



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Proyecto técnico previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Título:**

**“Diseño e implementación de un Módulo Didáctico para prácticas de Red Profibus  
utilizando PLCs S71500”**

**Autores:**

**JORGE ENRIQUE OLAYA VÁSQUEZ  
JONATHAN EFRAÍN TOMALÁ PRIMO**

**Tutor de proyecto Técnico:**

**ING. LUIS ANTONIO NEIRA CLEMENTE, Msc.**

**DICIEMBRE DEL 2020**

**GUAYAQUIL- ECUADOR**

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.**

Nosotros, JORGE ENRIQUE OLAYA VÁSQUEZ y JONATHAN EFRAIN TOMALÁ PRIMO autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos y análisis desarrollados y conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

*Jorge Olaya Vásquez*

-----  
Jorge Enrique Olaya Vásquez  
Cédula: 0940792567

*Jonathan Efraín Tomalá Primo*

-----  
Jonathan Efraín Tomalá Primo  
Cédula: 0926453168

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UPS**

Nosotros, **JORGE ENRIQUE OLAYA VÁSQUEZ**, con documento de identificación N° **0940792567** y **JONATHAN EFRAÍN TOMALÁ PRIMO** con documento de identificación N° **0926453168**, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE RED PROFIBUS UTILIZANDO PLCS S71500”** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELECTRÓNICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

*Jorge Olaya Vásquez*

-----  
Jorge Enrique Olaya Vásquez  
Cédula: 0940792567

*Jonathan Efraín Tomalá Primo*

-----  
Jonathan Efraín Tomalá Primo  
Cédula: 0926453168

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN  
SUSCRITO POR EL TUTOR.**

Yo, **ING LUIS ANTONIO NEIRA CLEMENTE, MSC.** Director del proyecto de titulación denominado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE RED PROFIBUS UTILIZANDO PLCS S71500”** realizado por los estudiantes **JORGE ENRIQUE OLAYA VÁSQUEZ** y **JONATHAN EFRAIN TOMALÁ PRIMO**, certifico que han sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, diciembre del 2020



-----  
**Ing. Luis Antonio Neira Clemente, Msc.**



## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a Dios y a mi familia, ya que con su esfuerzo, cariño y aliento incesante, hicieron que este sueño se cumpla, gracias por formar en mí, a una persona valiente y perseverante, por forjar a una persona que no se deja amedrentarse por las adversidades de la vida y más que todo apoyarme con todos los propósitos que me he trazado , le dedico mi trabajo a mi hermosa madre María del Carmen Primo Freire por su fiel apoyo y sus consejos, hicieron lo que hoy en día es un hombre respetable y justo.

Jonathan Efraín Tomalá Primo

## DEDICATORIA

Este logro alcanzado se lo dedico a Yahweh Dios todo poderoso, porque gracias a él es que tuve la fuerza, inteligencia, salud y perseverancia para poder alcanzar tan anhelada meta. Sin él no soy nada, con él lo soy todo.

A mi madre Adriana Vásquez Centeno y mi padre Jorge Enrique Olaya Soria (+) que han sido, son y serán pilares fundamentales en todo lo que haga y en cada decisión que tome, porque en cada una de ellas se verá reflejado el arduo trabajo que hicieron en mi a través de los años inculcándome valores y enseñanzas para poder llegar a ser un excelente profesional y una buena persona, mi madre es una mujer tan sabia y fuerte que la admiro mucho y la amo y mi padre fue su ayuda idónea porque una gran mujer merece un gran hombre y ese fue mi padre inteligente, espontaneo y muy divertido así lo recuerdo lo amo mucho y lo extraño.

A mi abuelita Teresa Centeno Solórzano porque de la mano de ella llegue a entender muchas cosas no de la carrera, pero si de la vida y esas son lecciones que no cualquiera te puede dar, este logro va dedicado a ella por el inmenso amor que me tiene y que por supuesto yo le tengo es una persona tan única y especial, la admiro mucho y quisiera que sea eterna.

A mi tío/padrino José Francisco Vásquez Centeno por ser mi profesor y mi amigo, en compañía con mis padres el me ayudo en mi inicio de toda vida estudiantil hasta lo más que pudo y le estoy muy agradecido por eso y tantas cosas más, sé que él es alguien con quien siempre puedo contar y así mismo el conmigo, si esta en mi poder ayudarlo siempre lo hare.

A mis hermanos Adriana Marisol Olaya Vásquez y Jorge Gabriel Olaya Vásquez por ser mis cómplices en todo y una ayuda incondicional, tenerlos a ellos como hermanos es lo mejor.

A la mujer de mi vida Julia Lisseth Moreira Manzaba mi novia actual y futura esposa, porque ella por ser una estudiante más de la carrera sabe mejor que nadie el esfuerzo y perseverancia que se debe tener y estoy tan agradecido mucho con ella por toda la paciencia y tiempo que me dedico para salir adelante y poder alcanzar esta meta.

Obviamente una mención muy especial a mi amigo y compañero de proyecto de titulación Jonathan Efraín Tómalá Primo porque mejor compañero y amigo no pude tener y es que el conocernos desde colegio ayudo mucho a crear un buen ambiente de trabajo para poder apoyarnos y comprendernos mejor.

Por último, pero no menos importante a todos mis amigos que conocí a lo largo de la carrera y en el proyecto de titulación fueron de mucha ayuda y aprendí mucho de ellos.  
¡EXITOS PARA ELLOS!

Jorge Enrique Olaya Vásquez

## **AGRADECIMIENTO**

Tengo la mayor alegría de agradecer a Dios por permitirme estar con vida y poder redactar estas palabras de gratificación hacia quienes estuvieron conmigo en esta fase de formarme como un profesional, le doy gracias a mis padres y a mi familia en general que me apoyo hasta las últimas estancias de mi carrera, siendo así un factor ideal para seguir cumpliendo mis sueños como me lo he propuesto desde que inicie mi carrera. Agradezco también a los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil por orientarme hacia mis estudios superiores brindándome los mejores conocimientos y darme la oportunidad de formarme como un buen profesional de la República del Ecuador.

Jonathan Efraín Tomalá Primo

## AGRADECIMIENTO

Este logro alcanzado se lo dedico a Yahweh Dios todo poderoso, porque gracias a él es que tuve la fuerza, inteligencia, salud y perseverancia para poder alcanzar tan anhelada meta. Sin él no soy nada, con él lo soy todo.

Agradezco a mis padres Adriana Vásquez Centeno y Jorge Enrique Olaya Soria (+) por ser mi inspiración y motivación para poder culminar una etapa de mi vida profesional, le agradezco por tanto amor y comprensión que supieron darme en cada etapa de mi vida estudiantil y su apoyo fue parte fundamental de todo lo que yo he podido lograr.

Así también agradezco a mi abuelita Teresa Centeno Solórzano por todos esos consejos y fuerza que me daba cada día para ser una buena persona con los mejores valores.

Le agradezco a mi tío/padrino José Francisco Vásquez Centeno por que en conjunto con mis padres supieron sentar las bases del estudio y del trabajo duro, y así comprender desde muy temprano que todo lo que vale la pena merece un gran esfuerzo y que todo lo que me proponga lo puedo lograr con Yahweh en mi mente y corazón.

A la mujer de mi vida Julia Lisseth Moreira Manzaba mi novia actual y futura esposa, por ser un apoyo constante en casa paso que daba en la carrera, por aconsejarme, por su ayuda y darme ánimos para seguir y nunca flaquear. La amo.

Agradezco también a mi amigo y compañero de proyecto de titulación Jonathan Efraín Tómalá Primo por ser cómplice y ayuda idónea para poder lograr esta meta.

Y un agradecimiento a todos los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por ser tan comprensivos y competentes, en especial a mi tutor Msc. Luis Antonio Neira Clemente por su apoyo, tiempo y comprensión durante la carrera y ahora en el proyecto de titulación, muy agradeció también con el Msc. Byron Lima puesto que ha sido un guía fundamental para poder llevar a cabo este proyecto.

Jorge Enrique Olaya Vásquez

## RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO TÉCNICO	TEMA DE PROYECTO TÉCNICO
2020	JORGE ENRIQUE OLAYA VÁSQUEZ JONATHAN EFRAIN TOMALA PRIMO	ING LUIS ANTONIO NEIRA CLEMENTE, MSC.	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRACTICAS DE RED PROFIBUS UTILIZANDO PLCs S71500”

El presente proyecto técnico tiene como principal objetivo, la adición de herramientas para el laboratorio de electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, con la finalidad de que los estudiantes puedan realizar prácticas de comunicaciones y procesos industriales, en tal virtud se procedió a la implementación de un módulo didáctico PROFIBUS utilizando un PLCs S71500. Los elementos principales que componen el proyecto implementado son: un controlador lógico programable siemens S71500 cpu, una fuente de poder, una pantalla touch color KTP-700, módulo de entradas digitales, módulo de salidas digitales, módulo de entradas analógicas, modulo salidas analógicas, un variador de frecuencia sinamics v20, panel de distribución eléctrico, panel de medidores digitales DC, panel de control para motor trifásico, 3 paneles de mando y señalización.

El objetivo primordial del proyecto de titulación consiste de diez prácticas que progresivamente se vayan complementando y simulando el funcionamiento de un sistema de trabajo industrial que ocupe el manejo de entradas y salidas tanto digitales como analógicas, control de temperatura mediante PID, control secuencial de un motor trifásico por medio de un variador de frecuencia, además de la elaboración de una aplicación humano máquina que permita el control y observación de los procesos y datos obtenidos en cada una de las practicas. Dentro de todo este proceso se reforzara el conocimiento teórico de los estudiantes en electrónica, programación de controladores lógicos programables y fundamentos matemáticos necesarios para implementar un controlador PID.

## ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	DIRECTOR OF TECHNICAL PROJECT	TECHNICAL PROJECT THEME
2020	JORGE ENRIQUE OLAYA VÁSQUEZ JONATHAN EFRAIN TOMALA PRIMO	ING LUIS ANTONIO NEIRA CLEMENTE, MSC.	“DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DIDACTIC MODULE FOR PROFIBUS NETWORK PRACTICES USING S71500 PLCs”

The main objective of this technical project is the addition of tools for the electronics laboratory of the Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil headquarters, with the purpose that students can carry out communications and industrial processes practices, in such virtue we proceeded to the implementation of a PROFIBUS training module using an S71500 PLC. The main elements that make up the implemented project are: a siemens S71500 cpu programmable logic controller, a power source, a KTP-700 color touch screen, digital input module, digital output module, analog input module, analog output module, a sinamics v20 frequency inverter, electrical distribution panel, digital DC meter panel, control panel for three-phase motor, 3 control and signaling panels.

The main objective of the degree project consists of ten practices that progressively complement and simulate the operation of an industrial work system that deals with the management of both digital and analog inputs and outputs, temperature control through PID, sequential control of a motor three-phase by means of a frequency variator, in addition to the development of a human machine application that allows the control and observation of the processes and data obtained in each of the practices. Within this entire process, students' theoretical knowledge in electronics, programming of programmable logic controllers, and mathematical foundations necessary to implement a PID controller will be reinforced.

## INDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS .....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR. ....	IV
DEDICATORIA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VIII
AGRADECIMIENTO.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INDICE GENERAL.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XVI
INDICE DE TABLAS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
1. EL PROBLEMA.....	- 3 -
1.1. Importancia y Alcance.....	- 3 -
1.2. Delimitación.....	- 5 -
1.2.1. Temporal.....	- 5 -
1.2.2. Espacial.....	- 5 -
1.2.3. Académica.....	- 5 -
1.3. Objetivos.....	- 5 -
1.3.1. Objetivo general.....	- 5 -
1.3.2. Objetivos específicos.....	- 5 -
Fundamentos Teóricos.....	- 6 -
2.1. Redes de comunicación industrial.....	- 6 -
2.2. Protocolos de comunicación.....	- 6 -
2.3. Topologías de red.....	- 6 -



2.3.1.	Red en anillo .....	- 6 -
2.3.2.	Red en estrella .....	- 7 -
2.3.3.	Red en bus .....	- 7 -
2.4.	Redes de comunicación entre PLC o AP .....	- 8 -
2.5.	Sistemas industriales de control.....	- 9 -
2.5.1.	Control centralizado .....	- 9 -
2.5.2.	Control Distribuido.....	- 11 -
2.5.3.	Control híbrido .....	- 11 -
2.6.	La pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing).....	- 12 -
2.6.1.	Nivel de E/S (Actuador/Sensor) .....	- 12 -
2.6.2.	Nivel de campo y proceso .....	- 13 -
2.6.3.	Nivel de control .....	- 13 -
2.6.4.	Nivel de gestión .....	- 14 -
2.7.	Protocolos de comunicación industrial .....	- 14 -
2.7.1.	Red de Factoría.....	- 15 -
2.7.2.	Red de planta .....	- 16 -
2.7.3.	Red de célula .....	- 16 -
2.7.4.	Bus de campo .....	- 16 -
2.8.	PROFIBUS .....	- 20 -
2.8.1.	Método de acceso al medio .....	- 23 -
2.8.2.	POFIBUS-DP .....	- 24 -
2.9.	SCADA.....	- 29 -
2.9.1.	Definición .....	- 29 -
2.9.2.	Prestaciones.....	- 30 -
2.9.3.	Requisitos básicos.....	- 30 -
2.9.4.	Funciones Principales.....	- 31 -
2.9.5.	Componentes de un sistema SCADA.....	- 31 -
2.9.6.	Flujo de información en un sistema SCADA .....	- 33 -
2.9.7.	Comunicaciones .....	- 34 -
2.9.8.	Mantenimiento.....	- 34 -
2.10.	Controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) .....	- 34 -
2.10.1.	Control Proporcional.....	- 35 -
2.10.2.	Control Integral .....	- 35 -
2.10.3.	Acción Derivativa.....	- 36 -
2.11.	PLC.....	- 36 -
2.11.1.	Estructura de un PLC.....	- 36 -
2.11.2.	Tipos de PLC.....	- 37 -

2.12.	Sistema S7-1500.....	- 37 -
2.12.1.	Campo de aplicación .....	- 38 -
2.12.2.	Componentes .....	- 38 -
2.12.3.	Funcionamiento .....	- 40 -
	Marco Metodológico .....	- 42 -
3.1.	Diseño del módulo didáctico .....	- 42 -
3.1.1.	Automata siemens S71500 (CPU 1516-3).....	- 42 -
3.1.2.	Módulo de entradas digitales.....	- 44 -
3.1.3.	Módulo de salidas digitales .....	- 44 -
3.1.4.	Módulo de entradas analógicas.....	- 45 -
3.1.5.	Módulo de salidas analógicas .....	- 45 -
3.1.6.	Fuente de alimentación de carga. ....	- 46 -
3.1.7.	SINAMICS V20 .....	- 46 -
3.1.8.	HMI KTP700.....	- 47 -
3.1.9.	Switch Scalance.....	- 48 -
3.1.10.	Perilla P/Potenciómetro .....	- 48 -
3.1.11.	Conectores Banana Hembra .....	- 49 -
3.1.12.	Voltímetro digital .....	- 49 -
3.1.13.	Conector industrial RJ-45.....	- 50 -
3.1.14.	TIA PORTAL V15 .....	- 50 -
3.2.	Implementación de modulo didáctico.....	- 50 -
3.2.1.	Panel PLC S7-1500 CPU1516 3PN/DP .....	- 50 -
3.2.2.	Panel pantalla HMI KTP-700 .....	- 51 -
3.2.3.	Panel variador de frecuencia .....	- 52 -
3.2.4.	Panel fuentes de alimentación. ....	- 53 -
3.2.5.	Panel de distribución. ....	- 54 -
3.2.6.	Panel módulo de relés.....	- 55 -
3.2.1.	Panel de medidores digitales D.C.....	- 56 -
3.2.1.	Panel de mando y señalización.....	- 57 -
	Practicas.....	- 60 -
4.1.	Practica 1.....	- 61 -
4.2.	Practica 2.....	- 64 -
4.3.	Practica 3.....	- 67 -
4.4.	Practica 4.....	- 70 -
4.5.	Practica 5.....	- 73 -
4.6.	Practica 6.....	- 76 -

4.7. Practica 7.....	- 79 -
4.8. Practica 8.....	- 82 -
4.9. Practica 9.....	- 85 -
4.10. Practica 10.....	- 88 -
Resultados.....	- 90 -
5.1. Análisis de resultados. ....	- 90 -
CONCLUSIONES.....	- 98 -
RECOMENDACIONES. ....	- 100 -
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. ....	- 101 -
ANEXOS.....	- 102 -
Anexo 1. Plano físico diseño módulo didáctico para ensamblaje físico.....	103
Anexo 2. Planos de control practica #1 .....	104
Anexo 3. Practica #1 .....	106
Anexo 4. Planos de control practica #2 .....	112
Anexo 5. Practica #2.....	114
Anexo 6. Plano de control practica #3 .....	120
Anexo 7. Practica #3 .....	121
Anexo 8. Plano de control practica #4 .....	127
Anexo 9. Practica #4.....	128
Anexo 10. Plano de control practica #5 .....	136
Anexo 11. Practica #5 .....	137
Anexo 12. Plano de control Practica #6.....	145
Anexo 12. Practica #6.....	147
Anexo 13. Plano de control practica #7 .....	160
Anexo 14. Practica #7.....	162
Anexo 15. Plano de control practica #8 .....	180
Anexo 16. Practica #8.....	182
Anexo 17. Plano de control practica #9.....	195
Anexo 18. Practica #9.....	197
Anexo 19. Plano de control practica #10.....	220
Anexo 20. Practicas #10 .....	222
Anexo 21. Diagrama de conexión para el armario “Planta para control de nivel” ...	227

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Topología en anillo (Defas Brucil & Guzmán Herrera, 2016).....	- 7 -
Figura 2. Topología en estrella (Defas Brucil & Guzmán Herrera, 2016) .....	- 7 -
Figura 3. Topología en bus (Defas Brucil & Guzmán Herrera, 2016) .....	- 8 -
Figura 4. Control Centralizado (Universidad de Deusto, 2018).....	- 10 -
Figura 5. Control Distribuido (aula21, 2019).....	- 11 -
Figura 6. Pirámide CIM de comunicación (Menchón Ruiz, 2018) .....	- 12 -
Figura 7. Tipos de redes industriales (infoPLC, 2017).....	- 15 -
Figura 8. Red de factoría (Goicoechea, 2017).....	- 15 -
Figura 9. Sistema de cableado y bus de campo (Menchón Ruiz, 2018).....	- 17 -
Figura 10. Señal de transmisión con protocolo Hart (AIE, 2020).....	- 19 -
Figura 11. Configuración paso testigo estaciones maestras (infoPLC, 2017).....	- 23 -
Figura 12. Configuración maestro esclavo (infoPLC, 2017) .....	- 24 -
Figura 13. Configuración DP simple con CPU maestro DP integrado (infoPLC, 2017) ...	- 26 -
Figura 14. Configuración con esclavos DP simples con CPU maestro a través de una CP (infoPLC, 2017).....	- 26 -
Figura 15. Configuración con DP inteligentes (infoPLC, 2017).....	- 27 -
Figura 16. Estructura carácter UART (Menchón Ruiz, 2018) .....	- 28 -
Figura 17. Esquema básico de sistema SCADA. ....	- 33 -
Figura 18. Esquema de un controlador PID .....	- 35 -
Figura 19. Representación matemática del control Proporcional.....	- 35 -
Figura 20. Representación matemática del control Integral.....	- 36 -
Figura 21. Representación matemática de la acción Derivativa.....	- 36 -
Figura 22. Esquema de un controlador PID. (AG, Siemens, 2018) .....	- 42 -
Figura 23. Módulo de entradas digitales. (AG, Siemens, 2018) .....	- 44 -
Figura 24. Módulo de salidas digitales. (AG, Siemens, 2018).....	- 44 -
Figura 25. Módulo de entradas analógicas. (AG, Siemens, 2018) .....	- 45 -
Figura 26. Módulo de salidas analógicas. (AG, Siemens, 2018).....	- 46 -
Figura 27. Fuente de alimentación de carga. (AG, Siemens, 2018).....	- 46 -
Figura 28. SINAMICS V20.....	- 47 -
Figura 29. Pantalla touch KTP-700 (FESTO, 2019) .....	- 48 -
Figura 30. Topología en estrella. (STUDYLIB, 2019) .....	- 48 -
Figura 31. Potenciómetro con perilla .....	- 49 -

Figura 32. Conectores banana hembra. ....	- 49 -
Figura 33. Voltímetro digital.....	- 50 -
Figura 34. Conector RJ-45. ....	- 50 -
Figura 35. Panel PLC S7-1500 CPU1516 3DP/DP.....	- 51 -
Figura 36. Panel pantalla HMI KTP-700. ....	- 52 -
Figura 37. Panel variador de frecuencia. ....	- 53 -
Figura 38. Panel fuentes de alimentación.....	- 54 -
Figura 39. Panel distribución.....	- 55 -
Figura 40. Panel de módulos relés.....	- 56 -
Figura 41. Panel de medidores digitales D.C. ....	- 57 -
Figura 42. Panel de medidores digitales D.C. ....	- 58 -
Figura 43. Modulo didáctico de redes industriales y sistemas de automatización. ....	- 59 -
Figura 44. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 .....	- 62 -
Figura 45. Variables Practica 1.....	- 62 -
Figura 46. Pantalla HMI practica 1. ....	- 63 -
Figura 47. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 2.....	- 65 -
Figura 48. Variables Practica 2.....	- 65 -
Figura 49. Pantalla HMI practica 2. ....	- 66 -
Figura 50. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 3.....	- 68 -
Figura 51. Variables/ Practica 3. ....	- 68 -
Figura 52. Pantalla HMI practica 3. ....	- 69 -
Figura 53. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 4.....	- 71 -
Figura 54. Variables/ Practica 4. ....	- 71 -
Figura 55. Pantalla HMI practica 4. ....	- 72 -
Figura 56. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 5.....	- 74 -
Figura 57. Variables/ Practica 5. ....	- 74 -
Figura 58. Pantalla HMI practica 5. ....	- 75 -
Figura 59. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 6.....	- 77 -
Figura 60. Variables/ Practica 6. ....	- 77 -
Figura 61. Pantalla HMI practica 6. ....	- 78 -
Figura 62. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 7.....	- 80 -
Figura 63. Variables/ Practica 7. ....	- 80 -
Figura 64. Pantalla HMI practica 7. ....	- 81 -
Figura 65. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 8.....	- 83 -

Figura 66. Variables/ Practica 8. ....	83 -
Figura 67. Pantalla HMI practica 8. ....	83 -
Figura 68. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 9.....	86 -
Figura 69. Variables/ Practica 9. ....	86 -
Figura 67. Pantalla HMI practica 9. ....	86 -
Figura 71. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 10.....	89 -
Figura 72. Pantalla HMI practica 10. ....	89 -
Figura 73. Conexión física modulo didáctico practica 1.....	90 -
Figura 74. Interfaz Humano maquina practica 1. ....	91 -
Figura 75. Conexión física modulo didáctico practica 2. ....	91 -
Figura 76. Interfaz Humano maquina practica 2. ....	92 -
Figura 77. Conexión física modulo didáctico practica 3.....	92 -
Figura 78. Interfaz Humano maquina practica 3. ....	93 -
Figura 79. Interfaz Humano maquina practica 4. ....	93 -
Figura 80. Interfaz Humano maquina practica 5. ....	94 -
Figura 81. Conexión física modulo didáctico practica 5.....	94 -
Figura 82. Interfaz Humano maquina practica 6. ....	95 -
Figura 83. Interfaz Humano maquina practica 7.....	96 -
Figura 84. Interfaz Humano maquina practica 8. ....	96 -
Figura 85. Interfaz Humano maquina practica 9.....	97 -
Figura 86. Interfaz Humano maquina practica 10.....	97 -
Figura 87. Plano Físico módulo didáctico .....	103
Figura 88. Plano de control 1/ Practica 1 .....	104
Figura 89. Plano de control 2/ Practica 1 .....	105
Figura 90. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 1 .....	106
Figura 91. Variables locales en software procedimiento practica 1.....	106
Figura 92. Programación segmento 1/Control de encendido .....	107
Figura 93. Programación segmento 2/Secuencia luces piloto .....	107
Figura 94. Programación segmento 3/Bloqueo para reinicio .....	107
Figura 95. Programación segmento 4/Condiciones de apagado.....	108
Figura 96. Función de bloque/Control On-Off de salidas digitales utilizando set y reset .....	108
Figura 97. Interfaz HMI procedimiento practica 1.....	108

Figura 98. Configuración propiedades indicador encendido.....	109
Figura 99. Configuración propiedades indicador salida digital.....	109
Figura 100. Pantalla HMI KTP-700/Practica 1 .....	110
Figura 101. Modulo didáctico S71500/Practica 1 .....	110
Figura 102. Plano de control 1/Practica 2 .....	112
Figura 103. Plano de control 2/Practica 2 .....	113
Figura 104. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 2 .....	114
Figura 105. Variables locales en software/ procedimiento practica 2.....	114
Figura 106. Programación segmento 1/Control de encendido/Practica 2 .....	115
Figura 107. Programación segmento 2/Designando entradas analógicas.....	115
Figura 108. Programación segmento 3/Lectura analógica con funciones normalizado y escalado .....	115
Figura 109. Programación segmento 4/Reinicio de variables .....	115
Figura 110. Llamado funciones para lectura, normalizado y escalado analógico.....	116
Figura 111. Interfaz HMI procedimiento practica 2.....	116
Figura 112. Configuración propiedades indicador encendido/Practica 2.....	117
Figura 113. Configuración propiedades indicador analógico tipo slider/Practica 2.....	117
Figura 114. Configuración propiedades selector canal analógico/Practica 2.....	118
Figura 115. Modulo didáctico S7-1500/Practica 2.....	118
Figura 116. Plano de control/Practica 3 .....	120
Figura 117. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 3 .....	121
Figura 118. Variables locales en software procedimiento practica 3 .....	121
Figura 119. Programación segmento 1/Control de encendido/Practica 3 .....	122
Figura 120. Programación segmento 2/Configuración reloj .....	122
Figura 121. Programación segmento 3/Configuración contadores .....	122
Figura 122. Programación segmento 4/Control apagado de leds según la secuencia ..	123
Figura 123. Programación segmento 5/Reinicio de variable para apagado de led.....	123
Figura 124. Llamado funciones desde el bloque función para ejecución de contadores y comparadores.....	124
Figura 125. Interfaz HMI procedimiento practica 3.....	124
Figura 126. Configuración propiedades indicador encendido/Practica 2.....	125
Figura 127. Configuración propiedades indicador dirección izquierda/Practica 3 .....	125

Figura 128. Configuración propiedades indicador dirección derecha/Practica 3 .....	125
Figura 129. Configuración propiedades caja animada/Practica 3 .....	126
Figura 130. Modulo didáctico S71500/Practica 3 .....	126
Figura 131. Plano de control/Practica 4 .....	127
Figura 132. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 4 .....	128
Figura 133. Variables locales en software procedimiento practica 4 .....	128
Figura 134. Programación segmento 1/Control de encendido/Practica 4 .....	129
Figura 135. Programación segmento 2/Calculo del periodo del semáforo.....	129
Figura 136. Programación segmento 3/Temporización global.....	129
Figura 137. Programación segmento 4/Control de salidas con temporización .....	130
Figura 138. Llamado funciones para ejecución del semáforo desde el bloque función	130
Figura 139. Interfaz HMI procedimiento practica 4.....	131
Figura 140. Configuración propiedades indicador encendido/Practica 4.....	131
Figura 141. Configuración propiedades indicador luz roja semáforo 1/Practica 4 .....	132
Figura 142. Configuración propiedades indicador luz amarilla semáforo 1/Practica 4	132
Figura 143. Configuración propiedades indicador luz verde semáforo 1/Practica 4....	133
Figura 144. Configuración propiedades indicador luz roja semáforo 2/Practica 4 .....	133
Figura 145. Configuración propiedades indicador luz amarilla semáforo 2/Practica 4	134
Figura 146. Configuración propiedades indicador luz verde semáforo 2/Practica 4....	134
Figura 147. Modulo didáctico S71500/Practica 4 .....	135
Figura 148. Plano de control/Practica 5 .....	136
Figura 149. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 5 .....	137
Figura 150. Variables locales en software procedimiento practica 5 .....	137
Figura 151. Programación segmento 1/Control de encendido/Practica 5 .....	138
Figura 152. Programación segmento 2/Control manual del variador.....	138
Figura 153. Programación segmento 3/Secuencia cambio frecuencias cada 10s.....	139
Figura 154. Programación segmento 4/Acciones de parada.....	139
Figura 155. Llamado funciones para ejecución del variador del motor .....	140
Figura 156. Interfaz HMI procedimiento practica 5.....	140
Figura 157. Configuración propiedades indicador encendido/Practica 5.....	141
Figura 158. Configuración propiedades botón marcha/Practica 5 .....	141
Figura 159. Configuración propiedades botón paro/Practica 5 .....	141



Figura 160. Configuración selector manual y secuencial/Practica 5.....	142
Figura 161. Configuración selectora de frecuencia/Practica 5.....	142
Figura 162. Configurar frecuencia estimada del variador/Practica 5.....	143
Figura 163. Modulo didáctico S71500/Practica 4.....	144
Figura 164. Plano de control 1/practica 6.....	145
Figura 165. Plano de control 2/practica 6.....	146
Figura 166. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 6.....	147
Figura 167. Variables locales en software procedimiento practica 6.....	147
Figura 168. Configuración control de encendido.....	148
Figura 169. Configuración lectura de sensor temperatura.....	148
Figura 170. Configuración lectura de sensor de presión para medición de volumen... 148	148
Figura 171. Configuración de límites para encendido y apagado.....	148
Figura 172. Configuración control on/off con histéresis.....	149
Figura 173. Configuración acción de parada para calentador.....	149
Figura 174. Configuración activación de bomba y electroválvulas.....	149
Figura 175. Configuración apagado del sistema por falta de agua.....	150
Figura 176. Configuración activado de secuencia trasvase para enfriamiento.....	150
Figura 177. Configuración recirculación de fluidos.....	150
Figura 178. Configuración lectura sensor de nivel.....	150
Figura 179. Función de bloque/Practica 6.....	151
Figura 180. Interfaz HMI procedimiento practica 6.....	151
Figura 181. Configuración botón encendido.....	152
Figura 182. Eventos en botón marcha.....	152
Figura 183. Eventos en botón paro.....	152
Figura 184. Eventos en botón test.....	153
Figura 185. Propiedades campo entrada temperatura.....	153
Figura 186. Propiedades campo temperatura.....	154
Figura 187. Propiedades campo volumen.....	154
Figura 188. Propiedades campo potencia aplicado en bomba.....	155
Figura 189. Propiedades campo potencia aplicado en bomba.....	155
Figura 190. Propiedades de la resistencia.....	156
Figura 191. Propiedades del indicador de nivel tanque superior.....	156
Figura 192. Propiedades del indicador de nivel máximo tanque inferior.....	157

Figura 193. Propiedades del indicador de nivel bajo tanque inferior.....	157
Figura 194. Propiedades del indicador electroválvula 1.....	158
Figura 195. Propiedades del indicador electroválvula 2.....	158
Figura 196. Propiedades botón oculto.....	159
Figura 197. Plano de control 1/practica 7.....	160
Figura 198. Plano de control 2/practica 7.....	161
Figura 199. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700, procedimiento practica 7.....	162
Figura 200. Variables locales en software procedimiento practica 7.....	162
Figura 201. Configuración control de encendido y apagado practica 7.....	163
Figura 202. Configuración lectura de sensor temperatura practica 7.....	163
Figura 203. Configuración lectura de sensor presión para medición volumen practica 7.....	163
Figura 204. Configuración acondicionamiento de la señal de salida aplicada al calentador practica 7.....	163
Figura 205. Configuración acciones de parada practica 7.....	164
Figura 206. Configuración activación de bomba y electroválvulas practica 7.....	164
Figura 207. Configuración del sistema por falta de agua en el tanque calefactor practica 7.....	164
Figura 142. Configuración de activación de secuencia de trasvase de agua para enfriamiento practica 7.....	164
Figura 209. Configuración de recirculación de fluidos practica 7.....	165
Figura 210. Configuración lectura de sensor de nivel practica 7.....	165
Figura 211. Configuración control PID te temperatura practica 7.....	165
Figura 212. Configuración selección de datos practica 7.....	166
Figura 213. Variables a utilizar practica 7.....	166
Figura 214. Configuración del control proporcional practica 7.....	167
Figura 215. Configuración de apagado de la resistencia para control de set point practica 7.....	167
Figura 216. Configuración de conversión ciclo de trabajo practica 7.....	167
Figura 151. Configuración de generación de señal PWM practica 7.....	167
Figura 218. Configuración control proporcional volumen practica 7.....	168
Figura 219. Configuración para el cálculo de error y ganancia proporcional practica 7.....	168

Figura 220. Configuración de condición para apagado de bomba practica 7.....	168
Figura 221. Configuración apertura de válvulas durante la operación del controlador practica 7.....	169
Figura 222. Configuración bloque función practica 7.....	169
Figura 223. Interfaz humano-maquina procedimiento practica 7.....	170
Figura 224. Propiedades indicador de encendido practica 7. ....	170
Figura 225. Propiedades botón paro practica 7. ....	171
Figura 226. Propiedades botón test practica 7.....	171
Figura 227. Propiedades set point temperatura practica 7.....	172
Figura 228. Propiedades valor proporcional practica 7.....	172
Figura 229. Propiedades campo salida temperatura practica 7. ....	173
Figura 230. Propiedades campo salida volumen fluido tanque inferior practica 7. ....	173
Figura 231. Propiedades porcentaje potencia aplicado a la bomba practica 7. ....	174
Figura 232. Propiedades nivel liquido tanque superior practica 7. ....	174
Figura 233. Propiedades indicador porcentaje potencia de resistencia calefactora practica 7.....	175
Figura 234. Propiedades indicador encendido de resistencia practica 7. ....	175
Figura 235. Propiedades indicador nivel alto en tanque practica 7.....	176
Figura 236. Propiedades indicador encendido nivel alto en tanque inferior practica 7.176	
Figura 237. Propiedades indicador encendido nivel bajo en tanque inferior practica 7. ....	177
Figura 238. Propiedades indicador encendido electroválvula 1 practica 7. ....	177
Figura 239. Propiedades indicador encendido electroválvula 2 practica 7. ....	178
Figura 240. Propiedades botón oculto para cambio de pantalla practica 7. ....	178
Figura 241. Configuración de pantalla para visualización de variables practica 7. ....	179
Figura 242. Configuración de pantalla para visualización de variables para la temperatura practica 7. ....	179
Figura 243. Plano de control 1/practica 8.....	180
Figura 244. Plano de control 2/practica 8.....	181
Figura 245. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700, Practica 8.....	182
Figura 246. Variables locales en software practica 8.....	182
Figura 247. Código controlador proporcional en SCL, practica 8.....	183
Figura 248. Bloque Función, practica 8.....	184
Figura 249. Interfaz HMI practica 8.....	184

Figura 250. Propiedades indicador de encendido practica 8 .....	185
Figura 251. Propiedades botón de marcha practica 8 .....	185
Figura 252. Propiedades botón paro practica 8. ....	185
Figura 253. Propiedades botón test practica 8.....	186
Figura 254. Propiedades selector temperatura practica 8.....	186
Figura 255. Configuración valor proporcional de temperatura practica 8 .....	187
Figura 256. Configuración campo salida temperatura actual fluido practica 8.....	187
Figura 257. Configuración campo salida de volumen de fluido en tanque inferior practica 8.....	188
Figura 258. Configuración campo salida porcentaje de potencia aplicado en la bomba practica 8.....	188
Figura 259. Configuración campo salida para monitoreo de líquido en el tanque superior practica 8.....	189
Figura 260. Configuración campo salida para porcentaje de potencia aplicada a la resistencia calefactora practica 8 .....	189
Figura 261. Configuración de encendido en la resistencia de calentamiento practica 8 .....	190
Figura 262. Propiedades indicador de encendido nivel alto tanque superior practica 8 .....	190
Figura 263. Propiedades indicador de encendido nivel alto tanque inferior practica 8	191
Figura 264. Propiedades indicador de encendido nivel bajo tanque inferior practica 8	191
Figura 265. Propiedades indicador de encendido de electroválvula1 practica 8.....	192
Figura 266. Propiedades indicador de encendido de electroválvula2 practica 8.....	192
Figura 267. Propiedades botón oculto para cambio de pantalla practica 8 .....	193
Figura 268. Pantalla visualización variables de control practica 8.....	193
Figura 269. Pantalla visualización variables de control practica 8.....	194
Figura 270. Plano de control 1/practica 9.....	195
Figura 271. Plano de control 2/practica 9.....	196
Figura 272. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700, Practica 9.....	197
Figura 273. Variables locales bloque función, Practica 9. ....	197
Figura 274. Función control de encendido y apagado controlador, Practica 9. ....	197
Figura 275. Función lectura de sensor de temperatura, Practica 9.....	198
Figura 276. Función lectura de sensor de presión para medición de volumen, Practica 9. .....	198

Figura 277. Función lectura de sensor de nivel, Practica 9. ....	198
Figura 278. Función acondicionamiento de la señal de salida aplicada al calentador, Practica 9. ....	198
Figura 279. Función acondicionamiento de la señal de salida aplicada al calentador, Practica 9. ....	198
Figura 280. Función apagada del sistema por falta de agua en tanque calefactor, Practica 9. ....	199
Figura 281. Función activación de bomba y electroválvulas, Practica 9 .....	199
Figura 282. Indicador de estabilidad de variables, Practica 9 .....	199
Figura 283. Indicador de estabilidad de variables, Practica 9 .....	199
Figura 284. Función para selección de datos, Practica 9 .....	200
Figura 285. Función para controlador PID, Practica 9 .....	200
Figura 286. Variables bloque control proporcional temperatura, Practica 9 .....	201
Figura 287. Función control proporcional, Practica 9 .....	201
Figura 288. Función apagada de resistencia cuando es mayor al set point, Practica 9	201
Figura 289. Función conversión de ciclo de trabajo (% a unidad de tiempo ms), Practica 9 .....	202
Figura 290. Función de generación de señal PWM, Practica 9 .....	202
Figura 291. Variables control proporcional de Volumen, Practica 9 .....	202
Figura 292. Función cálculo de error y ganancia proporcional, Practica 9 .....	203
Figura 293. Función de condición de apagado de bomba, Practica 9 .....	203
Figura 294. Función de apertura de válvulas durante la operación de controlador, Practica 9 .....	203
Figura 295. Propiedades básicas de control PID_Compact, Practica 9 .....	204
Figura 296. Propiedades valores límite de salida de control PID_Compact, Practica 9 .....	204
Figura 297. Propiedades parámetros PID_Compact, Practica 9 .....	205
Figura 298. Función diseño de controladores de temperatura y nivel para proceso industrial PID, Practica 9 .....	205
Figura 299. Interfaz HMI, Practica 9 .....	206
Figura 300. Propiedades indicador de encendido, Practica 9 .....	206
Figura 301. Propiedades botón de marcha, Practica 9 .....	207
Figura 302. Propiedades botón paro, Practica 9 .....	207
Figura 303. Propiedades campo entrada/salida para fijar la temperatura, Practica 9...	208

Figura 304. Propiedades entrada/salida nivel set point, Practica 9 .....	208
Figura 305. Propiedad constante proporcional, Practica 9 .....	209
Figura 306. Propiedad constante integral, Practica 9 .....	209
Figura 307. Propiedad constante derivativa, Practica 9.....	210
Figura 308. Propiedades selector monitoreo parámetros control, Practica 9 .....	210
Figura 309. Propiedades campo temperatura actual fluido, Practica 9 .....	211
Figura 310. Propiedades campo volumen de fluido en el tanque inferior, Practica 9..	211
Figura 311. Propiedades campo para potencia aplicada a la bomba, Practica 9 .....	212
Figura 312. Propiedades campo salida para monitoreo de líquido presente en el tanque superior, Practica 9. ....	212
Figura 313. Propiedades campo salida indicador porcentaje resistencia calefactora, Practica 9. ....	213
Figura 314. Propiedades indicador encendido resistencia de calentamiento, Practica 9. ....	213
Figura 315. Propiedades indicador encendido nivel alto en tanque superior, Practica 9. ....	214
Figura 316. Propiedades indicador encendido nivel alto en tanque inferior, Practica 9. ....	214
Figura 317. Propiedades indicador encendido nivel bajo en tanque inferior, Practica 9. ....	215
Figura 318. Propiedades indicador encendido electroválvula1, Practica 9. ....	215
Figura 319. Propiedades indicador encendido electroválvula2, Practica 9. ....	216
Figura 320. Propiedades botón oculto para cambio de pantalla y monitoreo de temperatura tanque inferior, Practica 9.....	216
Figura 321. Propiedades botón oculto para cambio de pantalla y monitoreo de temperatura tanque superior, Practica 9. ....	217
Figura 322. Pantalla visualización de variables control temperatura, Practica 9. ....	218
Figura 323. Pantalla visualización curvas temperatura y señal PWM, Practica 9.....	218
Figura 324. Pantalla visualización curvas temperatura y señal PWM, Practica 9.....	219
Figura 325. Pantalla visualización curvas nivel medido y deseado, Practica 9.....	219
Figura 326. Plano de control 1/practica 10.....	220
Figura 327. Plano de control 2/practica 10.....	221
Figura 328. Estructura de red. Practica 10.....	222
Figura 329. Interfaz HMI, practica 10.....	222

Figura 330. Propiedades pulsador de marcha, practica 10 .....	223
Figura 331. Propiedades pulsador paro, practica 10.....	223
Figura 332. Propiedades indicador encendido, practica 10 .....	223
Figura 333. Propiedades switch on, practica 10 .....	224
Figura 334. Propiedades switch off, practica 10 .....	224
Figura 335. Propiedades indicador de temperatura estable, practica 10 .....	224
Figura 336. Propiedades indicador de nivel estable, practica 10.....	225
Figura 337. Visualizador de curvas, practica 10 .....	225
Figura 338. Variables de nivel para registro en computador, practica 10.....	225
Figura 339. Variables de temperatura para registro en computador, practica 10.....	226
Figura 340. Variables de alarmas para registro en computador, practica 10.....	226
Figura 341. Variables para configurar alarmas analógicas, practica 10.....	226
Figura 342. Diagrama de conexión para armario “Planta de control de nivel”.....	227

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características distintas versiones de PROFIBUS (Menchón Ruiz, 2018)..-	22 -
Tabla 2. Estructura de un PLC.....	- 37 -
Tabla 3. Tipos de PLC.....	- 37 -
<i>Tabla 4.</i> Componentes del S7-1500 .....	- 38 -
<i>Tabla 5.</i> Datos técnicos del CPU del S7-1500 .....	- 43 -
<i>Tabla 6.</i> Parámetros variador velocidad .....	143



## INTRODUCCIÓN

La tecnología de comunicación industrial se fundamenta en el intercambio de datos entre equipos, entre estos métodos es necesario identificar la comunicación industrial PROFIBUS DP que permite la interconexión de autómatas con sistemas de control y sensores.

En la actualidad al implementar un sistema de comunicación industrial PROFIBUS DP se busca incrementar la eficiencia, rendimiento y reducción de gastos de instalación, es bastante utilizada por su flexibilidad en aplicaciones de campos industriales.

Este tipo de estructuras generalmente presentan un conjunto de ventajas que son:

- Puesta en marcha de cada servicio de forma independiente y simultanea de cada parte de la instalación
- Programas simples
- Procesamiento paralelo de cada sistema de automatización implementado
- Tiempos cortos para reacción
- Solicitud de datos menor por cada una de las unidades de procesamiento
- Las consolas de supervisión pueden asumir funciones de diagnóstico y protocolo
- Aumenta la disponibilidad del sistema porque si una unidad falla el resto mantiene su funcionamiento

Como parte de los procesos que se van desarrollando por medio de las materias impartidas, los laboratorios existentes deben contar con las herramientas que sirvan de refuerzo para la teoría que se imparte desde los docentes a sus estudiantes.

Este proyecto se elaboro tomando en cuenta los intereses de los estudiantes de la carrera de Ingenieria Electronica de la Universidad Politecnica Salesiana sede Guayaquil Campus Centenario, para que puedan aplicar los conocimientos que se aprenden de forma teorica trasladandola a la forma practica utilizando las comunicaciones.

Dentro del proyecto se realizo la utilizacion del software TIA PORTAL V15 para la programacion de las practicas elaboradas, mediante programacion del S7-1500, y ademas

para configurar el interfaz HMI en la pantalla touch KTP-700, creando un interfaz que permita la interacción del estudiante con el automata de forma interactiva.

Entre las secciones que componen este documento se encuentran Marco Teorico, Marco Metodologico, Practicas y Resultados. Tomando en cuenta las bases teoricas que complementan este documento se procedera a la realizacion del diseño e implementacion de un modulo didactico en el cual los estudiantes podran realizar 10 practicas planeadas de forma que retroalimenten los conocimientos de los estudiantes desde lo mas basico del manejo de un PLC, hasta la puesta en marcha de una simulacion compleja de un proceso industrial que se puede encontrar en el ambito laboral.

## **1. EL PROBLEMA**

Actualmente dentro de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana existe un aumento proporcional de estudiantes cada año, quienes aspiran una educación de calidad. Para lograr este objetivo se debe mejorar las herramientas de aprendizaje que incrementaran las aptitudes profesionales, en tal virtud es necesario contar con laboratorios completos que permitan la interacción del futuro profesional con los ambientes industriales en los que se verán involucrado en el mundo laboral.

Una de las claves del desarrollo académico va directamente relacionada con las prácticas en laboratorio, por tal motivo es necesario aumentar la capacidad de los laboratorios mediante la inversión en nuevos módulos, que integren herramientas que simulen los procesos industriales y que permita al estudiante verse directamente envuelto con su aprendizaje relacionando la teoría con la práctica.

### **1.1. Importancia y Alcance**

El proyecto implementado tiene como objeto aumentar las herramientas de practica en los laboratorios de electrónica de la universidad politécnica Salesiana Sede Guayaquil que contribuyen a desarrollar las competencias en las materias como: Automatización industrial y Redes de computadoras III, la última se verá directamente beneficiada por la implementación de una comunicación PROFIBUS.

Existen dentro del laboratorio algunos módulos de práctica con comunicación PROFIBUS, pero es necesario en base a la evolución de las tecnologías y actualización de componentes orientados a los PLCs, actualizar los medios en que el estudiante puede verse directamente involucrado con la vida profesional en las empresas tanto provadas como públicas que utilicen redes industriales.

Utilizando el software de configuración para autómatas TIA PORTAL V15 se realiza la programación para la comunicación PROFIBUS, integrando un sistema para el control de temperatura utilizando un control PID y una interfaz HMI que interactue con usuario final, todo esto mediante un sistema SCADA con ayuda del software WinCC RT Advanced, de esta manera elaborar las diez prácticas que simulan procesos industriales y se complementan entre sí, las que detallan a continuación:

1. Control On/Off de salidas digitales utilizando SET – RESET

2. Lectura de entradas analógicas con funciones normalizar y escalar
3. Control de salida mediante el uso de contadores y comparadores
4. Simulación de dos semáforos con 6 salidas físicas digitales utilizando un controlador S7-1500
5. Control secuencial de un motor a través de un variador de frecuencia
6. Diseño de controlador ON/OFF de temperatura para un proceso industrial
7. Sintonización de control PID de temperatura mediante KOP
8. Control PID de temperatura mediante SCL
9. Diseño de controladores de temperatura y nivel para proceso industrial utilizando PID
10. Diseño de aplicación humano - máquina para control de temperatura y nivel utilizando WinCC RT Advanced.

## **1.2. Delimitación**

### **1.2.1. Temporal**

El proyecto técnico implementado se plantea que se realice en un periodo de 4 meses comprendido a partir de la aprobación del proyecto.

### **1.2.2. Espacial**

El proyecto está dirigido para ser utilizado en el laboratorio de redes y SCADA de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

### **1.2.3. Académica**

El proyecto consiste en la implementación de un módulo didáctico para prácticas de red PROFIBUS utilizando un PLC S71500, el cual contiene el desarrollo de 10 practicas simuladas resueltas que se complementan consecutivamente.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un módulo didáctico para prácticas de red Profibus utilizando PLCs S71500 destinado al laboratorio de Electrónica.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar los componentes electrónicos que se van a utilizar para el armado del módulo didáctico.
- Diseñar en formato CAD el módulo didáctico para poder a continuación armarlo de forma física.
- Implementar todos los componentes y enlazarlos a la Red Profibus.
- Diseñar la debida programación para realizar el control de temperatura mediante KOP.
- Diseñar e implementar un control de temperatura y nivel monitoreado mediante una pantalla HDMI.

## **Fundamentos Teóricos**

### **2.1. Redes de comunicación industrial**

Las redes de comunicación industrial son la columna vertebral de cualquier arquitectura de sistemas de automatización, ya que ha proporcionado un poderoso medio de intercambio de datos, controlabilidad de datos y flexibilidad para conectar varios dispositivos. (aula21, 2019).

### **2.2. Protocolos de comunicación**

Son un conjunto de instrucciones que permiten la comunicación entre dos o más equipos con la finalidad de transmitir información entre cada una de las partes que conforman el sistema. Los protocolos definen la semántica, sintaxis y sincronización que se requiere para establecer una comunicación, así como los métodos necesarios para garantizar recuperación de datos que se puedan perder en el intercambio de información.

### **2.3. Topologías de red**

Es la manera física cómo se interconectan los equipos que conforman una red, se le puede definir también como arquitectura de red.

En lo que refiere a industria se tiene distintas formas físicas de conectar los equipos para conformar una red:

#### **2.3.1. Red en anillo**

La red de equipos se asemeja a un anillo, conformando un arreglo de cada estación como esclavo hasta la siguiente hasta que la última se conecta a la primera, para esto cada uno de los equipos requiere dos interfaces de comunicación para funcionar como receptor y transmisor.

Esta configuración tiene como ventaja que es fácil de implementar, pero como desventaja principal de que, si un nodo se pierde, la comunicación termina. En la Figura 1 se muestra un esquema tradicional de red en anillo.



Figura 1. Topología en anillo (Defas Brucil & Guzmán Herrera, 2016)

### 2.3.2. Red en estrella

Cada una de las estaciones se conecta a un nodo central por donde pasan todas las comunicaciones, como principal ventaja se obtiene una reducción de tráfico de información.

Su principal utilidad se la puede observar en redes de manera local utilizando un hub o switch en los casos más comunes, si el nodo central falla todo proceso de comunicación se pierde. Para una descripción más detallada de este tipo de red se encuentra la Figura 2.



Figura 2. Topología en estrella (Defas Brucil & Guzmán Herrera, 2016)

### 2.3.3. Red en bus

La topología se caracteriza por tener un solo medio de comunicación como se puede observar en la Figura 3. Dentro de las ventajas que presenta este tipo de configuración de

red es que todas las estaciones pueden observar la información que se transfiere de estación a estación, dentro de las desventajas su observa si el medio de transmisión falla se pierde la comunicación, así también se puede saturar el medio o existir colisiones de información.

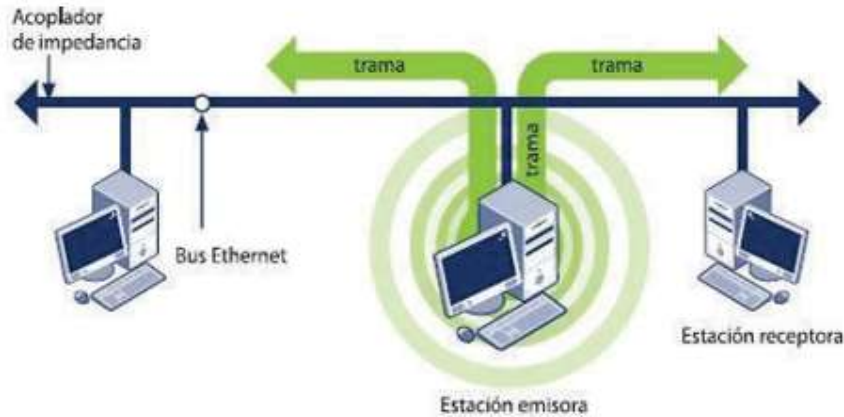


Figura 3. Topología en bus (Defas Brucil & Guzmán Herrera, 2016)

#### 2.4. Redes de comunicación entre PLC o AP

Pensando en facilitar las tareas diarias, el ser humano se ha encaminado en una constante evolución tecnológica para resolver problemas que se volvían repetitivos en algunos escenarios laborales. En la actualidad se ha vuelto costumbre solucionar procesos repetitivos usando máquinas que se encarguen de controlar y automatizar las tareas.

Tomando en cuenta la revolución industrial que duró hasta el siglo XX se puede destacar que los procesos industriales venían de la mano de los sistemas mecánicos como su pilar fundamental. A partir de la revolución industrial los avances tecnológicos para la automatización se presentan con más importancia de la mano de los sistemas eléctricos basados en relés electromagnéticos en la primera parte del siglo XX, y de los sistemas electrónicos de estado sólido en su segunda mitad. Todo este avance viene de la mano de mejorar las condiciones de producción, riesgo laboral y disminución de costos.

En esta etapa surgirán lo que se conoce como autómatas programables o PLC cambiando para siempre la industria en su línea de ensamblaje y producción. Con este componente los procesos industriales se convirtieron en sistemas automatizados eficientes y precisos, con la ventaja principal que permitía reprogramarlo para usarlo en tareas diferentes



eliminando la necesidad de comprar un componente diferente por tarea en caso de ser necesario.

Como todo proceso para mejorar su funcionamiento y durabilidad necesita de control, esto solo se puede dar con redes de comunicación. Por lo cual surge como solución la intercomunicación de procesos industriales con sistemas como el IEEE-488 y RS485/422 los que se han venido utilizando hasta la actualidad en instalaciones de baja y media complejidad en lo que a comunicación se requiere. Estos métodos se utilizan en su mayoría entre sistemas de instrumentación y sistemas de automatización para lo que se podría considerar una baja demanda de datos entre equipos. Actualmente la cantidad de información que se maneja en la industria de la automatización requiere redes de comunicación más robustas para su integración global.

Siguiendo el punto establecido se llega a la conclusión que los sistemas de automatización industrial y su funcionamiento descentralizado forman parte de un concepto mucho más complejo diseñado para globalizar los procesos industriales para mejorar procesos de fabricación, reducción de costes, e incremento en calidad, mejora de eficiencia y mayor adaptabilidad en procesos de producción, mejorando todos los aspectos que requiere para que el producto pueda competir en el mercado.

## **2.5. Sistemas industriales de control**

Tomando en cuenta la evolución de los sistemas industriales para el control de procesos se dividen en: control centralizado, control híbrido y control distribuido. Para la selección de cada uno se basa en la posibilidad de subdividir la tarea de control de procesos y el conjunto de máquinas por función destinada.

### **2.5.1. Control centralizado**

Se utiliza para sistemas poco complejos donde un proceso puede gestionarse desde un único elemento para el control que se encarga de las tareas para procesos de producción, además del sistema de monitorización y supervisión.

Como se puede observar en la Figura 4 se trata de un PLC que sirve como central donde se concentran todas las conexiones de sensores y actuadores para el control y automatización de los procesos.

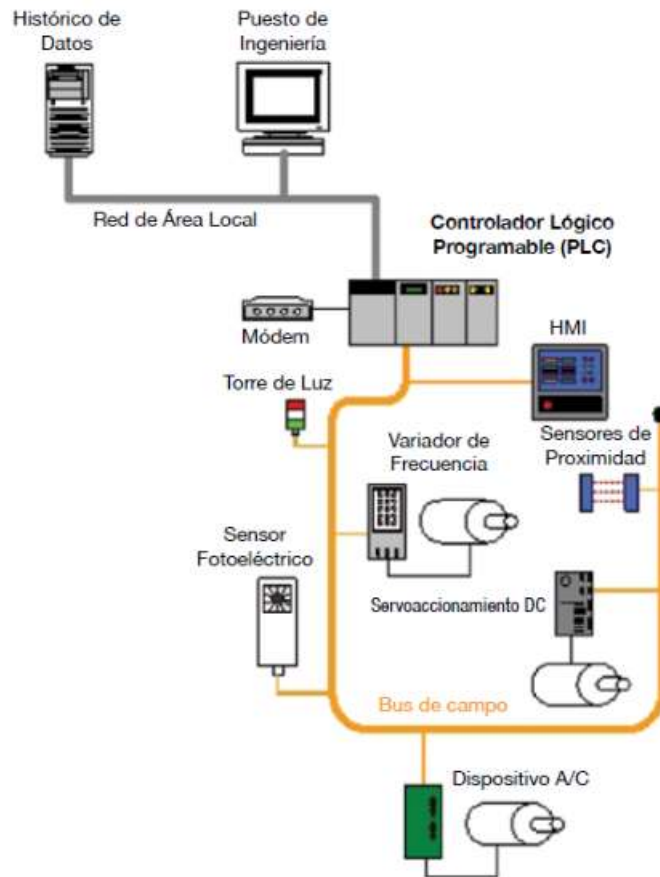


Figura 4. Control Centralizado (Universidad de Deusto, 2018)

Las ventajas que se puede destacar de este tipo de control está en que todas las señales son manejadas por el mismo sistema por lo cual no es necesario realizar intercomunicación de procesos, además reduce costos de implementación si el sistema automatizado no es de gran complejidad. Es también necesario destacar las desventajas que aparecen en este tipo de topología porque si el sistema falla todos los procesos quedan paralizados, obligando a realizar sistemas redundantes, además cuando se maneja varios procesos complejos hay que optar por PLCs de mayores prestaciones para resolver en menor tiempo cualquier problema que se presente.

También se debe considerar la dificultad y la cantidad de cable necesario que se requiere al implementar este tipo de sistema por la distancia que pueda presentarse entre los sensores, actuadores y la unidad de control. Algo que actualmente se intenta mitigar con la utilización de buses de campo.

### 2.5.2. Control Distribuido

Cada etapa del sistema se dimensiona con un PLC en base a los requerimientos del proceso, por la independencia que existe entre cada una de las operaciones que se realizan en cada proceso es de vital importancia interconectar los PLC entre sí mediante entradas y salidas digitales o con redes de comunicaciones para intercambiar datos y estados por lo que la unidad seleccionada debe permitir comunicaciones.

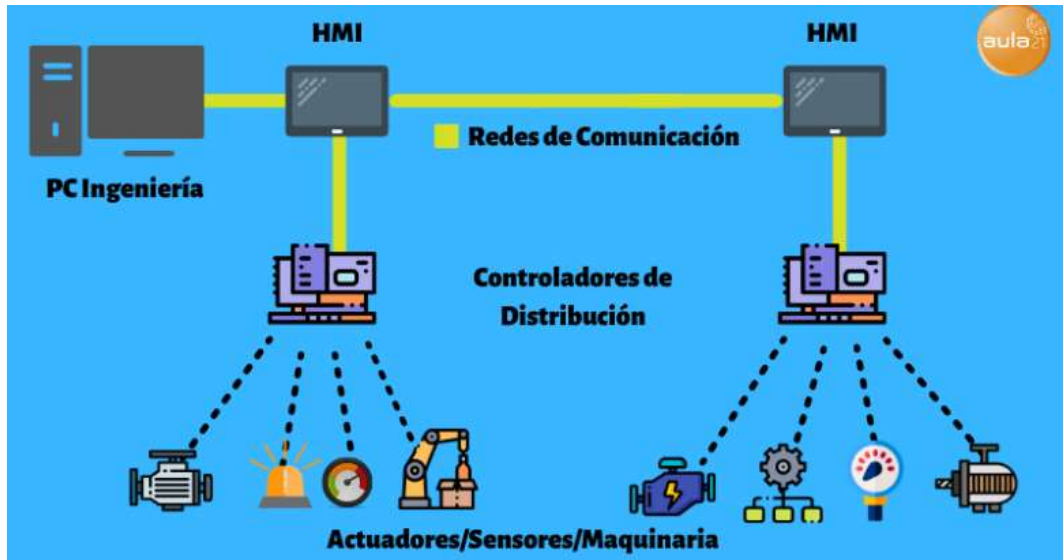


Figura 5. Control Distribuido (aula21, 2019)

Con este tipo de distribución se puede separar cada unidad en procesos relativamente sencillos en comparación con el conjunto de procesos globales, facilitando la programación y permitiendo utilizar PLC sencillos y económicos. En caso de fallas en una unidad de control no se paraliza todos los procesos que se estén realizando en la industria. La principal desventaja es que se requiere realizar un estudio para la implementación y de esta manera dimensionar los procesos para su respectiva asignación de cada elemento que controlara y a su vez diseñar el modulo para la comunicación en base a las necesidades del proceso.

### 2.5.3. Control híbrido

Dentro de este concepto se puede considerar a cualquier estrategia de distribución que se encuentre entre control distribuido y control centralizado. A veces es complejo la separación de los procesos de manera autónoma por lo que se recurre a la gestión de varios procesos desde una central ya que al separar entra en conflicto con procesos

antiguos ya funcionales. Se podría decir que la estrategia conduce a una estructuración de la gestión, separando elementos para control superior que supervisan e intercomunican los procesos autónomos sencillos que se encargan de manejar las tareas por área o sección dentro de la industria.

## 2.6. La pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing)

La pirámide que se construye en base a este modelo tiene algunos niveles bajos donde están los sensores y actuadores; en los niveles medios se interconectan los elementos para funcionar de manera conjunta y en sincronía; mientras que en el nivel superior esta toda la parte informática y administrativa donde se encuentra los datos de registro, estados, datos de partida, consignas y cualquier dato relevante para cada proceso.



Figura 6. Pirámide CIM de comunicación (Menchón Ruiz, 2018)

### 2.6.1. Nivel de E/S (Actuador/Sensor)

Se lo conoce como nivel de instrumentación. Se forma por los elementos de que se encargan de medir y actuar que se encuentran en una línea de distribución y se relacionan directamente con los procesos productivos. De esta manera los actuadores se encargan de ejecutar las ordenes requeridos por los PLC para modificar variantes en el proceso productivo y los sensores se encargan de mantener el correcto funcionamiento en base a los parámetros requeridos en la industria. Los sensores se utilizan para medir variables de procesos como caudal, temperatura, posición, velocidad, fuerza, presión, dirección, etc. Mientras que los actuadores se puede tener motores, calentadores, válvulas, taladros, etc.

### **2.6.2. Nivel de campo y proceso**

Este nivel lo conforma todos los elementos que gestionan los actuadores y sensores, que se pueden definir como PLCs, equipos de aplicación específica que se basa en microprocesadores como robots, maquinas o controladores de motor. Todos los dispositivos funcionan de manera que permita a sensores y actuadores trabajar en conjunto controlando cualquier proceso industrial requerido.

Muchos procesos industriales solo poseen los dos primeros niveles de la pirámide de CIM, esto se logra realizando un proceso productivo complejo desglosado en subprocesos sin la existencia de un intercambio de información entre ellos.

Es necesario que este nivel tenga buenas características de interconexión en caso de requerir enlazarlo a un nivel superior, lo que se hace generalmente a través de buses de campo.

### **2.6.3. Nivel de control**

Para monitorizar cada uno de los dispositivos de control que existen en la planta se requiere de un sistema de comunicación correcto, que proporcione comunicación entre cada elemento con otro tipo de dispositivos de gestión y supervisión, lo que se puede realizar mediante computadores o pantallas industriales.

Para la visualización de los procesos en este nivel se usa entornos como SCADA, que proporcionan una imagen virtual de la planta para recorrer cada segmento de forma detallada, o a su vez pantallas de resumen con panel virtual donde estén todas las alarmas, fallas o alteraciones en cualquier proceso que se esté realizando. Para concretar una comunicación en tiempo real es necesario utilizar una conexión con el nivel de control mediante buses de campo o redes LAN industriales de altas prestaciones debido a la alta demanda de transmisión de datos para el control de gran número de elementos.

Con este nivel se sustituye a los paneles y salas de control que eran habituales en los 70 y 80 en grandes empresas, reemplazándolo por PLCs interconectados en una pantalla principal o panel de control.

#### **2.6.4. Nivel de gestión**

Este nivel se encuentra conformado por computadores porque no está cercano a los procesos productivos, por lo que no es relevante el estado o supervisión de procesos de la planta, pero por su parte adquiere importancia toda la información referente a la producción y toda la información de cada uno de los niveles inferiores de una o varias plantas. Facilitando la presentación de estadísticas acerca de costos de fabricación, rendimiento de la planta y el stock de los productos elaborados y almacenados, aportando a la optimización del funcionamiento de la planta.

En este nivel se da prioridad al almacenamiento de los datos por lo que la comunicación no necesariamente es de tipo industrial, se utiliza normalmente redes elaboradas por medios como Ethernet.

#### **2.7. Protocolos de comunicación industrial**

En lo que refiere a comunicaciones la evolución ha sido constante de la mano del desarrollo de la tecnología electrónica, tomando en consideración a los microprocesadores que permiten enlazar varias etapas que normalmente no se comunicaban dentro de un proceso industrial.

Para las comunicaciones de tipo industrial es necesario que se realicen en tiempo real, resistir ambientes hostiles con gran ruido electromagnético y condiciones ambientales duras. Dentro de lo que se refiere a comunicación industrial están dos áreas principales: una comunicación a nivel de campo, y una orientada hacia el SCADA. En las dos maneras la transmisión es en tiempo real tomando en cuenta que los tiempos de acción son críticos en la industria.

Como se observa en la Figura 7 las redes tienen varios niveles que abarcan las comunicaciones industriales.

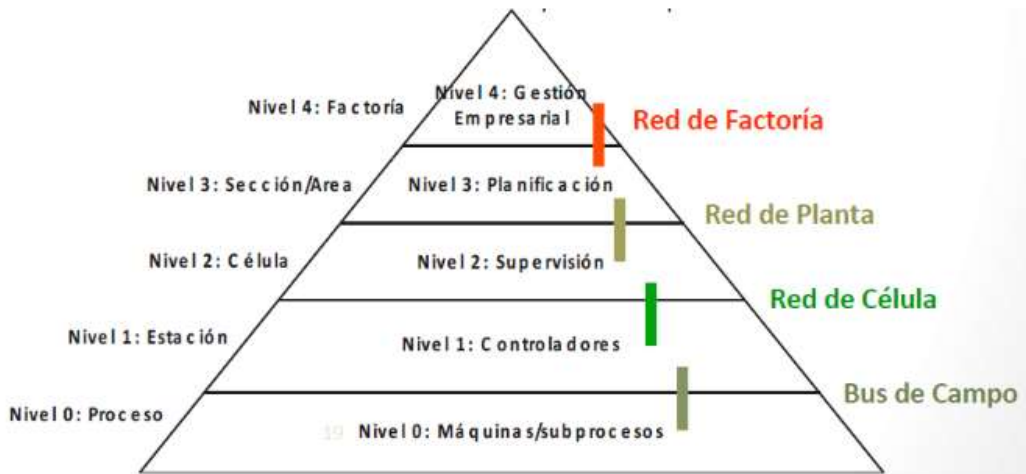


Figura 7. Tipos de redes industriales (infoPLC, 2017)

Basándose en el entorno donde se integrará las redes dentro de la industria se puede clasificar los tipos de redes en:

### 2.7.1. Red de Factoría

Para redes de oficina, contabilidad y administración, ventas, gestión de pedidos, almacén, etc. La cantidad de información que se intercambia es muy alta y los tiempos de respuesta se vuelven críticos. En este tipo de redes se utilizan redes LAN o WAN. En la Figura 8 se puede observar una red de factoría para una industria.

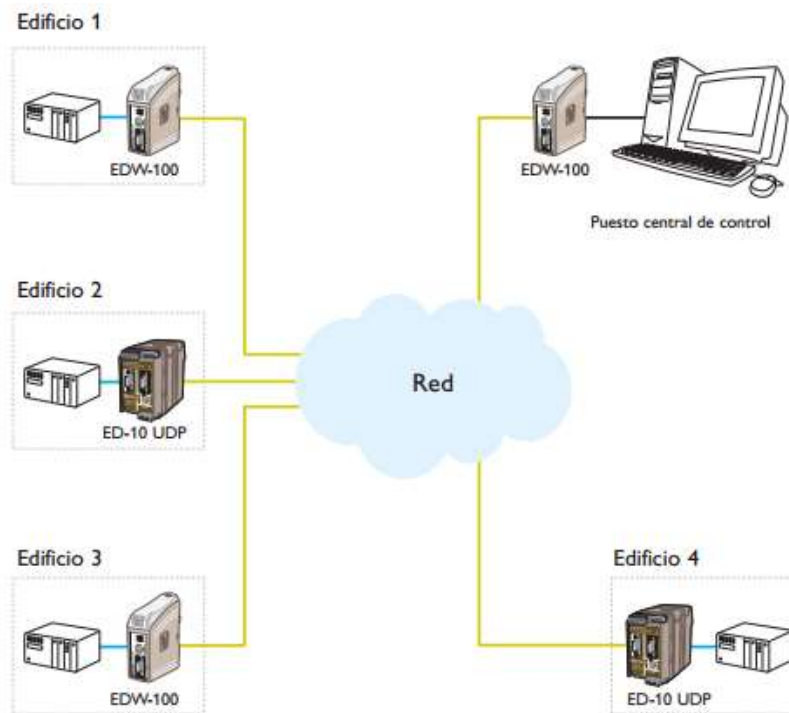


Figura 8. Red de factoría (Goicoechea, 2017)

### **2.7.2. Red de planta**

Suele emplearse para el enlace entre las funciones de ingeniería y planificación con las de control de producción en planta y automatización de operaciones. Este tipo de redes manejan información de cualquier tamaño, gestionan de manera efectiva los errores de transmisión al usar protocolos que permitan la detección y corrección en el menor tiempo posible, cubren áreas de gran extensión, existe prioridades para las transmisiones, disponen de gran ancho de banda para receptor datos de todas las subredes que puedan manejar voz, video, etc.

### **2.7.3. Red de célula**

Interconecta los dispositivos que se usan para la fabricación y que operan de forma automatizada, máquina de control numérico (CNC), autómatas programables (PLC), vehículos de guiado automático (AGV). Las características que se debe buscar en este tipo de redes es: gestionar mensajes cortos precisos, manejo de eventos discretos, sensores para control y corrección de errores, capacidad para priorización de mensajes, conexión por nodo y bajos costos de instalación, recuperación rápida en caso de existir fallas y alta fiabilidad.

### **2.7.4. Bus de campo**

Es un sistema que se encarga de unir sensores, actuadores y sistemas de control, los que comparten un bus de datos digital serie bidireccional para la transferencia de datos, eliminando la convencional transmisión analógica punto a punto.

Elimina el cableado entre sensores, actuadores y cada uno de los elementos de control, como principales consideraciones este tipo de buses debe ser de bajo costo, tiempos mínimos de respuesta, permitir la transmisión serie en un bus digital de datos y a su vez permitiendo interconectar controladores con cualquier tipo de dispositivo de entrada y salida permitiendo controladores esclavos inteligentes.

Normalmente las conexiones de los procesos industriales se transmiten con un extenso cableado punto a punto. Lo que significa que cada uno de los sensores y actuadores se conecta a las entradas y salidas del PLC utilizando un par de hilos por instrumento.



En caso de que la distancia entre el instrumento y el PLC se vuelve considerable con gran cantidad de instrumentos se debe revisar los costos de cableado, más que todo en caso de ser necesario realizar a futuro nuevas conexiones. Por estas razones el bus de campo es una de las soluciones para implementar. Con el sistema es posible sustituir grandes haces conductores por un solo medio bifilar o fibra óptica, común para todos los sensores y actuadores con una comunicación totalmente digital. En la figura 9 se puede observar una comparación entre la conexión convencional y una conexión de bus de campo.

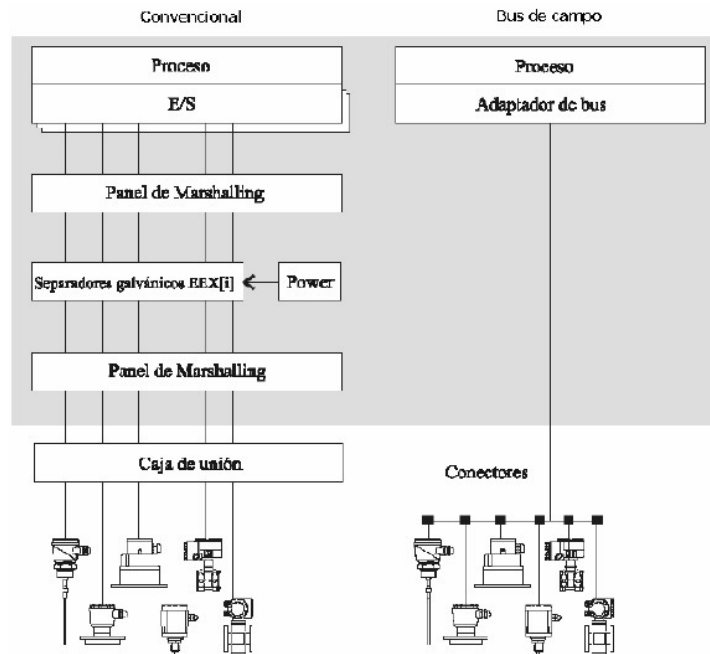


Figura 9. Sistema de cableado y bus de campo (Menchón Ruiz, 2018).

### Niveles OSI

Normalmente todos los buses de campo tienen que cubrir los siete niveles OSI, aunque lo más frecuente es que implementen solo las tres siguientes:

- **Nivel Físico:** Especifica el tipo de conexión, naturaleza de la señal, tipo de medio de transmisión, etc. Las especificaciones de un determinado bus admiten más de un tipo de medio físico. Los más comunes son de tipo RS485 o con conexiones en un bucle de corriente.
- **Nivel de enlace:** Se especifica el acceso al medio (MAC) y de enlace (LLC). Se utiliza códigos de operación estándar.

- **Nivel de aplicación:** Es el interfaz de presentación al usuario final, en este nivel se entiende la funcionalidad de cada uno de los datos. Cada fabricante tiene su propia aplicación de presentación de información.

### **Características**

Las principales características que deben cumplir los buses de campo son:

- **Interconectividad:** el bus debe conectarse a dispositivos de cualquier fabricante que cumplan con el protocolo de comunicación, algo que no se convierte necesariamente en una ventaja.
- **Interoperatividad:** tienen que funcionar dispositivos de cualquier fabricante en el mismo bus.
- **Intercambiabilidad:** los dispositivos de un cualquier fabricante se deben poder sustituir por otro de cualquier otro fabricante.
- **Bajo costo de instalación**
- **Transmisión en datos de tiempo real**
- **Control de errores y manejo de tráfico**
- **Debe permitir dispositivos esclavos inteligentes.**

### **Ventajas**

Dentro de las ventajas que se presentan en este tipo de configuración están:

- **Flexibilidad:** Cualquier instrumento nuevo que se agregue debe ser fácil de conectar eléctricamente, conectar al bus de campo y fácil configuración desde la sala de control.
- **Seguridad:** Permite transmitir señales de diagnóstico de sensores y actuadores en tiempo real.
- **Precisión:** Transmisión digital para las variables analógicas.

- **Facilidad de mantenimiento:** Permite diagnosticar más rápido cualquier falla que se produzca en los elementos de control, además de calibración remota de los sensores y actuadores.
- **Reducción de la complejidad:** reduce el cableado, elimina los enormes armarios de cableado, reduce el número de PLCs, reducción de tiempo de implementación y la mano de obra que se necesita.

### Tipos

Para la automatización de los procesos industriales se tiene algunas variantes de los buses de campo que son:

- **Hart:** agrupa la información digital sobre la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias individuales de 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 respectivamente y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 mA como se puede observar en la Figura 10.

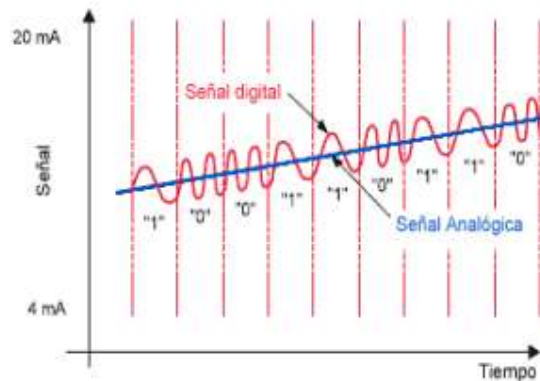


Figura 10. Señal de transmisión con protocolo Hart (AIE, 2020)

- **Profibus:** Norma internacional de bus de campo de alta velocidad para control de procesos normalizada en Europa por EN 50170.
- **Foundation Fieldbus:** es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización. Está orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso

continuo. Los dispositivos de campo son alimentados a través del bus Fieldbus cuando la potencia requerida para el funcionamiento lo permite.

- **Modbus:** es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. La Interfaces de Capa Física puede estar configurada en: RS-232, RS-422, RS-485.
- **Device Net:** Red de bajo nivel adecuada para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, y dispositivos de alto nivel (PLC, controladores, computadores, HMI, entre otros). Provee información adicional sobre el estado de la red, cuyos datos serán desplegados en la interfaz del usuario.

De todos los tipos de bus de campo especificados en este apartado se procederá a especificar el protocolo PROFIBUS que se ha seleccionado para el presente proyecto.

## 2.8. PROFIBUS

En un desarrollo conjunto del BMFT-Proyecto conjunto del bus de campo, donde se contó con la participación de 13 compañías, se desarrolló la norma DIN 19245 que comúnmente se conoce como PROFIBUS (Process Field Bus). El objetivo del proyecto era desarrollar un sistema de bus de campo para unir dispositivos automatizados del nivel más bajo de campo que consta de sensores y actuadores.

Este estándar es libre y transparente para la utilización por parte de cualquier fabricante. Esta red es orientada a los niveles de célula y de campo, utilizándolo para la transmisión de pequeñas y medianas cantidades de información entre los dispositivos que participa la red.

En los que se refiera a SIMATIC S7 de SIEMENS pueden conectarse los siguientes sistemas:

- Sistemas de automatización SIMATIC S5/S7/M7

- Sistemas periféricos descentralizados ET 200
- SIMATIC PG/PC
- Terminales y sistemas de operación y observación SIMATIC HMI
- SICOMP–IPCs
- Controles CNC SINUMERIK
- Sensor SIMODRIVE
- SIMOVERT Master Drives
- Sistema de regulación digital SIMADYN D
- SIMOREG
- Micro–/Midimaster
- Inversores de potencia. Posicionadores SIPOS
- Reguladores industriales de procesos SIPART
- Sistemas de identificación MOBY
- Aparatos de maniobra de baja tensión SIMOCODE
- Interruptores de potencia
- Estación compacta de automatización SICLIMAT COMPAS
- Sistema de control de procesos TELEPERM M
- Aparatos ajenos con conexión PROFIBUS

Físicamente la red eléctrica puede implementarse por medio de:

- Cable a dos hilos trenzados (impedancia 150  $\Omega$ )

- Fibra óptica
- Sistemas de transmisión inalámbrica

En base a normativa en la red máximo se puede conectar 127 equipos, mientras el máximo de equipos activos al mismo tiempo debe ser de 32.

Existen tres versiones o protocolos de comunicación dentro de PROFIBUS:

- **PROFIBUS-DP (Periferia Descentralizada):** se utiliza para la comunicación rápida con unidades distribuidas, con los módulos que permiten esta configuración se puede manejar entradas, salidas, controladores de motores y sistemas de automatización.
- **PROFIBUS-FMS (Especificación de mensajes de campo):** se utiliza en comunicación entre PLCs dentro de pequeñas células de red y su comunicación además con elementos de campo con interfaces FMS.
- **PROFIBUS-PA (Automatización de procesos):** junto con PROFIBUS-DP son compatibles con la tecnología de transmisión que permite a los usuarios ir a un área EX. El estándar que norma es IEC 1158-2.

En la Tabla 1 se puede observar las características más importantes de cada una de las versiones:

	<b>PROFIBUS-FMS</b>	<b>PROFIBUS-DP</b>	<b>PROFIBUS-PA</b>
<b>Aplicación</b>	Nivel de campo y proceso	Nivel de E/S	Nivel de E/S
<b>Estándar</b>	EN 50 170/IEC 61158	EN 50 170/IEC 61158	IEC 1158-2
<b>Dispositivos conectados</b>	PLC, PG/PC	PLC,PG/PC, Dispositivos de campo, accionamientos, OPs	Dispositivos de campo para áreas con riesgo de explosión
<b>Tiempo respuesta</b>	<60ms	1-5ms	<60ms
<b>Tamaño red</b>	<=150km	<=150km	Máximo 1.9km
<b>Velocidad</b>	9.6Kbit/s a 12Mbit/s	9.6Kbit/s a 12Mbit/s	31.25Kbit/s

Tabla 1. Características distintas versiones de PROFIBUS (Menchón Ruiz, 2018)

En la tabla 1 se puede destacar que el protocolo se puede implementar en nivel E/S como en nivel de campo y proceso, debido a las características de velocidad y tiempos de

respuesta. PROFIBUS define las características técnicas y funcionales para un sistema de bus de campo donde se pueden conectar controladores digitales descentralizados.

### 2.8.1. Método de acceso al medio

Existen dos tipos de acceso en una red PROFIBUS:

- Método Token Bus, el que se define en la norma EN50170 volumen dos y se usa para acceso a estaciones activas.
- Método Maestro esclavo que utiliza el sondeo para acceder a estaciones activas

#### Token bus

En este método las estaciones que funcionan como maestro forman un anillo lógico para el paso de testigos entre estaciones en orden numérico ascendente según la dirección PROFIBUS asignada, el orden lógico puede no ser consecuente con la disposición física de las estaciones.

La estación con el testigo puede transmitir información, una vez finalizado el testigo se pasa a la siguiente estación activa de la red, se establece un tiempo de retención del testigo que se puede modificar según los requerimientos del administrador y se utiliza para evitar el uso excesivo o acaparamiento de la transmisión por parte de cualquier estación.

Transcurrido el tiempo la estación ya no puede usar la red y envía el testigo a la siguiente estación activa. En caso de no tener nada que transmitir procede a enviar el token a la siguiente estación, para poder cerrar el anillo la estación con la dirección PROFIBUS mas alta pasa el testigo a la estación con la dirección más baja, los usuarios pasivos del bus no reciben nunca el testigo.

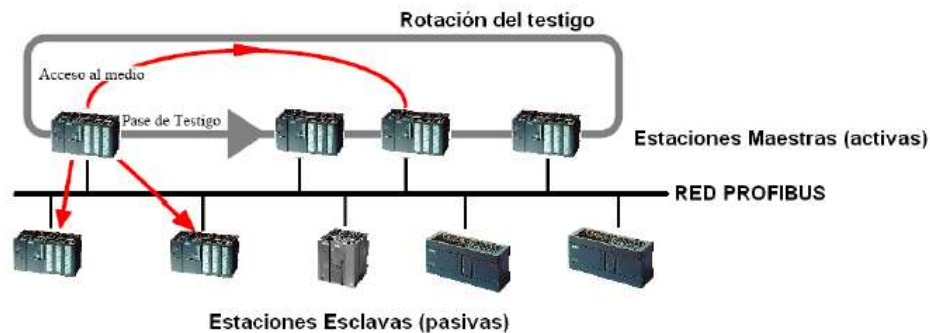


Figura 11. Configuración paso testigo estaciones maestras (infoPLC, 2017)

### Maestro-esclavo por sondeo

Se utiliza este método cuando solo existe una sola estación maestro activa y varias estaciones esclavo pasivas. El maestro que siempre posee el testigo puede acceder a los esclavos asignados, entonces la comunicación funciona con el maestro enviando y recibiendo de los esclavos.

Como se observa en la Figura 12 la estación maestro activa intercambia de datos de forma cíclica con las estaciones privadas.



Figura 12. Configuración maestro esclavo (infoPLC, 2017)

### 2.8.2. PROFIBUS-DP

Es uno de los más utilizados ya que cumple perfectamente con casi todos los requisitos de tiempo y necesidades que se necesita para el intercambio de información en el sector de la periferia descentralizada y los dispositivos de campo.

La configuración usada es maestro con varios esclavos trabajando usando el método maestro esclavo, el maestro dirige todo el tráfico de datos en el bus por lo cual el esclavo debe solicitar al maestro el testigo para poder acceder a transmisión.

#### Requisitos de hardware.

La gama de CPUs siemens ofrecen las siguientes características:

- **S7- 200:** Esta CPU sólo puede ser esclavo en la red DP. Requieren un módulo de comunicación DP como el EM277, salvo la CPU S7215DP que si dispone de puerto DP integrado.



- **S7-300:** CPU 31X-2DP. Puertos: 1 MPI y 1 DP integrados
- Resto CPU 31X – Requieren un módulo de comunicaciones DP (CP342-5 o CP343-5).
- Todas las CPU31x pueden actuar como maestras o esclavas, excepto la CPU 318-2DP que sólo puede ser maestro.
- **S7-400:** CPU 41X-DP (sólo maestros). Puertos: 1 MPI y 1 DP integrados.
- Resto CPU41X – requieren un módulo de comunicaciones DP (IM467 o CP443-5).
- **S7-1200** Estas recientes CPU pueden participar en Profibus como maestros o esclavos según se configure la red. Requieren un módulo de comunicación DP como los CM1242-5 Y CM1243-5.
- **S7-1500** Al igual que la serie S7-1200, pueden participar en Profibus como maestros o esclavos según se configure la red. Requieren un módulo de comunicación DP como los CM1542-5 Y CM1543-5.

#### **Configuración con esclavos DP simples con CPU maestro con puerto DP integrado**

Esta configuración también se considera sistema mono maestro, físicamente hay conectado un maestro con sus esclavos correspondientes. Es de las más simples de utilizar por lo tanto se utiliza en la mayoría de las instalaciones.

La comunicación entre el maestro y los esclavos se produce a través del maestro, el maestro efectúa sucesivamente un sondeo de cada uno de los esclavos de su lista de llamada, y transfiere los datos de salida o recibe como respuesta sus valores de entrada.

Las direcciones de E/S de cada esclavo es asignada automáticamente por el sistema de configuración y el maestro accede a las instrucciones normales de la CPU.

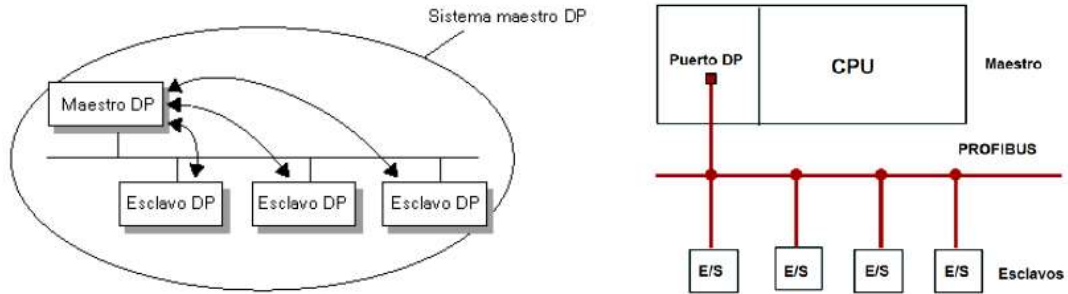


Figura 13. Configuración DP simple con CPU maestro DP integrado (infoPLC, 2017)

### Configuración con esclavos DP simples con CPU maestro a través de una CP

En este tipo de configuración el maestro DP no recibe datos E/S directamente desde los módulos esclavo, más bien desde una CPU preprocesada como es la CP. Por ejemplo, el CP342-5 o CP343-5 para las CPUs S7-300.

Las E/S de los esclavos estarán almacenados en buffers de entrada y salida que se encuentra en la CP. El sistema de usuario de la CPU debe hacerse cargo del intercambio de datos entre las áreas de maestro y esclavo.

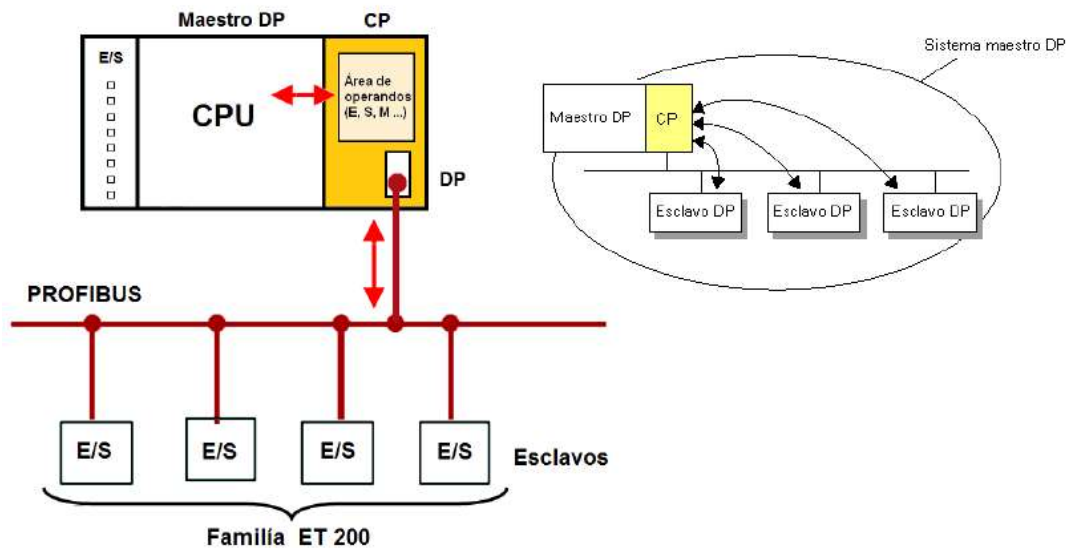


Figura 14. Configuración con esclavos DP simples con CPU maestro a través de una CP (infoPLC, 2017)

### Configuración con DP inteligentes

En ocasiones, las tareas de automatización requieren la comunicación entre dos o más CPUs. Cuando esto ocurre, las tareas de control se suelen reservar a una CPU de modelo

superior que actúa de maestro en la red, quedando el resto relegadas a actuar como esclavos DP inteligentes. Un ejemplo sería la conexión entre una CPU 314C-2DP (maestro) y una CPU S7-313C-2DP (esclavo).

En este tipo de configuraciones, la CPU que actúa como maestro DP no puede acceder directamente a los módulos de E/S o a las direcciones físicas de la CPU esclava, pues el maestro no las verá como propias. La comunicación sólo podrá establecerse a través de unas áreas específicas (buffer de E/S) que previamente habrán sido configuradas.

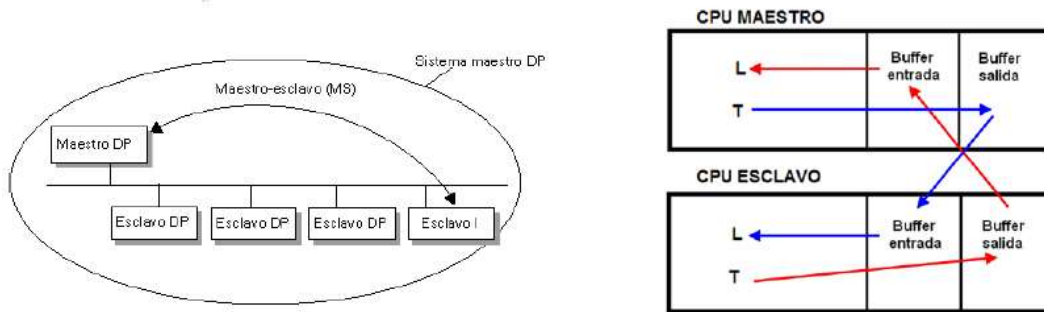


Figura 15. Configuración con DP inteligentes (infoPLC, 2017)

### Configuración del sistema

Soporta mono y multi-maestro. Lo que permite flexibilidad en la configuración del sistema del bus:

- En sistema mono-maestro se tiene un solo maestro en el bus, que se encarga del control central al que se acoplan los esclavos DP.
- En un sistema multi-maestro se puede construir subsistemas de bus independientes, asignados a cada maestro y sus esclavos. Los sensores y actuadores de los esclavos se leen por todos los maestros, y entre maestros también se intercambia datos.

### Capa física. Transmisión RS 485

Responde a la transmisión simétrica de datos y también se lo conoce como H2. Se presenta como configuración por defecto en la norma PROFIBUS EN 50170 para la transmisión de información por líneas bifilares, sus principales características son:

- Medio físico: cable bifilar de cobre trenzado y apantallado.

- Velocidad de transmisión: desde 9.6 Kbit/s hasta 12 Mbit/s.
- Resistencia de terminación obligatoria en extremos del bus.
- Longitud de cable máxima en función de la velocidad de transmisión.
- Máximo número de estaciones: 32 estaciones (maestros o esclavos) por segmento. Posible enlace de segmentos por medio de repetidores RS 485, con un máximo de 127 estaciones y un máximo de 9 repetidores.
- Estructuras de red en línea o en árbol.
- Tipo de conexión: conectores Sub-D de 9 polos.
- El Standard RS 485 utiliza Codificación NRZ (Non-Return-to-Zero, 0 lógico no produce cambio al principio del bit, 1 lógico produce cambio de nivel a principio del bit). Se trata de una transmisión asíncrona, orientada a caracteres (11 bits).

### Capa de enlace. FDL

Es un protocolo de nivel enlace de datos denominado Fieldbus Data Link (FDL). Respecto a seguridad de los datos toda trama tiene una distancia de Hamming,  $H_d=4$ . Esto se consigue debido a los delimitadores de inicio y fin, además del bit de paridad por cada uno de los octetos. La transmisión de punto a punto proporciona la posibilidad de usar Broadcast y multicast.

Todas las tramas están compuestas por un número de caracteres UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Estos caracteres se emplean en transmisiones serie asíncronas, y cada uno de ellos consta de 11 bits distribuidos como se puede observar en la Figura 16.

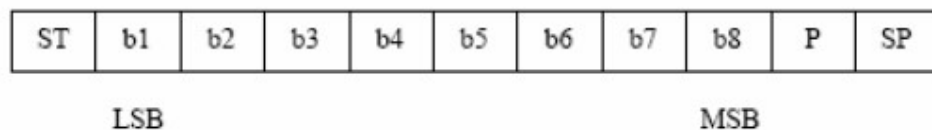


Figura 16. Estructura carácter UART (Menchón Ruiz, 2018)

Desglosando la trama se obtiene lo siguiente:

- ST (Start bit): el bit de inicio con un valor de 0 en binario
- B1 a B8: bits destinados a información que pueden tomar valores 0 o 1
- P: bit de paridad, que se utiliza para determinar errores y en este caso es par.
- SP(Stop Bit): bit de parada, utilizado para indicar el final de la trama siempre tiene el valor 1.

### **Nivel de usuario. Funciones DP**

El software que utiliza el usuario final se llama STEP 7 en este programa se encuentran funciones para escribir/leer datos, diagnosticar y sincronizar esclavos. A través de este programa se configura la comunicación PROFIBUS y usa funciones tipo caja negra en función de unas entradas parametrizadas por el usuario y obtenidas del proceso elaborado por los esclavos.

## **2.9. SCADA**

### **2.9.1. Definición**

SCADA proviene de las siglas Supervisory Control and Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) Los sistemas SCADA son aplicaciones de software diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia, basadas en la adquisición de datos de procesos remotos.

Diseñado para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Otra de sus funciones es enviar la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia niveles administrativos dentro de la empresa, es decir, integra otras áreas dentro de la empresa.

El software SCADA se asocia generalmente con las tareas de supervisión y control, este software permite al operador visualizar en una pantalla cada una de las estaciones remotas

que conforman el sistema, los estados de éstas, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano.

Permite a los operadores supervisar y controlar los procesos pues está diseñado para ejecutarse en tiempo real. Un término clave en la definición, al que muchas veces no se le da adecuada atención, es el de supervisión, que significa que un operador humano es el que al final tiene la última decisión sobre operaciones, usualmente críticas de una planta industrial.

### **2.9.2. Prestaciones.**

Un SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema la posibilidad de crear paneles de alarma, estos exigen la presencia de un operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.

Además, debe permitir visualizar el historial de señales de planta, los mismos que pueden ser tabulados en una hoja de cálculo.

Bajo ciertas condiciones un SCADA permite la ejecución de programas que modifican la ley de control, además de anular o modificar las tareas asociadas al autómatas.

Por último, permite la programación numérica, es decir, la posibilidad de realizar cálculos aritméticos.

### **2.9.3. Requisitos básicos.**

Con el fin de realizar la selección correcta entre los diversos tipos de sistemas SCADA existentes hay que tener en cuenta si cumple ciertos requisitos básicos:

- Todo sistema debe tener arquitectura abierta, es decir, debe permitir su crecimiento y expansión, así como, deben poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- La programación e instalación no debe presentar mayor dificultad, debe contar con interfaces gráficas que muestren un esquema básico y real del proceso.

- Deben permitir la adquisición de datos de todo equipo, así como la comunicación a nivel interno y externo (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables para el usuario.

#### 2.9.4. Funciones Principales

Un sistema SCADA cuenta con las siguientes funciones principales que se muestran a continuación:

- **Supervisión:** Evolución de las variables de control, cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta, son algunas de las funciones que el operador podrá observar y que le permitirá dirigir las tareas de mantenimiento y las estadísticas de fallas.
- **Control:** El operador puede ejecutar acciones de control y supervisión sobre la evolución de situaciones irregulares que se generen, además permite activar o desactivar los equipos de forma remota ya sea automática o manualmente.
- **Adquisición de datos:** Recolectar, procesar, almacenar y mostrar la información recibida en forma continua desde los equipos de campo.
- **Generación de reportes:** Apoyados de la adquisición de datos se pueden generar representaciones gráficas, predicciones, control estadístico, gestión de la producción, gestión financiera, etc.
- **Representación de señales de alarma:** Mediante señales visuales o sonoras se logra alertar al operador de una falla o la presencia de una condición irregular.

#### 2.9.5. Componentes de un sistema SCADA

Los componentes de un sistema SCADA se pueden identificar en dos grupos definidos como:

- Hardware
- Software.

## Hardware

Para tratar y gestionar la información captada, un sistema SCADA necesita ciertos componentes propios de hardware.

- **Unidad terminal maestra (MTU):** Es el computador principal del sistema, se encarga de supervisar y recolectar la información del resto de subestaciones, el sistema más sencillo está compuesto por un computador el cual trabaja como MTU supervisor de toda la estación.
- **Unidad remota de telemetría (RTU):** Se trata de un dispositivo instalado en una localidad remota del sistema que se encarga de recopilar los datos para luego enviarlos al MTU. Este dispositivo cuenta con canales de entrada para detectar y medir variables, y canales de salida para control o activación de alarmas y un puerto de comunicaciones. Físicamente este dispositivo son un tipo de armario de control. Actualmente se tiende a dotar a un PLC la capacidad de funcionar como RTU.
- **Red de comunicación:** Se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura de hardware soportada en el sistema SCADA, esta arquitectura puede ser cableada o inalámbrica.
- **Instrumentación de campo:** Se constituye por todos los dispositivos que permiten realizar la automatización y control del sistema como son los PLC's o los actuadores por mencionar algunos, se encargan además de la capacitación de información del sistema.

## Software

Se trata de la interfaz Humano – Máquina, el cual debe estar en la capacidad de restringir accesos, generar señales de alarma, además de permitir la comunicación entre dispositivos de campo y entre los diferentes niveles de una empresa.

Este interfaz puede ir desde ser una sencilla luz indicadora, hasta un conjunto de pantallas donde se puede ver esquemas y gráficos del proceso que se desea monitorear.



### 2.9.6. Flujo de información en un sistema SCADA

Se trata de un proceso automatizado en el cual intervienen variables tales como presión, temperatura, flujo, etc., dependiendo del fenómeno físico a observarse. Estos fenómenos son captados por un transductor que alimenta con una señal eléctrica a un transmisor y este a su vez entrega una señal analógica de corriente o voltaje normalizada de 4 mA a 20 mA o desde 0 VCD a 10 VCD.

Estas señales son recibidas y procesadas para que puedan ser interpretadas por una computadora, realizando la conversión analógica/digital y viceversa.

Toda la información es recopilada dentro de la planta central en un cuarto de control donde simultáneamente se muestra en pantallas para que el operador tenga la potestad de tomar decisiones al respecto si así fuese necesario; toda esta información se almacena con el fin de generar un historial que permita tomar decisiones a futuro.

Para aquellos lugares que se encuentran en áreas extensas de la planta y que a su vez sea necesaria la manipulación de variables, se instala un RTU que concentra la información de varios dispositivos y luego la transmite a la estación maestra o MTU.

A continuación, la figura 17 muestra un esquema básico de un sistema SCADA donde se indica los dispositivos y procesos en el flujo de información.

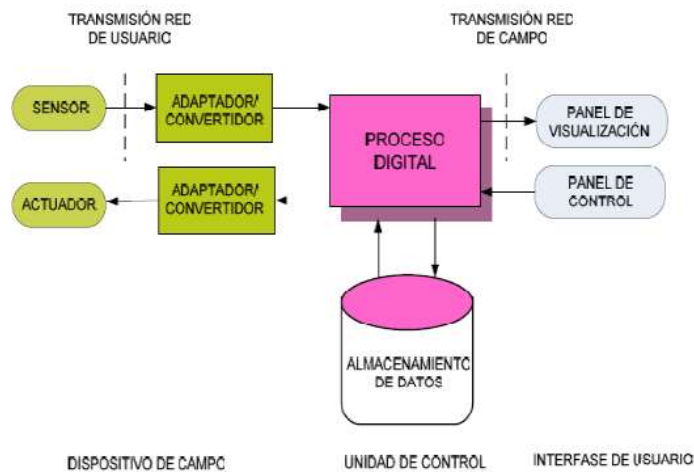


Figura 17. Esquema básico de sistema SCADA.

### **2.9.7. Comunicaciones**

Un protocolo de comunicación se entiende como un conjunto de reglas y procedimientos que permite a unidades remotas intercambiar información con la unidad central, un sistema SCADA hace uso de los protocolos de las redes industriales.

Existen diversos medios para realizar la comunicación de datos, esta comunicación puede ser de forma cableada o bien inalámbrica, el propósito final es enviar la información desde los dispositivos de campo hacia la estación maestra que forma parte de un centro de control y gestión.

### **2.9.8. Mantenimiento**

Los sistemas SCADA requieren ser tratados como otra alta tecnología de sistemas de control, pues equipos como módems, radios, y drivers de protocolo necesitan de equipos y personal calificado para realizar su calibración y validación, es así que se debe prever estos costos de mantenimiento.

Sensores y actuadores, como todo equipo, tienen una vida útil determinada, por ello que con el tiempo van disminuyendo su eficiencia, entonces un punto crítico a considerar es la posibilidad de contar con un control manual en caso de que el equipo deba ser reemplazado, de esta forma no se interfiere con el sistema.

Para garantizar la integridad del sistema y dependiendo de la magnitud del proyecto se recomienda realizar el mantenimiento general mínimo dos veces al año, en el cual se verificará la correcta calibración de los equipos y se realizaran pruebas dinámicas y estáticas para comprobar el estado físico del mismo.

### **2.10. Controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo)**

Un controlador PID es un mecanismo de control simultaneo ampliamente utilizado en la industria, este permite calcular la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado, la figura 18 muestra el esquema básico de un controlador PID.

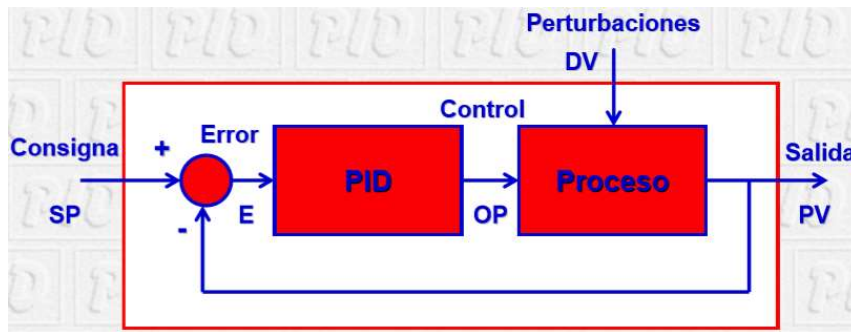


Figura 18. Esquema de un controlador PID

Históricamente se considera que cuando no se tiene conocimiento del proceso un controlador PID es la mejor opción para proveer una acción de control adaptada a los requerimientos del proceso en específico, ya que consta de tres parámetros: el Proporcional, el Integral y el Derivativo

### 2.10.1. Control Proporcional.

Es una acción que responde a los cambios presentes en la entrada y genera inmediatamente y de forma proporcional cambios en la salida, matemáticamente se puede expresar como el coeficiente de diferencias tal como se muestra en la figura 19 a continuación.

$$\text{Valor de Ganancia} = \Delta \text{Output} / \Delta \text{Input}$$

$$\text{Valor de Ganancia} = d\text{Output} / d\text{Input} = dm/de$$

Figura 19. Representación matemática del control Proporcional.

### 2.10.2. Control Integral

Es una acción de control que provoca un cambio en la señal de salida respecto del tiempo a una razón proporcional de la cantidad de error, esto quiere decir que el controlador responde a un error acumulado en el tiempo, cambiando la señal tanto como sea necesario para eliminar el error, esta acción de control maneja la salida para aumentar y aumentar su valor.

Matemáticamente se define como el cociente entre la velocidad de salida y el error de entrada tal como la figura 20 indica.

<p>El valor integral (repeticiones por minuto) = Velocidad de Salida / Error de Entrada</p> <p>El valor integral (repeticiones por minuto) = <math>(dm/dt)/e</math></p>
---

Figura 20. Representación matemática del control Integral.

### 2.10.3. Acción Derivativa

Es una acción de control que realiza el desplazamiento en la señal de salida proporcional a la tasa a la cual cambia a la entrada, esta acción reacciona a que tan rápido cambia la entrada respecto al tiempo.

Matemáticamente se define como una relación del desplazamiento de salida con la velocidad de entrada como se muestra en la Figura 21 a continuación.

<p>Constante de tiempo derivativo (minutos) = <math>T_d = \text{Desplazamiento\_Salida} /</math> <math>\text{Velocidad\_Entrada}</math></p> <p>Constante de tiempo derivativo (minutos) = <math>T_d = \Delta\text{Salida} / (de/dt)</math></p>
--

Figura 21. Representación matemática de la acción Derivativa

## 2.11. PLC

Un controlador lógico programable (PLC) o autómeta programable es un dispositivo electrónico que se desempeña como una computadora industrial, la cual procesa los datos de una máquina (señales de entrada) para desencadenar los actuadores y así procesar y controlar los procesos industriales de forma automática. Básicamente para que un PLC pueda desarrollar esta actividad se requiere que se encuentre programado para la tarea asignada, para lo cual se necesita un software específico y mediante el lenguaje de programación escribir las instrucciones detalladamente de lo que debe realizar. Una de sus principales ventajas es que es un dispositivo muy flexible y con una elevada capacidad de procesamiento por lo cual se puede adaptar a cualquier tipo de requerimiento, mejorando la producción industrial (Mecafenix, 2018)

### 2.11.1. Estructura de un PLC

El PLC está constituido básicamente por 5 elementos principales como se observa en la tabla 2, los cuales pueden estar integrados o por módulos.

Tabla 2. Estructura de un PLC

<b>Estructura</b>	<b>Característica</b>
Fuente de alimentación	Suministra energía al CPU y tarjetas PLC
Unidad de procesamiento central (CPU)	Interpreta las instrucciones programadas en el PLC
Módulos de entrada/salida	Permiten una conexión física entre el CPU y el sistema a controlar  <b>Módulo entrada:</b> permite retroalimentar al PLC para que pueda procesar los datos. <b>Módulo salida:</b> respuesta a los actuadores para controlar el proceso
Módulo de memorias	Guarda el programa del PLC para su funcionamiento
Unidad de programación	Permiten el tráfico de datos entre las interfaces de operador, máquinas y los PLC

*Fuente: (Mecafenix, 2018)*

### 2.11.2. Tipos de PLC

Los PLC se encuentran clasificados en función de sus características como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Tipos de PLC

<b>Tipo</b>	<b>Característica</b>
Nano	Maneja un conjunto reducido de entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.
Compacto	Poseen un módulo principal y permiten manejar desde pocas entradas y salidas a cientos, así como también soporta una gran variedad de módulos especiales.
Modular	Permite armar la PLC en función de cada necesidad pues posee módulos por separado.

*Fuente: (Mecafenix, 2018)*

### 2.12. Sistema S7-1500

Es un módulo con una amplia versatilidad de tareas, expandible hasta por 32 módulos, así como cuenta con una amplia gama de piezas de remplazo. El sistema de automatización S7-1500 es el perfeccionamiento de los sistemas de automatización

SIMATIC S7-300 y S7-400, ofrece una excelente rendimiento y manejo, dentro de las características del rendimiento se encuentran:

- Mayor rendimiento del sistema
- Funcionalidad Motion Control integrada
- PROFINET IO IRT
- Pantalla integrada para el manejo y diagnóstico a pie de máquina
- Innovaciones de lenguaje STEP 7 manteniendo las funciones probadas

### 2.12.1. Campo de aplicación

Ofrece la flexibilidad y el rendimiento necesarios para el elevado ancho de banda de aplicaciones de control de la construcción de instalaciones y máquinas, además adapta el controlador a las exigencias a pie de proceso, también está homologado para el tipo de protección IP20.

### 2.12.2. Componentes

La tabla 4 a continuación ofrece una visión de los principales componentes del sistema de automatización S7-1500

*Tabla 4.* Componentes del S7-1500

<b>Componente</b>	<b>Función</b>
Perfil Soporte	Es el porta-módulos del sistema Los componentes conformes con la norma EN 60715 pueden montarse directamente en el perfil DIN estándar integrado que hay en la parte inferior del perfil soporte.
Elemento de conexión para perfil de soporte	El juego de tornillos, que se introduce en la ranura perfilada en forma de T del perfil soporte, es necesario para su puesta a tierra
Fuente de alimentación del sistema	Es un módulo de alimentación apto para diagnóstico, que está conectado al bus de fondo mediante un conector U.

	Es necesaria cuando la potencia suministrada por la CPU en el bus de fondo no es suficiente para suministrar potencia a los módulos conectados.
CPU	<p>Ejecuta el programa de usuario y, con la fuente de alimentación del sistema integrada, alimenta la electrónica de los módulos agregados a través del bus de fondo.</p> <p>Otras características y funciones de la CPU:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicación Ethernet</li> <li>• Comunicación vía PROFIBUS/PROFINET</li> <li>• Comunicación HMI</li> <li>• Servidor web integrado</li> <li>• Tecnología integrada</li> <li>• Diagnóstico de sistema integrado</li> <li>• Seguridad integrada</li> </ul>
Módulo de periferia	<p>Constituyen la interfaz entre el controlador y el proceso. A través de los sensores y actuadores conectados, el controlador detecta el estado actual del proceso y dispara las reacciones correspondientes.</p> <p>Los módulos de periferia se clasifican en los siguientes tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrada digital (DI)</li> <li>• Salida digital (DQ)</li> <li>• Entrada analógica (AI)</li> <li>• Salida analógica (AQ)</li> <li>• Módulo tecnológico (TM)</li> <li>• Módulo de comunicaciones (CM)</li> <li>• Procesador de comunicaciones (CP)</li> </ul>
Conector U	Sirve para conectar los módulos del sistema de automatización S7-1500. Establece la conexión mecánica y eléctrica entre los módulos.
Conector Frontal	Sirve para cablear los módulos de periferia. Para módulos tecnológicos y analógicos debe ampliarse con una abrazadera de pantalla, un elemento de alimentación y un clip de pantalla.
Abrazadera de pantalla	Es un soporte enchufable para módulos con señales críticas de CEM (p. ej. módulos analógicos, módulos tecnológicos) y permite, junto con el clip de pantalla, la conexión de baja impedancia de pantallas de cable
Fuente de alimentación de carga (PM)	Se encarga de la alimentación del sistema de automatización S7-1500 a través de un conector frontal de la CPU.

### **2.12.3. Funcionamiento**

El funcionamiento del S7-1500 consiste en controlar una serie de señales eléctricas mediante acciones programadas en su interior, este control se realiza ininterrumpidamente ejecutando cada cierto tiempo la programación que se ha configurado, a esto se le conoce como ciclo SCAN.

Al iniciar el PLC por primera vez se ejecuta el bloque de arranque, enseguida se inicia el tiempo de supervisión de ciclo, esto para controlar que el PLC pueda volver a iniciar otro nuevo ciclo antes de un tiempo configurado.

Tras iniciar el tiempo de supervisión el controlador almacena todos los estados que tienen los módulos en ese momento en la PAE, esto es fundamental para ejecutar el programa con el mismo estado de las señales de entrada ya que el PLC guarda el primer estado al iniciar el ciclo.

Seguidamente se ejecuta el programa, leyendo los valores de las entradas y escribiendo los resultados de las operaciones de proceso de salidas, para al finalizar el ciclo, escribe estos valores a los módulos físicos de salidas. El tiempo de supervisión de ciclo volverá a iniciarse, y con él, una nueva ejecución de la programación.

Cuando se habla de la programación, es referido a los bloques lógicos del PLC, estos pueden dividirse en tres tipos; OBs o bloques de organización, FCs o funciones y FBs o bloques de función. Además, puede haber otro tipo de bloques como bloques de datos o DBs.

Cada bloque de este tipo tiene una prioridad en el sistema, estos valores van desde la más baja (1), valor que tendrá el bloque (o bloques) relacionado con el ciclo SCAN de la CPU, al valor más alto (26), que podrían tener tanto un bloque de manejo de error como uno de control de movimiento. Este funcionamiento permite dotar de una jerarquía a los bloques en el sistema, dado que siempre ejecutará el bloque con mayor prioridad.

Si durante la ejecución de un bloque la CPU detecta otro evento, y el bloque vinculado tiene mayor prioridad, interrumpirá la ejecución del bloque actual, guardando el punto en



el que se encuentra, procediendo a la ejecución prioritaria y seguidamente la finalización del bloque que estaba ejecutando.

Existen diferentes tipos de evento detectables por el controlador, los cuales se detallan a continuación:

- **Evento de ciclo o bloque/s de “Program cycle”:** Es el evento de menor prioridad (1) de la CPU, por tanto, cualquier otro podría interrumpir su ejecución. Ahora se pueden tener hasta 100 bloques de este tipo en el PLC, ejecutando por orden de numeración, dado que tienen la misma prioridad; desde el menor valor (OB1) al mayor.
- **Evento de re arranque o bloque/s de “Startup”:** Tiene la mínima prioridad. La CPU puede alojar hasta 100 bloques de arranque, el primero de ellos respetaría la numeración “clásica”, OB100; el resto se configurarían a partir del 123.
- **Evento de fallo de rack/bastidor o “Rack or station failure”:** Cuando un dispositivo de su red de periférica, ya sea de PROFIBUS o PROFINET, deja de estar disponible (evento entrante) o vuelve a estarlo (evento saliente). De igual manera sólo existe un bloque vinculado a este evento, se trata del OB86 y las prioridades que se pueden configurar oscilan entre los valores 2 y 26.
- **Evento asíncrono, o “Time error interrupt”:** En este caso sólo va a ejecutarse una vez, esta ocasión se producirá al detectar que el ciclo excede del tiempo máximo configurado en el PLC, para este evento sólo se dispondrá del OB80 y con una prioridad fija de valor 22.

Además, es muy importante el hecho de que este evento sea el único de este tipo que podrá pasar a STOP la CPU, ya sea porque sea detectado y no se disponga del OB80 en el controlador, o porque sea detectado dos veces seguidas, es decir, que se intente llamar dos veces a este bloque antes de iniciar el tiempo de supervisión de un nuevo ciclo.

## Marco Metodológico

### 3.1. Diseño del módulo didáctico

Para la elaboración de un módulo didáctico, dentro del diseño se tomo en cuenta todas las herramientas necesarias que permitan la integración de todas la practicas planteadas. Dentro de este capitulo se detalla todo lo necesario para ensamblar el módulo didactico y los componentes utilizados.

#### 3.1.1. Automata siemens S71500 (CPU 1516-3)

Dentro de las características que integran el CPU del PLC S71500 se tiene como las más generales:

- CPU con gran memoria de programa y de datos.
- Alta velocidad de procesamiento
- Interfaz PROFINET IO IRT con switch de 2 puertos
- Interfaz PROFINET adicional con dirección IP independiente
- Interfaz maestro PROFIBUS DP
- Modo isócrono en PROFIBUS y PROFINET



Figura 22. Esquema de un controlador PID. (AG, Siemens, 2018)

Los datos técnicos del CPU se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Datos técnicos del CPU del S7-1500

<b>Información general</b>	CPU 1516-3 PN/DP
Ingeniería con STEP 7 TIA Portal configurable/ integrado desde versión	V12.0
<b>Display</b>	
Diagonal de la pantalla (cm)	6,1 cm
Tensión de alimentación	
Tipo de corriente de alimentación	24 V DC
<b>Pérdidas</b>	
Pérdidas, típ.	7 W
<b>Memoria</b>	
Memoria de trabajo	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Integrada (para programa)</li> <li>Integrada (para datos)</li> </ul>	1 Mbyte 5 Mbyte
Memoria de carga	
<ul style="list-style-type: none"> <li>enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.</li> </ul>	2 Gbyte
<b>Tiempos de ejecución de la CPU</b>	
para operaciones de bits, típ.	10 ns
para operaciones de palabras, típ.	12 ns
para aritmética en coma fija, típ.	16 ns
para aritmética en coma flotante, típ.	64 ns
<b>Contadores, temporizadores y su remanencia</b>	
Contadores S7	
Cantidad	2 048
Contadores IEC	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad</li> </ul>	cualquiera (limitado solo por la memoria de trabajo)
Temporizadores S7	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad</li> </ul>	2 048
Temporizadores IEC	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad</li> </ul>	cualquiera (limitado solo por la memoria de trabajo)
<b>Áreas de datos y su remanencia</b>	
Marcas	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad, máx.</li> </ul>	16 kbyte
<b>Área de direcciones</b>	
Área de direcciones de periferia	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Entradas</li> <li>Salidas</li> </ul>	32 kbyte; Todas las entradas están en la imagen de proceso 32 kbyte; Todas las salidas están en la imagen de proceso
<b>Hora</b>	
Reloj	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo</li> </ul>	Reloj por hardware

Fuente: (AG, Siemens, 2018)

### 3.1.2. Módulo de entradas digitales

Se procede a la implementación de un módulo de entradas digitales el cual se puede observar en la Figura 23 y entre sus características generales se puede destacar lo siguiente:

- Módulos de entradas digitales de 16 y 32 canales
- Para la adaptación flexible del controlador a la correspondiente tarea
- Para la ampliación posterior de la instalación con entradas adicionales



Figura 23. Módulo de entradas digitales. (AG, Siemens, 2018)

### 3.1.3. Módulo de salidas digitales

Se procede a la implementación de un módulo de salidas digitales el cual se puede observar en la Figura 24 y entre sus características generales se puede destacar lo siguiente:

- Módulos de salidas digitales de 16 y 32 canales
- Para la adaptación flexible del controlador a la correspondiente tarea
- Para la ampliación posterior de la instalación con salidas adicionales



Figura 24. Módulo de salidas digitales. (AG, Siemens, 2018)

### 3.1.4. Módulo de entradas analógicas

Se procede a la implementación de un módulo de entradas analógicas el cual se puede observar en la Figura 25 y entre sus características generales se puede destacar lo siguiente:

- Módulos de entradas analógicas de 8 canales
- Opcional con tiempos de conversión extremadamente cortos
- Para la conexión de sensores analógicos sin amplificadores adicionales
- Para la solución de tareas de automatización más complejas



Figura 25. Módulo de entradas analógicas. (AG, Siemens, 2018)

### 3.1.5. Módulo de salidas analógicas

Se procede a la implementación de un módulo de salidas analógicas el cual se puede observar en la Figura 26 y entre sus características generales se puede destacar lo siguiente:

- Módulos de salidas analógicas de 4 y 8 canales
- Opcional con tiempos de conversión extremadamente cortos
- Para la conexión de actuadores analógicos sin amplificadores adicionales
- Para la solución de tareas de automatización más complejas



Figura 26. Módulo de salidas analógicas. (AG, Siemens, 2018)

### 3.1.6. Fuente de alimentación de carga.

La fuente de alimentación monofásica SIMATIC PM 1507 (PM = Power Modul) dispone de conmutación automática del rango de tensión de entrada y está óptimamente adaptada en diseño y funcionalidad al controlador SIMATIC S7-1500. (AG, Siemens, 2018)

Se encarga de alimentar con 24 V DC todos los componentes de un sistema S7-1500 como CPU, alimentación del sistema (PS), circuitos de E/S de los módulos de E/S y, dado el caso, los sensores y actuadores. (AG, Siemens, 2018)



Figura 27. Fuente de alimentación de carga. (AG, Siemens, 2018)

### 3.1.7. SINAMICS V20

Es un variador de frecuencia que permite la regulación de velocidad de los motores asíncronos trifásicos.



Figura 28. SINAMICS V20.

### 3.1.8. HMI KTP700

KTP700 Basic PN es un panel táctil de 7" con teclas adicionales y pertenece a la nueva serie de iniciación HMI de Siemens para aplicaciones sencillas. Los paneles Basic son los componentes HMI ideales para los sistemas de control S7 pequeños y medianos. (FESTO, 2019).

Entre sus principales características se tiene:

- Pantalla TFT de 7" (Resolución de 800 x 480, 64.000 colores)
- Pantalla táctil con 8 teclas de función táctiles programables
- 1 interfaz Ethernet
- 1 puerto USB
- Dimensiones (ancho x alto x profundidad):  
214 x 158 x 45 mm
- Tensión de alimentación: 24 V DC



Figura 29. Pantalla touch KTP-700 (FESTO, 2019)

### 3.1.9. Switch Scalance

Se utilizará para la comunicación ethernet entre los dispositivos PLC S71500 con la pantalla HMI touch KTP-700 y el computador se utilizará un switch scalance XB-008G.

Se puede notar que la aplicación en este proyecto se lo usa en topología tipo estrella como se observa en la Figura 30.

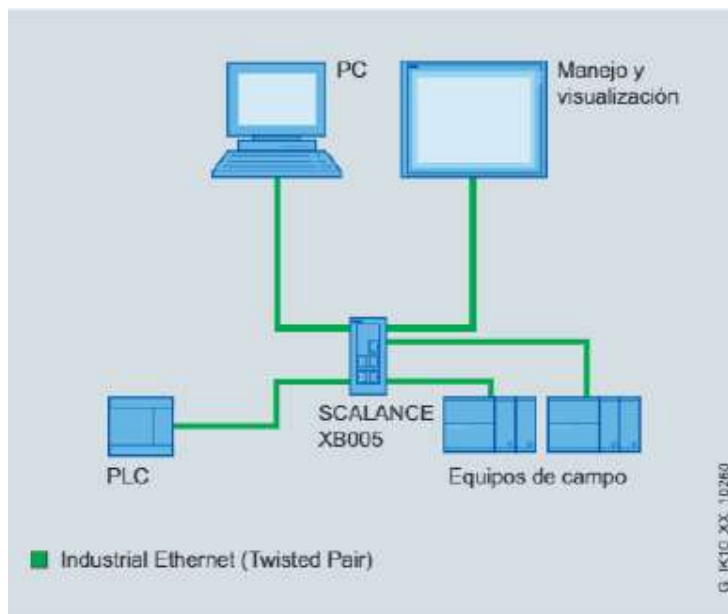


Figura 30. Topología en estrella. (STUDYLIB, 2019)

### 3.1.10. Perilla P/Potenciómetro

Se utilizará varios potenciómetros con perillas para los paneles de mando y señalización y el control de las entradas analógicas los mismo que se pueden observar en la figura 31.





Figura 31. Potenciómetro con perilla

### 3.1.11. Conectores Banana Hembra

Es necesario utilizar este tipo de conectores para la elaboración de las pruebas y practicas entre cada uno de los paneles, como se observa en la Figura 32.

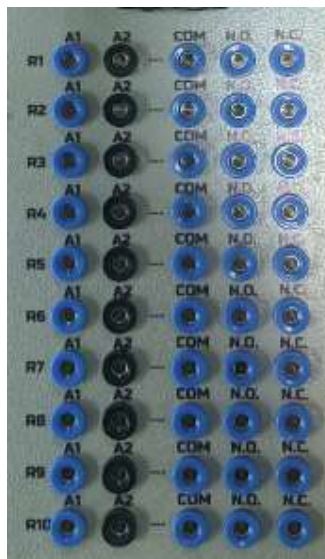


Figura 32. Conectores banana hembra.

### 3.1.12. Voltímetro digital

Este dispositivo se utilizará para realizar las mediciones de voltaje y amperaje digital en el panel de mediciones, mismo que se encargará de presentar un control para el usuario final de los voltajes y corrientes.



Figura 33. Voltímetro digital.

### 3.1.13. Conector industrial RJ-45

Se utilizará algunos conectores RJ-45 de tipo industrial para implementar en los paneles del módulo didáctico.



Figura 34. Conector RJ-45.

### 3.1.14. TIA PORTAL V15

Para la programación y configuración de los dispositivos tanto el PLC y el HMI touch KTP-700, dentro de este software se integran varios productos de SIMATICs y mejoran el rendimiento y eficiencia de los procesos, para esto se utilizará un lenguaje KOP.

## 3.2. Implementación de módulo didáctico

Para la implementación del módulo didáctico fue necesario realizar un diseño en CAD que permita visualizar los paneles y la distribución de cada una de las partes que integran, como se observa en el Anexo 1, se tiene como objeto realizar e implementar los paneles que son:

### 3.2.1. Panel PLC S7-1500 CPU1516 3PN/DP

Como se puede observar en la Figura 35, se tienen los siguientes componentes: PLC S7-1500 CPU1516; módulo de entradas digitales; módulo de entradas analógicas; módulo de salidas digitales; módulo de salidas analógicas; 32 conectores banana hembra color azul

para entradas digitales, 32 conectores banana hembra color azul para salidas digitales; 8 conectores banana hembra color amarillo para entradas analógicas; 8 conectores banana hembra color negro para entradas analógicas; 4 conectores banana hembra color amarillo para salidas analógicas, 4 conectores banana hembra color negro para salidas analógicas; 2 conectores banana hembra color verde, 1 conector banana hembra color azul, 1 conector banana hembra color negro para entrada de voltaje; 1 conector banana hembra color azul y un conector banana hembra color negro para puente; 2 conectores RJ-45 industriales.



Figura 35. Panel PLC S7-1500 CPU1516 3DP/DP.

### 3.2.2. Panel pantalla HMI KTP-700

Como se observa en la figura 36 se tiene el panel que lo conforman los siguientes componentes: Pantalla HMI KTP-700; 1 conector industriales RJ-45; 1 fusible de protección; 2 conectores banana hembra color azul para E.F. y S.F.; 2 conectores banana hembra color verde, 1 conector banana hembra color azul, 1 conector banana hembra color negro para alimentación.



Figura 36. Panel pantalla HMI KTP-700.

### 3.2.3. Panel variador de frecuencia

Como se observa en la figura 37 se tiene el panel que lo conforman los siguientes componentes: Breaker riel 1P 10A/6KA 230-400V; SINAMICS V20; 1 conector banana hembra color negro, 1 conector banana hembra color amarillo para salida analógica; 2 conector banana hembra color negro, 1 conector banana hembra color azul para Rs-485; 1 conector banana hembra color negro, 6 conector banana hembra color azul para entradas digitales; 5 conector banana hembra color azul para salidas digitales; 1 conector banana hembra color negro, 3 conectores banana hembra color amarillo para entradas analógicas; 1 conector banana hembra color verde, 2 conector banana hembra color rojo para red eléctrica 220V; 2 conector banana hembra color rojo para modular frecuencia; 1 conector banana hembra color verde, 3 conector banana hembra color rojo para conexión del motor.



Figura 37. Panel variador de frecuencia.

### 3.2.4. Panel fuentes de alimentación.

Como se observa en la figura 38 se tiene el panel que lo conforman los siguientes componentes: fuente de 24V para PLC; 4 fusibleras; 12 conector banana hembra color azul, 12 conector banana hembra color negro para la sección 24 VDC; 5 conector banana hembra color amarillo, 5 conector banana hembra color negro sección 10 VDC.



Figura 38. Panel fuentes de alimentación.

### 3.2.5. Panel de distribución.

Como se observa en la figura 39 se tiene el panel de distribución que lo conforman los siguientes componentes: Breaker riel 1P 10A/6KA 230-400V; 6 conector banana hembra color rojo, 3 conector banana hembra color negro, 3 conector banana hembra color verde, 1 luz indicadora color verde para selección voltaje A.C..



Figura 39. Panel distribución.

### 3.2.6. Panel módulo de relés.

Como se observa en la figura 40 se tiene el panel de distribución que lo conforman los siguientes componentes: 10 módulo relé 6mm 24V AC/DC; 30 conector banana hembra color azul, 10 conector banana hembra color negro para interconexión con los otros paneles.



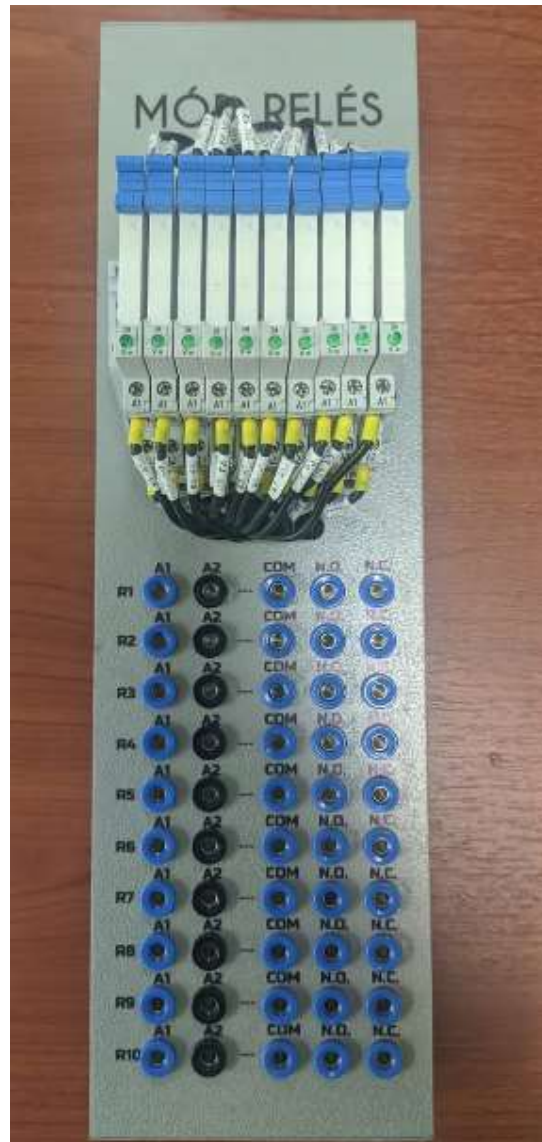


Figura 40. Panel de módulos relés.

### 3.2.1. Panel de medidores digitales D.C.

Como se observa en la figura 41 se tiene el panel de distribución que lo conforman los siguientes componentes: 4 voltímetros digitales; 7 conector banana hembra color azul, 4 conector banana hembra color amarillo, 9 conector banana hembra color negro; 1 fusiblera.



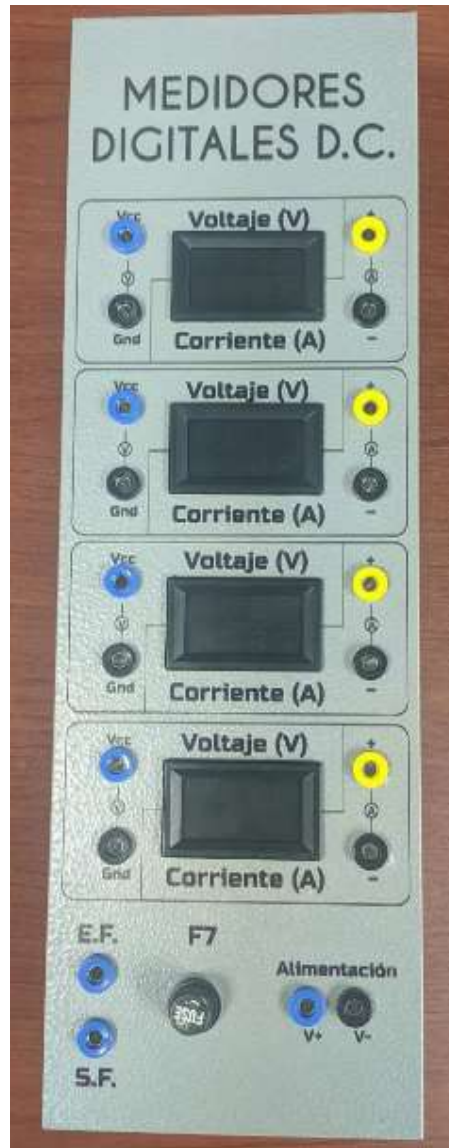


Figura 41. Panel de medidores digitales D.C.

### 3.2.1. Panel de mando y señalización.

Como se observa en la figura 42 se tiene el panel de distribución que lo conforman los siguientes componentes: 2 luz led indicadora roja; 8 luz led indicadora verde; 2 potenciómetro con perilla P; 1 botón de parada; 30 conector banana hembra color azul; 2 conector banana hembra color negro. De este tipo de panel se realizaron 3 en total.



Figura 42. Panel de medidores digitales D.C.

Una vez descrito cada panel que se elaboro para el modulo didactico es necesario integrarlo en base al plano que se encuentra en el Anexo 1, para tener como resultado final el modulo didactico que se observa en la Figura 43.



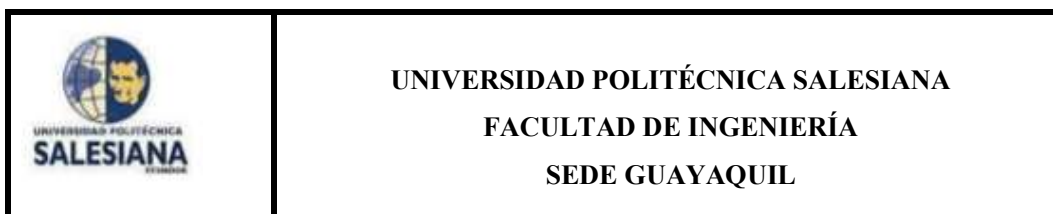
Figura 43. Modulo didáctico de redes industriales y sistemas de automatización.

## Prácticas

Dentro de este apartado se procede a la elaboración de 10 prácticas que permiten visualizar la funcionalidad del módulo didáctico y las herramientas que contiene, las actividades a desarrollar son las siguientes:

- Declaración de variables para entradas y salidas para un control on/off de salidas digitales utilizando set/reset.
- Lectura de entradas analógicas con funciones de normalizar y escalar.
- Control de salidas mediante el uso de contadores y comparadores.
- Simulación de 2 semáforos con 6 salidas digitales utilizando un controlador S7-1500 y simularlo en un HMI.
- Control secuencial de un motor a través de un variador de frecuencia.
- Diseño y control de temperatura para un proceso industrial utilizando on/off.
- Sintonización de control PID de temperatura mediante KOP utilizando ZN.
- Control PID de temperatura mediante SCL.
- Diseño y control de temperatura y nivel de un control industrial utilizando PID con Windup.
- Diseño de aplicación HMI para control de temperatura y nivel

#### 4.1. Practica 1



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	1	Control On/Off de salidas digitales utilizando SET – RESET

#### OBJETIVOS

- Utilizar el módulo de salidas digitales que integra el PLC S7-1500.
- Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 las salidas digitales utilizando SET-RESET, se utiliza lenguaje KOP
- Elaborar el interfaz HMI que permita interactuar al usuario final con las salidas digitales.
- Cargar el programa realizado y elaborar pruebas de funcionamiento en el módulo didáctico.

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las bobinas set y reset son elementos bastante utilizados en la programación de distintos controladores lógicos programables o relés inteligentes por diversos aspectos tales como reducir el uso de circuitos para enclavamiento o simplemente para fijar un estado lógico desde distintos puntos del programa. Por ello es importante que los estudiantes de Electrónica y Automatización conozcan el uso correcto de los mismos. Para esta práctica se propone la realización de una secuencia de encendido de luces piloto presente en el módulo didáctico. A través de un botón (I0.0) se da inicio al cambio de estado de las salidas digitales; para ello se creó un bloque función que realice esa tarea. El bloque de función se utiliza para controlar 8 bits y aprovechando las cualidades de bloques FB se ha llamado al mismo 2 veces en el programa principal (Main – OB1).

## DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 44.

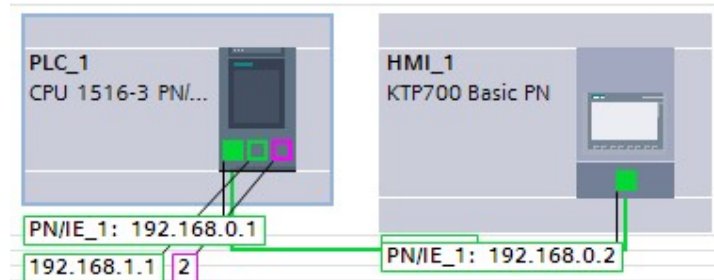


Figura 44. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700

**Variables:** Las variables que se utilizará en la práctica 1 se observan en la Figura 45.

P1		
	Nombre	Tipo de datos
1	Input	
2	Start	Bool
3	Stop	Bool
4	Pulse	Bool
5	Output	
6	Q0	Bool
7	Q1	Bool
8	Q2	Bool
9	Q3	Bool
10	Q4	Bool
11	Q5	Bool
12	Q6	Bool
13	Q7	Bool
14	InOut	
15	<Agregar>	
16	Static	
17	Aux1	Bool
18	On	Bool
19	Aux2	Bool
20	Lock	Bool
21	Aux3	Bool
22	Aux4	Bool

Figura 45. Variables Práctica 1.

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 46.

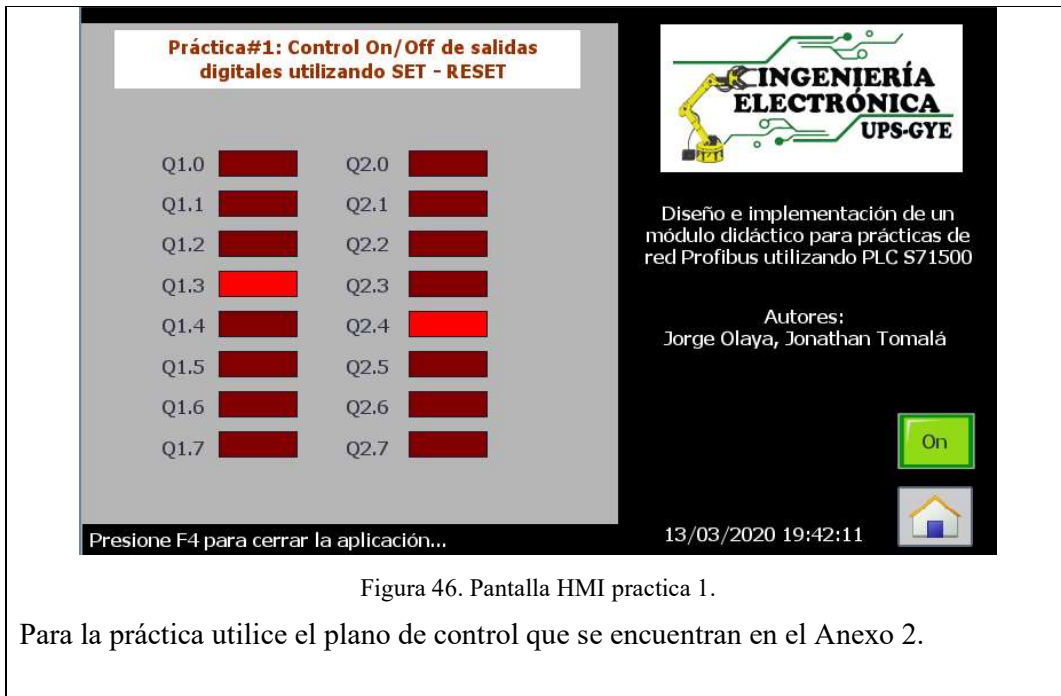
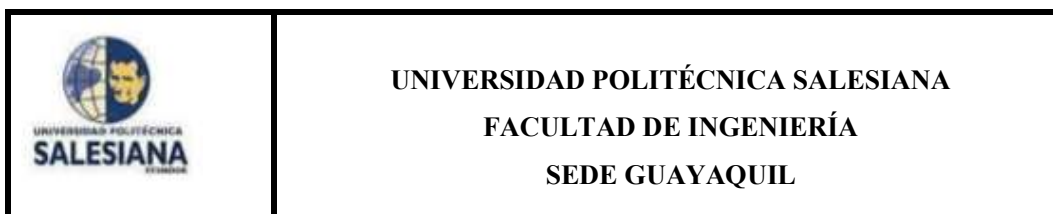


Figura 46. Pantalla HMI practica 1.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 2.

## 4.2. Practica 2



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	2	Lectura de entradas analógicas con funciones normalizar y escalar

OBJETIVOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizar el módulo de lecturas analógicas que integra el PLC S7-1500.</li><li>• Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 la lectura de entradas analógicas con las funciones normalizar y escalar</li><li>• Elaborar el interfaz HMI que permita interactuar al usuario final visualizar la lectura de entradas analógicas.</li><li>• Cargar el programa realizado y elaborar pruebas de funcionamiento en el módulo didáctico.</li></ul>

PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA
<p>Las variables analógicas son muy importantes en la automatización de procesos en la actualidad debido a que muchos de estos son dinámicos y dependen de muchos factores. Para esta práctica se realizará el monitoreo de 3 canales analógicos cuyas señales de entrada serán seleccionadas a través de distintos campos de entrada/salida desde la interfaz hombre-máquina (HMI). Para facilitar la comprensión y reducir la programación utilizada se empleará los bloques para normalizar y escalar una variable, los mismos que estarán alojados en un bloque tipo función (FC), esta función se llama dentro del bloque FB.</p>



## DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 47.

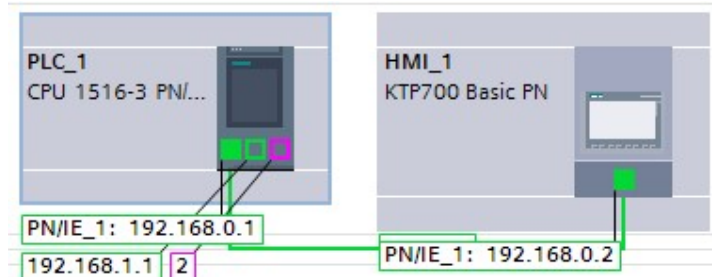


Figura 47. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 2

**Variables:** Las variables que se utilizara en la practica 2 se observan en la Figura 48.

P2			
	Nombre	Tipo de datos	Offset
1	Input		
2	Start	Bool	0.0
3	Stop	Bool	0.1
4	AI0	UInt	2.0
5	AI1	UInt	4.0
6	AI2	UInt	6.0
7	AI3	UInt	8.0
8	AI4	UInt	10.0
9	AI5	UInt	12.0
10	AI6	UInt	14.0
11	AI7	UInt	16.0
12	Sel_A	USInt	18.0
13	Sel_B	USInt	19.0
14	Sel_C	USInt	20.0
15	Output		
16	Signal_A	Real	22.0
17	Signal_B	Real	26.0
18	Signal_C	Real	30.0
19	InOut		
20	Static		
21	On	Bool	34.0
22	AIA_norm	Real	36.0
23	AIB_norm	Real	40.0
24	AIC_norm	Real	44.0
25	AIA	UInt	48.0
26	AIB	UInt	50.0
27	AIC	UInt	52.0

Figura 48. Variables Practica 2.

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 49.

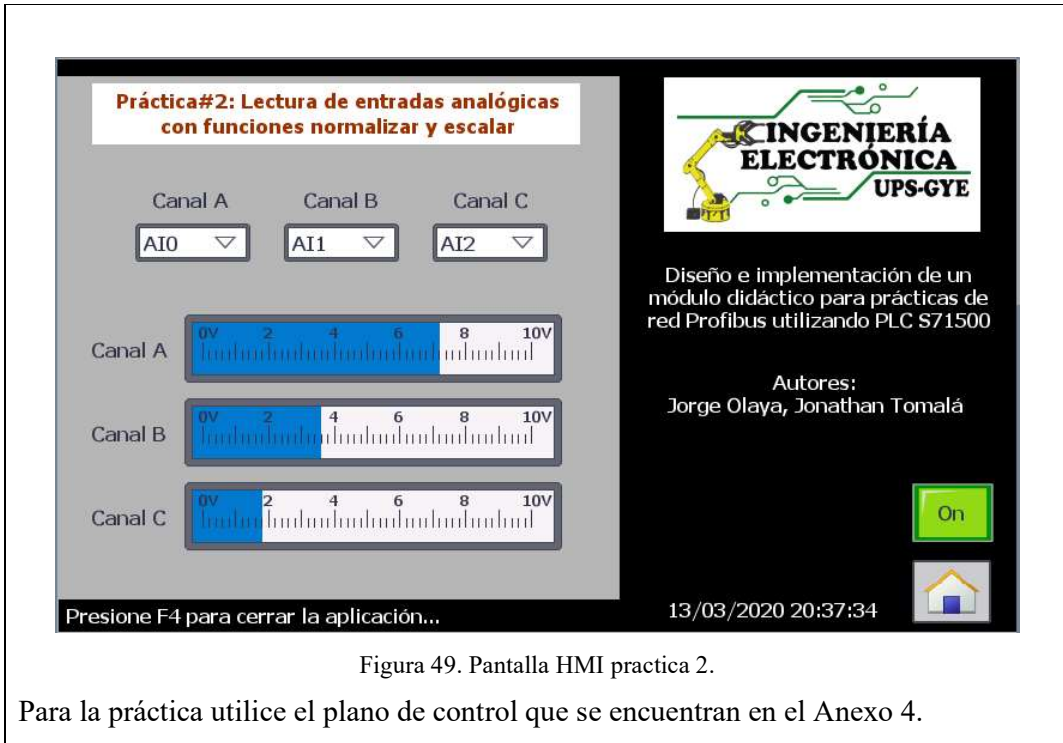
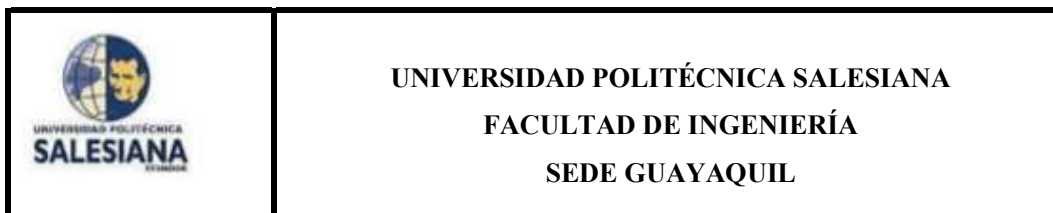


Figura 49. Pantalla HMI practica 2.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 4.

### 4.3. Practica 3



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	3	Control de salida mediante el uso de contadores y comparadores

OBJETIVOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizar el módulo de salidas digitales que integra el PLC S7-1500.</li><li>• Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 la para simular una banda transportadora con secuenciadores y comparadores</li><li>• Elaborar el interfaz HMI que permita interactuar al usuario final con la banda transportadora e interactúe con el modulo didáctico</li><li>• Cargar el programa realizado y elaborar pruebas de funcionamiento en el módulo didáctico.</li></ul>

PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA
<p>La activación secuencial de salidas digitales es una práctica bastante común en procesos reales. Una técnica utilizada para controlar el sentido y tiempo de encendido de cada uno de los actuadores presentes en el sistema consiste en tener una variable que registre el número de pasos que se van ejecutando. Este índice puede incrementarse a través de un evento externo (sensor), pero en el caso de esta práctica se ha utilizado una marca de ciclo de 1Hz y un bloque contador ascendente; adicional a ello se utilizan comparadores para decidir el momento en cada actuador será activado. Para animar</p>

esta secuencia se ha diseñado una aplicación HMI para simulador el avance de una caja a través de una banda transportadora.

## DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 50.

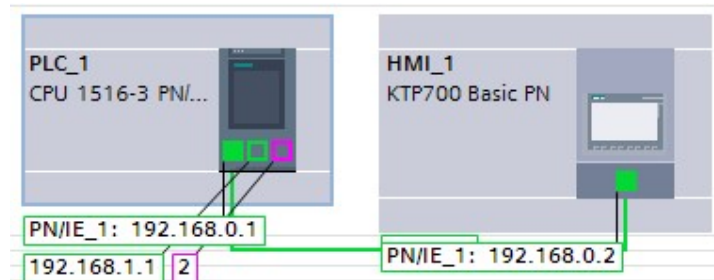


Figura 50. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 3

**Variables:** Las variables que se utilizara en la practica 3 se observan en la Figura 51.

P3		
	Nombre	Tipo de datos
1	▼ Input	
2	Start	Bool
3	Stop	Bool
4	Clock	Bool
5	▼ Output	
6	Q0	Bool
7	Q1	Bool
8	Q2	Bool
9	Q3	Bool
10	Q4	Bool
11	Q5	Bool
12	Q6	Bool
13	Q7	Bool
14	▼ InOut	
15	<Agrega>	
16	▼ Static	
17	On	Bool
18	Dir	Bool
19	Aux1	Bool
20	Aux2	Bool

Figura 51. Variables/ Practica 3.

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 52.

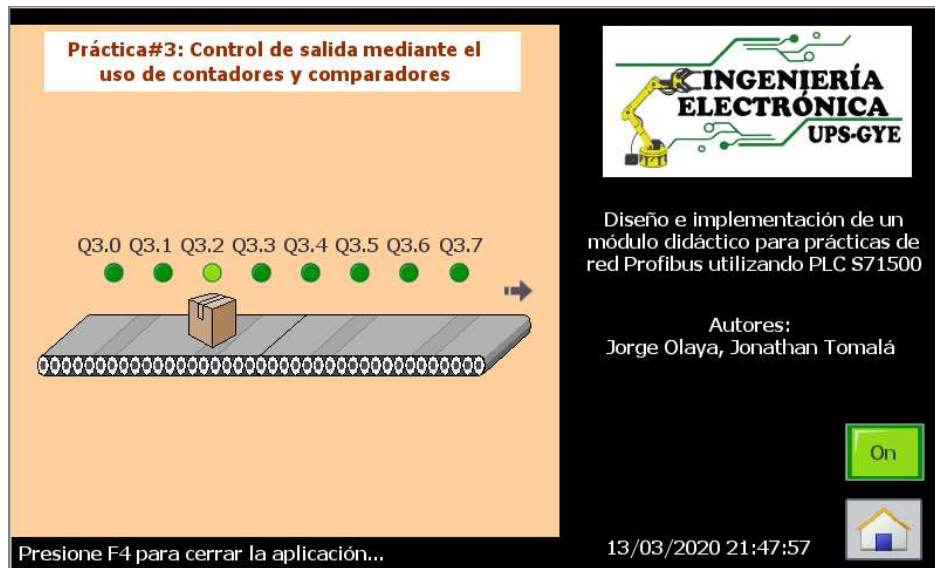
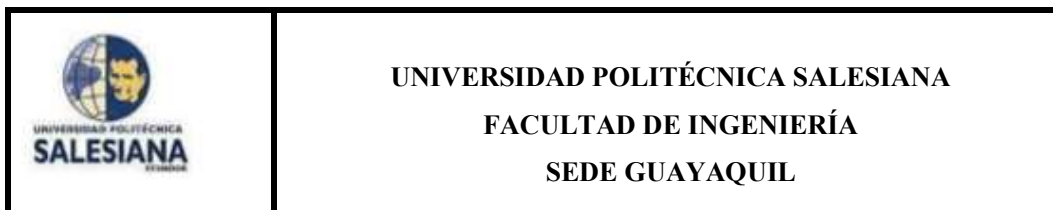


Figura 52. Pantalla HMI practica 3.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 6.

#### 4.4. Practica 4



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	4	Simulación de dos semáforos con 6 salidas físicas digitales utilizando un controlador S7-1500

OBJETIVOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizar el módulo de salidas digitales que integra el PLC S7-1500.</li><li>• Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 para el control temporizado de los semáforos.</li><li>• Elaborar un interfaz HMI para la visualización de los cambios y funcionamiento de temporización, que se visualiza en los semáforos.</li><li>• Cargar el programa realizado y elaborar pruebas de funcionamiento en el módulo didáctico.</li></ul>

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
<p>En esta práctica se realiza una implementación de un semáforo de 2 vías utilizando un bloque de temporización y contactos de comparación, con esta técnica se utilizan dos constantes de tiempo para limitar la activación de las luces pilotos de color verde y amarillo. Cabe mencionar que se hace uso de entradas en el bloque de función para poder manipular los tiempos de habilitación de las salidas digitales.</p>

## DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 53.

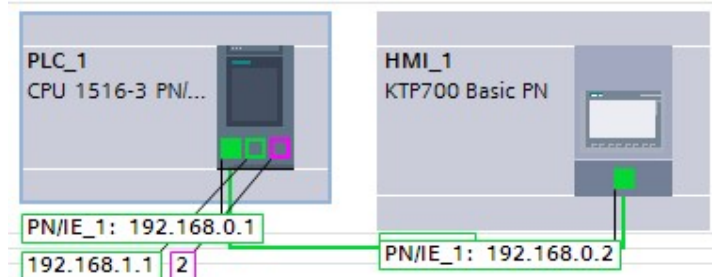


Figura 53. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 4

**Variables:** Las variables que se utilizara en la practica 4 se observan en la Figura 54.

P4		
	Nombre	Tipo de datos
1	▼ Input	
2	Start	Bool
3	Stop	Bool
4	TG_ms	UDInt
5	TY_ms	UDInt
6	▼ Output	
7	G1	Bool
8	Y1	Bool
9	R1	Bool
10	G2	Bool
11	Y2	Bool
12	R2	Bool
13	▼ InOut	
14	<Agregar>	
15	▼ Static	
16	On	Bool
17	Period	DWord
18	Current_Time	DWord
19	Half_period	DWord
20	Time1	DWord

Figura 54. Variables/ Practica 4.

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 55.

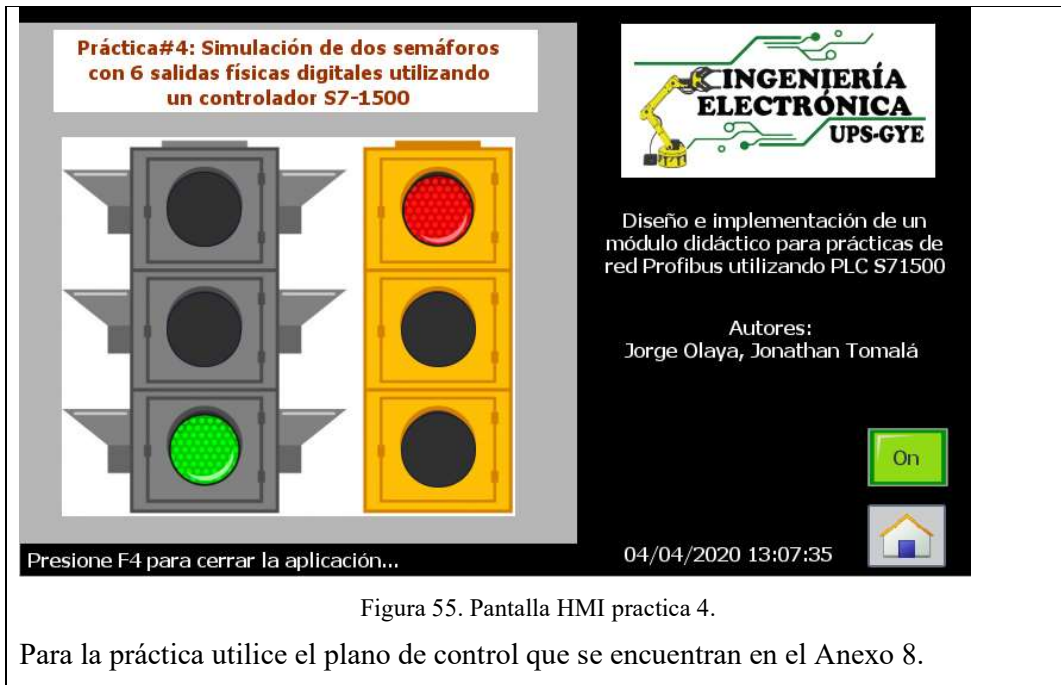
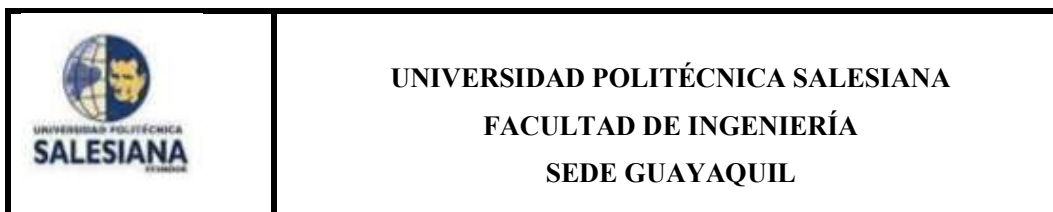


Figura 55. Pantalla HMI practica 4.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 8.



#### 4.5. Practica 5



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	5	Control secuencial de un motor a través de un variador de frecuencia

#### OBJETIVOS

- Realizar las conexiones necesarias entre el PLC S7-1500 y el panel de variador de frecuencia y el motor trifásico
- Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 dos modos de trabajo automático y manual para la variación de la frecuencia.
- Elaborar un interfaz HMI para la visualización las curvas de trabajo del motor
- Cargar el programa realizado y elaborar pruebas de funcionamiento en el módulo didáctico.

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta práctica se propone el control de un variador de frecuencia (Drive) para regular la velocidad de un motor trifásico. Se ha considerado dos modos de operación, Manual y Automático; en modo Manual el usuario podrá especificar el valor de frecuencia que desea aplicar al motor (valor entre 0 y 60Hz), en modo Automática se ha programado un cambio de frecuencia temporizado para observar la dinámica del motor a través de un visualizador de curvas en el panel de operador (HMI). Cabe mencionar que el tipo de conexión utilizada para el variador es control analógico, lo cual implica generar una señal analógica proporcional a la frecuencia deseada en el motor a través de control escalar.

## DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 56.

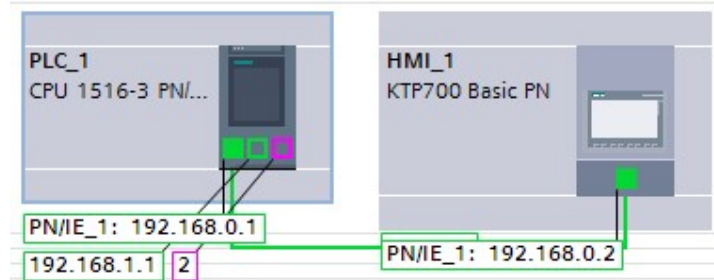


Figura 56. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 5

**Variables:** Las variables que se utilizara en la practica 3 se observan en la Figura 57.

P5		
	Nombre	Tipo de datos
1	Input	
2	Start	Bool
3	Stop	Bool
4	Frecuency	Real
5	Sequence	Bool
6	Output	
7	On_Off	Bool
8	AQ	Int
9	InOut	
10	<Agregar>	
11	Static	
12	AQ_norm	Real

Figura 57. Variables/ Practica 5.

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 58.

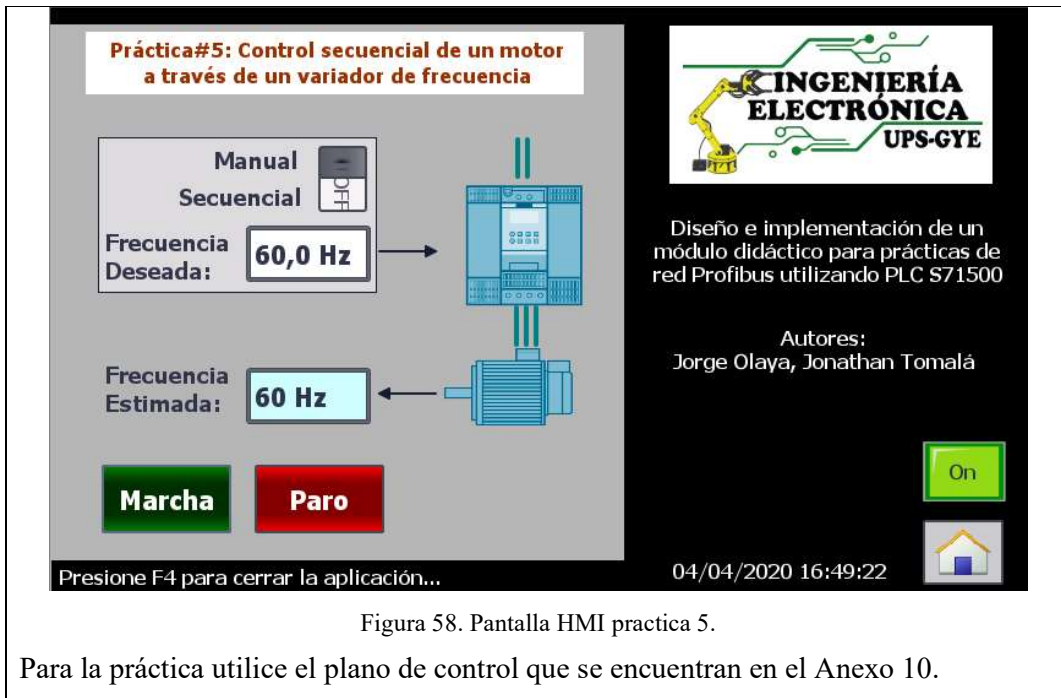


Figura 58. Pantalla HMI practica 5.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 10.

#### 4.6. Practica 6



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	6	Diseño de controlador ON/OFF de temperatura para un proceso industrial

OBJETIVOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar las conexiones necesarias en el módulo didáctico.</li><li>• Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 la configuración los sensores y actuadores descritos en el planteamiento de la practica</li><li>• Elaborar un interfaz HMI para la visualización de los niveles de líquido y temperatura, además de botones que interactúen con el usuario.</li><li>• Cargar el programa realizado y elaborar pruebas de funcionamiento en el módulo didáctico.</li></ul>

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
<p>En esta práctica se implementa un control de tipo todo o nada para regular la temperatura del agua que se encuentra circulando entre 2 tanques. Para tal efecto, se cuenta con una resistencia de calentamiento conectada a un relé de estado sólido la cual será activada desde una salida digital del PLC. La medición de temperatura es realizada por una PT100 que incluye un transmisor de 4 a 20mA para conectarse a una entrada analógica del S7-1500. Para la conexión del transmisor de temperatura se ha considerado una conexión de 4 hilos. Para mantener el nivel de líquido adecuado y que el calentador no se encienda a vacío, se ha realizado un control proporcional de volumen en el tanque inferior considerando un valor de referencia de 5lts. Este control de volumen utiliza como actuador la bomba de trasvasije para retirar el agua del tanque inferior cuando pase del valor de referencia. Adicional a ello se ha incluido un botón</p>

llamado “Test” para ejecutar una rutina de trasvasije sin actuación de la resistencia calefactora, de tal manera que el fluido podría decrementar su temperatura.

## DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 59.

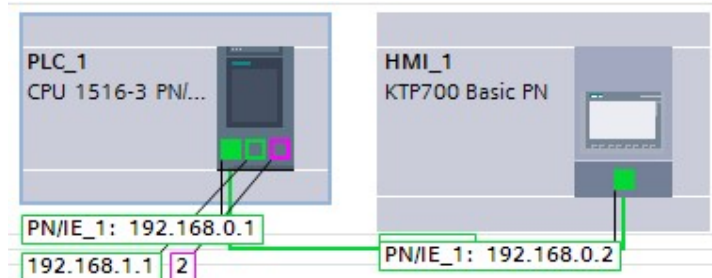


Figura 59. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 6

**Variables:** Las variables que se utilizara en la practica 6 se observan en la Figura 60.

P6				
	Name	Data type	Offset	Default value
1	Input			
2	Start	Bool	0.0	false
3	Stop	Bool	0.1	false
4	Safety_level	Bool	0.2	false
5	Temp_AI	UInt	2.0	0
6	Temp_SP	USInt	4.0	0
7	Pres_AI	UInt	6.0	0
8	Test	Bool	8.0	false
9	Level_AI	UInt	10.0	0
10	Output			
11	On_Off	Bool	12.0	false
12	Eval1	Bool	12.1	false
13	Eval2	Bool	12.2	false
14	Heater	Bool	12.3	false
15	AQ_Pump	UInt	14.0	0
16	Temp	Real	16.0	0.0
17	Vol	Real	20.0	0.0
18	Level	Real	24.0	0.0
21	Static			
22	AI_norm	Real	28.0	0.0
23	HL_Temp	Real	32.0	0.0
24	LL_Temp	Real	36.0	0.0
25	AI3_norm	Real	40.0	0.0
26	Test_on	Bool	44.0	false
27	Test_2	Bool	44.1	false
28	Test_3	Bool	44.2	false
29	AI_norm1	Real	46.0	0.0

Figura 60. Variables/ Practica 6.

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 61.

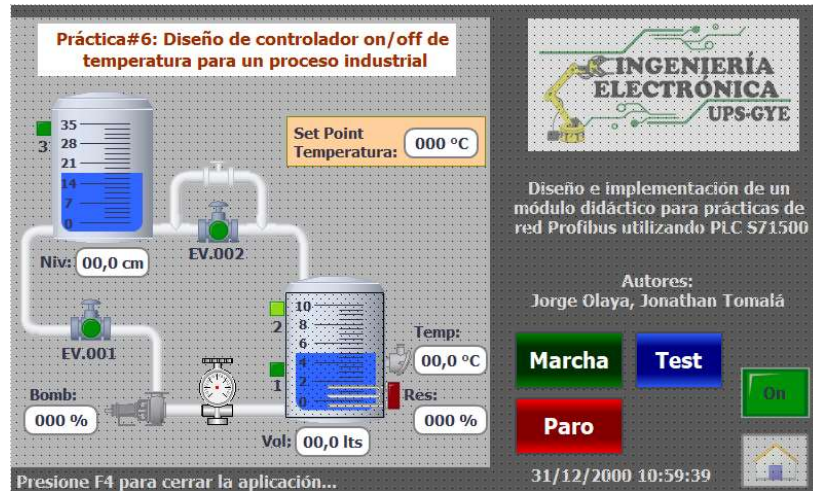
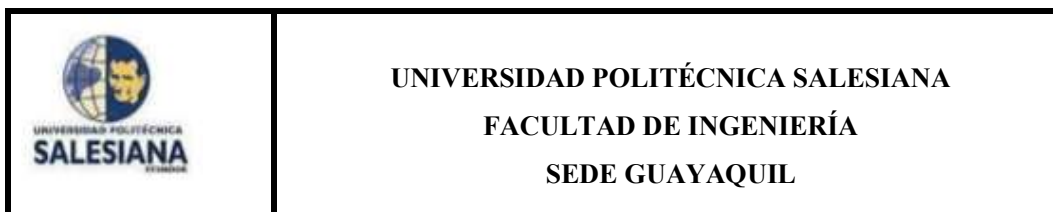


Figura 61. Pantalla HMI practica 6.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 12 y Anexo 21.

#### 4.7. Practica 7



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	7	Sintonización de control PID de temperatura mediante KOP

OBJETIVOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar las conexiones del módulo didáctico necesarias para la práctica.</li><li>• Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 la configuración los sensores y actuadores para el control de temperatura mediante sintonización de PID</li><li>• Elaborar un interfaz HMI para la visualización e interacción del usuario final con el modulo didáctico.</li><li>• Cargar el programa realizado y elaborar pruebas de funcionamiento en el módulo didáctico.</li></ul>

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
<p>En la presente práctica se integran conocimientos de teoría de control trabajando de forma conjunta con tecnología de automatización para implementar soluciones rápidas y eficaces. Se trata de controlar de forma continua la temperatura de un fluido considerando un bajo porcentaje de sobre elongación y un corto tiempo de respuesta basado obviamente en la dinámica de la planta; se indica ese detalle ya que al tratarse de sistemas térmicos por lo general los tiempos de respuestas son alargados. Para ello, se cuenta con una resistencia de calentamiento conectada a un relé de estado sólido la cual será activada desde una salida digital del PLC utilizando el método de modulación de ancho de pulso (PWM). La medición de temperatura es realizada por una PT100 que incluye un transmisor de 4 a 20mA para conectarse a una entrada analógica del S7-</p>

1500. Para la conexión del transmisor de temperatura se ha considerado una conexión de 4 hilos. Para mantener el nivel de líquido adecuado y que el calentador no se encienda a vacío, se ha realizado un control proporcional de volumen en el tanque inferior considerando un valor de referencia de 5lts. Este control de volumen utiliza con actuador la bomba de trasvasije para retirar el agua del tanque inferior cuando pase del valor de referencia. Adicional a ello se ha incluido un botón llamado “Test” para ejecutar una rutina de trasvasije sin actuación de la resistencia calefactora, de tal manera que el fluido podría decrementar su temperatura.

### DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 62.

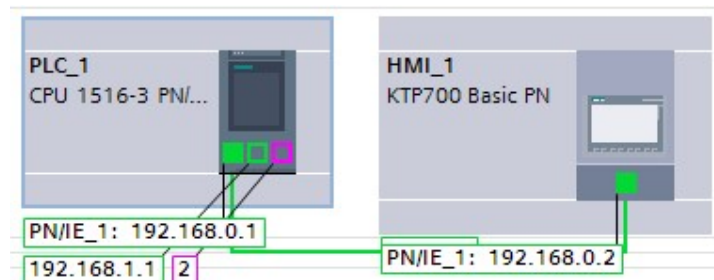


Figura 62. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 7

**Variables:** Las variables que se utilizara en la practica 7 se observan en la Figura 63.

P7				
	Name	Data type	Offset	Default value
1	Input			
2	Start	Bool	0.0	false
3	Stop	Bool	0.1	false
4	Safety_level	Bool	0.2	false
5	Temp_AI	UInt	2.0	0
6	Temp_SP	USInt	4.0	0
7	Pres_AI	UInt	6.0	0
8	Test	Bool	8.0	false
9	Level_AI	UInt	10.0	0
10	Output			
11	On_Off	Bool	12.0	false
12	Eval1	Bool	12.1	false
13	Eval2	Bool	12.2	false
14	Heater	Bool	12.3	false
15	AQ_Pump	UInt	14.0	0
16	Temp	Real	16.0	0.0
17	PWM_duty	Real	20.0	0.0
18	Vol	Real	24.0	0.0
19	Level	Real	28.0	0.0
22	Static			
23	AI_norm	Real	32.0	0.0
24	HL_Temp	Real	36.0	0.0
25	LL_Temp	Real	40.0	0.0
26	AI3_norm	Real	44.0	0.0
27	Test_on	Bool	48.0	false
28	Test_2	Bool	48.1	false
29	Test_3	Bool	48.2	false
30	AI_norm1	Real	50.0	0.0

Figura 63. Variables/ Practica 7.

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 64.



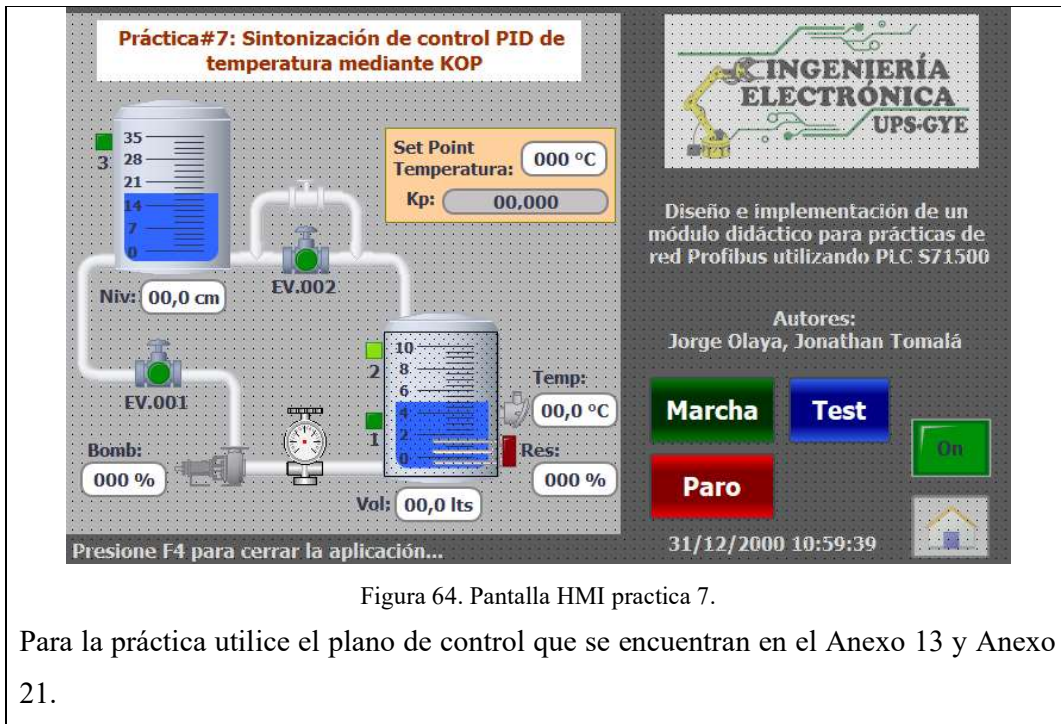


Figura 64. Pantalla HMI practica 7.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 13 y Anexo 21.

#### 4.8. Practica 8



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	8	Control PID de temperatura mediante SCL

OBJETIVOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar las conexiones del módulo didáctico necesarias para la práctica.</li><li>• Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 la configuración de control PID de temperatura mediante SCL.</li><li>• Elaborar un interfaz HMI para la visualización e interacción del usuario final con el modulo didáctico.</li></ul>

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
<p>En aplicaciones diversas usualmente existen una variedad de lenguajes de programación integrados, lo cual incluye texto estructurado. Este último puede integrar especialistas de otras áreas como sistemas computacionales. Para esta práctica se tiene contemplado mantener la funcionalidad de la práctica anterior donde se realiza un control proporcional de temperatura y obviamente un control de volumen para mantener el suficiente fluido para protección de la resistencia calefactora. La diferencia principal radica en la metodología para el llamado de los diferentes comandos que se utilizan para controlar la planta. Para este caso el uso de programación textual ayuda a reducir la memoria utilizada por el autómata. Otro enfoque de este lenguaje podría ser la comparación entre la lógica de contactos con los comandos de texto, por ejemplo la diferencia entre el uso de lógica booleana de forma directa con los comando set y reset en conjunto con las sentencias if-then.</p>

## DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 65.

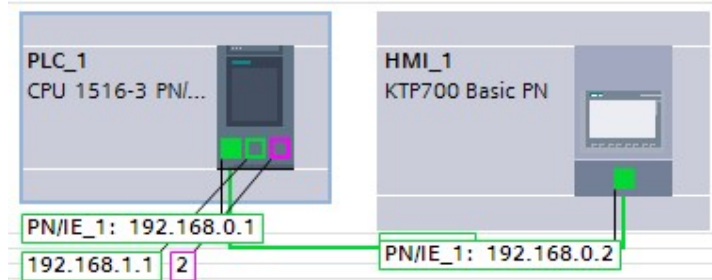


Figura 65. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 8

**Variables:** Las variables que se utilizara en la practica 8 se observan en la Figura 66.

	Name	Data type	Offset	Default value
1	Input			
2	Start	Bool	0.0	false
3	Stop	Bool	0.1	false
4	Safety_level	Bool	0.2	false
5	Temp_AI	UInt	2.0	0
6	Temp_SP	USInt	4.0	0
7	Pres_AI	UInt	6.0	0
8	Test	Bool	8.0	false
9	Level_AI	UInt	10.0	0
10	Output			
11	On_Off	Bool	12.0	false
12	Eval1	Bool	12.1	false
13	Eval2	Bool	12.2	false
14	Heater	Bool	12.3	false
15	AQ_Pump	UInt	14.0	0
16	Temp	Real	16.0	0.0
17	PWM_duty	Real	20.0	0.0
18	Vol	Real	24.0	0.0
19	Level	Real	28.0	0.0
22	Static			
23	AI_norm	Real	32.0	0.0
24	HL_Temp	Real	36.0	0.0
25	LL_Temp	Real	40.0	0.0
26	AI3_norm	Real	44.0	0.0
27	Test_on	Bool	48.0	false
28	Test_2	Bool	48.1	false
29	Test_3	Bool	48.2	false
30	AI_norm1	Real	50.0	0.0

Figura 66. Variables/ Practica 8.

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 64.

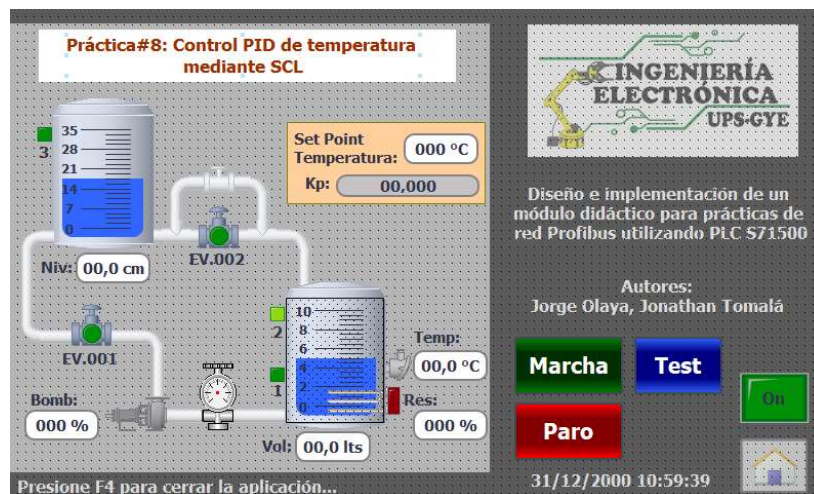
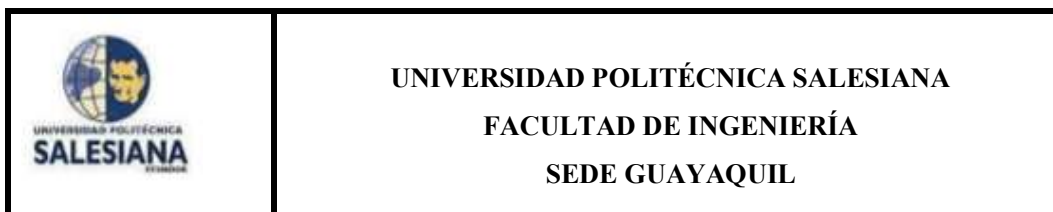


Figura 67. Pantalla HMI practica 8.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 15 y Anexo 21.

#### 4.9. Practica 9



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	9	Diseño de controladores de temperatura y nivel para proceso industrial utilizando PID

OBJETIVOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar las conexiones del módulo didáctico necesarias para la práctica.</li><li>• Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 el proceso para los controladores de temperatura y nivel industrial utilizando PID.</li><li>• Elaborar un interfaz HMI para la visualización e interacción del usuario final con el modulo didáctico.</li></ul>

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
<p>En esta práctica se han implementado dos controladores para nivel y temperatura de un proceso que contiene 2 tanques y una recirculación de fluido. Para el tanque superior se está realizando un control PID para mantener el nivel según especificaciones y en el tanque inferior se ha realizado un control proporcional de temperatura según el valor deseado por el operador. Esta práctica integra todos los actuadores presentes en la planta y hace uso del bloque de control PID_Compact. Se ha utilizado las herramientas de sintonización para el bloque PID escogiendo el ajuste fino como base. Adicional a ello se debe tener en cuenta un tiempo de muestreo de 100ms para todos los controladores.</p>

## DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 68.

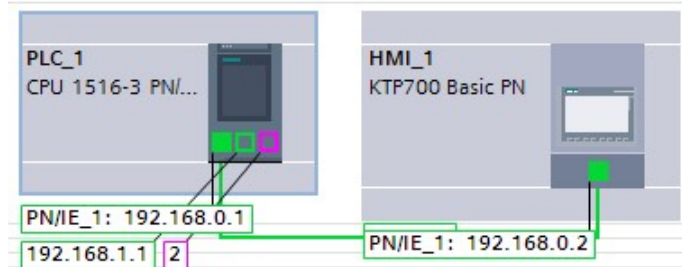


Figura 68. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 9

**Variables:** Las variables que se utilizara en la practica 9 se observan en la Figura 69.

	Name	Data type	Offset	Default value
<b>Input</b>				
1	Start	Bool	0.0	false
2	Stop	Bool	0.1	false
3	Safety_level	Bool	0.2	false
4	Filled_tank	Bool	0.3	false
5	Temp_AI	UInt	2.0	0
6	Level_AI	UInt	4.0	0
7	Temp_SP	USInt	6.0	0
8	Level_SP	USInt	7.0	0
9	Pres_AI	UInt	8.0	0
<b>Output</b>				
10	On_Off	Bool	10.0	false
11	Eval1	Bool	10.1	false
12	Eval2	Bool	10.2	false
13	Heater	Bool	10.3	false
14	AQ_Pump	UInt	12.0	0
15	Temp	Real	14.0	0.0
16	PWM_duty	Real	18.0	0.0
17	Level	Real	22.0	0.0
18	Vol	Real	26.0	0.0
<b>Static</b>				
23	AI_norm	Real	30.0	0.0
24	HI_Temp	Real	34.0	0.0
25	LL_Temp	Real	38.0	0.0
26	AI_norm1	Real	42.0	0.0
27	Voltage_Pump	Real	46.0	0.0
28	AQ_norm	Real	50.0	0.0
29	Stable_Temp	Bool	54.0	false
30	Stable_Level	Bool	54.1	false
31	AI3_norm	Real	56.0	0.0

Figura 69. Variables/ Practica 9.

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 64.

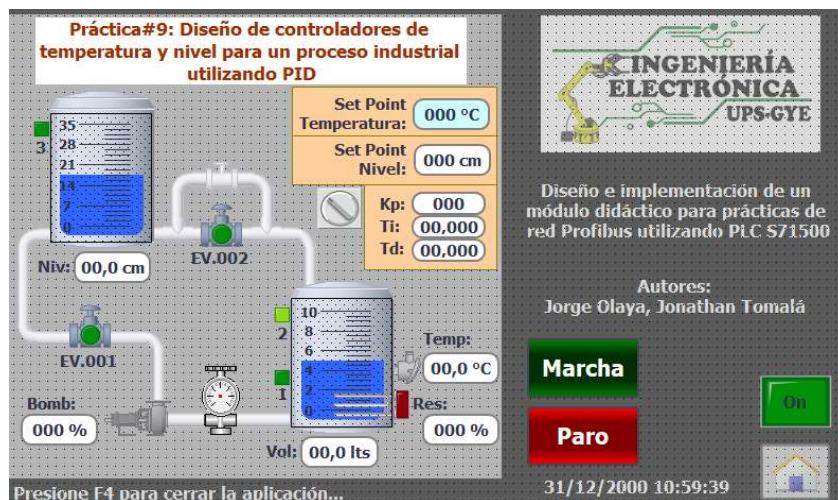


Figura 70. Pantalla HMI practica 9.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 17 y Anexo 21.

#### 4.10. Practica 10



CARRERA	PRÁCTICA Nº	NOMBRE DE LA PRÁCTICA
ELECTRÓNICA	10	Diseño de aplicación humano - máquina para control de temperatura y nivel utilizando WinCC RT Advanced.

#### OBJETIVOS

- Realizar las conexiones del módulo didáctico necesarias para la práctica.
- Configurar mediante el programa TIA PORTAL v15 y su complemento WinCC RT Advanced el interfaz humano máquina para control de temperatura y nivel.
- Elaborar un interfaz HMI para la visualización e interacción del usuario final con el modulo didáctico.

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el desarrollo de esta práctica se considerará la misma lógica de control utilizada en la práctica previa e implementada en el PLC. El enfoque de este ejercicio se basa en el diseño de una interfaz de monitoreo utilizando el software WinCC RT Advanced de tal forma que se pueda interactuar con el proceso desde un PC de escritorio.

#### DIAGRAMA DE CONEXIONES

**Conexión de red:** Se solicita realizar el siguiente tipo de conexión que se muestra en la Figura 71.



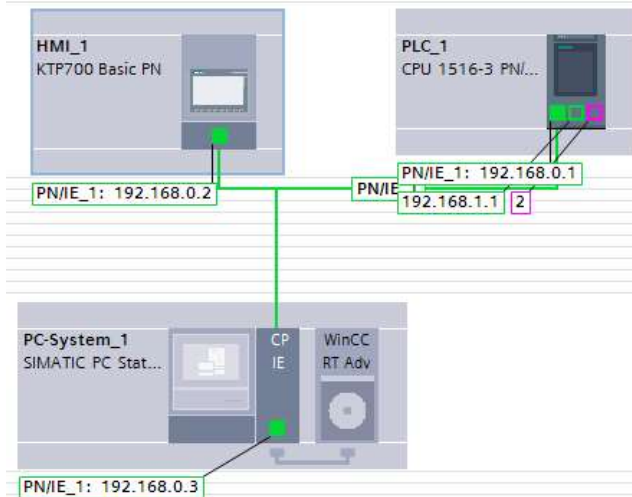


Figura 71. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 Practica 10

**Pantalla HMI:** Dentro del software PORTAL TIA v15 se solicita realizar en esta práctica el interfaz que se observa en la Figura 72.

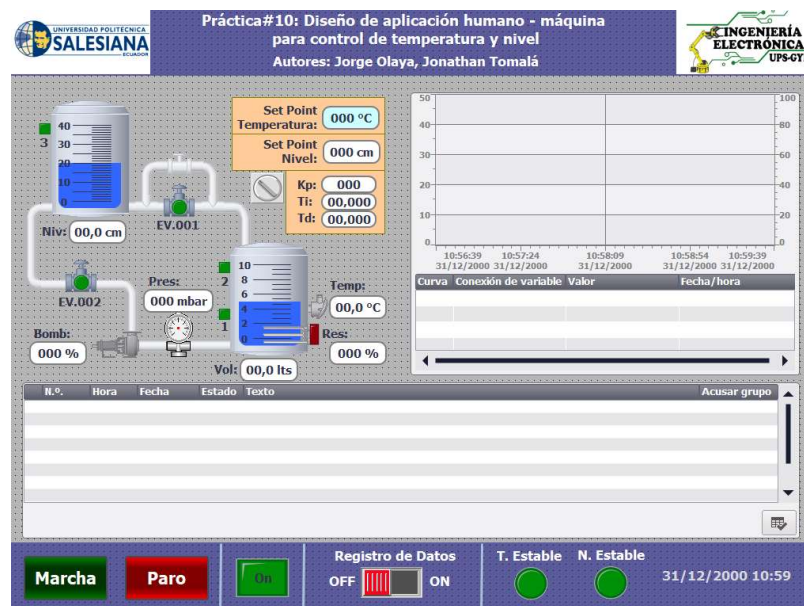


Figura 72. Pantalla HMI practica 10.

Para la práctica utilice el plano de control que se encuentran en el Anexo 19 y Anexo 21.

## Resultados

### 5.1. Análisis de resultados.

Las simulaciones de situaciones reales de la industria planteadas para las practicas que se realizaron con el software TIA PORTAL V15 se desarrollaron de forma completa, permitiendo que se alcance parámetros lo más cercanos a un proceso real de industrias, tanto el control PID, manejo de entradas y salidas tanto digitales como analógicas ha permitido integrar cada una de las practicas formando una base de procesos que permitan ser trasladados a la implementación y trabajo en la industria.

A continuación, se muestra los resultados de cada una de las practicas elaboradas y los detalles de cada proceso:

- La primera practica consistía en un control On/Off de salidas digitales utilizando SET-RESET lo que permite que los estudiantes realicen una práctica básica de configuración de un PLC, para esta práctica se realizó la conexión de los componentes necesarios en el módulo didáctico como se muestra en la figura 73, y en el módulo HMI KTP-700 se programó un interfaz que permitiera visualizar los cambios de estados de las salidas digitales como se muestra en la figura 74, elaborando por medio de TIA PORTAL V15 la configuración de un sistema de luces piloto que se encienden de forma secuencial.



Figura 73. Conexión física modulo didáctico practica 1.

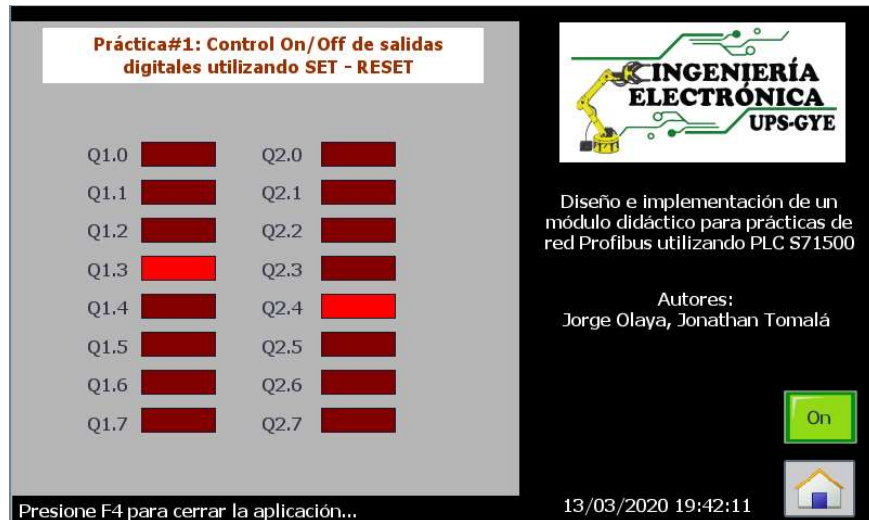


Figura 74. Interfaz Humano maquina practica 1.

- En la práctica dos los estudiantes se ven directamente relacionados con el procesamiento de señales analógicas, para esta práctica se conectó el modulo didáctico como se muestra en la Figura 75, una vez conectado lo solicitado se procede a programar las entradas analógicas que normalmente en la industria representan ciertos sensores de control de procesos, para facilitar la comprensión del estudiante se planteó usar bloques que permitan normalizar y escalar la variable recibida, todo esto mediante un interfaz HMI que se diseñara en la pantalla KTP-700 como se muestra en la figura 76. Todo este proceso se realizó de manera correcta y permite simular procesos industriales reales.



Figura 75. Conexión física modulo didáctico practica 2.

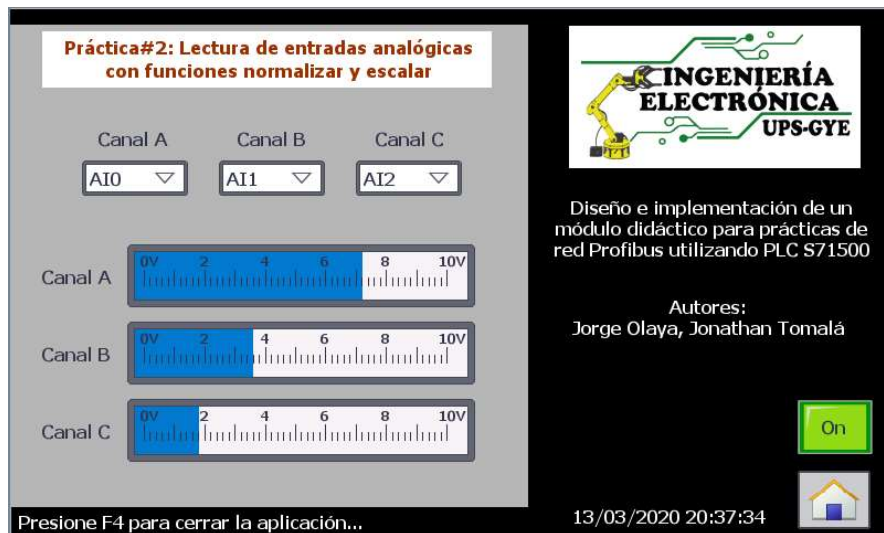


Figura 76. Interfaz Humano maquina practica 2.

- En la tercera practica el estudiante elaborara un programa que controle salidas digitales con contadores y comparadores, esto se utiliza en la industria de forma común en varios tipos de procesos como una banda transportadora, manejo de clasificadores de producto activación de fases de producción, etc. Para esto se realizó la conexión del módulo didáctico como se muestra en la figura 77, y el aprendizaje se vio motivado por medio de una aplicación HMI que simula el avance de una caja en una banda transportadora como se observa en la Figura 78.



Figura 77. Conexión física modulo didáctico practica 3.



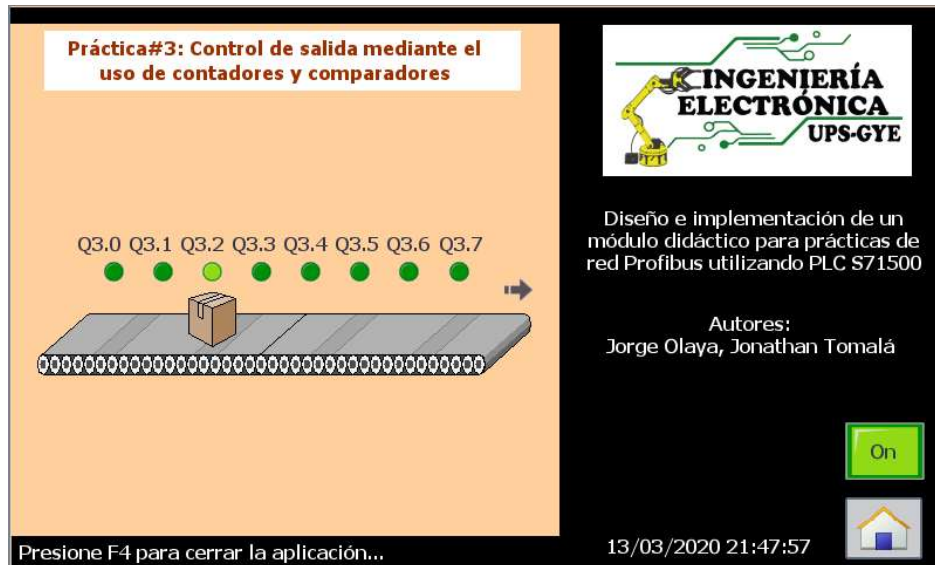


Figura 78. Interfaz Humano maquina practica 3.

- Para la práctica 4 se utilizó los conocimientos del estudiante para la elaboración de un temporizador y contactos de comparación, lo que permite que las constantes de tiempo limiten la activación de las luces piloto verde y amarillo del módulo didáctico, y los tiempos que manipulan las salidas digitales se controlan mediante el uso de las entradas digitales que integran el modulo, para esta práctica se elaboró como se muestra en la figura 79 un interfaz HMI que se visualiza en la pantalla touch KTP-700.



Figura 79. Interfaz Humano maquina practica 4.

- En la practica 5 se realizó el control de un motor por medio de un variador de frecuencia para esto se necesitó conectar el módulo didáctico al panel del motor que permita que el código elaborado en el programa TIA PORTAL V15, se procede a configurar dos modos uno automático que programa cambios de frecuencia para regular la velocidad del motor en base a la programación, y otro manual que permite que el usuario seleccione la frecuencia con valores entre 0 y 60h, todo esto se podrá controlar por medio del HMI como se muestra en la Figura 80 , variador es analógico por lo cual la frecuencia usa un control escalar como se vio en la practica 3. Las conexiones físicas que se realizaron con el fin de simular la practica usando el módulo didáctico se pueden observar en la Figura 81.

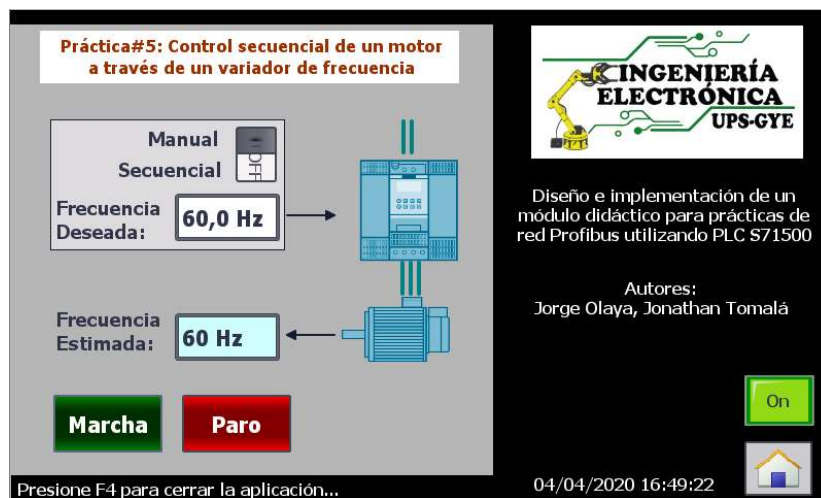


Figura 80. Interfaz Humano maquina practica 5.



Figura 81. Conexión física modulo didáctico practica 5.

- La practica 6 se elaboró de manera que permita controlar el encendido y apagado para controlar la temperatura del agua que está circulando por 2 tanques, en este sentido el estudiante aplicara la programación aprendida en las practicas anteriores para realizar el control de una resistencia de calentamiento que es activada por medio de un relé de estado sólido en una salida digital del PLC, para la medición de la temperatura se utiliza un PT100 que transmite datos analógicos al S7-1500, se tuvo que controlar el volumen del tanque con 5 lts de llenado y que será vaciado cada que supere el valor de referencia, existe en el interfaz HMI un botón Test que ejecuta el trasvasije sin necesidad de usar la resistencia calefactora. El interfaz elaborado se puede ver en la Figura 82.

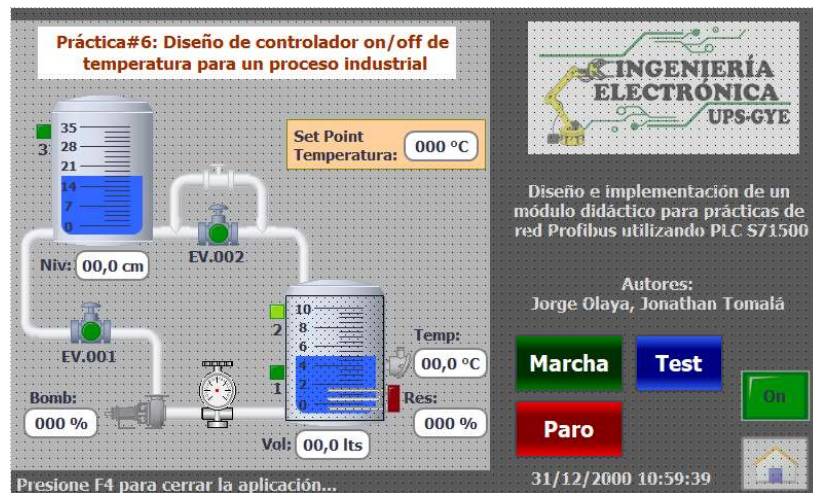


Figura 82. Interfaz Humano maquina practica 6.

- En la practica 7 el estudiante aplica los conocimientos de teoría de control para buscar soluciones rápidas y eficientes de manejar de forma continua la temperatura de un fluido considerando un bajo porcentaje de sobre elongación y un corto tiempo de respuesta basado en la dinámica de la planta, las variables que entran en el escenario fueron la resistencia de calentamiento en una salida digital para su activación, la medición de temperatura con el PT100 en una entrada analógica del S7-1500, que en su conjunto servirán como parámetros para elaborar un control proporcional que mantenga el volumen del tanque inferior y no se encienda la resistencia al vacio. Para completar el ejercicio el estudiante debe elaborar una simulación que se pueda observar en el HMI como se muestra en la Figura 83.



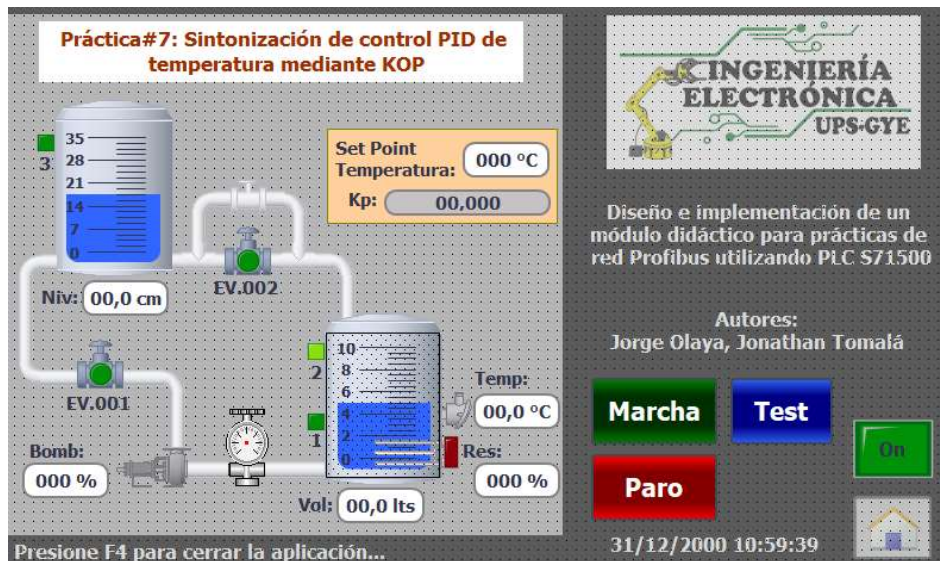


Figura 83. Interfaz Humano maquina practica 7.

- En la practica 8 se utilizó el mismo procedimiento de la practica 7 pero orientada a otro lenguaje enfocado a programación textual que reduce la memoria que utiliza el autómatas, el proceso es similar control proporcional temperatura para controlar el volumen del tanque, y el interfaz HMI se puede observar en la figura 84.

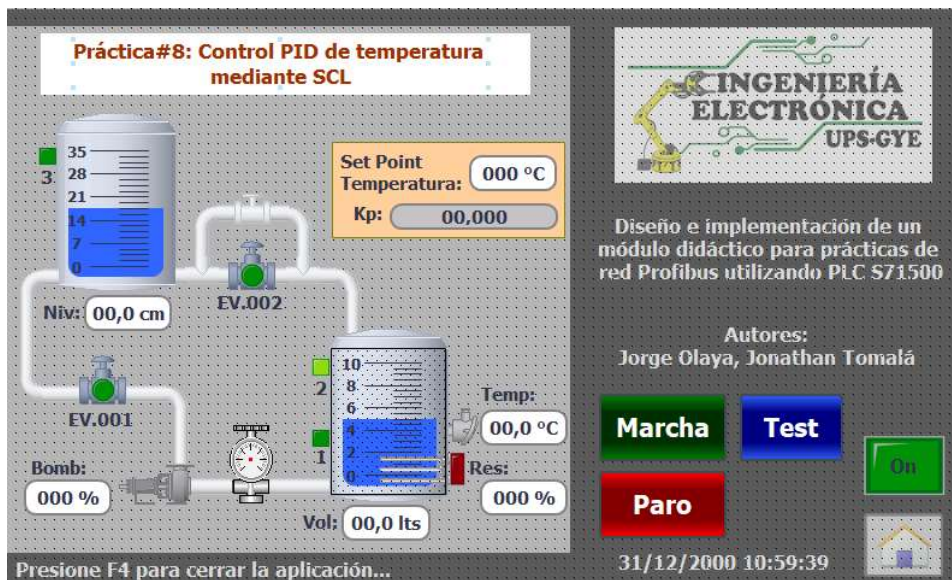


Figura 84. Interfaz Humano maquina practica 8.

- Para la practica 9 se realizó un controlador de nivel y temperatura en los dos tanques y una circulación de fluido, se elaboró un control PID en el tanque superior que mantenga el nivel en base a los parámetros requeridos, mientras que en el tanque inferior se hizo un control proporcional de temperatura en base al



valor impuesto por el operador. Para ahorrar procesos se utilizó el bloque de control PID\_COMPACT y el ajuste fino para sintonizar el PID. El estudiante además realizó un interfaz HMI para interactuar con el proceso simulado que se observa en la figura 85.

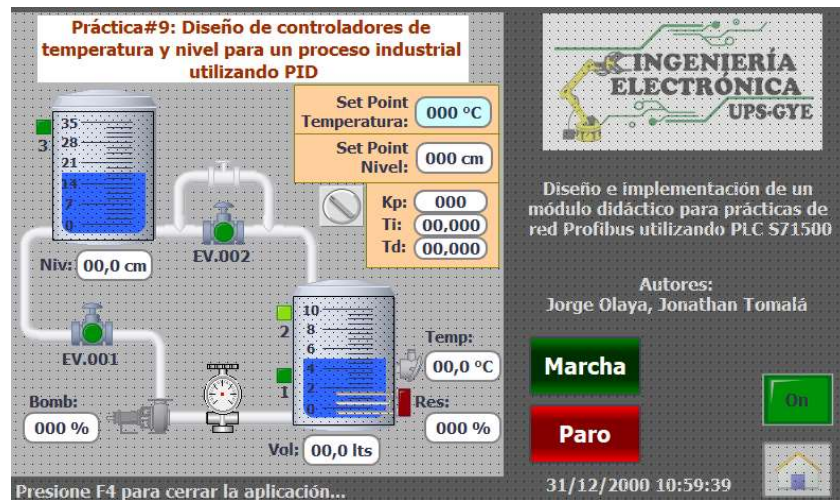


Figura 85. Interfaz Humano maquina practica 9.

- En la practica 10 se realizó un interfaz de monitoreo usando la extensión que complementa a PORTAL TIA V15 que se llama WinCC RT Advanced y de esta manera el usuario pueda interactuar con el proceso desde cualquier ordenador que tenga acceso a la red del PLC. El interfaz elaborado se puede observar en la figura 86.

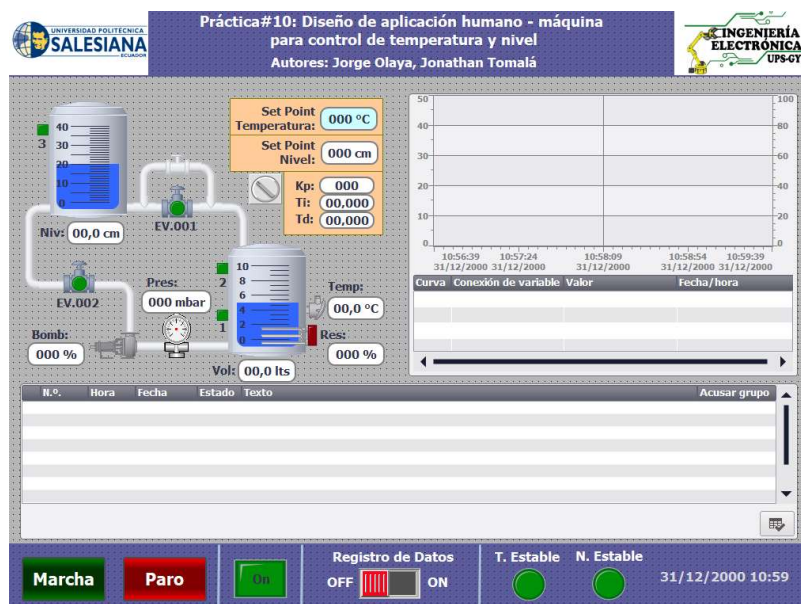


Figura 86. Interfaz Humano maquina practica 10.

## CONCLUSIONES

- Gracias a la correcta implementación y estudio del proyecto de grado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULO DIDACTICO PARA PRACTICAS DE RED PROFIBUS UTILIZANDO PLCS S71500” podemos concluir que a medida que la sociedad avanza las especializaciones tambien y cada vez es mas necesario ambitos en los cuales se pueda simular la vida de un profesional mas aun cuando se trata de una carrera tecnica, por ende la realizacion de este proyecto de grado era sumamente importante puesto que a medida que aplicabamos todos los conocimientos adquiridos durante toda la accrera tambien contribuiamos al heccho de crear y sofisticar espacios para las futuras generaciones de profesionales asi como tambien serviria para pulir los conocimientos ya adquiridos ya sea para titulos de pre-grado y post-grado.
- Se ha logrado por medio del proyecto desarrollado cumplir con todos los objetivos propuestos, dentro de los cuales se puede destacar el diseño e implementación del módulo didáctico con cada uno de los paneles de trabajo planteados para las prácticas, logrando la interconexión de todos los componentes de manera satisfactoria.
- En conclusión, desde la practica 1 hasta la 4 se elaboró un proceso de introducción al manejo de PLCs en donde el estudiante puede verse familiarizado con los módulos de entradas y salidas digitales, además de los módulos de entradas y salidas analógicas aplicando la función de normalizar y escalar para la obtención de datos, todo esto por medio de la programación en KOP con el software PORTAL TIA V15 y la elaboración de un interfaz HMI para interacción con el usuario final.
- Para la practica 5 se logró controlar la velocidad y movimiento de un motor trifásico desde el PLC S7-1500, además de la programación de un interfaz que permitía tanto el manejo manual y automático del proceso. Además de la elaboración de un interfaz HMI en la pantalla touch KTP-700, que permitió

evidenciar al estudiante el trabajo del sistema en frecuencias entre 0 y 60Hz aplicando el uso de salidas analógicas para esta variación.

- La parte final de las prácticas que abarcan desde la 6 a la 10 se plantearon de forma que vayan complementándose y mejorando el rendimiento del proceso de menor a mayor, tomando en cuenta el control de temperatura primero de forma directa hasta llegar a un nivel complejo en donde el control se lo realiza por medio de un PID proporcional, para realizar el vaciado y llenado de tanques en base al nivel de agua y la temperatura que necesita la resistencia calefactora, estas prácticas finalizan con un interfaz tanto local dentro del KTP-700 y remoto desde una PC de escritorio que permite visualizar y controlar en tiempo real el proceso de manera óptima y eficiente reduciendo errores de lectura y procesamiento.

## **RECOMENDACIONES.**

- Es recomendable realizar una estimación de los tiempos de implementación y diseño tomando en cuenta si existen proveedores nacionales para la adquisición de los materiales necesarios, porque en caso contrario es necesario importar los componentes como se dio en esta oportunidad por lo que los tiempos planteados inicialmente se vieron afectados por los tiempos que manejan los proveedores y servicios de transporte y encomienda internacionales.
- Al momento de seleccionar cada componente para cualquier tipo de proceso industrial es recomendable realizar un estudio en base a los parámetros técnicos necesarios, su compatibilidad con el PLC y los módulos que lo integran, así se evita incrementar costos por adaptar señales de los sensores o actuadores.
- Cuando se elabora un módulo didáctico siempre se debe realizar prácticas progresivas que se complementen entre sí para que el estudiante refuerce el conocimiento desde lo general a lo específico.
- Para la elaboración de un proyecto que pretende incrementar la existencia de recursos para las prácticas de los estudiantes que cursan la carrera de Ingeniería Electrónica es necesario tomar en cuenta las necesidades tanto en el ámbito educativo y laboral.
- Se recomienda proyectar a futuro todas las posibles complicaciones que se puedan presentar en el proceso de elaboración de prácticas, como en el caso de este proyecto en particular no se tuvo en consideración el enfriamiento del fluido para las mediciones y la inexistencia de un sistema de enfriamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- AG, Siemens. (3 de 5 de 2018). Obtenido de *technical*: <https://www.technical.cat/PDF/SIEMENS/PLC/siemens-simatic-plc-s7-1500-catalogo.pdf>
- AIE. (12 de Enero de 2020). *Asociacion de la industria electrica-electronica de chile*. Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf>
- aula21. (4 de 10 de 2019). Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/>
- aula21. (Febrero de 2019). *centro de formación tecnica para la industria*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-de-control-distribuido/>
- Defas Brucil, R. D., & Guzmán Herrera, A. P. (2016). Diseño e implementación de un módulo didáctico para la integración de redes de campo industrial: MODBUS, PROFIBUS, para actuadores electricos. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 2020, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16250>
- FESTO. (5 de 10 de 2019). *www.festo-didactic.com*. Obtenido de <https://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/mps-sistema-de-produccion-modular/control-redes/con-siemens-s7/trainer-package-simatic-basic-panel-ktp700.htm?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4xOC42MTAuODIwMQ>
- Goicoechea, C. (14 de Febrero de 2017). *blogspot*. Obtenido de [http://cgoicoechea1.blogspot.com/2017/02/aplicaciones\\_14.html](http://cgoicoechea1.blogspot.com/2017/02/aplicaciones_14.html)
- infoPLC*. (19 de Mayo de 2017). Obtenido de <https://www.infoplcn.net/documentacion/7-comunicaciones-industriales/2474-manual-redes-comunicacion-industrial>
- Mecafenix, F. (16 de Enero de 2018). *Que es y para que sirve un PLC?* Obtenido de Ingeniería Mecafenix: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/que-es-un-plc/>
- Menchón Ruiz, F. J. (Diciembre de 2018). *Configuración y puesta en marcha de una red de autómatas programables basada en PROFIBUS, MPI y GSM para el control y monitorización de módulos de fabricación flexible*. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/handle/10317/78>
- STUDYLIB. (5 de 10 de 2019). *STUDYLIB*. Obtenido de <https://studylib.es/doc/5253558/switches-industrial-ethernet-%E2%80%93-scalance-xb-000-xb>
- Universidad de Deusto. (28 de Noviembre de 2018). *Tipos de sistemas de control industrial*. Obtenido de <https://blogs.deusto.es/master-informatica/tipos-de-sistemas-de-control-industrial/>

## **ANEXOS**



## Anexo 2. Planos de control practica #1

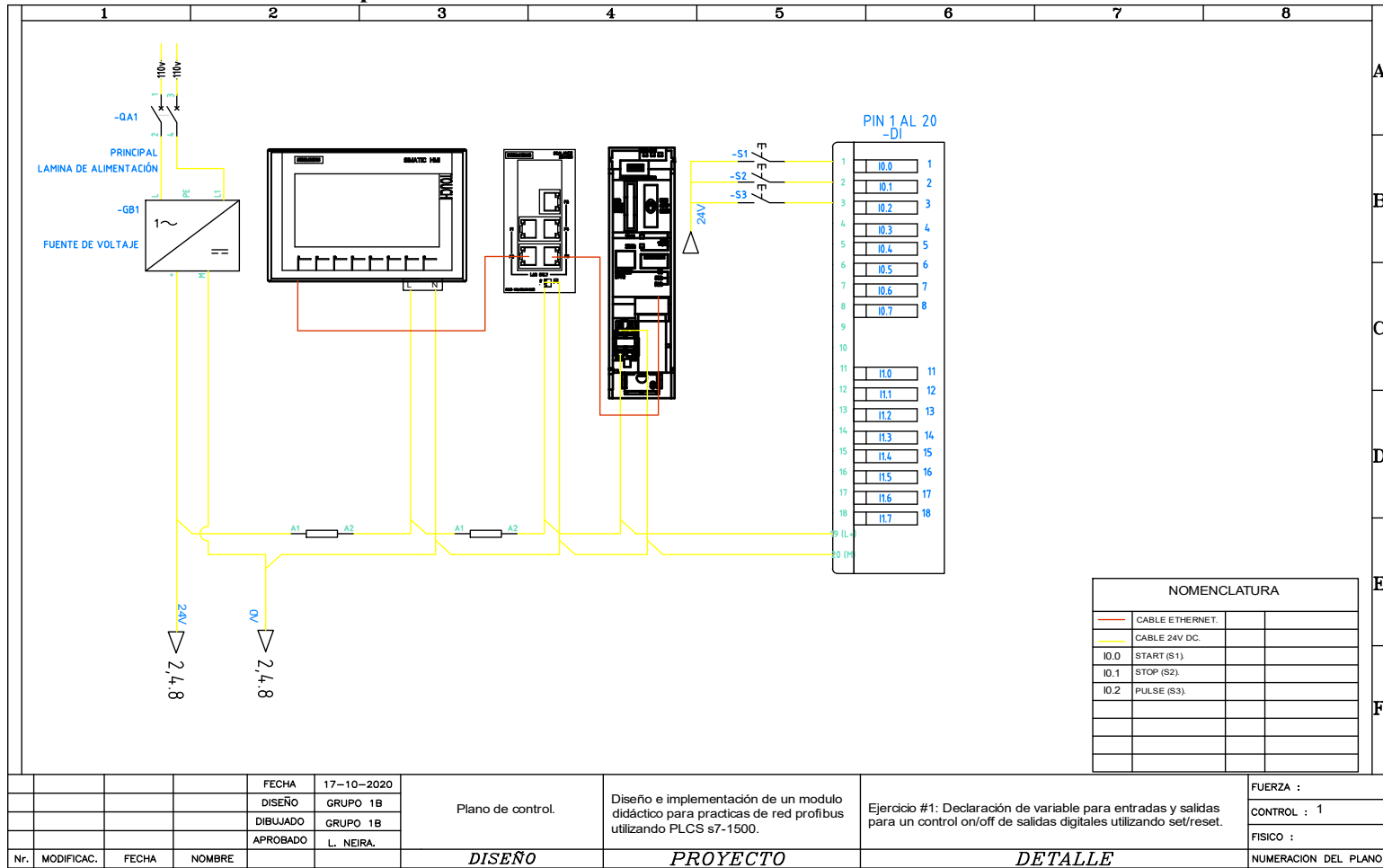


Figura 88. Plano de control 1/ Practica 1



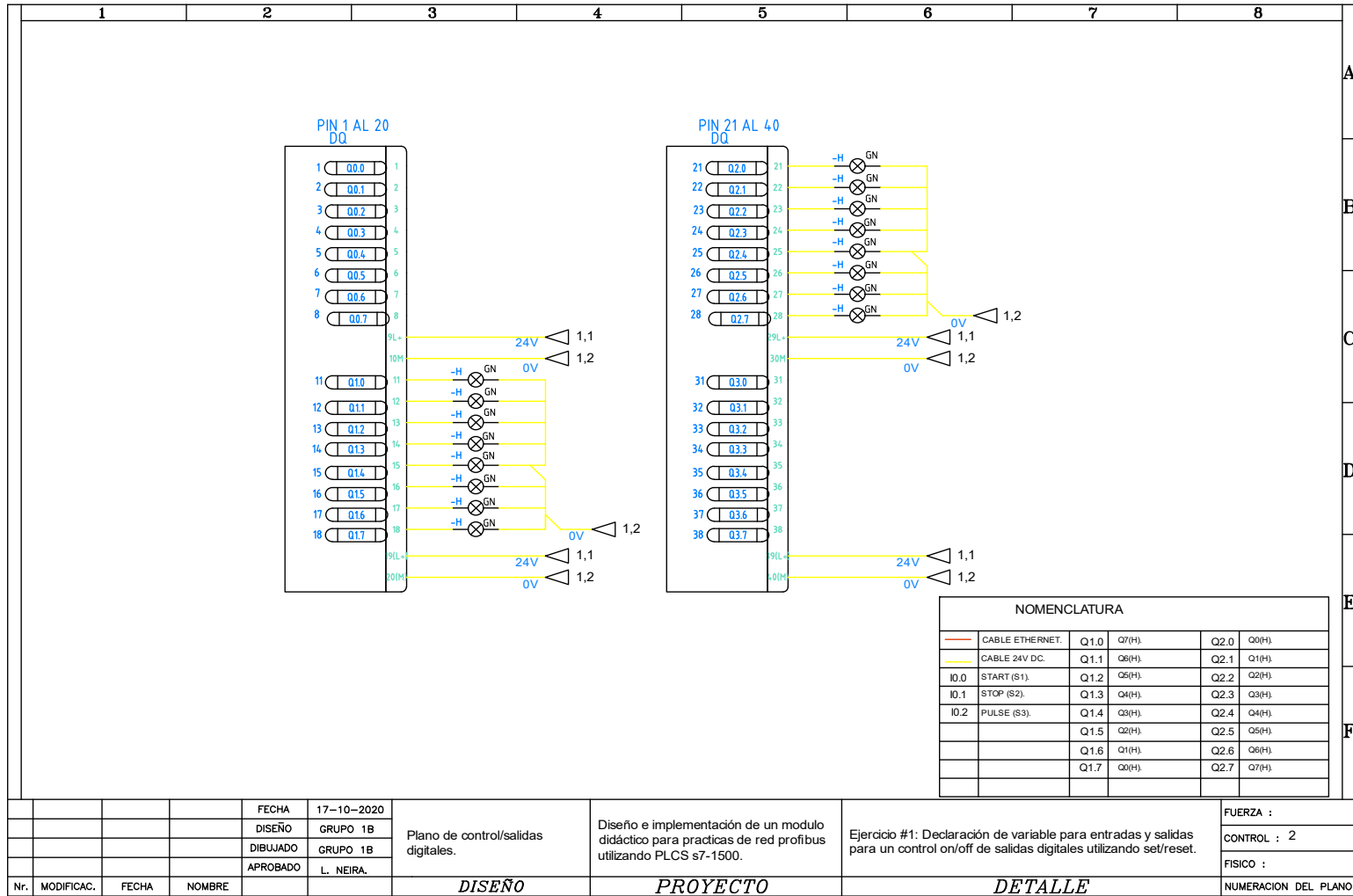


Figura 89. Plano de control 2/ Practica 1

### Anexo 3. Practica #1

#### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

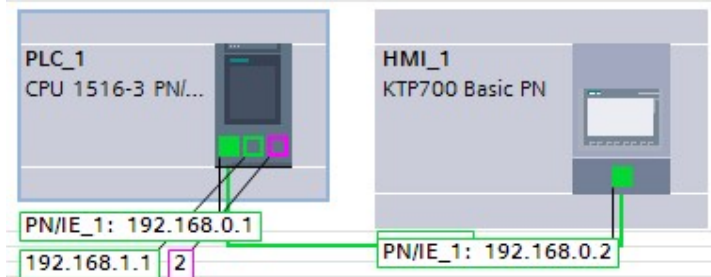


Figura 90. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 1

Como se observa en la Figura 90 es necesario por medio de software realizar la configuración de los interfaces de red, para de esta forma proceder a realizar la conexión física de los componentes.

2. Se definen las variables (locales) a utilizar dentro del bloque de función:

P1		
	Nombre	Tipo de datos
1	▼ Input	
2	Start	Bool
3	Stop	Bool
4	Pulse	Bool
5	▼ Output	
6	Q0	Bool
7	Q1	Bool
8	Q2	Bool
9	Q3	Bool
10	Q4	Bool
11	Q5	Bool
12	Q6	Bool
13	Q7	Bool
14	▼ InOut	
15	<Agregar>	
16	▼ Static	
17	Aux1	Bool
18	On	Bool
19	Aux2	Bool
20	Lock	Bool
21	Aux3	Bool
22	Aux4	Bool

Figura 91. Variables locales en software procedimiento practica 1.

3. Se programa la secuencia de encendido (cascada) utilizando operaciones lógicas con bits tales como: set/reset, detectores de flanco y compuertas lógicas.

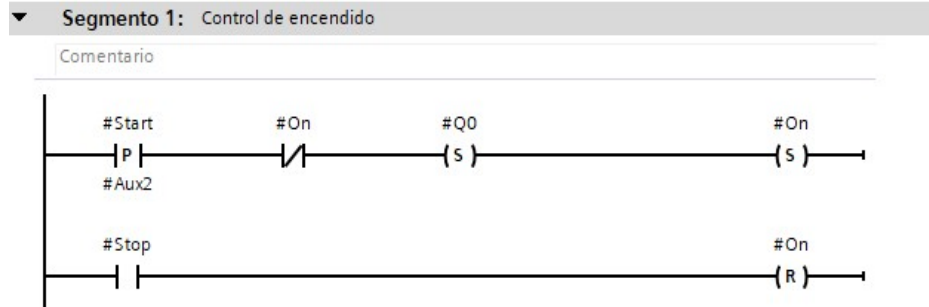


Figura 92. Programación segmento 1/Control de encendido

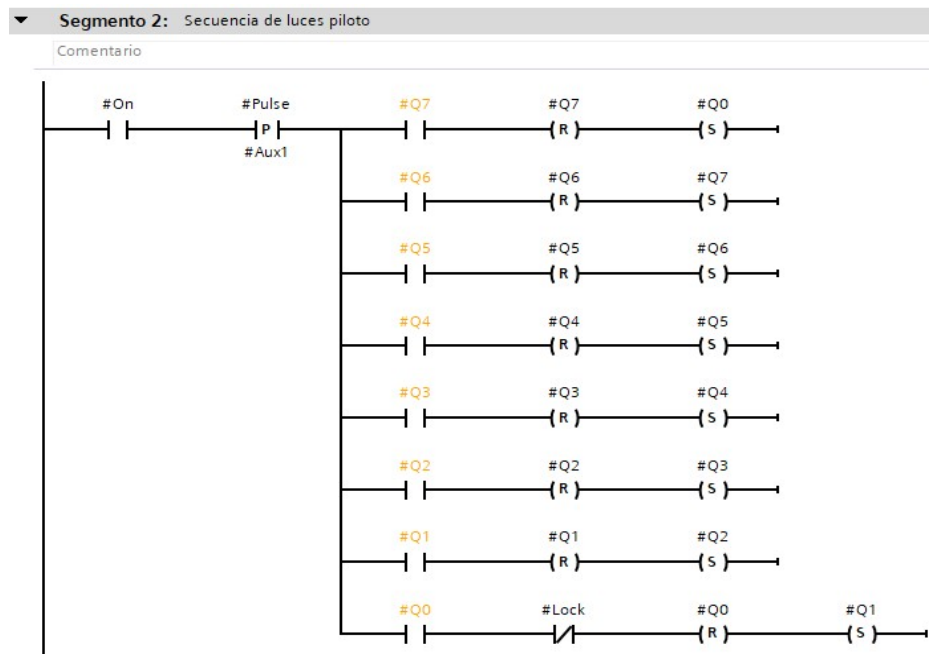


Figura 93. Programación segmento 2/Secuencia luces piloto

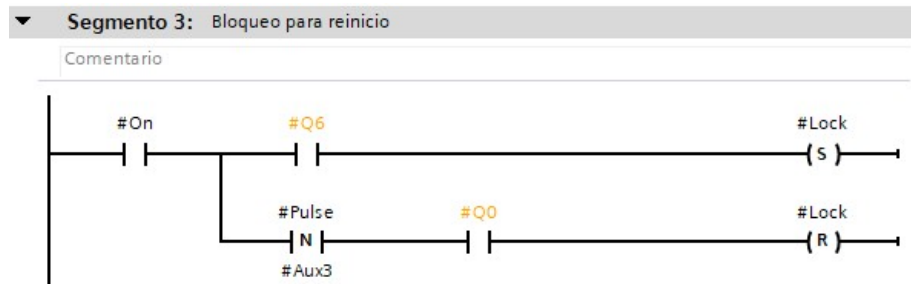


Figura 94. Programación segmento 3/Bloqueo para reinicio

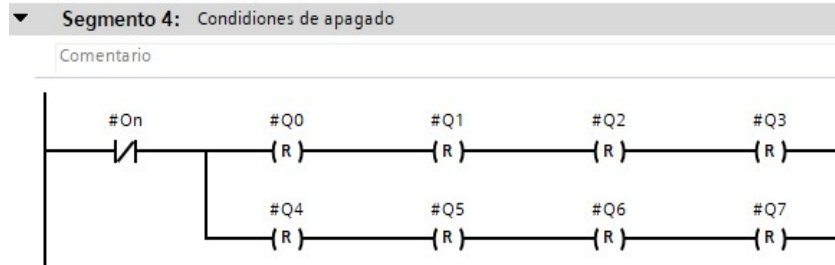


Figura 95. Programación segmento 4/Condiciones de apagado

4. Se llama al bloque función desde el programa principal.

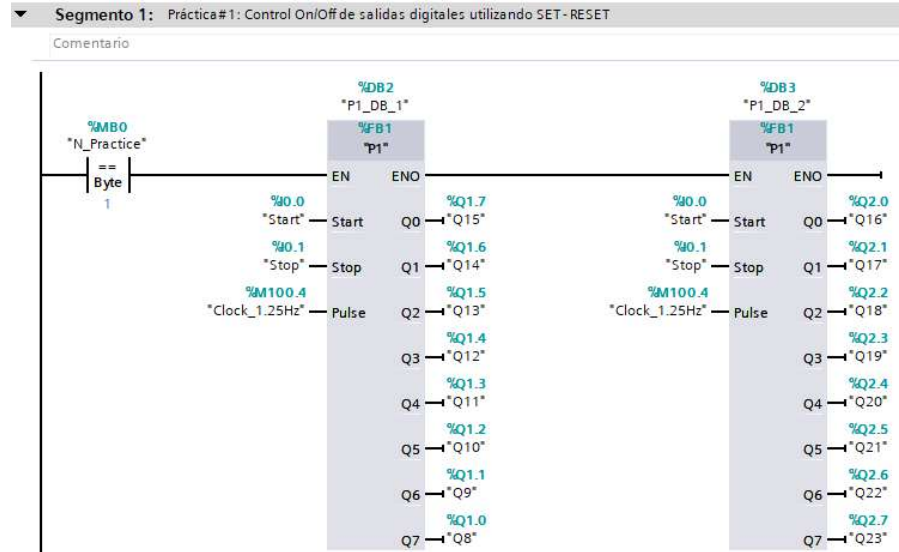


Figura 96. Función de bloque/Control On-Off de salidas digitales utilizando set y reset

5. Se tiene el siguiente interfaz HMI para la elaboración de la práctica que se está abordando, como se puede observar en la Figura 97.

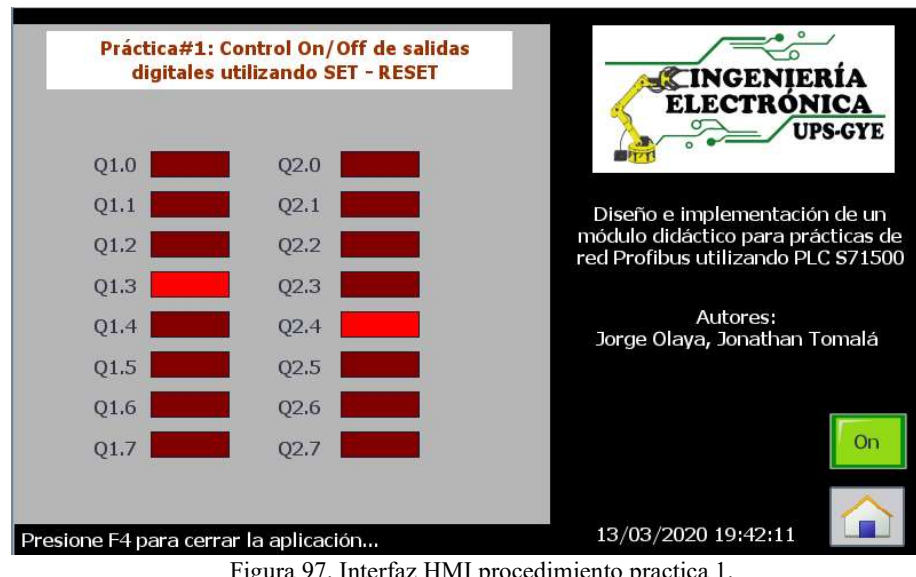


Figura 97. Interfaz HMI procedimiento practica 1.

6. Se requiere configurar el indicador de encendido por medio de software como se observa en la Figura 98.

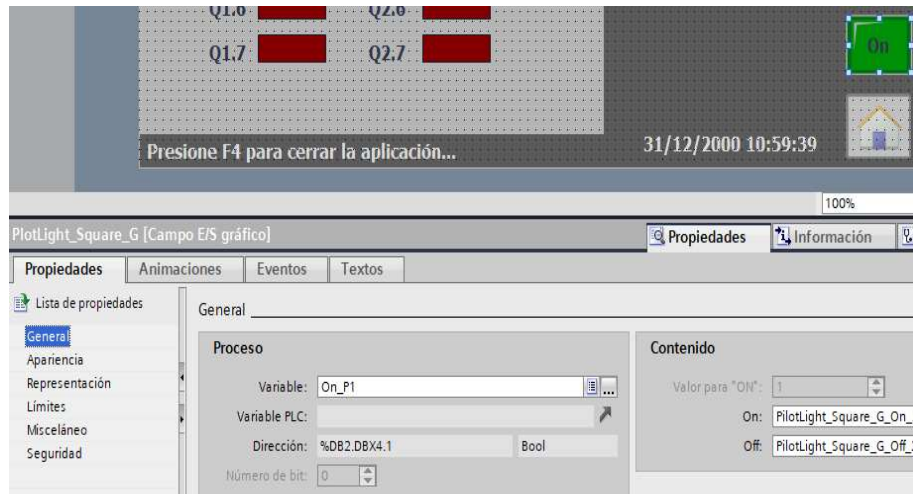


Figura 98. Configuración propiedades indicador encendido

7. Se procede a realizar la configuración de indicador para la salida digital Q1.0 como se observa en la Figura 99, tomando en cuenta que el mismo procedimiento se lo debe realizar para el resto de indicadores.

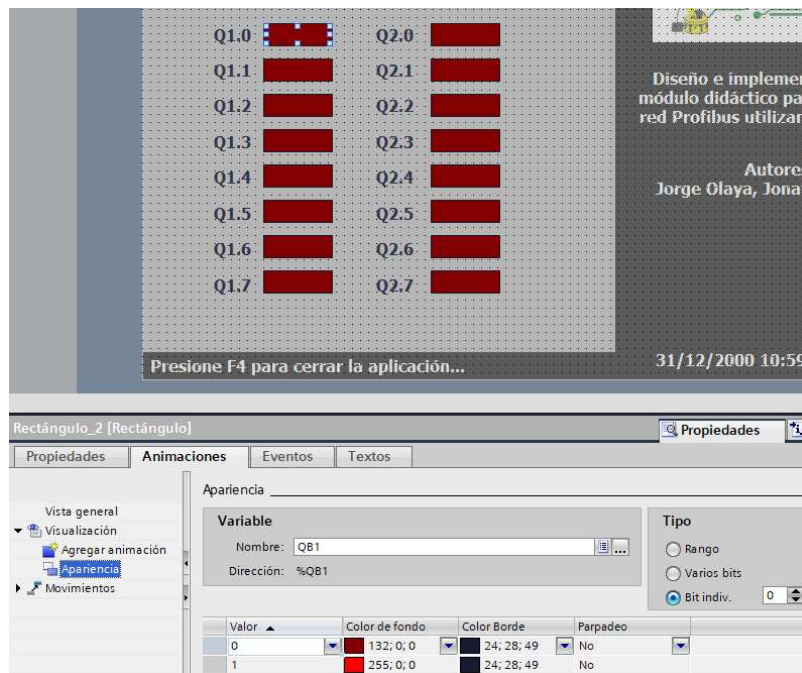


Figura 99. Configuración propiedades indicador salida digital

8. Una vez finalizado toda la configuración de los indicadores y la programación se requiere la carga del programa hacia el modulo didáctico para la elaboración de la prueba de funcionamiento.



Figura 100. Pantalla HMI KTP-700/Practica 1

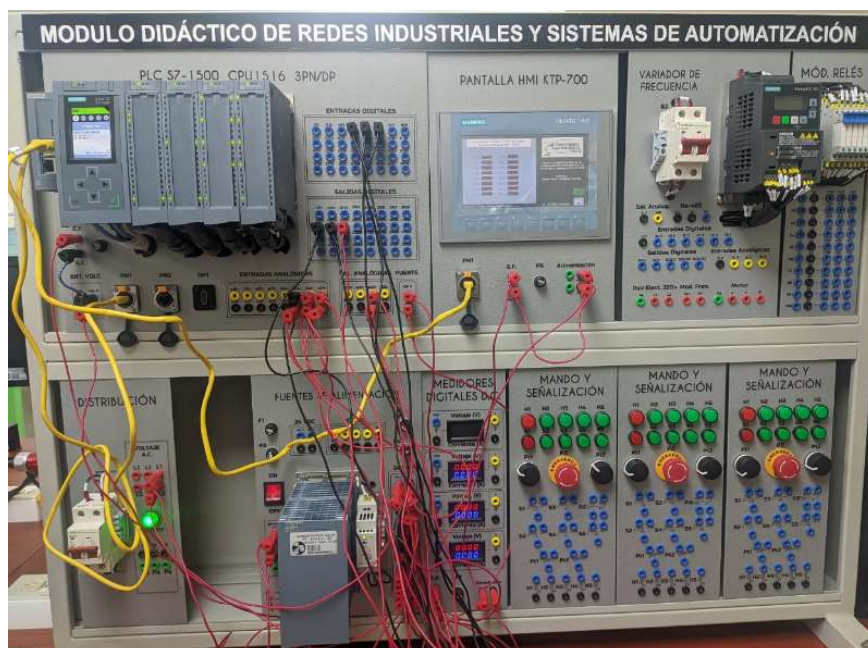


Figura 101. Modulo didáctico S71500/Practica 1

Como se observa en la figura 100 y la figura 101, el programa se encuentra cargado en el módulo didáctico y funcionando.



### Anexo 4. Planos de control practica #2

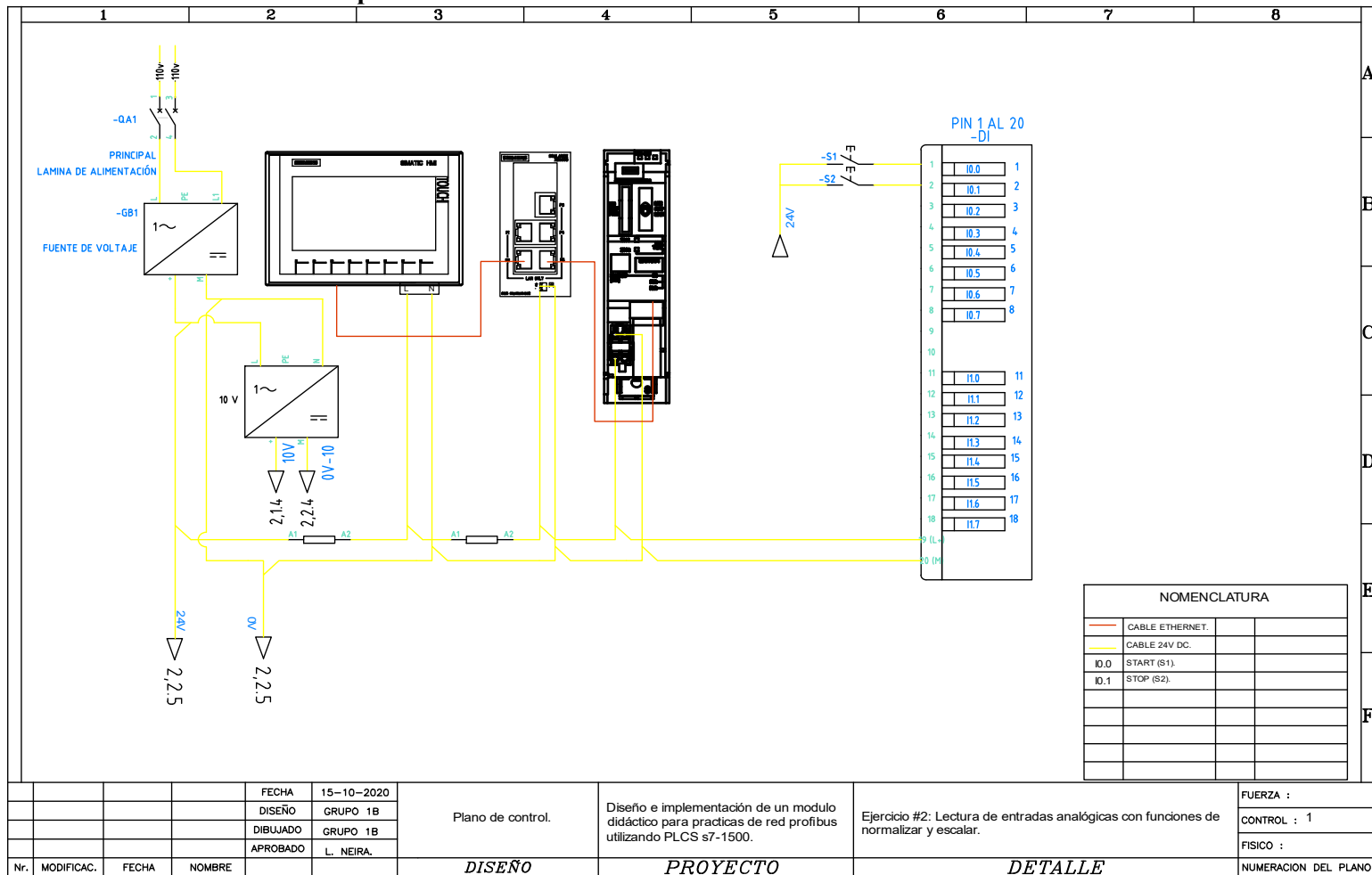


Figura 102. Plano de control 1/Practica 2



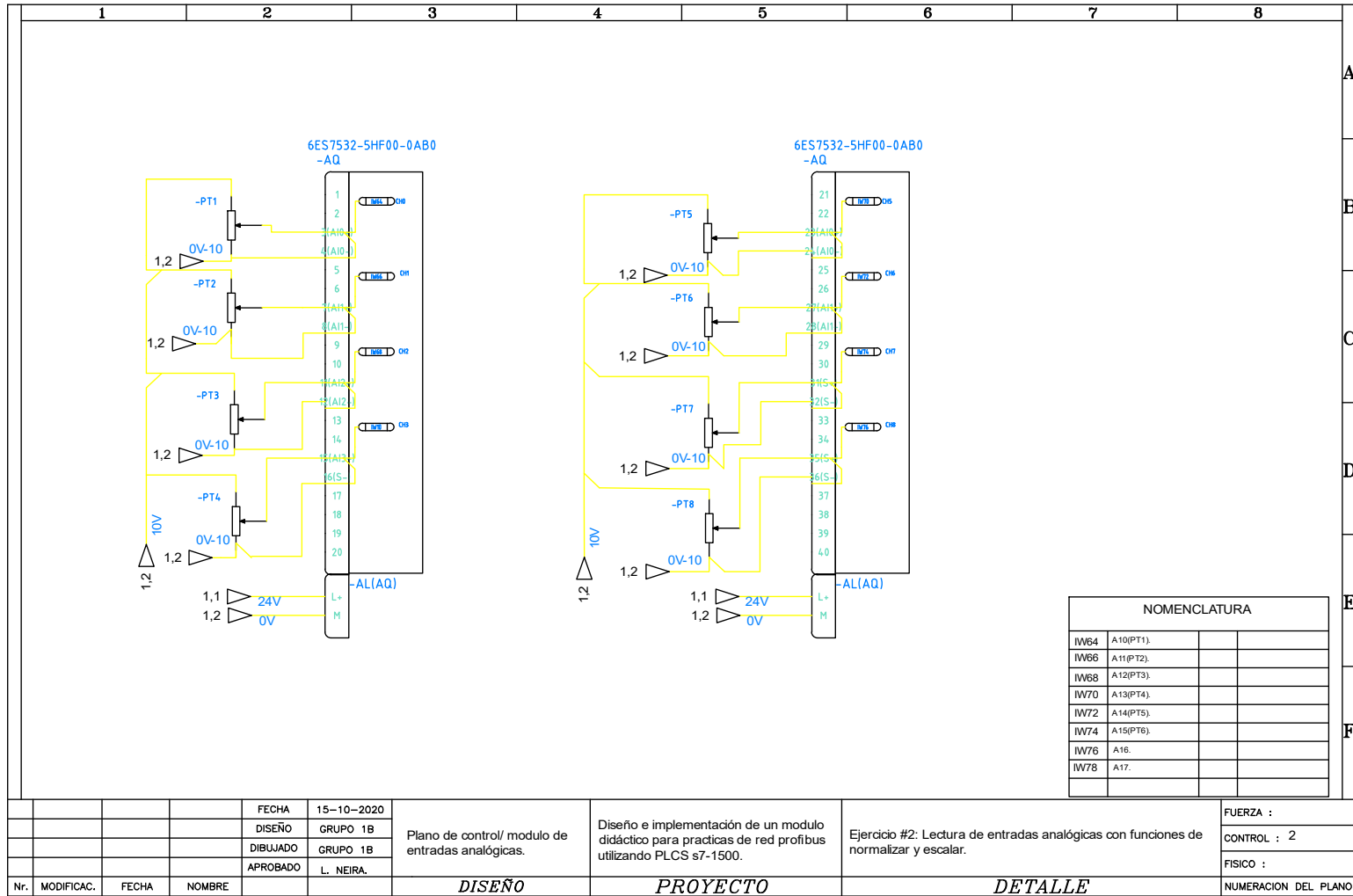


Figura 103. Plano de control 2/Practica 2

## Anexo 5. Practica #2

### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

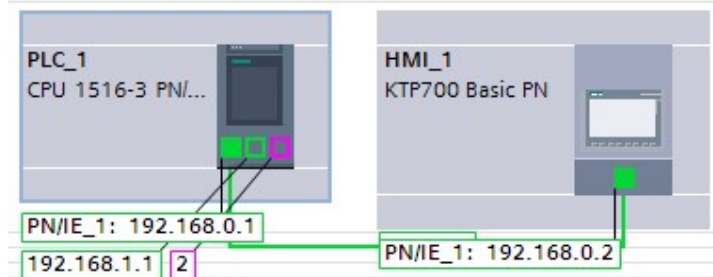


Figura 104. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 2

Como se observa en la Figura 104 es necesario por medio de software realizar la configuración y activación de los interfaces de red, para de esta forma proceder a realizar la conexión física de los componentes.

2. Se definen las variables (locales) a utilizar dentro del bloque de función:

P2			
	Nombre	Tipo de datos	Offset
1	▼ Input		
2	Start	Bool	0.0
3	Stop	Bool	0.1
4	AI0	UInt	2.0
5	AI1	UInt	4.0
6	AI2	UInt	6.0
7	AI3	UInt	8.0
8	AI4	UInt	10.0
9	AI5	UInt	12.0
10	AI6	UInt	14.0
11	AI7	UInt	16.0
12	Sel_A	USInt	18.0
13	Sel_B	USInt	19.0
14	Sel_C	USInt	20.0
15	▼ Output		
16	Signal_A	Real	22.0
17	Signal_B	Real	26.0
18	Signal_C	Real	30.0
19	► InOut		
20	▼ Static		
21	On	Bool	34.0
22	AIa_norm	Real	36.0
23	AIB_norm	Real	40.0
24	AIC_norm	Real	44.0
25	AIA	UInt	48.0
26	AIB	UInt	50.0
27	AIC	UInt	52.0

Figura 105. Variables locales en software/ procedimiento practica 2

1. Se programa el acondicionamiento de las variables analógicas utilizando las funciones normalizar y escalar en conjunto con operaciones lógicas.

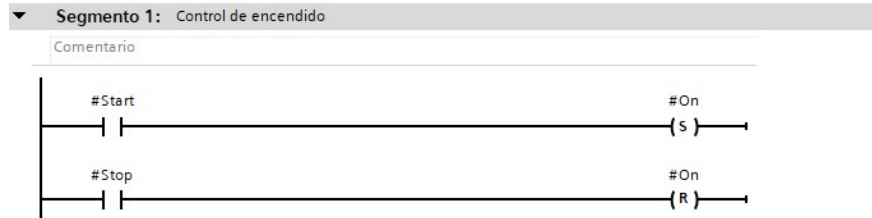


Figura 106. Programación segmento 1/Control de encendido/Practica 2

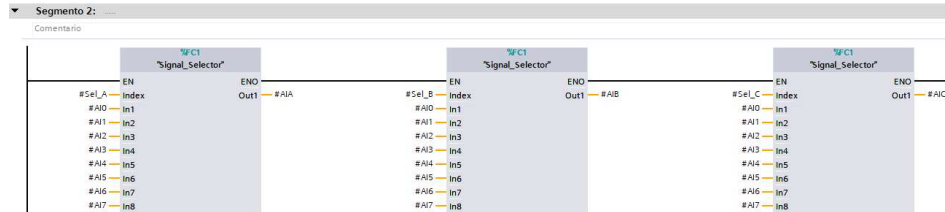


Figura 107. Programación segmento 2/Designando entradas analógicas

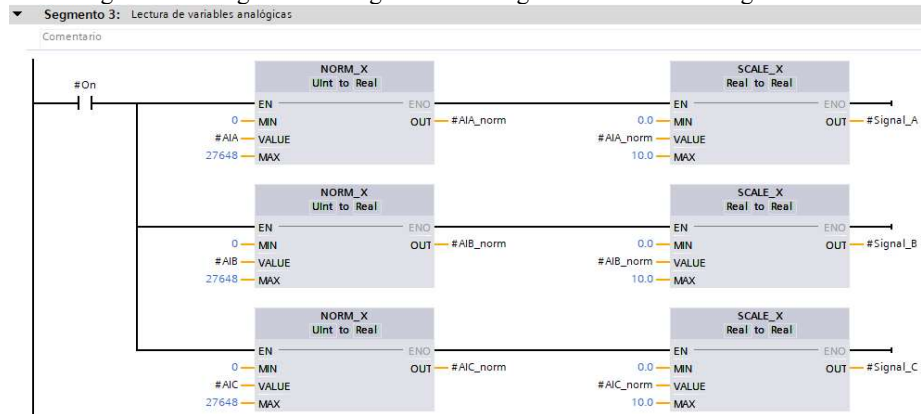


Figura 108. Programación segmento 3/Lectura analógica con funciones normalizado y escalado

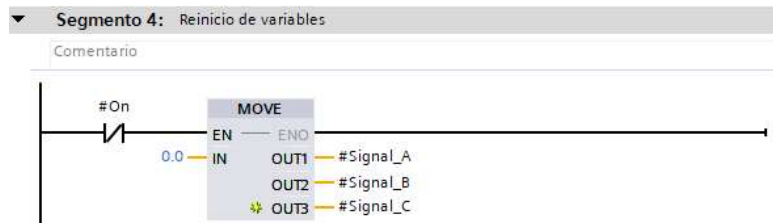


Figura 109. Programación segmento 4/Reinicio de variables

Como se puede observar en la Figura 106,107 y 108 se utiliza FC para segmentar las funciones de cada lectura analógica.

2. Se llama al bloque función desde el programa principal.

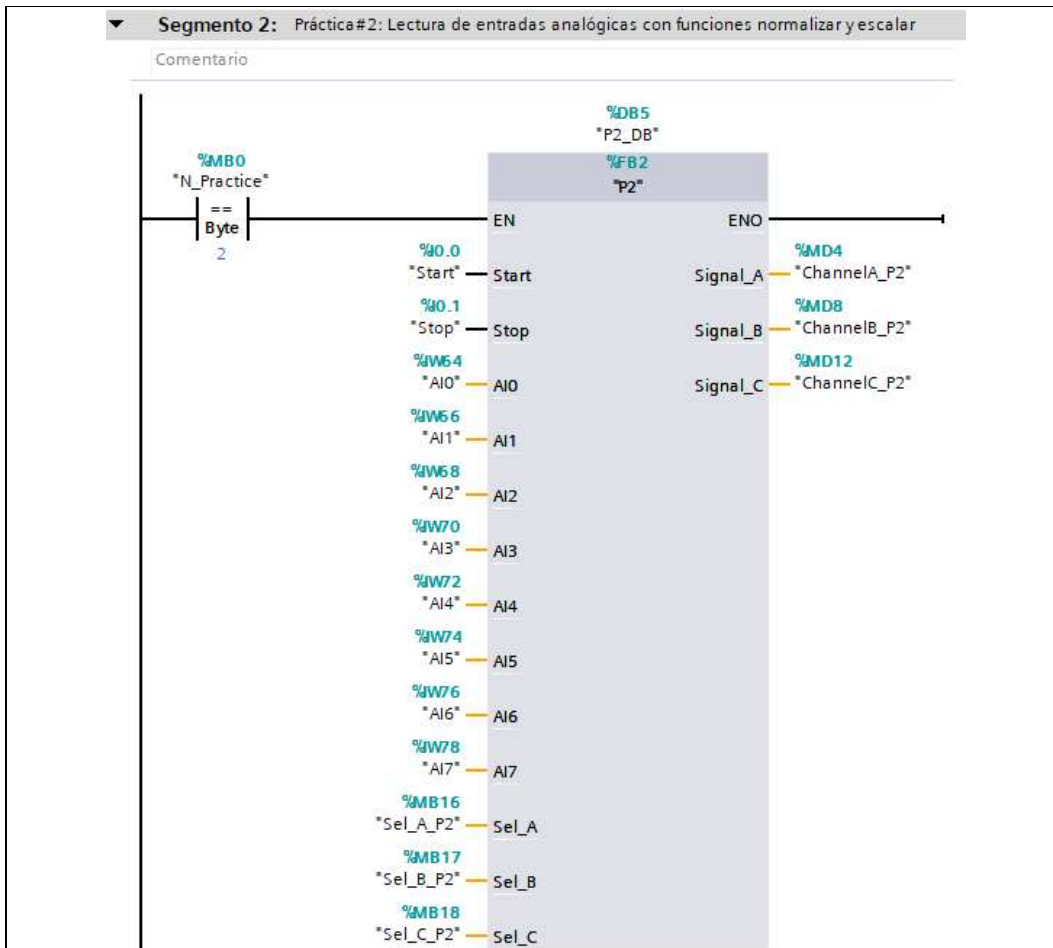


Figura 110. Llamado funciones para lectura, normalizado y escalado analógico

- Se realiza la visualización de todas las entradas analógicas utilizando una interfaz humano-máquina con la siguiente apariencia:

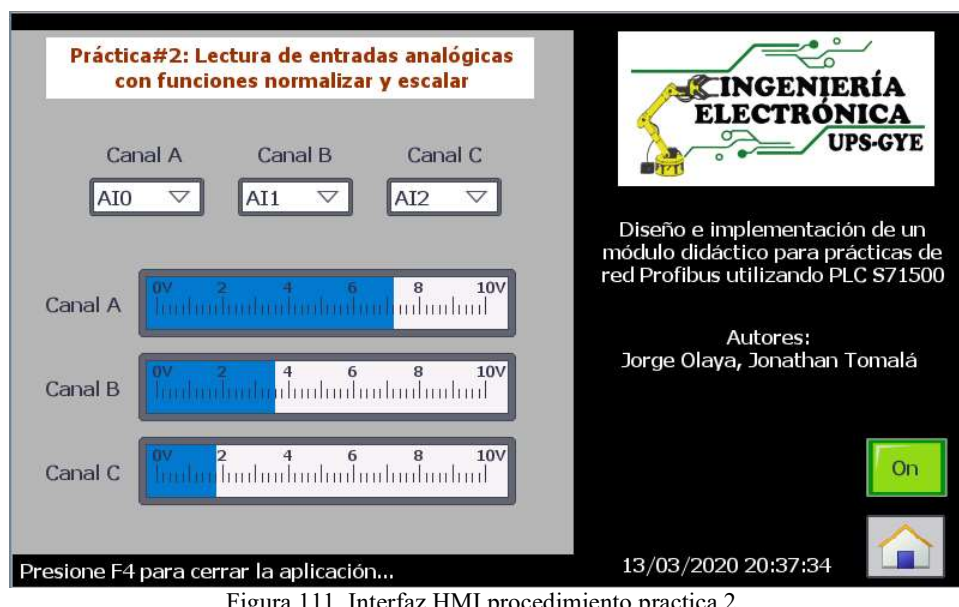


Figura 111. Interfaz HMI procedimiento practica 2

4. Se requiere configurar el indicador de encendido por medio de software como se observa en la Figura 112.

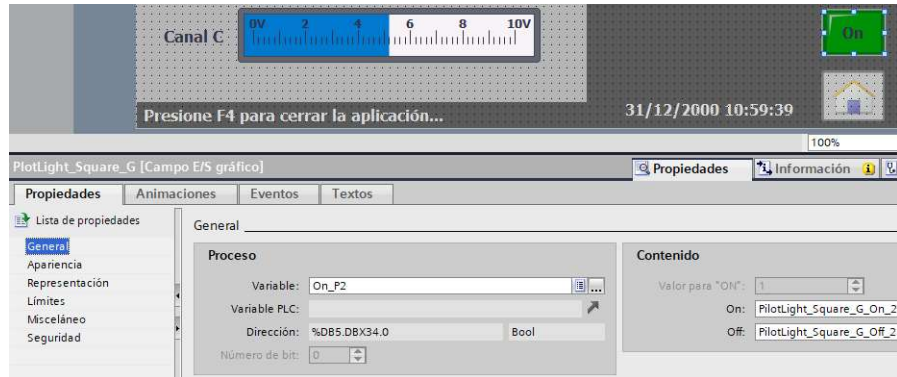


Figura 112. Configuración propiedades indicador encendido/Practica 2

5. Se procede a realizar la configuración de un indicador para la entrada analógica tipo “slider”, que como se observa en la Figura 113 se denomina canal A, se debe realizar el mismo proceso para el resto de indicadores.

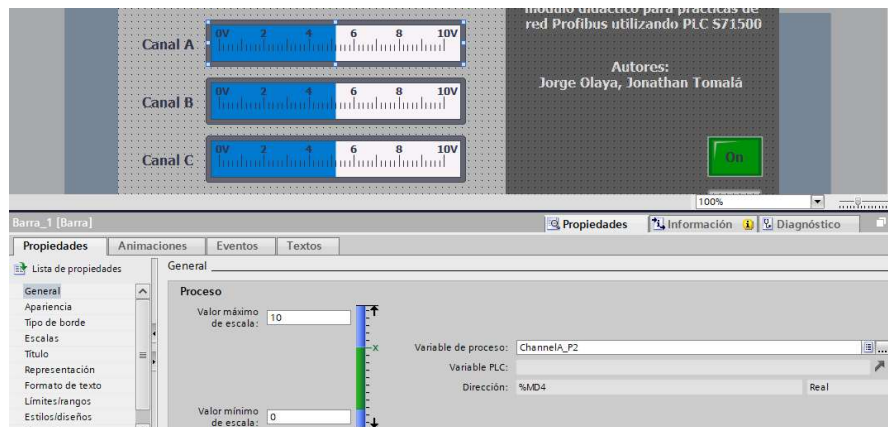


Figura 113. Configuración propiedades indicador analógico tipo slider/Practica 2

6. Configuración de campo de entrada/salida simbolico para selección de canales analógicos, como se observa en la Figura 114.

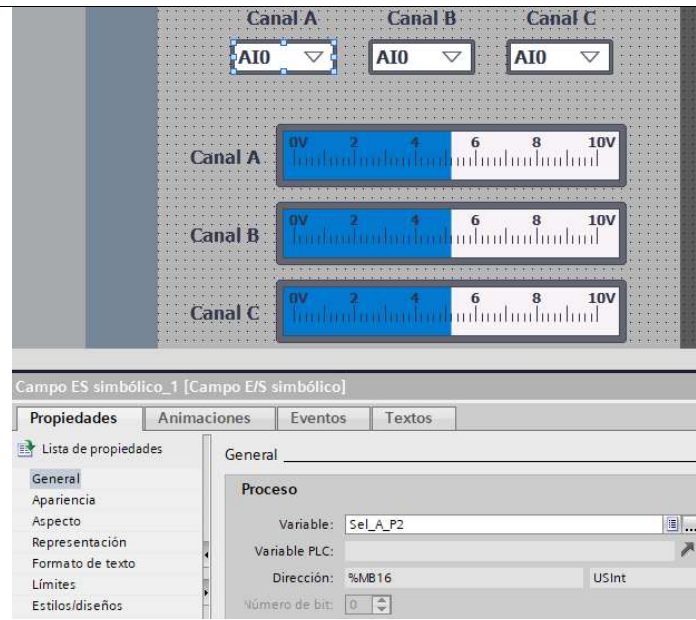


Figura 114. Configuración propiedades selector canal analógico/Practica 2

7. Una vez finalizado toda la configuración de los indicadores y la programación se requiere la carga del programa hacia el modulo didáctico para la elaboración de la prueba de funcionamiento.



Figura 115. Modulo didáctico S7-1500/Practica 2

Como se observa en la figura 115, el programa se encuentra cargado en el módulo didáctico y funcionando, por lo que se puede observar el interfaz en la pantalla HMI,

además es necesario para las pruebas no olvidar variar las fuentes de alimentación en las entradas analógicas para observar el funcionamiento.

### Anexo 6. Plano de control practica #3

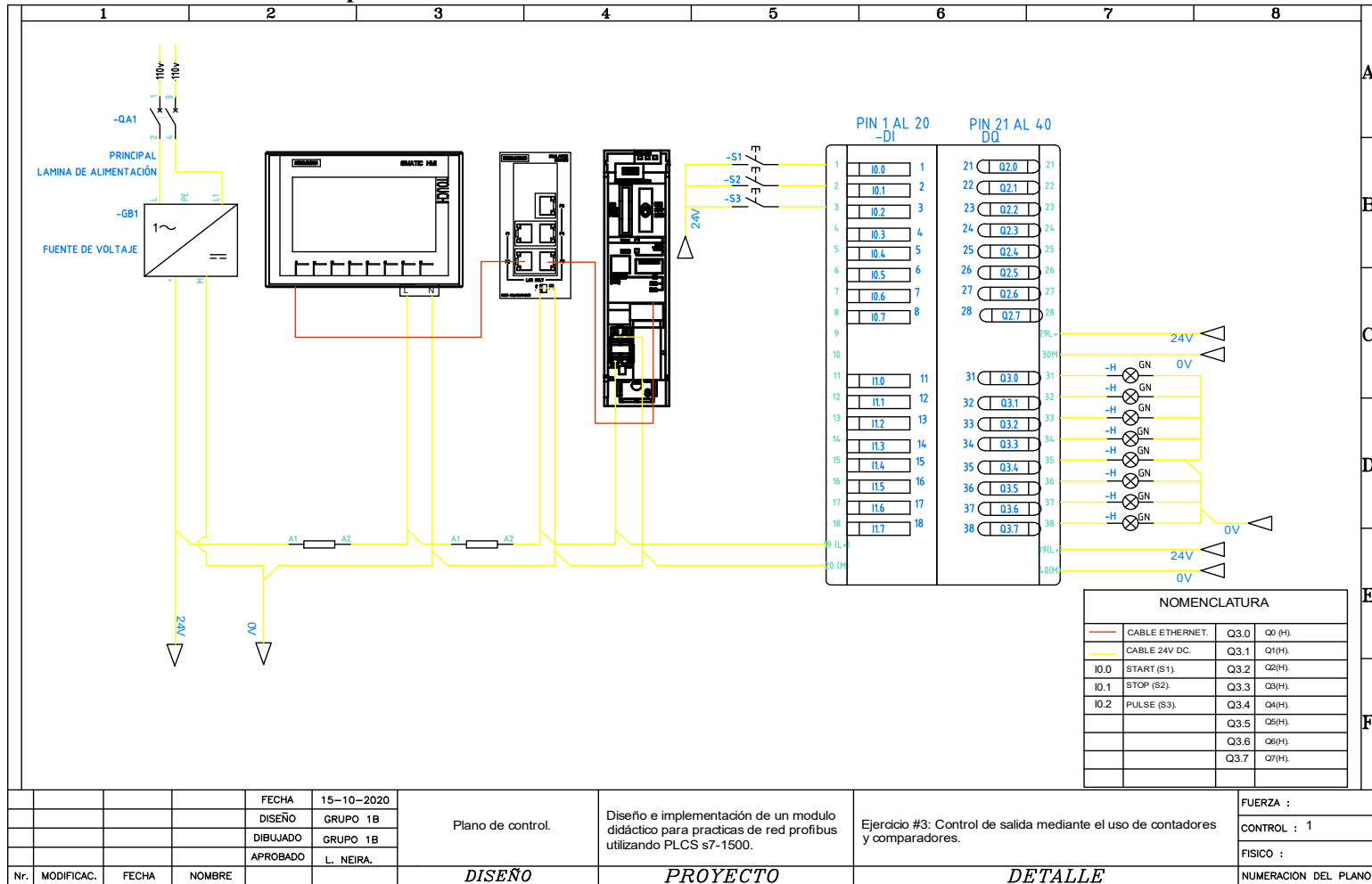


Figura 116. Plano de control/Practica 3



## Anexo 7. Practica #3

### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

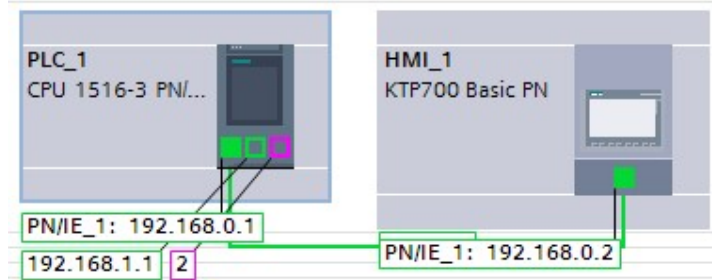


Figura 117. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 3

Como se observa en la Figura 117 es necesario por medio de software realizar la configuración y activación de los interfaces de red, para de esta forma proceder a realizar la conexión física de los componentes.

2. Se definen las variables (locales) a utilizar dentro del bloque de función:

P3		
	Nombre	Tipo de datos
1	▼ Input	
2	Start	Bool
3	Stop	Bool
4	Clock	Bool
5	▼ Output	
6	Q0	Bool
7	Q1	Bool
8	Q2	Bool
9	Q3	Bool
10	Q4	Bool
11	Q5	Bool
12	Q6	Bool
13	Q7	Bool
14	▼ InOut	
15	<Agregar>	
16	▼ Static	
17	On	Bool
18	Dir	Bool
19	Aux1	Bool
20	Aux2	Bool

Figura 118. Variables locales en software procedimiento practica 3

3. Se programa una secuencia de luces por medio de los bloques que se mencionaron en el paso 2.

▼ **Segmento 1:** Control de encendido

Comentario

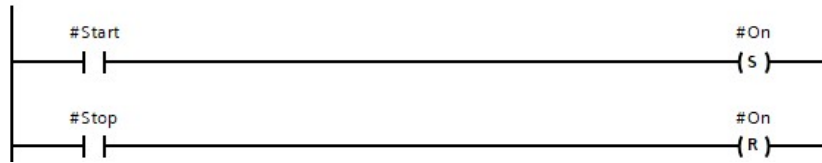


Figura 119. Programación segmento 1/Control de encendido/Practica 3

▼ **Segmento 2:** .....

Comentario

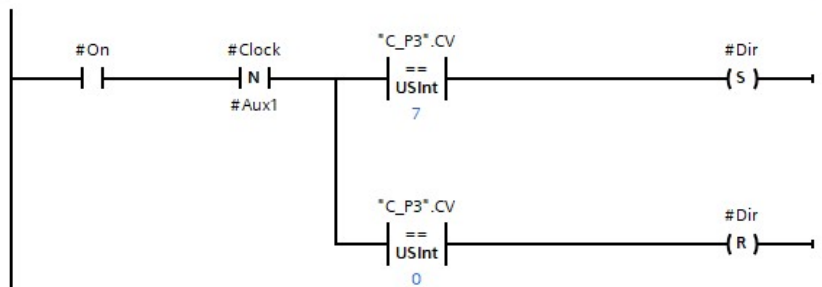


Figura 120. Programación segmento 2/Configuración reloj

▼ **Segmento 3:** .....

Comentario

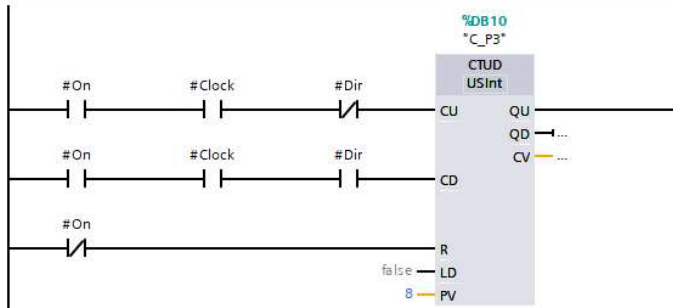


Figura 121. Programación segmento 3/Configuración contadores

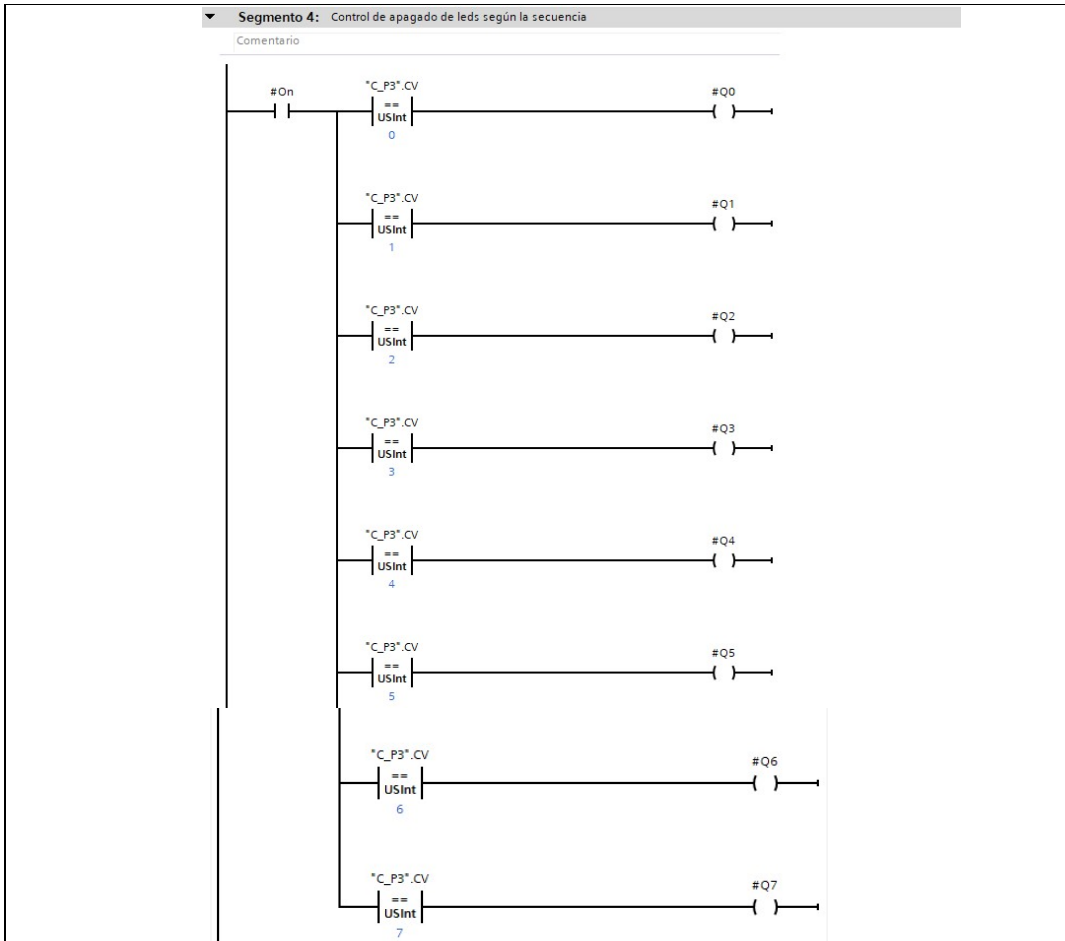


Figura 122. Programación segmento 4/Control apagado de leds según la secuencia

Como se puede observar en la Figura 110,111 y 112 se utiliza un sistema en cascada para la secuencia de apagado de leds.

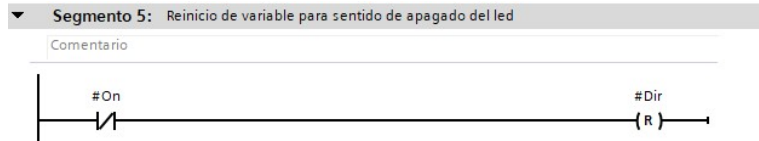


Figura 123. Programación segmento 5/Reinicio de variable para apagado de led

4. Se llama al bloque función desde el programa principal.

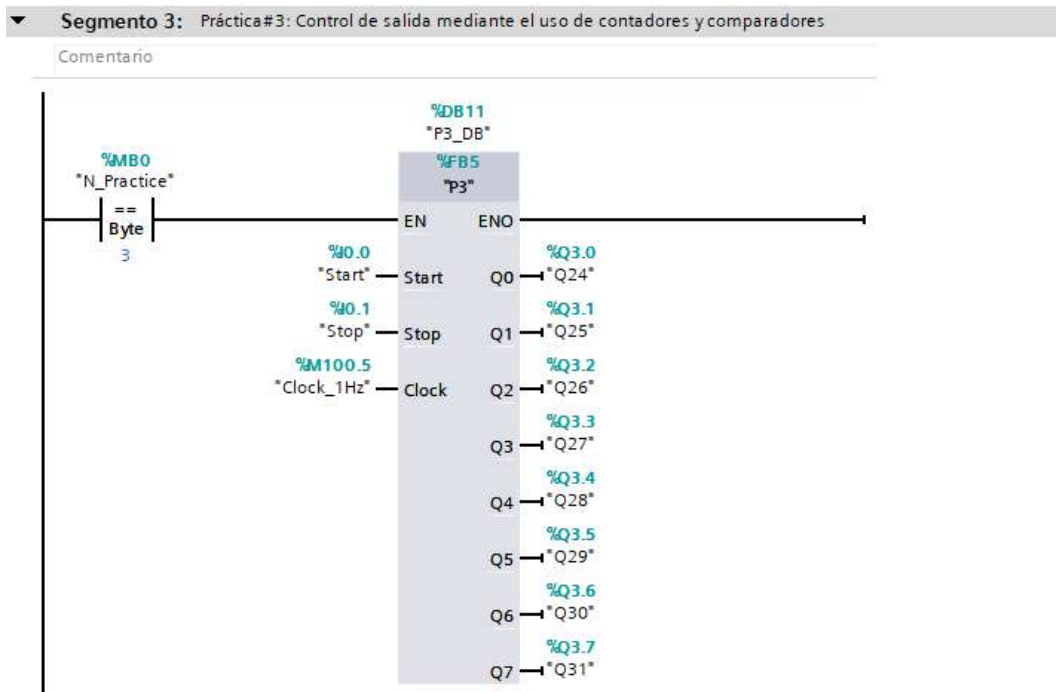


Figura 124. Llamado funciones desde el bloque función para ejecución de contadores y comparadores

5. Se realiza la visualización de todas las entradas analógicas utilizando una interfaz humano-máquina con la siguiente apariencia:

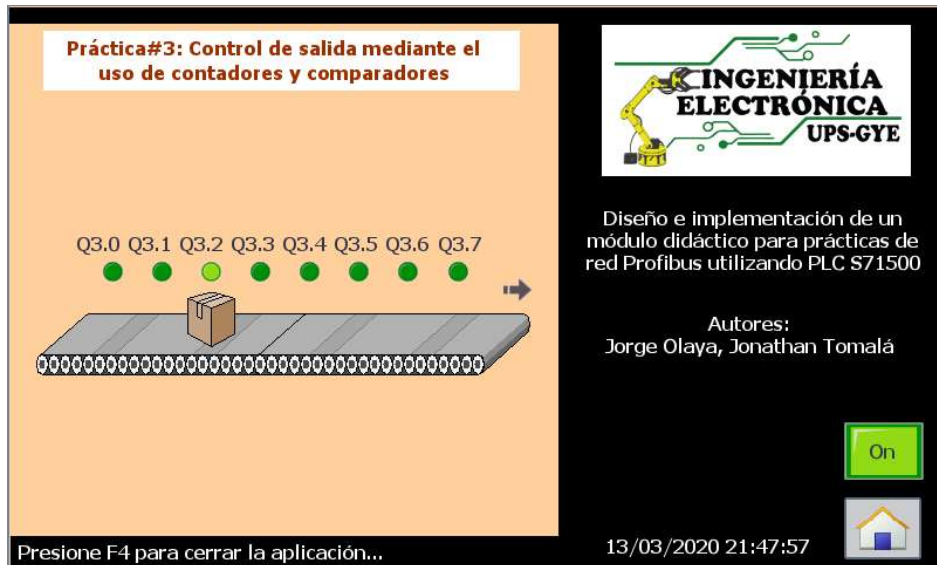


Figura 125. Interfaz HMI procedimiento practica 3

6. Se requiere configurar el indicador de encendido por medio de software como se observa en la Figura 126.

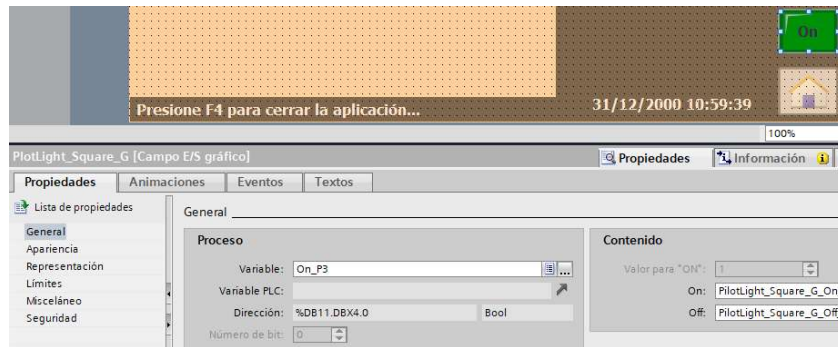


Figura 126. Configuración propiedades indicador encendido/Practica 2

7. Se debe realizar la configuración de los indicadores de dirección para el encendido de luces piloto en el interfaz HMI.

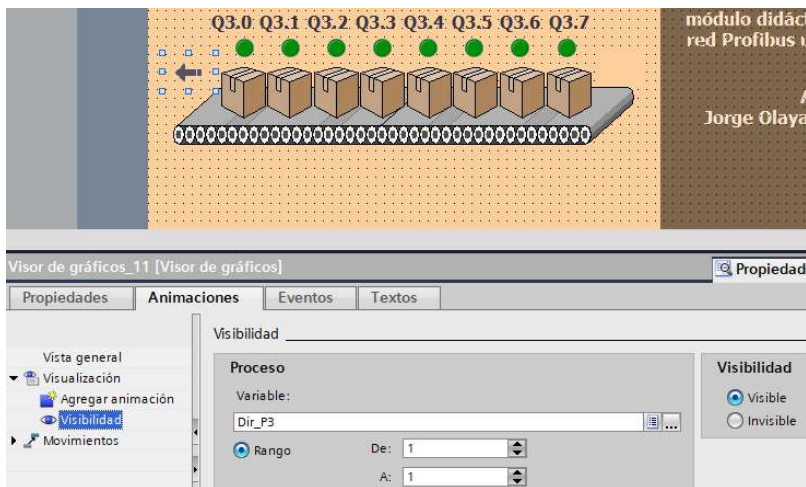


Figura 127. Configuración propiedades indicador dirección izquierda/Practica 3

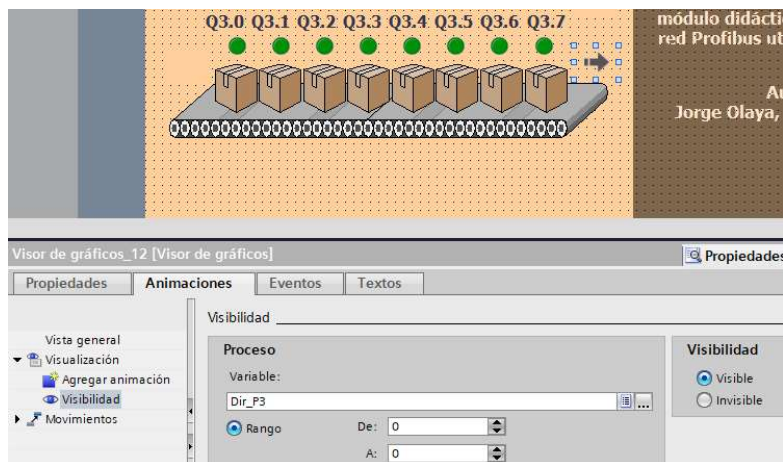


Figura 128. Configuración propiedades indicador dirección derecha/Practica 3

8. Configuración de la animación aplicada en la primera caja sobre la banda transportadora del interfaz HMI.

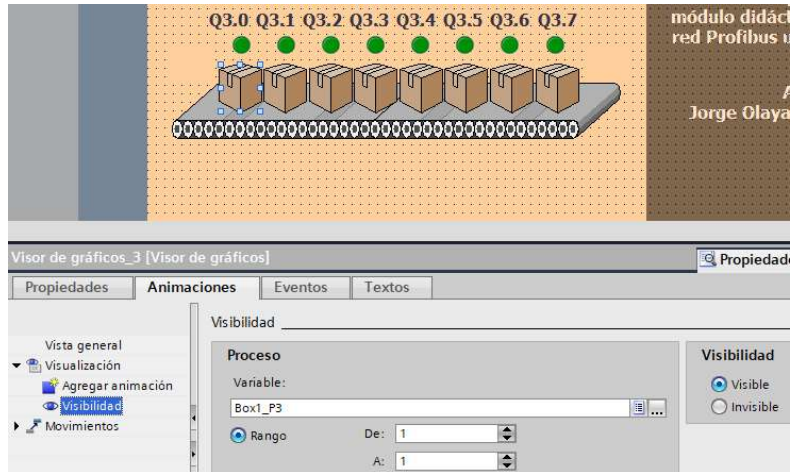


Figura 129. Configuración propiedades caja animada/Practica 3

9. Una vez finalizado toda la configuración de los indicadores y la programación se requiere la carga del programa hacia el modulo didáctico para la elaboración de la prueba de funcionamiento.



Figura 130. Modulo didáctico S71500/Practica 3

Como se observa en la figura 130, el programa se encuentra cargado en el módulo didáctico y funcionando, por lo que se puede observar el interfaz en la pantalla HMI.



### Anexo 8. Plano de control practica #4

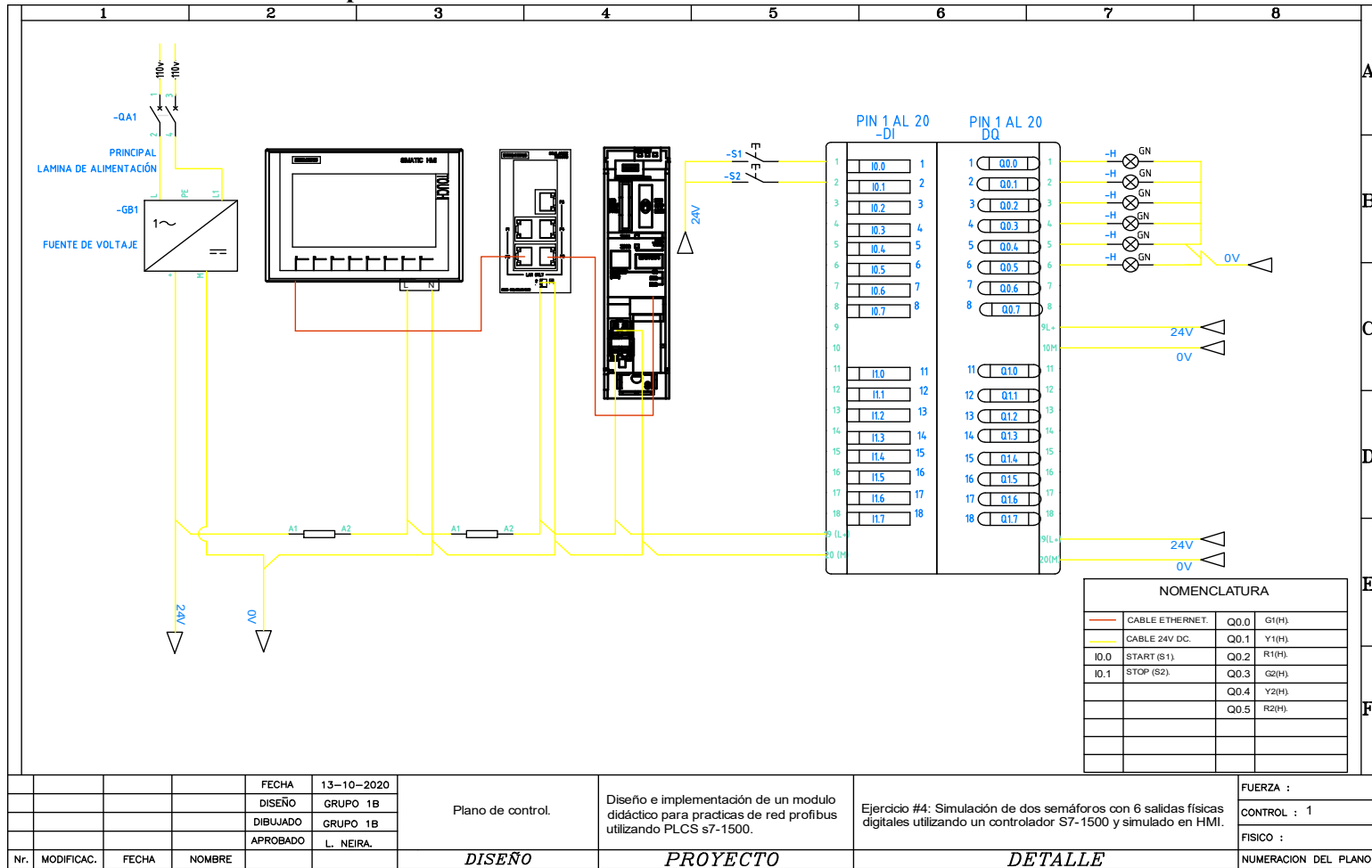


Figura 131. Plano de control/Practica 4

## Anexo 9. Practica #4

### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

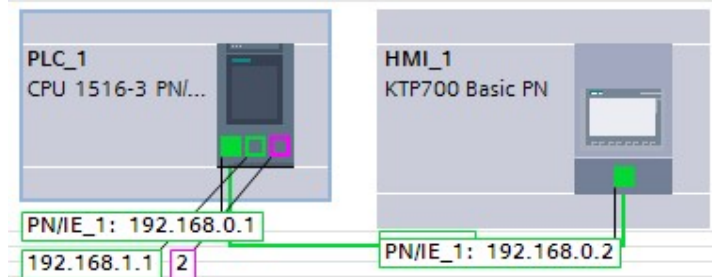


Figura 132. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 4

Como se observa en la Figura 132 es necesario por medio de software realizar la configuración y activación de los interfaces de red, para de esta forma proceder a realizar la conexión física de los componentes.

2. Se definen las variables (locales) a utilizar dentro del bloque de función:

P4		
	Nombre	Tipo de datos
1	Input	
2	Start	Bool
3	Stop	Bool
4	TG_ms	UDInt
5	TY_ms	UDInt
6	Output	
7	G1	Bool
8	Y1	Bool
9	R1	Bool
10	G2	Bool
11	Y2	Bool
12	R2	Bool
13	InOut	
14	<Agregar>	
15	Static	
16	On	Bool
17	Period	DWord
18	Current_Time	DWord
19	Half_period	DWord
20	Time1	DWord

Figura 133. Variables locales en software procedimiento practica 4



3. Se programa en base a la descripción que se presenta en esta práctica.

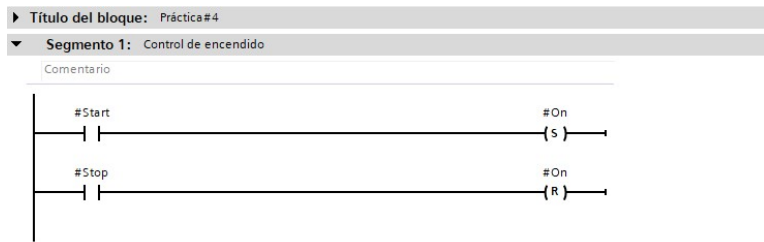


Figura 134. Programación segmento 1/Control de encendido/Practica 4

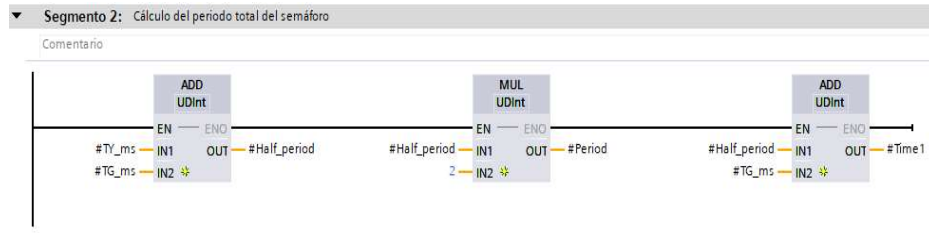


Figura 135. Programación segmento 2/Calculo del periodo del semáforo

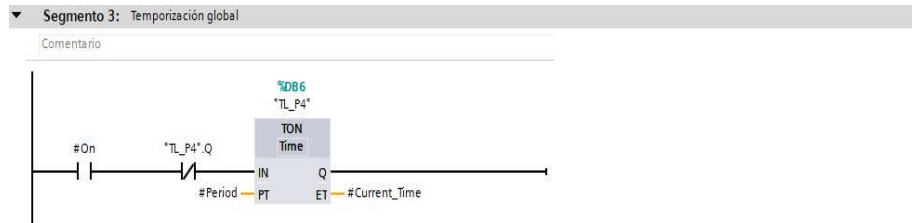


Figura 136. Programación segmento 3/Temporización global

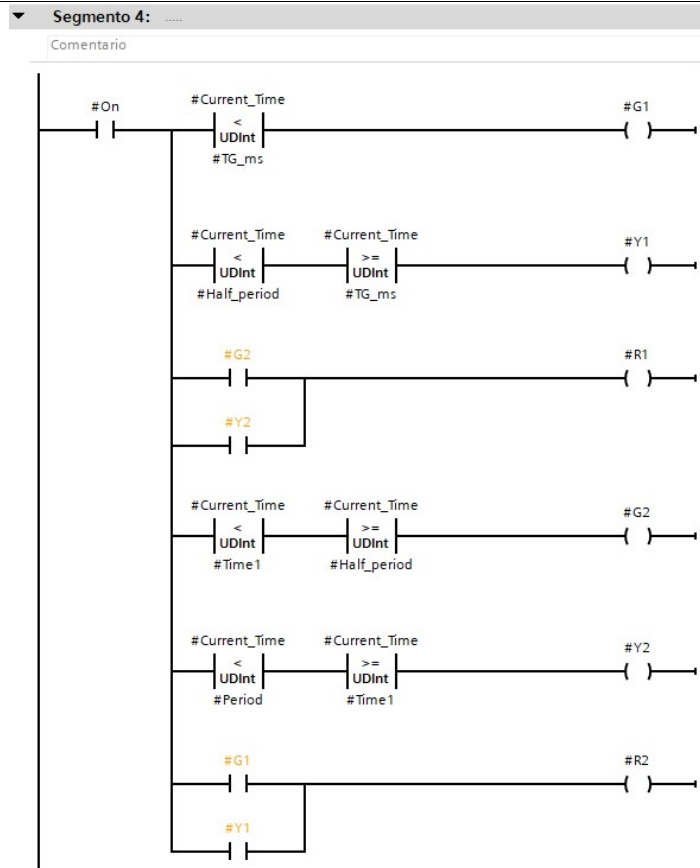


Figura 137. Programación segmento 4/Control de salidas con temporización

4. Se llama al bloque función desde el programa principal.

▼ Segmento 4: Práctica#4: Simulación de dos semáforos con 6 salidas físicas digitales utilizando un controlador S7-1500

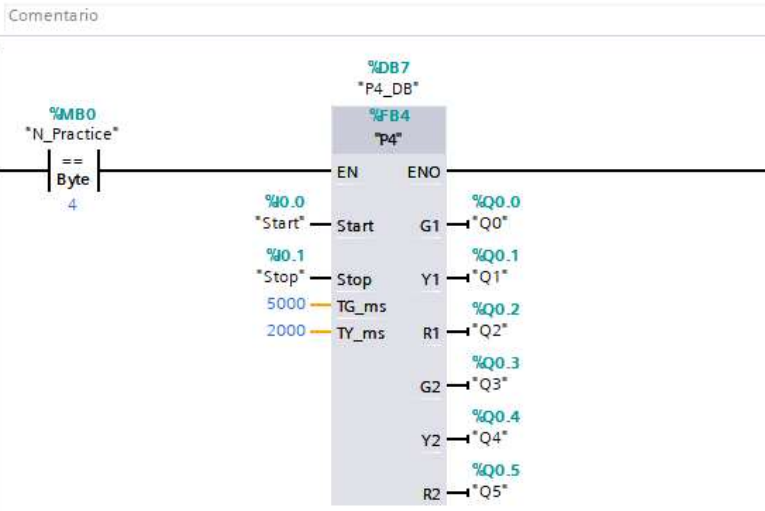


Figura 138. Llamado funciones para ejecución del semáforo desde el bloque función

5. Se realiza la visualización de todas las entradas analógicas utilizando una interfaz humano-máquina con la siguiente apariencia:



Figura 139. Interfaz HMI procedimiento practica 4

6. Se requiere configurar el indicador de encendido por medio de software como se observa en la Figura 140.

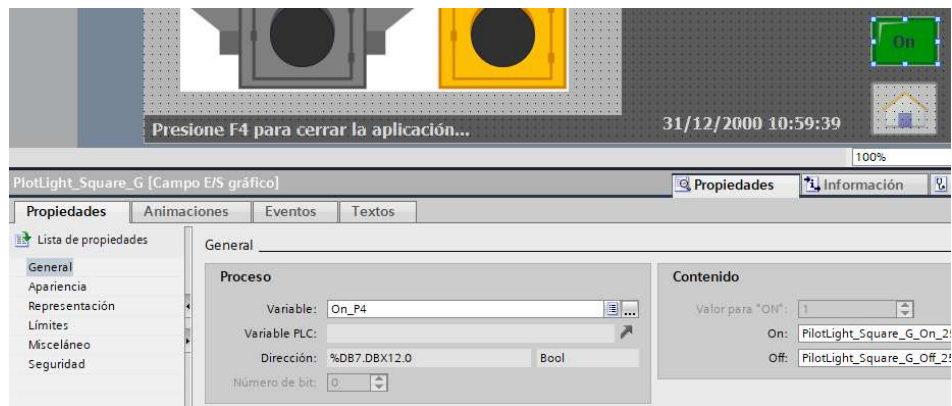


Figura 140. Configuración propiedades indicador encendido/Practica 4

7. Configuración de la luz roja en el semáforo 1 en el interfaz HMI.

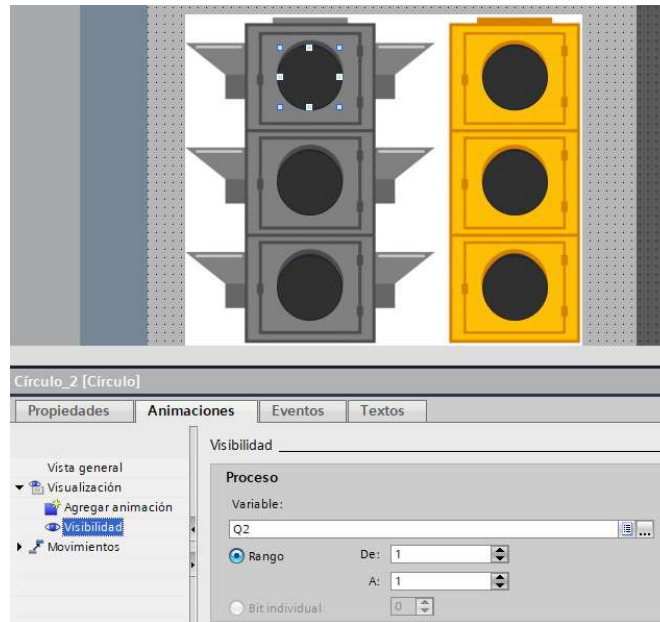


Figura 141. Configuración propiedades indicador luz roja semáforo 1/Practica 4

8. Configuración de la luz amarilla en el semáforo 1 en el interfaz HMI.

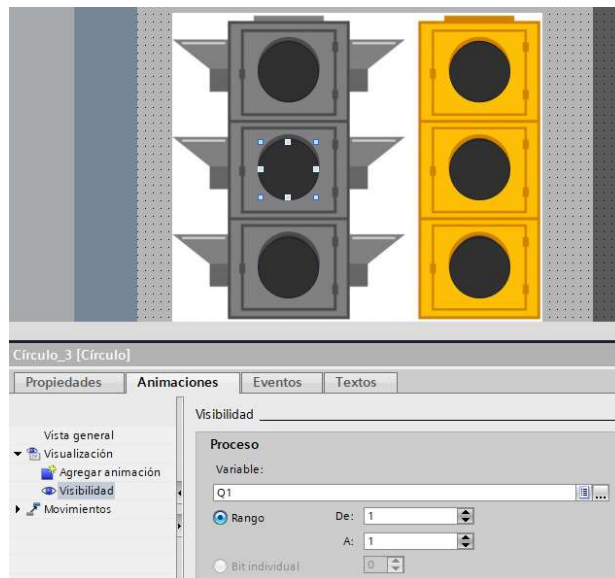


Figura 142. Configuración propiedades indicador luz amarilla semáforo 1/Practica 4

9. Configuración de la luz verde semáforo 1 en el interfaz HMI.

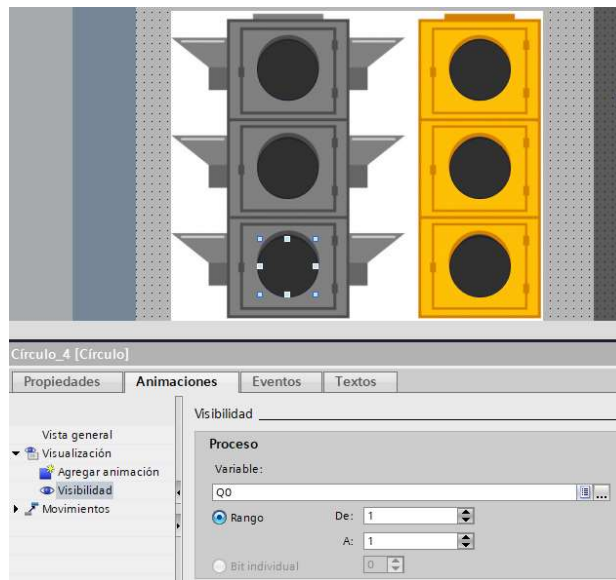


Figura 143. Configuración propiedades indicador luz verde semáforo 1/Practica 4

10. Configuración de la luz roja en el semáforo 2 en el interfaz HMI.

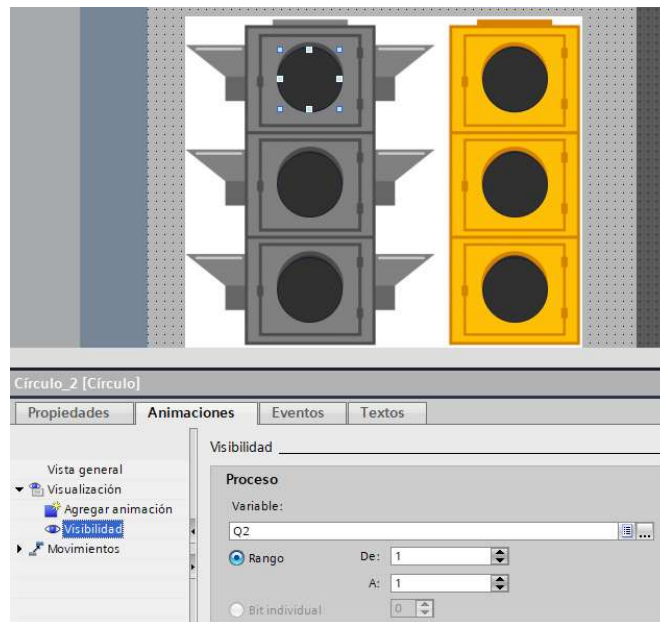


Figura 144. Configuración propiedades indicador luz roja semáforo 2/Practica 4

11. Configuración de la luz amarilla en el semáforo 2 en el interfaz HMI.

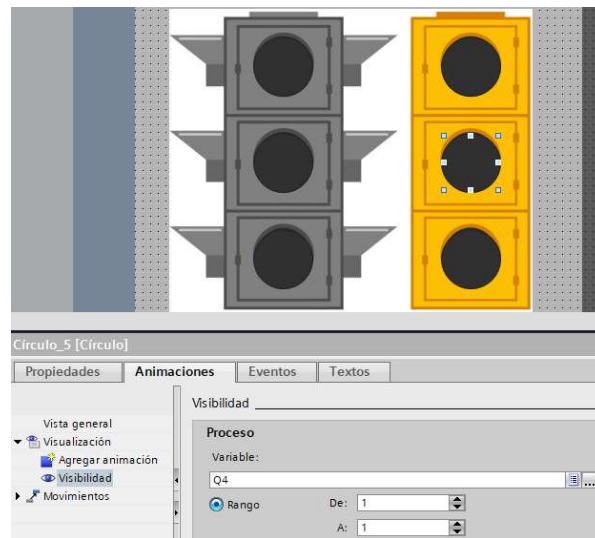


Figura 145. Configuración propiedades indicador luz amarilla semáforo 2/Practica 4

12. Configuración de la luz verde semáforo 2 en el interfaz HMI.

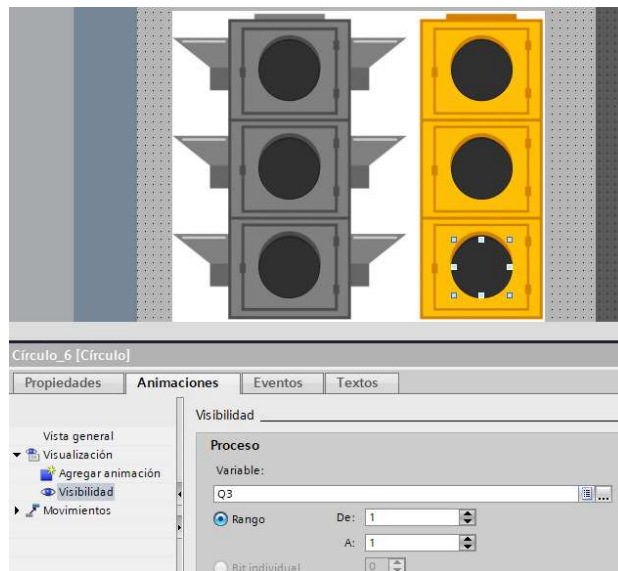


Figura 146. Configuración propiedades indicador luz verde semáforo 2/Practica 4

13. Una vez finalizado toda la configuración de los indicadores y la programación se requiere la carga del programa hacia el modulo didáctico para la elaboración de la prueba de funcionamiento.



Figura 147. Modulo didáctico S71500/Practica 4

Como se observa en la figura 147, el programa se encuentra cargado en el módulo didáctico y funcionando, por lo que se puede observar el interfaz en la pantalla HMI.

### Anexo 10. Plano de control practica #5

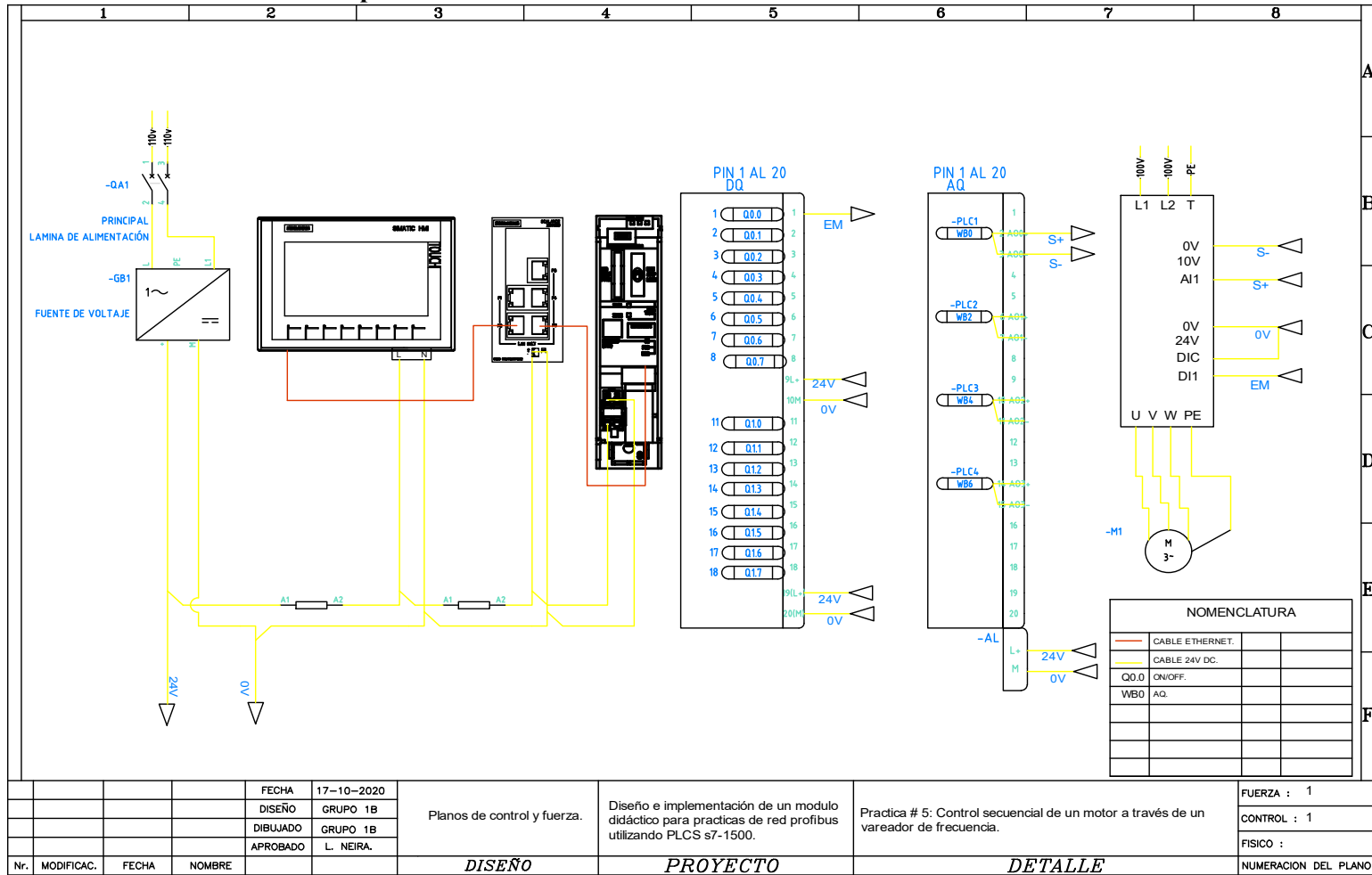


Figura 148. Plano de control/Practica 5



## Anexo 11. Practica #5

### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

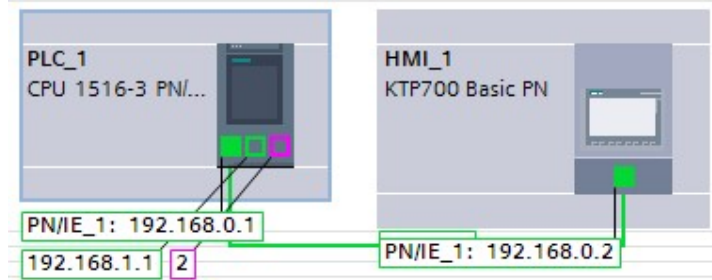


Figura 149. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 5

Como se observa en la Figura 149 es necesario por medio de software realizar la configuración y activación de los interfaces de red, para de esta forma proceder a realizar la conexión física de los componentes.

2. Se definen las variables (locales) a utilizar dentro del bloque de función:

P5		
	Nombre	Tipo de datos
1	Input	
2	Start	Bool
3	Stop	Bool
4	Frecuency	Real
5	Sequence	Bool
6	Output	
7	On_Off	Bool
8	AQ	Int
9	InOut	
10	<Agregar>	
11	Static	
12	AQ_norm	Real

Figura 150. Variables locales en software procedimiento practica 5

3. Se programa el control analógico para variador de velocidad en dos modos de operación como se indicó en la descripción de la práctica.

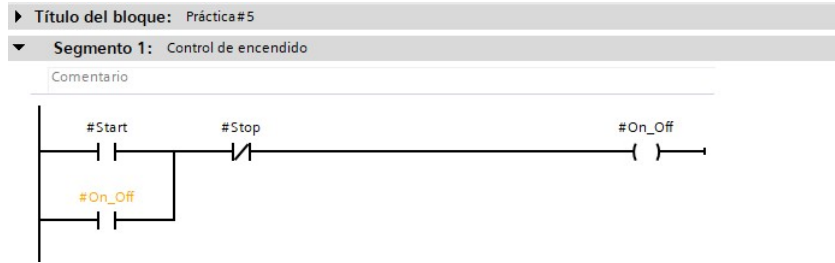


Figura 151. Programación segmento 1/Control de encendido/Practica 5

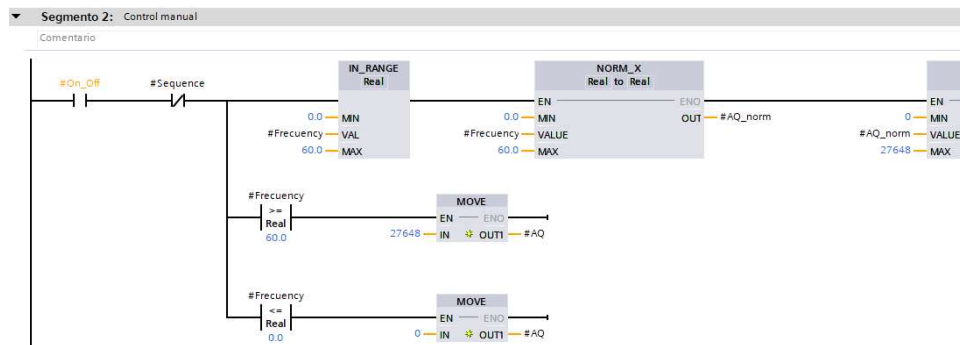


Figura 152. Programación segmento 2/Control manual del variador

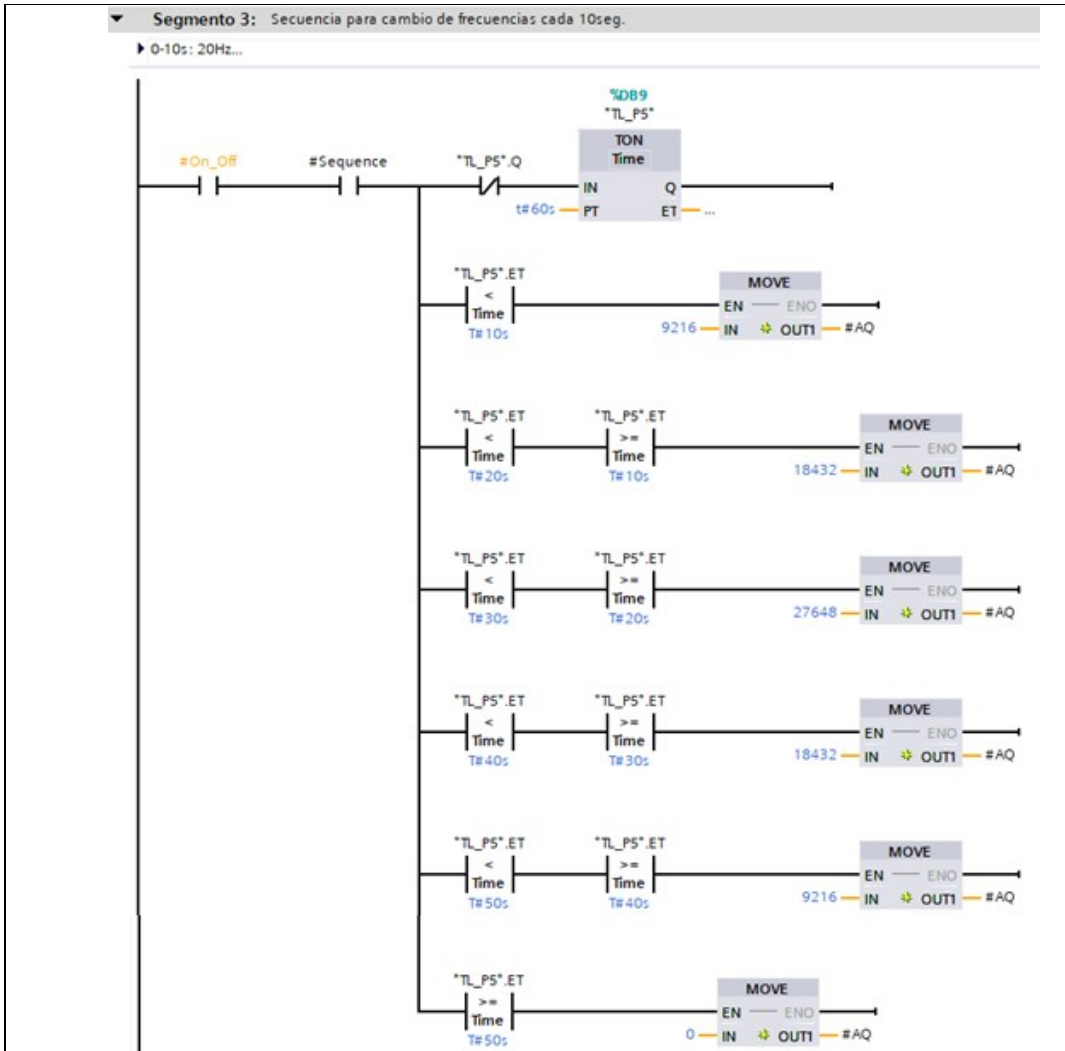


Figura 153. Programación segmento 3/Secuencia cambio frecuencias cada 10s.



Figura 154. Programación segmento 4/Acciones de parada

4. Se llama al bloque función desde el programa principal.

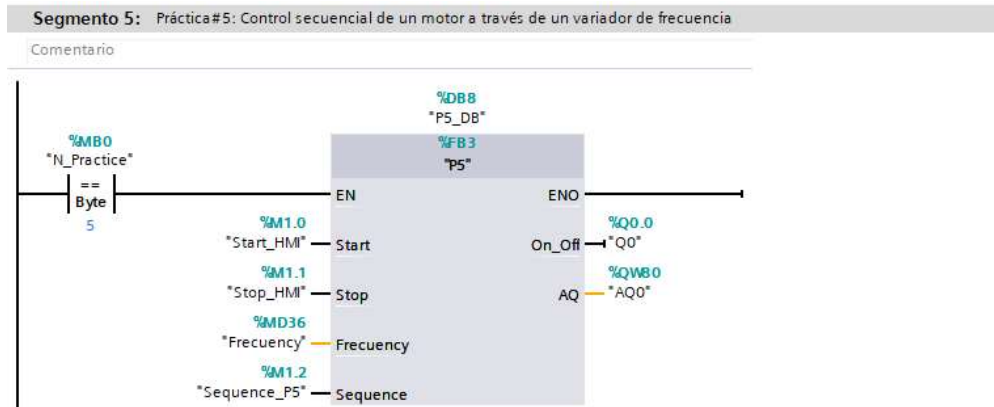


Figura 155. Llamado funciones para ejecución del variador del motor

5. Se realiza la visualización de todas las entradas analógicas utilizando una interfaz humano-máquina con la siguiente apariencia:

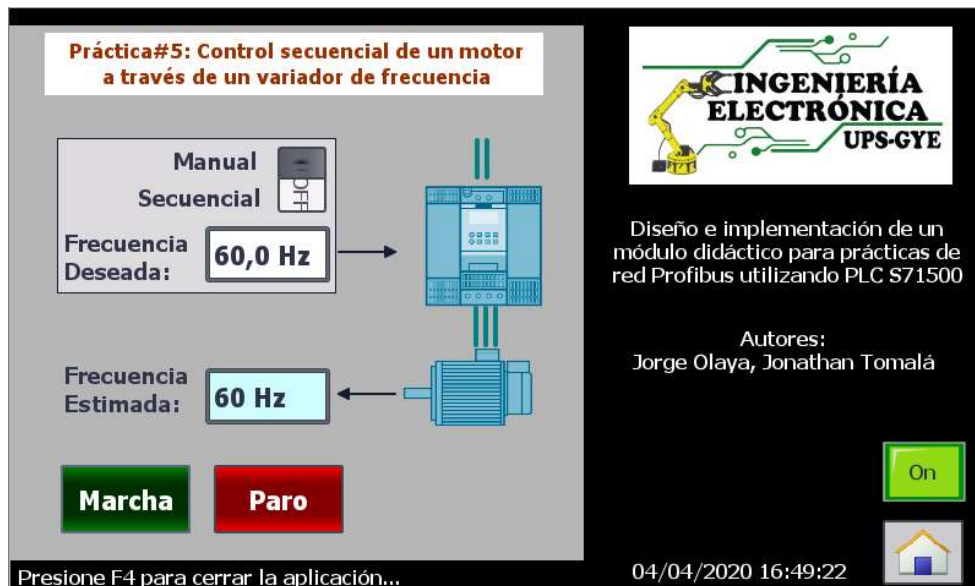


Figura 156. Interfaz HMI procedimiento practica 5

6. Se requiere configurar el indicador de encendido por medio de software como se observa en la Figura 157.

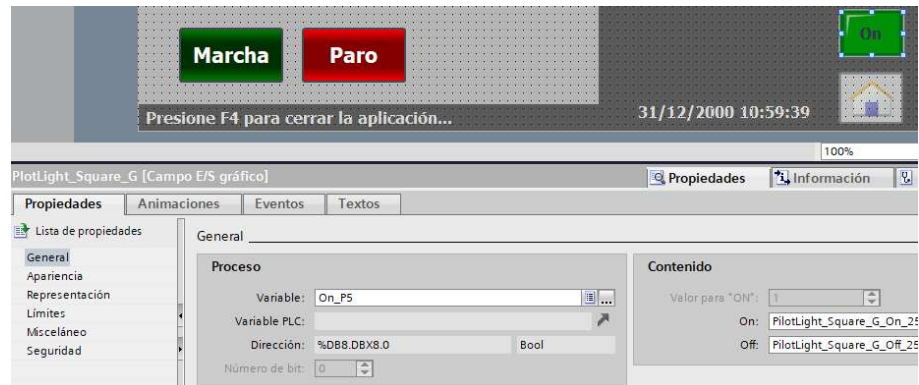


Figura 157. Configuración propiedades indicador encendido/Practica 5

7. Configurar el botón de marcha en el interfaz HMI.



Figura 158. Configuración propiedades botón marcha/Practica 5

8. Configurar el botón de paro en el interfaz HMI.

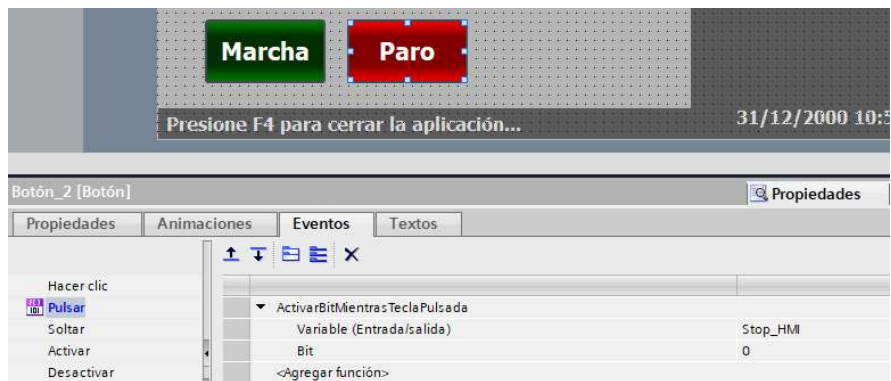


Figura 159. Configuración propiedades botón paro/Practica 5

9. Configuración del botón para seleccionar el modo manual o secuencial.

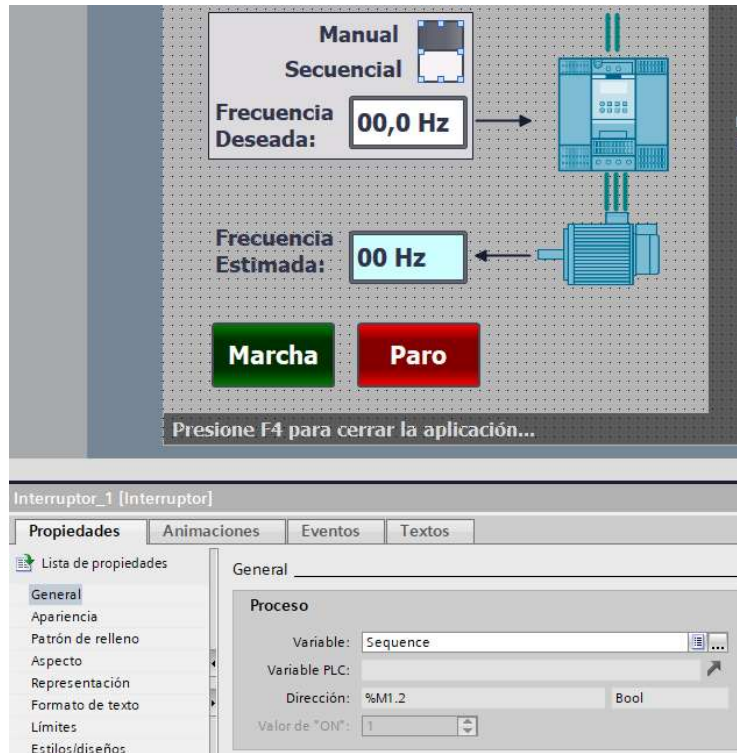


Figura 160. Configuración selector manual y secuencial/Practica 5

10. Configurar campo de entrada/salida para fijar la frecuencia deseada.

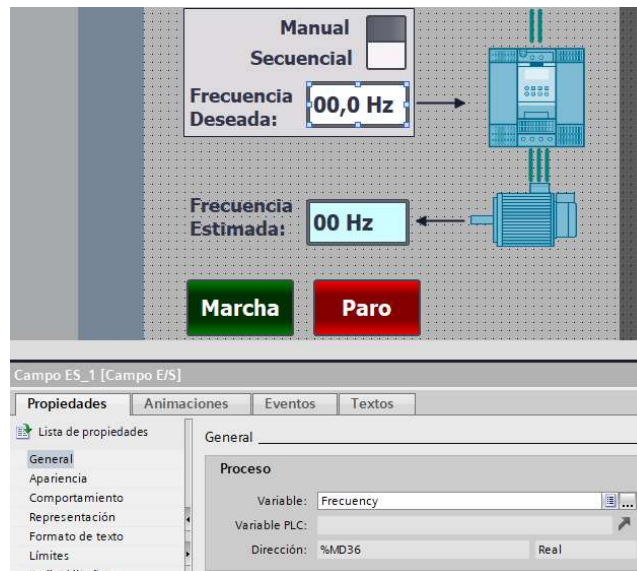


Figura 161. Configuración selectora de frecuencia/Practica 5

11. Configurar campo para verificar la frecuencia del variador.



Figura 162. Configurar frecuencia estimada del variador/Practica 5

12. Tomar en cuenta los parámetros de la Tabla 6 para el variador de velocidad V20.

Tabla 6. Parámetros variador velocidad

Parámetro	Valor	Comentario
P0010	1	Puesta en marcha rápida
P0100	1	Norteamérica [hp], frecuencia básica del motor de 60 Hz
P0304	220V	Tensión nominal del motor
P0305	1.89A	Corriente nominal del motor
P0307	0.5Hp	Potencia nominal del motor
P2000	60Hz	Frecuencia de referencia [Hz]
P0310	60Hz	Frecuencia nominal del motor
P0311	1615rpm	Velocidad nominal del motor
P0700	2	Selecciona la fuente digital de señales de mando (Bornes)
P0717	2	Selecciona una macro de conexión dada (Consigna analógica)



Una vez finalizado la configuración es necesario poner el P0010 en cero.

13. Una vez finalizado toda la configuración de los indicadores y la programación se requiere la carga del programa hacia el módulo didáctico para la elaboración de la prueba de funcionamiento.



Figura 163. Módulo didáctico S71500/Practica 4

Como se observa en la figura 163, el programa se encuentra cargado en el módulo didáctico y funcionando, por lo que se puede observar el interfaz en la pantalla HMI.



### Anexo 12. Plano de control Practica #6

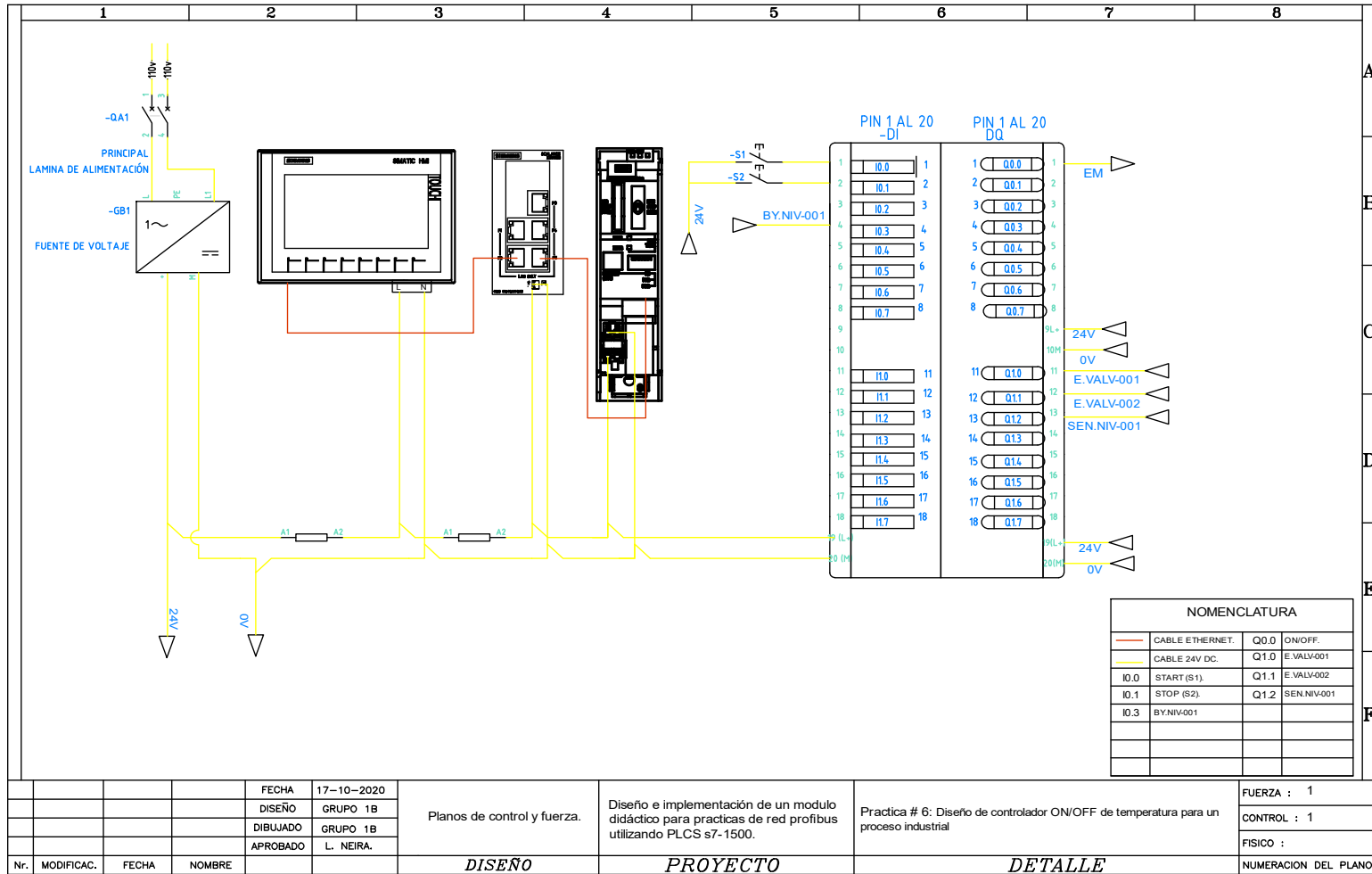


Figura 164. Plano de control 1/practica 6

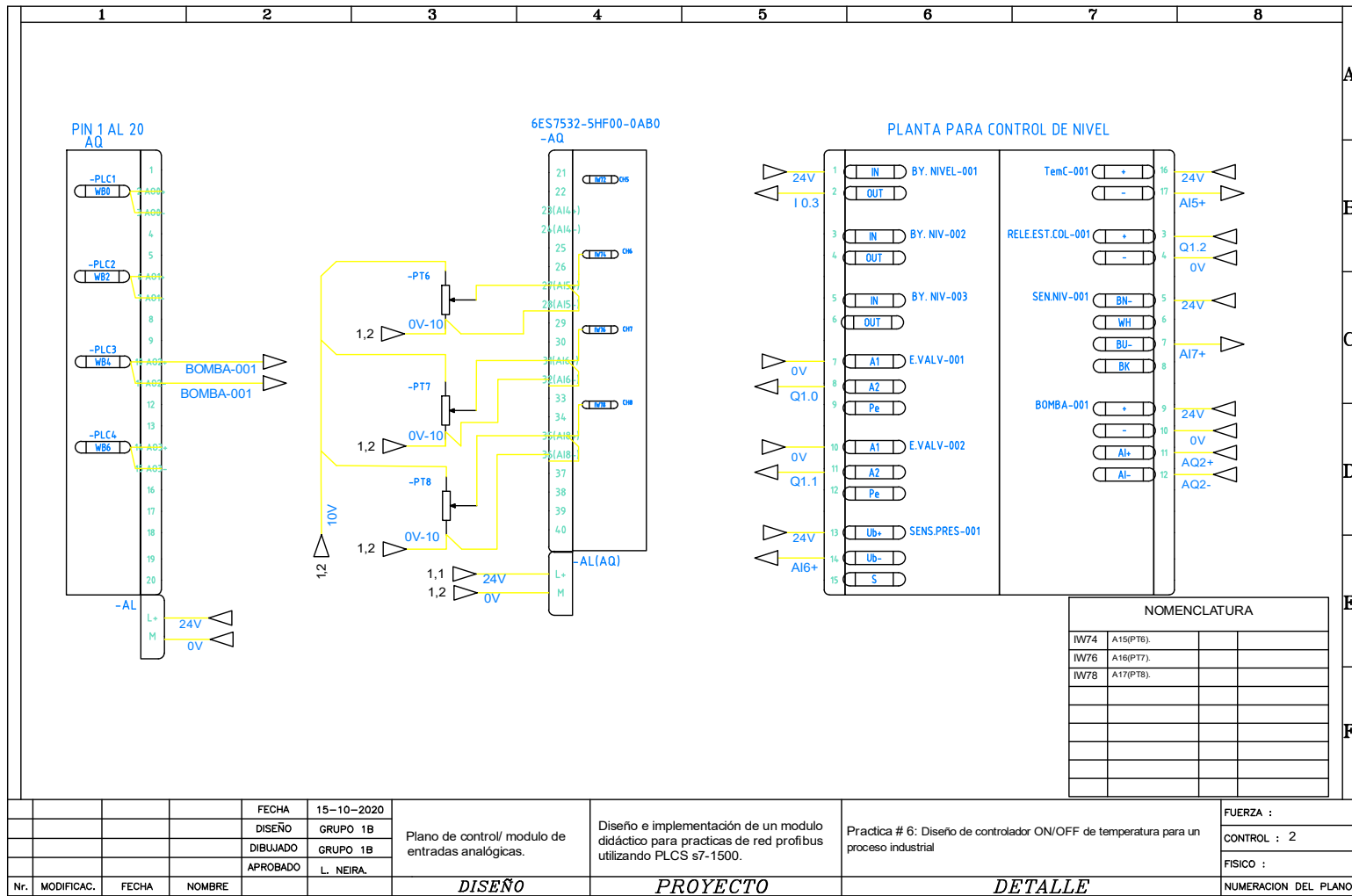


Figura 165. Plano de control 2/practica 6

## Anexo 12. Practica #6

### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

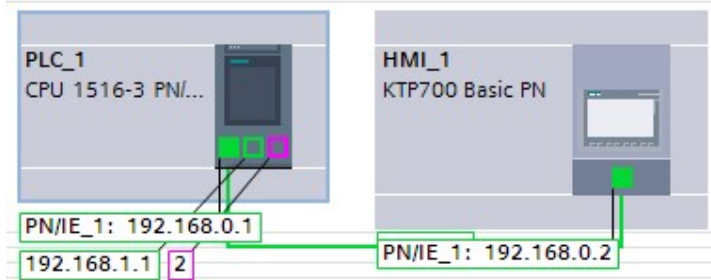


Figura 166. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700 procedimiento practica 6

Como se observa en la Figura 166 es necesario por medio de software realizar la configuración de los interfaces de red, para de esta forma proceder a realizar la conexión física de los componentes.

2. Se definen las variables (locales) a utilizar dentro del bloque de función:

P6				
	Name	Data type	Offset	Default value
1	Input			
2	Start	Bool	0.0	false
3	Stop	Bool	0.1	false
4	Safety_level	Bool	0.2	false
5	Temp_AI	UInt	2.0	0
6	Temp_SP	USInt	4.0	0
7	Pres_AI	UInt	6.0	0
8	Test	Bool	8.0	false
9	Level_AI	UInt	10.0	0
10	Output			
11	On_Off	Bool	12.0	false
12	Eval1	Bool	12.1	false
13	Eval2	Bool	12.2	false
14	Heater	Bool	12.3	false
15	AQ_Pump	UInt	14.0	0
16	Temp	Real	16.0	0.0
17	Vol	Real	20.0	0.0
18	Level	Real	24.0	0.0
21	Static			
22	AI_norm	Real	28.0	0.0
23	HL_Temp	Real	32.0	0.0
24	LL_Temp	Real	36.0	0.0
25	AI3_norm	Real	40.0	0.0
26	Test_on	Bool	44.0	false
27	Test_2	Bool	44.1	false
28	Test_3	Bool	44.2	false
29	AI_norm1	Real	46.0	0.0

Figura 167. Variables locales en software procedimiento practica 6

3. Se programa el controlador todo o nada de temperatura según lo especificado previamente.

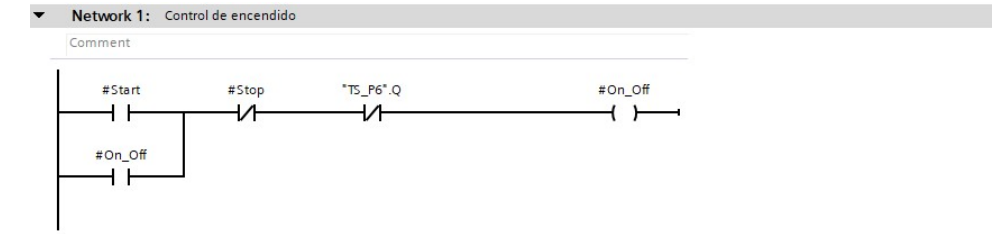


Figura 168. Configuración control de encendido

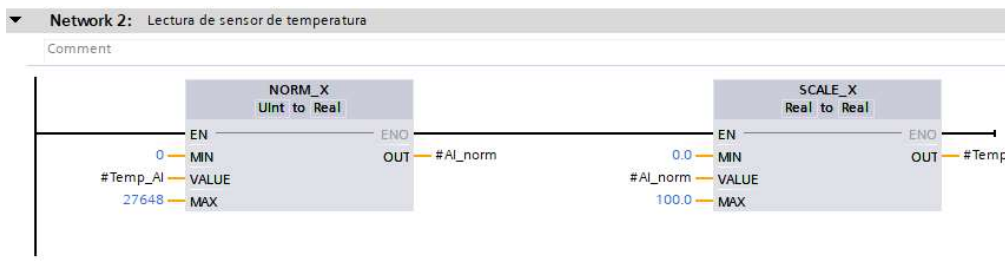


Figura 169. Configuración lectura de sensor temperatura

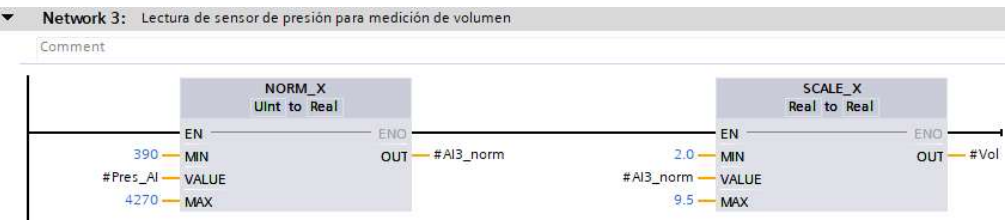


Figura 170. Configuración lectura de sensor de presión para medición de volumen

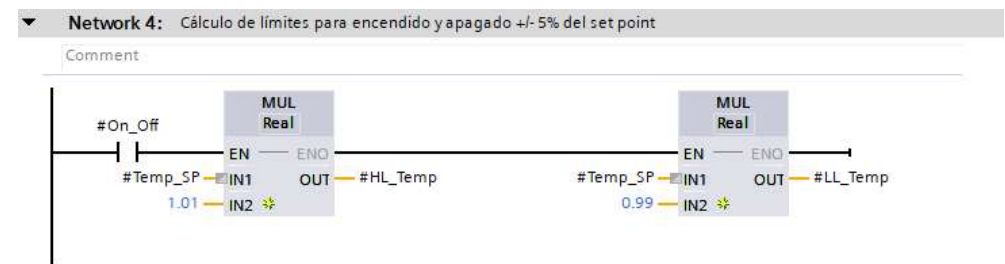


Figura 171. Configuración de límites para encendido y apagado

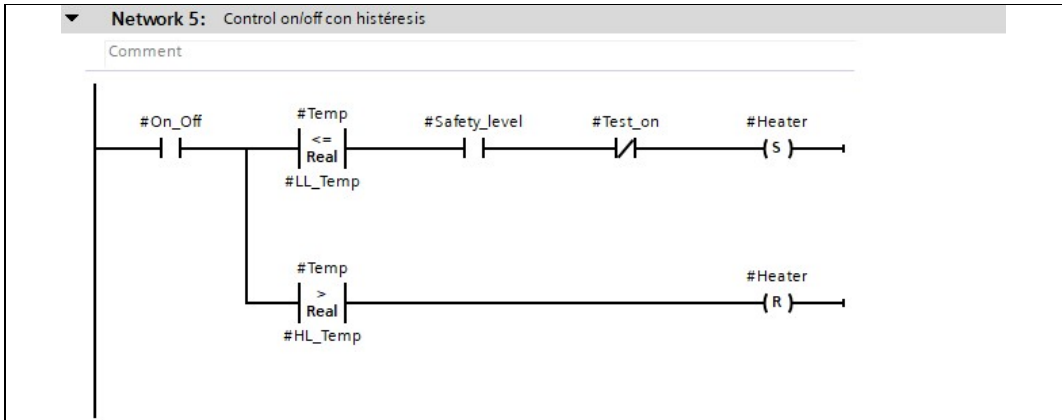


Figura 172. Configuración control on/off con histéresis

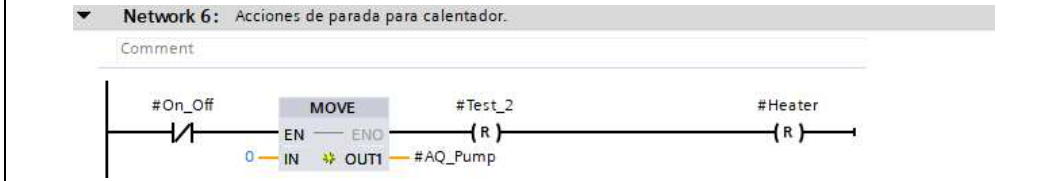


Figura 173. Configuración acción de parada para calentador

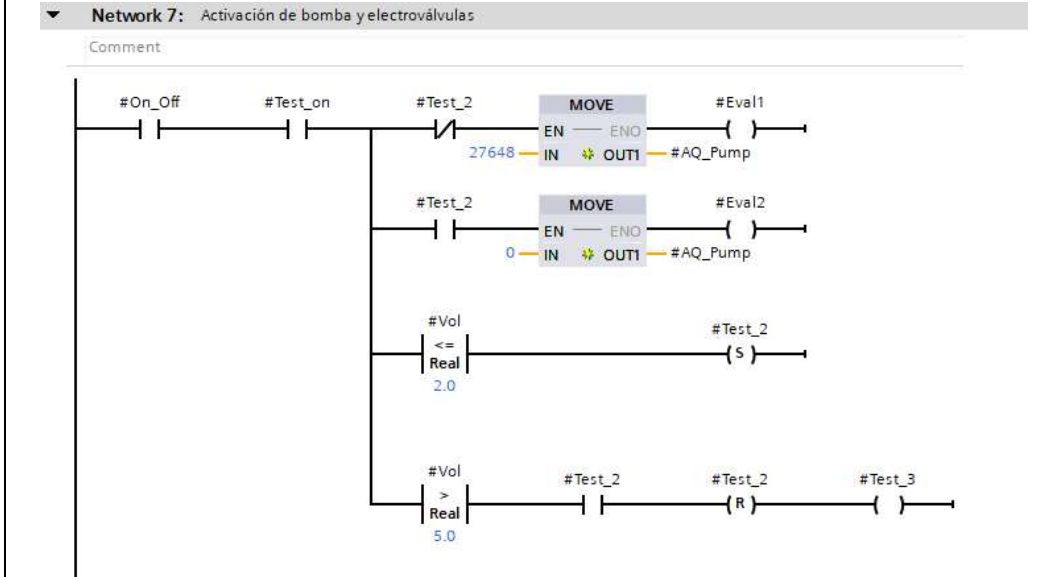


Figura 174. Configuración activación de bomba y electroválvulas

**Network 8:** Apagado del sistema por falta de agua en el tanque calefactor

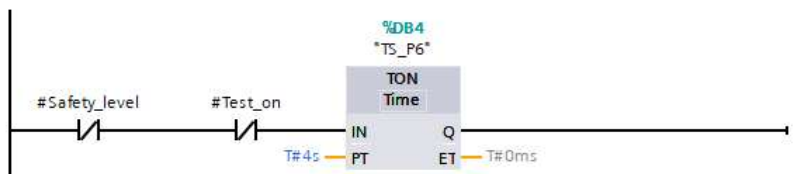


Figura 175. Configuración apagado del sistema por falta de agua

**Network 9:** Activación de secuencia de trasvase de agua para enfriamiento del tanque

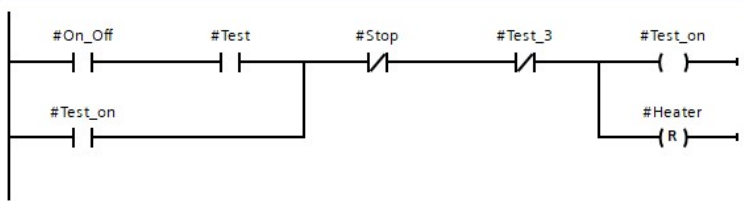


Figura 176. Configuración activado de secuencia trasvase para enfriamiento

**Network 10:** Recirculación de fluidos

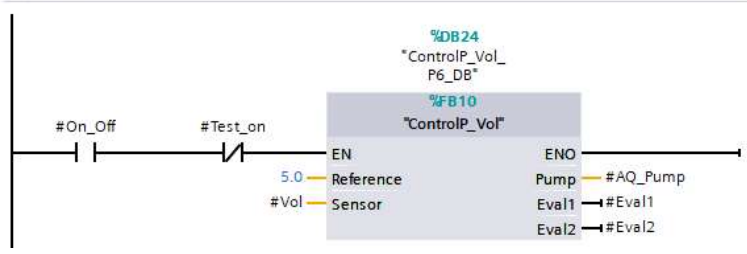


Figura 177. Configuración recirculación de fluidos

**Network 11:** Lectura de sensor de nivel



Figura 178. Configuración lectura sensor de nivel

4. Se llama al bloque función desde el programa principal.

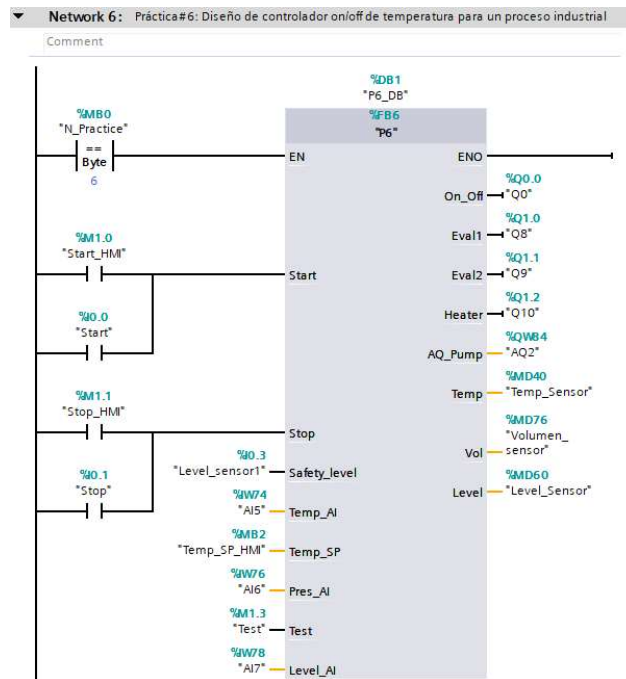


Figura 179. Función de bloque/Practica 6

5. Se realiza el panel de control y visualización del controlador utilizando una interfaz humano-máquina con la siguiente apariencia.

6.

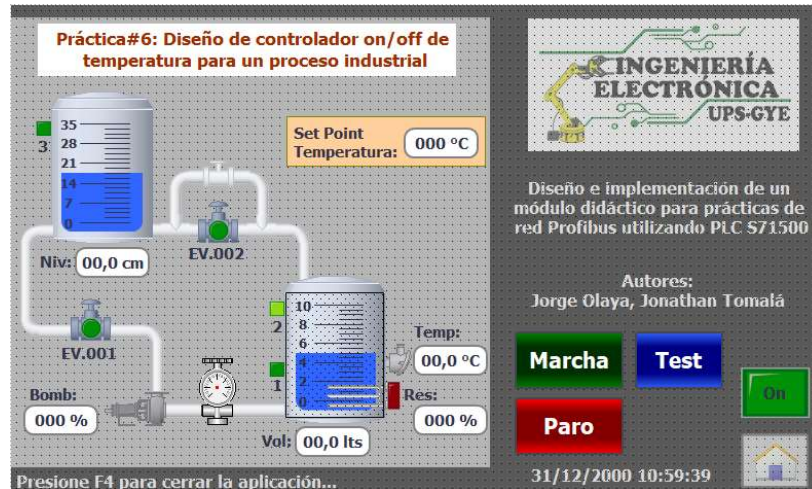


Figura 180. Interfaz HMI procedimiento practica 6

7. Configuración de indicador de encendido en el interfaz humano-maquina como se observa en la figura 181.

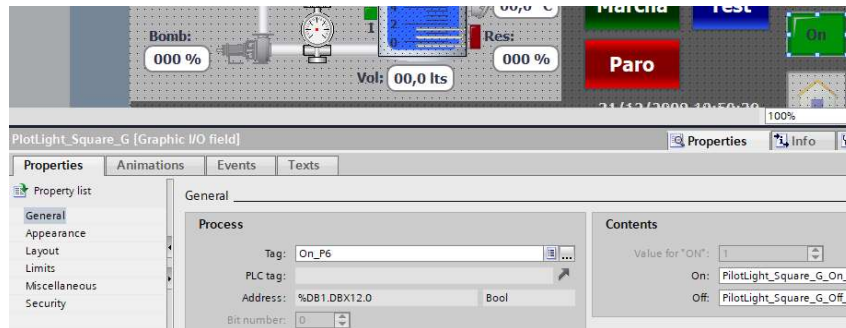


Figura 181. Configuración botón encendido

8. Se configura un evento en que se acciona en el botón de marcha como se observa en la figura 182.

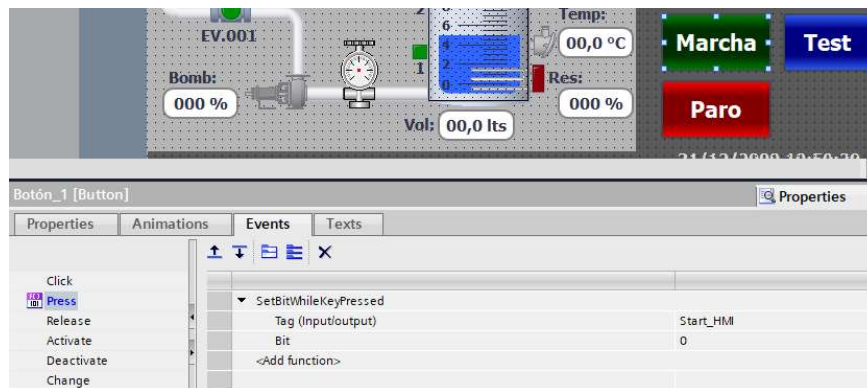


Figura 182. Eventos en botón marcha

9. Se configura un evento que se activa al pulsar el botón de paro como se observa en la figura 183.

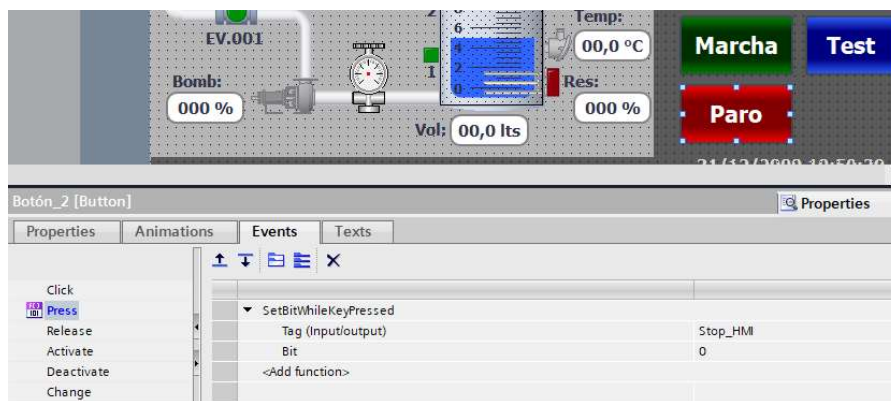


Figura 183. Eventos en botón paro



10. Se configura un evento que se activa al pulsar el botón Test como se observa en la figura 184.

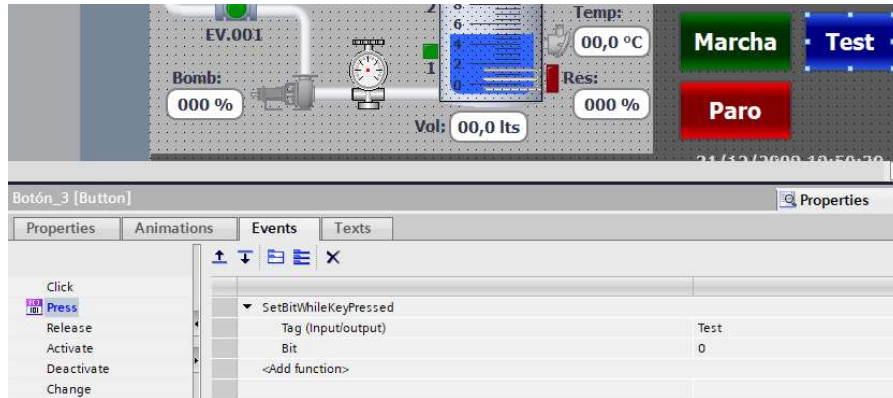


Figura 184. Eventos en botón test

11. Configurar el campo de entrada/salida para fijar la temperatura deseada como se observa en la figura 185.

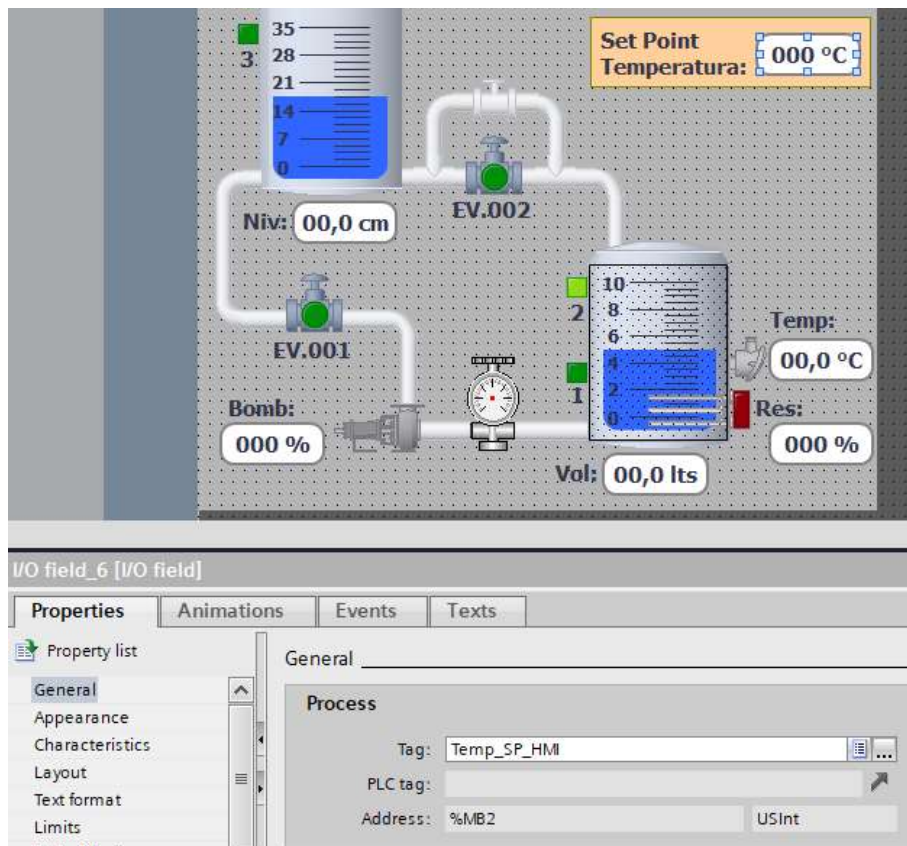


Figura 185. Propiedades campo entrada temperatura

12. Configurar campo de salida para observar la temperatura en tiempo real del fluido como se puede observar en la Figura 186.

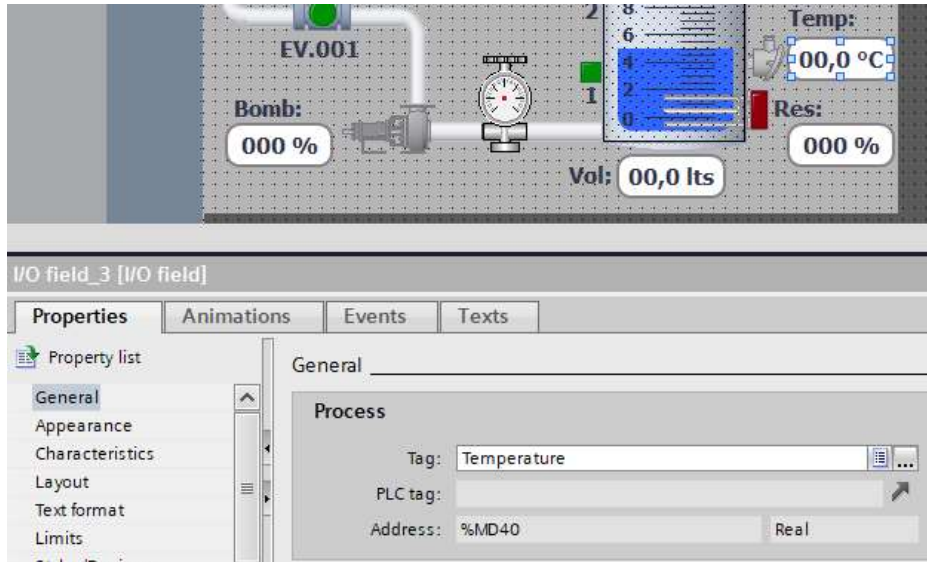


Figura 186. Propiedades campo temperatura

13. Configurar el campo de salida para visualizar el volumen de fluido en el tanque inferior, mediante el campo de propiedades disponibles en el indicador volumen.

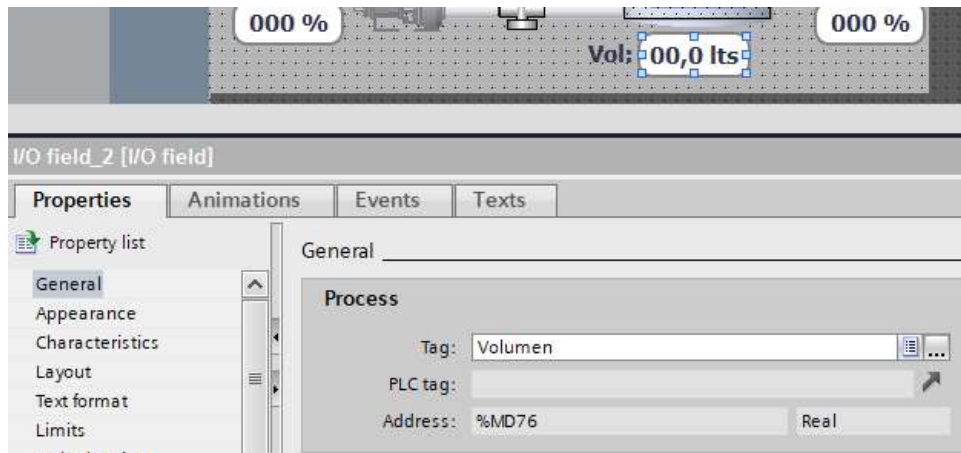


Figura 187. Propiedades campo volumen

14. Configurar campo de salida para observar el porcentaje de potencia aplicado a la bomba mediante las propiedades del objeto dentro del interfaz humano-maquina, como se observa en la figura 188.

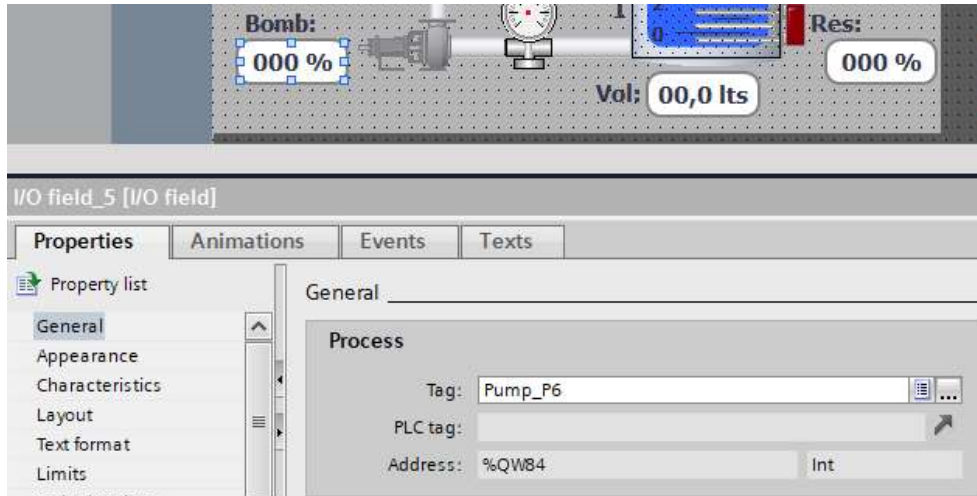


Figura 188. Propiedades campo potencia aplicado en bomba

15. Se configura el campo de salida para visualizar en tiempo real en nivel del líquido que se encuentra dentro del tanque superior como se observa en la figura 189.

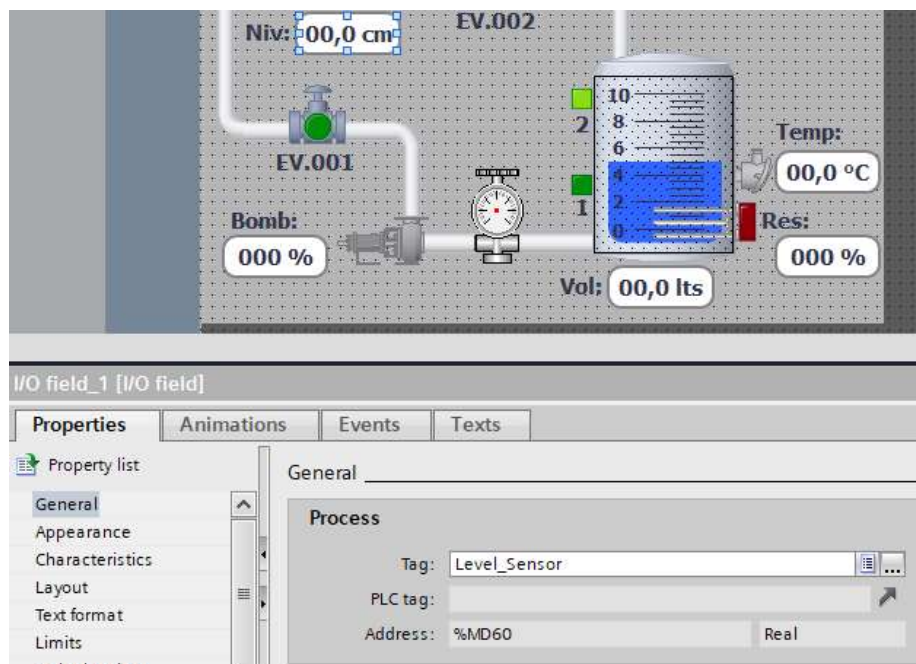


Figura 189. Propiedades campo potencia aplicado en bomba

16. Se configura el campo para el indicador de encendido de la resistencia de calentamiento como se ve en la Figura 190.

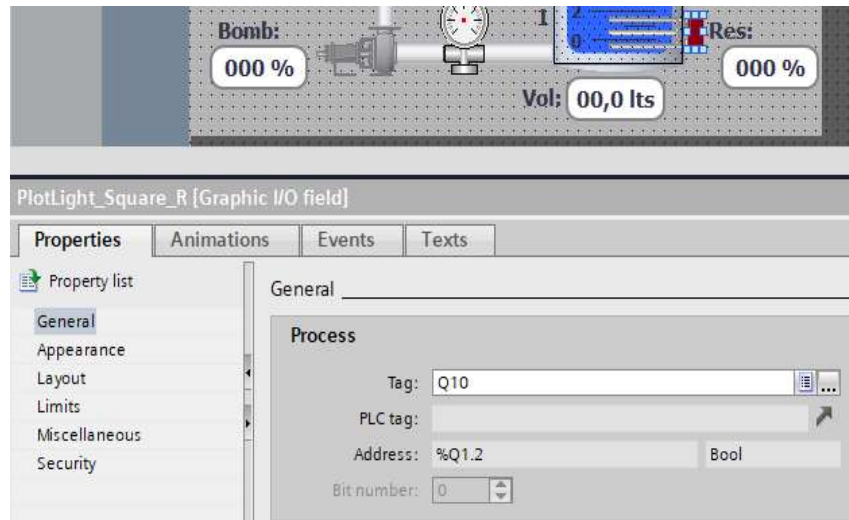


Figura 190. Propiedades de la resistencia.

17. Se configura en el interfaz HMI el indicador de encendido de nivel en lo alto del tanque superior, como se observa en la Figura 191.

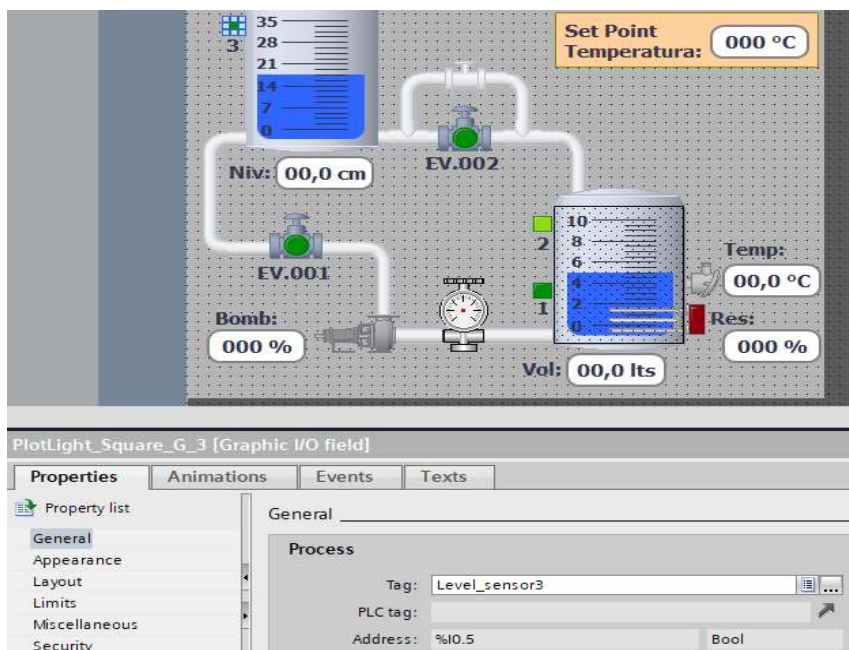


Figura 191. Propiedades del indicador de nivel tanque superior.

18. Se configura el indicador de encendido de nivel en lo alto del tanque inferior dentro del interfaz humano-maquina como se muestra en la figura 192, esto para los casos en que el líquido llega a su máxima capacidad.

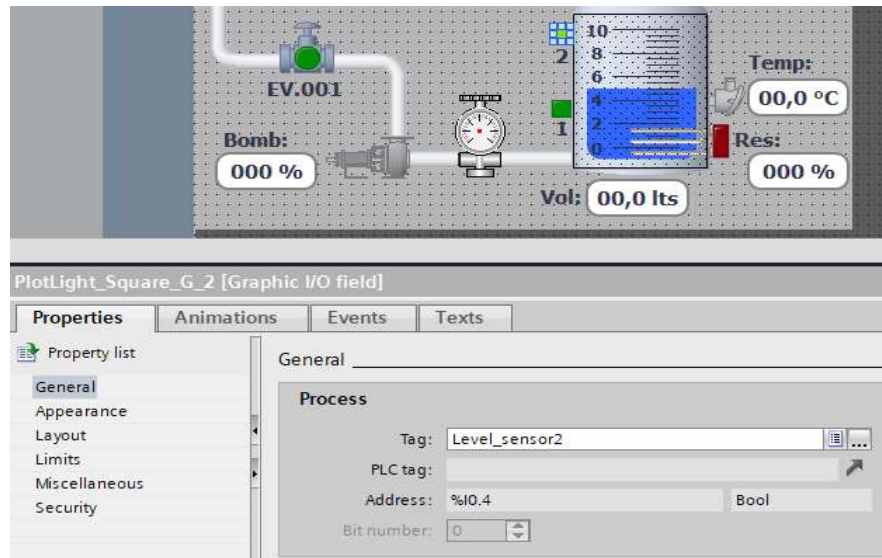


Figura 192. Propiedades del indicador de nivel máximo tanque inferior.

19. Se configura el indicador de encendido para cuando existe un nivel bajo de líquido en el tanque inferior, como se muestra en la Figura 193.

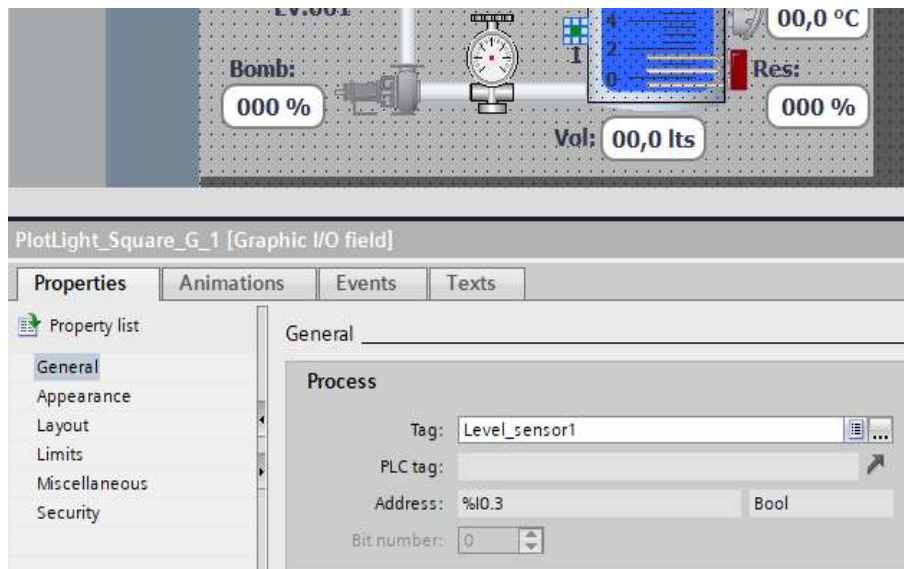


Figura 193. Propiedades del indicador de nivel bajo tanque inferior.



20. Se configura el indicador para cuando se enciende la electroválvula 1, como se observa en la figura 194.

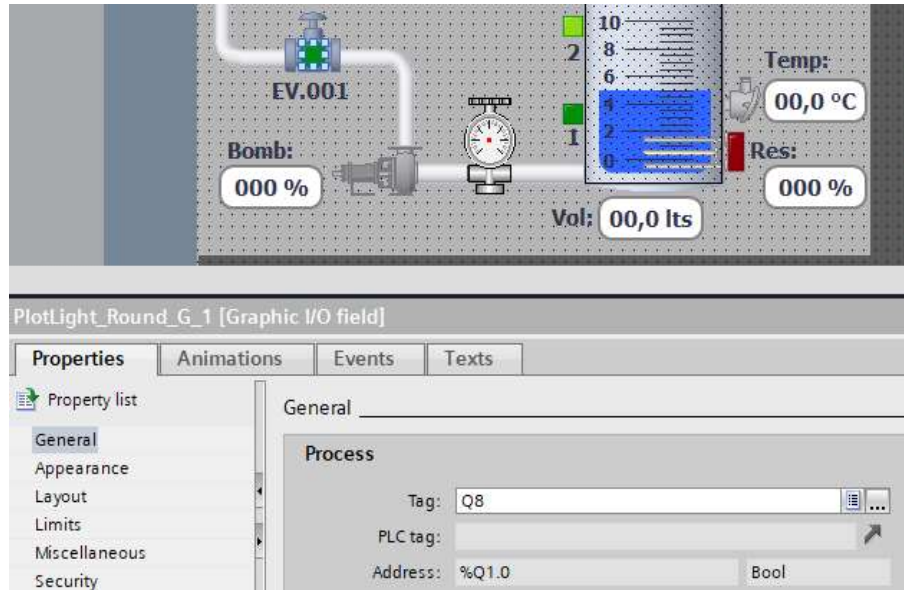


Figura 194. Propiedades del indicador electroválvula 1.

21. Se configura el indicador de encendido de la electroválvula 2, como se observa en la figura 195.

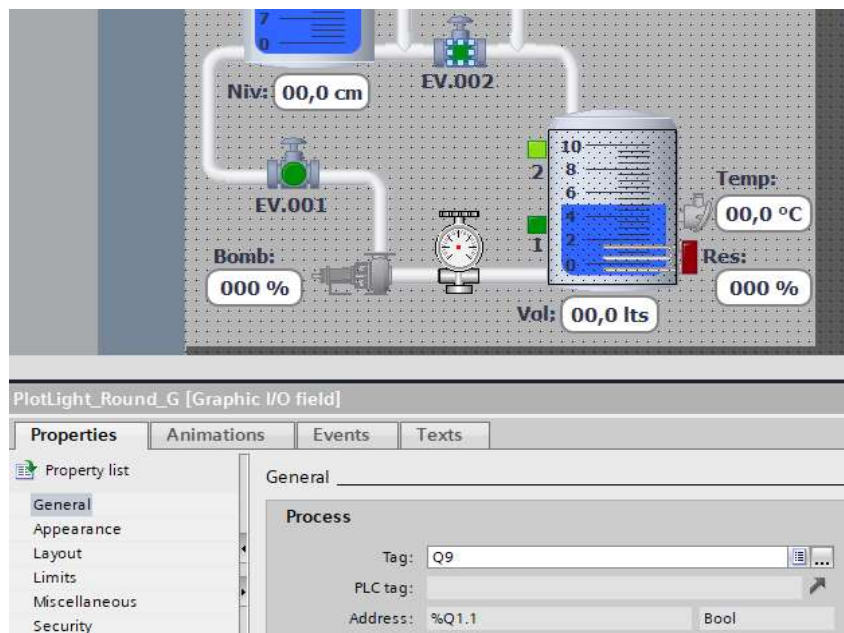


Figura 195. Propiedades del indicador electroválvula 2.

22. Se configura un botón oculto que se encargara de cambiar la pantalla del interfaz para el usuario y que permite monitorizar la temperatura.

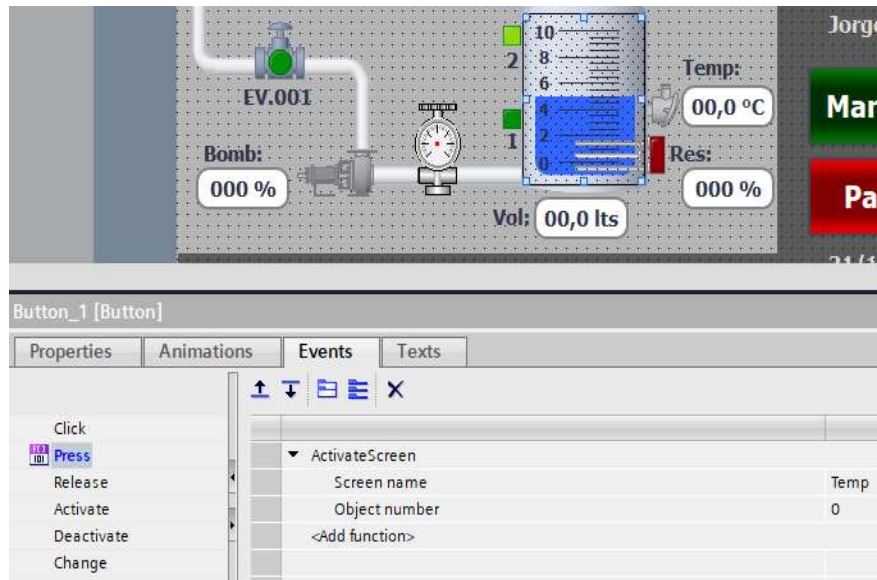


Figura 196. Propiedades botón oculto.

Se realiza la carga del programa y se procede a realizar las pruebas con el modulo didáctico.

### Anexo 13. Plano de control practica #7

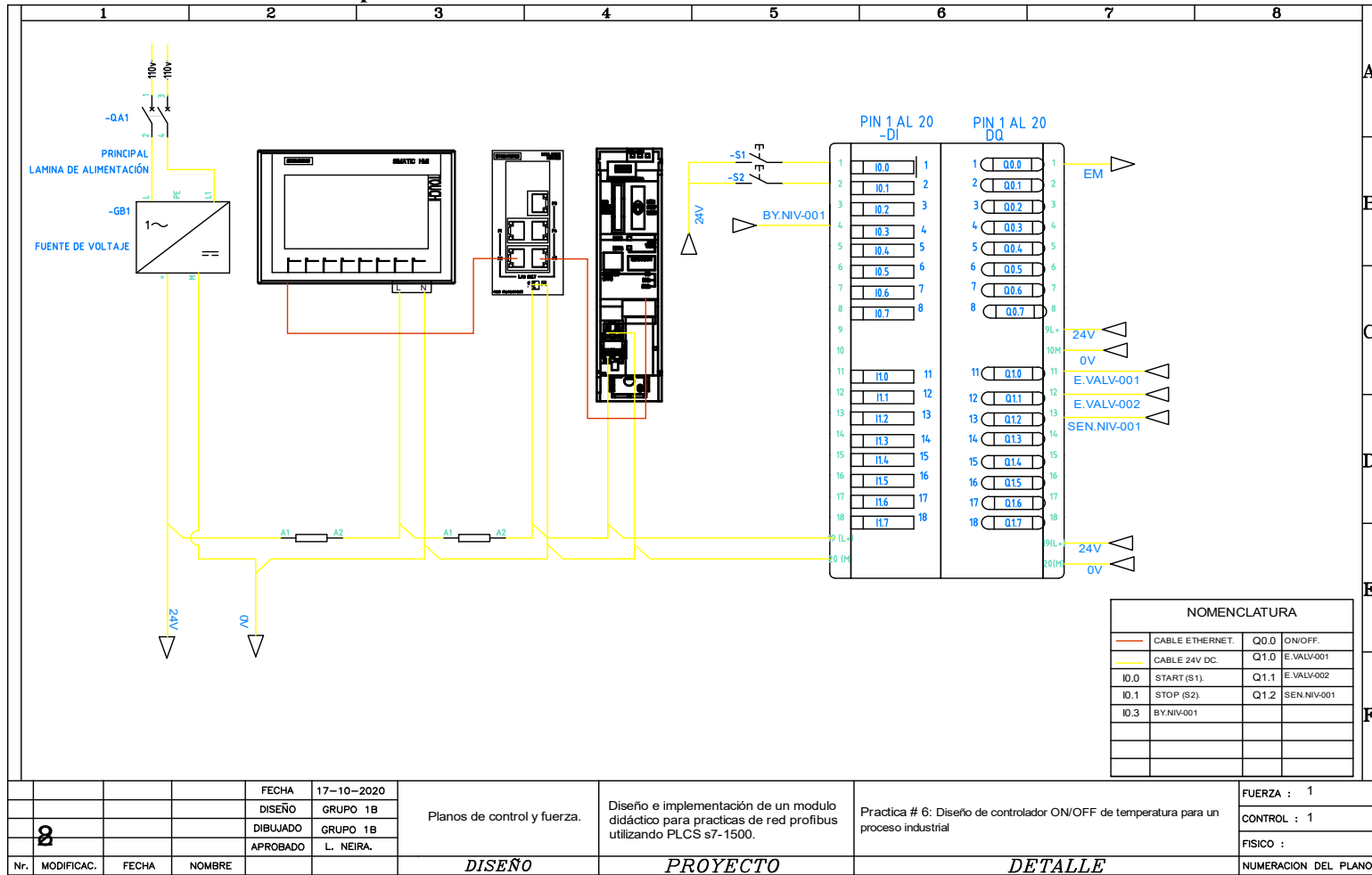


Figura 197. Plano de control 1/practica 7



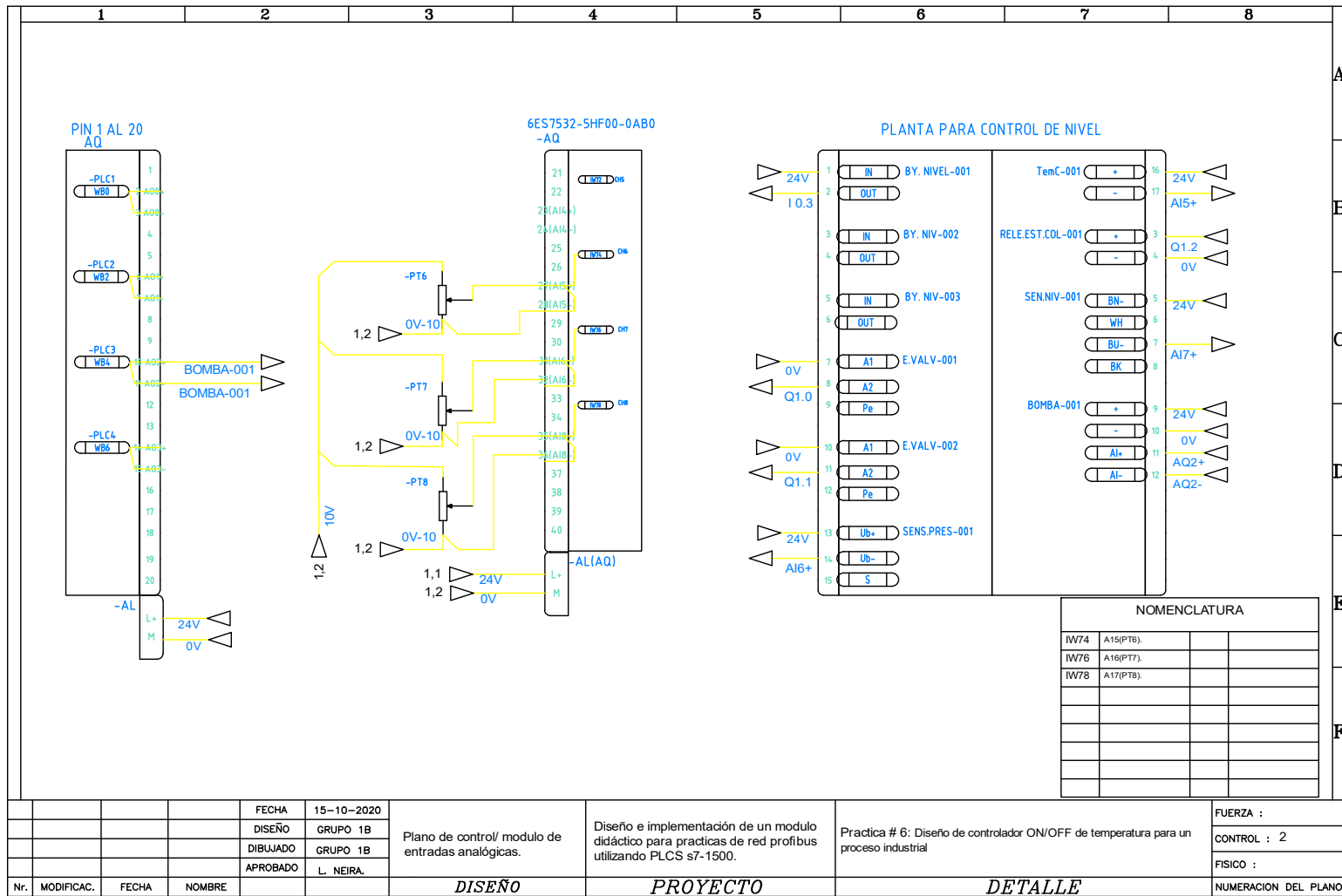


Figura 198. Plano de control 2/practica 7

## Anexo 14. Practica #7

### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

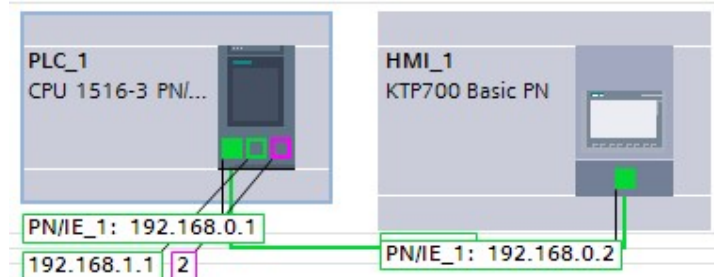


Figura 199. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700, procedimiento practica 7

Como se observa en la Figura 199 es necesario por medio de software realizar la configuración de los interfaces de red, para de esta forma proceder a realizar la conexión física de los componentes.

2. Se definen las variables (locales) a utilizar dentro del bloque de función:

P7				
	Name	Data type	Offset	Default value
1	▼ Input			
2	Start	Bool	0.0	false
3	Stop	Bool	0.1	false
4	Safety_level	Bool	0.2	false
5	Temp_AI	UInt	2.0	0
6	Temp_SP	USInt	4.0	0
7	Pres_AI	UInt	6.0	0
8	Test	Bool	8.0	false
9	Level_AI	UInt	10.0	0
10	▼ Output			
11	On_Off	Bool	12.0	false
12	Eval1	Bool	12.1	false
13	Eval2	Bool	12.2	false
14	Heater	Bool	12.3	false
15	AQ_Pump	UInt	14.0	0
16	Temp	Real	16.0	0.0
17	PWM_duty	Real	20.0	0.0
18	Vol	Real	24.0	0.0
19	Level	Real	28.0	0.0
22	▼ Static			
23	AI_norm	Real	32.0	0.0
24	HL_Temp	Real	36.0	0.0
25	LL_Temp	Real	40.0	0.0
26	AI3_norm	Real	44.0	0.0
27	Test_on	Bool	48.0	false
28	Test_2	Bool	48.1	false
29	Test_3	Bool	48.2	false
30	AI_norm1	Real	50.0	0.0

Figura 200. Variables locales en software procedimiento practica 7

3. Se programa el controlador proporcional de temperatura según lo especificado previamente en base a un valor de referencia de 5lts.

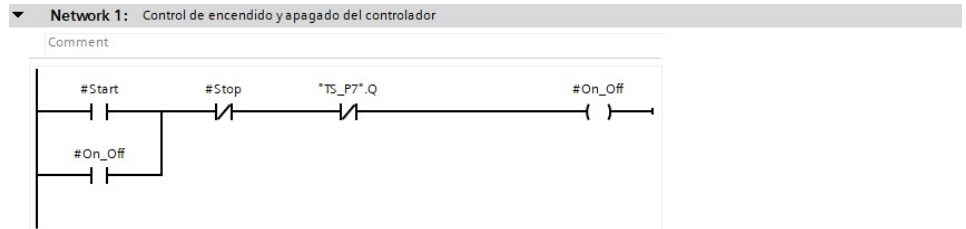


Figura 201. Configuración control de encendido y apagado practica 7.

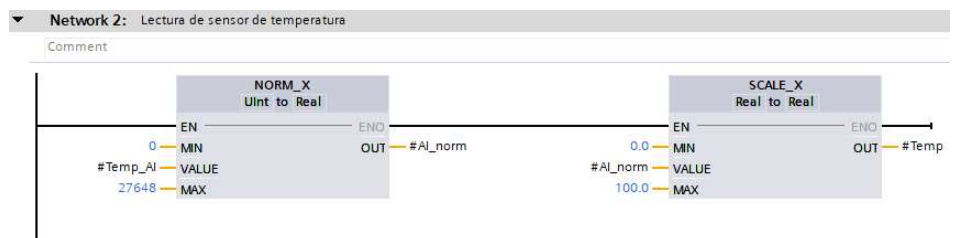


Figura 202. Configuración lectura de sensor temperatura practica 7.

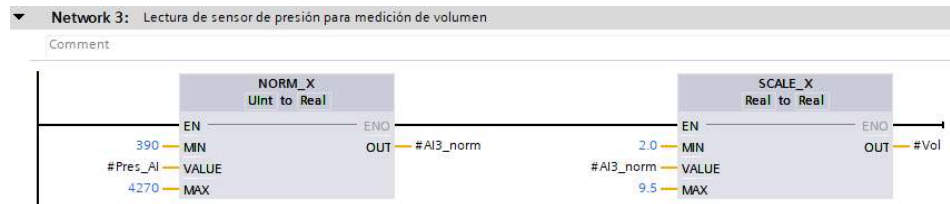


Figura 203. Configuración lectura de sensor presión para medición volumen practica 7.

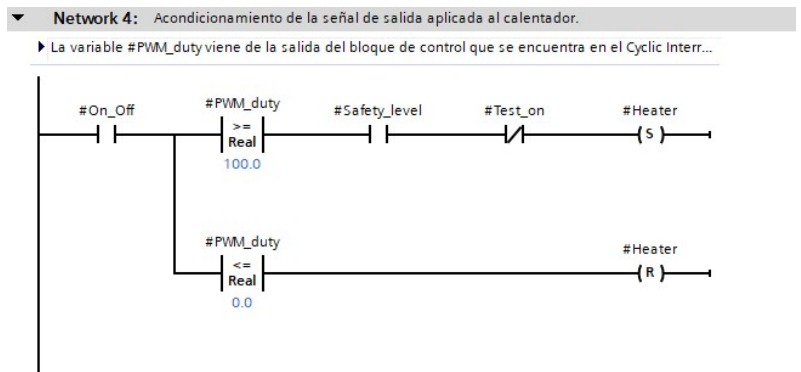


Figura 204. Configuración acondicionamiento de la señal de salida aplicada al calentador practica 7.



Figura 205. Configuración acciones de parada practica 7.

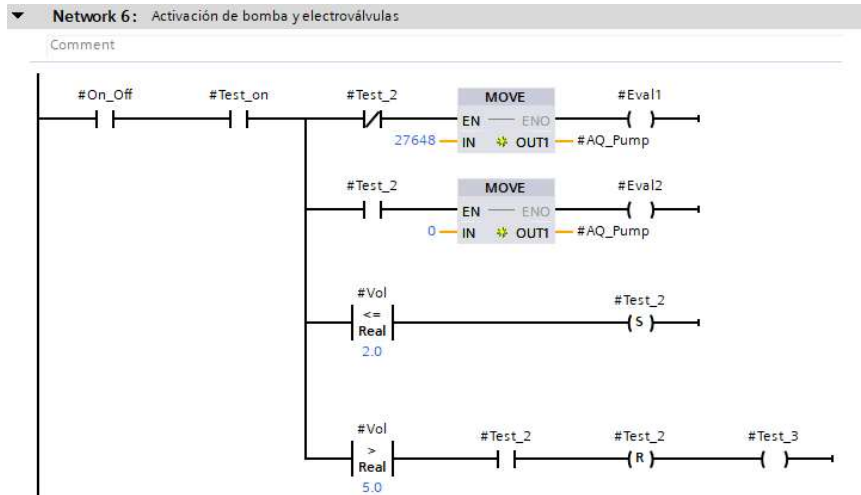


Figura 206. Configuración activación de bomba y electroválvulas practica 7.

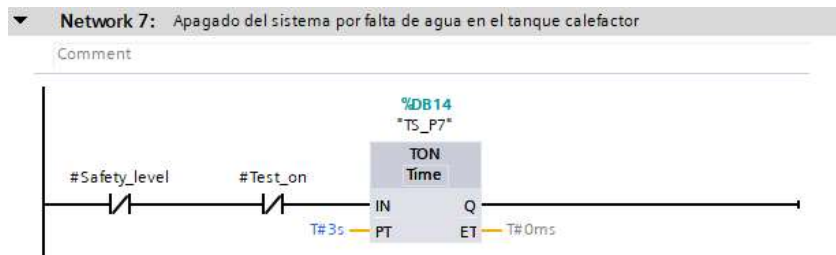


Figura 207. Configuración del sistema por falta de agua en el tanque calefactor practica 7.

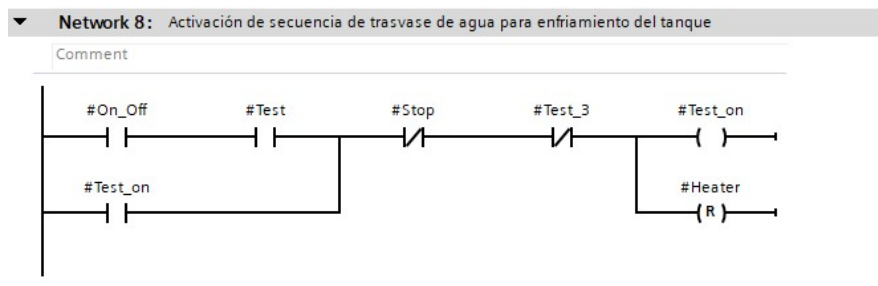


Figura 208. Configuración de activación de secuencia de trasvase de agua para enfriamiento practica 7.

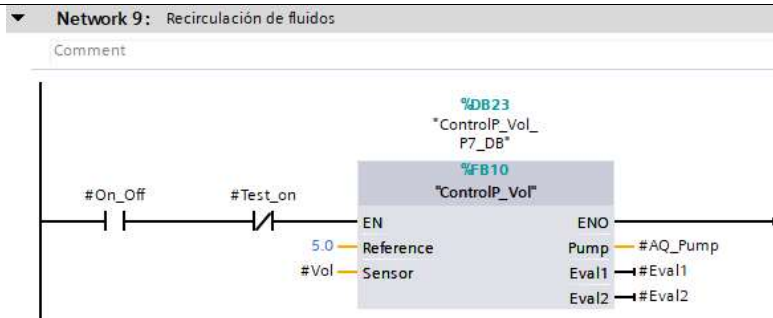


Figura 209. Configuración de recirculación de fluidos practica 7.

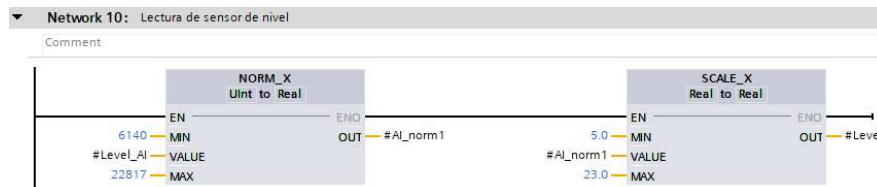


Figura 210. Configuración lectura de sensor de nivel practica 7.

4. Se realiza la programación del bloque de interrupción cíclica OB30 para la ejecución determinista de controladores.

5.

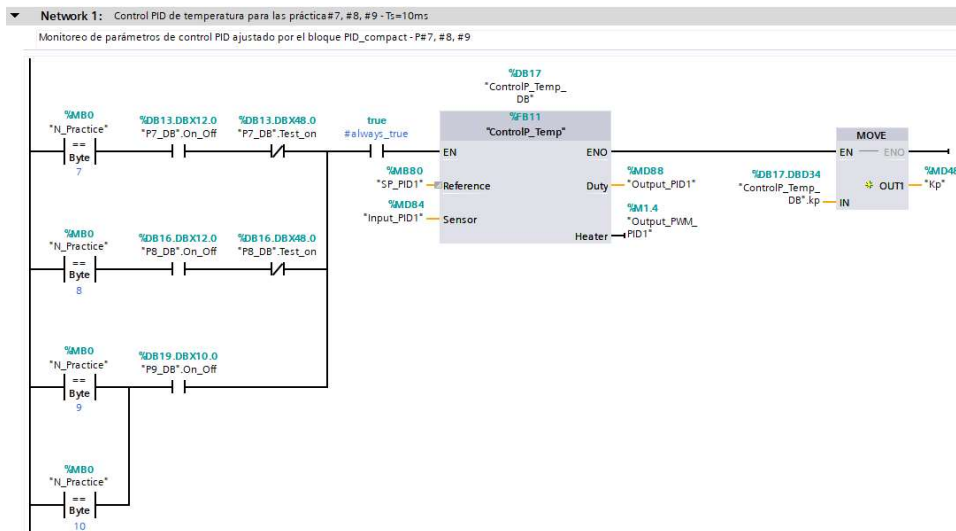


Figura 211. Configuración control PID de temperatura practica 7.

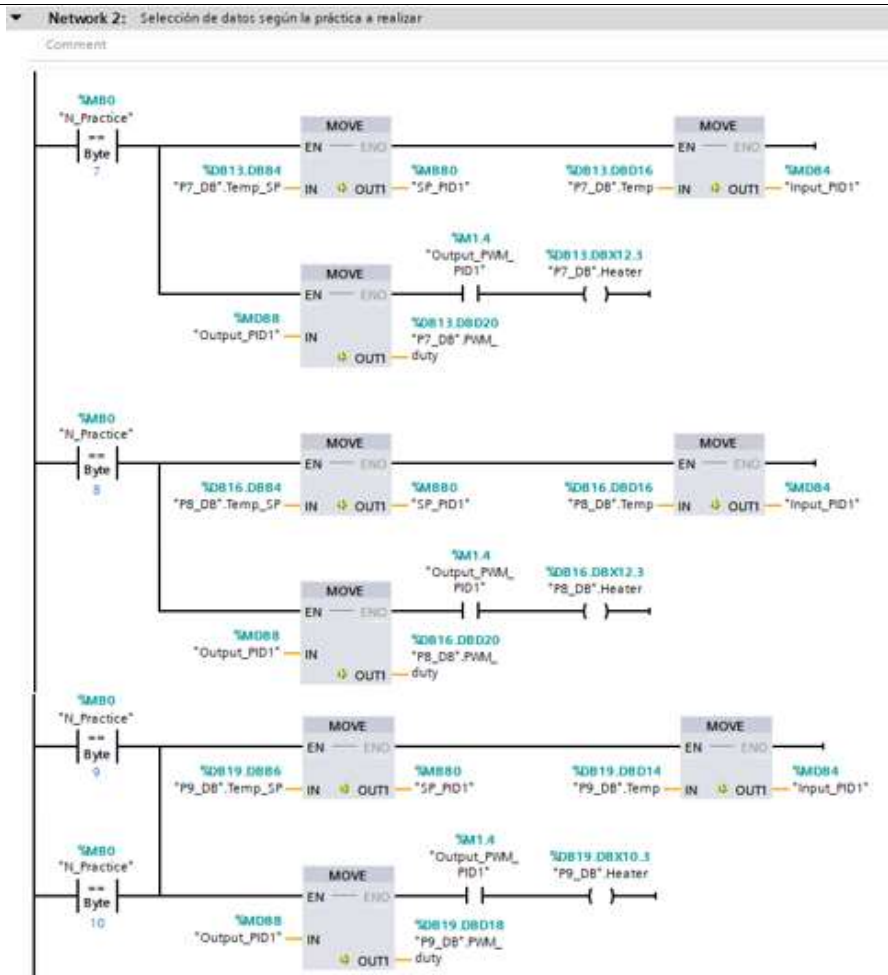


Figura 212. Configuración selección de datos practica 7.

- Se configura las variables utilizadas para bloque de control proporcional de Temperatura.

ControlP_Temp				
	Name	Data type	Offset	Default value
1	Input			
2	Reference	Real	0.0	0.0
3	Sensor	Real	4.0	0.0
4	Output			
5	Duty	Real	8.0	0.0
6	Heater	Bool	12.0	false
7	InOut			
8	<Add new>			
9	Static			
10	Error	Real	14.0	0.0
11	uControl	Real	18.0	0.0
12	Time_limit	UDInt	22.0	0
13	Duty_norm	Real	26.0	0.0
14	TimerET	DWord	30.0	16#0
15	kp	Real	34.0	10.0

Figura 213. Variables a utilizar practica 7.

7. Se elabora la programación del bloque función para el control proporcional de la temperatura.

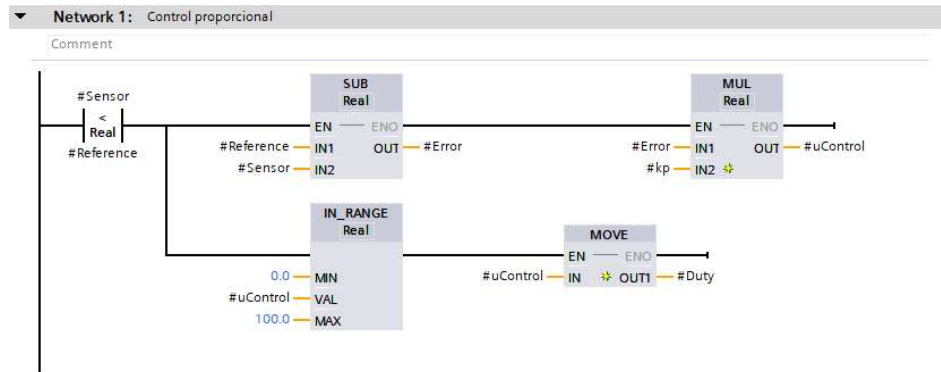


Figura 214. Configuración del control proporcional practica 7.

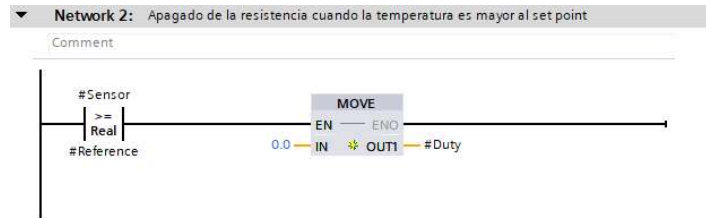


Figura 215. Configuración de apagado de la resistencia para control de set point practica 7.

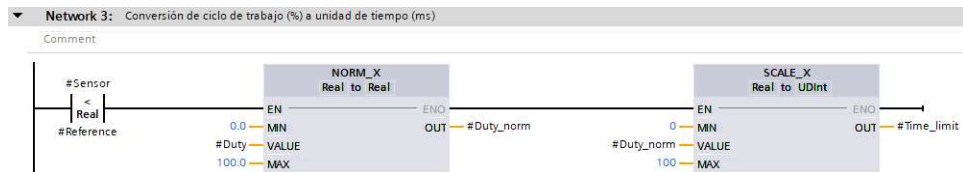


Figura 216. Configuración de conversión ciclo de trabajo practica 7.

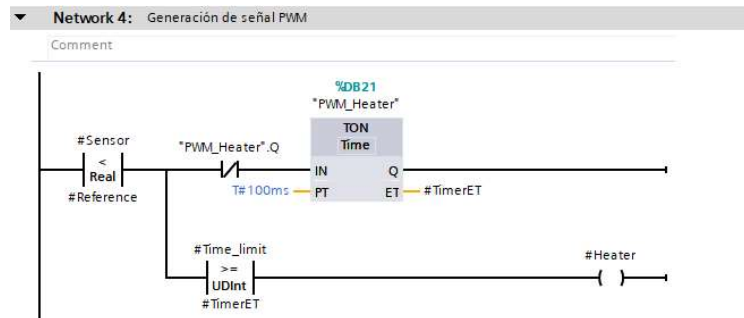


Figura 217. Configuración de generación de señal PWM practica 7.

8. Se definen las variables utilizadas para bloque de control proporcional de Volumen.

ControlP_Vol				
	Name	Data type	Offset	Default value
1	Input			
2	Reference	Real	0.0	0.0
3	Sensor	Real	4.0	0.0
4	Output			
5	Pump	UInt	8.0	0
6	Eval1	Bool	10.0	false
7	Eval2	Bool	10.1	false
8	InOut			
9	<Add new>			
10	Static			
11	Error	Real	12.0	0.0
12	uControl	UInt	16.0	0
13	Temp			
14	<Add new>			
15	Constant			
16	always_false	Bool		false

Figura 218. Configuración control proporcional volumen practica 7.

9. Programación del bloque de función para control proporcional de Volumen.

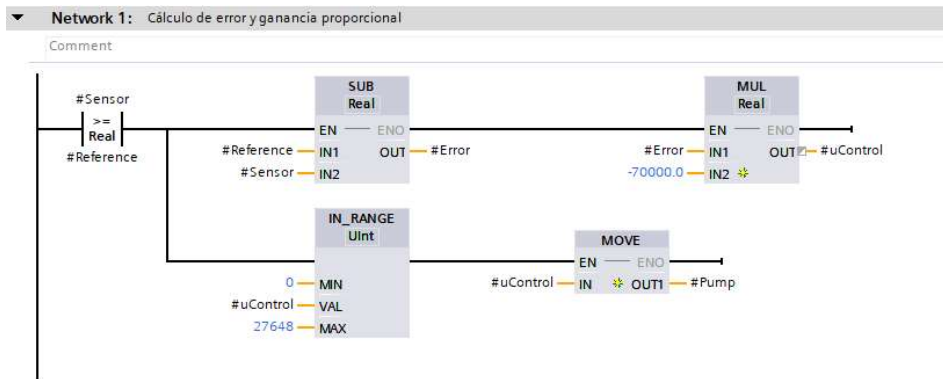


Figura 219. Configuración para el cálculo de error y ganancia proporcional practica 7.

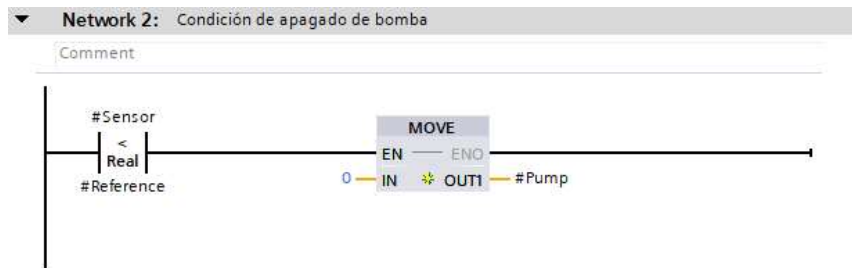


Figura 220. Configuración de condición para apagado de bomba practica 7.



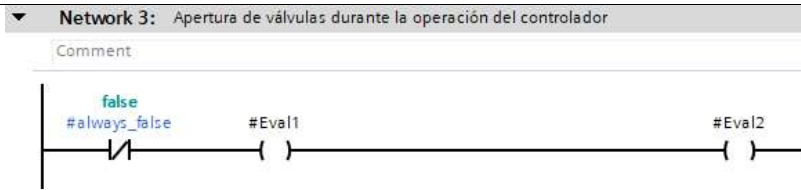


Figura 221. Configuración apertura de válvulas durante la operación del controlador practica 7.

10. Se llama al bloque función desde el programa principal.

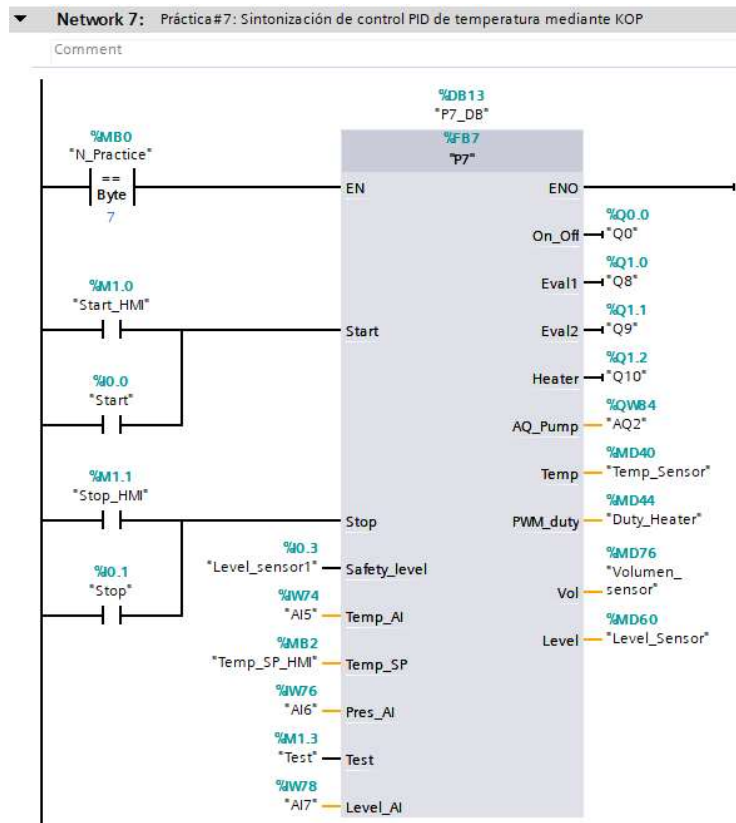


Figura 222. Configuración bloque función practica 7.

11. Se realiza el panel de control y visualización del controlador utilizando una interfaz humano-máquina con la siguiente apariencia:

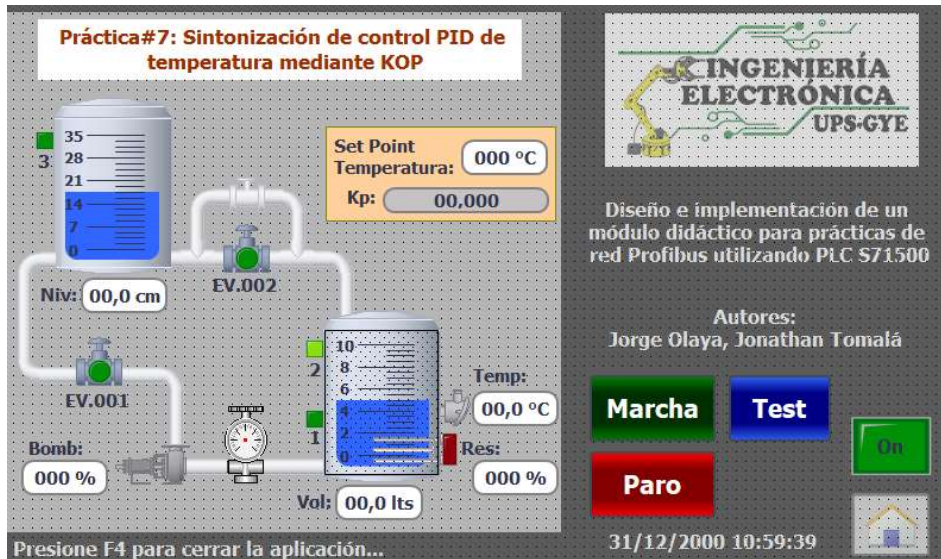


Figura 223. Interfaz humano-maquina procedimiento practica 7.

12. Se configura el indicador de encendido en el interfaz humano-maquina como se puede observar en la Figura 224.

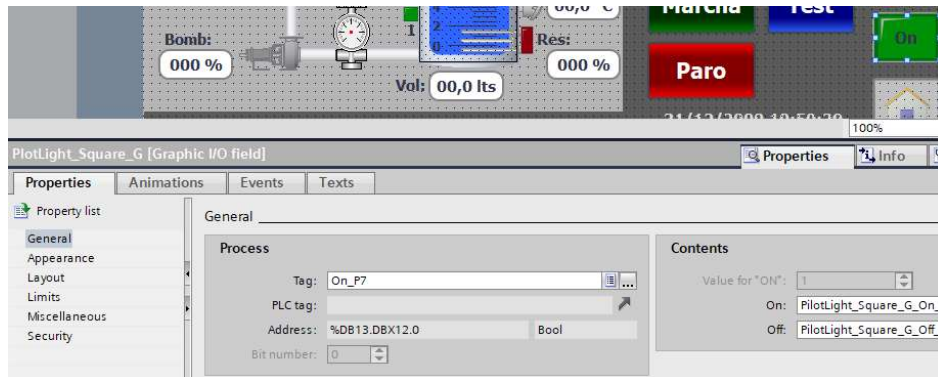


Figura 224. Propiedades indicador de encendido practica 7.

13. Se configura un evento en el botón de paro como se puede observar en la Figura 225.

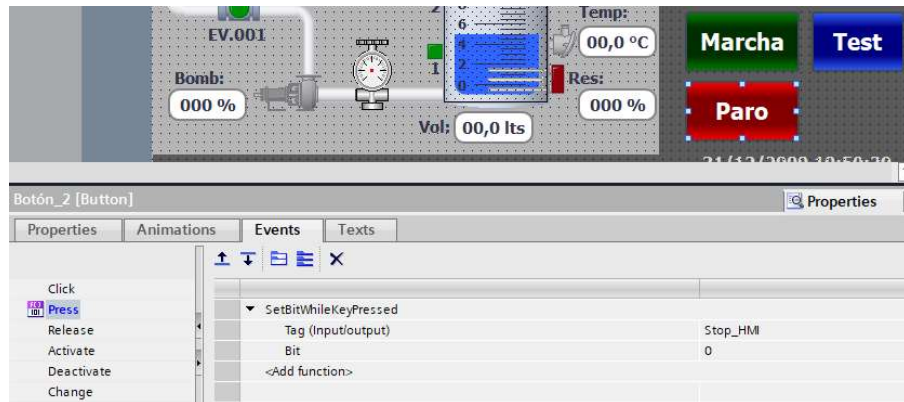


Figura 225. Propiedades botón paro practica 7.

14. Se configura un evento pulsar en el botón de test, esta configuración se puede observar en la Figura 226.

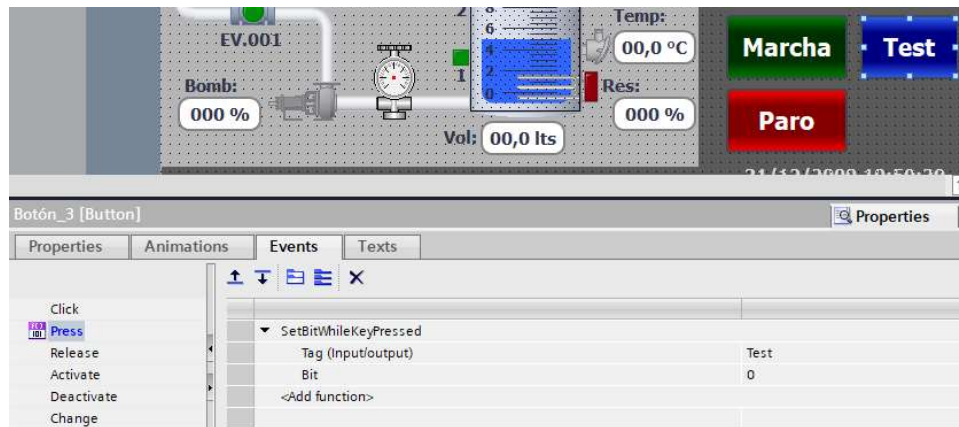


Figura 226. Propiedades botón test practica 7.

15. Se configura el campo de entrada/salida para fijar la temperatura deseada.

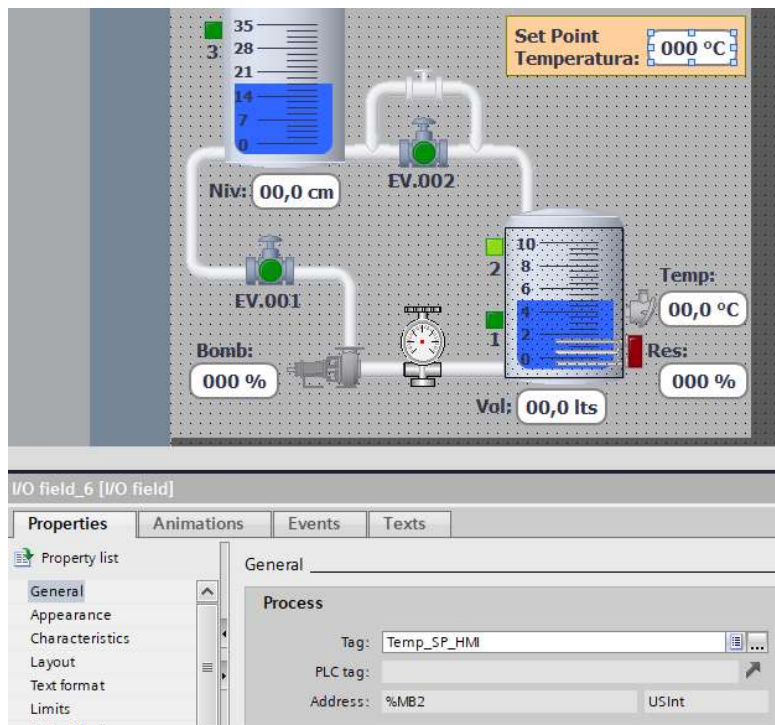


Figura 227. Propiedades set point temperatura practica 7.

16. Se configura el campo de salida para mostrar el valor de la constante proporcional utilizada en el controlador de temperatura.

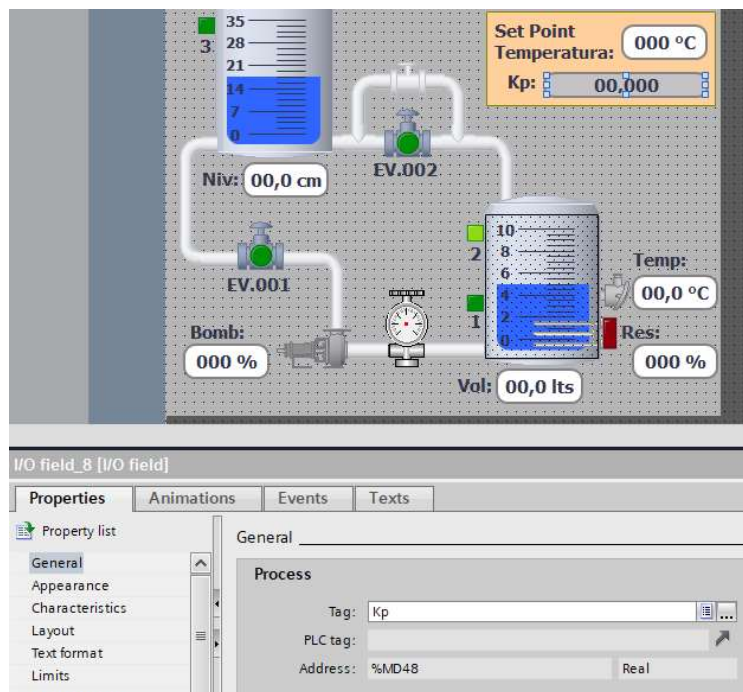


Figura 228. Propiedades valor proporcional practica 7.

17. Se requiere configurar el campo de salida para observar la temperatura actual del fluido.

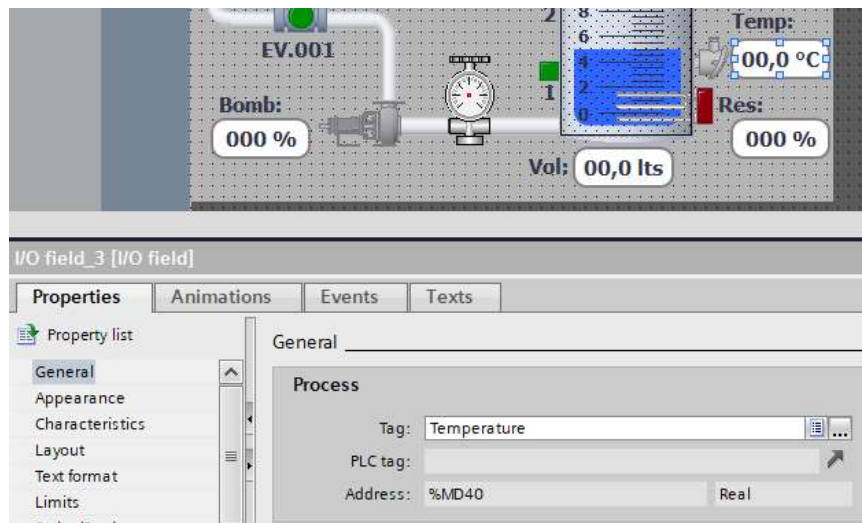


Figura 229. Propiedades campo salida temperatura practica 7.

18. Se configura el campo de salida para observar el volumen de fluido en el tanque inferior.

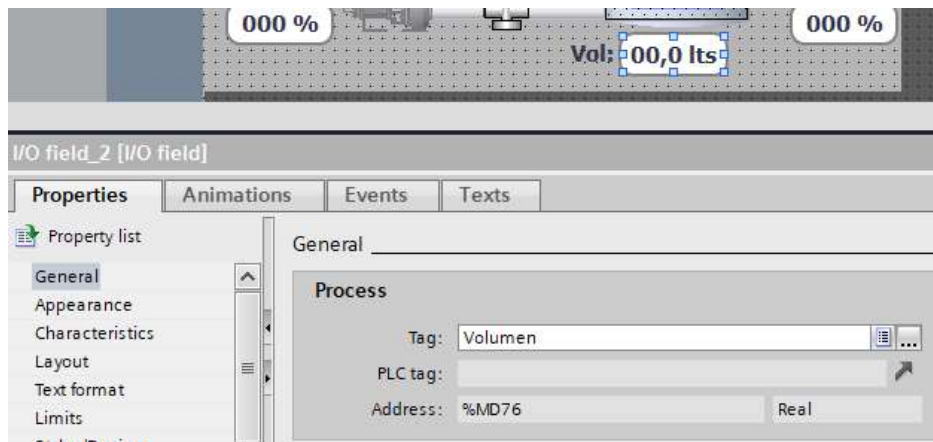


Figura 230. Propiedades campo salida volumen fluido tanque inferior practica 7.



19. Se configura el campo de salida para observar el porcentaje de potencia aplicado a la bomba como se observa en la figura 231.

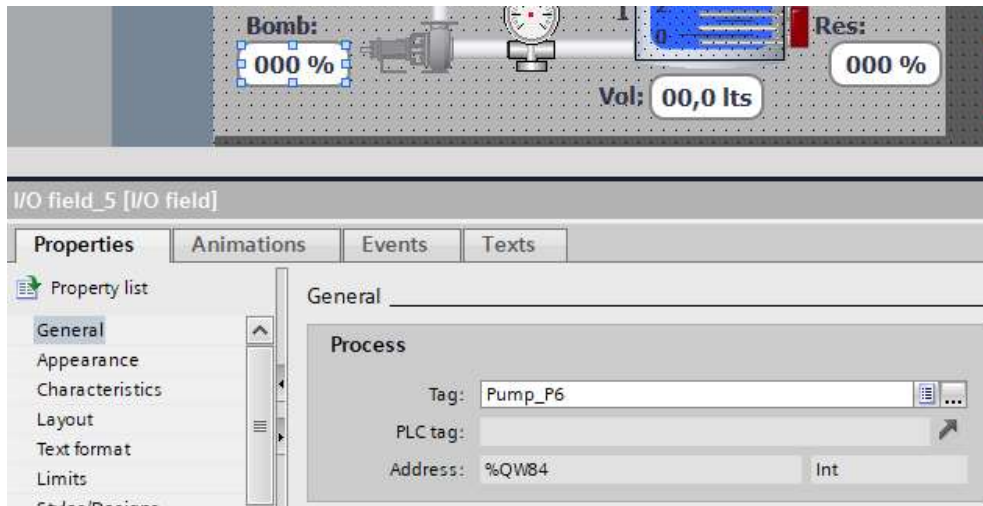


Figura 231. Propiedades porcentaje potencia aplicado a la bomba practica 7.

20. Se configura el campo de salida para monitorear el nivel de líquido presente en el tanque superior.

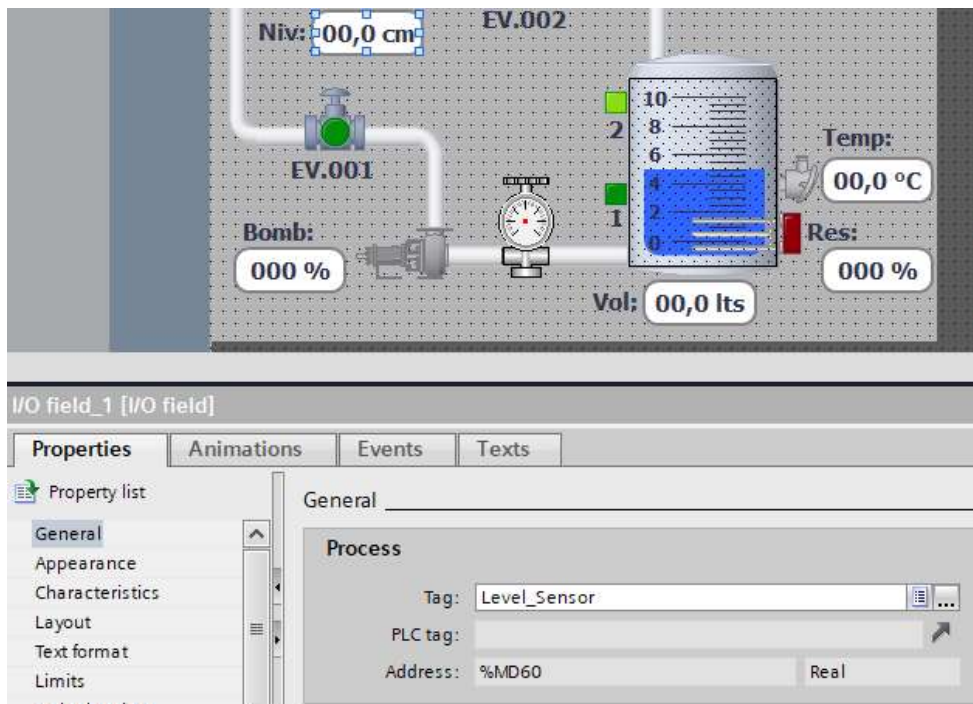


Figura 232. Propiedades nivel liquido tanque superior practica 7.

21. Es necesario configurar un campo de salida para indicar el porcentaje de potencia aplicada a la resistencia calefactora y que se pueda observar por el usuario del prototipo, como se observa en la Figura 233.

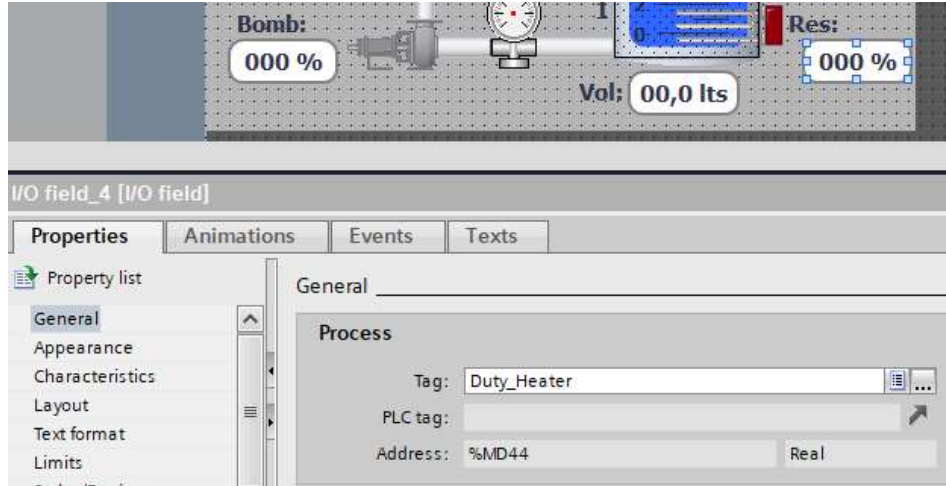


Figura 233. Propiedades indicador porcentaje potencia de resistencia calefactora practica 7.

22. Se configura el indicador de encendido de resistencia de calentamiento en el interfaz HMI.

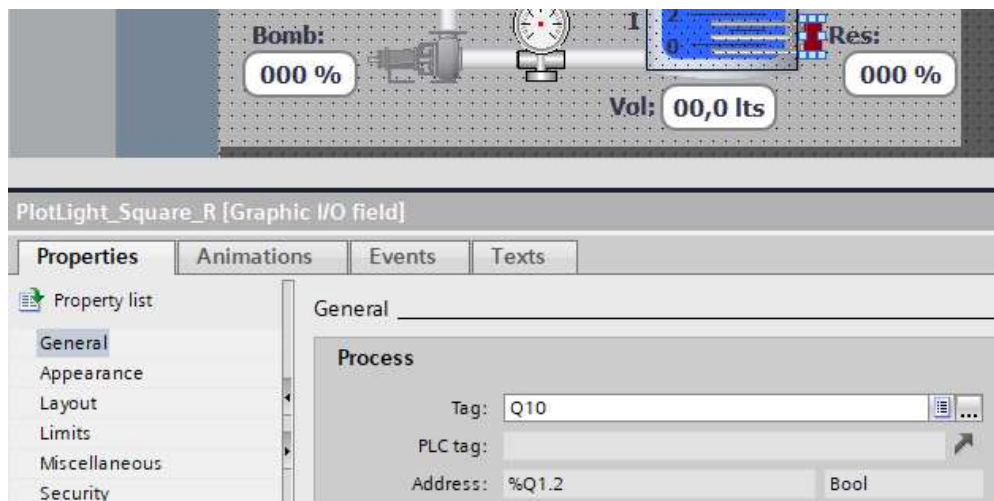


Figura 234. Propiedades indicador encendido de resistencia practica 7.

23. Configurar el indicador de encendido de nivel alto en tanque superior.

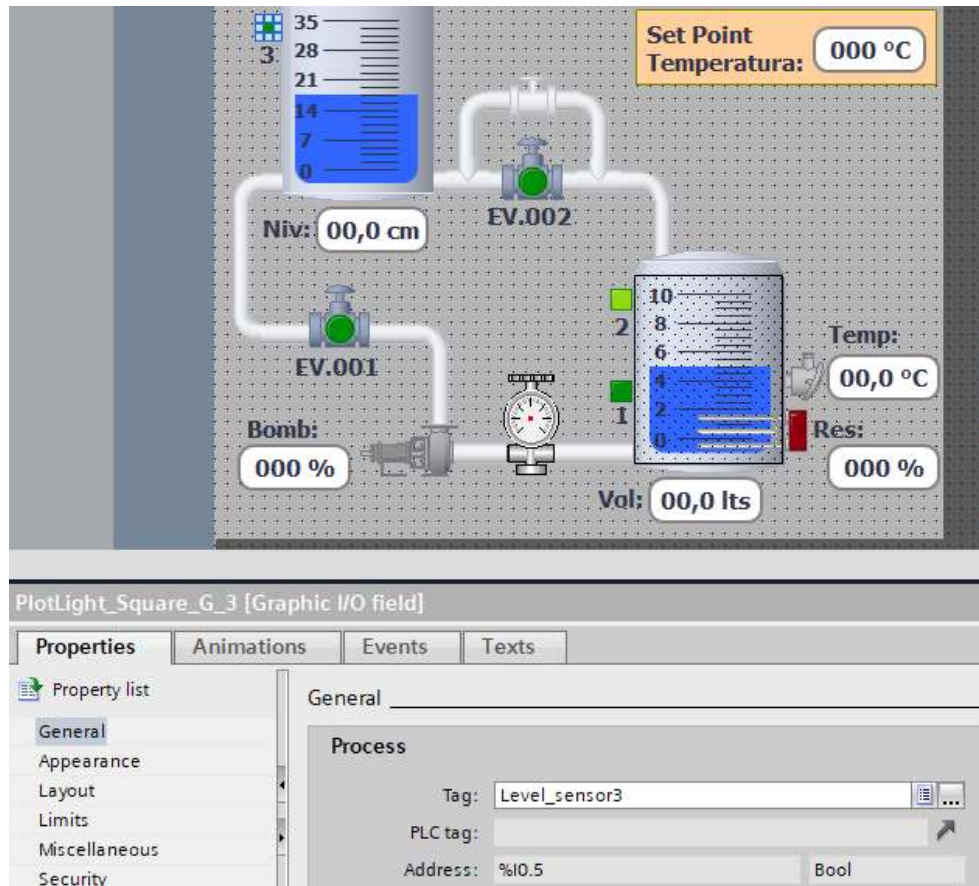


Figura 235. Propiedades indicador nivel alto en tanque practica 7.

24. Se configura el indicador de encendido de nivel alto en tanque inferior como se observa en la Figura 236.

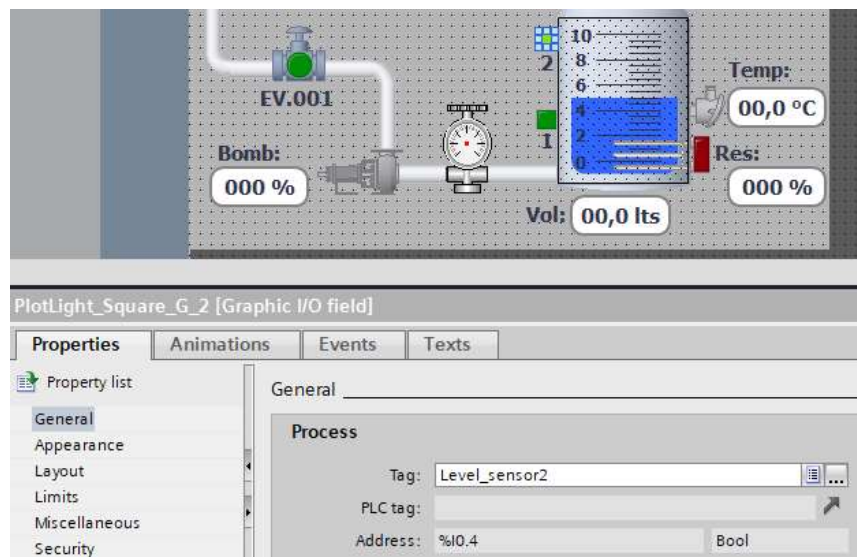


Figura 236. Propiedades indicador encendido nivel alto en tanque inferior practica 7.



25. Se configura el indicador de encendido de nivel bajo en tanque inferior.

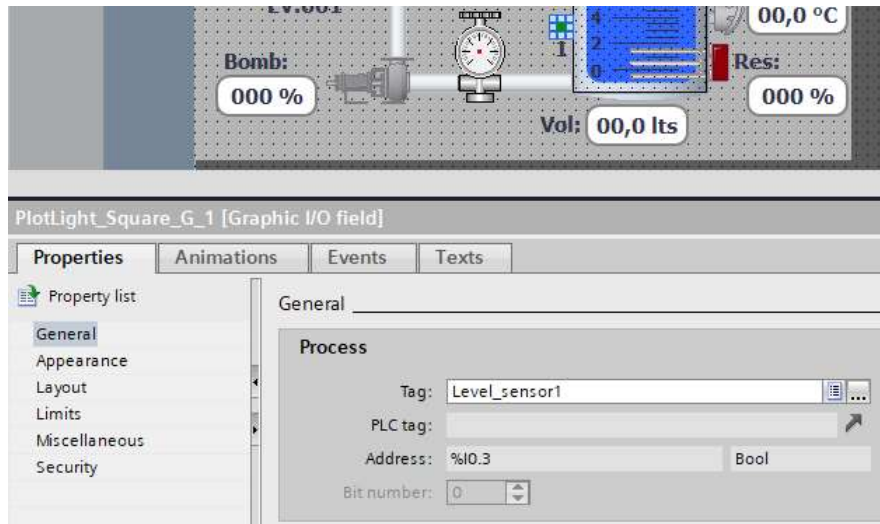


Figura 237. Propiedades indicador encendido nivel bajo en tanque inferior practica 7.

26. Se realiza la configuración del indicador de encendido de electroválvula1, para el control del flujo como se observa en la figura 238.

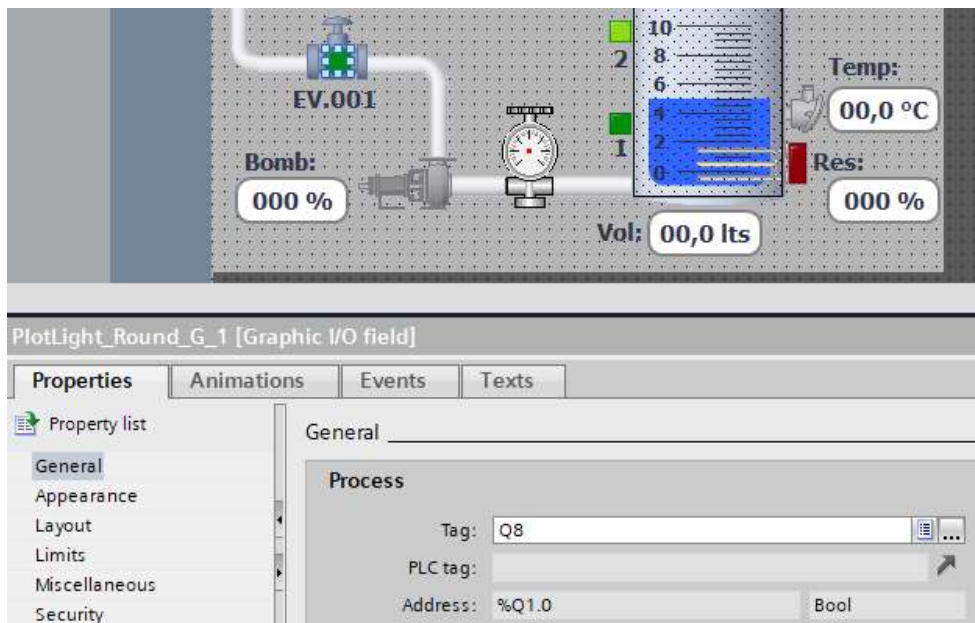


Figura 238. Propiedades indicador encendido electroválvula 1 practica 7.

27. Configura el indicador de encendido de electroválvula2 como se observa en la figura 239.

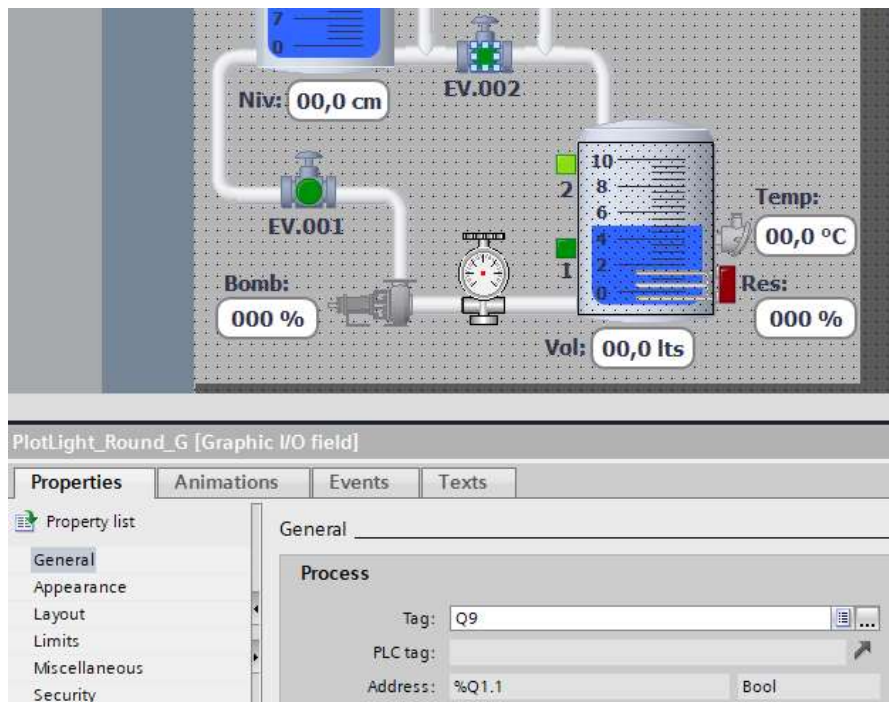


Figura 239. Propiedades indicador encendido electroválvula 2 practica 7.

28. Se configura el botón oculto para cambio de pantalla y monitoreo de temperatura.

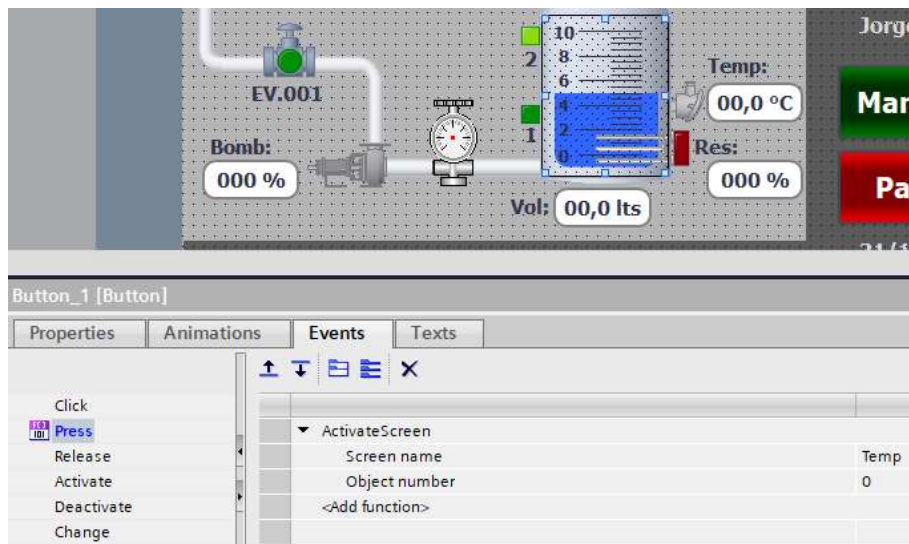


Figura 240. Propiedades botón oculto para cambio de pantalla practica 7.

29. Es necesario configurar el diseño de pantalla para visualización de variables de control, en donde se recopilará todos los datos obtenidos por medio de los sensores y actuadores.

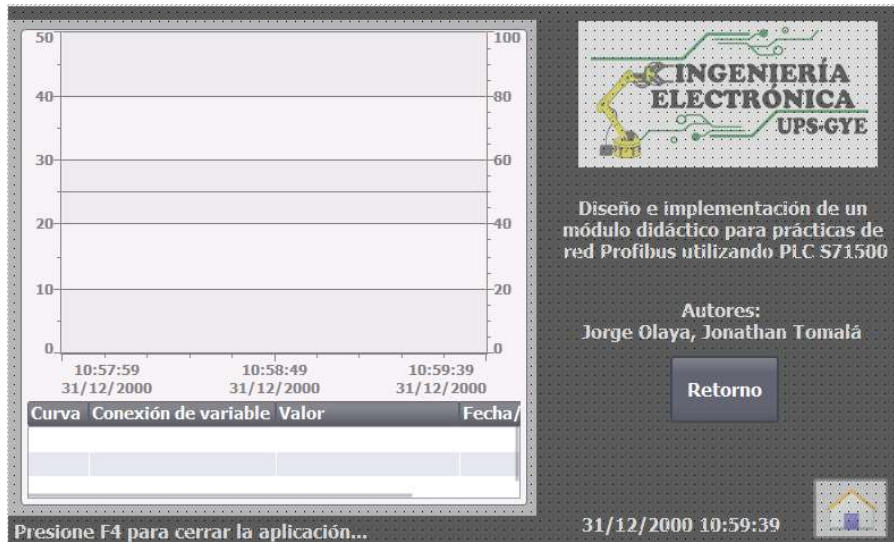


Figura 241. Configuración de pantalla para visualización de variables practica 7.

30. Configuración de visualizador de curvas para la temperatura medida, temperatura deseada y ciclo de trabajo para la señal PWM de la resistencia.

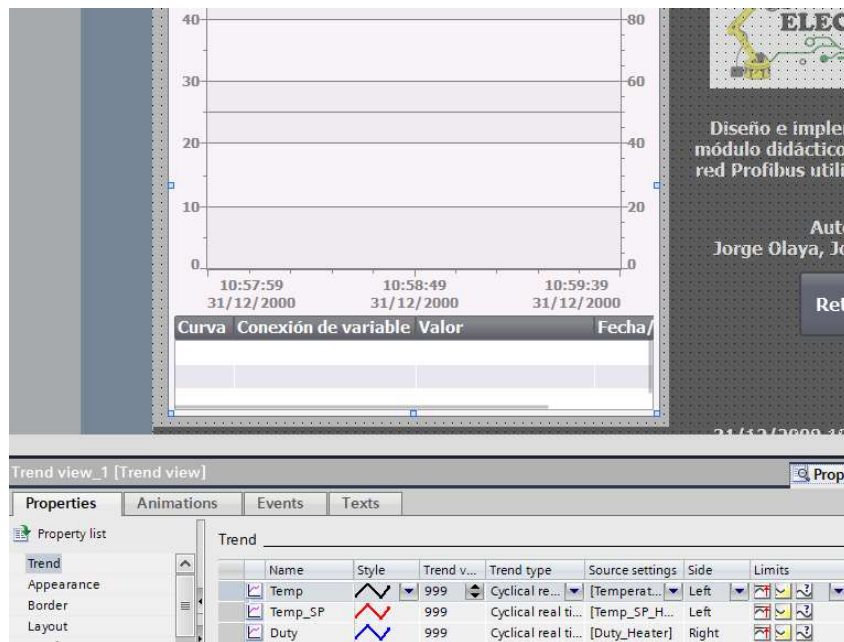


Figura 242. Configuración de pantalla para visualización de variables para la temperatura practica 7.

31. Se hace la carga del programa y pruebas respectivas en el módulo didáctico.

### Anexo 15. Plano de control practica #8

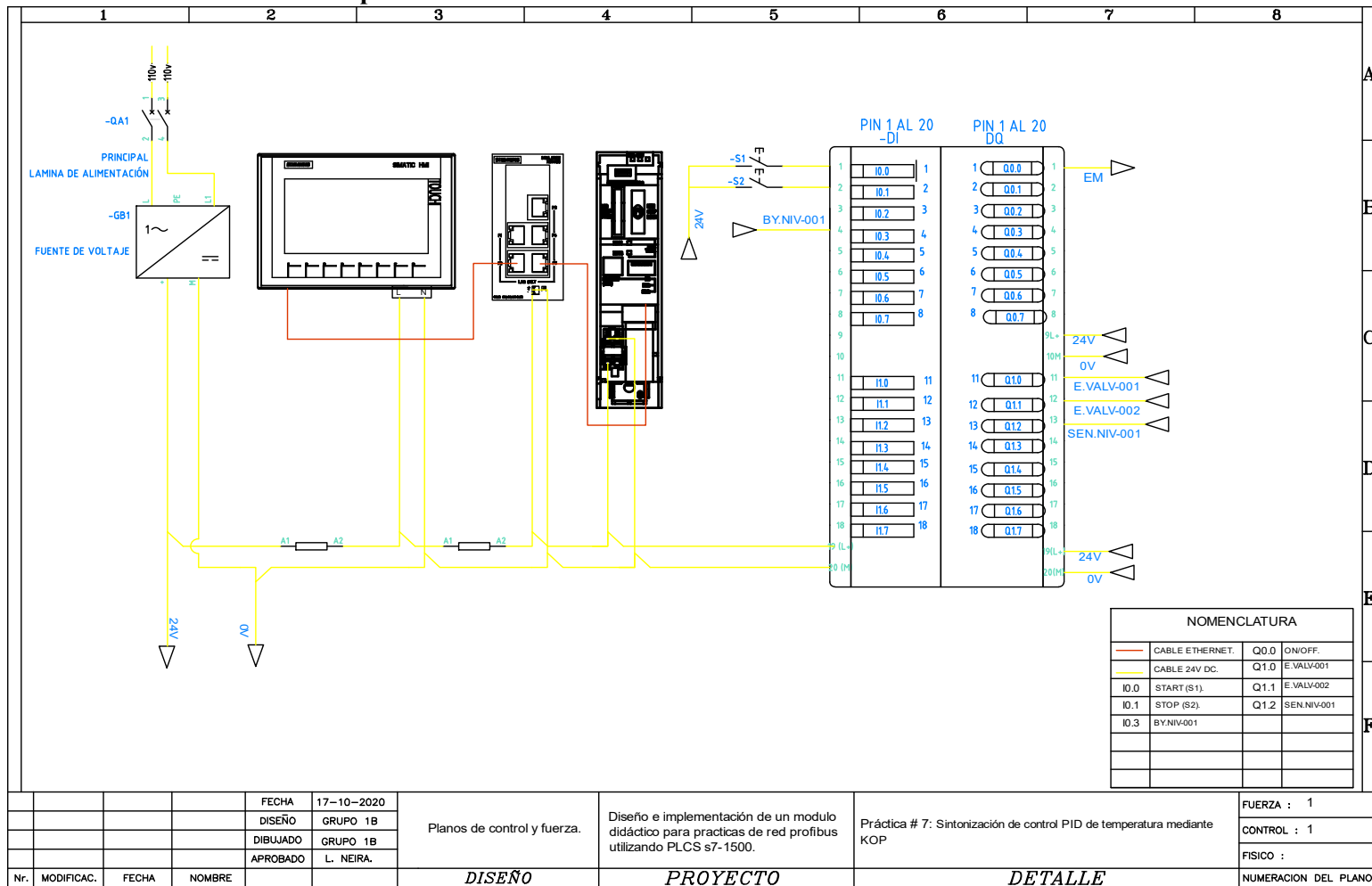


Figura 243. Plano de control 1/practica 8

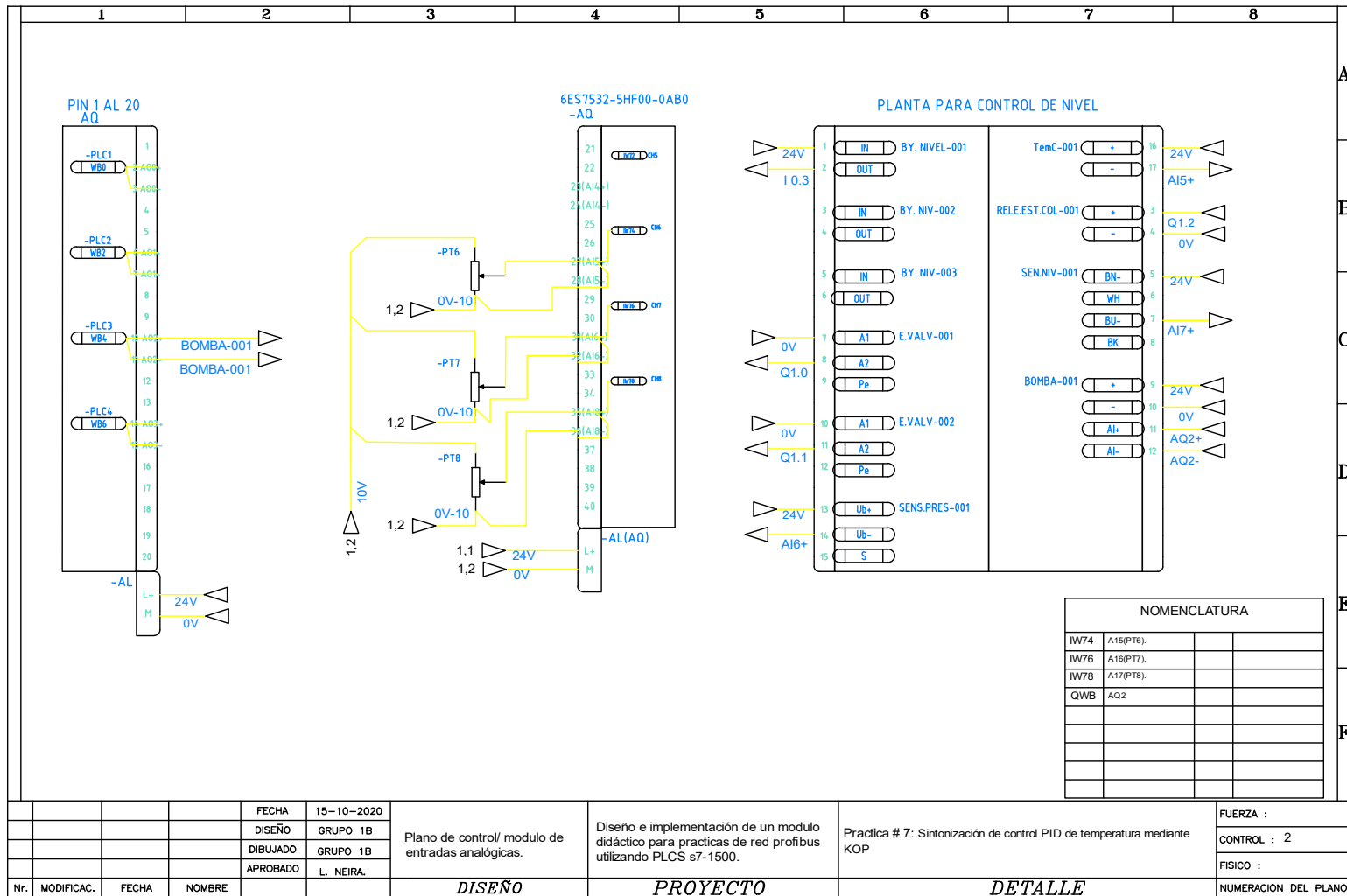


Figura 244. Plano de control 2/practica 8

## Anexo 16. Practica #8

### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

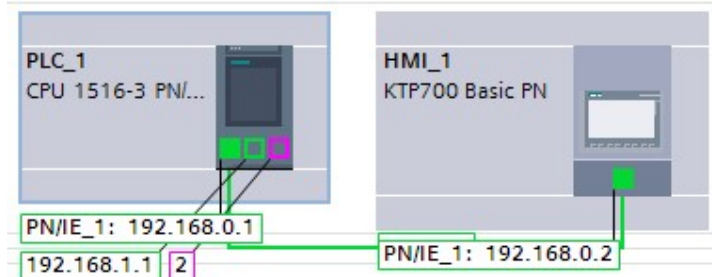


Figura 245. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700, Practica 8.

Como se observa en la Figura 245 es necesario por medio de software realizar la configuración de los interfaces de red, para de esta forma proceder a realizar la conexión física de los componentes.

2. Se definen las variables (locales) a utilizar dentro del bloque de función:

	Name	Data type	Offset	Default value
1	Input			
2	Start	Bool	0.0	false
3	Stop	Bool	0.1	false
4	Safety_Level	Bool	0.2	false
5	Temp_AI	UInt	2.0	0
6	Temp_SP	USInt	4.0	0
7	Pres_AI	UInt	6.0	0
8	Test	Bool	8.0	false
9	Level_AI	UInt	10.0	0
10	Output			
11	On_Off	Bool	12.0	false
12	Eval1	Bool	12.1	false
13	Eval2	Bool	12.2	false
14	Heater	Bool	12.3	false
15	AQ_Pump	UInt	14.0	0
16	Temp	Real	16.0	0.0
17	PWM_duty	Real	20.0	0.0
18	Vol	Real	24.0	0.0
19	Level	Real	28.0	0.0
22	Static			
23	AI_norm	Real	32.0	0.0
24	HL_Temp	Real	36.0	0.0
25	LL_Temp	Real	40.0	0.0
26	AI3_norm	Real	44.0	0.0
27	Test_on	Bool	48.0	false
28	Test_2	Bool	48.1	false
29	Test_3	Bool	48.2	false
30	AI_norm1	Real	50.0	0.0

Figura 246. Variables locales en software practica 8



3. Se programa el controlador proporcional de temperatura según lo especificado previamente.

```

1 #On_Off := (#On_Off OR #Start) AND NOT(#Stop) AND NOT("TS_PS_Q"); //Control de encendido
2 #Temp := (UINT_TO_REAL(#Temp_AI) * 100.0) / 27648.0; //Lectura de sensor de temperatura
3 #Vol := SCALE_X(MIN := 2.0, VALUE := (NORM_X(MIN := 350, VALUE := #Pres_AI, MAX := 4270)), MAX := 9.5); //Volumen medido
4
5 IF #On_Off THEN
6   IF ((#PWM_duty >= 100.0) AND #Safety_level AND (NOT #Test_on)) THEN
7     #Heater := TRUE; //Encendido del calentador
8   END_IF;
9   IF (#PWM_duty <= 0.0) THEN
10    #Heater := FALSE; //Apagado del calentador
11  END_IF;
12 ELSE
13   #PWM_duty := 0.0; //Ciclo de trabajo para control del calentador al 0%
14   #AQ_Pump := 0; //Apagado de la bomba
15   #Heater := FALSE; //Apagado de la resistencia calefactora
16   #Test_2 := FALSE; //Reinicio de la marca
17 END_IF;
18
19 #Eval1 := #On_Off AND #Test_on AND (NOT #Test_2);
20 #Eval2 := #On_Off AND #Test_on AND #Test_2;
21 IF #On_Off AND #Test_on THEN
22   IF #Test_2 THEN
23     #AQ_Pump := 0;
24   ELSE
25     #AQ_Pump := 27648;
26   END_IF;
27   IF #Vol <= 2.0 THEN
28     #Test_2 := TRUE;
29   END_IF;
30   IF #Vol > 5.0 AND #Test_2 THEN
31     #Test_2 := FALSE;
32   END_IF;
33 END_IF;
34 #Test_2 := #On_Off AND #Test_on AND (#Vol > 5.0) AND #Test_2;
35
36 "TS_PS_QH(IN:=(NOT #Safety_level)AND(NOT #Test_on)),PT:=1#3s); //tiempo de apagado para nivel bajo
37
38 #Test_on := ((#Test AND #On_Off) OR #Test_on) AND (NOT #Stop) AND (NOT #Test_3);
39 IF #Test_on THEN
40   #Heater := FALSE;
41 END_IF;
42
43 IF #On_Off AND (NOT #Test_on) THEN
44   "ControlF_Vol_PS_DB"(Referencia := 5.0,
45     Sensor := #Vol,
46     Pump => #AQ_Pump,
47     Eval1 => #Eval1,
48     Eval2 => #Eval2);
49 END_IF;
50
51 #Level := SCALE_X(MIN := 5.0, VALUE := (NORM_X(MIN := 6140, VALUE := #Level_AI, MAX := 22817)), MAX := 25.0);

```

Figura 247. Código controlador proporcional en SCL, practica 8

4. La programación del bloque de interrupción cíclica OB30 para ejecución determinista de controladores, del bloque de función para control proporcional de Temperatura y del bloque de función para control proporcional de Volumen, se mantiene para ser llamados a través de texto estructurado.





7. Se requiere configuración de indicador de encendido.

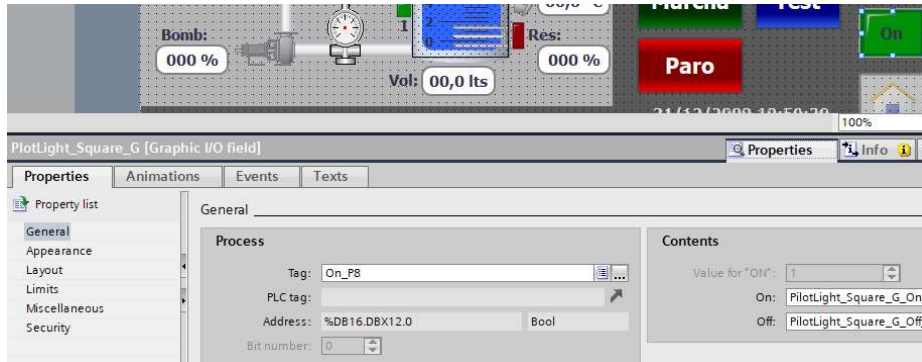


Figura 250. Propiedades indicador de encendido practica 8

8. Se configura un evento pulsar en el botón de marcha.

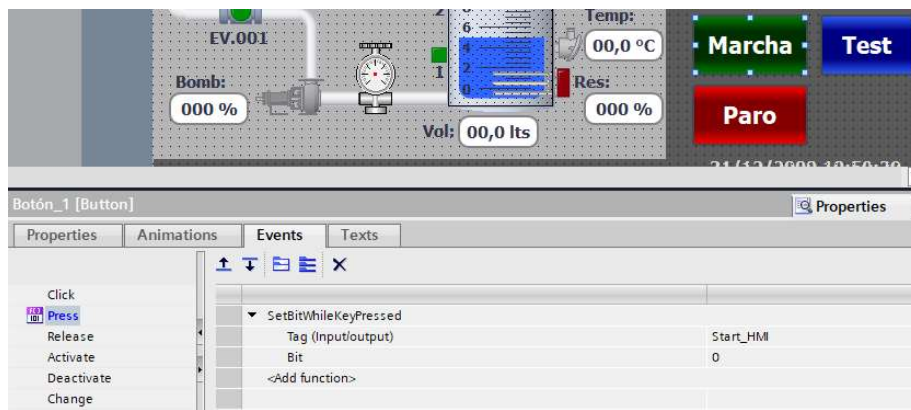


Figura 251. Propiedades botón de marcha practica 8

9. Es necesario crear un evento en las propiedades del botón paro.

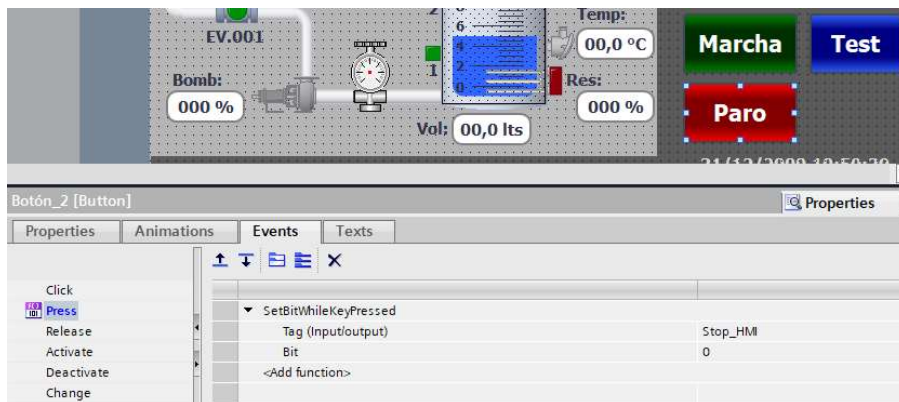


Figura 252. Propiedades botón paro practica 8.

10. Se procede a configurar un evento pulsar en la configuración del botón Test como se observa en la Figura 253.

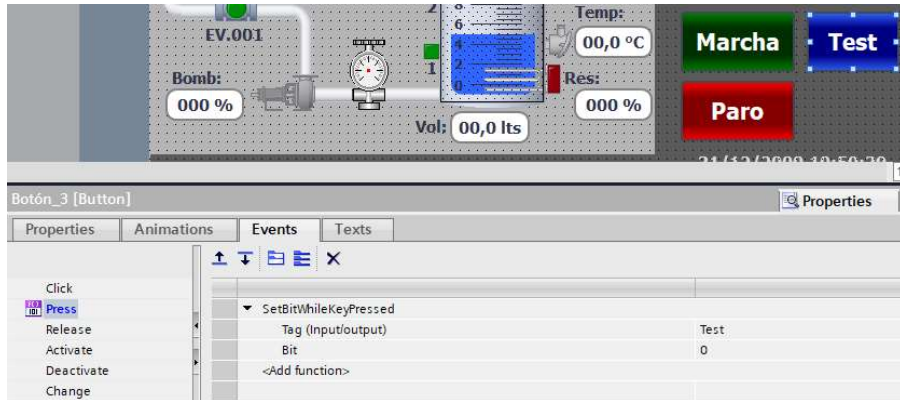


Figura 253. Propiedades botón test practica 8

11. Se configura el campo de entrada/salida para fijar la temperatura deseada.

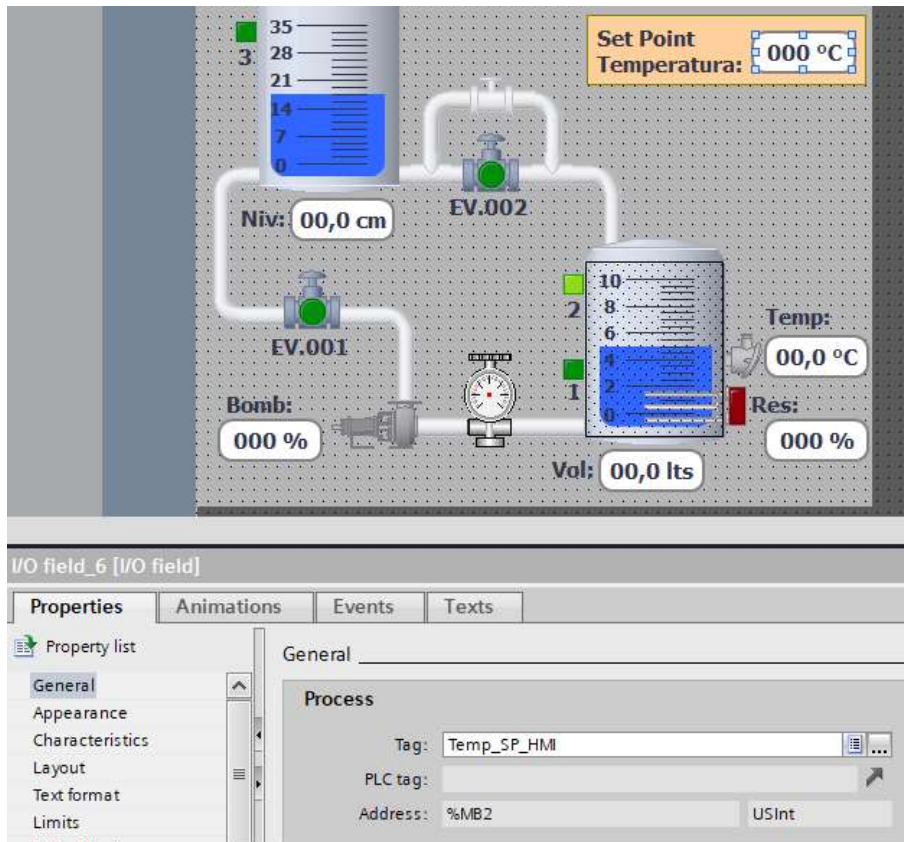


Figura 254. Propiedades selector temperatura practica 8

12. Se configura el campo de salida para mostrar el valor de la constante proporcional utilizada en el controlador de temperatura.

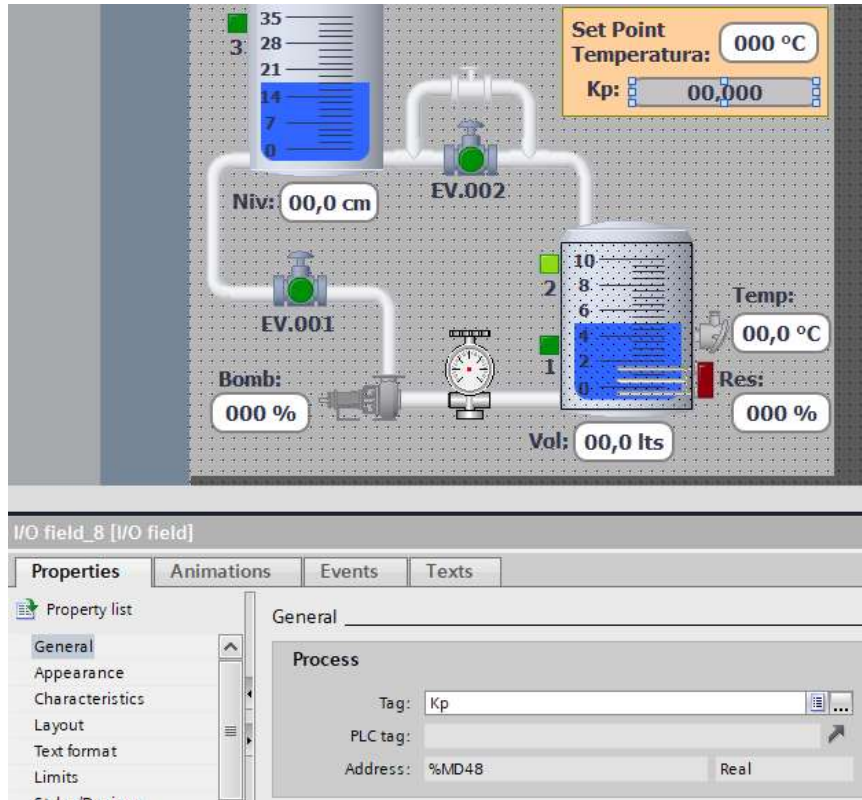


Figura 255. Configuración valor proporcional de temperatura practica 8

13. Se configura el campo de salida para observar la temperatura actual del fluido.

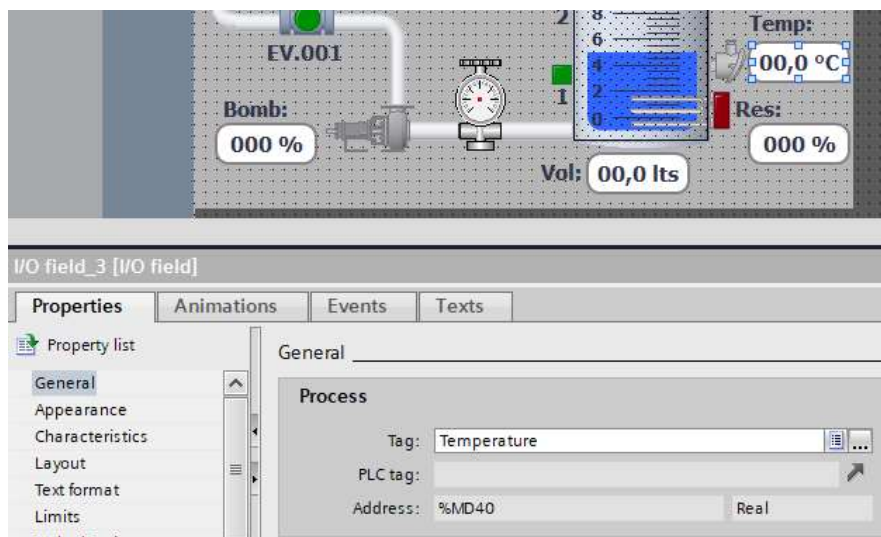


Figura 256. Configuración campo salida temperatura actual fluido practica 8

14. Se requiere configurar el campo de salida para observar el volumen de fluido en el tanque inferior.

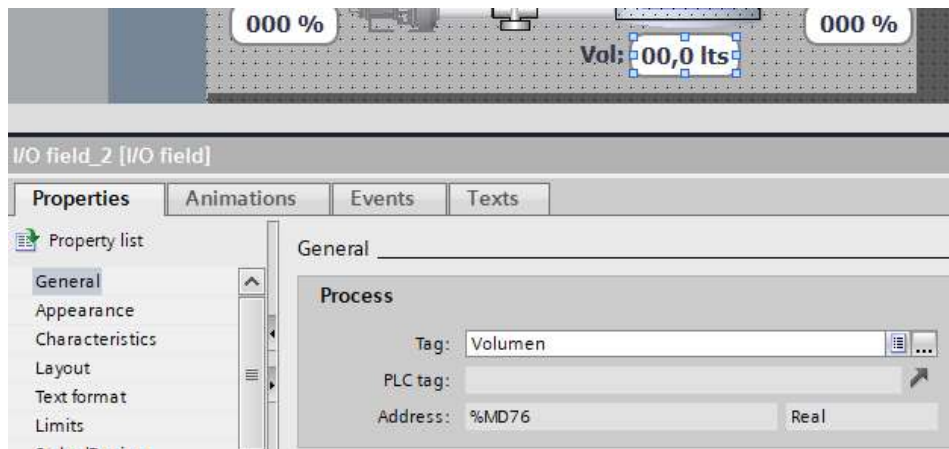


Figura 257. Configuración campo salida de volumen de fluido en tanque inferior practica 8

15. Se requiere elaborar la configuración del campo de salida para observar el porcentaje de potencia aplicado a la bomba como se observa en la Figura 258.

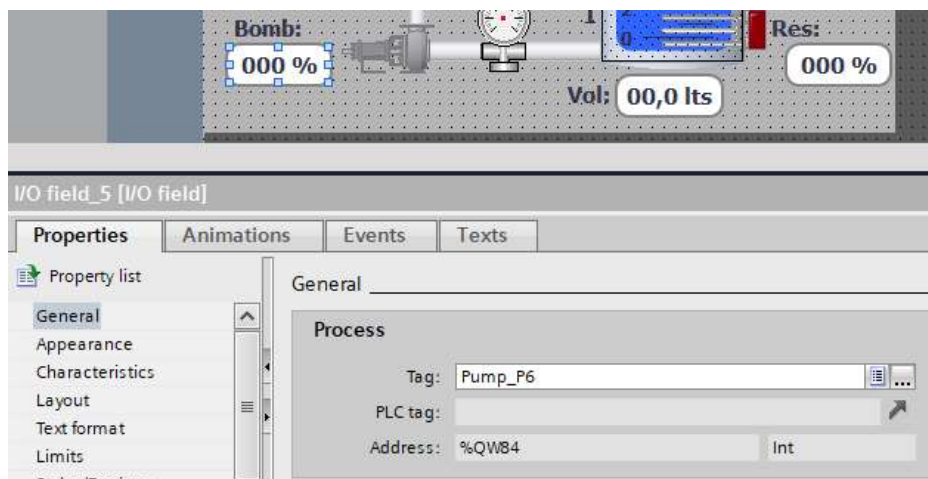


Figura 258. Configuración campo salida porcentaje de potencia aplicado en la bomba practica 8

16. Se configura el campo de salida para monitorear el nivel de líquido presente en el tanque superior.

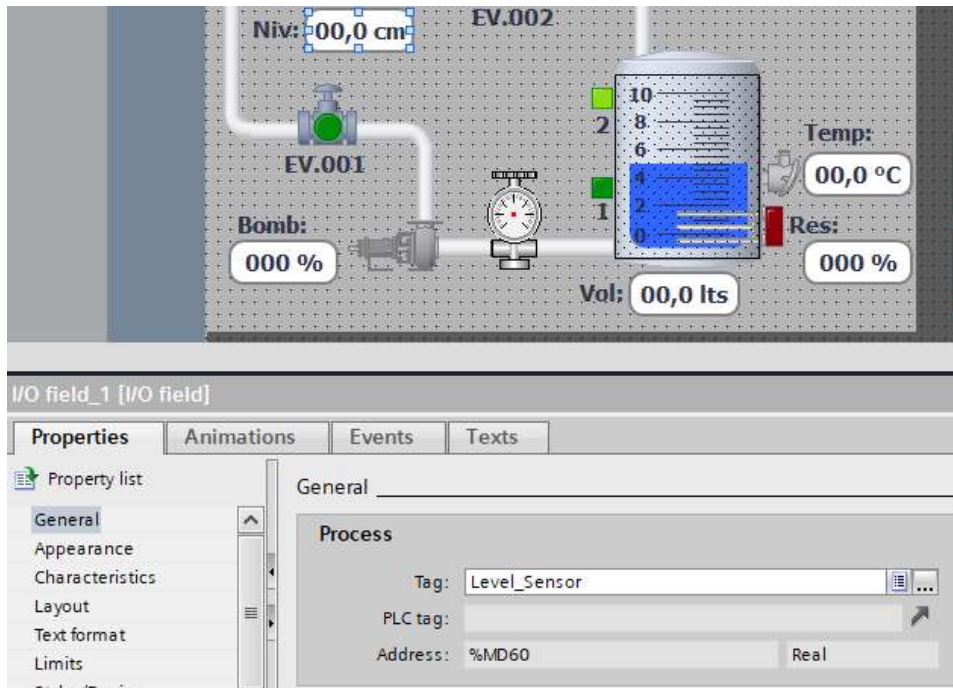


Figura 259. Configuración campo salida para monitoreo de líquido en el tanque superior practica 8

17. Se requiere configurar el campo de salida para indicar el porcentaje de potencia aplicada a la resistencia calefactora.

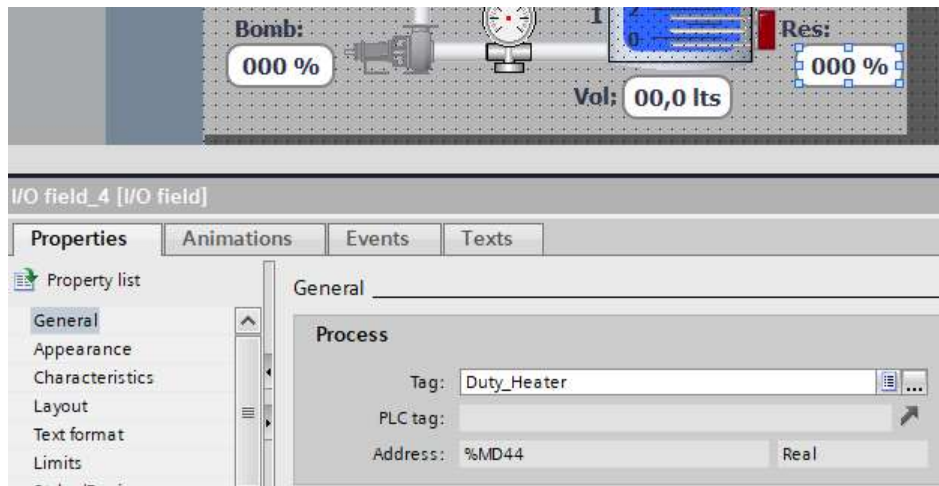


Figura 260. Configuración campo salida para porcentaje de potencia aplicada a la resistencia calefactora practica 8



18. Se configura el indicador de encendido de resistencia de calentamiento.

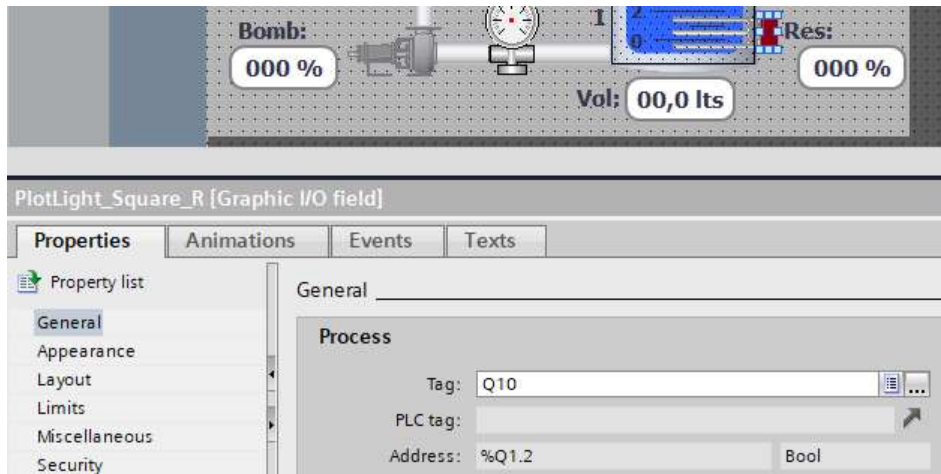


Figura 261. Configuración de encendido en la resistencia de calentamiento practica 8

19. Se procede a programar el indicador de encendido de nivel alto en tanque superior.

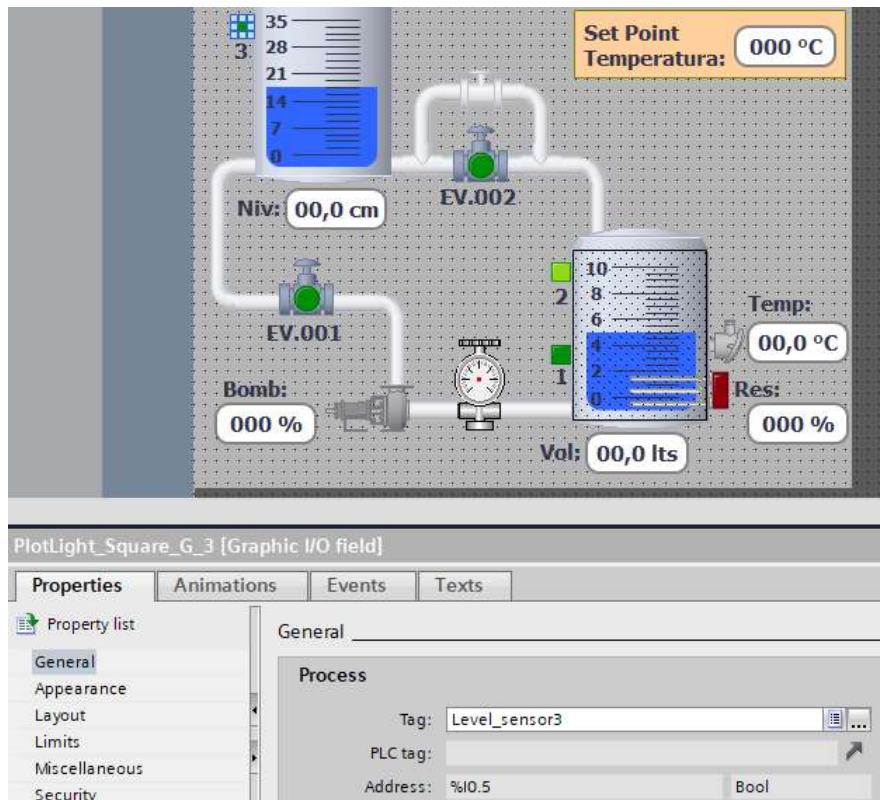


Figura 262. Propiedades indicador de encendido nivel alto tanque superior practica 8

20. Indicador de encendido de nivel alto en tanque inferior

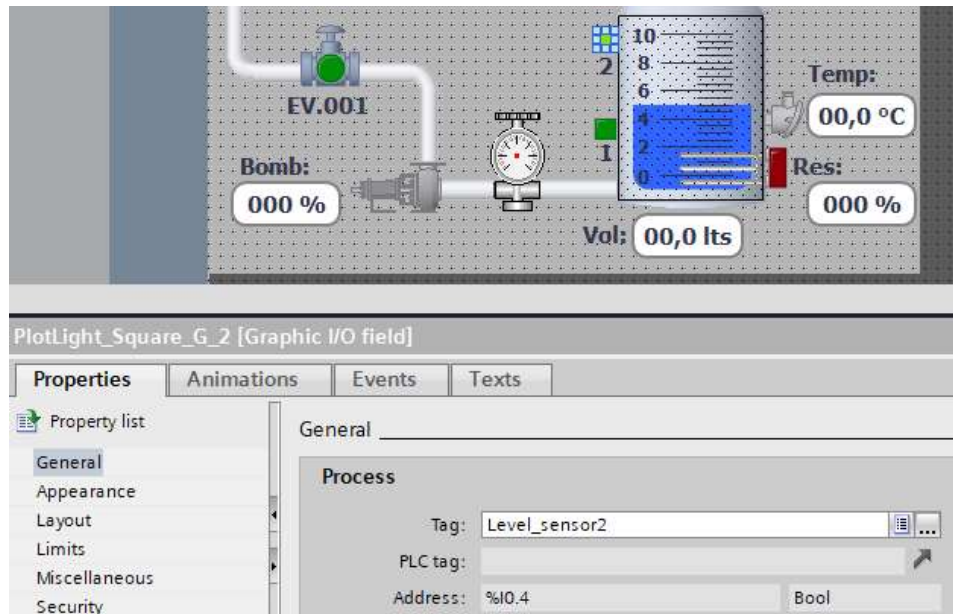


Figura 263. Propiedades indicador de encendido nivel alto tanque inferior practica 8

21. Indicador de encendido de nivel bajo en tanque inferior.

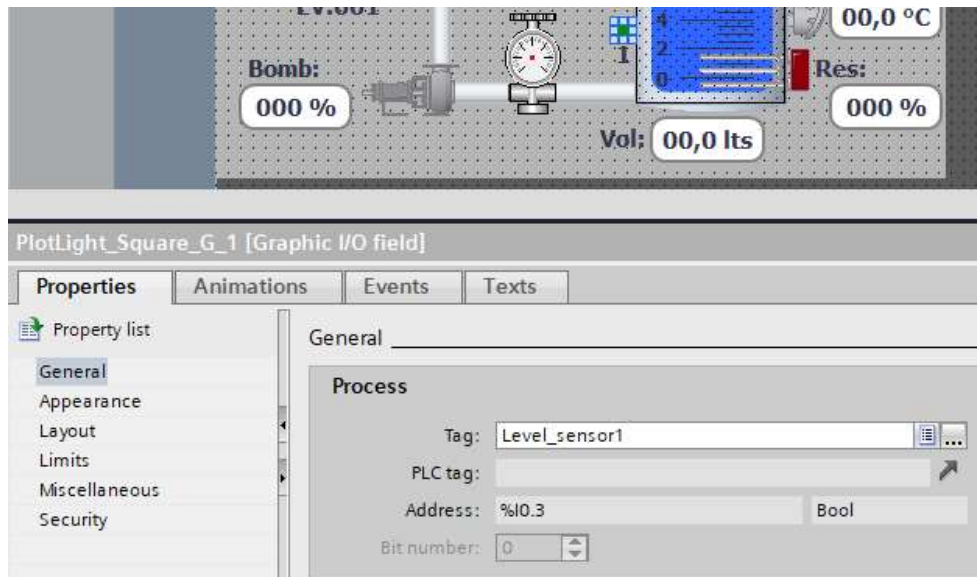


Figura 264. Propiedades indicador de encendido nivel bajo tanque inferior practica 8

## 22. Indicador de encendido de electroválvula1.

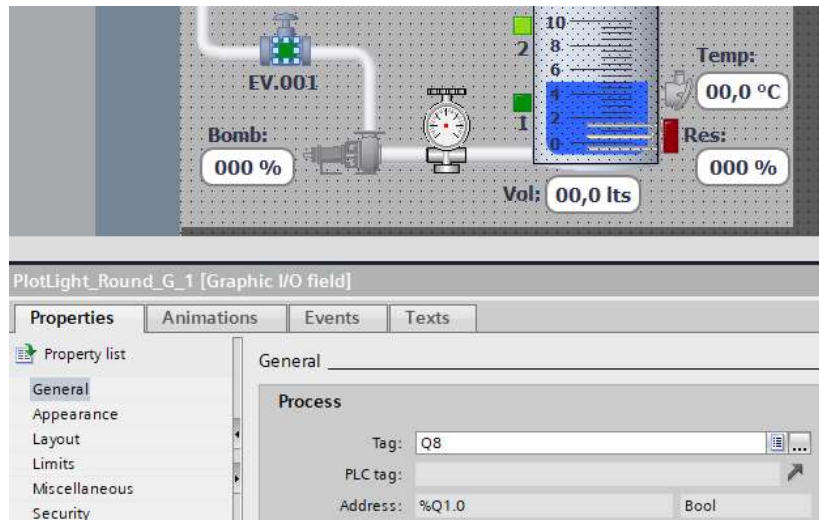


Figura 265. Propiedades indicador de encendido de electroválvula1 practica 8

## 23. Indicador de encendido de electroválvula2.

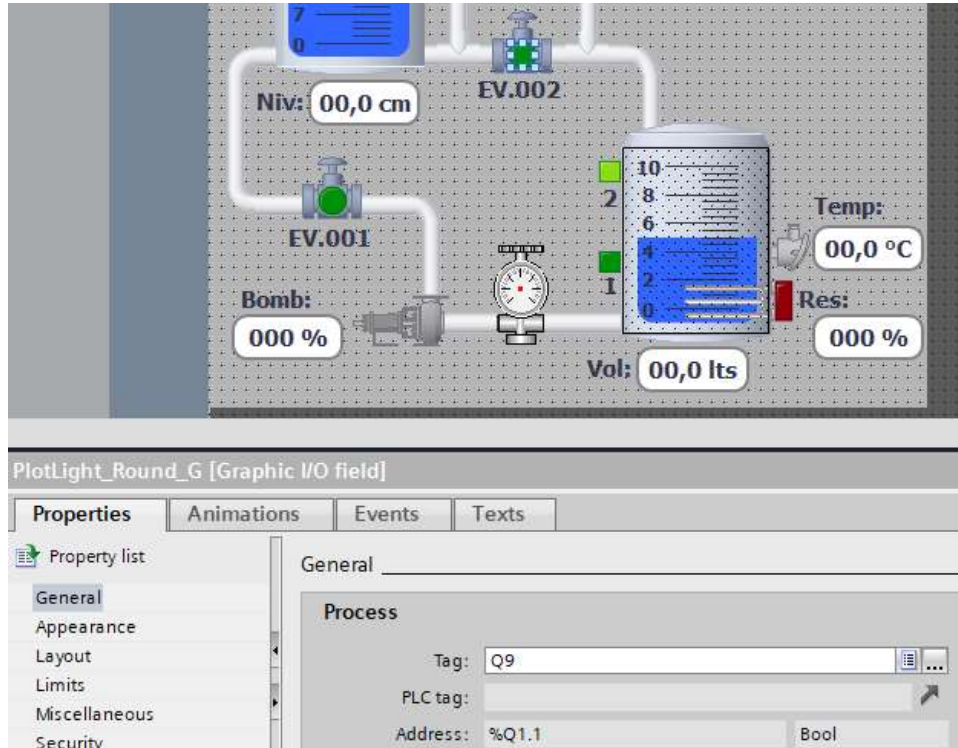


Figura 266. Propiedades indicador de encendido de electroválvula2 practica 8



24. Botón oculto para cambio de pantalla y monitoreo de temperatura.

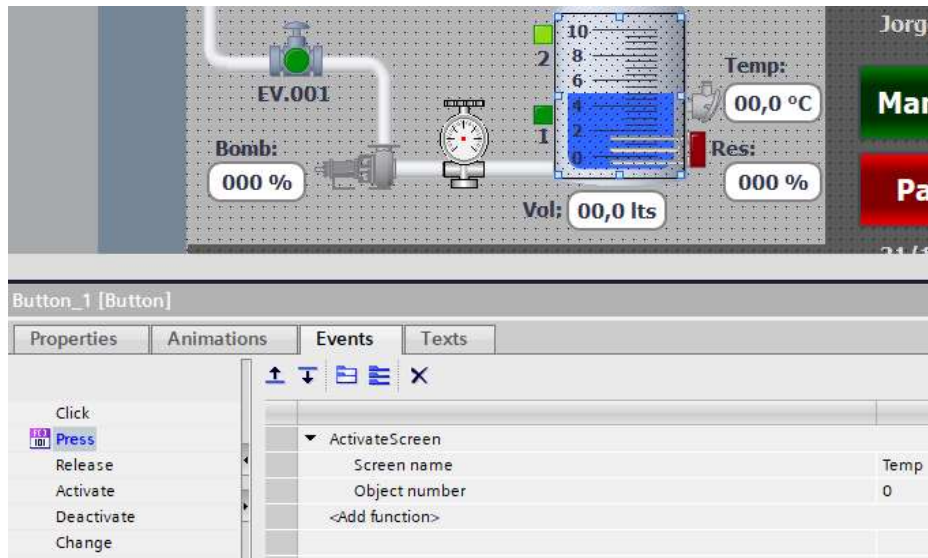


Figura 267. Propiedades botón oculto para cambio de pantalla practica 8

25. Diseño de pantalla para visualización de variables de control.

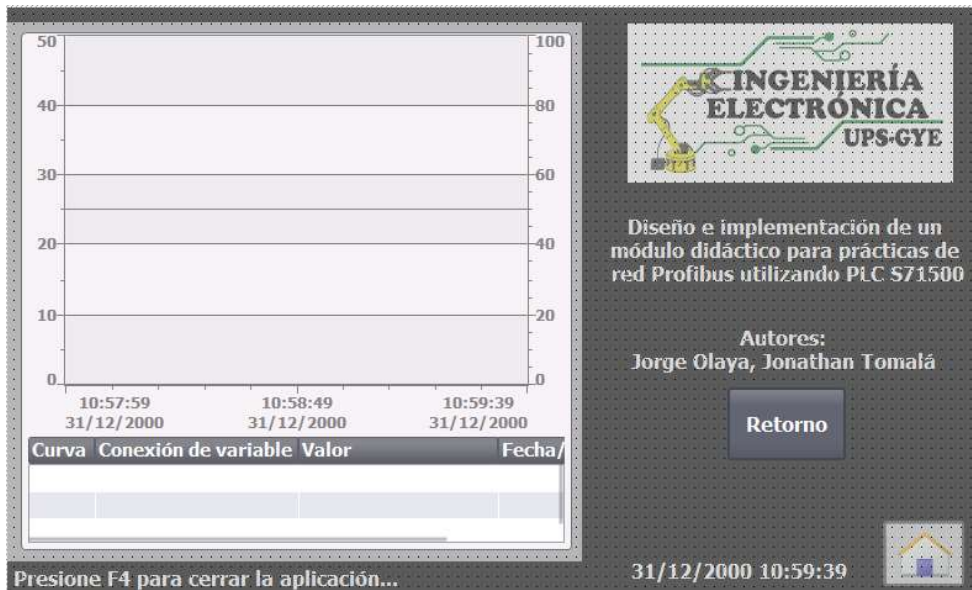


Figura 268. Pantalla visualización variables de control practica 8

26. Configuración de visualizador de curvas para la temperatura medida, temperatura deseada y ciclo de trabajo para la señal PWM de la resistencia.

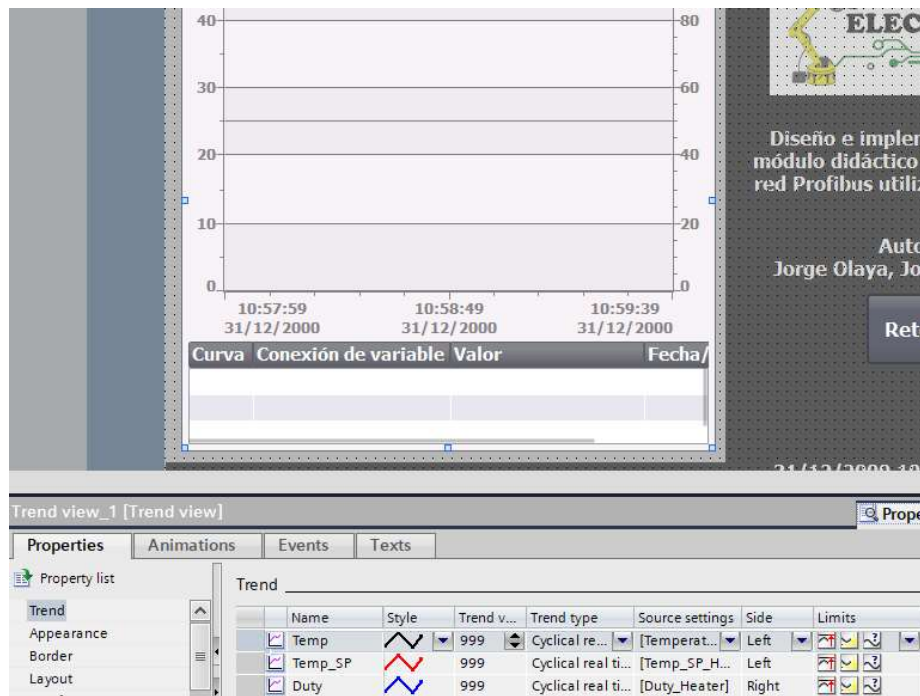


Figura 269. Pantalla visualización variables de control practica 8

27. Se hace la carga del programa y pruebas respectivas en el módulo didáctico.

### Anexo 17. Plano de control practica #9

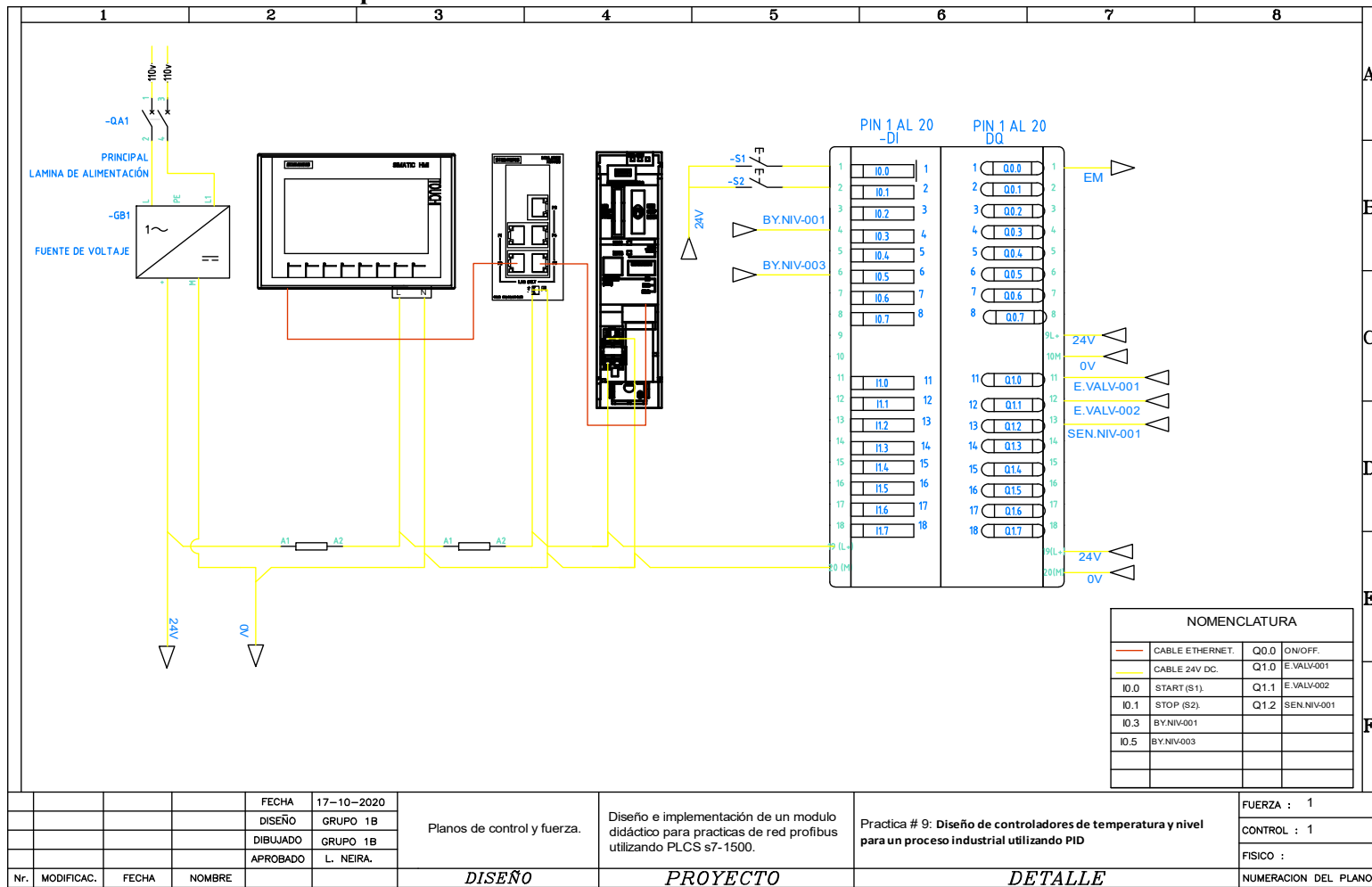


Figura 270. Plano de control 1/practica 9

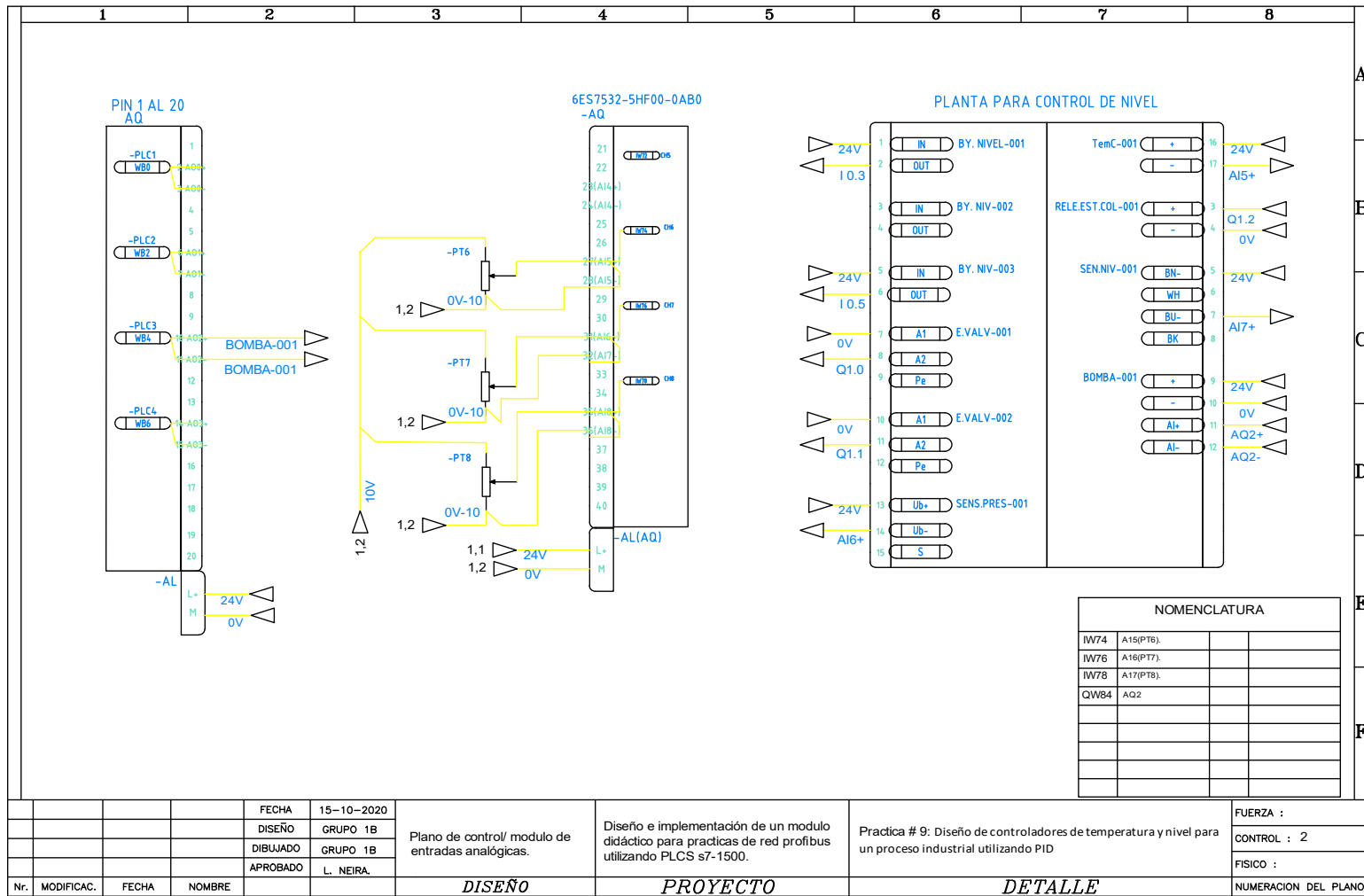


Figura 271. Plano de control 2/practica 9

## Anexo 18. Practica #9

### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

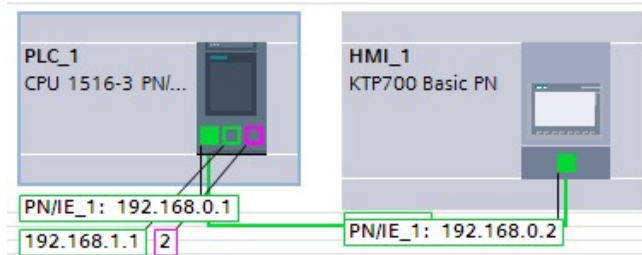


Figura 272. Conexión de red entre el PLC y el interfaz KTP700, Practica 9.

Como se observa en la Figura 272 es necesario por medio de software realizar la configuración de los interfaces de red, para de esta forma proceder a realizar la conexión física de los componentes.

2. Se definen las variables (locales) a utilizar dentro del bloque de función:

P9				
	Name	Data type	Offset	Default value
1	Input			
2	Start	Bool	0.0	false
3	Stop	Bool	0.1	false
4	Safety_level	Bool	0.2	false
5	Filled_tank	Bool	0.3	false
6	Temp_AI	UInt	2.0	0
7	Level_AI	UInt	4.0	0
8	Temp_SP	USint	6.0	0
9	Level_SP	USint	7.0	0
10	Pres_AI	UInt	8.0	0
11	Output			
12	On_Off	Bool	10.0	false
13	Eval1	Bool	10.1	false
14	Eval2	Bool	10.2	false
15	Heater	Bool	10.3	false
16	AQ_Pump	UInt	12.0	0
17	Temp	Real	14.0	0.0
18	PWM_duty	Real	18.0	0.0
19	Level	Real	22.0	0.0
20	Vol	Real	26.0	0.0
23	Static			
24	AI_norm	Real	30.0	0.0
25	HL_Temp	Real	34.0	0.0
26	LL_Temp	Real	38.0	0.0
27	AI_norm1	Real	42.0	0.0
28	Voltage_Pump	Real	46.0	0.0
29	AQ_norm	Real	50.0	0.0
30	Stable_Temp	Bool	54.0	false
31	Stable_Level	Bool	54.1	false
32	AI3_norm	Real	56.0	0.0

Figura 273. Variables locales bloque función, Practica 9.

3. Se programa el controlador proporcional de temperatura y nivel según lo especificado previamente.

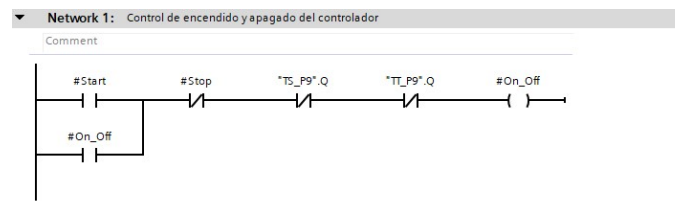


Figura 274. Función control de encendido y apagado controlador, Practica 9.

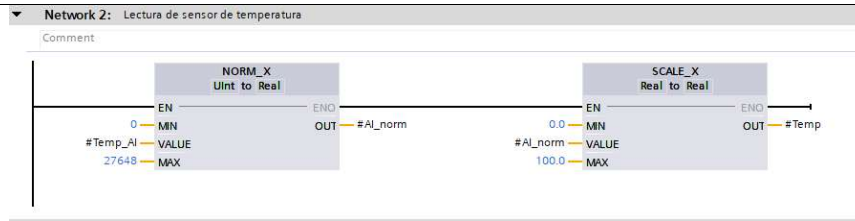


Figura 275. Función lectura de sensor de temperatura, Practica 9.

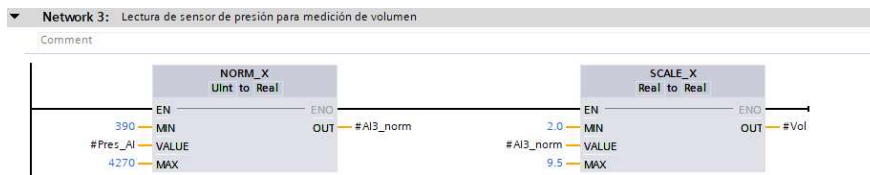


Figura 276. Función lectura de sensor de presión para medición de volumen, Practica 9.

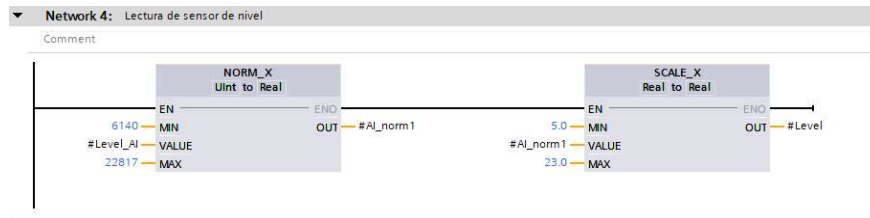


Figura 277. Función lectura de sensor de nivel, Practica 9.

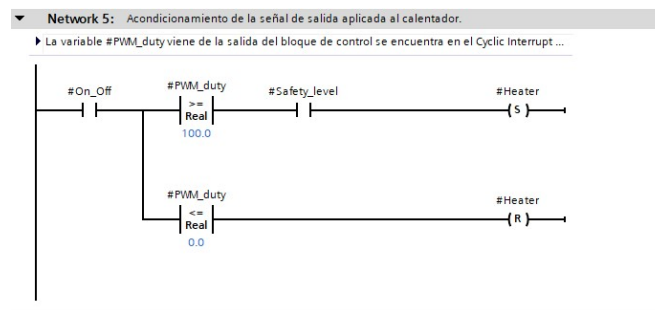


Figura 278. Función acondicionamiento de la señal de salida aplicada al calentador, Practica 9.



Figura 279. Función acondicionamiento de la señal de salida aplicada al calentador, Practica 9.

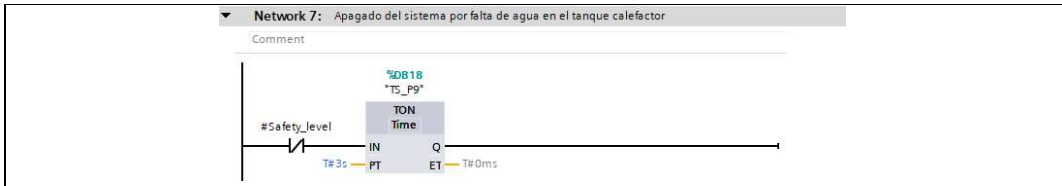


Figura 280. Función apagada del sistema por falta de agua en tanque calefactor, Practica 9.

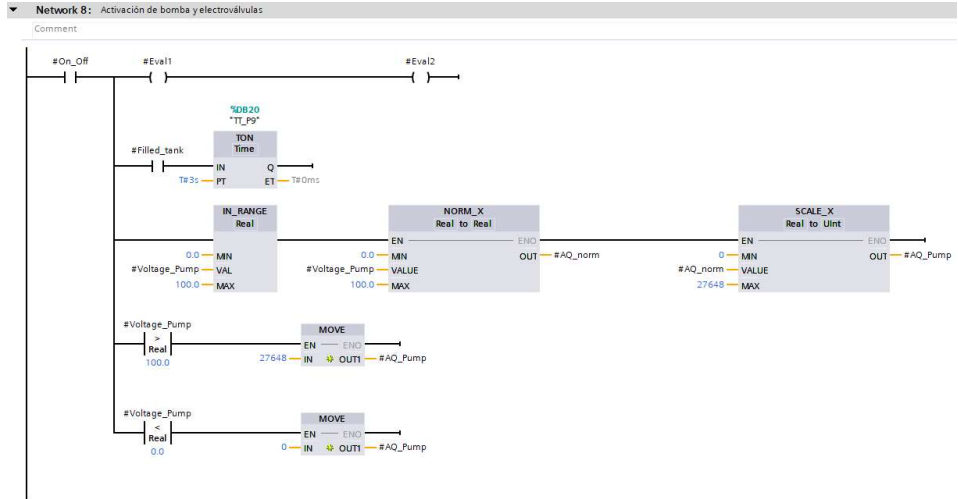


Figura 281. Función activación de bomba y electroválvulas, Practica 9

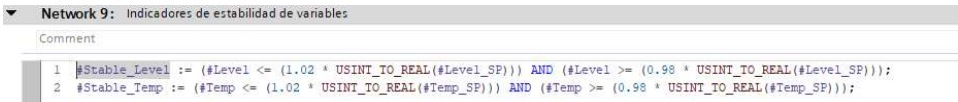


Figura 282. Indicador de estabilidad de variables, Practica 9

#### 4. Programación del bloque de interrupción cíclica OB30 para ejecución determinista de controladores.

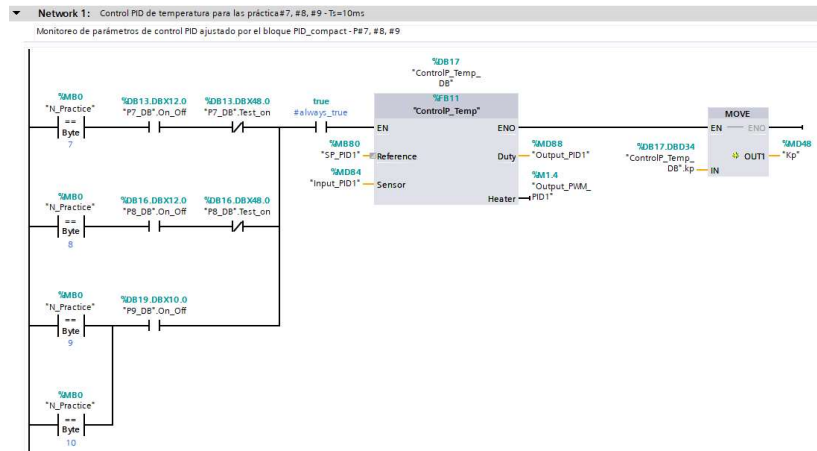


Figura 283. Indicador de estabilidad de variables, Practica 9

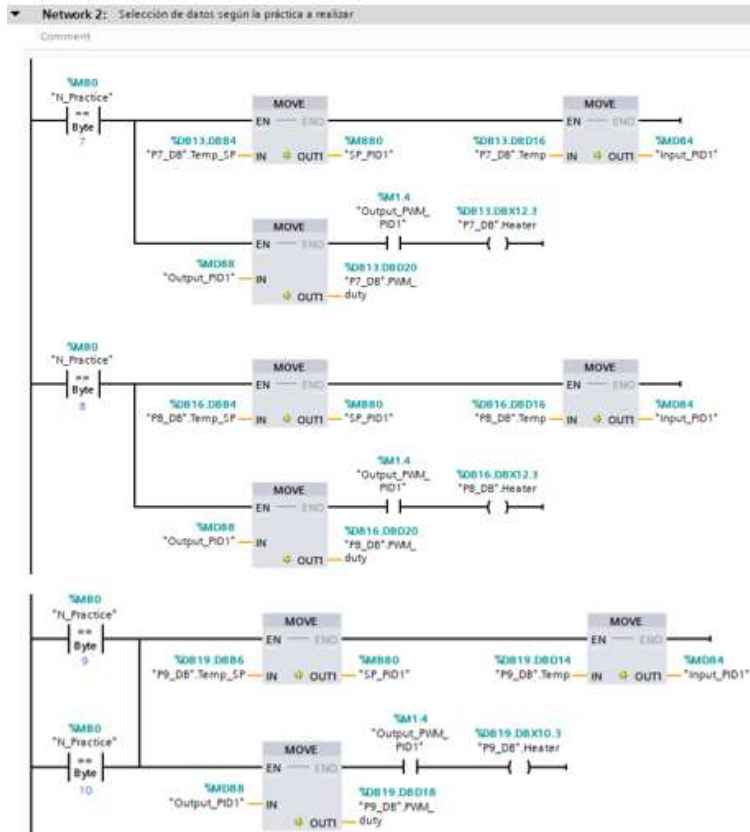


Figura 284. Función para selección de datos, Practica 9

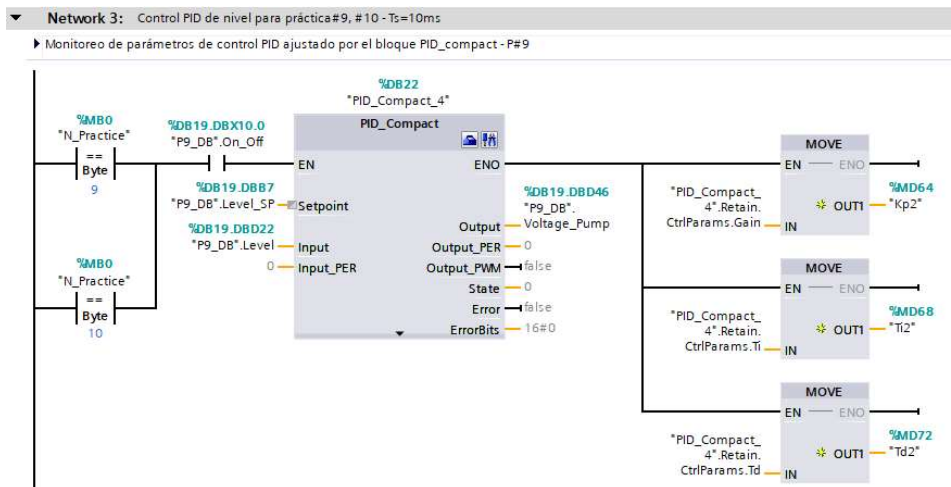


Figura 285. Función para controlador PID, Practica 9



5. Variables utilizadas para bloque de control proporcional de Temperatura.

ControlIP_Temp				
	Name	Data type	Offset	Default value
1	▼ Input			
2	Reference	Real	0.0	0.0
3	Sensor	Real	4.0	0.0
4	▼ Output			
5	Duty	Real	8.0	0.0
6	Heater	Bool	12.0	false
7	▼ InOut			
8	<Add new>			
9	▼ Static			
10	Error	Real	14.0	0.0
11	uControl	Real	18.0	0.0
12	Time_limit	UDInt	22.0	0
13	Duty_norm	Real	26.0	0.0
14	TimerET	DWord	30.0	16#0
15	kp	Real	34.0	10.0

Figura 286. Variables bloque control proporcional temperatura, Practica 9

6. Programación del bloque de función para control proporcional de Temperatura.

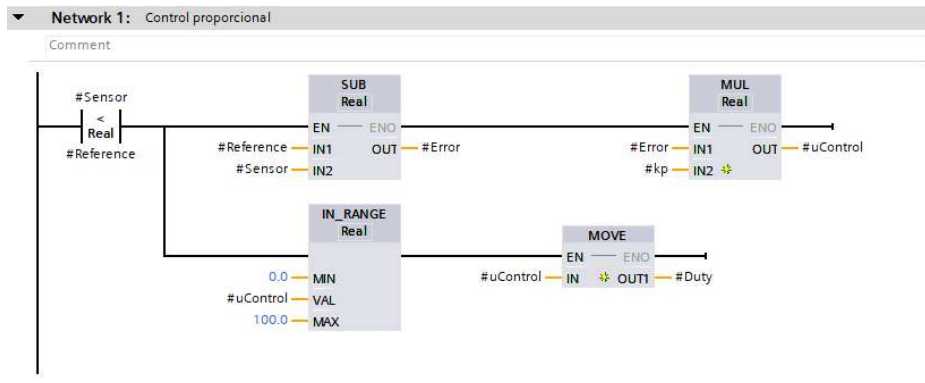


Figura 287. Función control proporcional, Practica 9

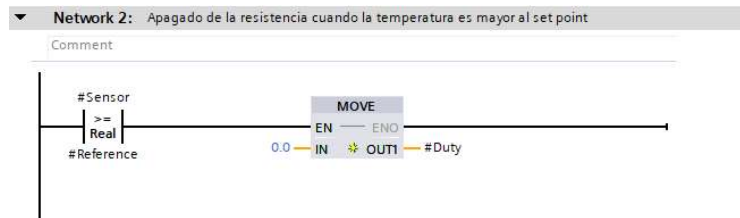


Figura 288. Función apagada de resistencia cuando es mayor al set point, Practica 9

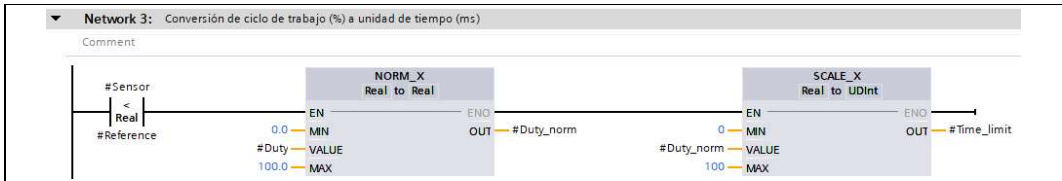


Figura 289. Función conversión de ciclo de trabajo (% a unidad de tiempo ms), Practica 9

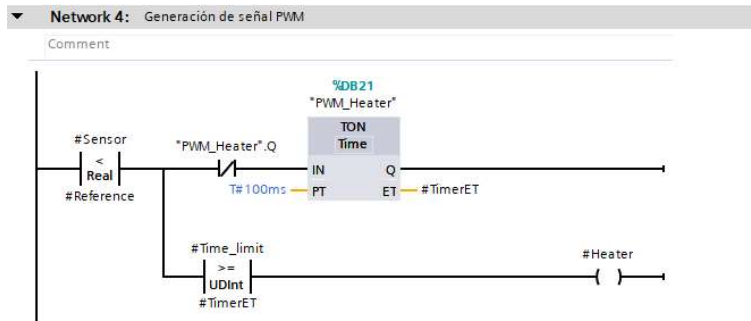


Figura 290. Función de generación de señal PWM, Practica 9

7. Variables utilizadas para bloque de control proporcional de Volumen.

ControlP_Vol				
	Name	Data type	Offset	Default value
1	Input			
2	Reference	Real	0.0	0.0
3	Sensor	Real	4.0	0.0
4	Output			
5	Pump	UInt	8.0	0
6	Eval1	Bool	10.0	false
7	Eval2	Bool	10.1	false
8	InOut			
9	<Add new>			
10	Static			
11	Error	Real	12.0	0.0
12	uControl	UInt	16.0	0
13	Temp			
14	<Add new>			
15	Constant			
16	always_false	Bool		false

Figura 291. Variables control proporcional de Volumen, Practica 9

## 8. Programación del bloque de función para control proporcional de Volumen.

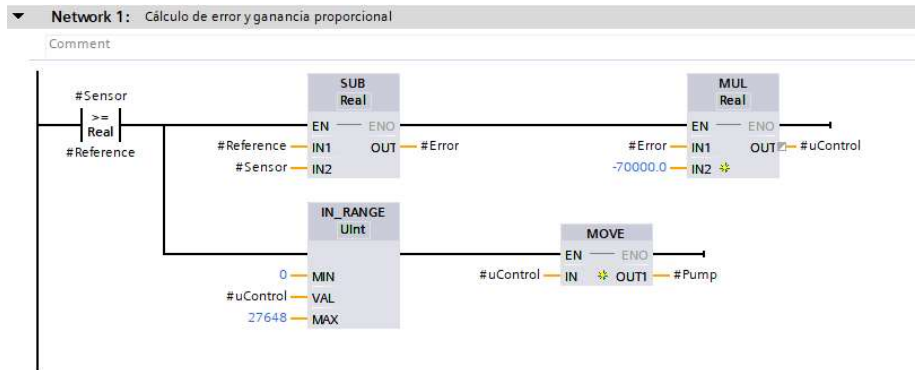


Figura 292. Función cálculo de error y ganancia proporcional, Practica 9

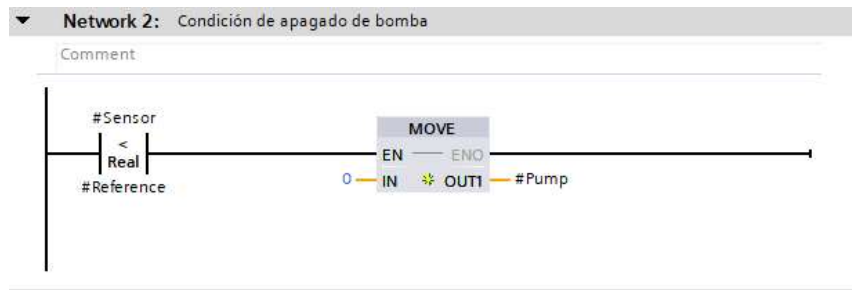


Figura 293. Función de condición de apagado de bomba, Practica 9

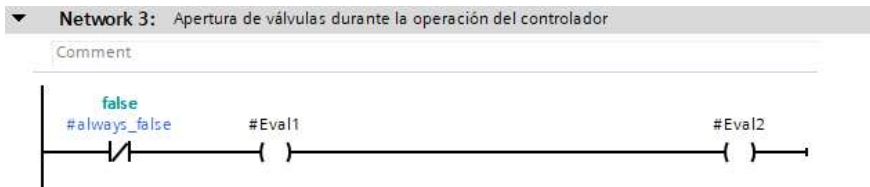


Figura 294. Función de apertura de válvulas durante la operación de controlador, Practica 9

## 9. Configuración de bloque de control PID\_Compact.

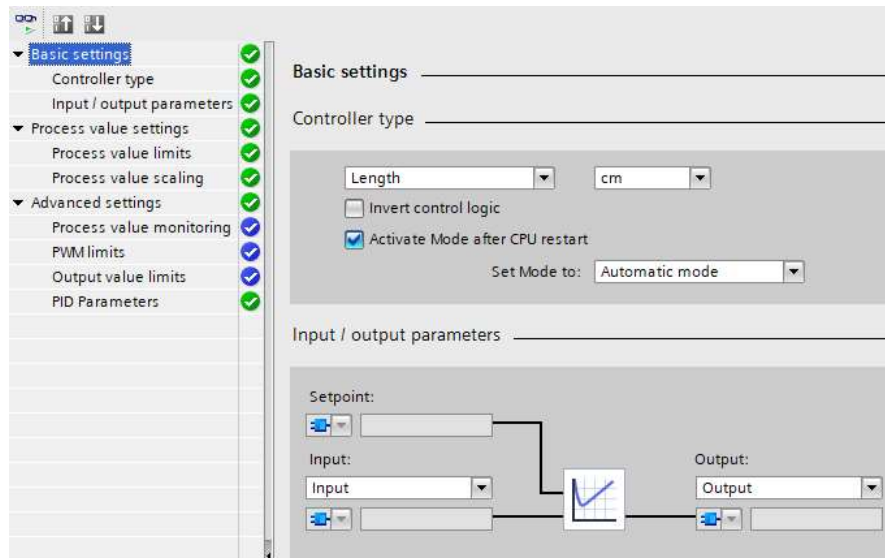


Figura 295. Propiedades básicas de control PID\_Compact, Practica 9

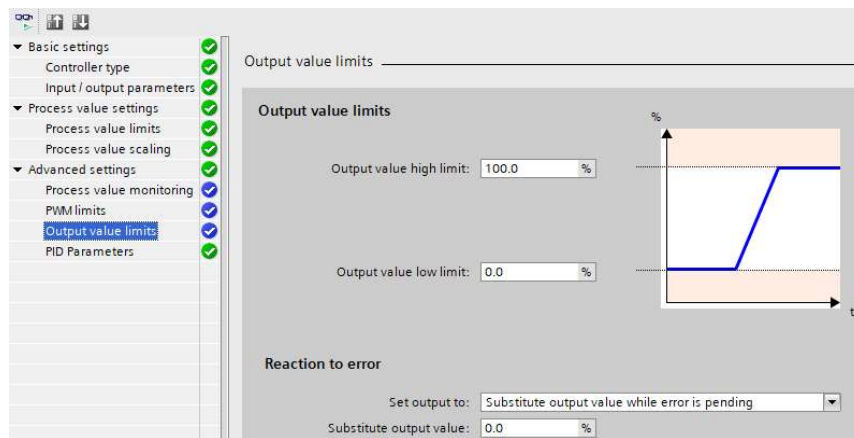


Figura 296. Propiedades valores límite de salida de control PID\_Compact, Practica 9

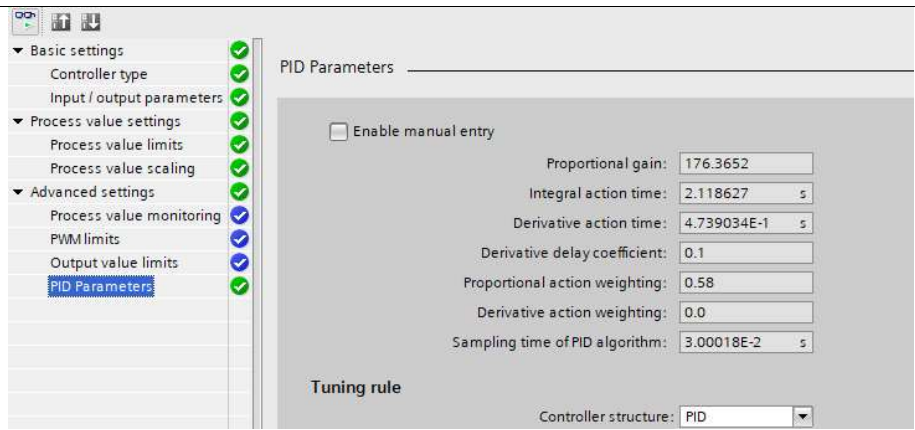


Figura 297. Propiedades parámetros PID\_Compact, Practica 9

10. Se llama al bloque función desde el programa principal.

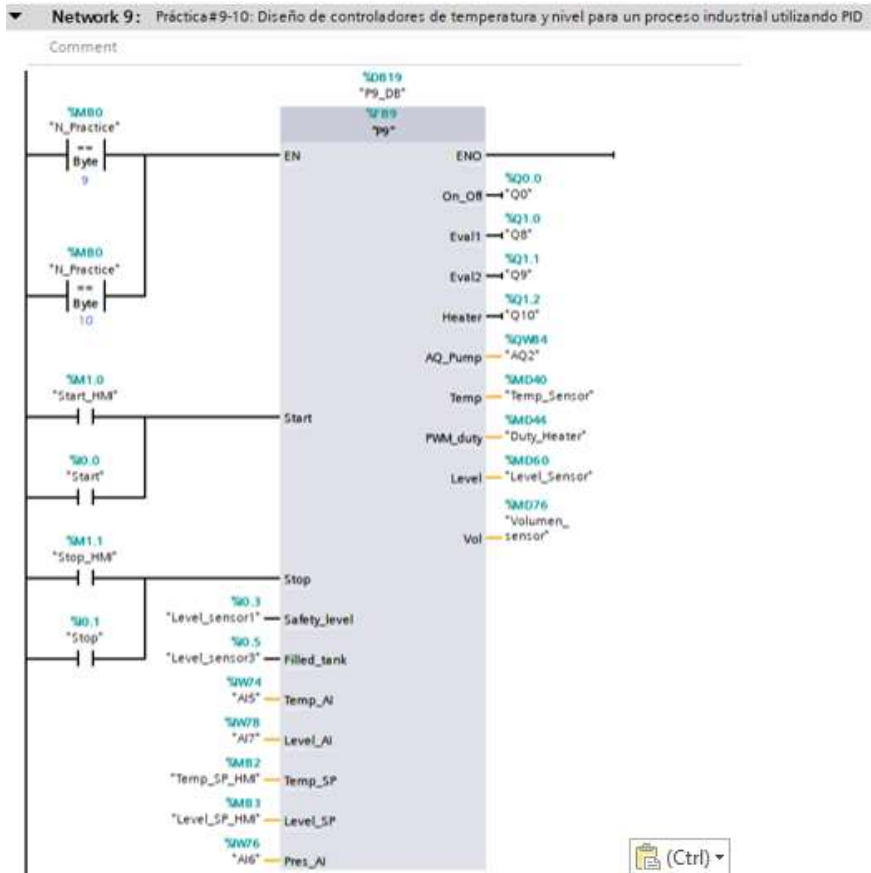


Figura 298. Función diseño de controladores de temperatura y nivel para proceso industrial PID, Practica 9

11. Se realiza el panel de control y visualización del controlador utilizando una interfaz humano-máquina con la siguiente apariencia:

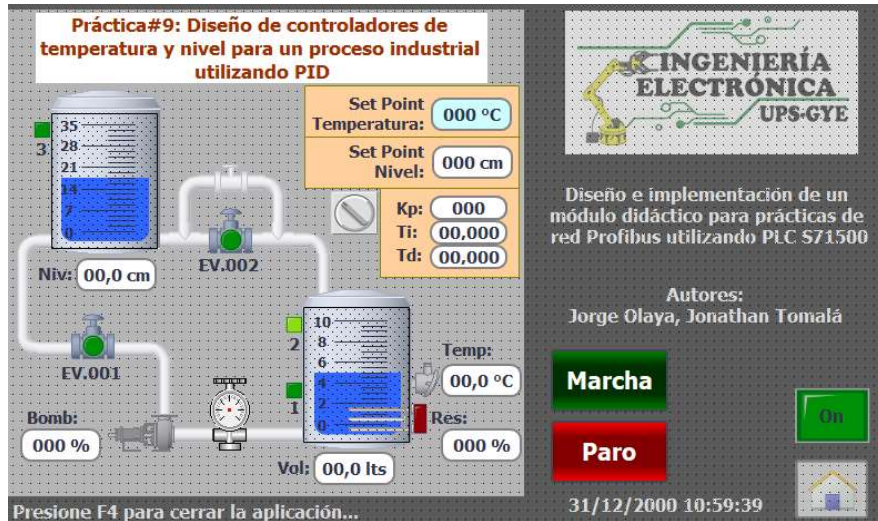


Figura 299. Interfaz HMI, Practica 9

12. Configuración de indicador de encendido.

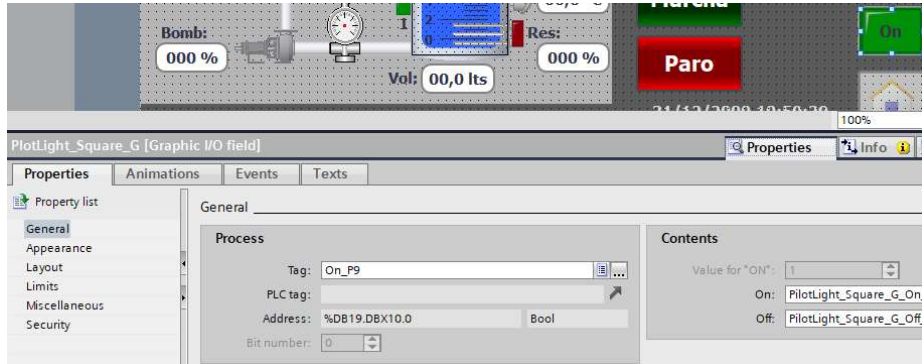


Figura 300. Propiedades indicador de encendido, Practica 9

13. Evento pulsar en el botón de marcha.

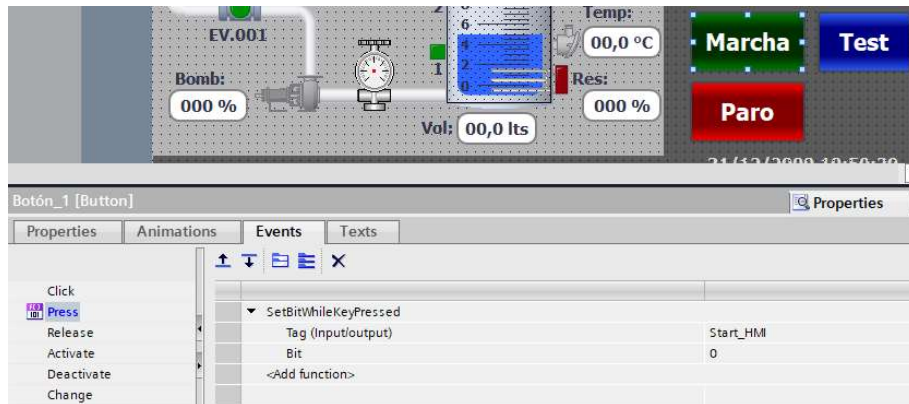


Figura 301. Propiedades botón de marcha, Practica 9

14. Evento pulsar en el botón de paro.

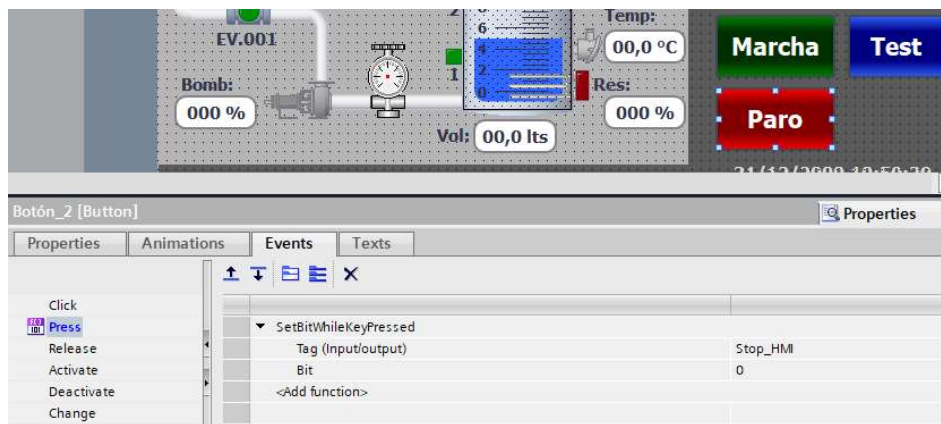


Figura 302. Propiedades botón paro, Practica 9



15. Campo de entrada/salida para fijar la temperatura deseada.

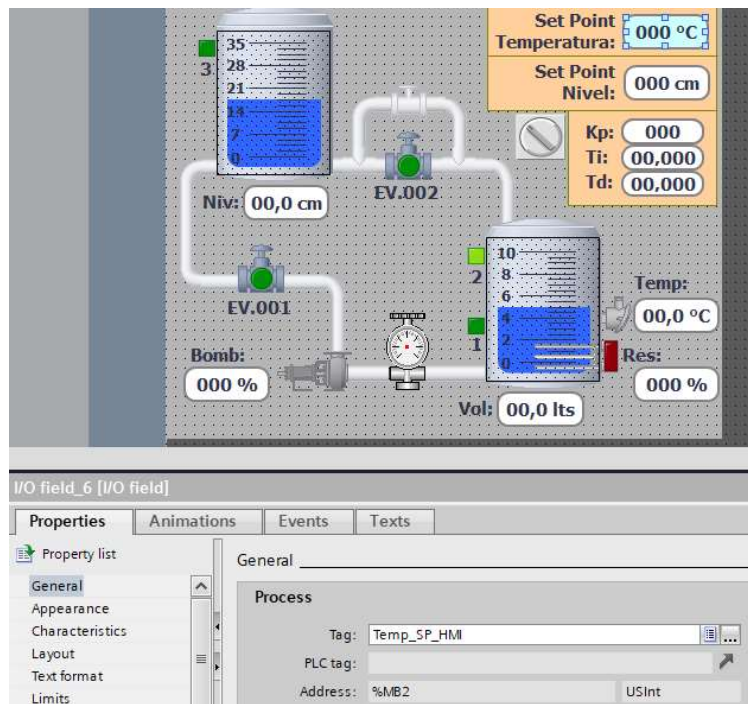


Figura 303. Propiedades campo entrada/salida para fijar la temperatura, Practica 9

16. Campo de entrada/salida para fijar el nivel deseado.

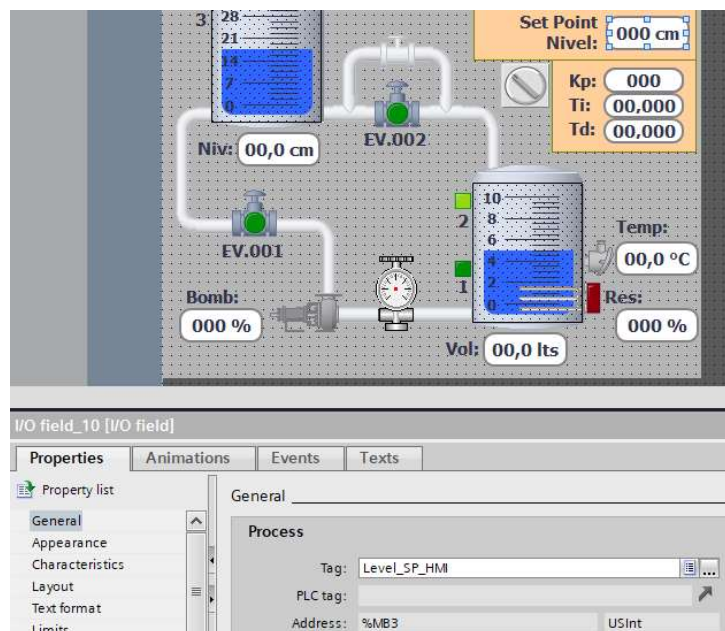


Figura 304. Propiedades entrada/salida nivel set point, Practica 9



17. Campos de salida para mostrar los valores de las constantes proporcional, integral y derivativa utilizadas en el controlador de nivel.

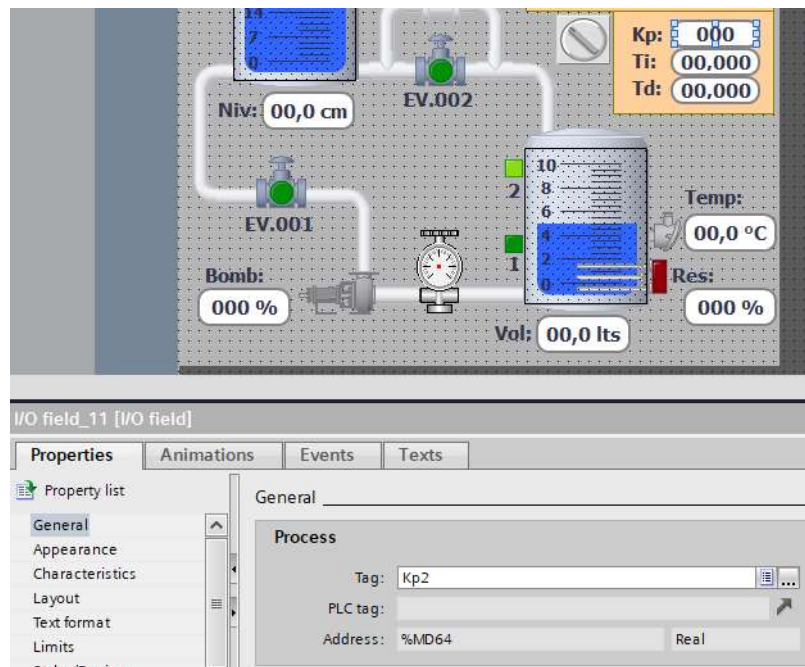


Figura 305. Propiedad constante proporcional, Practica 9

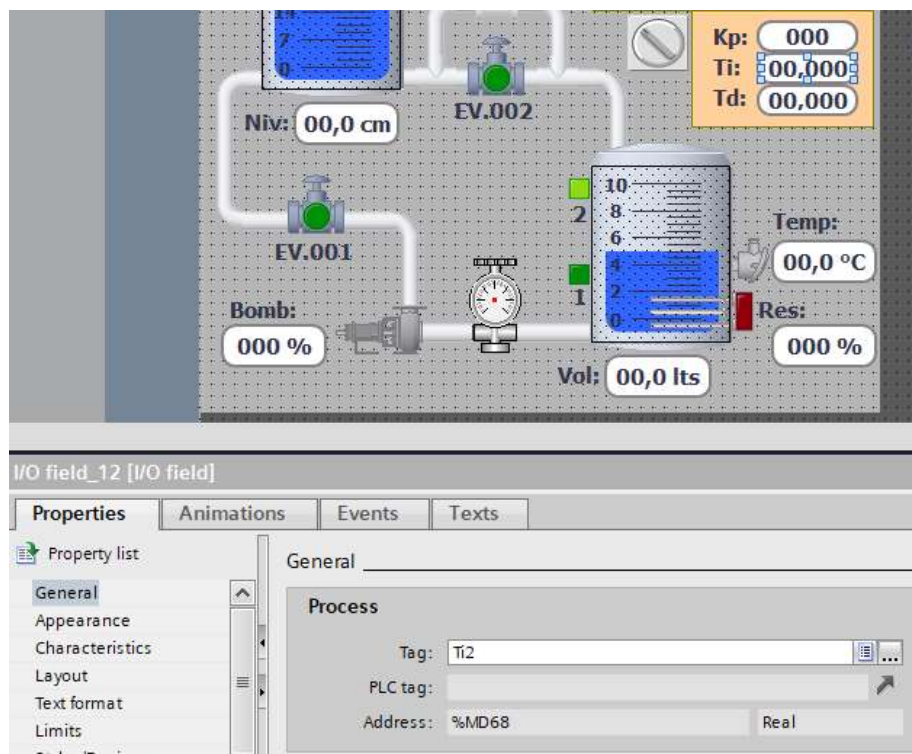


Figura 306. Propiedad constante integral, Practica 9

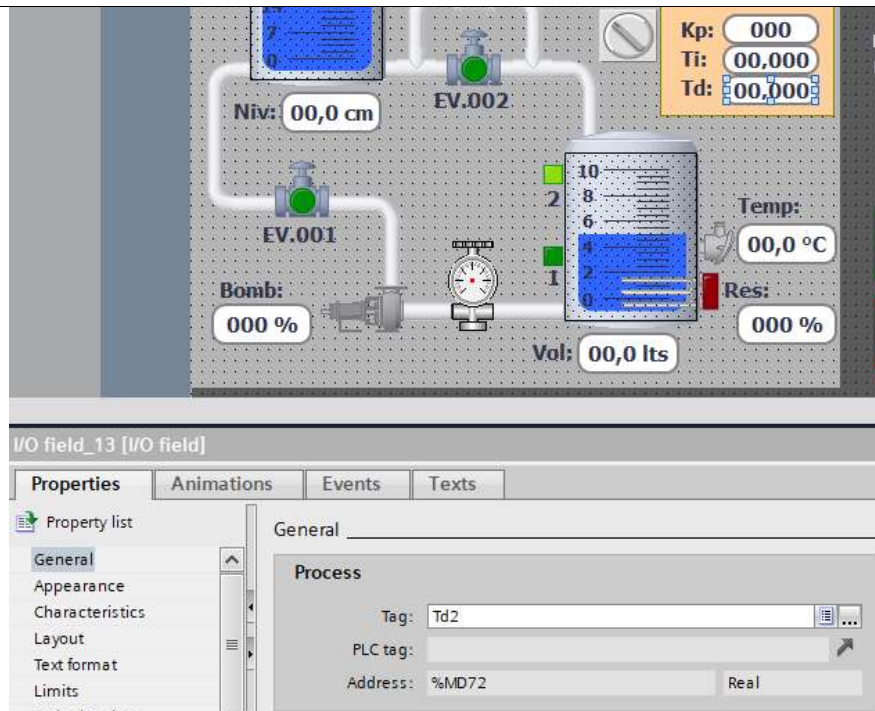


Figura 307. Propiedad constante derivativa, Practica 9

18. Configuración de selector para monitoreo de parámetros de control.

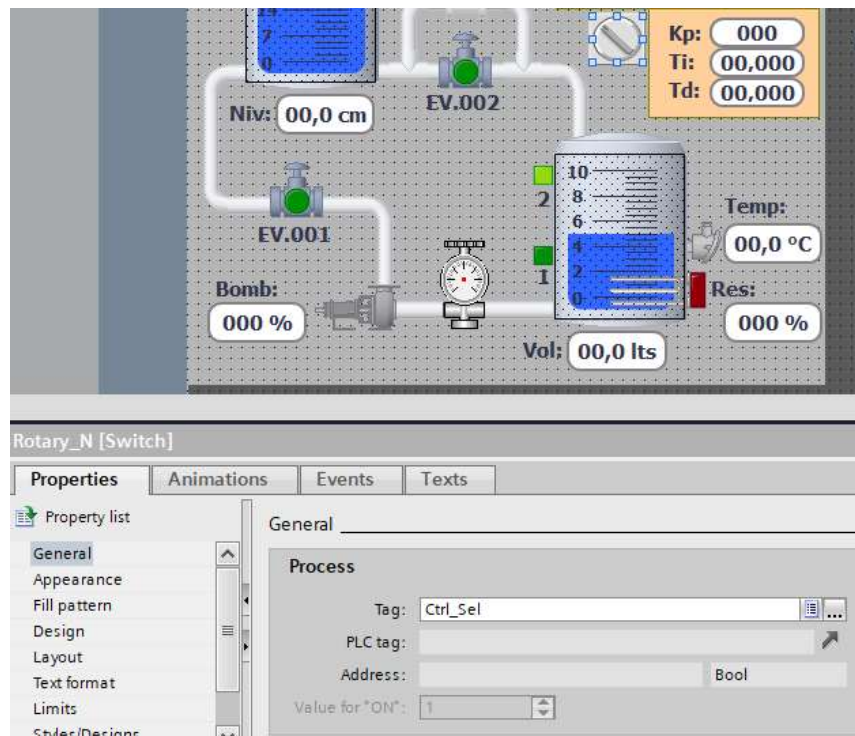


Figura 308. Propiedades selector monitoreo parámetros control, Practica 9

19. Campo de salida para observar la temperatura actual del fluido.

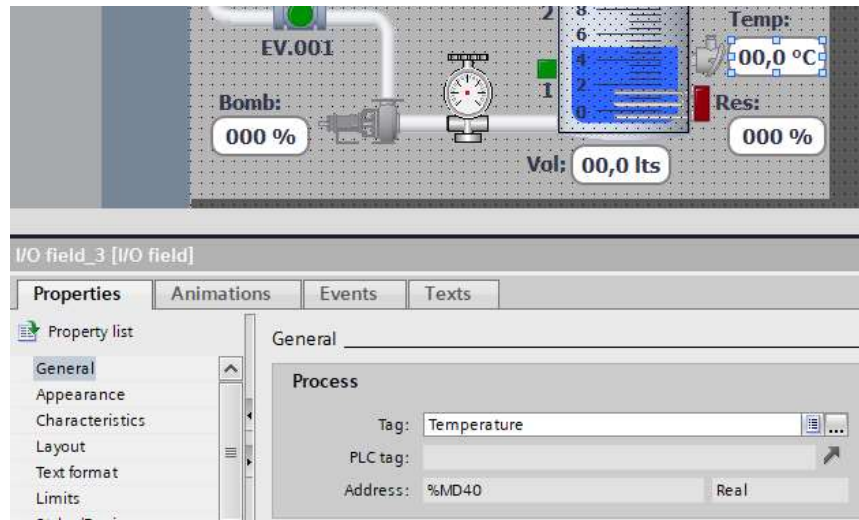


Figura 309. Propiedades campo temperatura actual fluido, Practica 9

20. Campo de salida para observar el volumen de fluido en el tanque inferior.

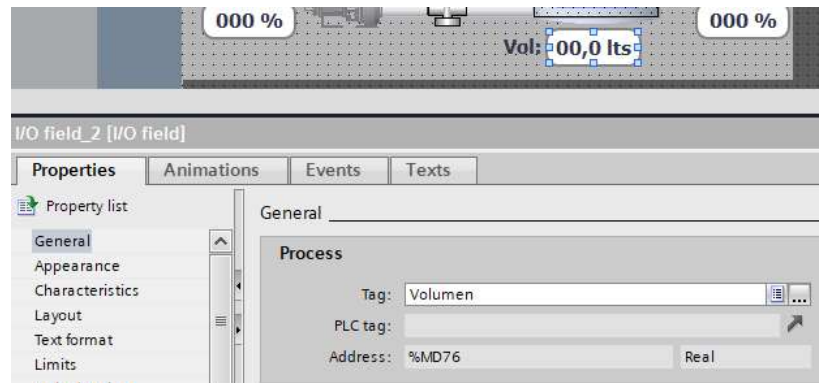


Figura 310. Propiedades campo volumen de fluido en el tanque inferior, Practica 9

21. Campo de salida para observar el porcentaje de potencia aplicado a la bomba.

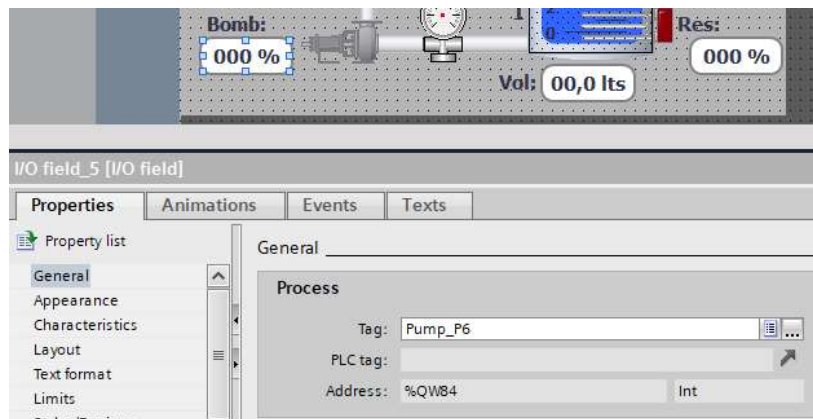


Figura 311. Propiedades campo para potencia aplicada a la bomba, Practica 9

22. Campo de salida para monitorear el nivel de líquido presente en el tanque superior.

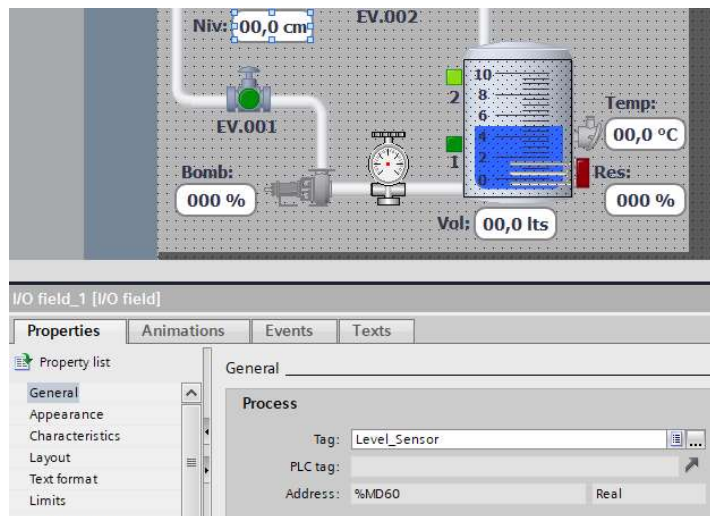


Figura 312. Propiedades campo salida para monitoreo de líquido presente en el tanque superior, Practica 9.

23. Campo de salida para indicar el porcentaje de potencia aplicada a la resistencia calefactora.

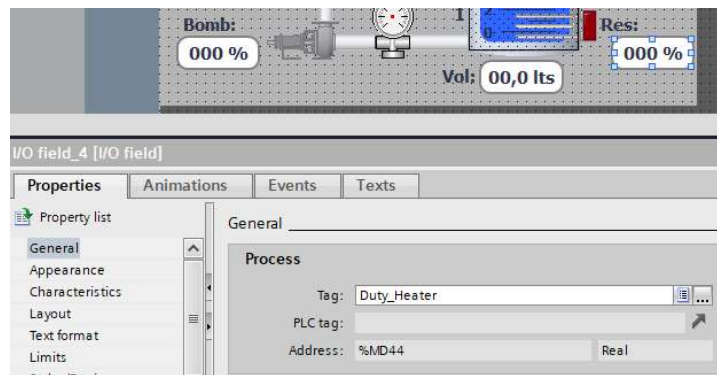


Figura 313. Propiedades campo salida indicador porcentaje resistencia calefactora, Practica 9.

24. Indicador de encendido de resistencia de calentamiento.

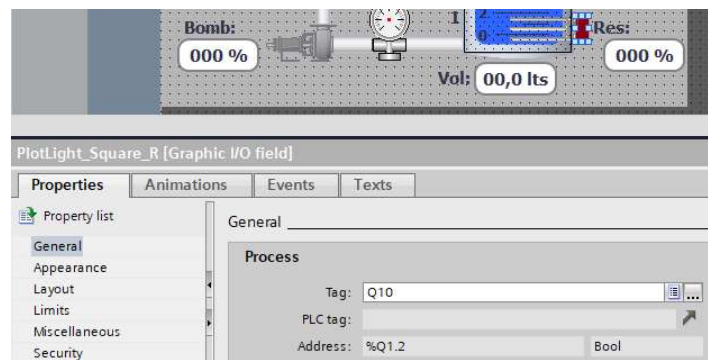


Figura 314. Propiedades indicador encendido resistencia de calentamiento, Practica 9.



25. Indicador de encendido de nivel alto en tanque superior.

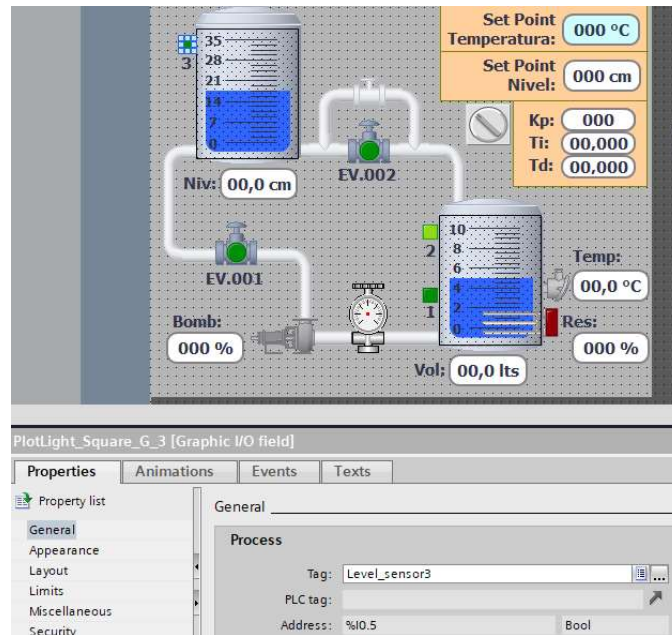


Figura 315. Propiedades indicador encendido nivel alto en tanque superior, Practica 9.

26. Indicador de encendido de nivel alto en tanque inferior

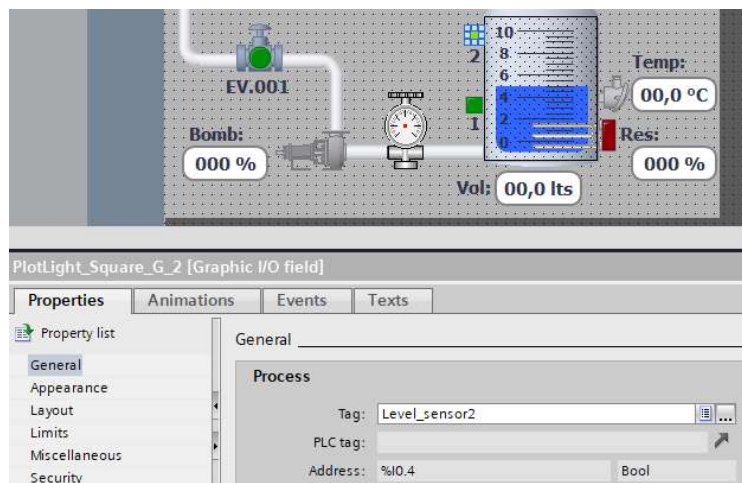


Figura 316. Propiedades indicador encendido nivel alto en tanque inferior, Practica 9.

27. Indicador de encendido de nivel bajo en tanque inferior.

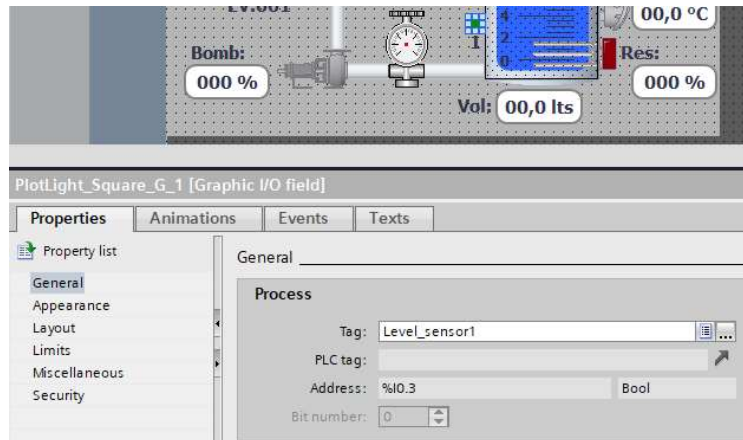


Figura 317. Propiedades indicador encendido nivel bajo en tanque inferior, Practica 9.

28. Indicador de encendido de electroválvula1.

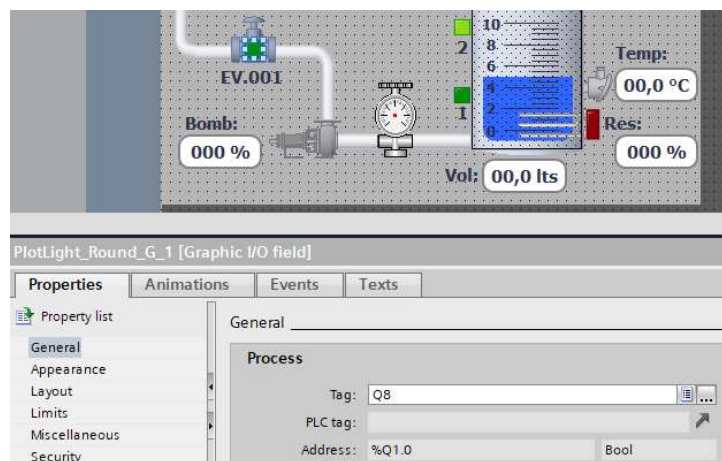


Figura 318. Propiedades indicador encendido electroválvula1, Practica 9.

29. Indicador de encendido de electroválvula2.

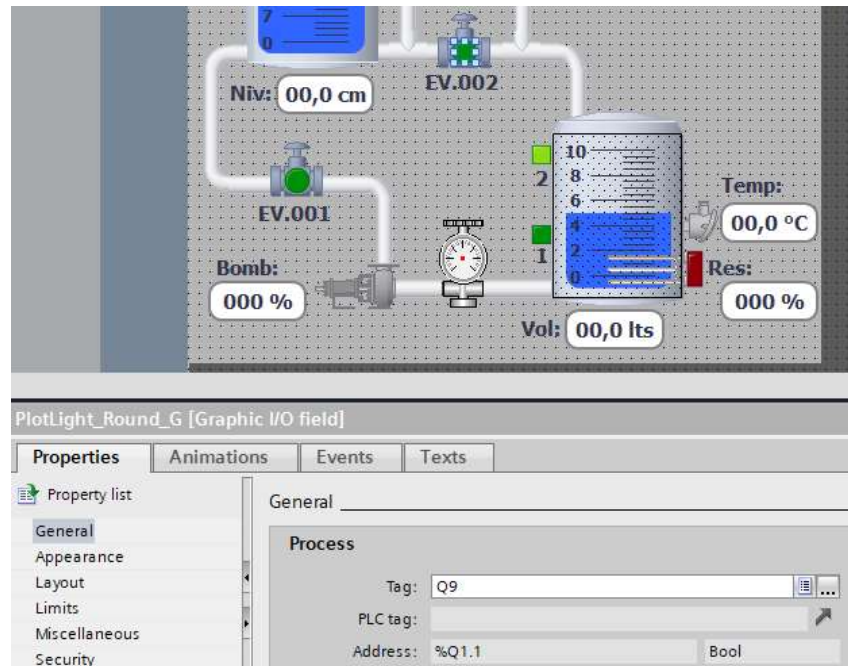


Figura 319. Propiedades indicador encendido electroválvula2, Practica 9.

30. Botón oculto para cambio de pantalla y monitoreo de temperatura.

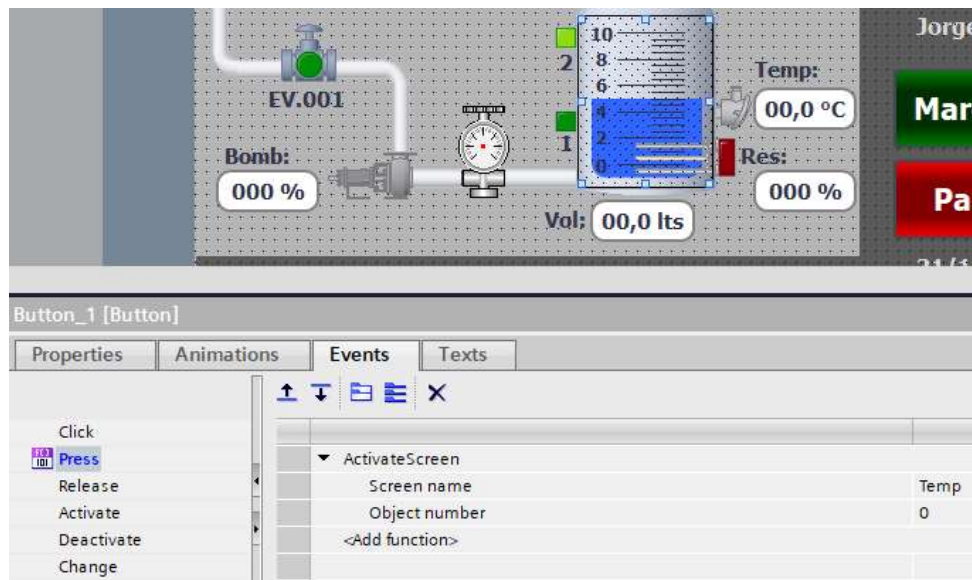


Figura 320. Propiedades botón oculto para cambio de pantalla y monitoreo de temperatura tanque inferior, Practica 9.



31. Botón oculto para cambio de pantalla y monitoreo de nivel.

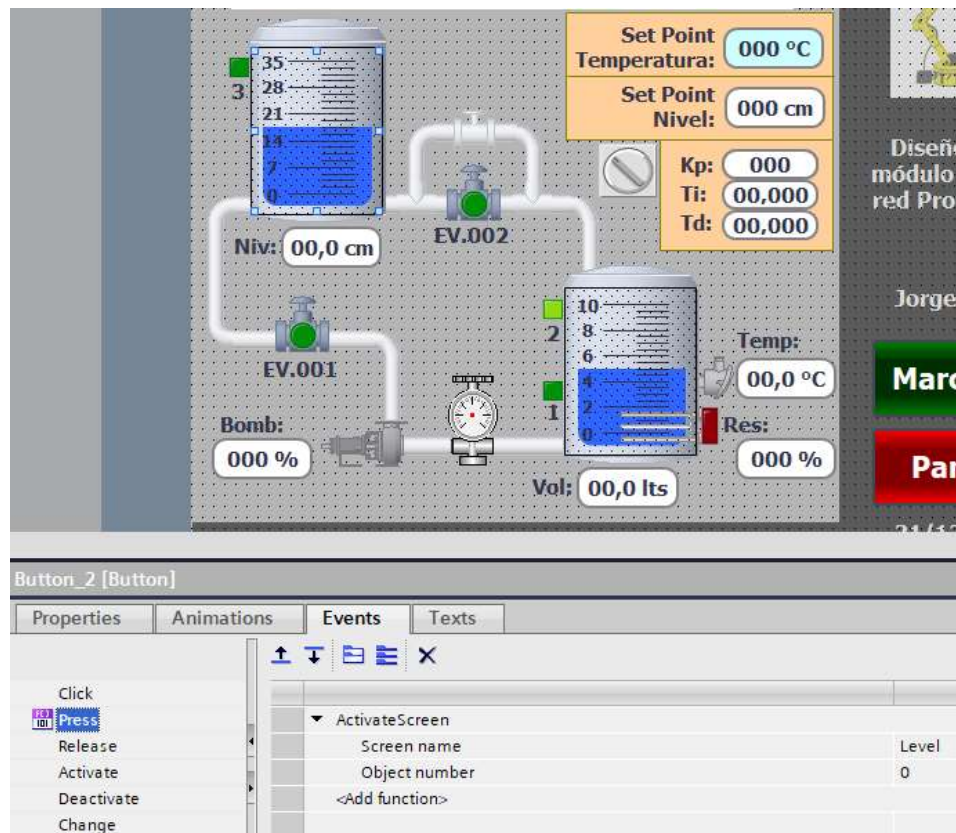


Figura 321. Propiedades botón oculto para cambio de pantalla y monitoreo de temperatura tanque superior, Practica 9.

32. Diseño de pantalla para visualización de variables de control de temperatura.

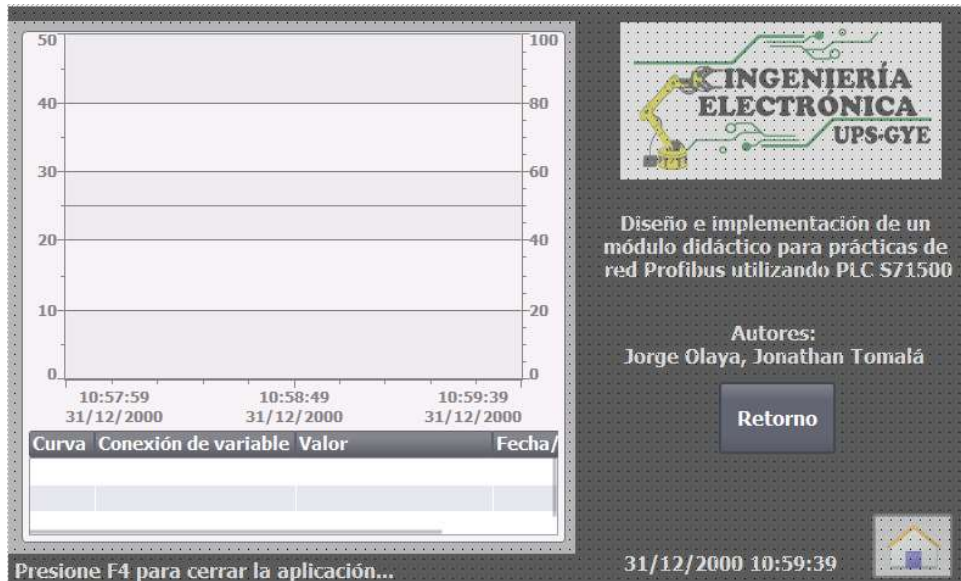


Figura 322. Pantalla visualización de variables control temperatura, Practica 9.

33. Configuración de visualizador de curvas para la temperatura medida, temperatura deseada y ciclo de trabajo para la señal PWM de la resistencia.

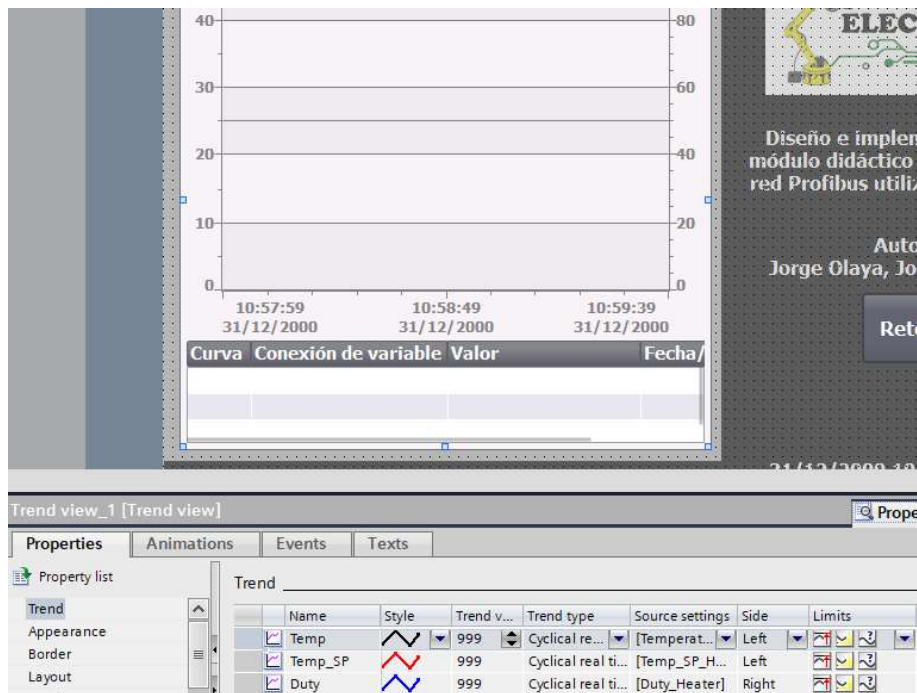


Figura 323. Pantalla visualización curvas temperatura y señal PWM, Practica 9.

34. Diseño de pantalla para visualización de variables de control de nivel.

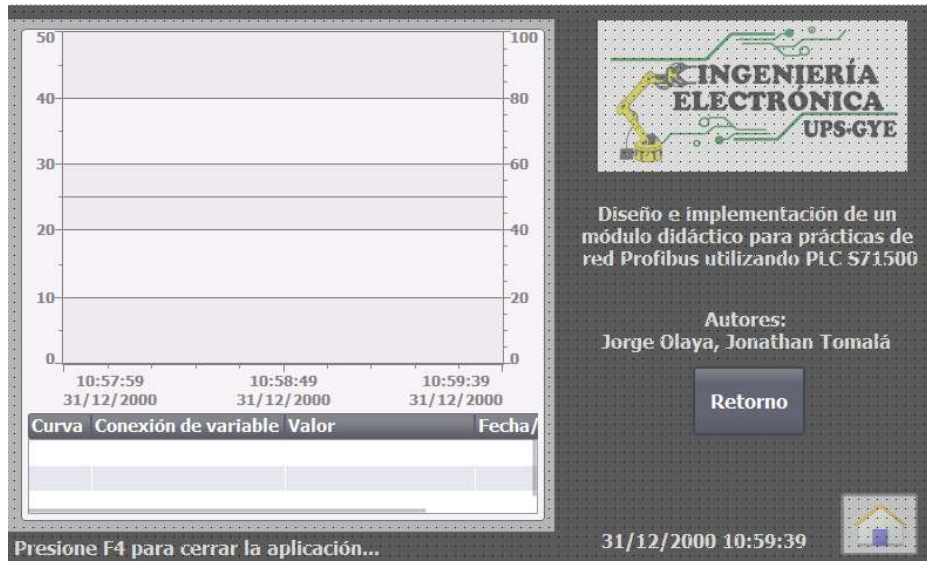


Figura 324. Pantalla visualización curvas temperatura y señal PWM, Practica 9.

35. Configuración de visualizador de curvas para la nivel medido y nivel deseado.

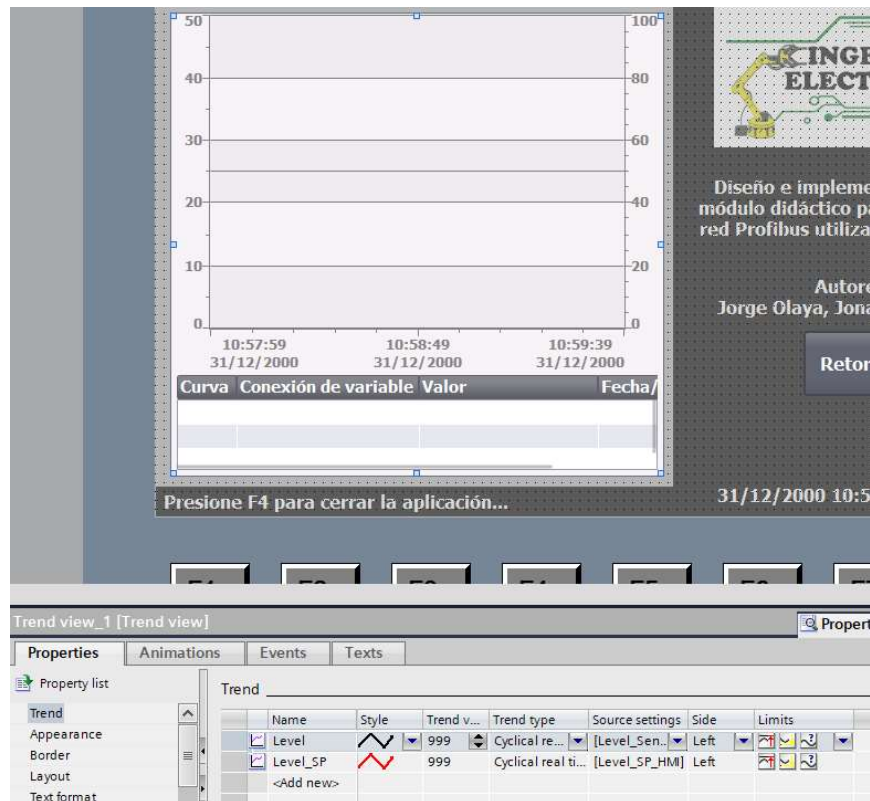


Figura 325. Pantalla visualización curvas nivel medido y deseado, Practica 9.

Se hace la carga del programa y pruebas respectivas en el módulo didáctico.

### Anexo 19. Plano de control practica #10

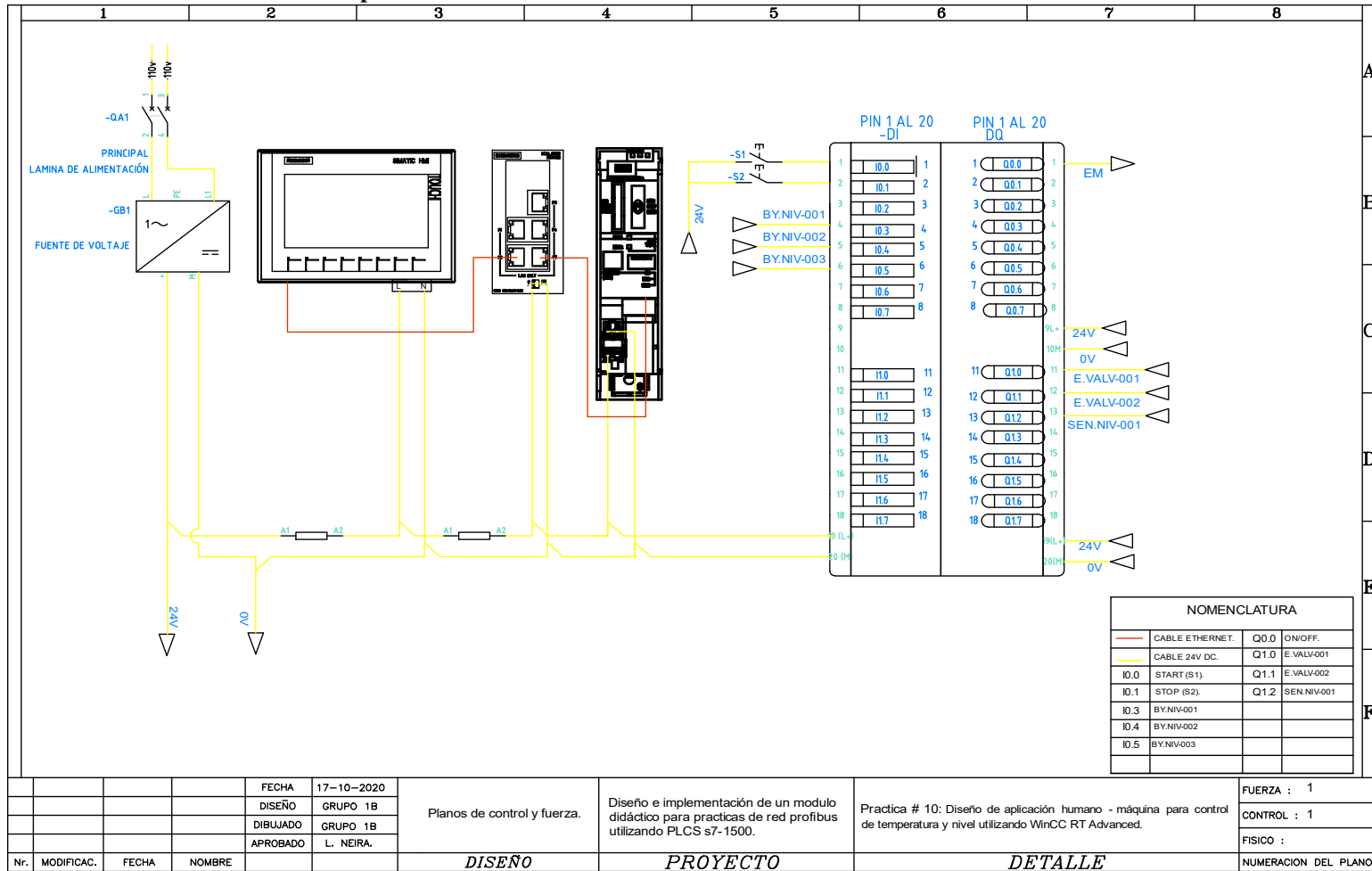


Figura 326. Plano de control I/practica 10

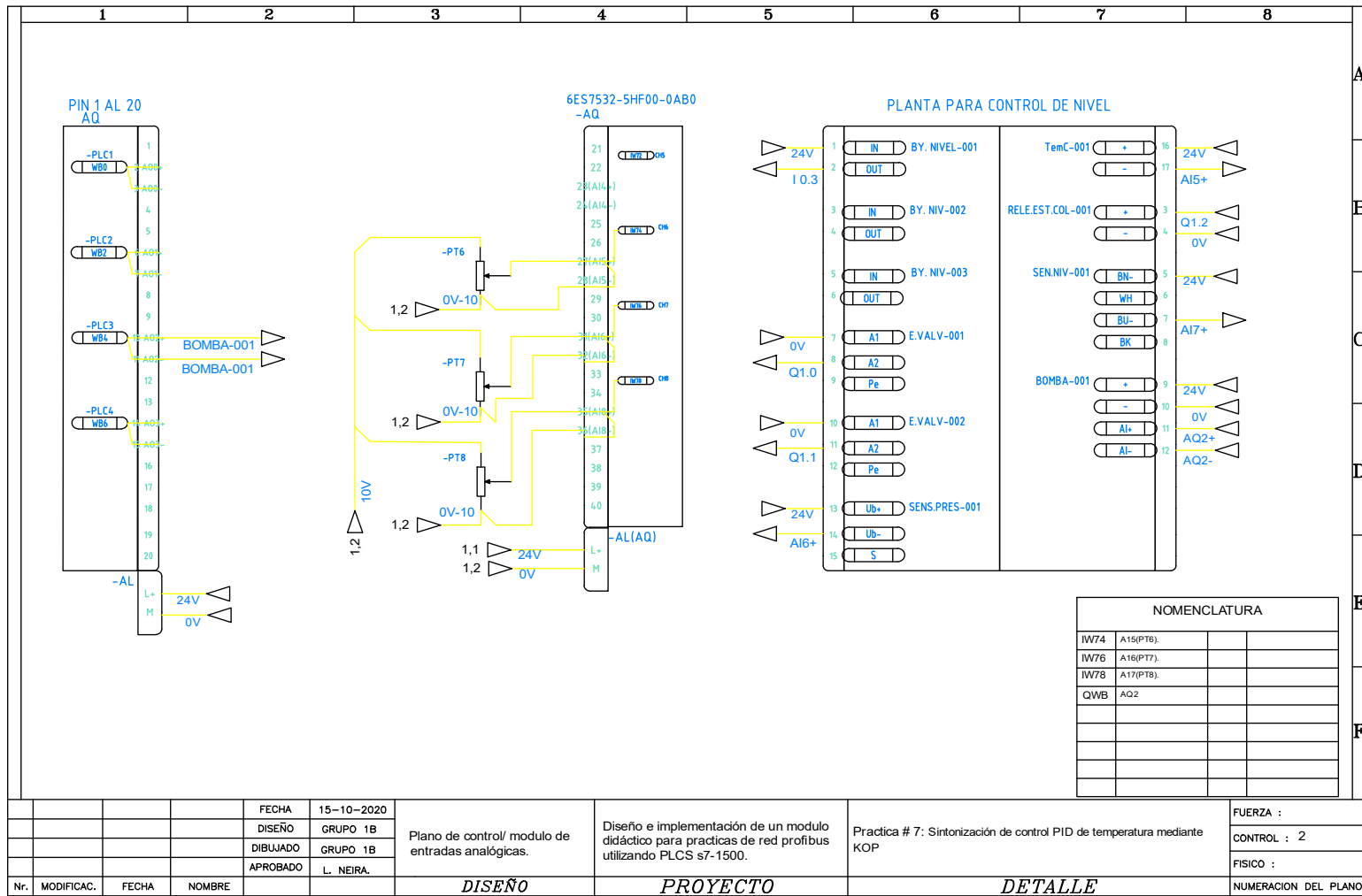


Figura 327. Plano de control 2/practica 10

## Anexo 20. Practicas #10

### PROCEDIMIENTO

1. Se diseña la estructura de red:

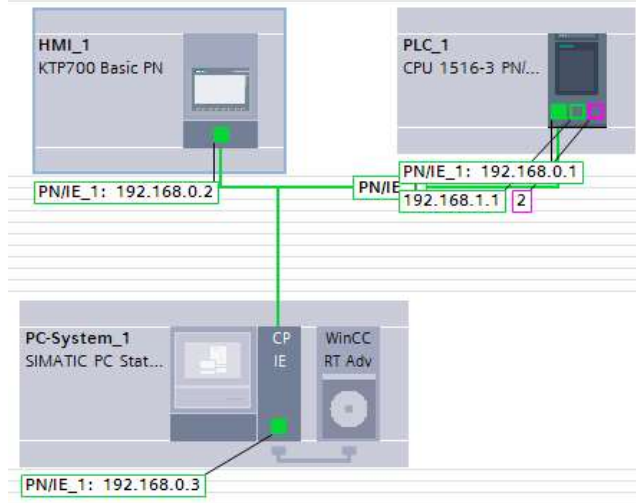


Figura 328. Estructura de red. Practica 10

2. Se realiza el diseño general de la aplicación de monitoreo.

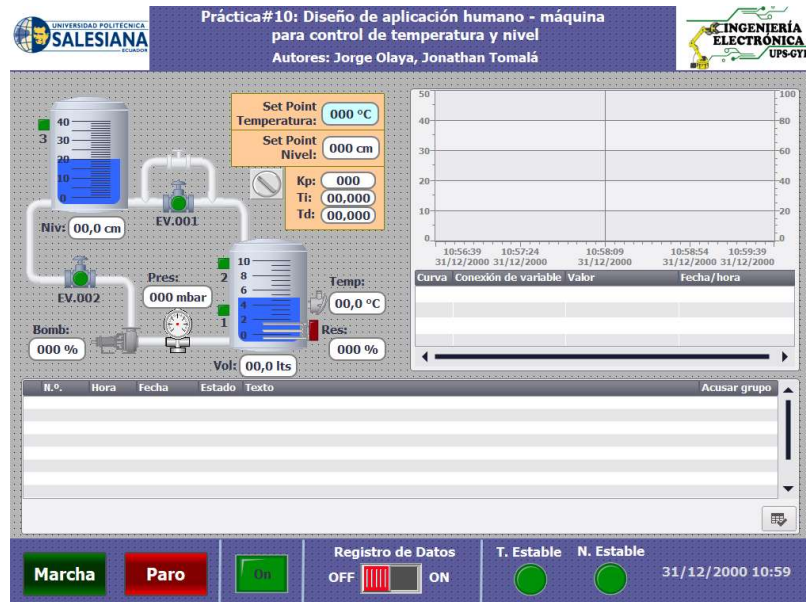


Figura 329. Interfaz HMI, practica 10

3. Se configuran los elementos de control y visualización manteniendo relación con las variables del PLC.



4. Configuración de pulsador de marcha.



Figura 330. Propiedades pulsador de marcha, practica 10

5. Configuración de pulsador de paro.



Figura 331. Propiedades pulsador paro, practica 10

6. Configuración de indicador de encendido.

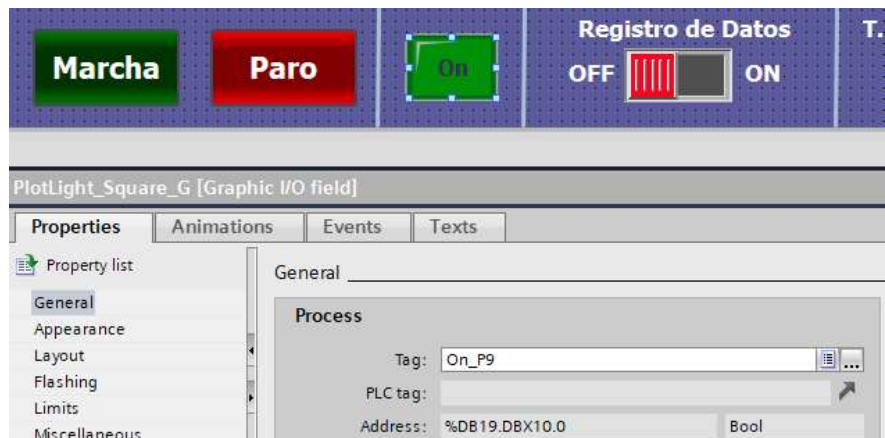


Figura 332. Propiedades indicador encendido, practica 10

7. Configuración de interruptor para registro de datos.

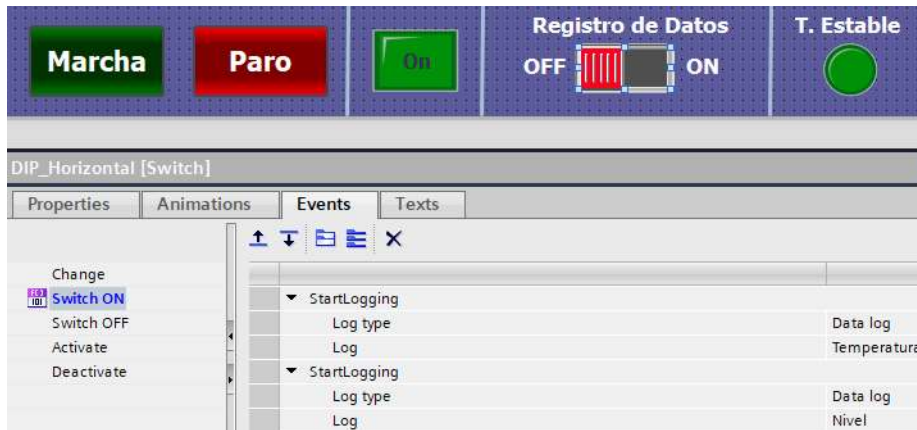


Figura 333. Propiedades switch on, practica 10



Figura 334. Propiedades switch off, practica 10

8. Configuración de indicador de temperatura estable.



Figura 335. Propiedades indicador de temperatura estable, practica 10



## 9. Configuración de indicador de nivel estable.



Figura 336. Propiedades indicador de nivel estable, practica 10

## 10. Configuración de visualizador de curvas

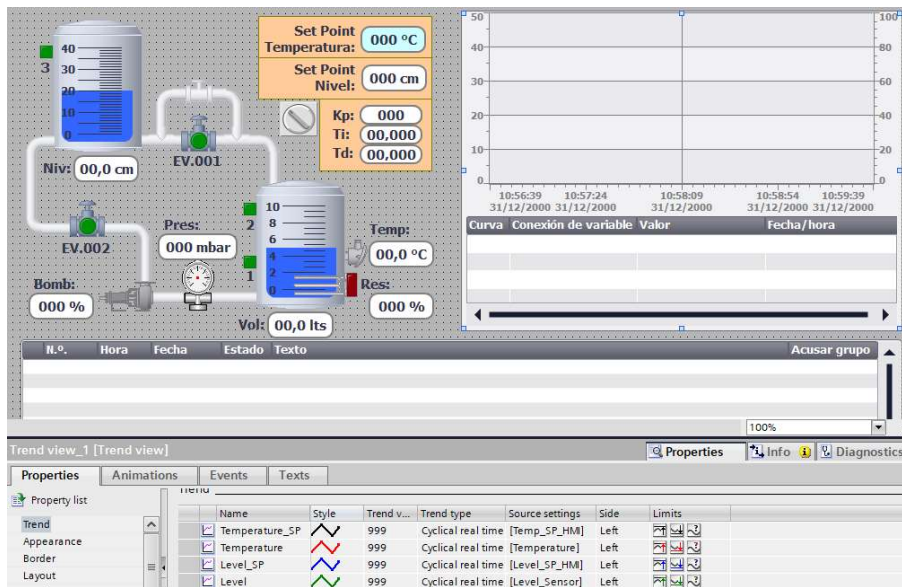


Figura 337. Visualizador de curvas, practica 10

## 11. Configuración de variables de nivel para registrar en el computador.

Data logs											
Name	Storage location	Data records per log	Path	Data so...	Name ...	Logging method	Numb...	Fill level	Enable log...	Log handling at restart	Comment
Nivel	TXT file (Uni...	100000	C:\...	User-def...		Segmented circular...	100	90	<input type="checkbox"/>	Append data to existin...	
Temperatura	TXT file (Unicode)	100000	C:\Logs	User-def...		Segmented circular log	100	90	<input type="checkbox"/>	Append data to existing log	
<Add new>											
Logging tags											
Name	Process tag	Acquisition mode	Logging cycle	High limit	Low limit	Range for logging limits	Comment				
Level	Level_Sensor	On demand				Within deadband					
Level_SP	Level_SP_HM	On demand				Within deadband					

Figura 338. Variables de nivel para registro en computador, practica 10

## 12. Configuración de variables de temperatura para registrar en el computador.

Data logs											
Name	Storage location	Data records per log	Path	Data so...	Name	Logging method	Numb...	Fill level	Enable log...	Log handling at restart	Comment
Nivel	TXT file (Unicode)	100000	C:\Logs	User-def...		Segmented circular log	100	90	<input type="checkbox"/>	Append data to existing log	
Temperature	TXT file (Uni...	100000	C:\...	User-def...		Segmented circular ..	100	90	<input type="checkbox"/>	Append data to existin...	
<Add new>											

Logging tags							
Name	Process tag	Acquisition mode	Logging cycle	High limit	Low limit	Range for logging limits	Comment
Temperature	Temperature	On change				Within deadband	
Temperature_SP	Temp_SP_HMI	On change				Within deadband	

Figura 339. Variables de temperatura para registro en computador, practica 10

## 13. Configuración de alarmas de bit.

Discrete alarms							
ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigger bit	Trigger address	HMI acknowl...
1	Discrete_alarm_1	El nivel del tanque#2 es excesiv	Errors	Warning_Inputs	11	%DB19.DBX0.3	<No tag>
2	Discrete_alarm_2	El sistema está encendido.	Warnings	Warning_Outputs	8	%DB19.DBX10.0	<No tag>

Figura 340. Variables de alarmas para registro en computador, practica 10

## 14. Configuración de alarmas analógicas.

Analog alarms							
ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Limit	Limit mode	
1	Analog_alarm_1	La bomba se encuentra encendida.	Warnings	Pump_P6	0	Higher	
2	Analog_alarm_2	Precaución: El calefactor se encuentra activado.	Warnings	Duty_Heater	0	Higher	
3	Analog_alarm_3	La temperatura se encuentra entre el +/-2% del valor deseado.	Warnings	Temperature	Temp_SP_HMI	Higher	
4	Analog_alarm_4	El nivel del tanque#2 se encuentra entre el +/-2% del valor deseado	Warnings	Level_Sensoi	Level_SP_HMI	Higher	

Figura 341. Variables para configurar alarmas analógicas, practica 10

## 15. Se hace la carga del programa y pruebas respectivas en el módulo didáctico.

### Anexo 21. Diagrama de conexión para el armario “Planta para control de nivel”

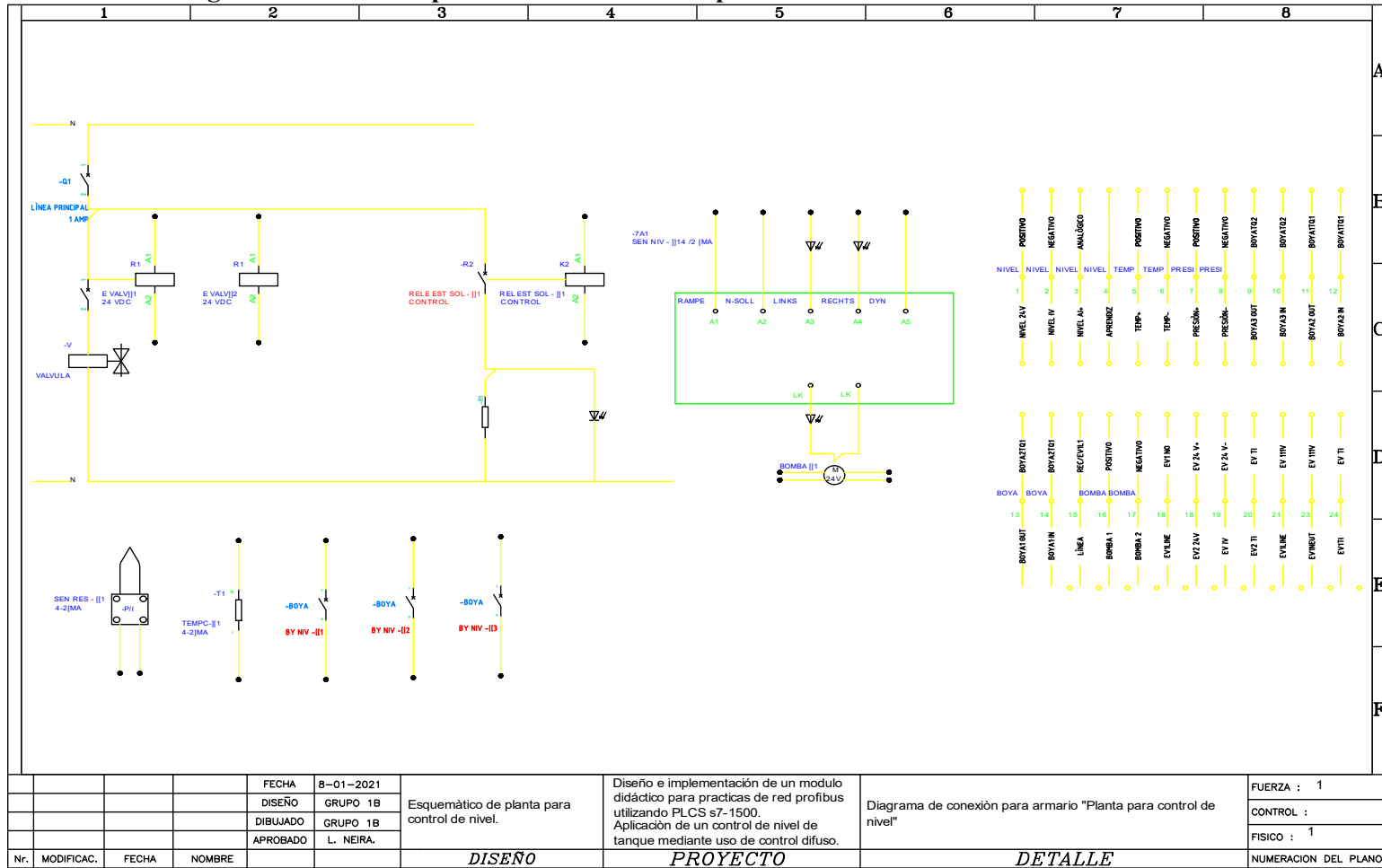


Figura 342. Diagrama de conexión para armario “Planta de control de nivel”