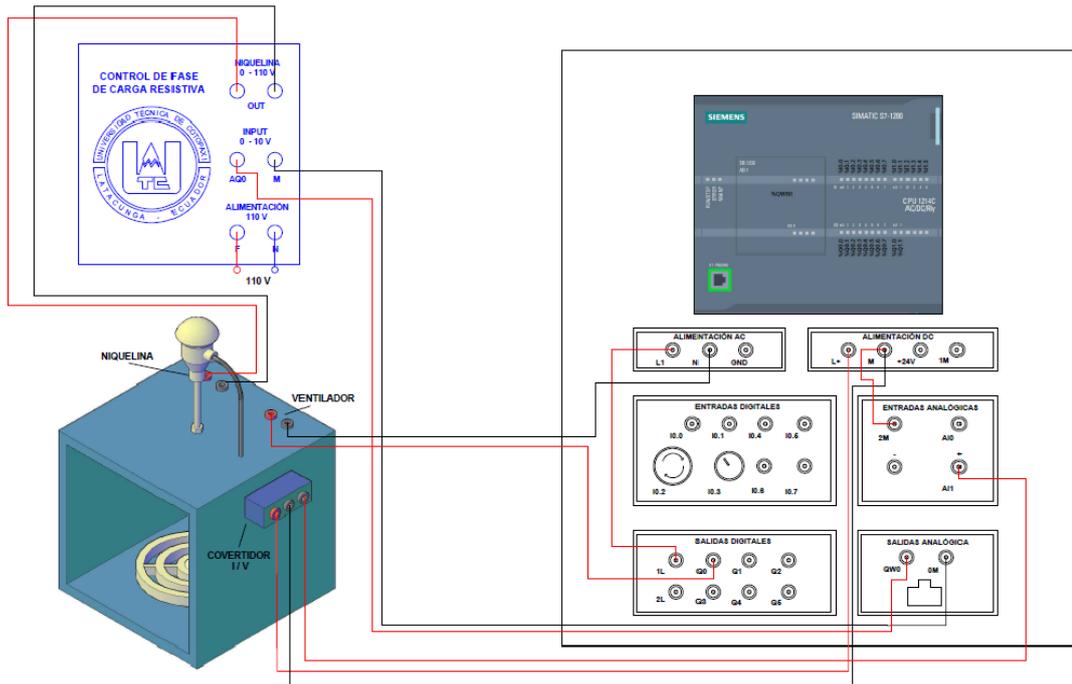


Modelo	PK-80
Resolución	80x80
Sensibilidad Térmica (N.E.T.D)	≤0.10°C@30°C
Resolución Espacial	4.6 mrad
Campo de Visión	21°x 21°/0,5m
Mecanismo de Enfoque	Ajuste Automático
Presentación de la Imagen	
Modo Imagen	IR/CCD
Píxeles Visibles	Alta Definición CCD, 8 Milliones de Píxeles
Pantalla LCD	Pantalla Capacitiva Táctil 5.5"
Formato de Archivos	JPG
Medición	
Rango de Temperatura	-20°C ~ +150°C, (150°C ~ 350°C - opcional)
Precisión	De las lecturas ±2°C, ±2%
Modos de Medición	3 spots móviles, captura automática de puntos máximos frío y caliente, análisis isotérmico, área de análisis circular, área de análisis rectangular.
Interfaces	
Capacidad de Batería	4,000 MAH
Duración de la Batería	Hasta 5 Horas
Características de Protección	
Protección	IP 54
Resistencia a Choque/Vibración	25G/2G
Resistencia a caída	Si
Temperatura de Operación	-10°C + 50°C
Características Adicionales	
Wi-Fi	Si
Bluetooth	Si
GPS	Si
Memoria incorporada	Si
Características Físicas	
Peso	415 gr
Dimensiones	174x102x36 mm

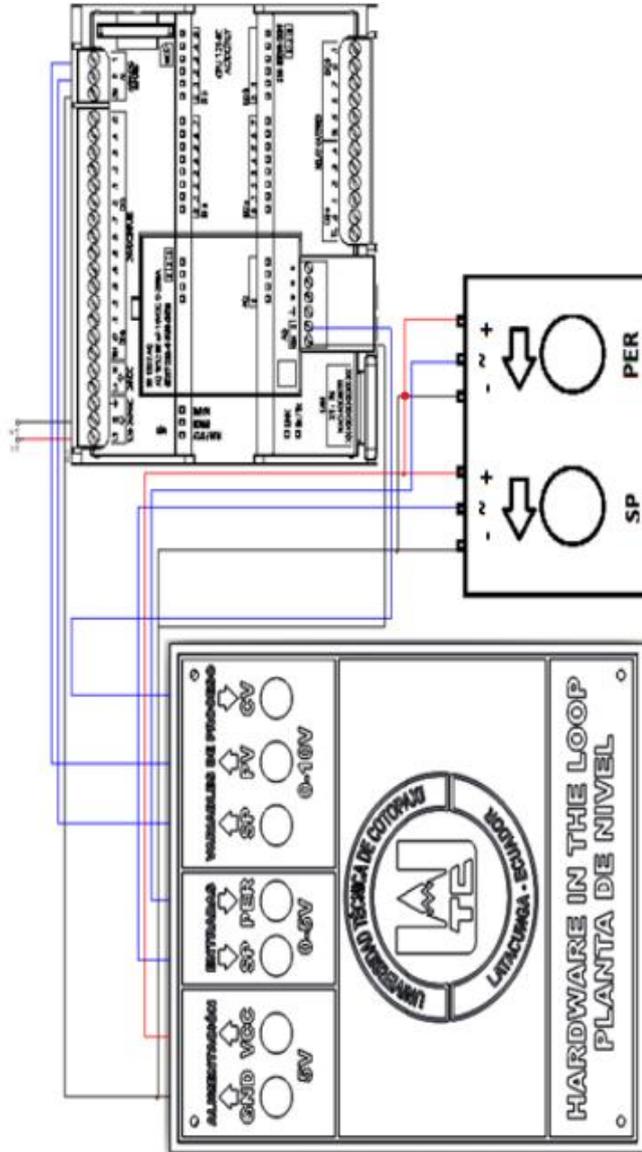
Fuente: [37]

ANEXO I.

CONEXIONES DEL HORNO DE TEMPERATURA



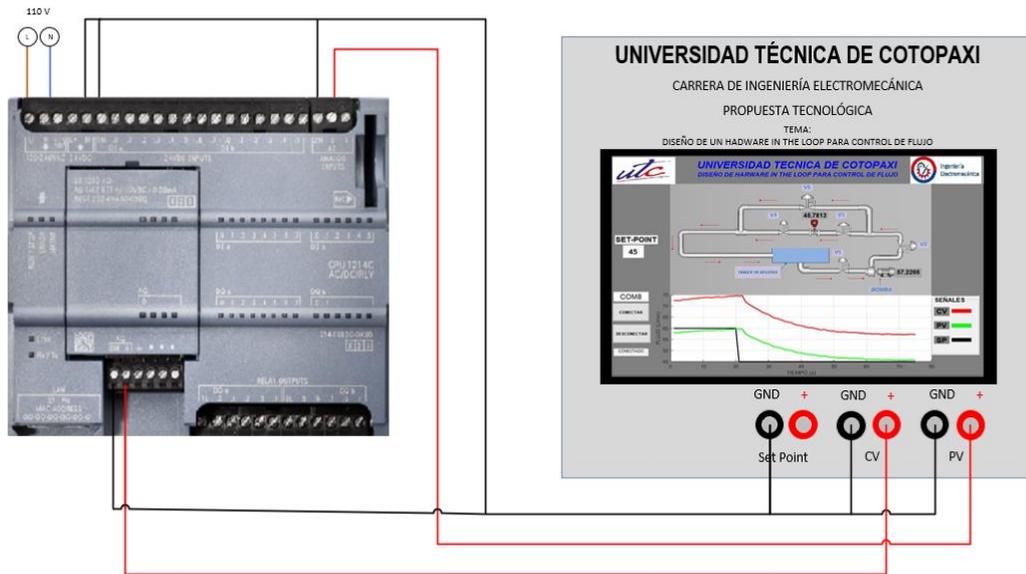
Fuente. [4]



Fuente. [38]

ANEXO K.

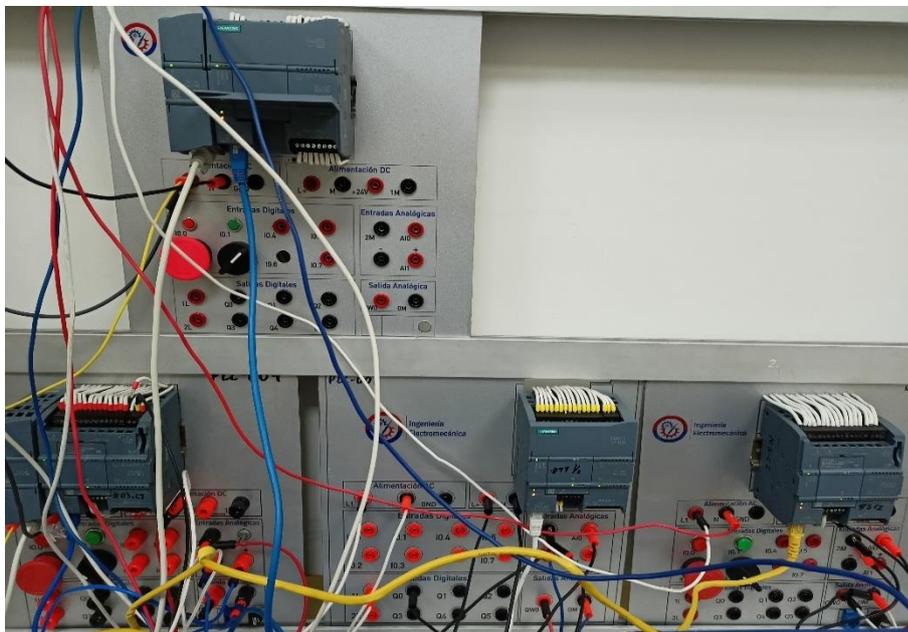
CONEXIONES DE LA PLANTA VIRTUAL DE FLUJO N35



Fuente. Autores



Anexo L.1. Prueba del funcionamiento módulo de nivel



Anexo L.2. Conexiones de los PLC en el tablero de trabajo



Anexo L.3. Medición de la temperatura en el interior del horno con la cámara termográfica



Anexo L.4. Módulos conectados en el tablero.

	<h1>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</h1>
<h2>PRÁCTICA DE LABORATORIO</h2>	

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM804	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	AUTOMATIZACIÓN	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	SISTEMA SCADA DE LOS PROCESOS VIRTUALES FLUJO, NIVEL Y UN PROCESO INDUSTRIAL DE TEMPERATURA.	2

1 OBJETIVOS
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un sistema SCADA de los procesos virtuales de nivel, flujo y un proceso industrial de temperatura. • Configurar y programar las comunicaciones Modbus RTU y Ethernet para las comunicaciones entre los PLC´s esclavos y el PLC maestro. • Centralizar la información de los 3 procesos en una sola estación receptora (PLC maestro) para que éste se comunique con la plataforma SCADA. • Configurar la pasarela de comunicación OPC para que la información de la estación maestra intercambie datos con la plataforma SCADA. • Diseñar la interfaz SCADA para controlar y monitorear las variables de los tres procesos, la misma que contará con un panel principal, 3 paneles secundarios donde se visualizarán cada proceso por separado, 3 paneles de gráficos y un panel de alarmas.

Pirámide De Automatización

En la actualidad la automatización es la integración de tecnologías que están representada en la llamada "pirámide de automatización", que reúne los cinco niveles tecnológicos que se pueden encontrar en un entorno industrial. En la Figura 2.1. se muestra las diferentes ramas de la ingeniería que convergen en la automatización.



Figura.2.1. La automatización como una convergencia de las tecnologías [8]

Una parte importante de la automatización es que es un proceso conformado por varios niveles de jerarquía, es por eso que se lo ha denominado pirámide de la automatización. En la Figura 3.2. se puede visualizar la llamada pirámide de la automatización, donde los primeros tres niveles corresponden a la automatización de máquina, en los que se encuentran elementos de software y hardware que permiten la adquisición, control y supervisión de datos, mientras en las etapas siguientes se están los temas de automatización organizacional, planeación, económica y administrativa, generalmente se simplifican estos niveles en un solo cuarto nivel denominado de gestión [9] .



Figura.2.2. Pirámide de la automatización [10]

NIVEL DE CAMPO

En el rango jerárquico de la pirámide de la automatización este es el nivel más bajo denominado nivel de instrumentación. Se refiere a los instrumentos de medición y acción del proceso automatizado. En el que se puede mencionar los medidores de flujo, presión, densidad y temperatura, arrancadores suaves de bombas, actuadores de válvulas, solenoides, motores, robots, entre otros. [11] Estos sensores y actuadores que interactúan directamente con el proceso productivo se lo conoce como dispositivos de campo. Se caracterizan por el trabajo con poca información y su gestión es relativamente sencilla. [6]

NIVEL DE CONTROL

En este nivel están los distintos dispositivos de control y monitoreo tales como: PLC's, HMI, variadores de frecuencia, etc. Los equipos de este nivel utilizarán datos del proceso proporcionados por los instrumentos del nivel de campo y darán consignas a los actuadores. [12]

NIVEL DE SUPERVISIÓN

En este nivel se puede observar, como están trabajando los procesos de la planta. Permite controlar y supervisar las variables, en el cual se tiene interfaz virtual del proceso donde se ejecutan los mandos disponibles y observar posibles fallos o alteraciones del proceso por medio de alarmas. [9]

NIVEL DE GESTIÓN

Es el punto más alto de la pirámide, es el encargado de realizar el control de la planta, además en este nivel puede realizar el control y monitoreo. [9] En otras palabras se puede decir que el nivel de gestión es considerado como el de administración a nivel gerencial, en muchos casos son una aplicación procedente del sistema de supervisión, que almacenan los datos recibidos para luego poder ser revisados cuando se necesite, para ser analizados y tomar acciones para mejorar.

Redes de comunicación industrial

Las redes de comunicación industrial se encuentran diseñadas y elaboradas para manejar el control en tiempo real y la integridad de los datos a la vez que se instalan en grandes industrias que pueden operar en entornos difíciles. Cada uno de los niveles de la pirámide de la automatización cuenta con redes de comunicación cuya aplicación se basa según las siguientes características: [15]

- Volumen de datos: cantidad de datos que viajan por la red en cada envío.
- Velocidad de transmisión: velocidad a la que viajan los datos en la red.
- Velocidad de respuesta: velocidad que hay entre el momento de dar la orden y la respuesta del dispositivo [9]

Modbus RTU.

El modo Modbus RTU es la implementación más común, pero el Modbus TCP/IP está ganando terreno y está listo para superarlo. Modbus es un estándar abierto y es un protocolo de red industrial muy utilizado en el entorno de la fabricación industrial.

Una comunicación Modbus siempre es iniciada por el nodo maestro al nodo esclavo. Los nodos esclavos nunca transmitirán datos sin recibir una solicitud del nodo maestro ni se comunicarán entre sí. El nodo maestro inicia sólo una transacción Modbus al mismo tiempo.

El modo Modbus RTU es la implementación más común, usando la codificación binaria y la comprobación de errores CRC. El protocolo RTU es un protocolo binario eficiente en el que cada ocho bits (un byte) de un mensaje contiene dos caracteres hexadecimales de cuatro bits. Cada mensaje debe ser transmitido en un flujo continuo. El formato de cada byte (11 bits) en el modo RTU es: Sistema de codificación: binario de 8 bits, Bits por Byte: 1 bit de inicio, 8 bits de datos, el bit menos significativo enviado primero, 1 bit para completar la paridad, 1 bit de parada. [18]

Protocolo Ethernet

Es esencialmente un método de comunicación entre computadoras y otros dispositivos de una red, cualquier nodo de la red puede comunicar con otro nodo, revisa si la red está ocupada y espera y trata de enviar la información después cuando esté disponible. [17]

1.1. COMUNICACIÓN OPC

El sistema OPC es un modelo de comunicación en el campo del control y supervisión de que se encuentran en la industria, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece una interfaz común para comunicación que permite que interactúen individualmente los componentes de software. [26] Conocido como el estándar de conectividad de datos más utilizado para la comunicación entre los controladores, dispositivos, aplicaciones y otros sistemas basados en el uso de transferencia de datos.

2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

- Horno Industrial con un transmisor inteligente PT 100, conversor I/V con resistencia de 250 Ohms y un control de fase de carga resistiva.
- Módulo virtual in the Loop de nivel N46.
- Módulo virtual in the Loop de flujo N35.
- 4 PLC S7-1200 1212C AC/DC/RLY.
- 3 módulos de salidas analógicas 1232 12 bits.
- 2 módulos CM1241 RS422/485 Modbus RTU.
- 1 cable serial DB9 hembra-hembra.
- Router TP-Link 5 puertos.
- Multímetro.
- Cables de Ethernet.
- Programa TIA PORTAL.
- Toma trifásica.
- Toma monofásica
- Extensión.

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD.

- El estudiante debe manejar el software Tia Portal, tener conocimiento básico en electricidad, electrónica y protocolos de comunicación.
- Revisar las conexiones eléctricas en los tableros de los PLC's.
- Tener precaución en las conexiones de los neutros, ya que los procesos manejan 2 potencias una de alimentación a 110 VAC y otra de señales para el control, la mayoría de 0 a 10 VDC, si se unen estos comunes o neutros se producirá un daño en las plantas virtuales y el horno industrial de temperatura.
- Utilizar equipos de seguridad recomendados por el laboratorio para este tipo de trabajos tales como: mandil, guantes, gafas, zapatos dieléctricos entre otros.

2.4. ESQUEMAS DE CONEXIÓN.

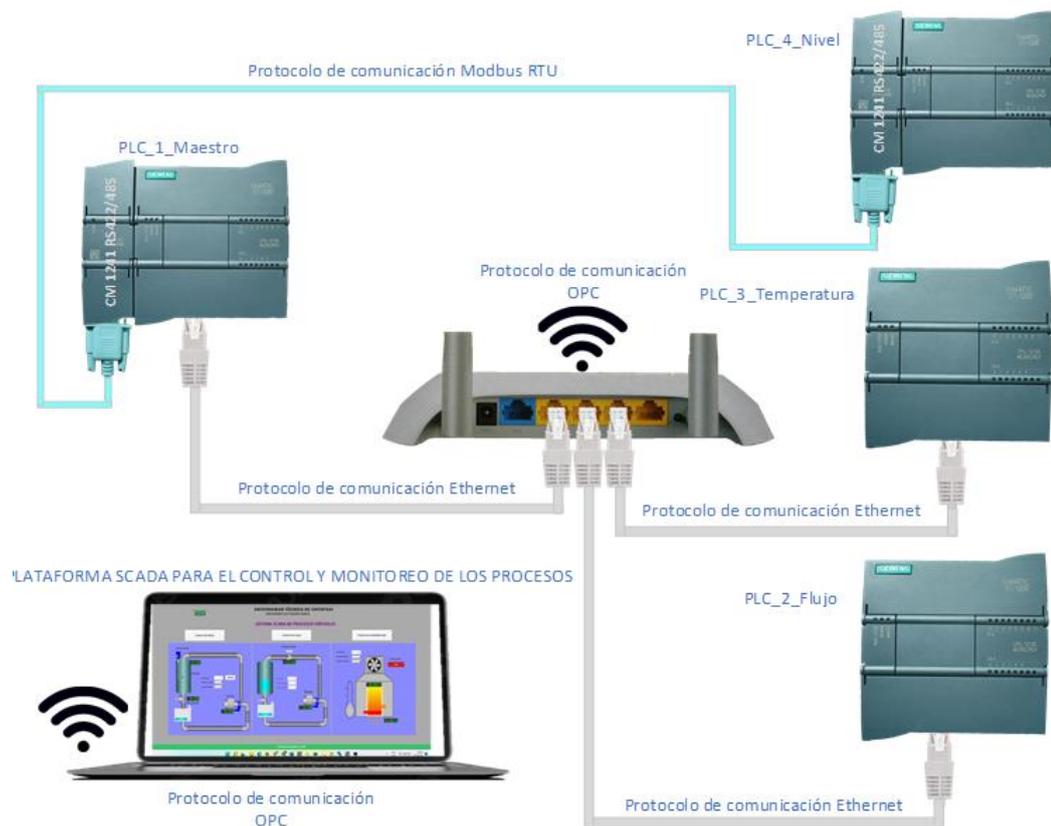


Figura 2.3. Esquema de conexión de los PLC's esclavos con el maestro y el protocolo OPC

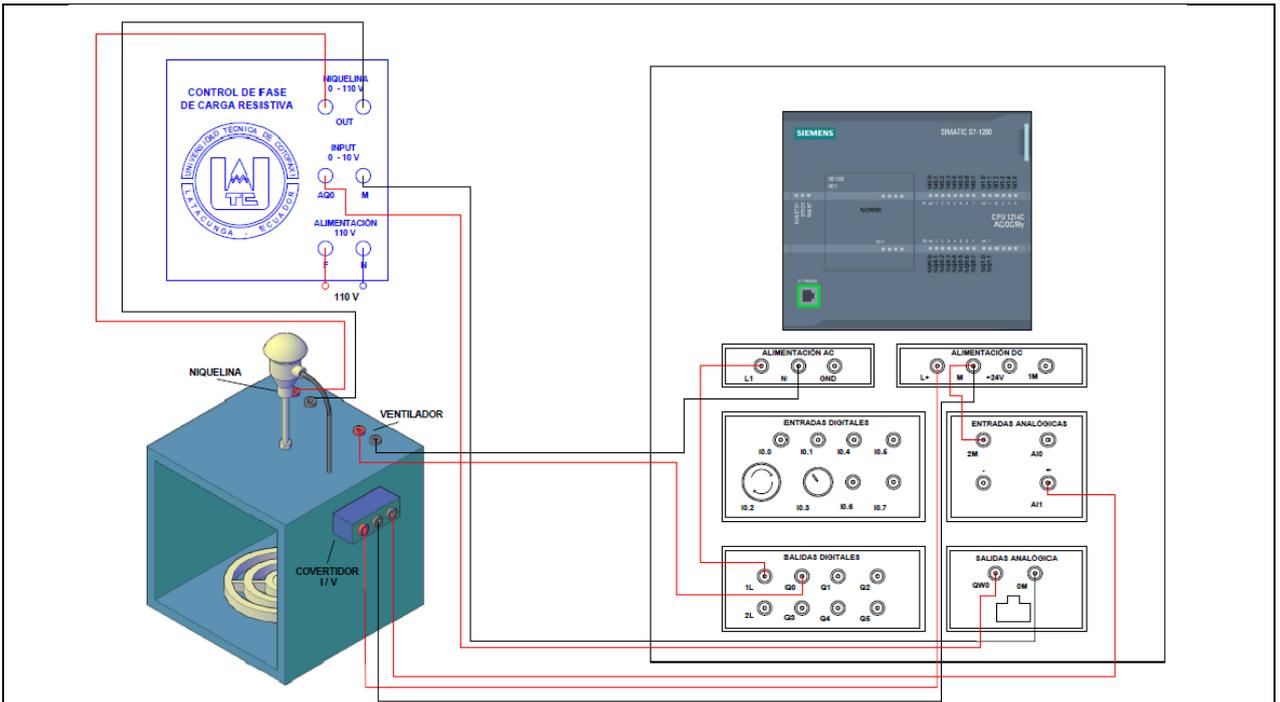


Figura 2.4. Diagrama de conexión para el horno industrial de temperatura.

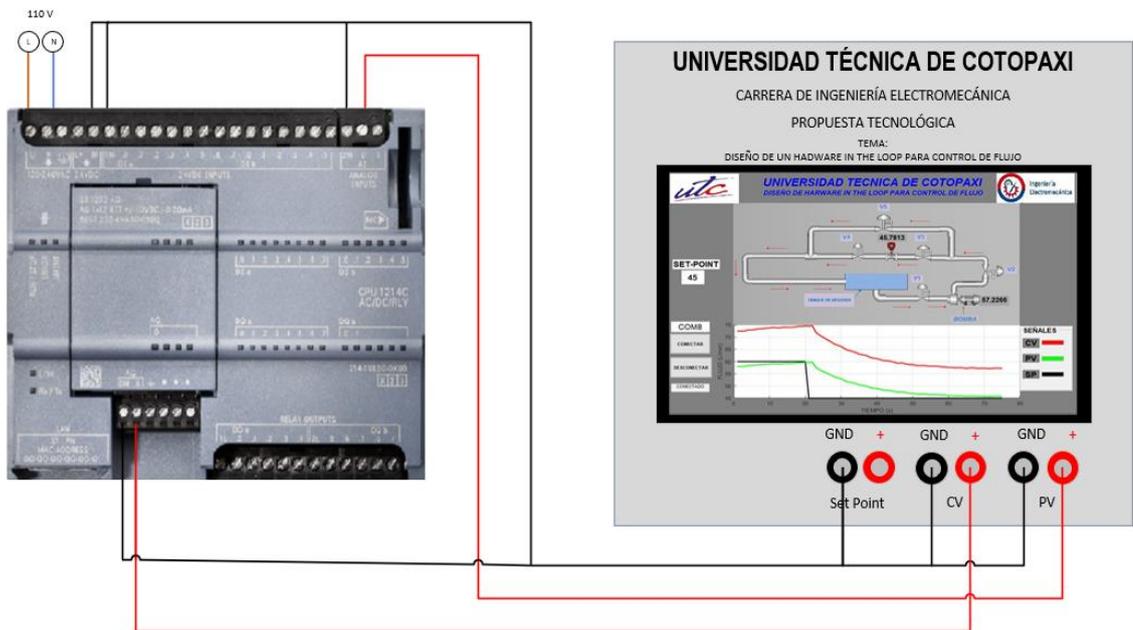


Figura 2.5. Diagrama de conexión para la planta de in the Loop de flujo.

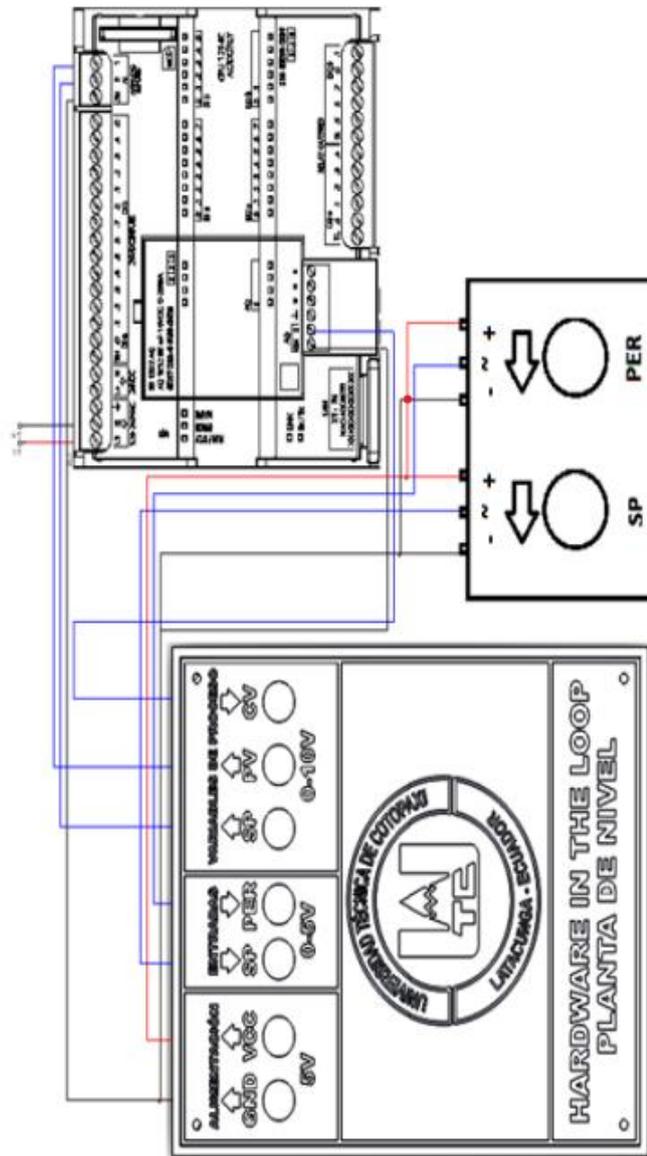


Figura 2.6. Diagrama de conexi3n para la planta virtual in the Loop de nivel.

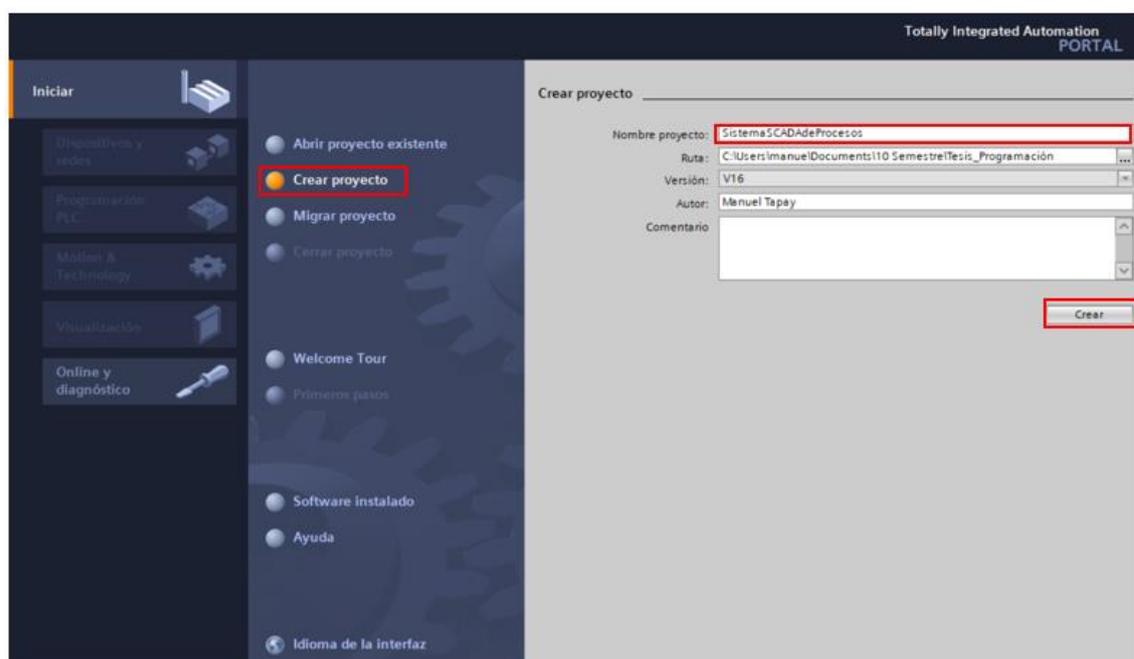
2.5. PROCEDIMIENTO.

Esta sección se separa en dos partes: en la primera se explica paso a paso desde cómo crear un proyecto en Tía Portal pasando por las configuraciones de los protocolos de comunicación, descargar e instalar Ignition SCADA, finalmente cómo agregar el dispositivo en esta plataforma y configurar las variables para monitorear y controlar los procesos.

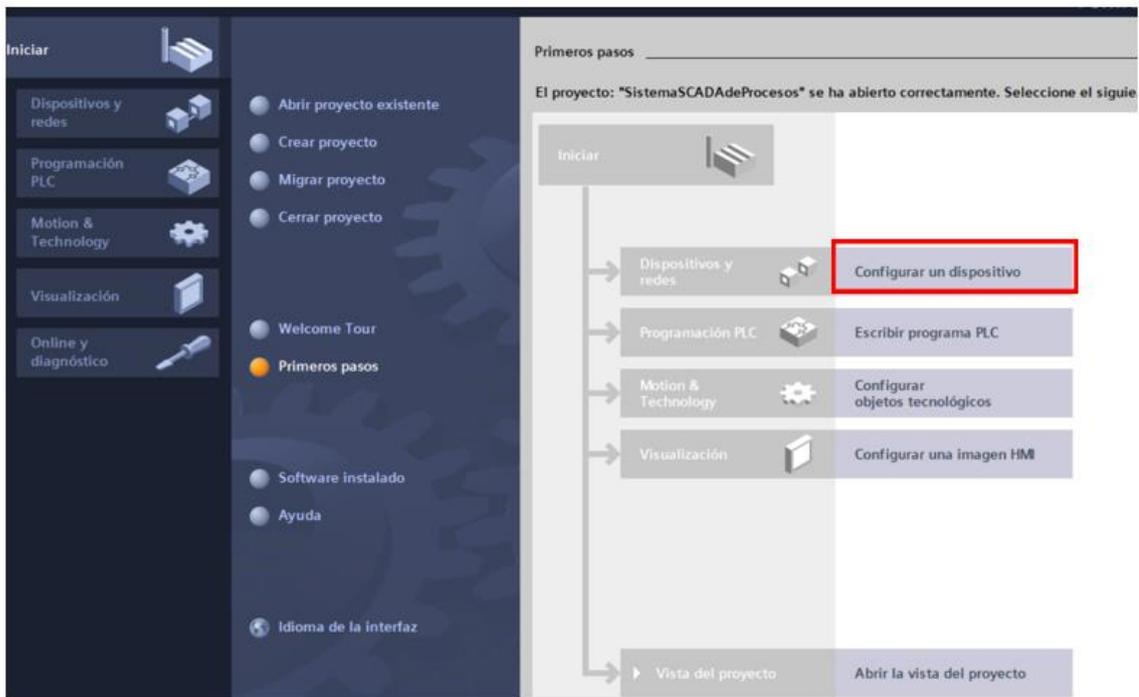
En la segunda parte se explica los pasos para ejecutar todo el proyecto de tesis ya elaborado desde el proyecto en Tia Portal V16, las versiones de los PLC S7-1200 empleadas para cada planta y también cómo cargar el proyecto diseñado en Ignition SCADA para que se pueda monitorear y controlar las variables de los 2 procesos virtuales y el horno de temperatura.

I. Crear proyecto en Tia Portal, agregar dispositivos, configurar protocolos de comunicación, descargar e instalar Ignition SCADA, crear un proyecto, asignar un dispositivo OPC UA y configurar variables para el monitoreo y control de procesos.

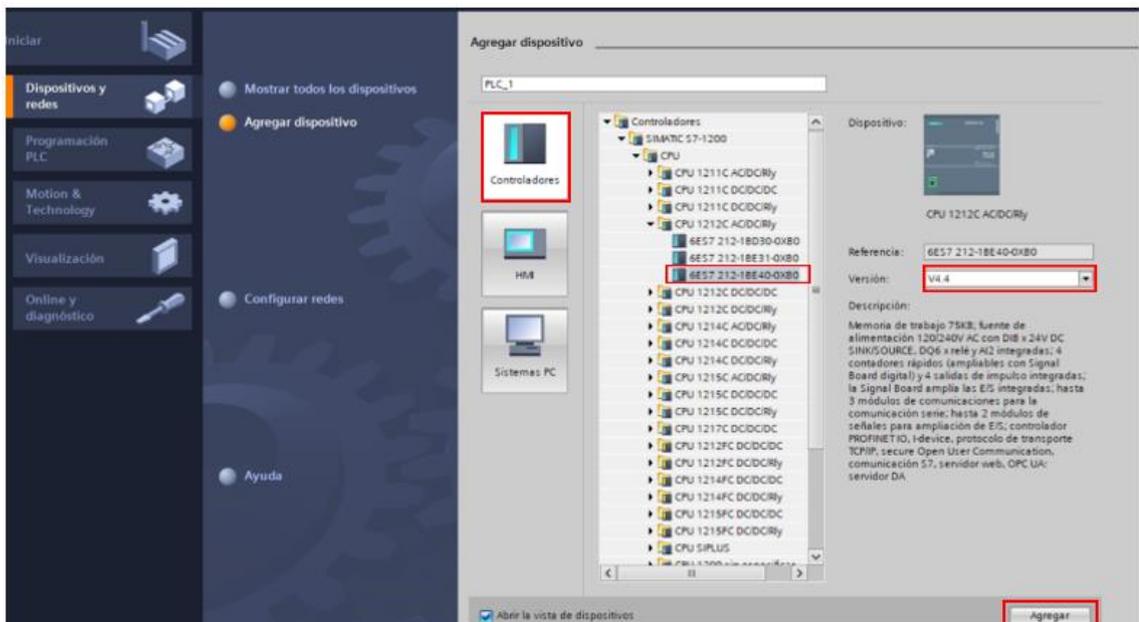
Crear un proyecto en Tia Portal y colocar un nombre.



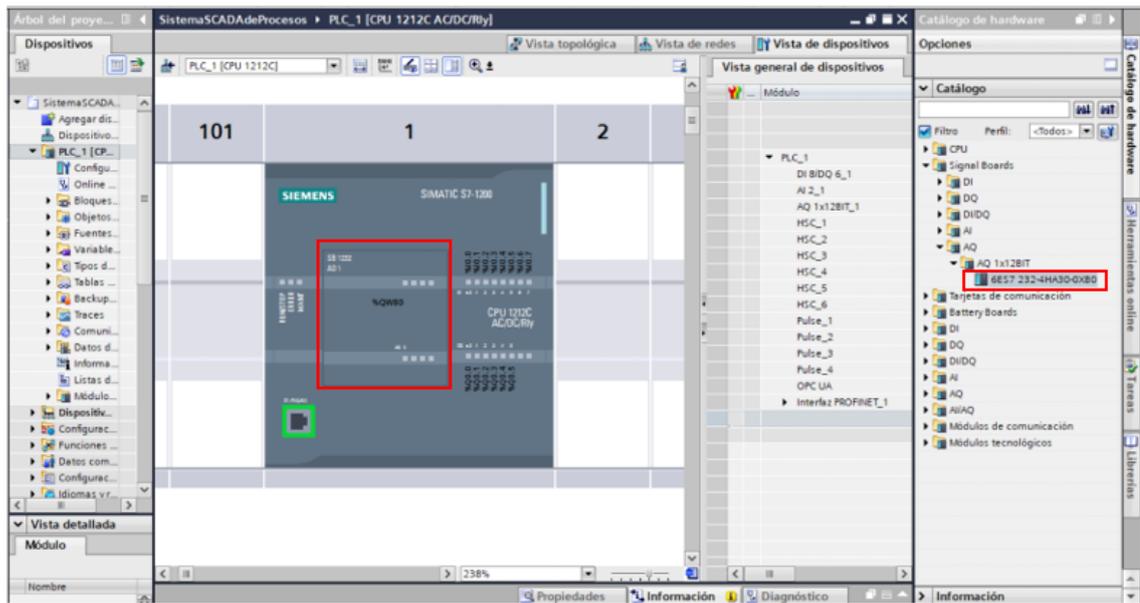
En primeros pasos seleccionar configurar dispositivo.



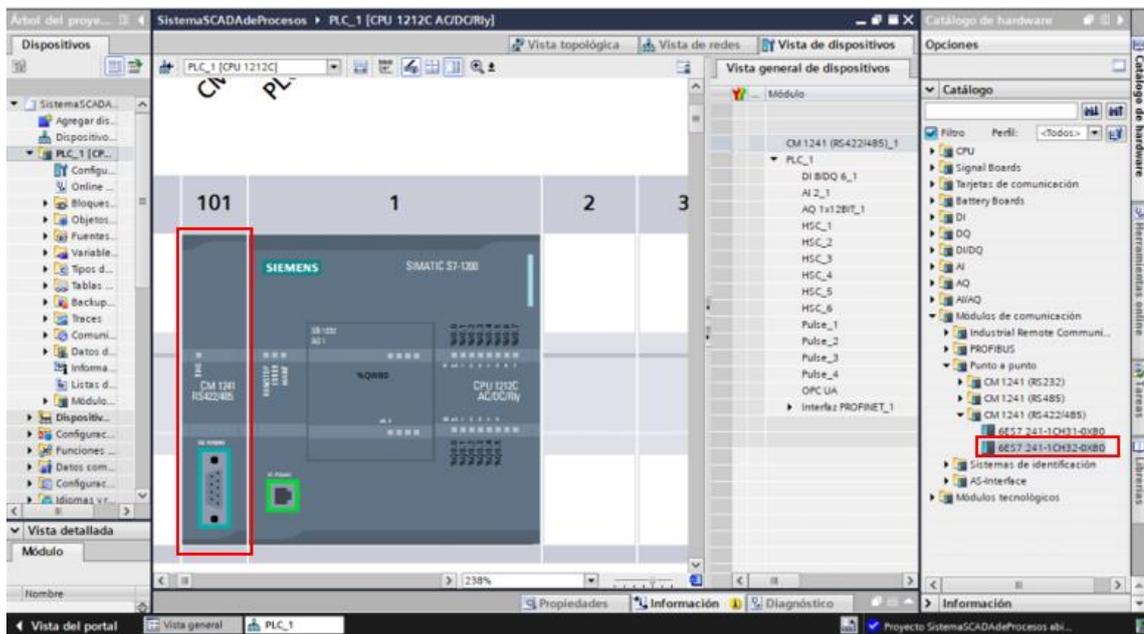
Seleccionar controladores, SIMATIC S7-1200, CPU, CPU 1212 AC/DC/Rly y seleccionar la serie del autómatas que se va programar, en este caso se programará el PLC Maestro para el que se tiene la CPU 6ES71212-1BE40-0XB0 y el firmware de 4.4.



Agregar el módulo SB1232 de salidas analógicas.



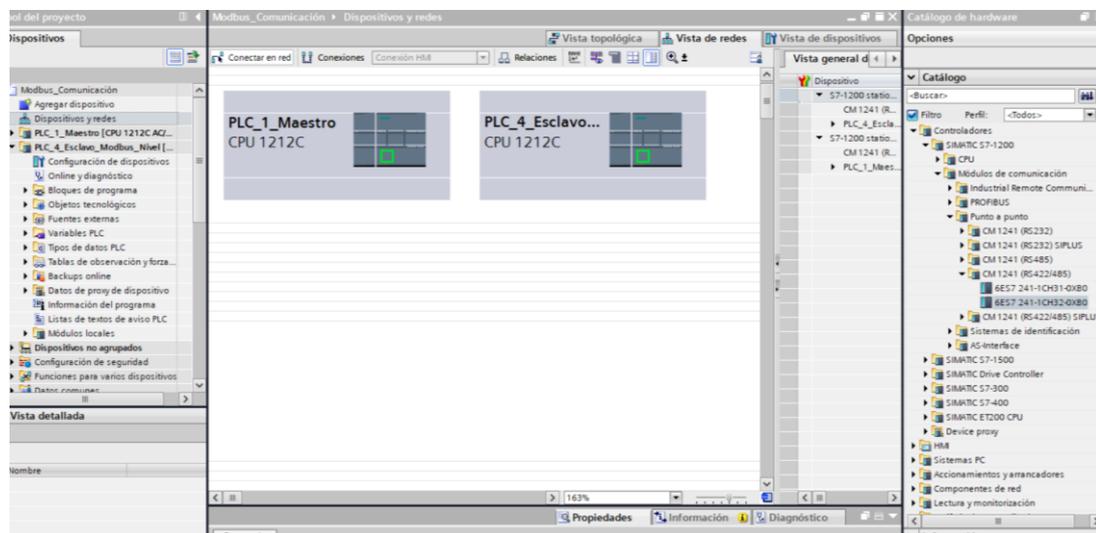
Agregar el módulo CM1241 (RS422/485)



Para la configuración de envío y recepción de datos se colocan los módulos RS422/485 en los autómatas como se muestra en la figura.



Agregar los autómatas S7-1200 y los módulos CM1241 RS422/485 (6ES7 241-1CH32-0XB0) en la estación del maestro y esclavo respectivamente.

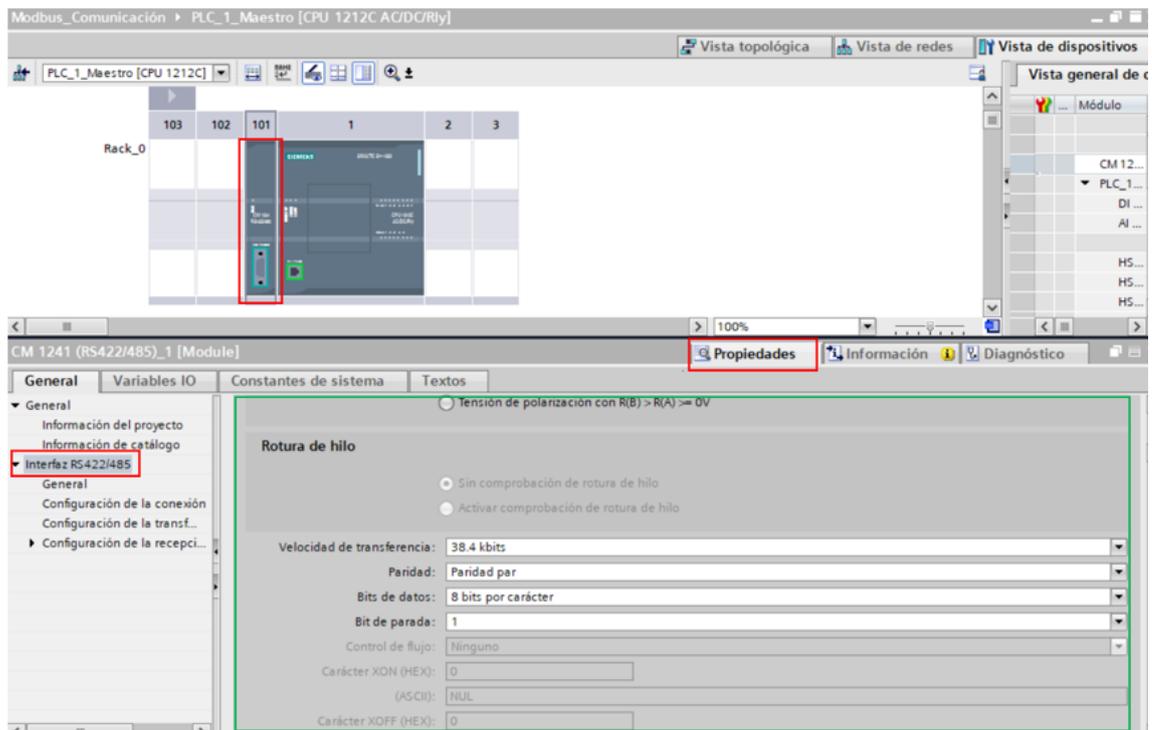


Se procede a configurar los parámetros en los módulos CM1241 RS422/485, es importante que los módulos de la estación maestro y esclavo tengan las mismas configuraciones.

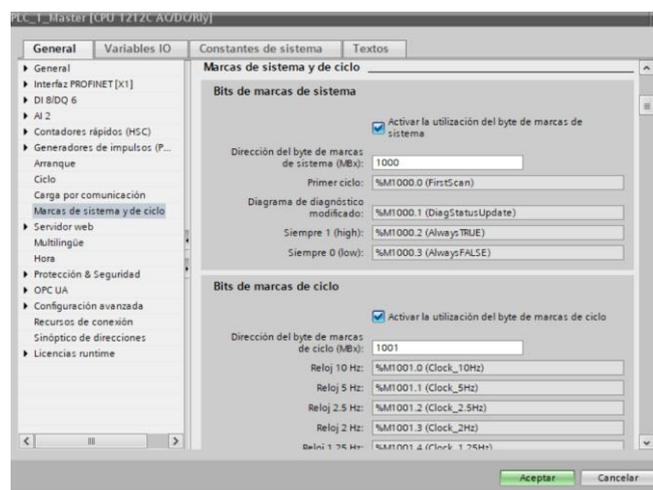
Para eso se selecciona el módulo CM1241 y se va a propiedades, luego a la opción de interfaz RS422/485 y se colocan los parámetros indicados en la tabla.

Parámetros	Configuración
Protocolo	Freeport
Modo de operación	Semidúplex RS485 2hilos
Velocidad de transferencia	38.4 kbits
Paridad	Paridad par
Bits de datos	8 bits por carácter
Bit de parada	1

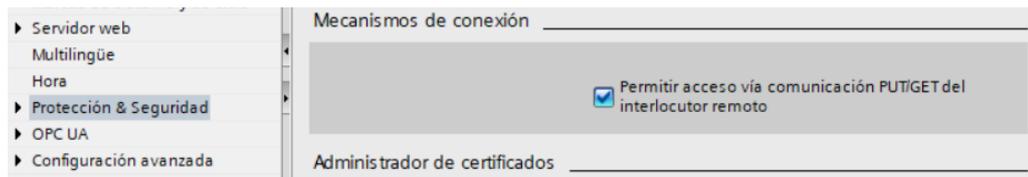
Estos son los parámetros más importantes configurados en este proyecto tanto en el módulo del esclavo y maestro. Todos los demás parámetros se dejan por defecto, salvo alguna aplicación especial se puede modificar. Los pasos se pueden ver en la figura 4.8.



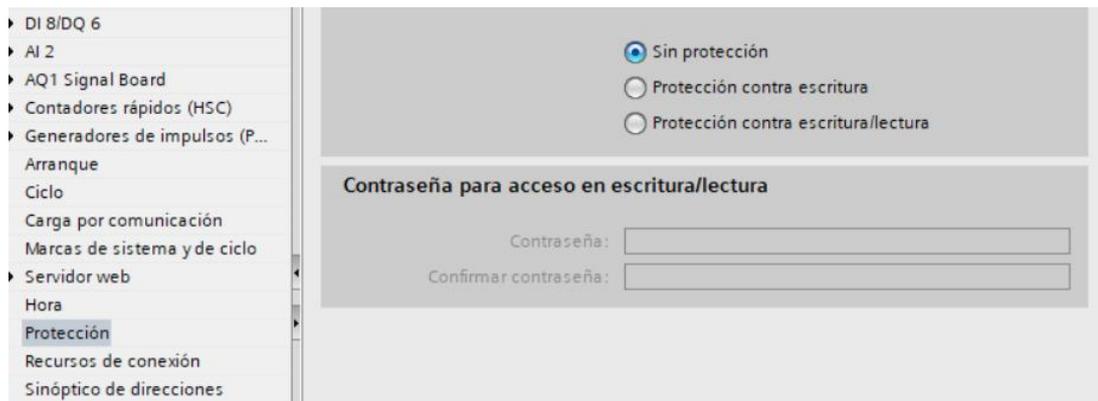
Se activan los relojes internos del PLC maestro y esclavo, este paso se deberá realizar en los 4 autómatas S7-1200.



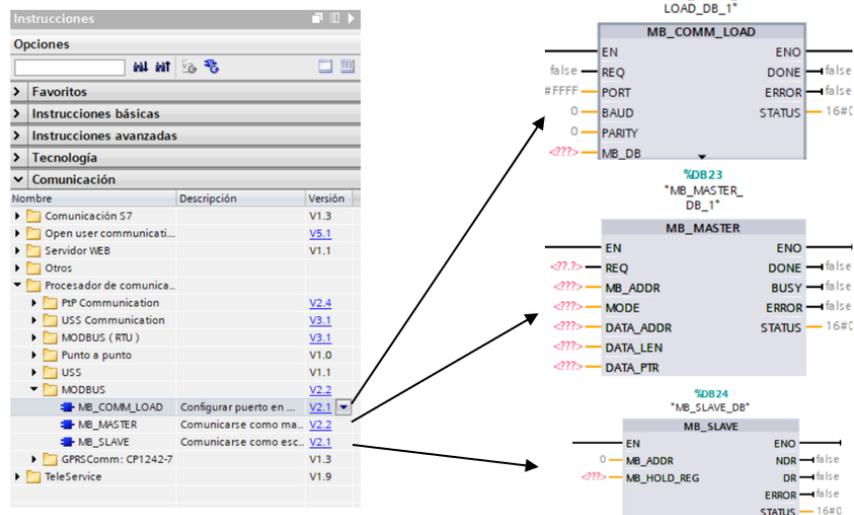
En protección y seguridad de los PLC S7- 1200 con versión firmware 4.0 o superior se debe activar la opción de: permitir acceso PUT/GET.



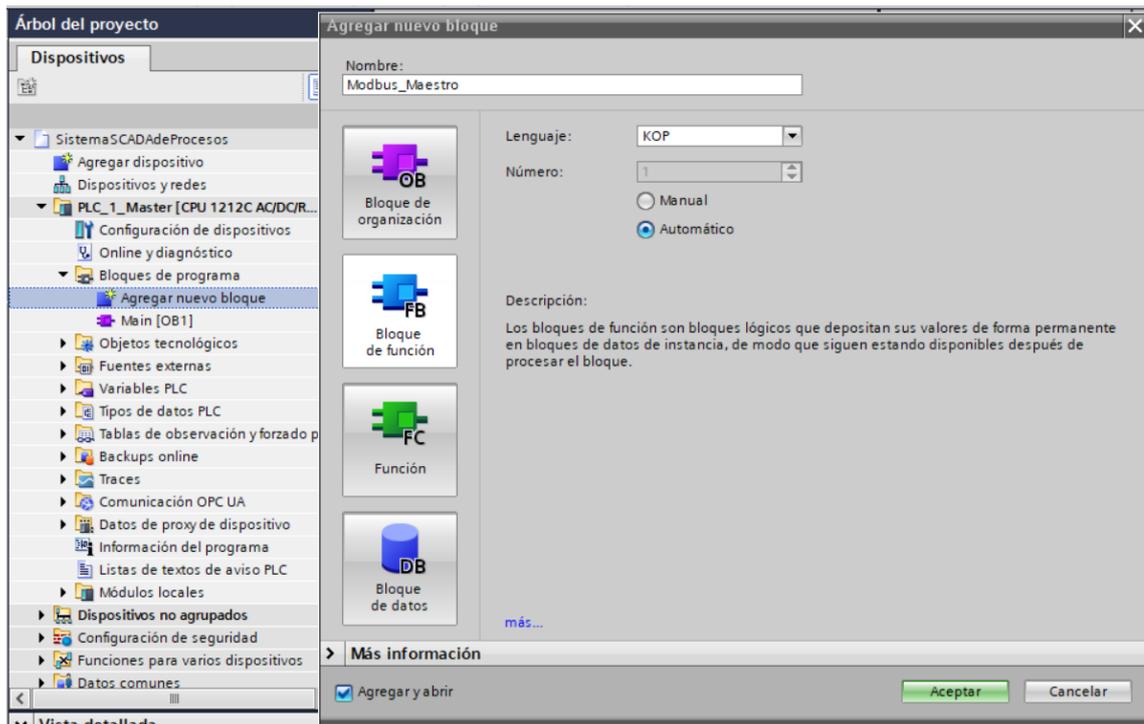
Para las versiones antiguas del PLC -1200 con firmware menor a 4.0, se debe asegurar que esté seleccionado en sin protección.



Dirigirse al entorno de programación MAIN y a la ventana de instrucciones de Tia Portal, donde se debe abrir la pestaña de Comunicación, posterior se selecciona la carpeta Modbus y se comienza a agregar los bloques que se ubican en la misma. Para el maestro seleccionar MB_COM_LOAD y MB_MASTER. Para el esclavo MB_COM_LOAD y MB_SLAVE.



Crear un bloque FB de función para configurar la comunicación Modbus RTU.



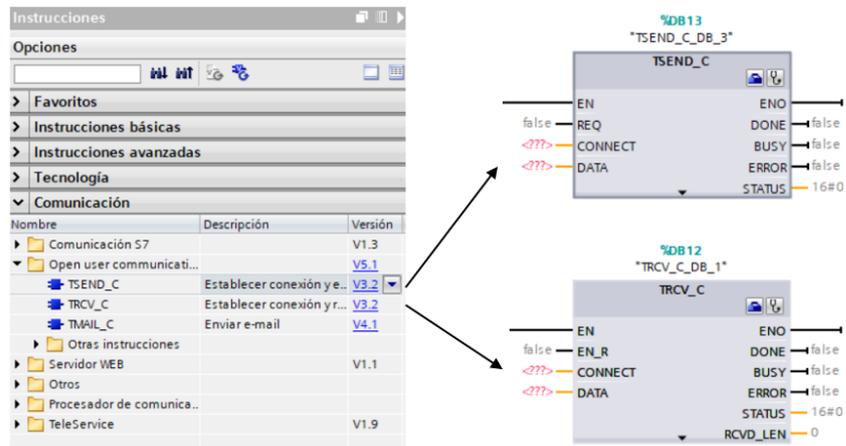
Declarar variables de entradas y salidas.

▼ Input										
Habilitar	Bool	false	No remanente	True	True	True	False			
Leer/Escribir	Bool	false	No remanente	True	True	True	False			
E_L_Modo	Int	0	No remanente	True	True	True	False			
Output										
InOut										
Static										
Temp										
Constant										

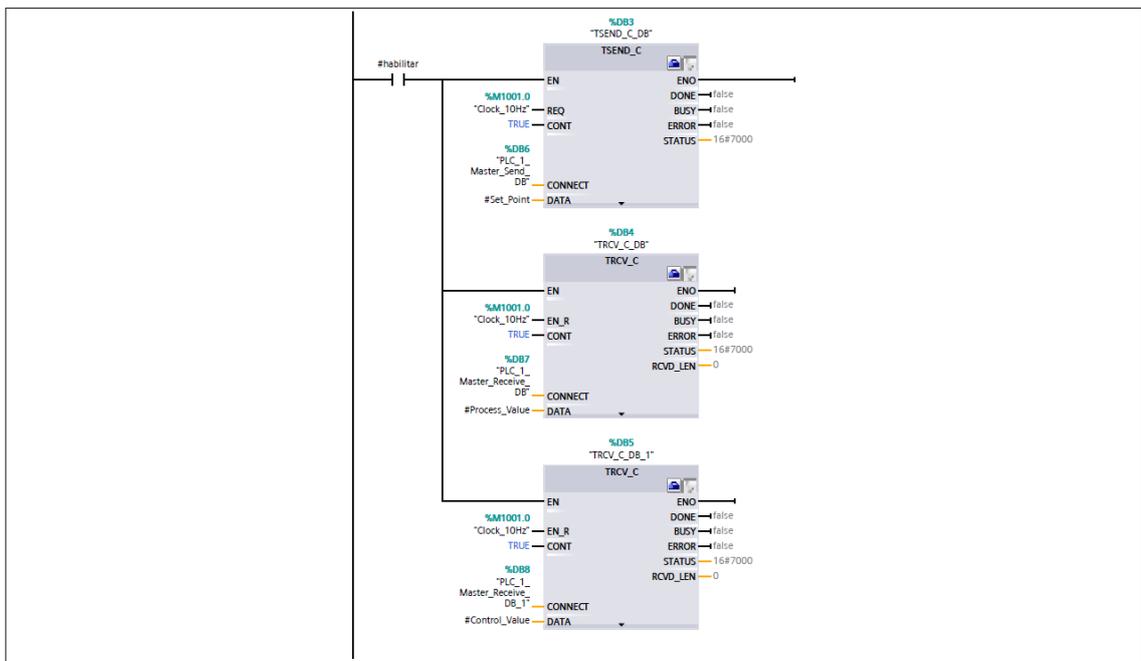
Declaración de variables internas en el bloque de función FB1

Seleccionar MB_COM_LOAD y MB_MASTER y colocar las siguientes configuraciones.

Insertar los bloques TSEND_C y TRCV_C para la planta de flujo.



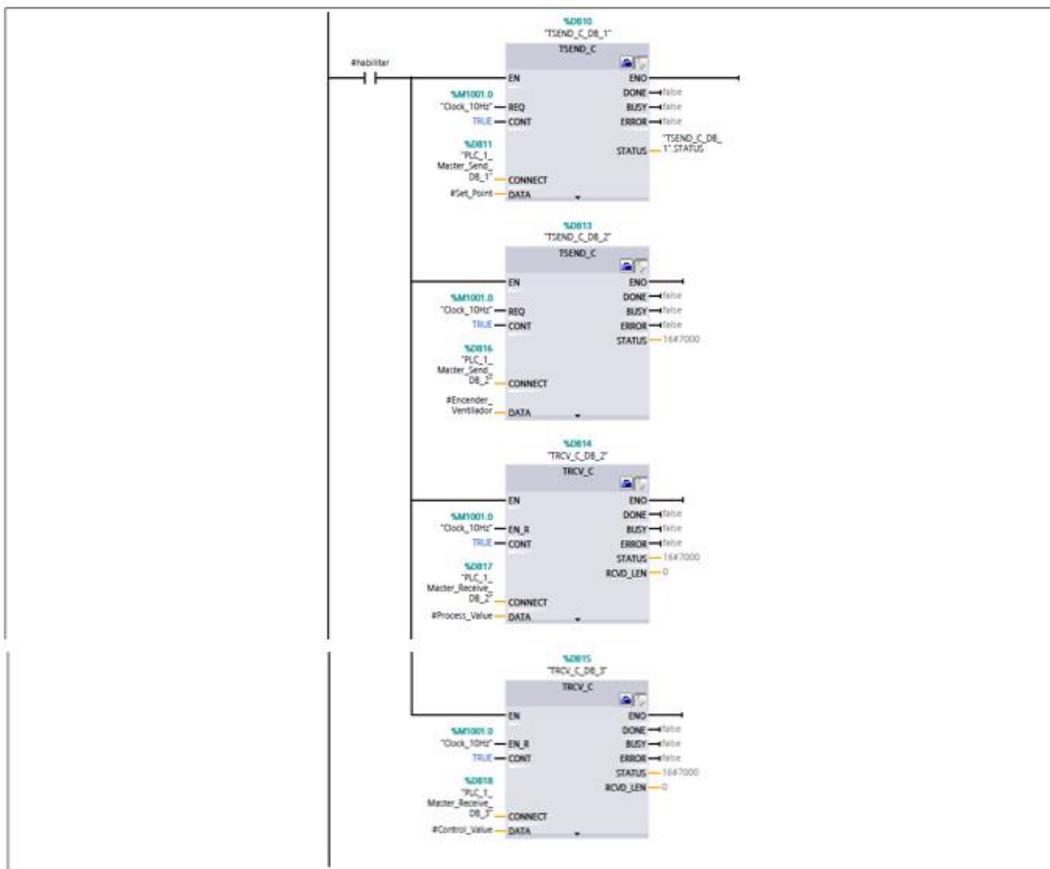
Segmento 1: Configuración Ethernet con TSEND_C y TRCV_C para la planta de flujo



Insertar los bloques de Ethernet para la planta de temperatura de la misma manera que para el flujo, se muestran las variables y las configuraciones en las siguientes imágenes.

▼ Input										
habilitar	Bool	false	No remanente	True	True	True	False			
Output										
▼ InOut										
Set_Point	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False			
Process_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False			
Control_Value	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False			
Encender_Ventilador	Real	0.0	No remanente	True	True	True	False			
Static										
Temp										
Constant										

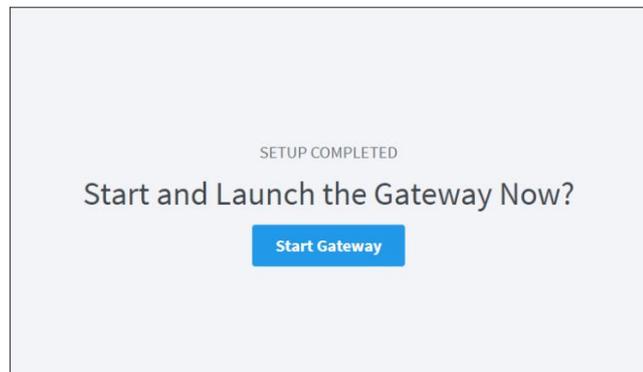
Se declaran las variables, para la planta de temperatura.



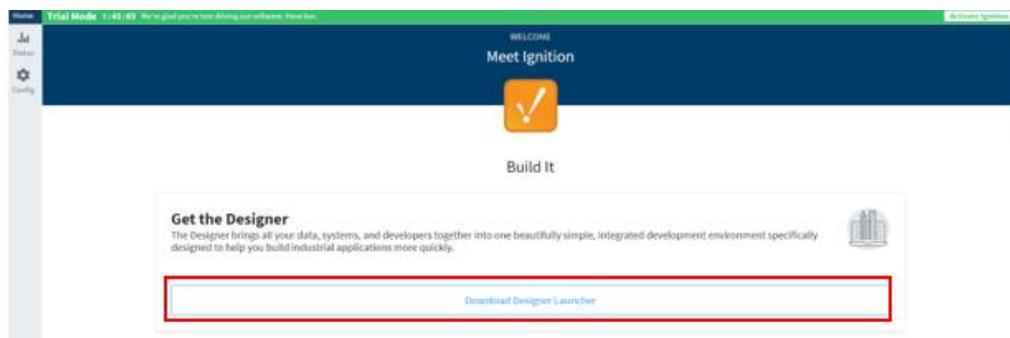
Inicio de diseño en el software Ignition SCADA, descargar el software desde la página <https://inductiveautomation.com/downloads/>, registrarse y descargar.



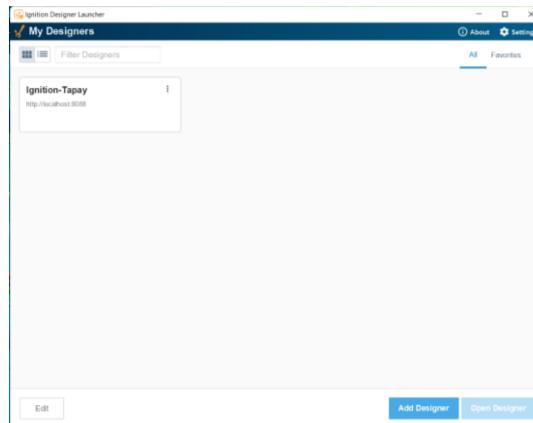
Instalar ignition de acuerdo al manual que se encuentra en la página oficial, <https://docs.inductiveautomation.com/display/DOC81/Installing+and+Upgrading+Ignition>, seguir hasta el punto 4. Seleccionar Standart Ignition en el paso 3, y se instalará automáticamente ignition. Luego en el paso 4 se selecciona:



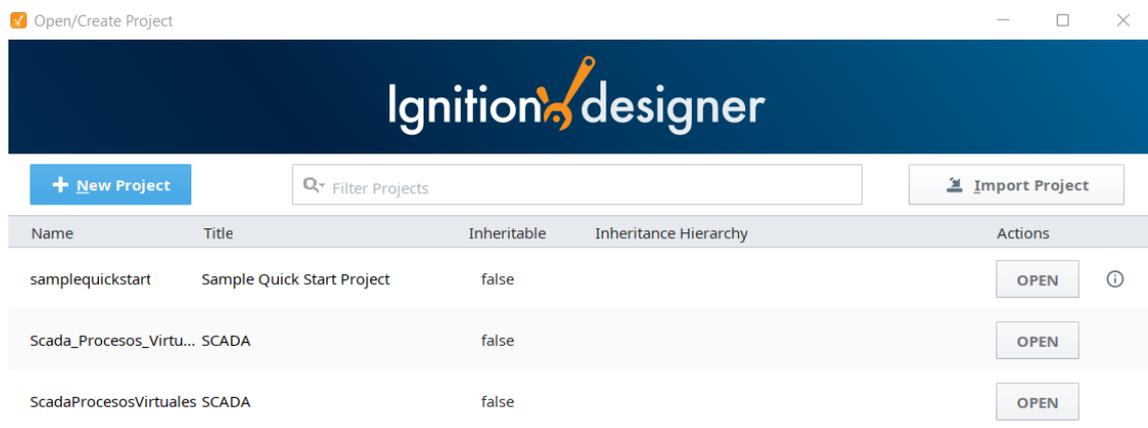
Una vez en el Launcher descargar el diseñador de Ignition.



Instalado el diseñador de ignition se procede a abrir.



Se ingresa al diseñador de acuerdo al usuario y contraseña agregado al instalar ignition.

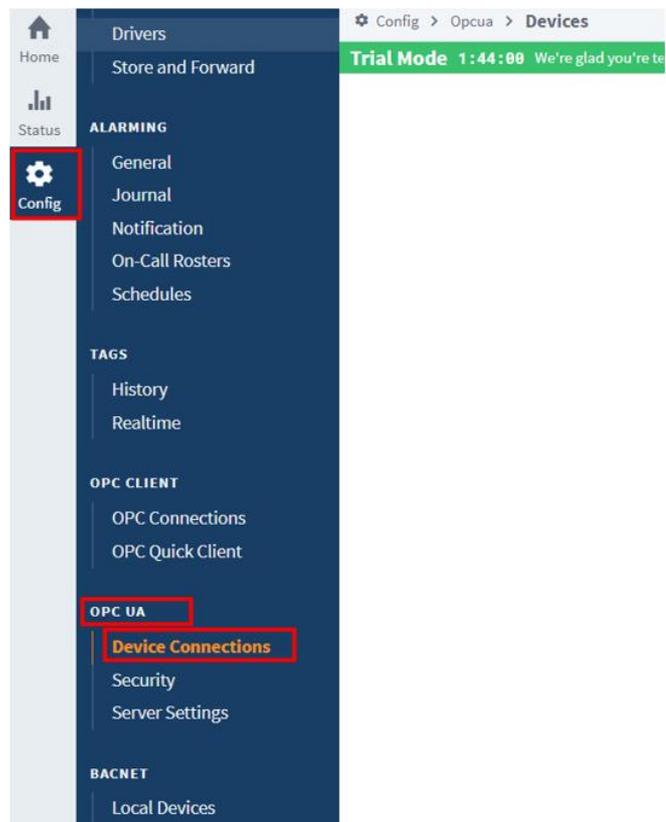


Una vez adentro se procede se puede crear un nuevo proyecto y se procederá a crear las variables y tags siguiendo la metodología detallada en la sección 4 de esta tesis o importar el interfaz diseñado en el software ignition desde el siguiente link.

https://drive.google.com/file/d/1BhsXU5R_p9Qj0BRLngWzsJyW7yoYO1lo/view?usp=sharing

Si escogió importar project que se encuentra en la esquina superior derecha debe buscar la carpeta zip descargado del link y cargar, entonces ya tendrá los tags y el diseño listo. Caso contrario deberá seguir los pasos detallados a continuación; estos pasos que se detallan a continuación de 27 a 39 solo son si no se descarga el archivo zip del link.

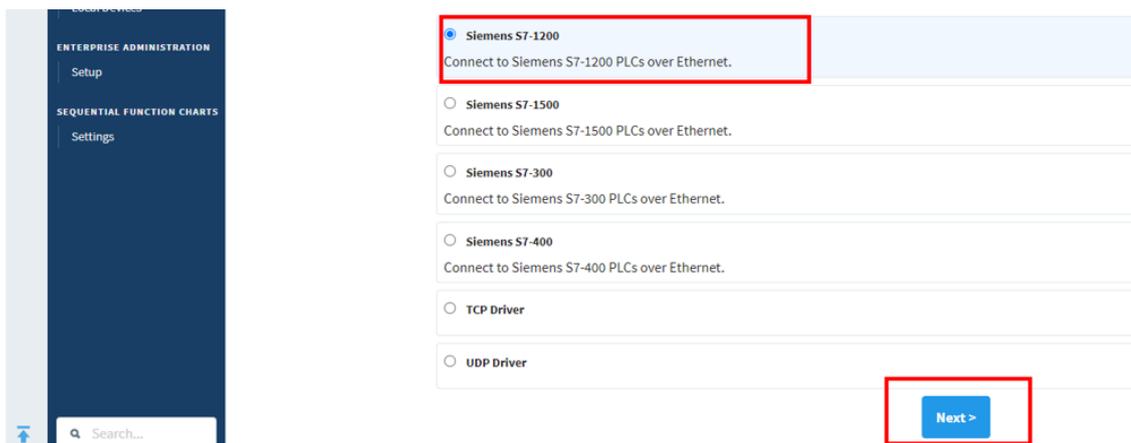
Primero se selecciona Config, después ubicarse en OPC UA y seleccionar Device Connections.



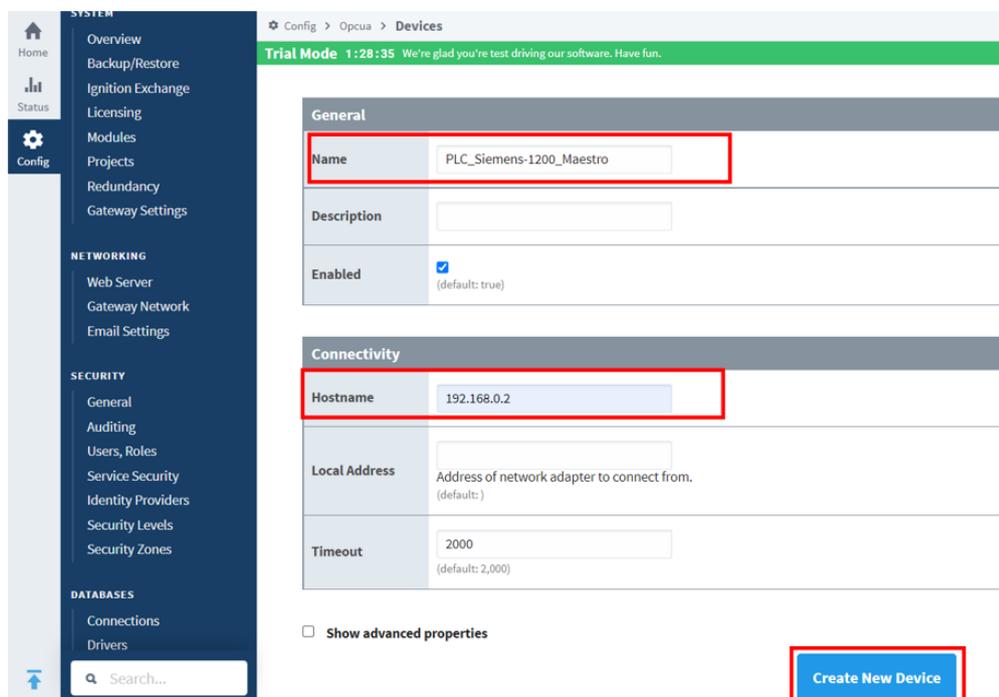
Una vez en Device Connections se selecciona Create new Device y se despliega una nueva pantalla donde se debe seleccionar la marca y serie del autómata.



Al ingresar a Create new Device se despliega la pantalla que se muestra en la siguiente gráfica, en esta se debe seleccionar el PLC autómata con el que se está trabajando, en este caso se escoge un siemens s7-1200 ya que la estación maestra consta de este PLC después se selecciona Next.



Una vez seleccionado el autómata siemens s7-1200 se procede a colocar un nombre en el cuadro name (nombre cualquiera) al dispositivo y se procede a colocar la dirección IP del PLC a conectarse con la plataforma en el recuadro del Hostname, para el caso de este proyecto el PLC maestro tiene una dirección IP asignado de 192.168.0.2. y finalmente se presiona en Create NEW Device. El resto de los parámetros de deja por defecto.

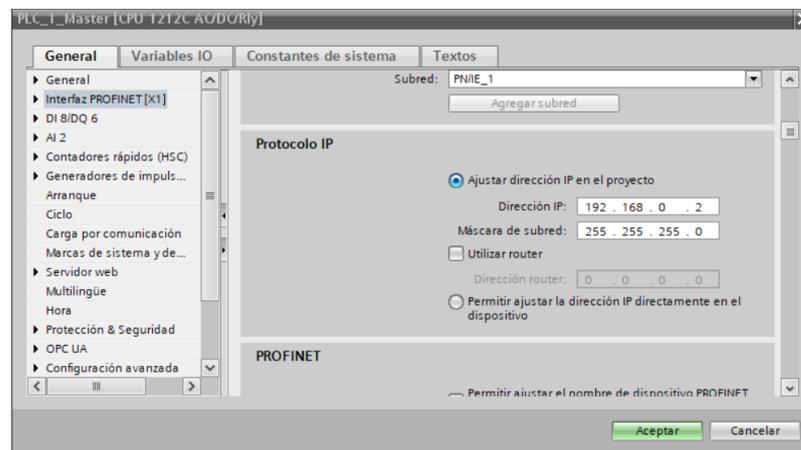


Una vez realizado todos los pasos se debe crear una conexión nueva y en la parte derecha se muestra el estado de la conexión conectado o desconectado, si el PLC ya se conecta mediante el

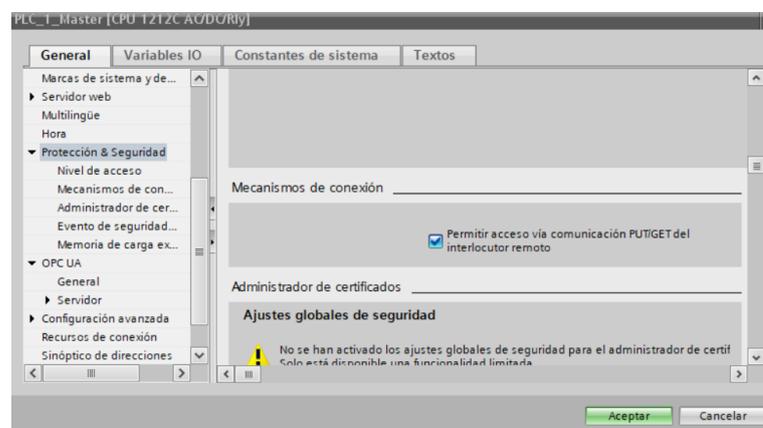
cable ethernet a la computadora o al router del Wi-Fi al que está anclado la computadora debe aparecer en Conected el estado de conexión o Status.



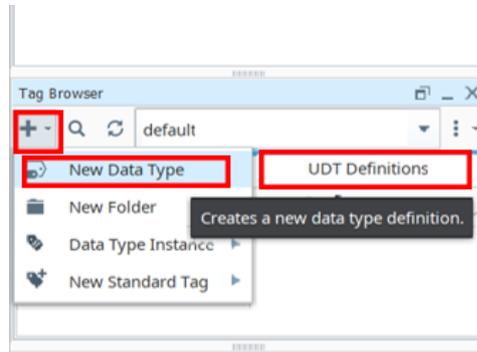
Una vez creado el dispositivo revisar en Tia Portal si el PLC a conectarse tiene asignado la misma dirección configurado en el Software Ignition SCADA. El PLC maestro en este proyecto tiene la dirección 192.168.0.2 que es la misma configurado en el Hostname de Ignition.



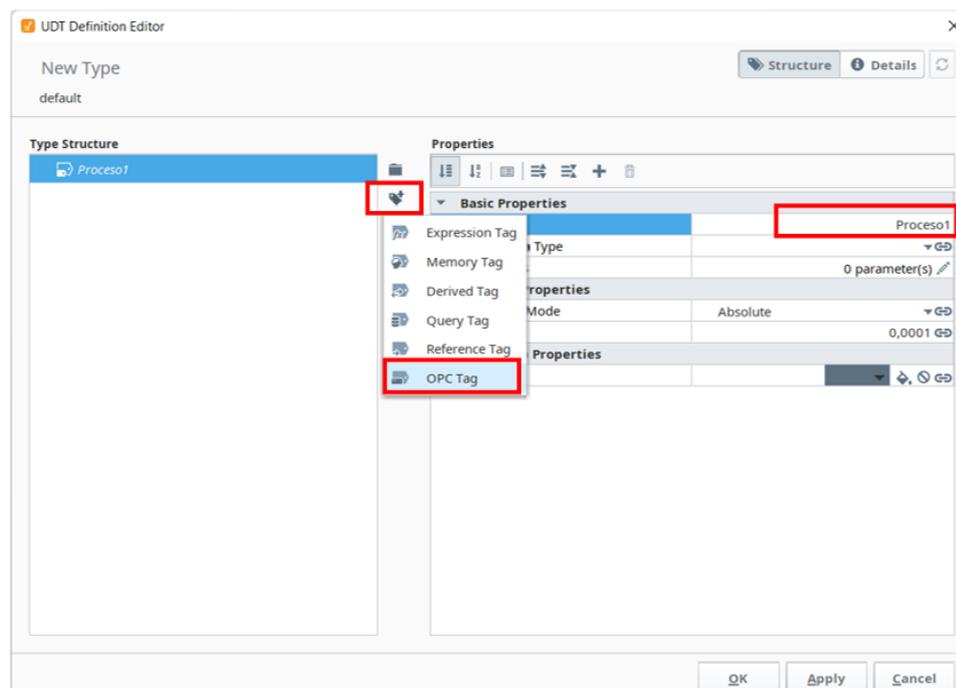
Después también se debe revisar en protección y seguridad que la opción de Permitir acceso vía comunicación PUT/GET del interlocutor remoto.



Una vez establecida la conexión se agregan los tags correspondientes desde la interfaz Ignition Designer. Las variables o tags se debe organizar un Data Type, que contendrá todas las variables de un proceso. Para crear estos tags se selecciona UDT Definitions, luego se dirige a + y se presiona en New Data Type.

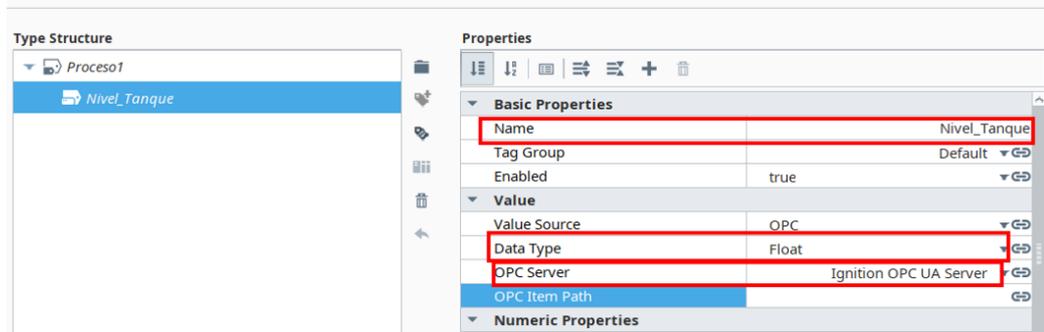


Creado un nuevo Data Type se le asigna un nombre en este caso se ha colocado Proceso1, luego se crea un nuevo tag y se selecciona OPC Tag.



Al presionar sobre OPC Tag se crea una variable o tag, entonces se le asigna un nombre adecuado a la lectura o escritura de datos que se le asignará, en este caso por medio de este tag se quiere leer el nivel de tanque que el PLC Maestro guarda en el bloque de datos DB1 como un dato real. En name se coloca el nombre de la variable a leer (Nombre cualquiera) en Data Type se coloca el tipo de variable que está asignado en el PLC es un flotante en este caso así que se coloca en Float, en OPC Server se selecciona Ignition OPC UA Server y finalmente en

OPC Item Path se colocará el nombre del dispositivo OPC UA que se creó en Ignition el bloque de datos donde está almacenado la variable y finalmente el tipo del mismo. Antes de colocar este código se explica todos los pasos.



Regresando a la configuración de dispositivos OPC UA (de ejemplo) recordando se le asignó el nombre de PLC_Siemens-1200_Maestro, pero en el proyecto principal se creó con el nombre de Siemens1 siguiendo los mismos pasos mencionados y con la misma dirección IP.

Successfully created new Device "PLC_Siemens-1200_Maestro"

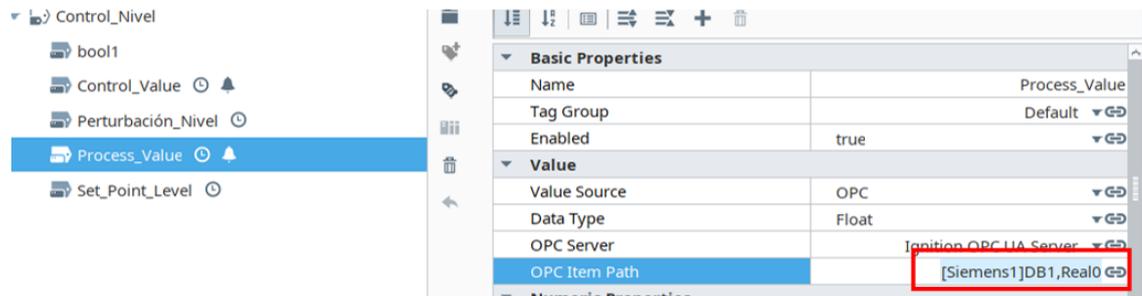
Name	Type	Description	Enabled	Status	
PLC_Siemens-1200_Maestro	Siemens S7-1200		true	Connecting	delete edit
Sample_Device	Programmable Device Simulator		true	Running	More edit
Siemens1	Siemens S7-1200		true	Connecting	delete edit

Y se revisa el bloque de datos en Tia Portal donde está almacenado la variable a configurar, en este caso el Process Value (Nivel tanque) se almacena en DB1 y el Offset 0.0 además es de tipo real. Estas características se colocan en el OPC Item Path de la variable en configuración de Ignition SCADA.

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ...	Valor d...
Static								
Modbus_Nivel	Array(0..3) of Real	0.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Modbus_Nivel[0]	Real	0.0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Modbus_Nivel[1]	Real	4.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Modbus_Nivel[2]	Real	8.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Modbus_Nivel[3]	Real	12.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet	Array(0..3) of Real	16.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet[0]	Real	16.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet[1]	Real	20.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet[2]	Real	24.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horno_Ethernet[3]	Real	28.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet	Array(0..3) of Real	32.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet[0]	Real	32.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet[1]	Real	36.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet[2]	Real	40.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Flujo_Ethernet[3]	Real	44.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Finalmente, el orden del código es:

[NombreDelDispositivoOPC UA]NombrebloqueDatosTiaPortal(DBn),Tipo Variable.Offset, para este caso el nombre del dispositivo es Siemens1, el nombre del bloque de datos en DB es DB1, el tipo de datos es Real y el Offset 0. El código quedaría de la siguiente manera:
[Siemens1]DB1, Real.0



Y de esta manera se configuran todas las variables que van a ser monitoreadas y controladas desde la interfaz SCADA.

II. CARGAR LOS PROYECTOS YA DESARROLLADOS EN IGNITION SCADA Y TIA PORTAL V16.

Primero dirigirse al siguiente link:

<https://drive.google.com/drive/folders/1Tg01ybwBRs0oQ4S-9YUGJO0a2NGpGeB1?usp=sharing>

Se encontrará con 2 carpetas uno para el proyecto desarrollado en Ignition y el otro para el proyecto en Tia Portal.

Nombre ↑	Propietario	Última modificación
Ignition SCADA programación.	Cipriano Tapay	2 mar 2022 Cipriano
Tia Portal V16 Programación	Cipriano Tapay	2 mar 2022 Cipriano

Se debe abrir y descargar los 2 archivos que se encuentran en las carpetas correspondientes. Para ejecutar los proyectos el interesado debe ya tener instalado el software Ignition SCADA y el Tia Portal V16 o superior. Si no tiene instalado Ignition más adelante también se explica como instalar. Todo el proyecto también estará disponible en un CD que se debe solicitar al encargado del laboratorio de automatización de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Nota:

- Una vez descargado los archivos el que corresponde a la programación de Tia Portal se debe descomprimir y abrir el proyecto.
- El archivo que corresponda a la programación en la interfaz Ignition SCADA no se debe descomprimir ya que este es el ejecutable y se cargará como archivo rar al diseñador del software Ignition Designer.

Se empieza por cargar las programaciones a los PLC S7-1200 desde el proyecto de Tia Portal.

Los autómatas PLC S7-1200 encargados de controlar cada planta están programados con distintas versiones de CPU. Para una implementación satisfactoria se debe asignar la serie mostrada en la siguiente tabla a cada planta siguiendo los esquemas de conexión detallados en la guía práctica.

PLANTA	PLC S7-1200 AC/DC/Rly	
	CPU	Dirección IP
Nivel	6ES7 212-1BE31-0XB0	192.168.0.5
Flujo	6ES7 212-1BD30-0XB0	192.168.0.3
Temperatura	6ES7 212-1BE40-0XB0	192.168.0.4
Estación Maestro	6ES7 212-1BE40-0XB0	192.168.0.2

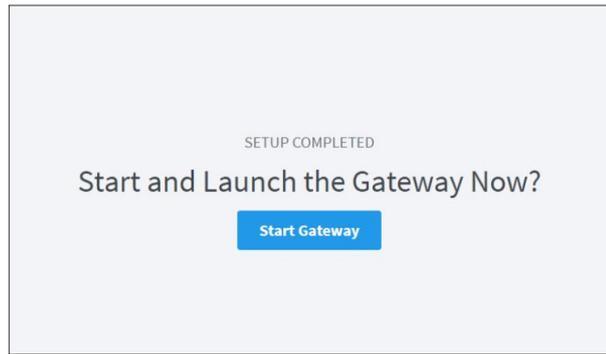
Es importante recordar que el PLC correspondiente a la planta de nivel y la estación maestro deben estar con los módulos CM1241 RS422/485 y conectados con el cable DB9 macho-macho para la comunicación Modbus RTU.

Una vez cargada las programaciones a los 4 autómatas desde Tia Portal V16 se procede a implementar el proyecto ejecutable desarrollado en Ignition SCADA.

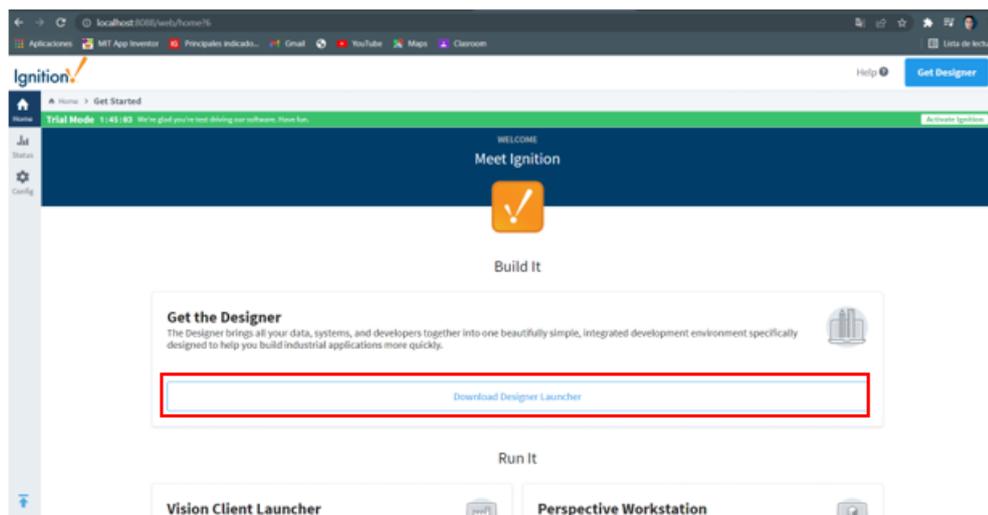
Ante cualquier duda de instalación si en caso no tiene Ignition se deja el link de la pagina oficial del manual de instalación de Ignition SCADA y el Designer Launcher.

<https://docs.inductiveautomation.com/display/DOC81/Installing+and+Upgrading+Ignition>

Seguir hasta el paso 4. Seleccionar Standart Ignition en el paso 3, y se instalará automáticamente Ignition. Luego en el paso 4 se selecciona Start Gateway:



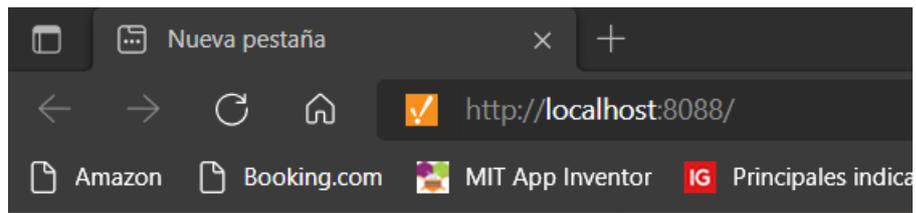
Una vez en el Launcher cuando Ignition inicia descargar el Designer Launcher e instalar.



Instalado el Designer Launcher se procede a abrir. Designer Launcher es un programa propio de Ignition para diseñar Interfaces de usuario configurar Tags y prácticamente implementar el diseño del sistema SCADA.

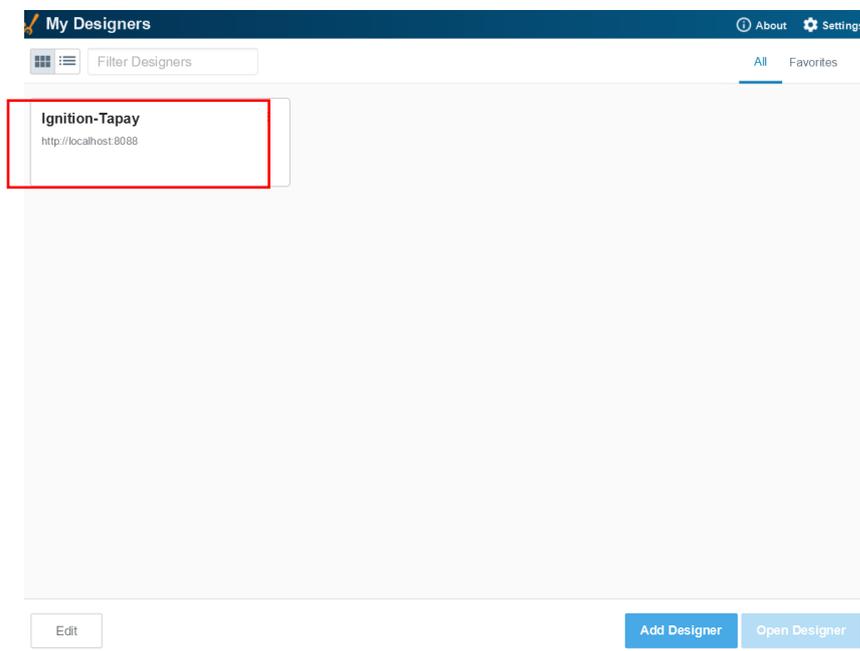


Si por alguna razón cierra Ignition Gateway que estaba ejecutándose en el navegador se debe pegar el siguiente comando: `http://localhost:8088/` en la barra de direcciones del navegador de preferencia entonces Ignition se encenderá al instante.



Ignition Designer y el Ignition Gateway deben estar ejecutándose para que el SCADA se realice ya que el motor de comunicaciones OPC UA se configura en Ignition Gateway que se ejecuta en el navegador y el diseño de las interfaces se realiza en Ignition Designer.

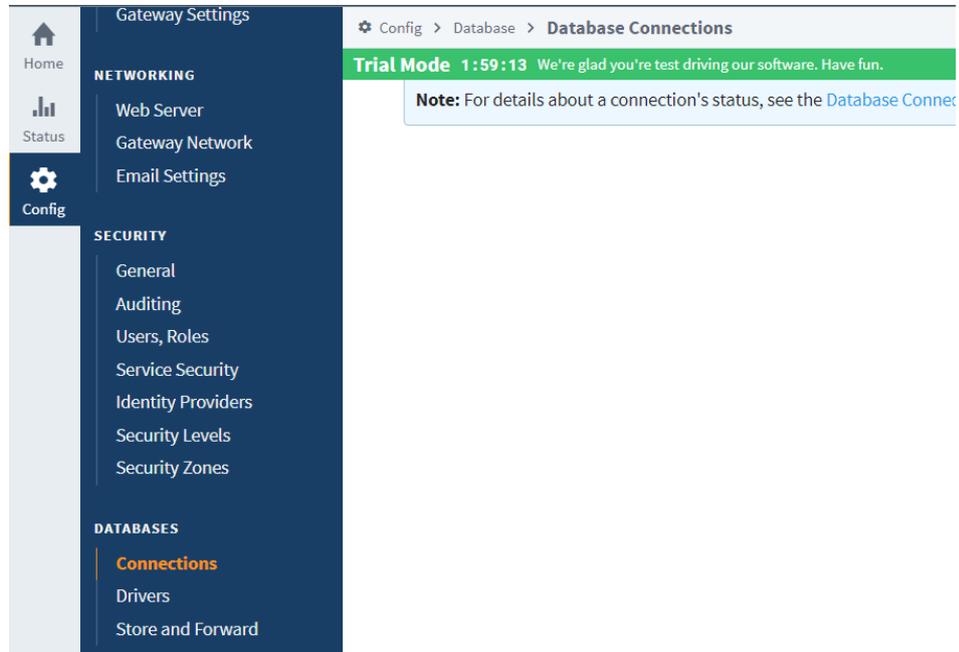
Una vez abierto ignition Designer se presentará la siguiente pantalla entonces se debe ingresar en Ignition Nombre de usuario que asignó al instalar Ignition.



Para que pueda ingresar al diseñador pedirá un usuario y contraseña, estas corresponden a las mismas que se asignó al momento de instalar Ignition en su computadora siguiendo el manual de instalación. En el caso de este proyecto el usuario es *admin* y la contraseña también *admin*. Pero es importante recordar que el usuario y contraseña debe ser los que usted asignó al instalar Ignition.



Al ingresar con su usuario y contraseña dirigirá a la siguiente ventana donde se debe cargar el archivo RAR descargado. Pero antes de realizar este paso se debe crear una base de datos en Ignition Gateway. Para eso dirigirse al entorno de Gateway que se ejecuta en el navegador y dirigirse a Config, DATABASES y Connections.



Después dirigirse a la ventana de opciones donde se debe crear una base de datos con el nombre *Scada_Siemens1_Database* es importante que el nombre sea el especificado ya que el ejecutable diseñado que se va a cargar en Ignition Designer recibe información de la base de datos con ese nombre.

The screenshot shows a table with the following data:

Name	Description	JDBC Driver	Translator	Status	
Sample_SQLite_Database		SQLite	SQLITE	Valid	delete edit
Scada_Siemens1_Database		SQLite	SQLITE	Valid	delete edit

[→ Create new Database Connection...](#)

Se debe seleccionar en Create new database Connection y una vez adentro importante elegir a SQLite y siguiente.

MariaDB
 El controlador JDBC de MariaDB (una bifurcación de MySQL propiedad de la comunidad), compatible con todos los sistemas operativos.

servidor SQL de Microsoft
 El controlador JDBC de Microsoft SQL Server es un controlador compatible con Java Database Connectivity (JDBC) para Microsoft SQL Server.

mysql
 El controlador JDBC oficial de MySQL, Connector/J.

base de datos oracle
 El controlador JDBC de la base de datos de Oracle.

postgresql
 El controlador JDBC oficial de PostgreSQL.

SQLite
 Controlador para el popular sistema de base de datos integrado.

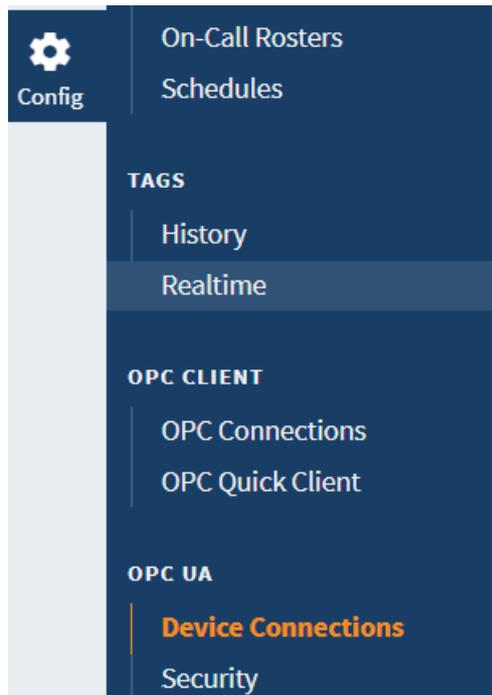
[Siguiete >](#)

Una vez en las configuraciones se coloca el nombre *Scada_Siemens1_DataBase* en name y

Main Properties	
Name	<input type="text" value="Scada_Siemens1_DataBase"/> Choose a name for this database connection.
Description	<input type="text"/>

[Create New Database Connection](#)

Se presiona en Create New Database Connection los otros parámetros se deja por defecto solo el nombre es importante colocar con el ya mencionado anteriormente. Terminado de configurar la base de datos se procede a agregar un dispositivo que se comunicará con la interfaz SCADA o sea el PLC-Maestro. Para eso se regresa a Config luego OPC UA y Device Connections.



Aquí se debe agregar el PLC maestro con el nombre *Siemens1* ya que así está programado en el ejecutable que se va cargar en Ignition designer.

Name	Type	Description	Enabled	Status
Sample_Device	Programmable Device Simulator		true	Running
Siemens1	Siemens S7-1200		true	Connecting

[→ Create new Device...](#)

Se ingresa en Create new Device y se busca Siemens S7-1200 luego en Next.

Siemens S7-1200
Connect to Siemens S7-1200 PLCs over Ethernet.

Siemens S7-1500
Connect to Siemens S7-1500 PLCs over Ethernet.

Siemens S7-300
Connect to Siemens S7-300 PLCs over Ethernet.

Siemens S7-400
Connect to Siemens S7-400 PLCs over Ethernet.

TCP Driver

UDP Driver

[Next >](#)

Luego se ingresa a un panel donde se debe colocar el nombre y la dirección IP del PLC maestro, el nombre que se debe colocar es Siemens1 y la dirección IP es 192.168.0.2 como se ve en la gráfica y luego se presiona Create New Device entonces el dispositivo se creará.

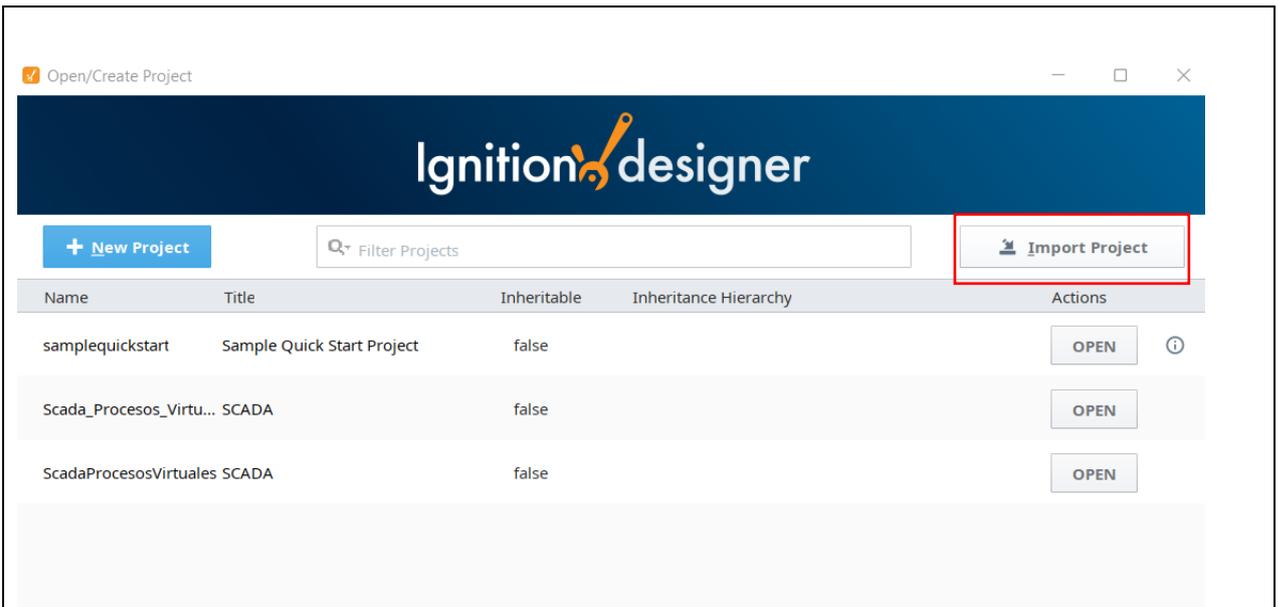
General	
Name	<input type="text" value="Siemens1"/>
Description	<input type="text"/>
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)

Connectivity	
Hostname	<input type="text" value="192.168.0.2"/>
Local Address	<input type="text"/> Address of network adapter to connect from. (default:)
Timeout	<input type="text" value="2000"/> (default: 2,000)

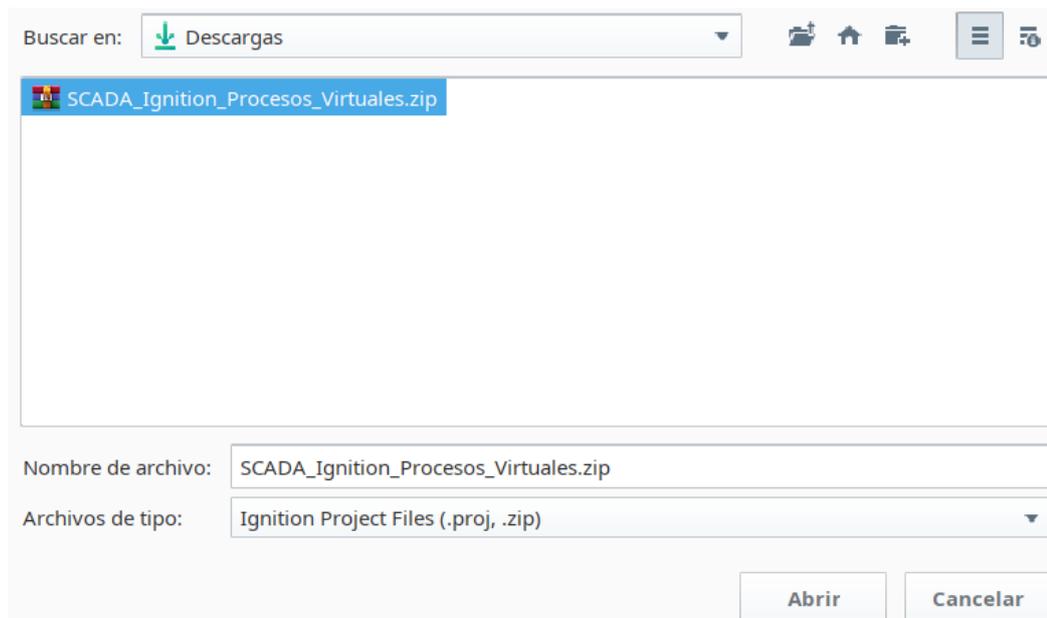
Show advanced properties

[Create New Device](#)

Ahora se regresa a Ignition Designer para importar el proyecto ejecutable. Primero se debe dirigir a la esquina superior izquierda al botón de Import Project.



Esta opción abrirá una nueva ventana donde deberá cargar el archivo RAR buscando la ruta donde guardó la descarga. En el caso de ejemplo el archivo se encuentra en descargas.



Una vez presionado en abrir se abrirá una nueva ventana donde debe seleccionar la base de datos creado en Ignition Gateway.

← Back Import Project

Project Name
SCADA_Ignition_Procesos_Virtuales ✓

Project Title
SCADA

Parent Project
▼ Inheritable Project ⓘ

User Source
default ▼

Identity Provider
default ▼

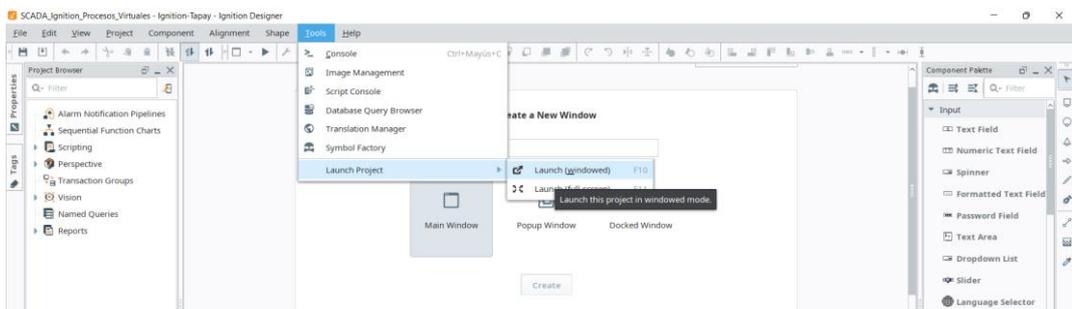
Default Database
Scada_Siemens1_DataBase ▼

Default Tag Provider
default ▼

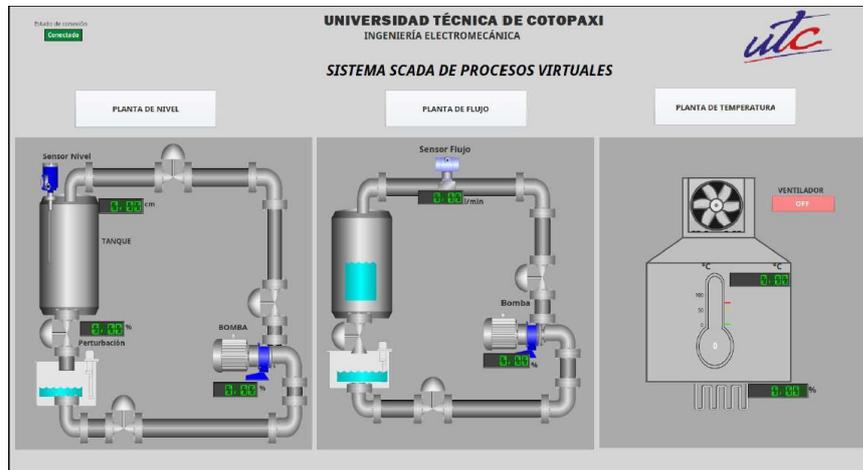
Luego de verificar la base de datos se presiona en Import Project y se agregará a la lista de proyectos desarrollados en el Ignition Designer.

Name	Title	Inheritable	Inheritance Hierarchy	Actions
samplequickstart	Sample Quick Start Pro..	false		OPEN ⓘ
Scada_Procesos_Virtuales_1	SCADA	false		OPEN
ScadaProcesosVirtuales	SCADA	false		OPEN
SCADA_Ignition_Procesos_Virtuales	SCADA	false		OPEN

Ahora se procede a abrir presionando en OPEN y el proyecto se cargará. Y ahora solo deberá ejecutar en su Launcher para Monitorear y controlar las variables de los procesos virtuales y la planta de temperatura.



Finalmente se podrá visualizar la interfaz de control y monitoreo para las tres plantas en una ventana principal y con todas las características detalladas en la sección 4 donde se detalla todos los paneles principales, secundarios, paneles gráficos en modo histórico, realtime y el panel de alarma.



3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a las programaciones realizadas revisar los valores visualizados en la Intefaz SCADA y los que se pueden apreciar en las plantas virtuales de nivel, flujo y el horno físico de temperatura.

Obtener el margen de error en porcentaje entre las lecturas de las plantas locales y los valores visualizado en la plataforma SCADA.

Cambiar los parámetros de sintonización PID y observar el comportamiento de las variables en las plantas cambiando la señal de consigna.

Obtener los porcentajes de sobreimpulso para cada método de sintonía PID y anotar en una tabla.

Ingresar los parámetros de sintonía PID en la programación de Tia Portal para cada proceso y simular las plantas. Los parámetros de sintonía para los procesos se detallan a continuación.

Tabla 1. Parámetros Kc, Ti y Td para la planta de temperatura.

Métodos	Parámetros			
	Kc	Ti	Td	(PEM)%
PID Lambda	0.2015	770.621	14.708	
PI Lambda	0.1938	755.6218	0	
PID Ziegler Nichols	6.0898	60.00	15.00	
PID López Miller	5.6439	76.7933	9.2941	

Tabla 2: Parámetros Kc, Ti y Td para la planta de flujo.

Métodos	Parámetros			
	Kc	Ti	Td	(PEM)%
PID Lambda	0.6071	1.3302	0.2962	
PI Lambda	0.1453	0.4452	0	
PID Ziegler Nichols	0.3059	3.54	0.885	
PID López Miller	0.4079	1.4257	1.0307	

Tabla 3: Parámetros Kc, Ti y Td para la planta de nivel.

Métodos	Parámetros			
	Kc	Ti	Td	(PEM)%
Ford	7.0985	6.0000	1.1100	
Astrom y Haugglund	4.5085	6.0000	1.5000	
Lambda PI	4.7963	27.000	0.0000	
Rotach	5.8035	4.8000	1.4400	

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El uso de protocolos de comunicación como Modbus, Ethernet y OPC facilita el desarrollo de aplicaciones de automatización, ya que se disponen de una amplia gama de dispositivos industriales con los cuales se puede establecer una comunicación. Empleando la compatibilidad del simulador con el protocolo,
- Desarrollar este tipo de proyectos que emulan a un sistema SCADA aplicando normas industriales, permite diseñar de mejor manera posibles aplicaciones en ambientes reales, como es el caso de las plantas lácteas, envasado de bebidas, plantas de tratamiento de aguas residuales entre otros., presentándose la posibilidad de servir como precedente para las fábricas que existen en nuestro país

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. M. J. J. y. Y. C. B. Rafael, Artist, *DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA DEL INVERNADERO EXPERIMENTAL # 2 DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI CAMPUS SALACHE*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2021.
- [2] Á. P. J. E. y. M. M. B. Stalin, Artist, “*IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL, MONITOREO Y ANÁLISIS DE INDICADORES DE OPERACIÓN DEL INVERNADERO DEL CAMPUS SALACHE*.”. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2020.
- [3] O. H. Ramos, Artist, *Sistema SCADA para control de proceso virtual*. [Art]. Universidad Central "Marta Abreu" de las villas, 2018.