

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN,
CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA) A TRAVÉS DE
INTERFAZ HMI Y PLC PARA LA PLANTA DE NIVEL T552 EN EL
LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS DE LA
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA.**



**YEINSON ALBEIRO MONCADA RAMÍREZ
JOSÉ LELIS TROCHEZ CHAGÜENDO**

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
POPAYÁN, CAUCA
2017**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN,
CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA) A TRAVÉS DE
INTERFAZ HMI Y PLC PARA LA PLANTA DE NIVEL T5552 EN EL
LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS DE LA
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA.**



**YEINSON ALBEIRO MONCADA RAMÍREZ
JOSÉ LELIS TROCHEZ CHAGÜENDO**

Trabajo de grado para obtener el título de *ingeniero electrónico*

Director
Ingeniero GEOVANY ALBERTO CATAMUSCAY.

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
POPAYÁN, CAUCA
2017**

Nota de aceptación

*En cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios
se declara APROBADO el siguiente trabajo de grado.*

Ingeniero. Geovany Alberto Catamusca

Director

Ingeniero. Juan Pablo Diago

Jurado

Ingeniero. John Robert Muñoz

Jurado

Popayán, Noviembre 2017.

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado principalmente a Dios por brindarme la oportunidad de vivir esta experiencia universitaria que me ha llevado a culminar con el título de ingeniero electrónico, a mi perseverancia e interés de salir triunfante y a mi familia por ser mi apoyo y motivación.

Y. Moncada

Este trabajo está dedicado a mis padres y hermanos quienes han sido una fuente de inspiración para la realización de mis metas.

J. Trochez

Agradecimientos

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a mi esposa Janeth y a mi hijo Sebastián, por ser las personas que siempre estuvieron dándome la fuerza emocional y el ánimo para no desistir de mi objetivo planteado, son ellos quienes padecieron los sacrificios de no pasar tiempos juntos y ratos de distracción, pero que hoy satisface el vislumbrar más cerca alcanzar un nuevo triunfo como ingeniero electrónico; igualmente agradezco a los docentes quienes siempre me brindaron sus conocimientos, sus experiencias y a la vez que encontré en ellos personas idóneas para ayudarme a formar como un profesional.

Y. Moncada

Agradezco a mis padres y hermana por su apoyo e impulso para terminar mi carrera de ingeniería electrónica, a la facultad de ingeniería por poner a disposición sus equipos para la realización de este trabajo y al ingeniero Geovanny Catamusca quien dirigió y apoyo en la elaboración de este proyecto.

J. Trochez

Índice general

RESUMEN	22
INTRODUCCIÓN.	23
1. PROBLEMA.	24
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.2. JUSTIFICACIÓN	25
1.3. OBJETIVO GENERAL	25
1.3.1. Objetivos Específicos	26
1.4. ENFOQUE METODOLÓGICO	26
2. CONTEXTO GENERAL	27
2.1. TRABAJOS RELACIONADOS	27
2.2. MARCO REFERENCIAL	28
2.3. MARCO CONCEPTUAL	29
2.3.1. Sistemas de control	29
2.3.2. Tipos de sistema de control	31
2.3.3. Controlador Proporcional - Integral - Derivativo (PID)	31
2.3.4. Métodos basados en la curva de reacción del proceso	32
2.3.5. Métodos que utilizan la recta tangente	33

2.3.6. Método de dos puntos generalizado	35
2.3.7. Respuesta de razón de asentamiento de un cuarto	37
2.3.8. Criterio de error de integración mínimo	37
2.4. NORMA ISA S5.1	39
2.4.1. Simbología de la norma ISA S5.1	39
2.4.2. Identificación del instrumento	42
2.5. CONTROLADOR AUTOMÁTICO PROGRAMABLE	42
2.5.1. Lenguajes de programación	43
2.5.2. Protocolos de comunicación industrial	43
2.6. AUTOMATIZACIÓN	44
2.6.1. Sistemas distribuidos	45
2.7. SISTEMA SCADA y HMI	46
2.7.1. Principales características de un sistema SCADA	46
2.7.2. Estructura y módulos de un sistema SCADA	47
2.8. PLANTA DE FLUJO Y NIVEL T-5552 AMATROL	47
2.9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	47
2.9.1. Lazo de control de nivel	48
2.9.2. Lazo de control de flujo	49
2.10. VARIABLES PRESENTES EN EL PROCESO DE LA PLANTA DE NIVEL T-5552 DE AMATROL	49
2.11. INSTRUMENTACIÓN PRESENTE EN LA PLANTA T-5552 DE AMATROL	50
2.11.1. Instrumentos presentes en el campo	50
2.11.2. Panel de control T5552	56
2.12. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA T-5552 DE AMATROL	62
2.13. DIAGRAMA P&ID PLANTA T-5552 DE AMATROL	62
2.14. EQUIPOS Y MÓDULOS	64

3. DESARROLLO DEL PROYECTO	65
3.1. MÓDULO SOFTWARE	65
3.1.1. Aplicativo desarrollo Unity Pro	65
3.1.2. Aplicativo desarrollo Vijeo Designer	74
3.1.3. Aplicativo desarrollo Vijeo Citect	83
3.2. MÓDULO DE ELECTRÓNICA	90
3.2.1. Comunicación	94
3.3. MÓDULO MECÁNICO Y DISEÑO DEL CAJÓN	94
4. RESULTADOS	98
4.1. Control ON/OFF con Interruptor LS2	99
4.2. Control ON/OFF con rango variable haciendo uso de los Interruptores LS1-LS2	100
4.3. Control ON/OFF de nivel fijo usando con sensor LT2 ultrasónico.	102
4.4. Control ON/OFF con rango de nivel usando sensor ultrasónico LT2	103
4.5. Sintonización del control PID	104
4.5.1. Curva de reacción	104
4.5.2. Cálculos para obtener los modelos de primer orden más tiempo muerto por el método de dos puntos	107
4.5.3. Ganancias del controlador PID, por el método respuesta de razón de asentamiento de un cuarto de Ziegler y Nichols	109
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES y TRABAJOS FUTUROS	114
5.1. Conclusiones	114
5.2. Recomendaciones	115
5.3. Trabajos futuros	115
PRÁCTICA 1	116

PRÁCTICA 2	119
PRÁCTICA 3	125
PRÁCTICA 4	131
ANEXO 1: Manual de Usuario	138
ANEXO 2: Unity Pro	178
ANEXO 3: Vijeo Designer	185
ANEXO 4: Vijeo Citect	191

Índice de tablas

2.1. Constantes para los modelos de primer orden más tiempo muerto	36
2.2. Constantes para los modelos de polo doble mas tiempo muerto	37
2.3. Ecuaciones para el cálculo de las constantes Kc, Ti y Td	37
2.4. Ecuaciones para integración mínima con perturbaciones de entrada	38
2.5. Cuadro comparativo	42
2.6. Lenguajes de programación (PLCs) más comunes	43
2.7. Equipos y módulos	64
3.1. Declaración de Variables.	68
3.2. Entradas bloque controlador PID	72
3.3. Parámetros del controlador PID	73
4.1. Datos obtenidos por el método de dos puntos.	108
5.1. Convertidor de corriente I/P Vs. Flujo	129
5.2. Características del procesador BMX P34 2020	139
5.3. Características de la memoria del procesador BMX P34 xxxx	139
5.4. Características principales de las tarjetas de memoria	141
5.5. Estados del indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria	142
5.6. Significado de los indicadores LED del panel frontal	144
5.7. Significado de los indicadores LED para V1	145

5.8. Significado de los indicadores LED para V2	145
5.9. Componentes de un módulo de alimentación	147
5.10. Indicadores LED del módulo de alimentación y sus funciones	148
5.11. Relé de alarma de los módulos de alimentación	149
5.12. Potencia utilizable del módulo de alimentación BMX CPS 2000	149
5.13. Valoración de consumo de alimentación del módulo	150
5.14. Características del módulo de alimentación BMX CPS 2000	151
5.15. Características generales de entrada	152
5.16. Fusibles de entrada del módulo BMX DDM 16025	153
5.17. Características generales de salida	153
5.18. Fusibles de salida del módulo BMX DDM 16025	154
5.19. Características de entrada del módulo BMX AMM 0600	156
5.20. Características de rango de medición de entrada	157
5.21. Características generales de salida del módulo BMX AMM 0600	157
5.22. Características del rango de tensión del módulo BMX AMM 0600	157
5.23. Características del rango de corriente del módulo BMX AMM 0600	158
5.24. Descripción de La ilustración del módulo BMX AMM 0600	160
5.25. Valores de tiempo de ciclo del módulo BMX AMM 0600	160
5.26. Descripción de las funciones de entrada	161
5.27. Límites de los valores umbrales	162
5.28. Visualización normalizada de las mediciones	162
5.29. Ciclo de configuración de filtrado	163
5.30. Descripción de las áreas del rango de medición	165
5.31. Valores de desborde para los diversos rangos	165
5.32. Distintos comportamientos de las salida	165

5.33.Descripción del bastidor BMX XBP 0600	169
5.34.Especificaciones estructurales de HMIGTO3510	170
5.35.Especificaciones eléctricas de HMIGTO3510	170
5.36.Especificaciones ambientales de HMIGTO3510	171
5.37.Especificaciones de la pantalla HMIGTO3510	172
5.38.Memoria de HMIGTO3510	173
5.39.Reloj de HMIGTO3510	173
5.40.Panel táctil de HMIGTO3510	173
5.41.Interfaz en serie COM1	174
5.42.Interfaz en serie COM2	174
5.43.Interfaz USB	174
5.44.Interfaz Ethernet	174

Índice de figuras

2.1. Diagrama de un sistema	29
2.2. Lazo Abierto.	30
2.3. Lazo Cerrado.	30
2.4. Curva de reacción del proceso	33
2.5. Método de la tangente de Ziegler y Nichols	34
2.6. Método de la tangente modificado de Miller	35
2.7. Método de dos puntos generalizado	36
2.8. Representación de líneas	39
2.9. Representación de Instrumentos	40
2.10. Símbolos generales de funciones o de instrumentos	40
2.11. Cuerpos de Válvulas	41
2.12. Actuadores	41
2.13. Pirámide de Automatización	45
2.14. Planta de flujo y nivel T-5552 de AMATROL	48
2.15. Lazo de nivel.	49
2.16. Lazo de flujo.	49
2.17. Transmisor Indicador de Flujo FIT 101.	50
2.18. Sensor Ultrasónico LET 200-B.	51
2.19. Válvula Solenoide SV 100-A.	51

2.20. Válvula Manual HV 100-B.	51
2.21. Indicador de Presión PI 100-B.	52
2.22. Válvula Neumática de Control de Flujo FCV 100.	52
2.23. Placa de Orificio EF 100.	53
2.24. Rotámetro FI 100.	53
2.25. Sensor Transmisor de Nivel LET 200-A.	53
2.26. Sensor de Flujo FE 100.	54
2.27. Controlador de Presión PC 100.	54
2.28. Convertidor I / P.	55
2.29. Switch de Nivel LSH 200-B.	55
2.30. Tanque de Nivel.	55
2.31. Tanque Reservorio.	56
2.32. Bomba.	56
2.33. Tablero de control T5552.	57
2.34. Flow sensors.	57
2.35. Módulo PID.	58
2.36. Módulo transmisor de flujo.	58
2.37. Discrete I/O.	59
2.38. Process meter.	59
2.39. DC power supply.	60
2.40. Flow valve FV1.	60
2.41. Level sensors.	60
2.42. Process meter.	61
2.43. Alarm horn.	61
2.44. Circ. pump P1.	61

2.45. Diagrama de flujo planta T5552.	62
2.46. Diagrama PδID de la planta T-5552.	63
3.1. Diagrama de flujo de proyecto.	66
3.2. Características del hardware del PLC.	67
3.3. Control on-off mediante Switch's.	69
3.4. Control on-off mediante sensor ultrasónico.	70
3.5. Controlador PID.	71
3.6. Bloque PID.	72
3.7. Escalización a 25cm ³	73
3.8. Pantalla de Inicio.	74
3.9. Pantalla de la planta.	75
3.10. Pantalla de Alarmas.	76
3.11. Pantalla de Tendencias.	77
3.12. Pantalla de Control ON/OFF LS1-LS2.	78
3.13. Pantalla de Control ON/OFF con sensor Ultrasónico.	78
3.14. Pantalla de control PID.	79
3.15. Pantalla gráfica del controlador PID.	80
3.16. Pantalla de Entradas y Salidas.	80
3.17. Pantalla de históricos.	81
3.18. Configuración de las teclas de la pantalla.	81
3.19. Menú de teclas.	82
3.20. Pantalla mímico de la planta T 5552.	82
3.21. Pantalla de Inicio.	83
3.22. Pantalla mímico de la planta T 5552.	84
3.23. Pantalla de Alarmas.	84

3.24. Pantalla de Entradas y Salidas.	85
3.25. Pantalla de Tendencias.	85
3.26. Pantalla de Históricos.	86
3.27. Pantalla de Control ON/OFF con Interruptores.	87
3.28. Pantalla de Control ON/OFF con sensor Ultrasónico.	87
3.29. Pantalla de control PID.	88
3.30. Pantalla de la Planta.	89
3.31. Conexión PLC DISCRETE I/O FEMALE PLUG.	90
3.32. Conexión MALE PLUG a módulo BMX DDM 16025.	91
3.33. Conexión PAC ANALOG I/O al FEMALE PLUG.	92
3.34. Conexión MALE PLUG a módulo BMX AMM 0600.	92
3.35. Diagrama de conexiones en la planta T 5552.	93
3.36. Comunicación entre los diferentes equipos.	94
3.37. Dimensiones del cajón.	95
3.38. Perforaciones realizadas.	95
3.39. Parte frontal del cajón.	96
3.40. Estructura.	96
3.41. Ubicación de los equipos dentro del cajón.	97
4.1. Sistema SCADA.	98
4.2. Resultados control ON/OFF nivel fijo con interruptor LS2.	99
4.3. I/O activas en control ON/OFF nivel fijo con interruptor LS2.	100
4.4. Control ON/OFF rango variable con LS1-LS2.	101
4.5. I/O activas en control ON/OFF rango variable con LS1-LS2.	101
4.6. Control ON/OFF nivel fijo con sensor ultrasónico LT2.	102
4.7. I/O activas durante control ON/OFF nivel fijo con sensor ultrasónico LT2.	103

4.8. Control ON/OFF rango de nivel con sensor ultrasónico LT2.	104
4.9. Curva de reacción.	105
4.10. Datos de históricos en Excel.	106
4.11. Curva de reacción en Matlab.	106
4.12. Curva de nivel del proceso de la planta de flujo y nivel T-5552.	107
4.13. Comparación métodos de dos puntos vs curva real.	108
4.14. Modelo de Alfaro vs curva real.	109
4.15. Esquema de control en Simulink de Matlab de planta T-5552.	110
4.16. Seguimiento de consigna del controlador PID.	110
4.17. Esquema de control en Simulink de planta T-5552 con disturbio.	111
4.18. Seguimiento de consigna del controlador PID con disturbio.	111
4.19. Ingreso de constantes al controlador del sistema SCADA.	112
4.20. Resultado del controlador PID en la planta T-5552.	112
4.21. Entradas, comandos, salidas y errores en las lecturas análogas durante la ejecución del controlador PID.	113
5.1. Diagrama de conexiones en la planta T 5552.	121
5.2. Conexiones al PAC.	121
5.3. Configuración de los niveles para los flotadores.	122
5.4. Niveles de los interruptores.	122
5.5. Seguro de la Planta T-5552.	123
5.6. Pantalla de Control ON/OFF LS1-LS2.	123
5.7. Control ON/OFF LS1-LS2.	124
5.8. Conexiones SCADA.	127
5.9. Conexiones al PAC.	127
5.10. Seguro de la Planta T-5552.	128

5.11. Encendido de la bomba.	128
5.12. Porcentaje de apertura a la válvula de control proporcional.	129
5.13. Diagrama de conexiones en la planta T 5552.	133
5.14. Conexiones al PAC.	133
5.15. Seguro de la Planta T-5552.	134
5.16. Pantalla de Históricos.	134
5.17. Pasos para el ingreso de variables a la pantalla de históricos.	135
5.18. Porcentaje de apertura del 40 %.	135
5.19. Extraer datos del sistema SCADA a un archivo Excel.	136
5.20. Código en Matlab para extraer datos de Exce.	137
5.21. Indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria	141
5.22. Indicadores LED en el panel frontal del procesador BMX P34 xxxx	143
5.23. Indicadores LED de diagnóstico del procesador BMX P34 2020	143
5.24. Módulo de alimentación BMX CPS ****	146
5.25. componentes de un módulo de alimentación BMX P34 ****	146
5.26. Conexión de un módulo BMX CPS 2000 a la red de corriente alterna	147
5.27. Relé de alarma del módulo de alimentación	148
5.28. Circuito de entrada de corriente directa	154
5.29. Circuito de salida de relé	154
5.30. Conexión del módulo a los sensores y preactuadores	155
5.31. Módulo de entradas y salidas analógicas BMX AMM 0600	156
5.32. Ilustración del módulo BMX AMM 0600	159
5.33. Control de desborde/transgresión por debajo de rango	161
5.34. Líneas de conversión	163
5.35. Áreas del rango de medición	164

5.36.Líneas de conversión del actuador	166
5.37.Esquema de cableado	167
5.38.Bastidor BMX XBP 0600	168
5.39.Dimensiones globales (mm/pulgada) del bastidor BMX XBP 0600	169
5.40.Dimensiones exteriores: HMIGTO3510	175
5.41.Instalación con los elementos de fijación: HMIGTO3510	175
5.42.Instalación con los elementos de fijación: HMIGTO3510	176
5.43.Programa Unity Pro XL.	178
5.44.Nuevo proyecto.	178
5.45.Tipo de PLC.	179
5.46.Selección de Bus PLC.	179
5.47.Bus PLC.	179
5.48.Insertar otros módulos.	180
5.49.Módulo binario BMX DDM 16025 y analógico BMX AMM 600.	180
5.50.Entradas y salidas de los módulos.	180
5.51.Variables.	181
5.52.Comunicación.	181
5.53.CPU y dirección IP.	181
5.54.Salida Ethernet.	182
5.55.Lenguaje de programación.	182
5.56.Panel de programación.	183
5.57.Generación del proyecto.	183
5.58.Guardar el proyecto.	183
5.59.Cargar el programa al PLC.	184
5.60.Crear un proyecto en Vijeo Designer.	185

5.61. Comunicación con la terminal.	186
5.62. Interfaz de usuario.	186
5.63. Comunicación con el PLC.	187
5.64. Variables.	187
5.65. Nuevo panel.	188
5.66. Inspector de propiedades.	188
5.67. Ubicación de un interruptor y un piloto en el panel.	189
5.68. Vinculación de imágenes a variables del PLC.	189
5.69. Prueba en estado inactivo.	190
5.70. Prueba en estado activo.	190
5.71. Programa Vigeo Citect.	191
5.72. Explorador de Citect.	191
5.73. Editor Gráfico de Citect.	192
5.74. Editor de proyectos de Citect.	192
5.75. Creación del proyecto.	193
5.76. carpeta que contiene el proyecto.	193
5.77. Creación del Clusters.	193
5.78. servidor de entradas y salidas.	194
5.79. Configuración rápida de E/S.	194
5.80. Configuración del servidor de entradas y salidas.	195
5.81. Creación de la página.	195
5.82. Pantallas en el Editor gráfico.	195
5.83. Pantalla para realizar el sistema SCADA.	196
5.84. Creación del equipo.	196
5.85. Tags de variable.	197

5.86. Asociar imágenes a variables del PLC.	197
5.87. Guardar Pantalla.	197
5.88. Marca “ent” en estado OFF.	198
5.89. Activación de las salidas del PLC a través del sistema SCADA.	198

RESUMEN

El siguiente documento muestra el desarrollo e implementación de un sistema SCADA con pantalla HMI para el control, supervisión y adquisición de datos de la planta de nivel T 5552 de Amatrol.

Para el desarrollo del sistema SCADA se hizo uso de un PLC Modicon M340 de la empresa Schneider Electric, el cual fue programado en el software Unity Pro XL en el lenguaje de diagrama de contactos (LD). Para la programación de la interfaz gráfica en PC se hizo uso del software Vijeo Citect, donde se desarrollaron varias pantallas las cuales permiten controlar, supervisar y adquirir datos de la planta. Por otro lado la pantalla HMI que se utilizó fue la HMIGTO3510 de la empresa Schneider Electric, la cual se programó en el software Vijeo Designer, asignándole los mismos privilegios que en la interfaz en PC.

La comunicación entre los diferentes equipos fue realizada por medio de un SWITCH haciendo uso del protocolo de comunicación Ethernet.

Palabras claves: Planta de nivel T 5552 de Amatrol, SCADA, HMI, control, supervisión, adquisición de datos.

ABSTRACT

The following document shows the development and implementation of a SCADA system with HMI screen, for the control, supervision and acquisition of data of T 5552 plant of Amatrol.

For the development of the SCADA system, the by used a PLC Modicon M340 of the was company Schneider Electric, which was programmed the Unity Pro software, in the language of contact diagram (LD). For the programming of the graphical interface in PC, Vijeo Citect software was used, where several screens were developed, which allow controlling, monitoring and acquiring data of the plant. On the other hand the HMI screen that was used was the HMIGTO3510 of the company Schneider Electric, which was programmed in the Vijeo Designer software, assigning it the same privileges as in the interface in PC.

The communication between the different equipment was carried out by means of the protocol of communication Ethernet, making use of one SWITCH.

Key words: Level 5552 plant of Amatrol, SCADA, HMI, control, supervision, data acquisition.

INTRODUCCIÓN

La Corporación Universitaria Autónoma del Cauca oferta a la comunidad estudiantil el programa de ingeniería electrónica, que cuenta con un laboratorio de control de procesos, el cual está dotado de diferentes plantas. Este trabajo tiene como estudio la planta de flujo y nivel T-5552 de AMATROL, la cual cuenta con múltiples instrumentos de control y medición, además permite la incorporación de equipos adicionales para su control y supervisión.

A principios del 2017 la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca adquirió PLC's y pantallas HMI de la empresa Schneider Electric. Estos equipos junto con un PC, permitieron la realización de un sistema SCADA para el control, supervisión y adquisición de datos la planta de nivel T 5552 de Amatrol.

Este trabajo de grado se realiza con el propósito de crear un ambiente pedagógico amigable, en el cual los estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca puedan realizar prácticas de control, supervisión y adquisición de datos mediante un sistema SCADA, que los acerquen a entornos y/o aplicaciones reales, además del escalonamiento que se tiene en la pirámide de automatización.

Capítulo 1

PROBLEMA.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Corporación Universitaria Autónoma del Cauca oferta a la comunidad estudiantil del departamento del Cauca y sus alrededores, el programa de ingeniería electrónica, que cuenta con un laboratorio de control de procesos para el desarrollo de diferentes prácticas académicas, las cuales involucran múltiples variables como nivel, flujo, temperatura, presión, además de contar con un sistema de bombas a ser controladas en diversas configuraciones.

Esto permite dar un perfil a los estudiantes, buscando que los ingenieros electrónicos de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, desarrollen competencias, habilidades y destrezas que le permitan dar solución a problemáticas reales que requieran la electrónica en aplicaciones relacionadas con el control e instrumentación industrial.

La evolución, el desarrollo, las transformaciones estructurales y dinámicas de la industria trae cambios en los procesos de producción, así como también cambios en el sistema de supervisión y de control, que cada vez deben ser más sofisticados y accesibles al usuario [1]. Para ello los sistemas de automatización se desarrollan en distintos niveles de la pirámide de automatización, desde los cuales se tiene la capacidad para supervisar y monitorizar los procesos con independencia, además de acceder a los datos o flujo de información en todo momento [2].

Por tanto, esta propuesta se encamina al diseño e implementación de un sistema SCADA en una interfaz hombre maquina (HMI) en comunicación con un controlador automático programable (PAC) para la planta T5552, que permita alcanzar aprendizajes en torno al funcionamiento con equipamiento de uso industrial en la disciplina o materia del currículum de Sistemas SCADA, a través de prácticas que acerquen a los estudiantes a entornos y/o aplicaciones reales. De esta manera este proyecto pretende disminuir las barreras presentes en el ámbito teórico académico vs aplicaciones industriales, además

de escalonar en la pirámide de automatización; por lo tanto se formula la siguiente pregunta de investigación ¿cómo diseñar e implementar un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) a través de interfaz HMI y PLC para la planta de nivel T5552 en el laboratorio de control de procesos de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El perfil profesional de un egresado de ingeniería electrónica de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, lo caracteriza a ser productivo y audaz en el campo industrial, toda vez que su formación académica le ha brindado la oportunidad de interactuar de forma práctica con plantas de control muy cercanas a las reales en la industria.

La existencia de un sistema SCADA en el laboratorio de control le permite al docente enseñar a sus alumnos de manera práctica abordar temas de control automático industrial, beneficiando académicamente al estudiante ya que sus conocimientos serán mucho más aterrizados a la realidad que se enfrentará como profesional.

El actual proceso de enseñanza-aprendizaje impartido en algunas materias del pensum académico de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, está basado en un modelo donde el profesor es el actor principal y el alumno es un receptor pasivo. Este modelo con una metodología expositiva fomenta la adquisición de conocimiento especialmente de memoria y comprensión, debido a la escasa participación del alumno en su proceso de aprendizaje. Por ello es necesario establecer una nueva metodología en la que el alumno participe activamente en su proceso de aprendizaje, y además de los conocimientos específicos de la materia, adquiera otra serie de competencias que le preparen para el aprendizaje a lo largo de la vida profesional [3].

Consecuente a lo anterior con esta propuesta se mejora el funcionamiento de la planta T5552 al supervisar el control de nivel y registros de eventos [4]; puesto que este proyecto pretende brindar a los alumnos un espacio académico, que por medio de prácticas de laboratorio, diseñe un sistema real donde pueda supervisar desde un panel de Control, con el empleo de una pantalla HMI y de esta manera puedan visualizar, comandar, registrar los históricos de la planta.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Diseño e implementación de un sistema SCADA en pantalla HMI y modo RunTime para la planta de nivel Amatrol T5552 del laboratorio de control de procesos de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

1.3.1. Objetivos Específicos

Se plantean los siguientes objetivos específicos con el fin de contribuir a alcanzar el objetivo principal, así:

- Diseño e implementación de un algoritmo de control por medio de un PLC, aplicado a la variable de nivel y flujo de la planta T5552.
- Diseño y desarrollo de un sistema en modo runtime y SCADA por pantalla HMI para la planta de nivel Amatrol T5552 del laboratorio de control de procesos.
- Desarrollar 04 prácticas de laboratorio en la planta de nivel Amatrol T5552 del laboratorio de control de procesos.
- Validación por medio de pruebas del funcionamiento bajo el protocolo de comunicación Ethernet industrial del sistema SCADA.

1.4. ENFOQUE METODOLÓGICO

El desarrollo de la investigación se basa en una adaptación de las herramientas metodológicas descritas en el Modelo Integral para un Profesional en Ingeniería [5] donde se define un conjunto de fases iterativas e incrementales orientadas al cumplimiento de los objetivos propuestos.

El enfoque metodológico permite estructurar cada componente temático y estos a su vez los objetivos específicos planteados a través de la ejecución de actividades de adquisición, profundización y creación de conocimiento.

Para el proyecto se han definido los siguientes componentes temáticos:

- Componente Diseño: Componente enfocado en los tipos de arquitecturas, normas y distribución aplicados a un sistema SCADA bajo parámetros industriales.
- Componente Control: Componente centrado en la validación de las variables propuestas, por medio de un algoritmo de control.
- Componente Instrumentación: Componente encargado de definir los elementos y variables según las especificaciones de la planta Amatrol T5552.

Capítulo 2

CONTEXTO GENERAL

2.1. TRABAJOS RELACIONADOS

Los trabajos relacionados para el desarrollo de este documento se citan a continuación:

- En [6] se presenta el diseño e implementación de una plataforma de control para proceso Batch en las plantas de nivel, temperatura y pH de la marca AMATROL. Donde realizan control por medio de los PLC S7-300, y con ayuda del software TIA portal 12 (Step7 y WINCC) verifican el histórico de las alarmas y un reporte que indica las recetas generadas con el PLC Siemens (SIMATIC CPU 313C) en el tablero de control, en el PC con visualización en 42", y en la interfaz hombre máquina HMI.
- En [7] realiza un estudio de los sistemas SCADA, posteriormente diseña un sistema HMI en PC para monitorear, controlar y adquirir datos de los módulos de nivel, caudal y temperatura.
- En [8] se examinan los múltiples enfoques para el diseño de un sistema de supervisión de procesos, analizando los conceptos y definiendo la terminología adecuada de este, además de las funciones básicas que lo conforman.
- En [9] se presenta la aplicación de un sistema SCADA para controlar la temperatura del agua en un intercambiador de calor, haciendo uso de un PLC para ejercer dominio del proceso desde un lugar remoto por medio de una red LAN.
- En [10] se presenta el prototipo de un sistema SCADA desarrollado en Labview con protocolo de comunicación inalámbrica ZigBee, para el control y supervisión del proceso de Coagulación y Floculación de una planta de tratamiento de agua potable.

- En [11] se describe de manera general los sistemas SCADA, sus características, prestaciones y requisitos, enfocándose en la importancia de estos en la automatización de los procesos de manufactura. Además presenta dos ejemplos de industrias que han obtenido resultados óptimos en su producción después de la aplicación de estos sistemas.
- En [12] se presenta un prototipo de sistema SCADA especializado en la gestión de edificios que permita mejorar y unificar la supervisión y monitoreo de las diversas infraestructuras del Data Center como son: el suministro eléctrico, climatización, protección contra incendios, seguridad, centros técnicos, etc.
- En [13] muestra el desarrollo de un prototipo de un sistema SCADA en Labview haciendo uso de una tarjeta Arduino con un módulo XBEE para tomar lectura de los sensores y así conocer el estado del proceso para tomar decisiones según sea el estado de este.
- En [14] mediante equipo técnico de automatización se diseñó e implemento un banco de pruebas que permitió el monitoreo y control de descarga de agua potable en un pozo mediante una interfaz gráfica. Como dispositivo de control se hizo uso de un PLC el cual fue programado en LADDER y que se interconecta con la HMI.
- En [15] valida los resultados del desarrollo de un sistema SCADA que interconecta 8 módulos de electrónica de potencia los cuales tienen funciones de control de máquinas eléctricas rotativas y conversión de energía, comparándolos con los obtenidos a través de un osciloscopio digital.
- En [16] se enseña las etapas que actúan en el diseño de un sistema SCADA, analizando y especificando los requerimientos de este orientados a todo tipo de empresas del sector industrial.

2.2. MARCO REFERENCIAL

El desarrollo del proyecto aborda temas específicos con el fin de profundizar en el conocimiento de los sistemas SCADA para la supervisión del proceso y la interacción con pantalla HMI [17].

Actualmente existe una fuerte tendencia hacia la integración de la electrónica con los mecanismos automáticos que funcionan en los procesos industriales, es así como con la ayuda de los computadores y de la microelectrónica en el campo de la automatización industrial; se logra un mejor y eficiente manejo de la información, debido a que integra las redes de comunicación y se consigue transportar toda la información necesaria del proceso industrial de manera ágil y detallada [18].

De esta manera, los ingenieros, supervisores u operadores pueden visualizar e interactuar con los procesos mediante representaciones gráficas de los mismos, con la posibilidad de variar los parámetros de la planta, del algoritmo de control o del sistema en general [9].

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Sistemas de control

El propósito de un sistema de control es obtener dominio sobre las variables de salida, mediante la manipulación de las variables de estado a través de la combinación de componentes físicos o abstractos que al relacionarse entre sí actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo de tal forma que se pueda alcanzar un valor prefijado o set point [19].

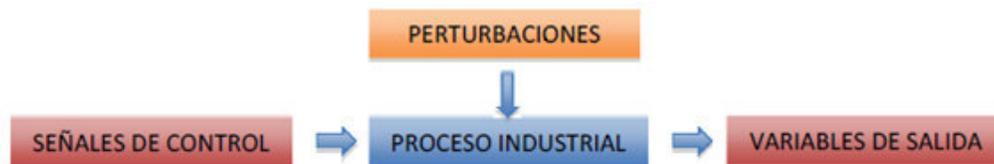


Figura 2.1: Diagrama de un sistema [20].

En la figura 2.1, se puede observar que en un proceso industrial intervienen señales de control, variables de salida y perturbaciones, las cuales van a ser descritas a continuación.

Señales de control: Aquellas acciones elaboradas por el sistema de control, o dadas por el operario, a través de las variables manipuladas [20].

Variables de salida: Llamadas también variables controladas, respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implica la entrada [19].

Perturbación: Es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema [19].

■ Componentes básicos de los sistemas de control.

Un sistema de control cuenta con cuatro componentes básicos los cuales son los sensores, los transmisores, los controladores y los elementos finales de control; los cuales se encargan de las operaciones básicas de todo sistema de control las cuales son: medición (M), decisión(D) y acción (A) [21].

- **Sensor:** es el encargado de la medición del sistema. En el sensor se produce un fenómeno que puede ser mecánico, eléctrico o algo similar el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide, este es conocido también como elemento primario [21].
- **Transmisor:** Estos son los encargados de convertir el fenómeno antes mencionado en una señal que se pueda transmitir es conocido como elemento secundario [21].
- **Controlador:** es el cerebro del sistema de control, es el encargado de tomar las decisiones en un proceso [21].
- **Elemento final de control:** es el encargado de mantener en los puntos de control las variables que se deben controlar [21].

Los cuatro componentes antes mencionados en conjunto forman un lazo o bucle que recibe el nombre de lazo de control. El lazo puede ser abierto figura 2.2 ó lazo cerrado figura 2.3.



Figura 2.2: Lazo Abierto. Fuente: Autor

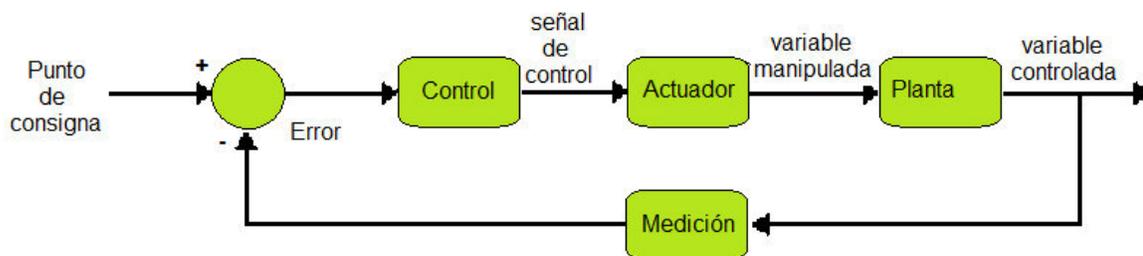


Figura 2.3: Lazo Cerrado. Fuente: Autor

2.3.2. Tipos de sistema de control

Existen diferentes tipos de sistemas de control los cuales pueden ser: control ON/OFF, Proporcional (P), Proporcional-Integrativo (PI), Proporcional-Integral-Derivativo (PID), Difuso, Neuronal, entre otros, que van a ser usados dependiendo de las características o necesidades que requiera cada proceso.

- **Control ON/OFF** también conocido como Todo o Nada, garantiza que el actuador del sistema permanezca en dos estados posibles, ya sea encendido o apagado. Este tipo de control es ampliamente utilizado tanto en procesos industriales como domésticos por su simplicidad y bajo costo de diseño [22], [23].
- **Control Proporcional (P)** en este la acción es ajustada a la diferencia entre la señal de referencia y la variable de proceso. Este trabaja como un amplificador del elemento de control antes de enviarla al sistema y tiene como función de transferencia una constante real denominada “Kp” que es la que determina el margen de amplificación [22], [23].
- **Controlador Proporcional - Integrativo (PI)** en este tipo de controlador intervienen dos tipos de reguladores uno de acción proporcional y otro integral complementándose entre sí; el proporcional actúa de manera inmediata, después de un tiempo entra a funcionar la parte integral que cumple con la función de disminuir o eliminar el error que se origina en estado estacionario [22], [23].

2.3.3. Controlador Proporcional - Integral - Derivativo (PID)

Su funcionamiento es por realimentación, este calcula el error que existe entre el valor medido y la señal de referencia, de tal forma que si el error captado cambia lentamente en el tiempo prevalecerá la acción proporcional-integral, por el contrario si la variación es rápida predominará la acción derivativa [22], [23].

Sintonización de controladores PID, mediante métodos experimentales.

Para sintonizar un controlador Proporcional - Integral - Derivativo (PID) de forma correcta, es necesario conocer la dinámica del proceso y de esta manera obtener los parámetros del controlador, los cuales van a variar dependiendo del método seleccionado [24].

“El desarrollo de los métodos de sintonización ha sido extenso desde que Ziegler y Nichols propusieron su procedimiento en 1942” [25].

1. **Método de lazo abierto:** Para este método se pone el controlador en modo manual. Originando un cambio escalón en la salida del controlador se conocerá la curva de reacción del proceso, que servirá para identificar el modelo, que por lo general es de primer orden más tiempo muerto [25].
2. **Método de lazo cerrado:** En este método el controlador debe estar en modo automático, luego se cambia el valor de consigna para obtener el comportamiento dinámico del sistema y poder identificar un modelo de orden reducido del proceso, para el cálculo de los parámetros del controlador [25].

Modelos.

Los modelos más empleados son los de primer o segundo orden más tiempo muerto, cuyas funciones de transferencia Son [24]:

- Primer Orden Más Tiempo Muerto POMTM.

$$Gp(s) = \frac{K_p e^{-t_m s}}{\tau s + 1} \quad (2.1)$$

- Segundo Orden Sobreamortiguado Más Tiempo Muerto SOSMTM.

$$Gp(s) = \frac{K_p e^{-t_m s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (2.2)$$

- Segundo Orden Subamortiguado Más Tiempo Muerto.

$$Gp(s) = \frac{K_p e^{-t_m s}}{\tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1} \quad (2.3)$$

En donde:

“ k_p = ganancia en estado estacionario.

t_m = tiempo muerto efectivo.

τ, τ_1, τ_2 = constantes de tiempo efectivas.

ζ = razón de amortiguamiento efectiva del proceso” [26].

2.3.4. Métodos basados en la curva de reacción del proceso

Para obtener la curva de reacción del proceso es necesario realizar la prueba de lazo abierto, utilizando el siguiente procedimiento:

1. Llevar a la planta a un punto de operación normal. Se supone que la salida de la planta se estabiliza en $y(t) = y_0$ para una entrada constante $u(t) = u_0$ [27].
2. En el instante inicial t_0 , aplicar un cambio en la entrada escalón, desde u_0 a u_1 (esto debería ser en un rango de 10 al 20 % de rango completo) [27].
3. Registrar la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación como se observa en la figura 2.4 [27].

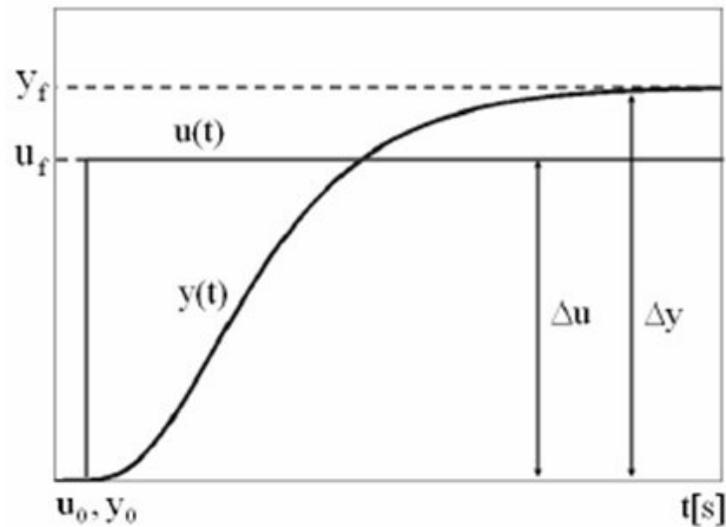


Figura 2.4: Curva de reacción del proceso [28].

La ganancia K_p es obtenida a partir de la ecuación:

$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{Y_f - Y_0}{U_f - U_0} \quad (2.4)$$

2.3.5. Métodos que utilizan la recta tangente

- **Método de la tangente de Ziegler y Nichols.**

Ziegler y Nichols fueron los primeros autores en desarrollar un método de identificación propuesto como parte de un procedimiento de sintonización de controladores [24], [28].

Este procedimiento consiste en trazar una recta tangente en su punto de máxima pendiente como se ve en la figura 2.5 [24].

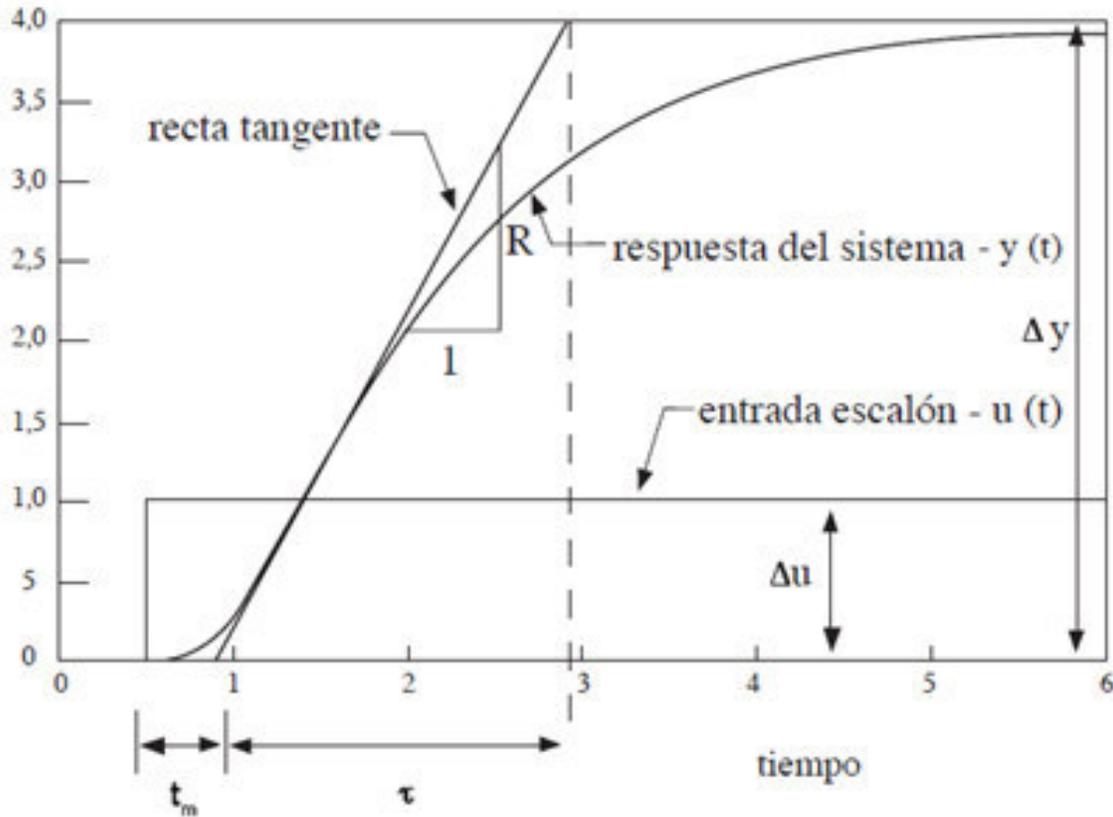


Figura 2.5: Método de la tangente de Ziegler y Nichols [26].

Para obtener un modelo de primer orden más tiempo muerto como el de la ecuación 2.1, se debe identificar k_p, τ y t_m del sistema [24].

■ **Método de la tangente modificado de Miller.**

Este procedimiento es una variación del de Ziegler y Nichol, donde se calcula el tiempo requerido para que la constante de tiempo del modelo alcance el 63.2% del cambio total a partir del tiempo muerto (ver figura 2.6), permitiendo que la respuesta del modelo coincida como mínimo en un punto con la curva de reacción del proceso en el instante de tiempo $t = t_m + \tau$ [24], [28].

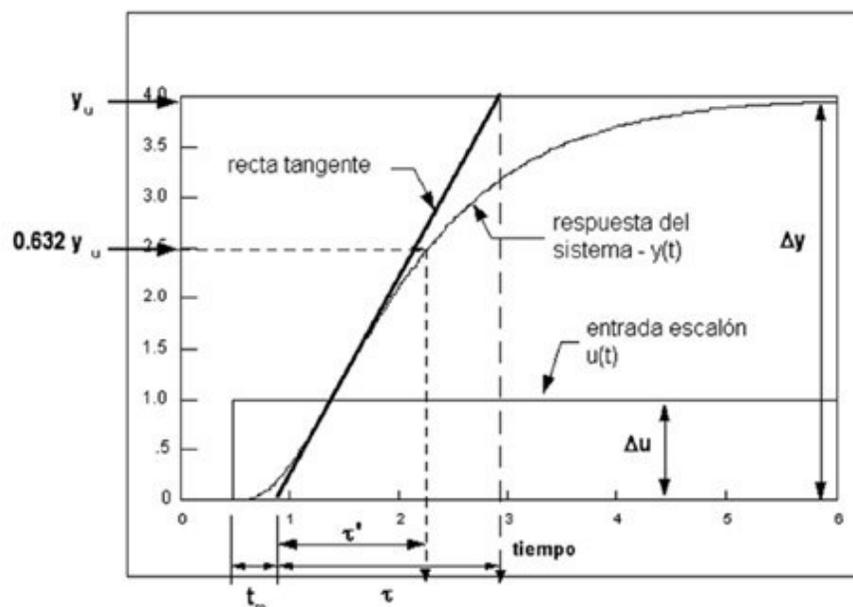


Figura 2.6: Método de la tangente modificado de Miller [24].

2.3.6. Método de dos puntos generalizado

Este método consiste en hacer coincidir como mínimo en dos puntos la respuesta del modelo con la curva real del proceso[28]; consecuente con ello para identificar un modelo de primer orden más tiempo muerto como se describe en la ecuación 2.1 y representado en la figura 2.7 que muestra dos puntos p_1 y p_2 los cuales son valores porcentuales ubicados en la curva de reacción del proceso y t_1 , t_2 son los tiempos que tardan en alcanzar estos dos valores, por consiguiente los parámetros de un modelo de primer orden más tiempo muerto se pueden obtener de [24]:

$$\tau = at_1 + bt_2 \quad (2.5)$$

$$t_m = ct_1 + dt_2 \quad (2.6)$$

y la ganancia con la ecuación 2.4

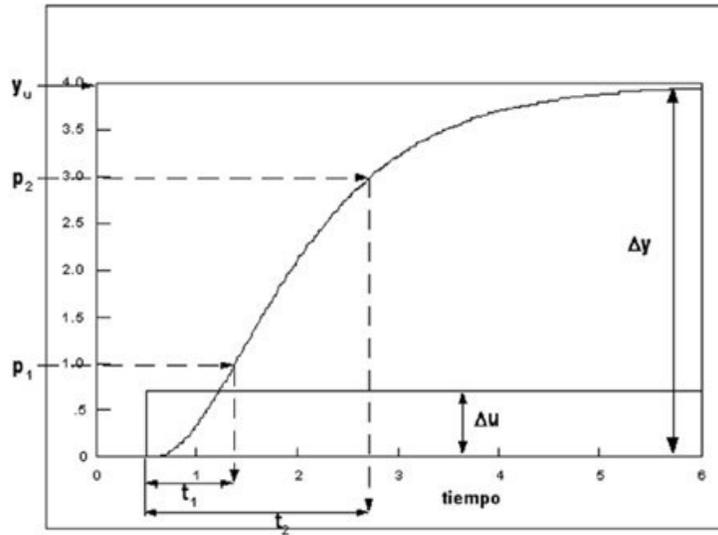


Figura 2.7: Método de dos puntos generalizado [24].

“En la tabla 2.1 se presentan los porcentajes del cambio en la respuesta para la determinación de los dos tiempos requeridos por el procedimiento de identificación, así como los valores de las constantes a, b, c y d para los métodos de Alfaro, Bröida, Chen y Yan, Ho et al, Smith y Vitecková et al” [24], [28].

Modelo	%P1 (t1)	%P2 (t2)	a	b	c	d
Alfaro	25.0	75.0	-0.910	0.910	1.262	-0.262
Broida	28.0	40.0	-5.500	5.500	2.800	-1.800
Chen y Yang	33.0	67.0	-1.400	1.400	1.540	-0.540
Ho et al.	35.0	85.0	-0.670	0.670	1.300	-0.290
Smith	28.3	63.2	-1.500	1.500	1.500	-0.500
Vitecková et al.	33.0	70.0	-1.245	1.245	1.498	-0.498

Tabla 2.1: Constantes para los modelos de primer orden más tiempo muerto [24].

La tabla 2.2 muestran los tiempos y constantes para obtener un modelo de segundo orden con un polo doble dado por:

$$Gp(s) = \frac{K_p e^{-t_m s}}{(\tau s + 1)^2} \quad (2.7)$$

Modelo	%P1 (t1)	%P2 (t2)	a	b	c	d
Ho et al.	35.0	85.0	-0.463	0.463	1.574	-0.574
Vítecková et al.	33.0	70.0	-0.749	0.749	1.937	-0.937

Tabla 2.2: Constantes para los modelos de polo doble mas tiempo muerto [24].

2.3.7. Respuesta de razón de asentamiento de un cuarto

Ziegler y Nichols proponen ecuaciones para el cálculo de las constantes K_c , T_i y T_d las cuales se muestran en la tabla 2.3

Controlador	K_c	T_i	T_d
P	$\tau / K_p t_m$	—	—
PI	$0.9\tau / K_p t_m$	$t_m / 0.5$	—
PID	$1.2\tau / K_p t_m$	$2t_m$	$0.5t_m$

Tabla 2.3: Ecuaciones para el cálculo de las constantes K_c , T_i y T_d [21], [29].

Nota: “Para utilizar estas fórmulas se debe tener en cuenta que son empíricas y solo se aplican a un rango limitado de razones de tiempo muerto contra constante de tiempo, lo cual significa que no se debe extrapolar fuera de un rango de t_0/τ entre 0.10 y 1.0” [21].

2.3.8. Criterio de error de integración mínimo

Debido que los parámetros de Ziegler y Nichols no son los únicos, en la universidad de Lusiana se realizó un proyecto de investigación para desarrollar relaciones de ajuste únicas, donde se utilizan los parámetros de primer orden más tiempo muerto (POMTM) [21].

- Integral del valor absoluto del error (IAE).

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (2.8)$$

- Integral del cuadrado del error (ICE)

$$ICE = \int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt \quad (2.9)$$

- Integral del valor absoluto del valor ponderado en tiempo (IAET)

$$IAET = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt \quad (2.10)$$

- Integral del cuadrado del error ponderado en el tiempo (ICET)

$$ICET = \int_0^{\infty} t[e(t)]^2 dt \quad (2.11)$$

La tabla 2.4, muestra las ecuaciones de sintonización para Integración Mínima en presencia de perturbaciones de entrada.

Controlador	ICE	IAE	IAET
P	a = 1.411 b = -0.917	a = 0.902 b = -0.985	a = 0.490 b = -1.084
PI	a ₁ = 1.305 b ₁ = -0.959 a ₂ = 0.492 b ₂ = -0.739	a ₁ = 0.984 b ₁ = -0.986 a ₂ = 0.608 b ₂ = -0.707	a ₁ = 0.984 b ₁ = -0.986 a ₂ = 0.674 b ₂ = -0.680
PID	a ₁ = 1.495 b ₁ = -0.945 a ₂ = 1.101 b ₂ = -0.771 a ₃ = 0.560 b ₃ = 1.006	a ₁ = 1.435 b ₁ = -0.921 a ₂ = 0.878 b ₂ = -0.749 a ₃ = 0.482 b ₃ = 1.137	a ₁ = 1.357 b ₁ = -0.947 a ₂ = 0.842 b ₂ = -0.738 a ₃ = 0.381 b ₃ = 0.995

Tabla 2.4: Ecuaciones para integración mínima con perturbaciones de entrada [21].

1. Controlador Proporcional P.

$$K_c = \frac{a}{K_p} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^b \quad (2.12)$$

2. Controlador Proporcional–Integral PI.

$$K_c = \frac{a_1}{K_p} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_1} \quad (2.13)$$

$$t_i = \frac{\tau}{a_2} \left[\frac{t_0}{\tau} \right]_2^b \quad (2.14)$$

3. Controlador Proporcional–Integral–Derivativo PID.

$$K_c = \frac{a_1}{K_p} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_1} \quad (2.15)$$

$$\tau_i = \frac{\tau}{a_2} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_2} \quad (2.16)$$

$$\tau_d = a_3 \tau \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{b_3} \quad (2.17)$$

2.4. NORMA ISA S5.1

La norma ISA (*instrument Society of América*) S5.1 permite la identificación, representación y función de los instrumentos de una forma estandar. El objeto de esta norma es satisfacer los diferentes procedimientos que necesitan los usuarios para identificar y representar mediante gráficos los equipos de control, medición y supervisión de los diferentes sistemas [30], [31].

2.4.1. Simbología de la norma ISA S5.1

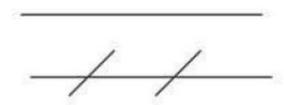
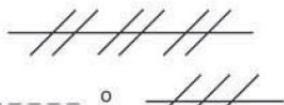
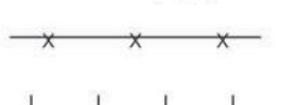
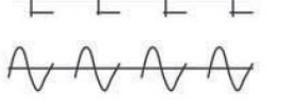
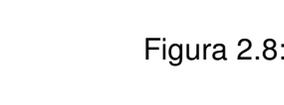
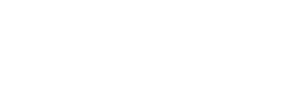
	1. Alimentación de instrumentos o conexión a proceso *
	2. Señal sin definir
	2. Señal neumática**
	3. Señal eléctrica
	4. Tubo capilar
	5. Señal hidráulica
	6. Señal electromagnética *** o sónica (sin hilo ni tubo)

Figura 2.8: Representación de líneas [32].

	UBICACIÓN PRIMARIA *** ACCESIBLE NORMALMENTE AL OPERADOR	MONTAJE EN CAMPO	UBICACIÓN AUXILIAR *** ACCESIBLE NORMALMENTE AL OPERADOR
INSTRUMENTOS DISCRETOS	1  IPI	2 	3 
VISUALIZACIÓN COMPARTIDA, CONTROL COMPARTIDO	4 	5 	6 
FUNCIÓN DE ORDENADOR	7 	8 	9 
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	10 	11 	12 

Figura 2.9: Representación de Instrumentos [32].

13	14  INSTRUMENTO CON CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN LARGO	15  INSTRUMENTOS - COMPARTEN UNA UBICACIÓN COMÚN *
16  LUZ PILOTO	17  PUNTO 12 MONTADO EN SUBPANEL	18  ** PURGA O APARATO DE FLUJO
19  ** POSICIÓN DE REPOSO PARA UN ACTUADOR DE TIPO GATILLO	20  SELLO DE DIAFRAGMA	21  ** *** LÓGICA DE ENCLAVAMIENTO SIN DEFINIR

Figura 2.10: Símbolos generales de funciones o de instrumentos [32].

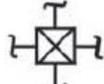
1  SÍMBOLO GENERAL	2  ÁNGULO	3  MARIPOSA	4  VÁLVULA ROTATIVA
5  TRES VÍAS	6  CUATRO VÍAS	7  GLOBO	8
9  DIAFRAGMA	10  REGULADOR DE TIRO O PERSIANA		
	11  REGULADOR DE TIRO O PERSIANA		
	12  REGULADOR DE TIRO O PERSIANA		

Figura 2.11: Cuerpos de Válvulas [32].

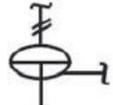
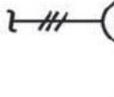
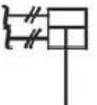
1  CON O SIN POSICIONADOR U OTRO DISPOSITIVO PILOTO (puede ser posicionador, válvula solenoide, convertidor, etc) DIAFRAGMA DE RESORTE OPUESTO O CON ACTUADOR SIN ESPECIFICAR	2  PREFERIDO PARA DIAFRAGMA MONTADO CON PILOTO. EL CONJUNTO ES ACTUADO POR UNA ENTRADA (MOSTRADA TÍPICAMENTE CON ENTRADA ELÉCTRICA)	3  ALTERNATIVA PREFERIDA	4  ALTERNATIVA OPCIONAL
DIAFRAGMA DE RESORTE OPUESTO CON POSICIONADOR Y VÁLVULA PILOTO DE SOBRECARRERA QUE PRESURIZA EL DIAFRAGMA CUANDO ACTÚA			
5  DIAFRAGMA DE PRESIÓN EQUILIBRADA	6  MOTOR ROTATIVO (MOSTRADO TÍPICAMENTE CON SEÑAL ELÉCTRICA QUE PUEDE SER HIDRÁULICA O NEUMÁTICA)	7  DIGITAL	
8  OPUESTO A RESORTE SIMPLE ACCIÓN	9  DOBLE ACCIÓN	10  PREFERIDO PARA CUALQUIER CILINDRO MONTADO CON UN PILOTO, DE MODO QUE EL CONJUNTO ES ACTUADO POR UNA ENTRADA CONTROLADA	
CILINDRO, SIN POSICIONADOR U OTRO PILOTO			

Figura 2.12: Actuadores [32].

2.4.2. Identificación del instrumento

Para identificar un instrumento hay que tener en cuenta que todas las letras deben estar en mayúsculas y no debe haber más de cuatro letras de identificación [33]. Además se debe tener en cuenta que la primera letra es usada para designar la variable bajo medida, la cual puede estar acompañada por una letra que modifique esta, y el resto de letras permite conocer la función que realiza el instrumento; por ejemplo: la sigla TDT, donde la letra **T** nos representa la variable medida que corresponde a la temperatura, la letra **D** de diferencial y la tercera letra **T** de transmitir, finalmente el instrumento según sus siglas unidas es un transmisor de temperatura diferencial [33]. Los bucles de instrumentos de un proyecto o secciones de un proyecto deben identificarse con una secuencia única de números y puede incorporar información codificada como el área de la planta, y si este tiene más de un instrumento con la misma identificación funcional es necesario añadir un sufijo [32],[34].

2.5. CONTROLADOR AUTOMÁTICO PROGRAMABLE

Un PAC (*Programmable Automation Controller*) es un dispositivo electrónico en el cual se implementa el sistema de control o de controles del proceso, que permite el manejo adecuado de datos proveniente de la adquisición, en el cual se tiene implementada lógica de compuertas para activar y desactivar funciones, es un sistema con porcentaje de error bajo, es robusto por lo que puede soportar un ambiente pesado. Además tiene funcionalidad de dominio múltiple, se comunican usando los protocolos de red abiertos como TCP/IP u OPC [8], [35], [36]. A continuación en la tabla 2.5 se hace una comparación entre un PAC un PLC y un PC estándar.

Características	PLC	PAC	PC Estándar
Soporta Shocks eléctricos y vibración	Si	Si	No
Seguridad y estabilidad	Si	Si	No
Rangos de temperaturas industriales	Si	Si	No
Trabajo en tiempo real	Si	Si	No
Entradas de fuente de poder redundantes	Si	Si	No
Procesador de punto flotante	No	Si	Si
Memoria no volátil	No	Si	Si
Conectividad a Ethernet vía WEB	No	Si	Si
Capacidad de administración de recursos	No	Si	Si
Capacidad ilimitada de lazos de control	No	Si	Si

Tabla 2.5: Cuadro comparativo [36].

2.5.1. Lenguajes de programación

La norma IEC 61131-3 se refiere a los lenguajes de programación de los controladores lógicos programables. Esta norma define dos lenguajes gráficos y dos lenguajes basados en texto para obtener un estándar en la programación de los PLC's [37], [38].

Cada lenguaje de programación de los PLCs depende de su fabricante, en la tabla 2.6 se presentan los lenguajes más utilizados.

LENGUAJE	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS	TIPO	NIVEL
Listas	Lista de Instrucciones	IL, AWL, STL, IL/ST	Escrito	Bajo
Plano	Diagrama eléctrico	LADDER, LD, KOP	Visual	Alto
Diagrama de Bloques Funcionales	Diagrama Logico	FBD, FBS, FUD	Visual	Alto
Organigrama de Bloques Secuenciales	Diagrama Algoritmo	AS, SFC, PE-TRI, GRAFCET	Visual	Alto
Otros	Usados en Áreas de Computación	BASIC C	Escrito	.

Tabla 2.6: Lenguajes de programación (PLCs) más comunes [39], [40].

2.5.2. Protocolos de comunicación industrial

Las comunicaciones industriales son las encargadas de estudiar la transmisión de información entre sistemas electrónicos utilizados para ejecutar tareas de control y gestión en los procesos de producción industrial [41], [42].

Los protocolos más comunes utilizados para comunicación industrial son los siguientes:

- Protocolo de Comunicación MODBUS/TCP: Es un protocolo de comunicación orientado a recibir datos de sensores, actuadores, u otros equipos industriales tales como Controladores Lógicos Programables (PLCs), computadores y otros tipos de dispositivos físicos de entrada/salida que no requieren velocidades de transmisión al comunicarse sobre una red [43].
- Protocolo de Comunicación PROFIBUS-DP: Este protocolo está optimizado para conseguir una alta velocidad de transmisión. Está especialmente diseñado para

establecer la comunicación entre el controlador programable y los dispositivos de entrada/salida a nivel de campo basado en la norma internacional para control de procesos. normalizada en Europa por EN 50170 [42], [44].

- Protocolo de Comunicación DeviceNet: Es un bus capaz de controlar dispositivos de campo complejos de forma eficiente y de bajo costo ya que es de alta velocidad y funcionalidad media desarrollada por Allen Bradley [45].
- Protocolo de Comunicación AS-I (Actuator Sensor Interface): Es un bus de campo desarrollado inicialmente por Siemens, para la interconexión de actuadores y sensores binarios. Permite la interconexión de un máximo de 31 esclavos. La longitud máxima de cada segmento es de 100 metros además es de baja capacidad, orientado a recibir datos de sensores, actuadores, u otros equipos, que no requieren velocidades de transmisión [45].
- Protocolo de Comunicación ETHERNET: Cada vez crece más la aceptación que tiene en el campo industrial. Esto es debido fundamentalmente a las ventajas que aporta cuando es instalado en la industria (rapidez, simple ampliación, costes de instalación y configuración entre otras). Además otra característica importante que presenta es que permite la comunicación por protocolo TCP/IP con equipos ajenos [42], [46], [47].
- Internet de las Cosas (IoT): También llamado Internet de todo, es un nuevo paradigma tecnológico conocido como una red global de máquinas y dispositivos capaces de interactuar entre sí. Es reconocido como una de las áreas más importantes de la tecnología futura e Industrial y está ganando la atención de una amplia gama de industrias. El verdadero aporte a la automatización puede ser plenamente ejecutado cuando los dispositivos conectados son capaces de comunicarse entre sí, e integrarse con sistemas de control. El IoT está transformando procesos industriales, proporcionando gran flujo de información en tiempo real que permite monitorizar el flujo de materiales y productos, así mejorar el seguimiento de estos para optimizar costos [48], [49].

2.6. AUTOMATIZACIÓN

El desarrollo de la automatización ha sido un proceso evolutivo, cada nuevo desarrollo se ha basado en la evolución de uno anterior, que debido a la realimentación de los resultados obtenidos requiere la unión de varias áreas de la ingeniería, para dar origen a una ciencia multidisciplinaria en los diferentes campos temáticos enmarcados por la automatización.

Un concepto muy importante que se debe tener en cuenta en la automatización, es que es un proceso por niveles, los cuales dan forma a una pirámide que define la estructura

jerarquizada del proceso, donde los niveles más bajos corresponden a la automatización de las máquinas, es decir los elementos directamente relacionados con el proceso, por consiguiente en los niveles superiores se toman decisiones empresariales de alto nivel y corresponden a los temas de organización, planificación económica y administrativa de la empresa como se observa en la figura 2.13.



Figura 2.13: Pirámide de Automatización [35].

Los SCADA son aplicaciones dedicadas a la etapa de adquisición de información a través de los equipos de campo y el monitoreo del estado de las variables del proceso, también permite realizar control supervisorio a través del operador en la estación central [43], [50].

2.6.1. Sistemas distribuidos

La tendencia a sistemas descentralizados radica al creciente grado de automatización en la industria; de manera que se hace necesaria una herramienta que gestione toda la producción de manera eficiente, además de contar con una arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación. Que tenga conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación con dispositivos de campo y otros PC pero con bajos tiempos de acceso, de modo que servidores de entradas y salidas, servidor de bases de datos, servidor en estación de trabajo o servidores de acceso web y todos los elementos que se unen a un equipo de periferia distribuida actúen como concentrador de la información para enviarla a los autómatas a través de buses de comunicación [51].

2.7. SISTEMA SCADA y HMI

Los Sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*): según ISA (*International Society of Automation*) están constituidos principalmente por una o más unidades de control que adquieren señales de campo a través de un protocolo de comunicación industrial, y aplicaciones de software especialmente diseñados para funcionar sobre ordenadores de control de producción, lo que permite monitorear local y/o remotamente las variables involucradas en un proceso y mostrar los datos en una interfaz gráfica que comunica al operador con el sistema [11],[19], [52].

“La definición de la (IEEE 100, 2000) establece que los SCADA son sistemas que operan con señales codificadas sobre canales de comunicación a fin de proporcionar control remoto de equipos, obteniendo información sobre el estado de éstos para la visualización o registro de sus funciones” [8], [35], [53].

A menudo, las palabras HMI y SCADA inducen a cierta confusión. Lo cierto es que no todos estos sistemas de automatización son iguales. La diferencia radica en la función de supervisión que se puede realizar en estos últimos, es sobre un computador industrial, ofreciendo una visión de los parámetros de control sobre la pantalla del ordenador; por otra parte, lo que se denomina pantalla HMI solo ofrecen funciones complementarias de monitorización para detectar posibles anomalías. Es decir, los sistemas de interfaz gráfica de este tipo ofrecen al operario una gestión básica de la planta, realizar una parada de emergencia, reparar, compensar una anomalía o hacer un reset entre otras [11].

2.7.1. Principales características de un sistema SCADA

- Adquisiciones de datos: Se encarga de recoger, procesar y almacenar la información del proceso [13].
- Control: Para actuar sobre el proceso y modificar su evolución. Generalmente actuando sobre reguladores autónomos y/o PLCs, modificando consignas, niveles de alarma, entre otras [13].
- Supervisión: Para observar la evolución y comportamiento de las variables de control, mediante un monitor [13].
- Bases de datos: Gestión de históricos de datos y variables de interés con bajos tiempos de acceso [13].
- Explotación de los datos adquiridos: Para el control estadístico, gestión de la producción entre otros [13].

- Presentaciones: Representación gráfica y animada de variables de proceso y su monitorización por medio de alarmas [13].

2.7.2. Estructura y módulos de un sistema SCADA

Los módulos o bloques de un sistema SCADA, que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son:

- Módulo de configuración: Permite al usuario elegir el entorno de trabajo que se va a utilizar como lo son pantallas gráficas o de texto. Cuando se está configurando el sistema se selecciona los drivers de comunicación que permiten la interacción con los dispositivos de campo [13].
- Interfaz gráfica del operador: Proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta [13].
- Módulo de proceso: Ejecuta las acciones de mando pre programadas a partir de los valores actuales de variables leídas [13].
- Gestión y archivo de datos: Se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos de forma que otro dispositivo o aplicación pueda acceder a ellos [13].

2.8. PLANTA DE FLUJO Y NIVEL T-5552 AMATROL

La Corporación Universitaria Autónoma del Cauca cuenta con un laboratorio de control de procesos, el cual está dotado de diferentes plantas como lo son: de flujo y nivel T-5552, Temperatura T-5553 AMATROL , de bombas centrifugas y presión; además de diferentes equipos que sirven para la orientación de cursos como lo son: instrumentación industrial, control de procesos, PLC's, SCADA entre otros.

Este trabajo tiene como estudio la planta de flujo y nivel T-5552 de AMATROL, la cual cuenta con múltiples instrumentos de de tipo industrial, además permite la incorporación de equipos adicionales para su control y supervisión.

2.9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En la planta de nivel T-5552 de AMATROL, se pueden identificar 2 lazos de control, uno para el nivel y el otro para el flujo de liquido [6].

En la figura 2.14 se tiene una vista general de la planta, la cual cuenta con una estación de trabajo, un panel de control, algunos instrumentos industriales que están comunicados en un circuito cerrado para manipular la variable de nivel ó el flujo de líquido entre dos tanques, esta planta permite realizar diferentes configuraciones de controladores como lo son: control PID, por relé y uno estándar [6].



Figura 2.14: Planta de flujo y nivel T-5552 de AMATROL [54].

2.9.1. Lazo de control de nivel

En la figura 2.15 se puede apreciar el esquema del lazo de nivel que está compuesto por un controlador PID, la válvula neumática, el tanque de nivel y un sensor ultrasónico. Donde la lectura que hace el sensor ultrasónico es enviada por medio de una señal de 4 a 20 mA al controlador y este a su vez proporciona un valor equivalente de 3 a 15 Psi al actuador para abrir o cerrar la válvula, manteniendo así un nivel deseado.

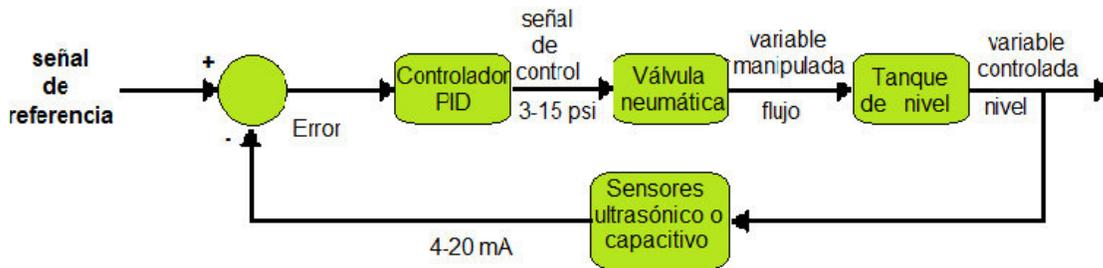


Figura 2.15: Lazo de nivel. Fuente: Autor

2.9.2. Lazo de control de flujo

En la figura 2.16 se puede apreciar el esquema del lazo de flujo que está compuesto por un controlador PID, la válvula neumática y un sensor; en el se capta el flujo presente en la tubería y este envía al controlador una señal de 4 a 20 mA, para que proporcione un valor equivalente de 3 a 15 Psi al actuador para abrir o cerrar la válvula, manteniendo así un flujo deseado.

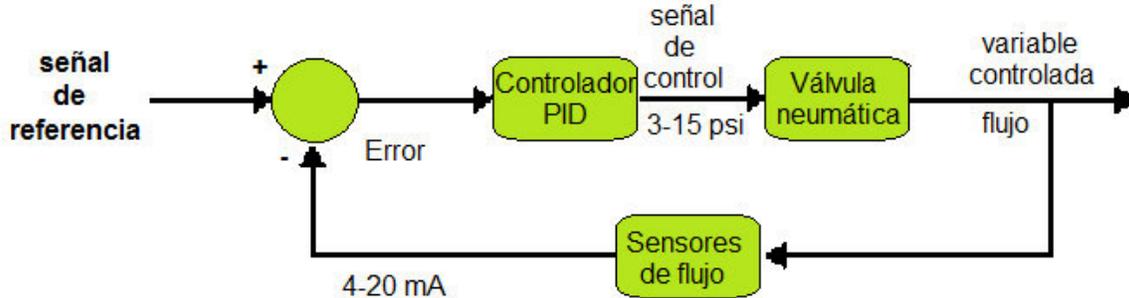


Figura 2.16: Lazo de flujo. Fuente: Autor

2.10. VARIABLES PRESENTES EN EL PROCESO DE LA PLANTA DE NIVEL T-5552 DE AMATROL

- *Variable manipulada en el proceso:* Es el flujo.
- *Variable controlada en el proceso:* El sistema cuenta con dos variables a controlar las cuales pueden ser nivel o flujo dependiendo del tipo de lazo que se quiera utilizar.

- *Disturbios presentes en el proceso:* Se pueden presentar en la entrada o en la salida del proceso, de acuerdo a la manipulación de instrumentos asociados a la planta.

2.11. INSTRUMENTACIÓN PRESENTE EN LA PLANTA T-5552 DE AMATROL

2.11.1. Instrumentos presentes en el campo

- Transmisor Indicador de Flujo.

Este equipo infiere el flujo en una tubería mediante un proceso de medida de presión diferencial, su funcionamiento se basa en tomar dos medidas, una aguas arriba y otras aguas abajo para establecer una diferencia además este instrumento tiene la capacidad de transmitir el valor medido el cual codificada en una señal analógica de 4-20 mA [32], [54].

Este sistema ofrece expansiones como: transductor de flujo de tubo pitot, transductor de flujo Venturi y transductor de flujo de placa de orificio.



Figura 2.17: Transmisor Indicador de Flujo FIT 101. Fuente: Autor

- Sensor Ultrasónico.

Mide el nivel en el tanque TK 101 su funcionamiento se basa en el envío de una onda de ultrasonido de tal manera que al incidir sobre el líquido parte de la onda es enviada de regreso al sensor el cual enviara una señal eléctrica de 4 a 20 mA al controlador dependiendo del nivel en el que se encuentre el tanque [55].



Figura 2.18: Sensor Ultrasónico LET 200-B. Fuente: Autor

- Válvula Solenoide.

Este tipo de válvula es todo o nada, la cual trabaja con un voltaje en la bobina de 24 VDC, es normalmente cerrada, su presión de operación diferencial (psi) mínima es de 0 y máxima de 95 para aceites, 110 para agua, y 130 para aire. Esta tiene un diámetro de conexión de 1/8 y su potencia eléctrica es de 10.6 W [56].

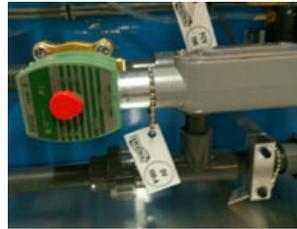


Figura 2.19: Válvula Solenoide SV 100-A. Fuente: Autor

- Válvula Manual.

En este tipo de válvula, como su nombre lo indica la regulación de flujo se realiza de forma manual, es de tipo bola, está hecha en material de PVC, su diámetro es de $\frac{1}{2}$ " y soporta una presión máxima de 235 psi [57].



Figura 2.20: Válvula Manual HV 100-B. Fuente: Autor

- Indicador de Presión.

Este instrumento es de tipo analógico y mide la presión en la tubería comparándola por la densidad del líquido con la altura conocida, indica presión de 0 a 30 psi que hay en el manómetro [57].



Figura 2.21: Indicador de Presión PI 100-B. Fuente: Autor

- Válvula Neumática de Control de Flujo.

Con este instrumento se controla el flujo que pasa por la tubería, y consiste en un diafragma con resorte que recibe una señal de entrada de presión de 3 a 15 psi, esta es de acción directa por lo que al aumentar la presión de entrada al actuador mueve el vástago hacia abajo, lo que ocasiona que el flujo de líquido disminuya o se detenga [58].



Figura 2.22: Válvula Neumática de Control de Flujo FCV 100. Fuente: Autor

- Placa de Orificio.

Este instrumento utiliza una placa con un orificio que se ubica en forma transversal al tubo, donde se crea una restricción al flujo del líquido originando una diferencia de presión, tiene una precisión del 1 al 2 %. Se necesita de un Transmisor indicador de flujo para mostrar el caudal presente en la tubería [32].

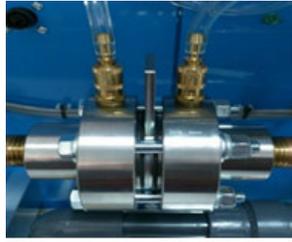


Figura 2.23: Placa de Orificio EF 100. Fuente: Autor

- Rotámetro.

Ubicado dentro de la planta T 5552 permite la medición del caudal que pasa por la tubería, este instrumento tiene la capacidad de indicar hasta 2 GPM. Su principio de operación consiste en un flotador dentro de un tubo ahusado que se cambia su posición proporcionalmente al flujo [32].



Figura 2.24: Rotámetro FI 100. Fuente: Autor

- Sensor Transmisor de Nivel.

Este instrumento es de tipo capacitivo, su principio de funcionamiento se basa en los cambios de capacitancia eléctrica de un condensador en un circuito RC ante el aumento de líquido en el tanque de control de procesos, y a su vez enviando una señal eléctrica de 4 a 20 mA al controlador [32].



Figura 2.25: Sensor Transmisor de Nivel LET 200-A. Fuente: Autor

- Sensor de Flujo

Este instrumento mide la cantidad de flujo que circula por la tubería, y puede medir caudales nominales de 0.03 a 0.7 gpm o de 0,3 a 3,2 gpm, su funcionamiento consiste en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal, lo que genera una corriente eléctrica que va a ser enviada al transmisor [32].



Figura 2.26: Sensor de Flujo FE 100. Fuente: Autor

- Controlador de Presión.

Con este instrumento se regula la presión que va a ingresar al sistema, se hace de manera manual y debe ser de 20 psi.



Figura 2.27: Controlador de Presión PC 100. Fuente: Autor

- Convertidor I / P

Su función consiste en convertir la corriente de 4 a 20 mA que envía el controlador en una señal neumática de 3 a 15 psi, con ello se controla el actuador de la válvula de diafragma.



Figura 2.28: Convertidor I / P. Fuente: Autor

- Switch de Nivel.

Es un interruptor normalmente abierto tipo flotador que indica el nivel del tanque; cuando el líquido alcanza la altura al que esté se encuentra, cierra sus contactos y envía una señal eléctrica.



Figura 2.29: Switch de Nivel LSH 200-B. Fuente: Autor

- Tanque de Procesos.

Es donde llega el fluido que sale de la tubería y lo almacena para ser monitoreado mediante los diferentes tipos de sensores que en éste se encuentran ubicados, tiene una capacidad máxima de 10 in o 25 cm³ [54].



Figura 2.30: Tanque de Nivel. Fuente: Autor

- Tanque Reservorio.

Se encarga de almacenar el líquido que va a ser enviado al tanque de nivel.



Figura 2.31: Tanque Reservorio. Fuente: Autor

- Bomba.

Este instrumento se encuentra ubicado dentro del tanque de depósito, funciona con un voltaje de alimentación de 110vac, es de tipo centrifuga, esta tiene como función impulsar el agua que se encuentra en el tanque reservorio hacia la tubería [54].



Figura 2.32: Bomba. Fuente: Autor

2.11.2. Panel de control T5552

La figura 2.33 muestra el panel de control, el cual está constituido por diferentes módulos como son: de alimentación, indicación de flujo, control y otros que se comunican directamente con los instrumentos ubicados en campo. Cada uno de estos debe ser conectado eléctricamente entre sí a través de conectores, para realizar control manual o automático del sistema, así como conocer los diferentes estados en que se encuentran.



Figura 2.33: Tablero de control T5552. Fuente: Autor

A continuación se ilustran los módulos que componen el tablero de control de la planta T5552 junto a la descripción y recursos disponibles de cada uno de ellos:

Módulo *FLOW SENSORS*

En la figura 2.34, se visualiza la parte del panel donde se puede acceder a los diferentes sensores de flujo presentes en la planta, aquellos se encuentran ubicados en la tubería del proceso.



Figura 2.34: Flow sensors. Fuente: Autor

Módulo *PID CONTROLLER*

En la figura 2.35 se muestra el módulo “*PID CONTROLLER*” el cual cuenta con un controlador PID Honeywell, que está montado y cableado en el panel, conformado por: una entrada y una salida analógica de 4 a 20 mA, 2 entradas discretas y 2 salidas de alarma discretas. Este puede ser programado para controlar el proceso de la planta T5552 conectando las entradas y salidas a los diferentes módulos que se comunican con los instrumentos ubicados en campo [54].



Figura 2.35: Módulo PID. Fuente: Autor

Módulo *FLOW TRANSMITTER*

El módulo que se ilustra en la figura 2.36 cuenta con un transmisor de flujo, el cual muestra el caudal presente en la tubería por medio del sensor de flujo de paletas. También puede proporcionar una señal de realimentación al controlador PID cuando sea necesario [54].



Figura 2.36: Módulo transmisor de flujo. Fuente: Autor

Módulo *DISCRETE I/O*

En la figura 2.37, se visualiza la parte del panel “DISCRETE I/O”, la cual contiene switches manuales con indicadores pilotos, los cuales pueden ser usados para manipular la planta de modo manual.



Figura 2.37: Discrete I/O. Fuente: Autor

Módulo **PROCESS METER**

En la figura 2.38, se visualiza la parte del panel “PROCESS METER”, el cual puede ser configurado para indicar el flujo o el nivel en la planta, además contiene parámetros que indican la estandarización de las diferentes salidas deseadas.

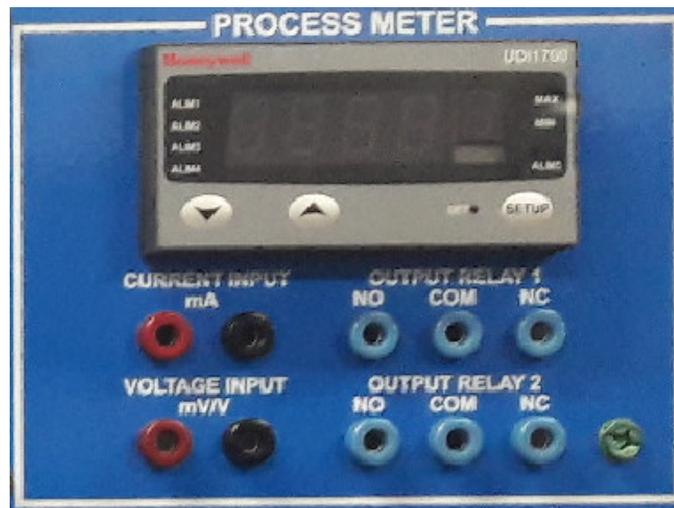


Figura 2.38: Process meter. Fuente: Autor

Módulo **DC POWER SUPPLY**

La figura 2.39, muestra la parte del panel “DC POWER SUPPLY”, la cual suministra fuentes de 24v dc al panel.



Figura 2.39: DC power supply. Fuente: Autor

Módulo *FLOW VALVE FV1*

La figura 2.40, muestra la parte del panel donde se puede realizar control de la válvula neumática de control de flujo enviándole señales eléctricas de 4 a 20 mA.



Figura 2.40: Flow valve FV1. Fuente: Autor

Módulo *LEVEL SENSORS*

En la figura 2.41 se muestra la parte del panel de donde se toman las señales de salida de los sensores y transmisores de nivel presentes en la planta, aquellos se encuentran ubicados en el tanque de procesos y son: el sensor ultrasónico, el sensor transmisor de nivel y los switch de nivel 1 y 2 [54].



Figura 2.41: Level sensors. Fuente: Autor

Módulo *PLC DISCRETE I/O Y PLC ANALOG I/O*

En la figura 2.42, se visualiza la parte del panel “PLC DISCRETE I/O Y PLC ANALOG I/O”, el cual está diseñado para conectar la planta a un autómata externo para realizar control por medio de éste, ya que permite la conexión de 16 I/O digitales y 4 I/O analógicas .



Figura 2.42: Process meter. Fuente: Autor

Módulo *ALARM HORN*

La figura 2.43, muestra la parte del panel “ALARM HORN”, la cual es una alarma que se puede establecer para un proceso específico.



Figura 2.43: Alarm horn. Fuente: Autor

Módulo *CIRC. PUMP P1*

La figura 2.44, muestra la parte del panel “CIRC. PUMP P1”, el cual permite realizar las conexiones de activación de la motobomba.



Figura 2.44: Circ. pump P1. Fuente: Autor

2.12. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA T-5552 DE AMATROL

La figura 2.45, muestra el diagrama de flujo basado en la norma ISA S 5.1 que cumple el proceso en la planta T-5552 de AMATROL, el cual consiste en que el líquido sale del tanque reservorio TK 102 impulsado por la motobomba EB 100, pasando por una serie de válvulas, indicadores de flujo y sensores que permiten el control y visualización de la cantidad de flujo que está pasando por la tubería hasta llegar al tanque de nivel TK 101, que cuenta con unos sensores y Switchs que permiten hacer control de este.

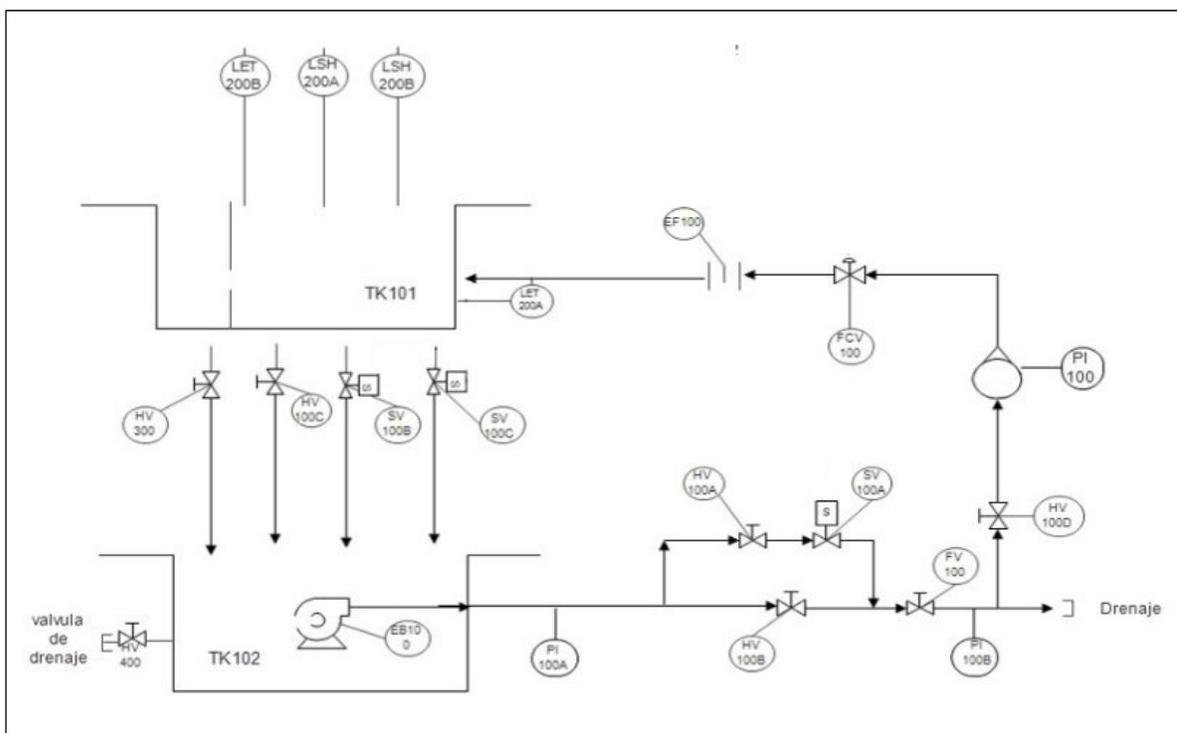


Figura 2.45: Diagrama de flujo planta T5552. Fuente: Autor

2.13. DIAGRAMA P&ID PLANTA T-5552 DE AMATROL

Un diagrama P&ID *Piping and instrumentación Diagram* permiten asociar elementos de medición o control un código conocido como TAG del instrumento, y cumple con la función de registrar toda la instrumentación de un diagrama de flujo del proceso y están basados principalmente bajo la norma ISA S5.1 [34].

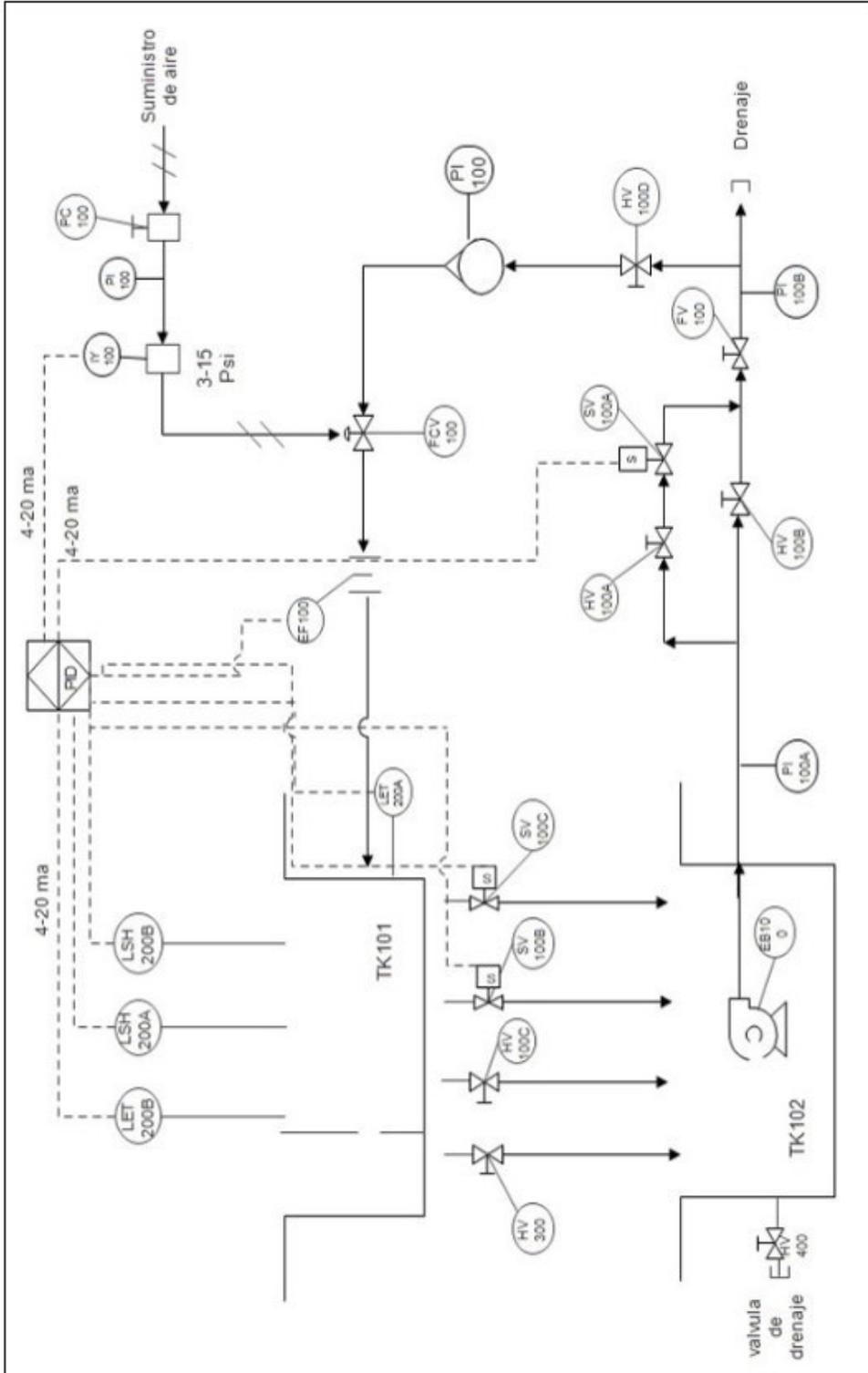


Figura 2.46: Diagrama P&ID de la planta T-5552. Fuente: Autor

2.14. EQUIPOS Y MÓDULOS

En la tabla 2.7, se describen las características generales que presentan los equipos con cada uno de sus respectivos módulos que se le adicionaron a la planta para la realización del sistema SCADA.

	Módulos	Características
PLC MODICON M340	CPU BMX P34 2020	Este módulo cuenta con: pantalla de indicadores LED, puerto USB, puerto Ethernet, ranura de la tarjeta de memoria y puerto serie Modbus.
	Módulo alimentación CPS 2000	Este módulo cuenta con: panel de visualización, botón RESET, conector de relé alarma, conector para la red de entrada y fuente de alimentación del sensor de 24 VCC.
	Entradas/salidas de relé DDM 16025	Es un módulo binario de 24 VCC conectado a través de un bloque de terminales de 20 pins. Es un módulo de lógica positiva: los 8 canales de entrada reciben corriente de los sensores (común positivo). Las 8 salidas de relé aisladas funcionan con corriente continua (24 VCC) o con corriente alterna (de 24 a 240 VCA).
	Entradas/salidas analógicas AMM 0600	Este módulo combina 4 entradas analógicas sin separación de potencial con 2 salidas analógicas sin separación de potencial.
	Bastidor XBP 0600	Se encarga de la fijación de todos los módulos de la estación del autómeta, la alimentación necesaria para cada módulo en un solo bastidor, las señales de servicio y datos para la totalidad de la estación del autómeta.
	PANTALLA HMIGTO3510	Pantalla LCD de color TFT, Tamaño de 7.0", resolución 800 x 480 píxeles(WVGA), tensión de funcionamiento de 24 VCC, cuenta con puerto USB y puerto Ethernet.
	Fuente de alimentación AC/DC ABL8MEM24012	La fuente de alimentación ABL8MEM24012 está diseñada para aplicaciones industriales, posee un rango de tensión de entrada de 100VAC a 240VAC, una tensión de salida de 24VDC, potencia nominal de 30W, corriente de salida de la fuente de 1,2A, eficiencia del 82 %, un led verde para indicación de estado y protección contra cortocircuitos.
	SWITCH 5 PORTS 10/100Mbps Desktop	El SWITCH 5 PORTS 10/100Mbps Desktop cumple con los estándares IEEE 802.3, IEEE 802.3u, tiene 5 puertos RJ45 10/100Mbps auto-negociación de apoyo Auto-MDI/MDIX, soporta control de flujo IEEE 802.3x para Full Dúplex y backpressure para half-duplex, también soporta dirección MAC auto-learning y auto-aging, cuenta con indicadores LED para vigilancia, enlace y actividad, además incluye un adaptador de corriente externo de 5VDC/1A.

Tabla 2.7: Equipos y módulos [59], [60].

Nota: Para mayor información acerca de los módulos o equipos descritos en la tabla 2.7, ver anexo 1.

Capítulo 3

DESARROLLO DEL PROYECTO

Como se declaró en el contexto general del proyecto, el entorno empleado para el desarrollo del trabajo consta de tres aplicativos software para la programación de los diferentes equipos a adicionar a la planta como son; Unity Pro, Vijeo Designer y Vijeo Citect, por lo tanto continuación se ilustra el desarrollo realizado en cada uno de estos aplicativos:

3.1. MÓDULO SOFTWARE

3.1.1. Aplicativo desarrollo Unity Pro

Unity Pro permite la programación de diferentes PLC's como el Modicon M340, Premium, Atrium, Quantum. Además proporcionando 5 lenguajes de programación diferentes, que cumplen la norma IEC 61131-3. Estos lenguajes son: Diagrama de bloques funcionales (FBD), Lenguaje de diagrama de contactos (LD), Lista de instrucciones (IL), Texto estructurado (ST) y Control secuencial (SFC) [59].

El tipo de PAC que se programó fue el Modicon M340, debido que la corporación Universitaria Autónoma del Cauca cuenta con este tipo de autómatas en sus laboratorios de electrónica, además de que el software que se requiere para su programación cuenta con sus respectivas licencias. Por otra parte el lenguaje de programación que se utilizó fue el de diagrama de contactos (LD).

El primer paso que se realizó para la programación del PAC, fue conocer el funcionamiento de la planta a trabajar, para ello se recurre a analizar la instrumentación, sus características y funcionamiento *ver sección INSTRUMENTACIÓN PRESENTE EN LA PLANTA T-5552 DE AMATROL*, a razón de entender el proceso y diseñar un diagrama de flujo como se observa en la figura 3.1 que brinde un concepto claro para programar el algoritmo de control en Unity Pro.

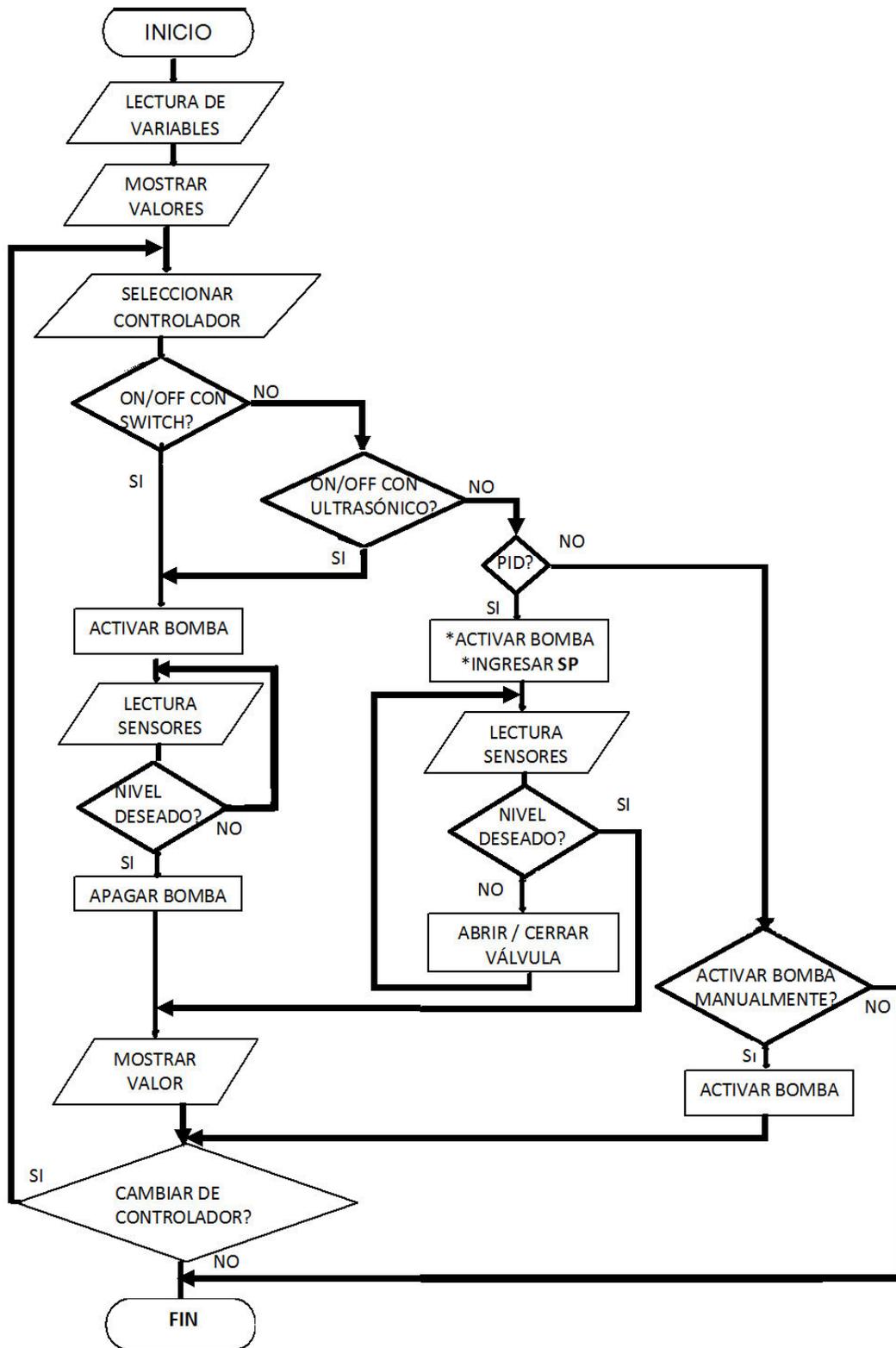


Figura 3.1: Diagrama de flujo de proyecto. Fuente: Autor

Posteriormente se procede a crear un proyecto en Unity Pro, (ver anexo 2), asignándole las características del hardware con las que cuenta el autómata como se observa en la figura 3.2.

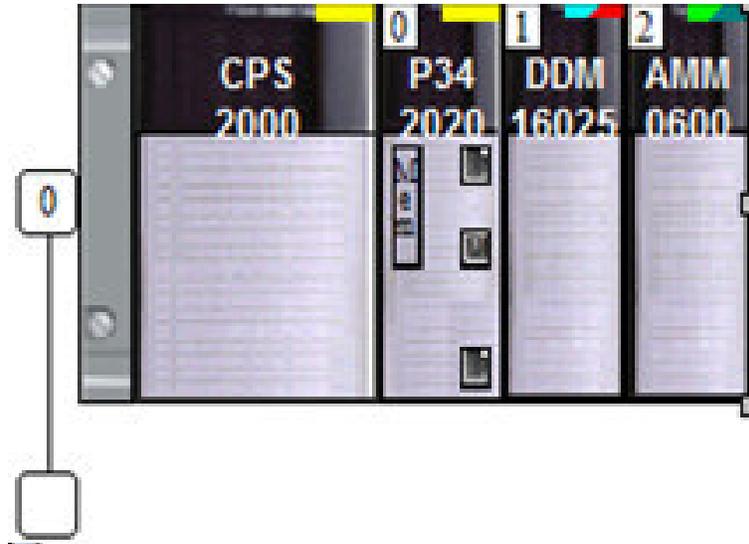


Figura 3.2: Características del hardware del PLC. Fuente: Autor

Cada uno de los módulos observados en la figura 3.2 fueron necesarios para la programación del algoritmo de control en el PAC y están descritos de manera general en la tabla 2.7

Una vez configuradas las características del hardware, se procedió a declarar las variables, en la tabla 3.1 se observan algunas de estas, teniendo en cuenta el tipo y dirección asignada.

N°	Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
1	ENCENDIDO_BOMBA_FISICO	EBOOL	%I0.1.0	Para encender la bomba desde la planta
2	NIVEL_ALTO	EBOOL	%I0.1.1	SW2 para nivel alto
3	NIVEL_BAJO	EBOOL	%I0.1.2	SW1 para nivel bajo
4	ERROR_ENTRADANALOGICA1	BOOL	%I0.2.0ERR	Para establecer alarma cuando no haya corriente en el sensor ultrasónico
5	ERROR_ENTRADA_CAPACITIVO	BOOL	%I0.2.1ERR	Para establecer alarma cuando no haya lectura en el sensor capacitivo
6	ERROR_SEN_GPL	BOOL	%I0.2.2ERR	Detecta error en el sensor GPM
7	ERROR_ENTRADA_FTI	BOOL	%I0.2.3ERR	Para establecer alarma cuando no haya corriente en el FTI
8	SENSOR_ULTRASONICO_FISICO	INT	%IW0.2.0	Entrada análoga a sensor ultrasónico
9	SENSOR_CAPACITIVO	INT	%IW0.2.1	Entrada análoga a sensor capacitivo
10	SENSOR_FLUJO	INT	%IW0.2.2	Para sensar el flujo de 0 a 2 GPM
11	SENSOR_TRANSMISOR_INDI_FLUJO	INT	%IW0.2.3	Entrada análoga a sensor transmisor indicador de flujo
12	INI_BOMBA_HMI	EBOOL	%M1	Para encender la bomba desde la HMI
13	BOMBA	EBOOL	%M2	Estado de la bomba
14	ENCENDIDO_BOMBA_FISICO_M	EBOOL	%M3	Estado de la bomba
15	SELENOIDE_1M	EBOOL	%M4	Estado de la válvula solenoide 1
16	SELENOIDE_2M	EBOOL	%M5	Estado de la válvula solenoide 2
17	INDICADOR_NIVEL_ALTO	EBOOL	%M6	Indica el nivel alto físico SW2
18	INDICADOR_NIVEL_BAJO	EBOOL	%M7	Indica el nivel bajo físico SW1
19	PID	EBOOL	%M15	para activar PID
20	ON_OFF_RANGO	EBOOL	%M16	Indicar control on off

Tabla 3.1: Declaración de Variables. Fuente: Autor

Posteriormente se realizó el desarrollo del programa asociando las variables físicas a variables del sistema o marcas con el fin de emplearlas en el código de programación.

En la figura 3.3 se representa la implementación del control On-Off del sistema. En el se diseñó dos códigos de programación, uno dónde se hace lectura digital de los switch's ubicados en el tanque lo que permite plantear dos modos de control a utilizar, ya sea para mantener un nivel fijo o si se desea un rango de medida, es decir se mantenga entre un nivel mínimo y un máximo.

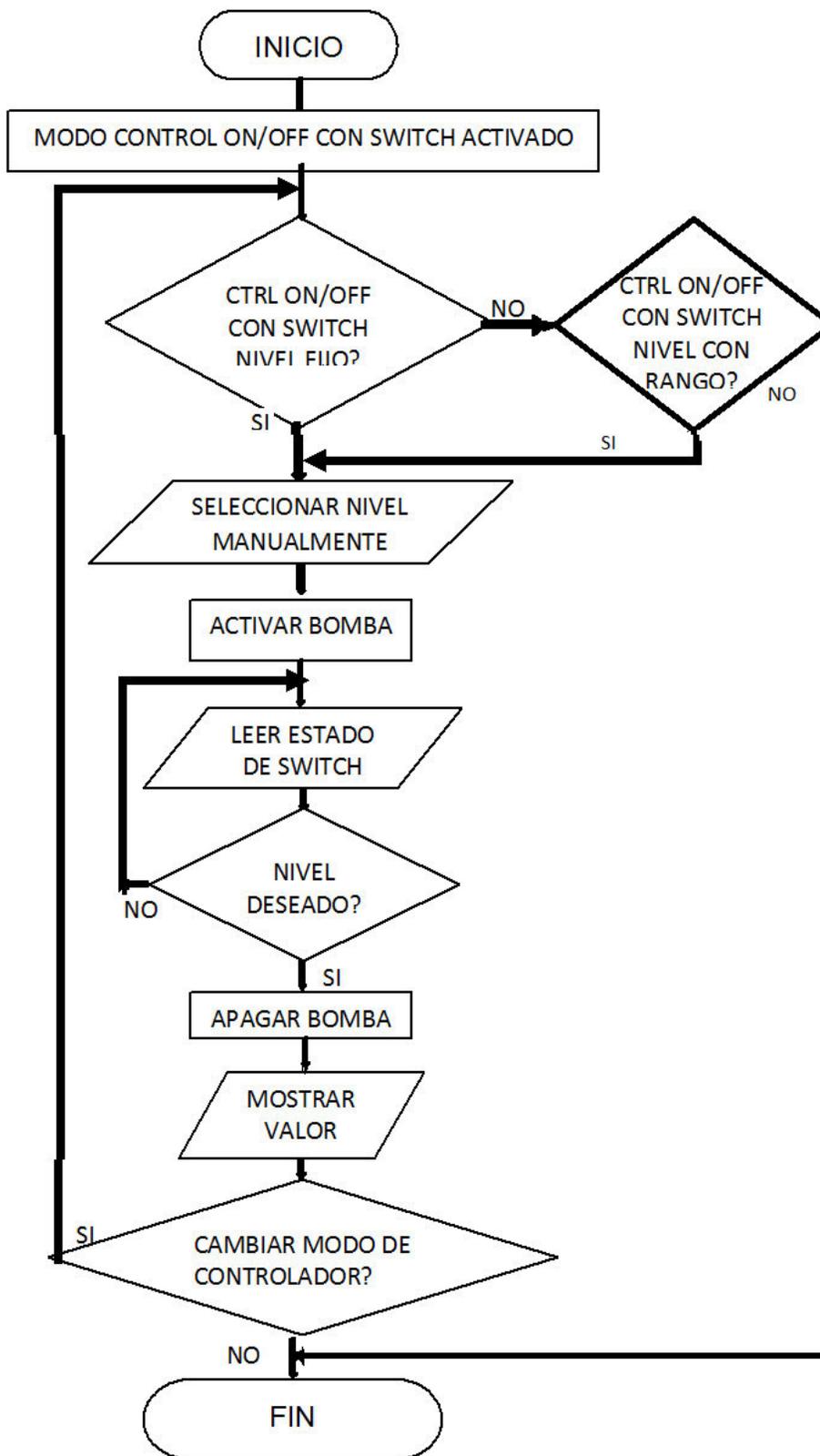


Figura 3.3: Control on-off mediante Switch's. Fuente: Autor

Por otra parte en un segundo código se utiliza el sensor ultrasónico el cual brinda lecturas análogas requeridas para desarrollar el control On-Off de nivel con rango variable y nivel fijo como se representa en la figura 3.4

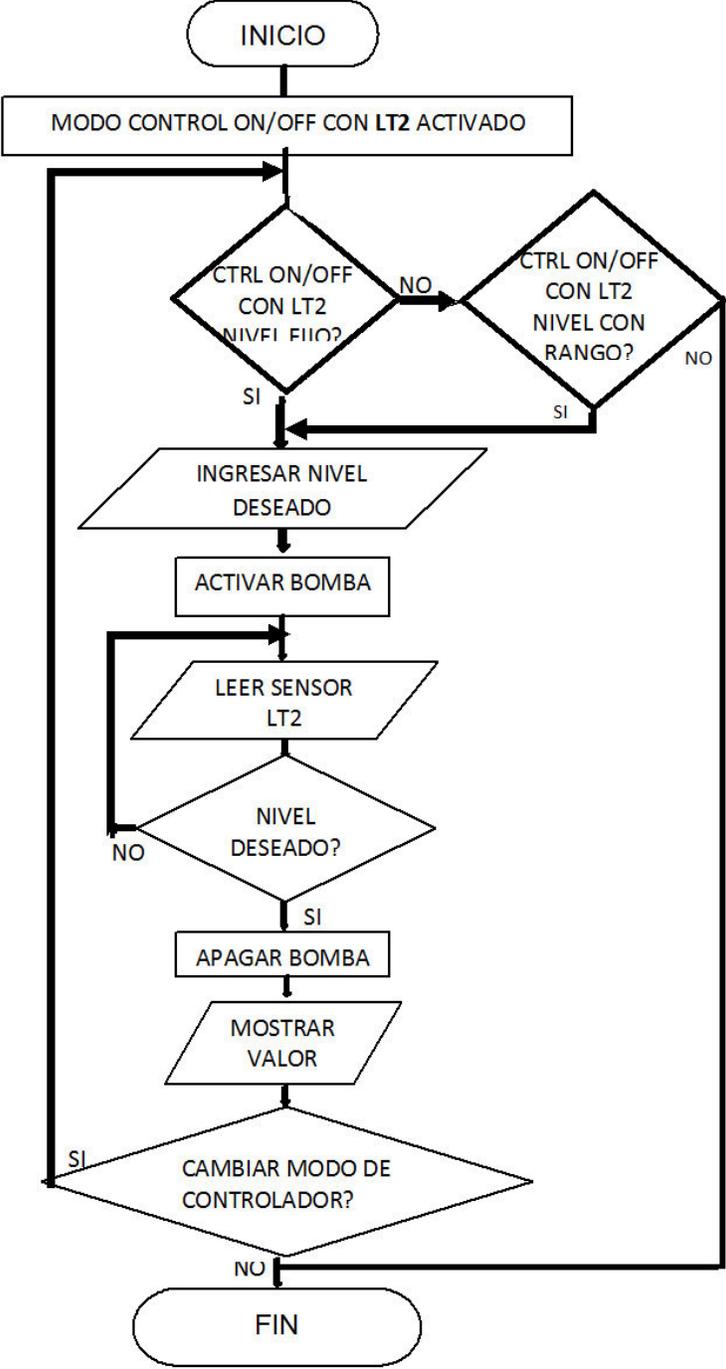


Figura 3.4: Control on-off mediante sensor ultrasónico. Fuente: Autor

El controlador PID del proceso se representa en la figura 3.5 y en la figura 3.6 se muestra el bloque PID de Unity Pro S que se configura para controlar la planta de nivel T5552 de Amatrol, de acuerdo a la configuración y sintonización realizada se introducen los parámetros obtenidos por el método de dos puntos haciendo uso del modelo de Alfaro según la tabla 3.3. Además en la tabla 3.2 se describe cada una de las entradas.

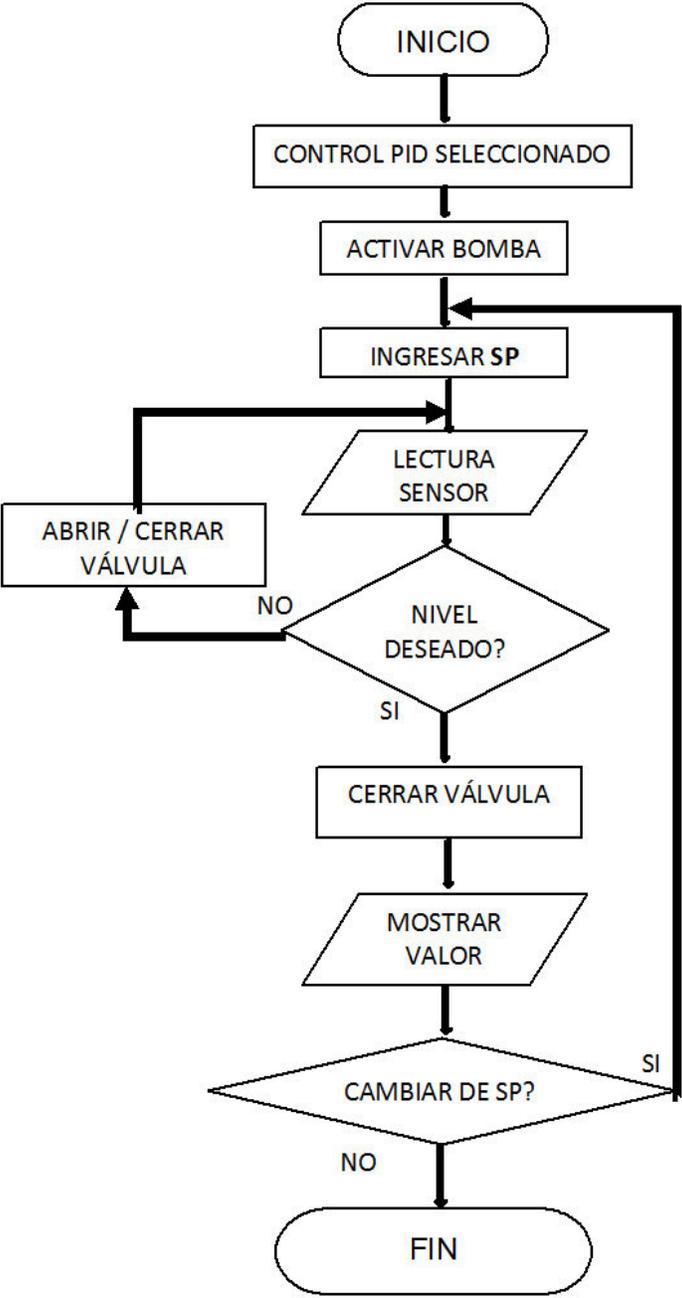


Figura 3.5: Controlador PID. Fuente: Autor

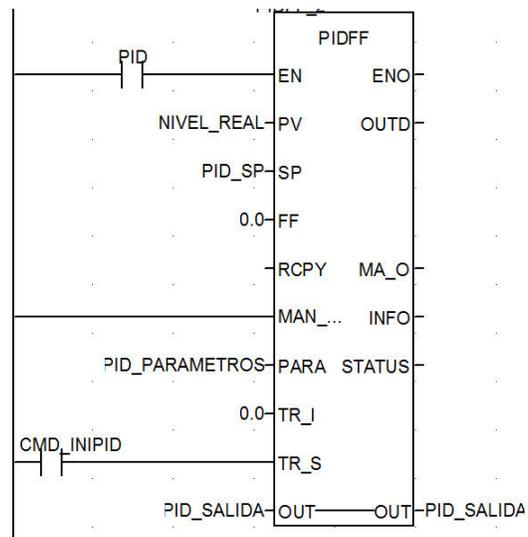


Figura 3.6: Bloque PID. Fuente: Autor

Parámetro	Tipo datos	Descripción
PV	REAL	Valor de proceso
SP	REAL	Consigna
FF	REAL	Entrada de interrupción
RCPY	REAL	Copia de la variable manipulada en ese momento
MAN_AUTO	BOOL	Modo de funcionamiento del controlador: 1: Modalidad automática 0: Modalidad manual
PARAMETROS	Para_PIDFF	Parámetro
TR_I	REAL	Entrada de inicialización
TR_S	BOOL	Comando de inicialización
OUT	REAL	Valor absoluto
OUTD	REAL	Salida de valor incremental: diferencia entre la salida del ciclo actual y la del ciclo anterior
MA_O	BOOL	Modo de funcionamiento actual de los bloques de funciones: 1: modalidad de funcionamiento automático 0: otra modalidad de funcionamiento (por ejemplo, modalidad manual o de seguimiento)
INFO	Info_PIDFF	Información
STATUS	WORD	Palabra de estado

Tabla 3.2: Entradas bloque controlador PID [59].

Parámetros PID	Tipo	Dirección	Valor	Observación
pv_inf	REAL	%MW302	0.0	Límite inferior del rango del valor real
pv_sup	REAL	%MW304	25.0	Límite superior del rango del valor real
out_inf	REAL	%MW306	0.0	Límite inferior del rango de valores de salida
out_sup	REAL	%MW308	100.0	Límite superior del rango de valores de salida
rev_dir	BOOL	%MW310	false	1 acción directa del controlador PID
mix_par	BOOL	%MW310	true	0 controlador PID con estructura mixta
kp	REAL	%MW312	145.9970	Coefficiente de acción proporcional (ganancia)
ti	TIME	%MW314	t#18.4s	Tiempo integral
td	TIME	%MW316	t#4.6s	Tiempo diferencial
kd	REAL	%MW318	0.725	Ganancia diferencial
out_min	REAL	%MW330	0.0	Límite inferior de la salida
out_max	REAL	%MW332	100.0	Límite superior de la salida

Tabla 3.3: Parámetros del controlador PID [59].

Se implementaron dos bloques de conversión descritos en la figura 3.7; el primer bloque convierte la lectura entera a flotante y el segundo bloque toma esa lectura flotante y la divide entre 10 para tener una escala de 0 a 25 cm³ que es el rango en el tanque de procesos.

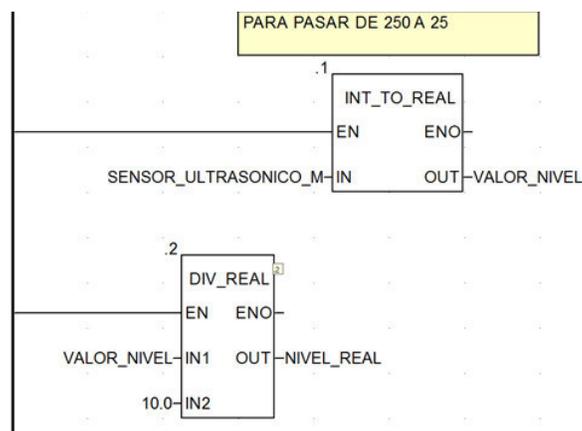


Figura 3.7: Escalización a 25cm³. Fuente: Autor

3.1.2. Aplicativo desarrollo Vijeo Designer

Vijeo Designer es un software diseñado para la programación de pantallas HMI de Schneider Electric, para este trabajo se tiene una pantalla de la serie MHIGTO3510, el entorno permite la adquisición de datos, manipulación de variables, selección de modos de funcionamiento que desde la animación de imágenes simulan el comportamiento real de un determinado proceso.

Consecuente con lo anterior se desarrolló el proyecto (ver anexo 3), donde se programó 11 pantallas para el control de la planta objeto del trabajo, las cuales son descritas a continuación:

■ Pantalla de Inicio

Esta aparece una vez se enciende la HMI como se observa en la figura 3.8, y permite escoger entre dos imágenes diferentes las cuales son: Planta y Mímico de la Planta T 552.



Figura 3.8: Pantalla de Inicio. Fuente: Autor

■ Pantalla Planta

Al seleccionar la imagen donde se observa la planta, está abrirá una nueva pantalla, la cual simulara estar viendo la planta real, junto con el proceso que está ocurriendo en ella (ver figura 3.9).

- 1: Indica el nivel en el por medio del sensor capacitivo.
- 2: Indica el nivel por medio del sensor ultrasónico.
- 3: Abre una pantalla emergente de tendencias.

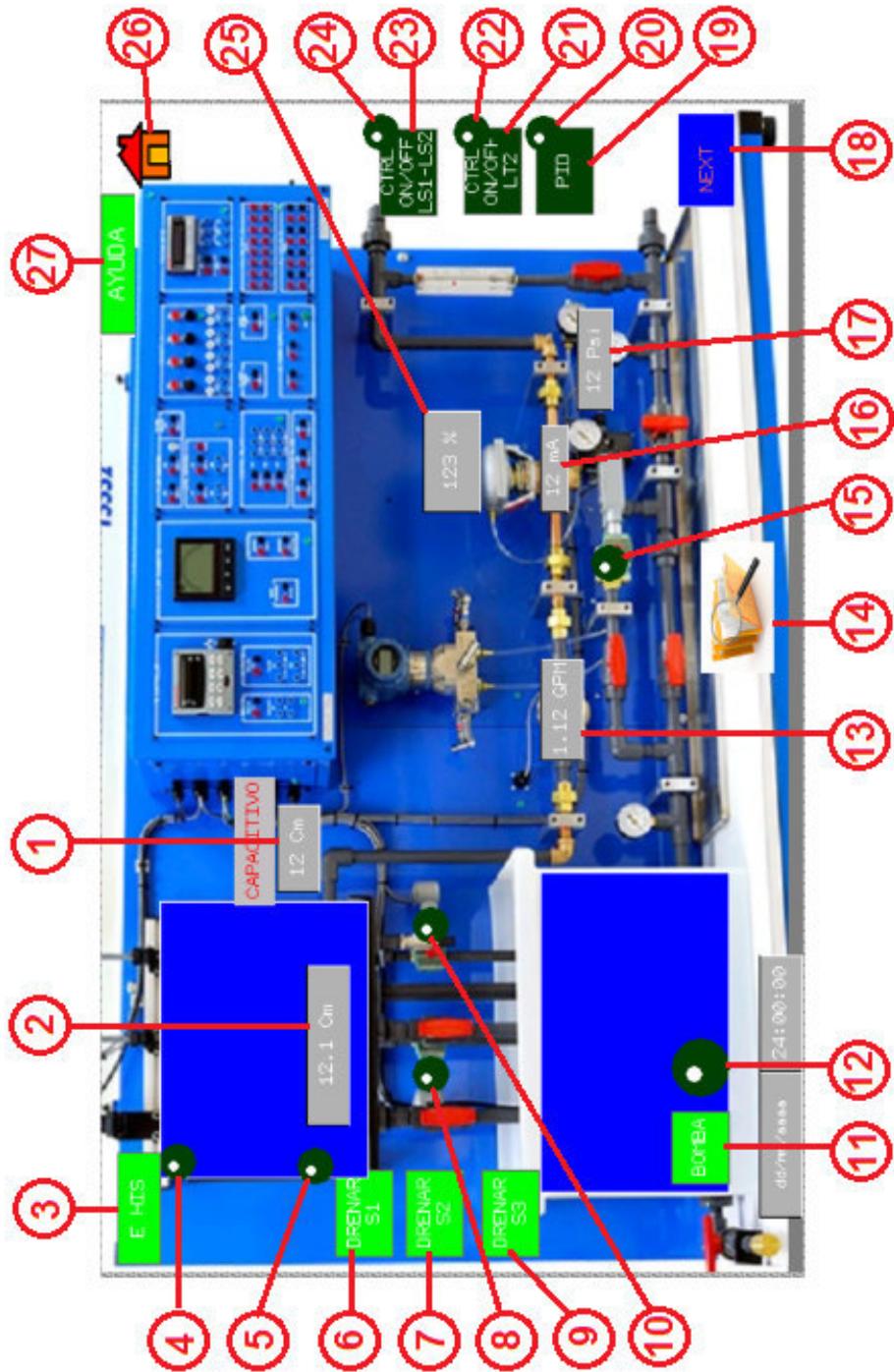


Figura 3.9: Pantalla de la planta. Fuente: Autor

- 4: Indicador de nivel alto.
- 5: Indicador de nivel bajo.
- 6: Activa la válvula solenoide 1.
- 7: Activa la válvula solenoide 2.
- 8: Indicador de activación de la válvula solenoide 2.
- 9: Activa la válvula solenoide 3.
- 10: Indicador de activación de la válvula solenoide 3.
- 11: Activa la bomba.
- 12: Indicador de activación de la bomba.
- 13: Indica el flujo que pasa por la tubería a través del sensor de flujo.
- 14: Abre la pantalla de históricos.
- 15: Indicador de activación de la válvula solenoide 1.
- 16: indica la corriente que entra en la electroválvula.
- 17: Indica la presión que existe en la tubería.
- 18: Desplaza a la siguiente pantalla.
- 19: Abre la pantalla para el controlador PID.
- 20: Indica si el control PID se encuentra activado.
- 21: Abre la pantalla para realizar control ON/OFF por medio del sensor ultrasónico.
- 22: Indica si el control ON/OFF con el sensor ultrasónico se encuentra activo.
- 23: Abre la pantalla para realizar control ON/OFF por medio de los interruptores de nivel LS1 y LS2.
- 24: Indica si el control ON/OFF por medio de los interruptores de nivel LS1 y LS2 se encuentra activo.
- 25: porcentaje de apertura de la electroválvula.
- 26: desplaza a la pantalla de inicio.

■ **Pantalla de Alarmas**

Esta indica si existe algún error en la toma de lectura analógica por parte de los sensores ultrasónico, capacitivo o de flujo. (ver figura 3.10), en ella se aprecia que sensor tiene error y muestra la fecha y hora en que ocurra.

Mensaje	Fecha	Hora	Estado
XXXXXXXXXX	aa/mm/dd	24:00:00	XXXXXXXXXX
XXXXXXXXXX	aa/mm/dd	24:00:00	XXXXXXXXXX
XXXXXXXXXX	aa/mm/dd	24:00:00	XXXXXXXXXX

Figura 3.10: Pantalla de Alarmas. Fuente: Autor

■ Pantalla de Tendencias

En la figura 3.11 se puede visualizar dos gráficas. Una es de color azul que representa el comportamiento del nivel dado en cm^3 dentro del tanque de procesos, la otra gráfica hace referencia a la señal de esfuerzo de control, que tiene un rango de 4 a 20 mA y se representa de color verde.

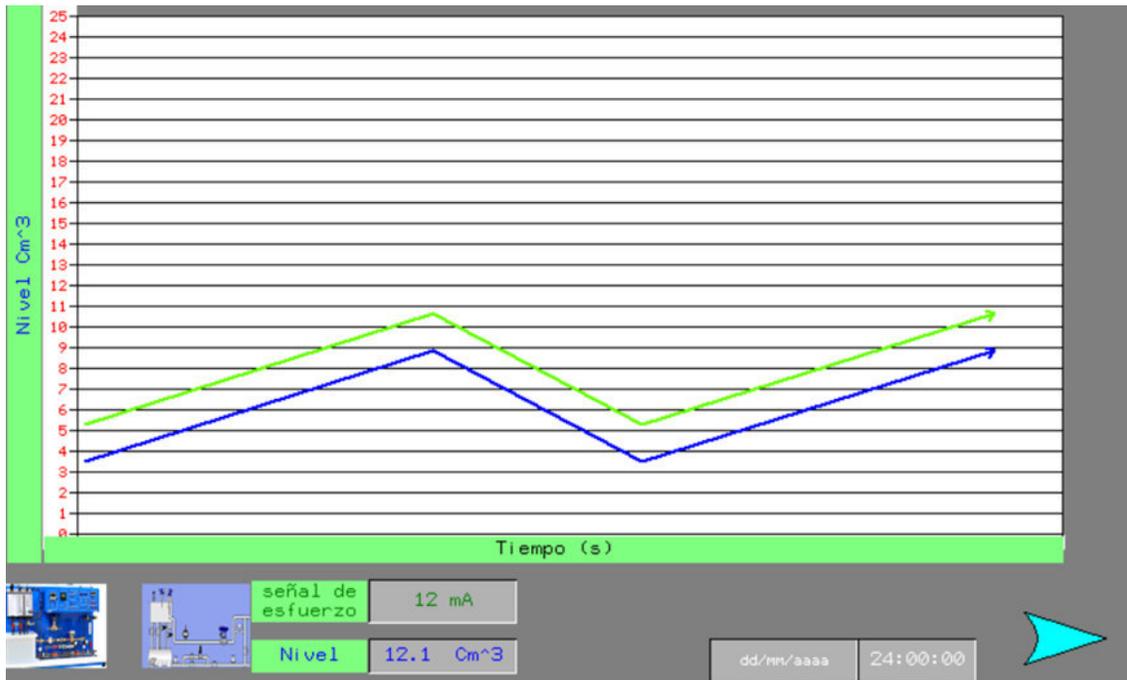


Figura 3.11: Pantalla de Tendencias. Fuente: Autor

■ Pantalla de Control ON/OFF LS1-LS2

Esta permite realizar control del nivel en el tanque de procesos de dos maneras diferentes, haciendo uso de los interruptores LS1 y LS2. La primera forma es seleccionando ON/OFF con rango, este permite mantener un nivel del líquido que oscila entre el interruptor LSH -200A y LSH-200B, que se pueden ajustar de manera manual según sean las necesidades de la práctica. La segunda forma es seleccionando ON/OFF Nivel fijo, cuando se desea mantener el nivel del tanque reservorio estable haciendo uso del interruptor LSH-200B. Ver figura 5.6

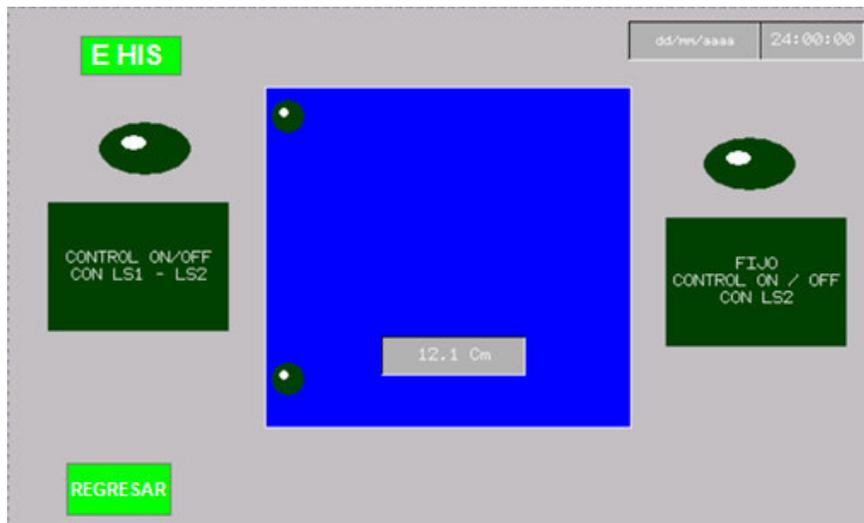


Figura 3.12: Pantalla de Control ON/OFF LS1-LS2. Fuente: Autor

■ **Pantalla de Control ON/OFF con sensor Ultrasónico**

Al igual que la anterior permite realizar control del nivel en el tanque de procesos de dos maneras diferentes esta vez haciendo uso de lecturas analógicas enviadas por el sensor ultrasónico. Al seleccionar ON/OFF LT2 CON RANGO, el usuario podrá escoger dos niveles: mínimo y máximo, garantizando que el nivel se mantenga dentro de ese rango. Si por el contrario escoge ON/OFF LT2 NIVEL FIJO el tanque mantendrá el nivel escogido (ver figura 3.13).

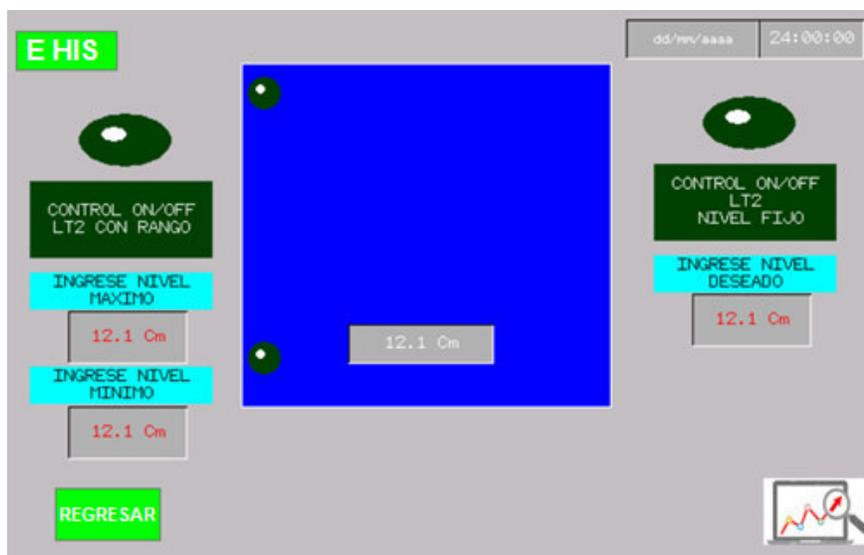


Figura 3.13: Pantalla de Control ON/OFF con sensor Ultrasónico. Fuente: Autor

■ Pantalla de Control PID

En esta pantalla como su nombre lo indica permite realizar control PID manteniendo la señal de referencia o SP que el usuario disponga, además admite la modificación de las constantes KP, Ti y Td en la opción “CONFIGURACION PID”, si se desea explorar con otros métodos de sintonización. En esta pantalla se puede visualizar la apertura de la válvula neumática de control proporcional, la corriente o señal de esfuerzo de control y la presión en ella ante los diferentes cambios en la apertura de la válvula (ver figura 3.14).

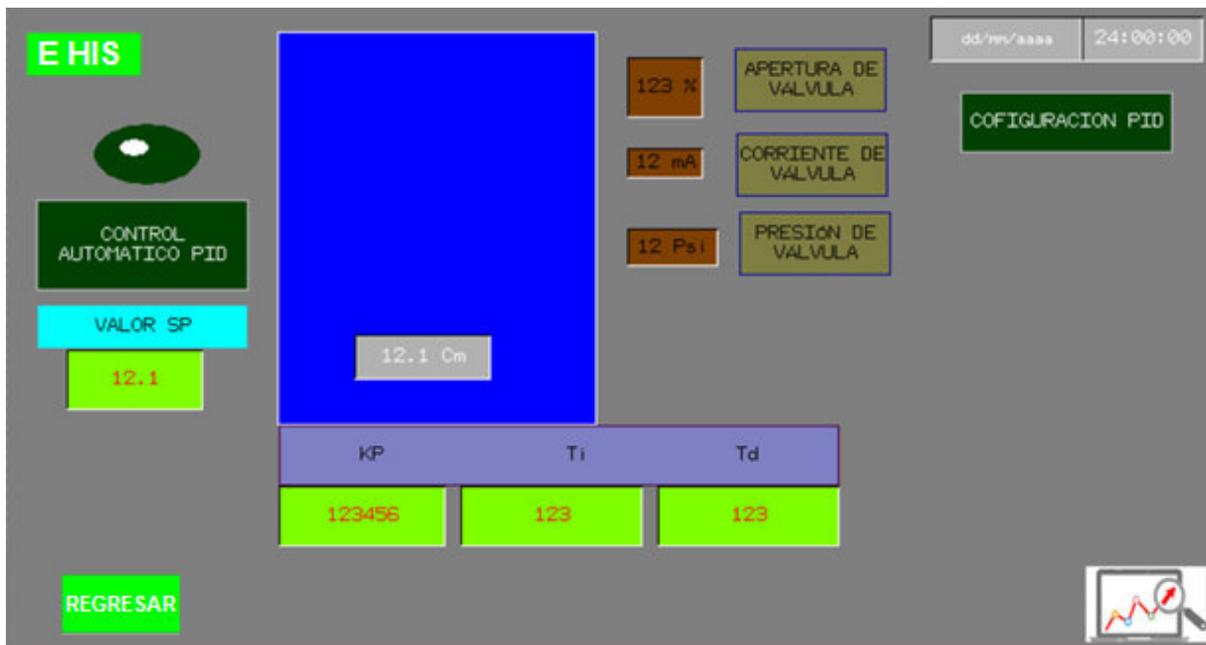


Figura 3.14: Pantalla de control PID. Fuente: Autor

■ Pantalla Gráfica del Controlador PID

En la figura 3.15 se muestra el comportamiento del controlador PID; cuenta con la toma de lectura de tres señales, la línea de color rojo representa el valor de referencia o SP asignado por el usuario, la de color verde es el esfuerzo de control que se envía a la válvula de diafragma por medio del PAC, para que la variable controlada representada de color azul mantenga el nivel o siga la señal de referencia.

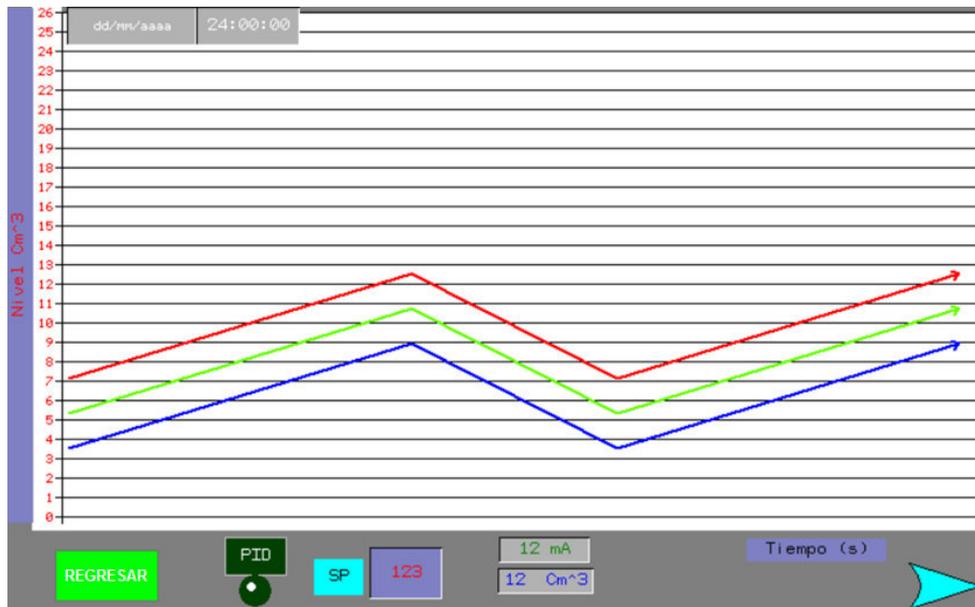


Figura 3.15: Pantalla gráfica del controlador PID. Fuente: Autor

■ **Pantalla de Entradas y Salidas**

En ella se puede visualizar los diferentes estados de las variables, así como los comandos de control y las lecturas análogas que presentan errores (ver figura 3.16).

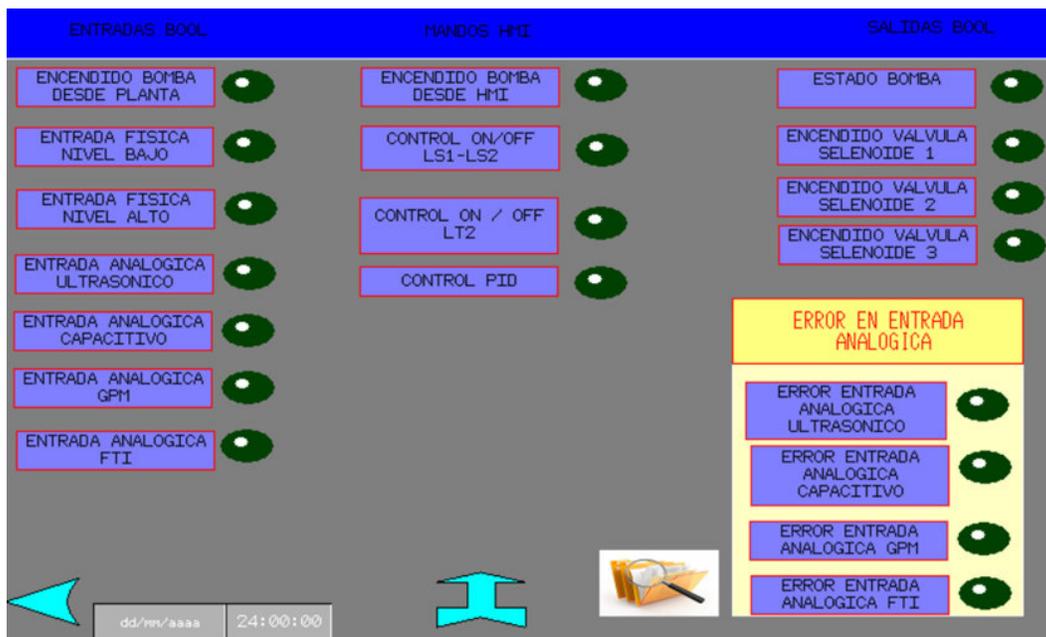


Figura 3.16: Pantalla de Entradas y Salidas. Fuente: Autor

■ Pantalla de Históricos

Se muestra el comportamiento de las variables a través del tiempo, es decir permite al usuario conocer el comportamiento de estas en fechas u horas anteriores (ver figura 3.17).



Figura 3.17: Pantalla de históricos. Fuente: Autor

■ Configuración de las Teclas de la Pantalla

En la figura 3.18 se muestra la configuración asignada a cada tecla presente en la pantalla HMI, los cuales desplaza a las diferentes ventanas presentes en la interfaz.



Figura 3.18: Configuración de las teclas de la pantalla. Fuente: Autor

La configuración mostrada en la figura 3.18 puede ser observada mediante un menú como aparece en la figura 3.19, seleccionando la opción “AYUDA”, la cual se encuentra expuesta en las diferentes pantallas mencionadas anteriormente.



Figura 3.19: Menú de teclas. Fuente: Autor

■ Pantalla Mímico de la Planta T 5552

Esta cuenta con los mismos privilegios que la Pantalla Planta, lo único que se diferencia es que se puede observar el diagrama del proceso de una manera más clara como se ve en la figura 3.20.



Figura 3.20: Pantalla mímico de la planta T 5552. Fuente: Autor

3.1.3. Aplicativo desarrollo Vijeo Citect

Es un software de Schneider Electric diseñado para la programación de sistemas SCADA en PC. Este programa puede ser instalado distribuidamente, además puede conectarse a una base de datos multiusuario. El entorno permite la adquisición de datos así como almacenar en grandes cantidades para realizar gestión y estadística, manipulación de variables, selección de modos de funcionamiento que desde la animación de imágenes simulan en un pc el comportamiento real de un proceso.

Consecuente con lo anterior se desarrolló el proyecto (ver anexo 4), donde se programó 12 pantallas para el control de la planta objeto del trabajo, a continuación se describen las más importantes:

- **Pantalla de Inicio**

Esta aparece una vez se inicia la SCADA en el PC, permite escoger entre dos imágenes diferentes las cuales son: Planta y Mímico como se aprecia en la figura 3.21.



Figura 3.21: Pantalla de Inicio. Fuente: Autor

- **Pantalla Mímico de la Planta T 5552**

En ella se puede visualizar todo el proceso que ocurre en la planta, permite realizar acciones de control, además se puede observar la tendencia de la variable nivel y porcentaje de operación en válvula, se observa en la figura 3.22.

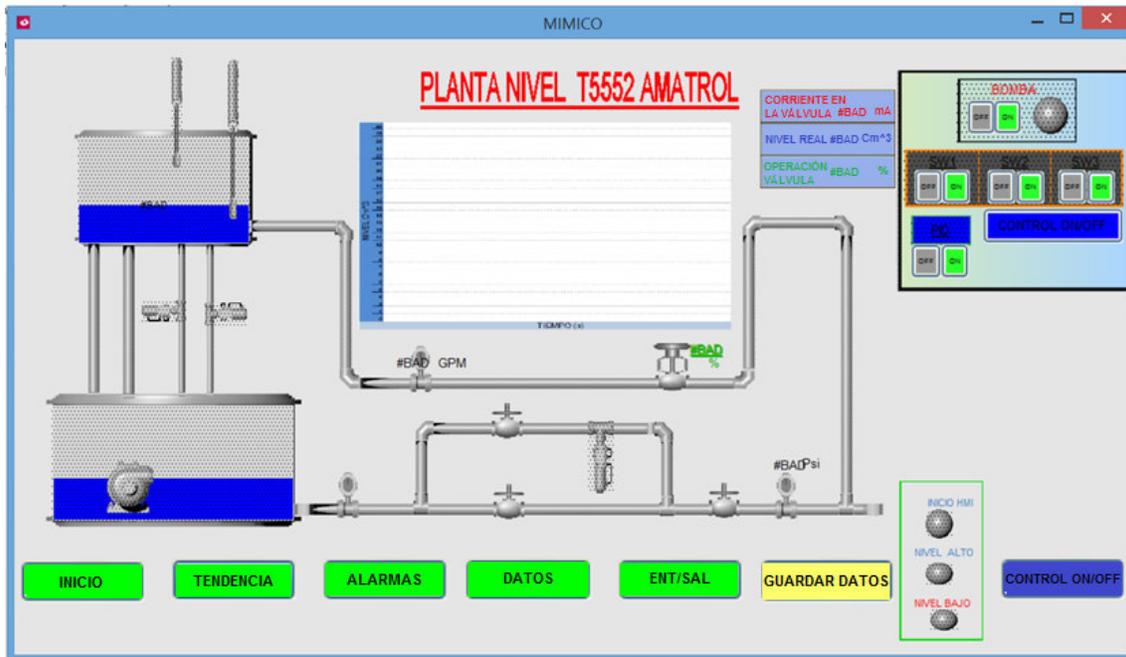


Figura 3.22: Pantalla mímico de la planta T 5552. Fuente: Autor

■ **Pantalla de Alarmas**

Esta pantalla indica si existe algún error en la toma de lectura analógica por parte de los sensores o si hay desbordamiento por debajo o por encima del valor de nivel permitido, así como también si una variable digital que ha sido programada como alarma es activada. (ver figura 3.23)

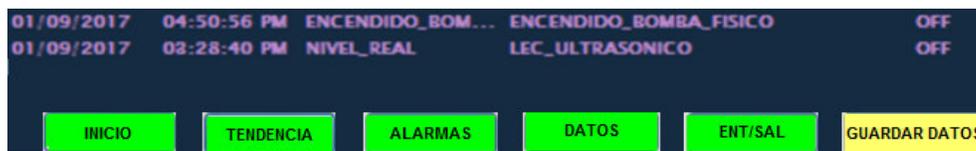


Figura 3.23: Pantalla de Alarmas. Fuente: Autor

■ **Pantalla de Entradas y Salidas**

Se programó para visualizar los diferentes estados de las variables así como los comandos de control y las lecturas análogas que presentan errores y con ello tener una percepción del funcionamiento general del proceso (ver figura 3.24).



Figura 3.24: Pantalla de Entradas y Salidas. Fuente: Autor

■ **Pantalla de Tendencias**

La figura 3.25 permite visualizar dos gráficas. Una es de color azul que representa el comportamiento del nivel dado en cm^3 dentro del tanque de procesos, la otra gráfica hace referencia a la señal de esfuerzo de control, que tiene un rango de 4 a 20 mA y se representa de color verde.

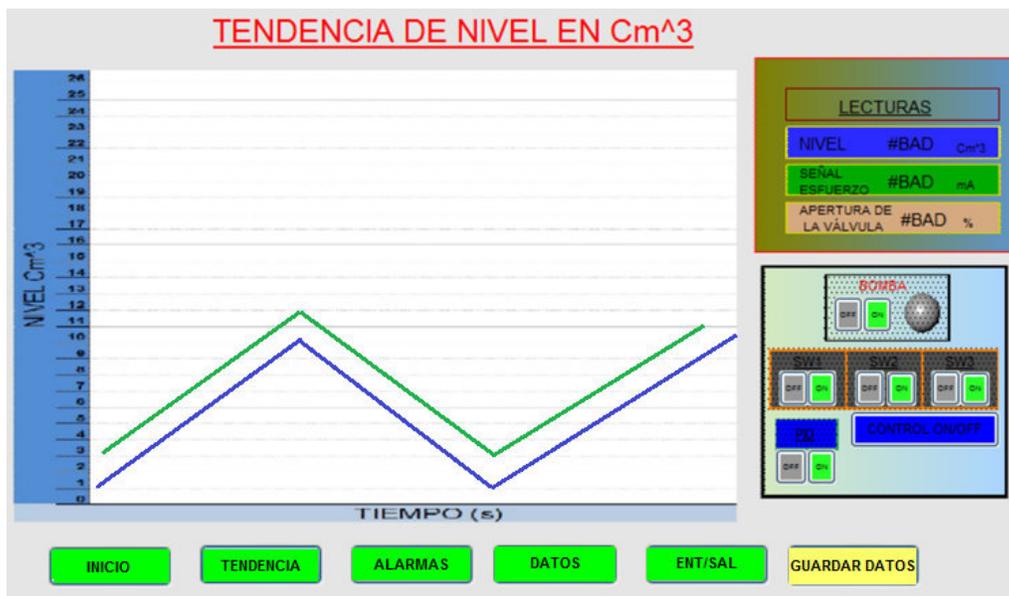


Figura 3.25: Pantalla de Tendencias. Fuente: Autor

■ Pantalla de Históricos

En esta se muestra gráficamente el comportamiento de las variables a través del tiempo, es decir permite al usuario conocer el estado de ellas en fechas u horas anteriores, además de admite extraer los valores numéricos ya sean digitales o analógicos como se observa en la figura 3.26.



Figura 3.26: Pantalla de Históricos. Fuente: Autor

■ Pantalla de Control ON/OFF con Interruptores

Para acceder a la Pantalla de Control ON/OFF con Interruptores se deben seguir los pasos descritos en la figura 3.27. Este permite realizar la manipulación del nivel en el tanque de procesos de dos maneras diferentes, haciendo uso de los interruptores LS1 y LS2. La primera forma es seleccionando ON/OFF con LS1-LS2, garantizando que el nivel del líquido se mantenga entre el interruptor LSH -200A y LSH-200B, que se pueden ajustar de manera manual según sean las necesidades de la práctica. La segunda forma es seleccionando ON/OFF con LS2, con el cual permanece fijo el nivel del tanque reservorio, haciendo uso del interruptor LSH-200B.



Figura 3.27: Pantalla de Control ON/OFF con Interruptores. Fuente: Autor

■ **Pantalla de Control ON/OFF con sensor Ultrasónico**

En ella, al igual que la anterior permite realizar control del nivel en el tanque de procesos de dos maneras diferentes haciendo uso de lecturas analógicas enviadas por el sensor ultrasónico. Al seleccionar ON/OFF LT2 CON RANGO, el usuario podrá escoger dos niveles: mínimo y máximo, garantizando que este se mantenga dentro de ese rango. Si por el contrario escoge ON/OFF LT2 NIVEL FIJO el tanque mantendrá el nivel escogido por el usuario como se visualiza en la figura 3.28.



Figura 3.28: Pantalla de Control ON/OFF con sensor Ultrasónico. Fuente: Autor

■ Pantalla de Control PID

En esta pantalla como su nombre lo indica, permite realizar control PID manteniendo la señal de referencia o SP que el usuario disponga, además admite la modificación de las constantes KP, Ti y Td en la opción “CONFIGURACION PID”, si se desea explorar con otros de métodos de sintonización (ver figura 3.29).

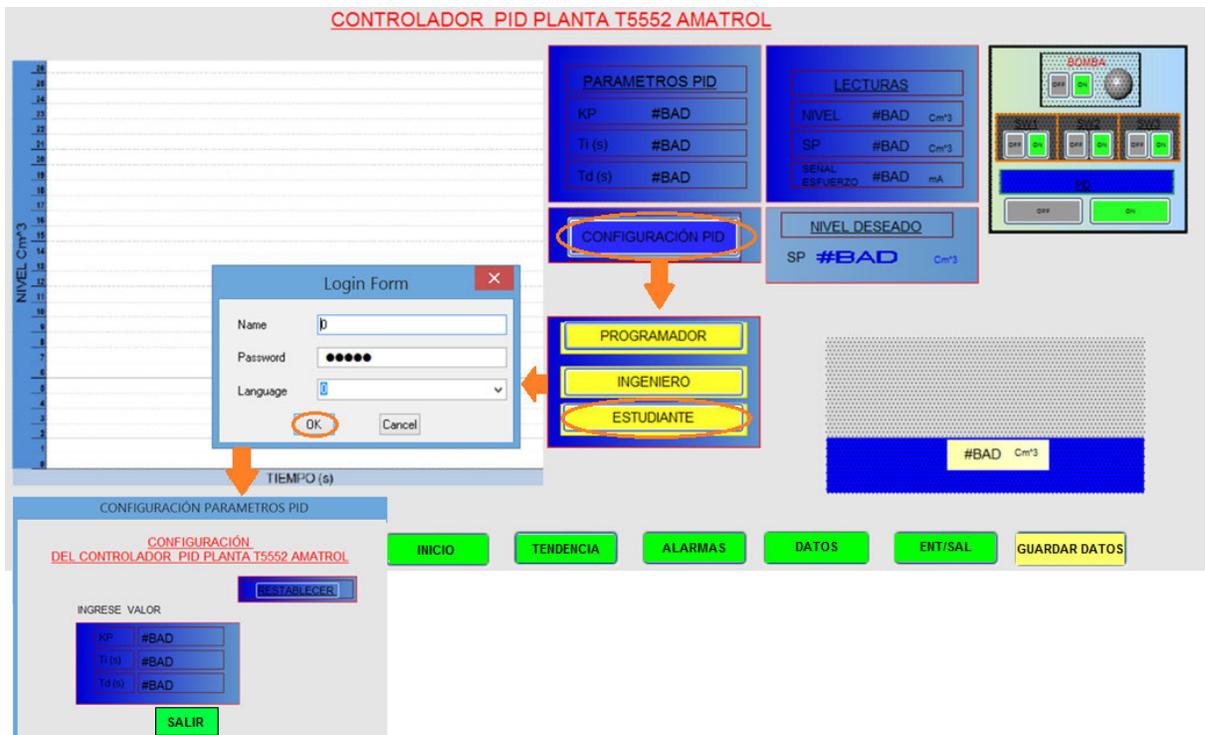


Figura 3.29: Pantalla de control PID. Fuente: Autor

■ Pantalla de la Planta

En ella se muestra la vista general y aspecto real de la planta como se observa en la figura 3.30 y permite tener control de la misma además de mostrar el proceso que en ella ocurre.

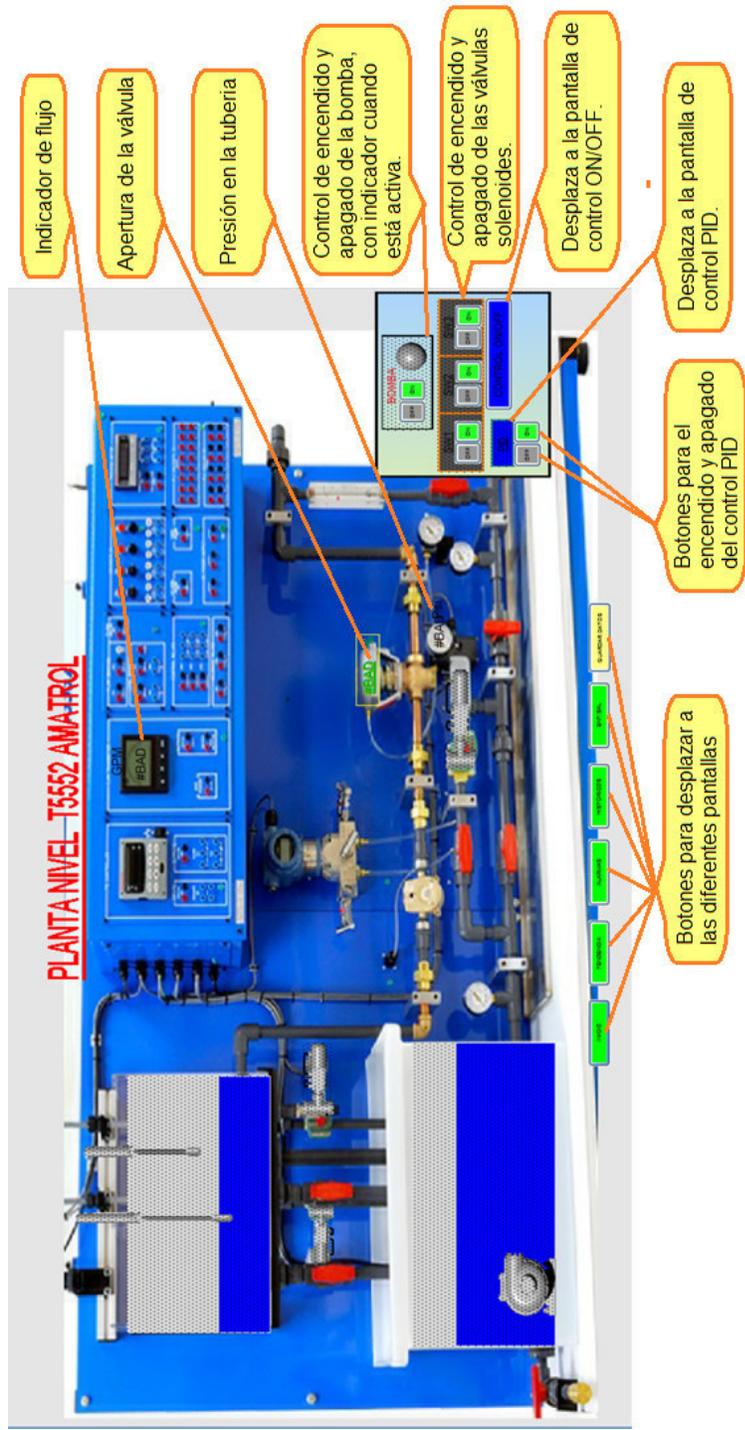


Figura 3.30: Pantalla de la Planta. Fuente: Autor

3.2. MÓDULO DE ELECTRÓNICA

Para la lectura y envío de datos del PAC - Planta, fue necesario realizar el cableado del módulo digital y el analógico, teniendo en cuenta las recomendaciones del manual Modicon M340 (ver anexo 1), para evitar daños en los equipos.

■ Conexión módulo digital BMX DDM 16025 a la planta T 5552

Las conexiones del PLC DISCRETE I/O al FEMALE PLUG se visualizan en la figura 3.31, y fueron verificadas mediante pruebas de continuidad.

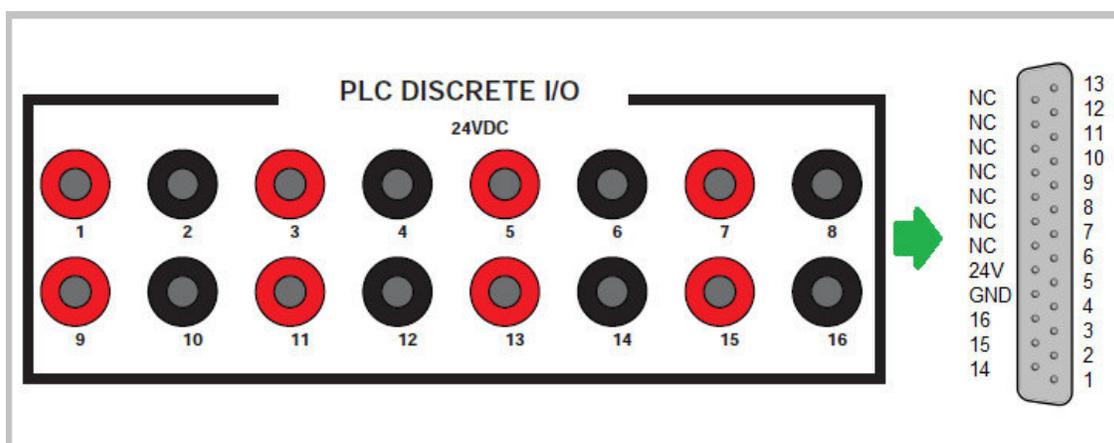


Figura 3.31: Conexión PLC DISCRETE I/O FEMALE PLUG. Fuente: Autor

Las conexiones del MALE PLUG al módulo digital BMX DDM 16025, fueron realizadas teniendo en cuenta el orden de las conexiones vistas en la figura 3.31, como se observa en la figura 3.32.

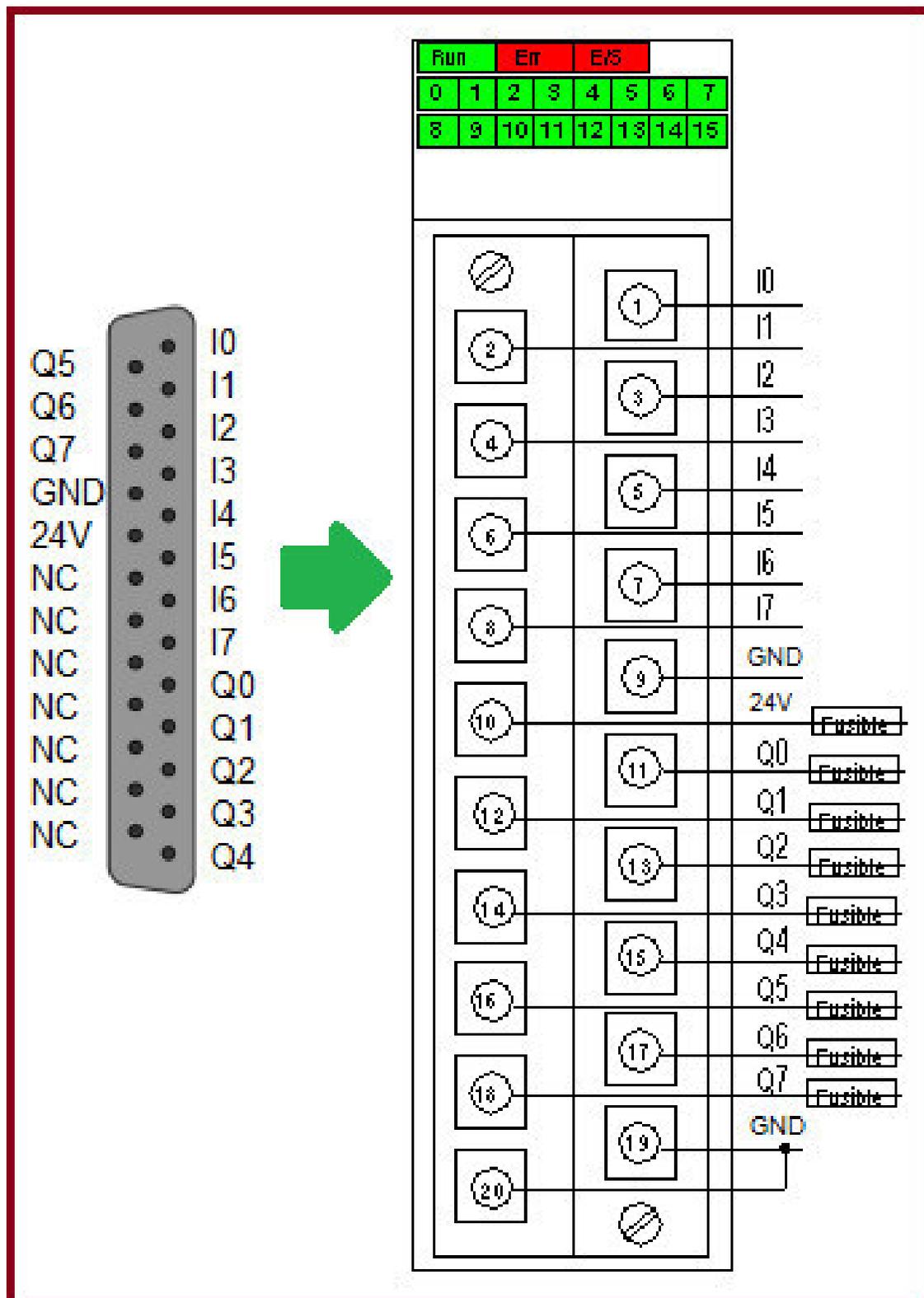


Figura 3.32: Conexión MALE PLUG a módulo BMX DDM 16025. Fuente: Autor

- **Conexión módulo analógico BMX AMM 0600 a la planta T 5552**

Para realizar las conexiones del módulo analógico BMX AMM 0600 a la planta, se realizaron los mismos pasos que para el módulo digital descrito anteriormente, como se observa en las figuras 3.33 y 3.34 respectivamente.

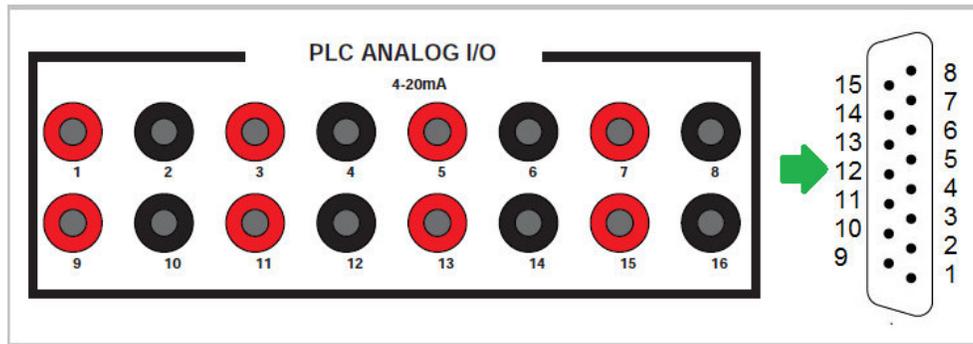


Figura 3.33: Conexión PAC ANALOG I/O al FEMALE PLUG. Fuente: Autor

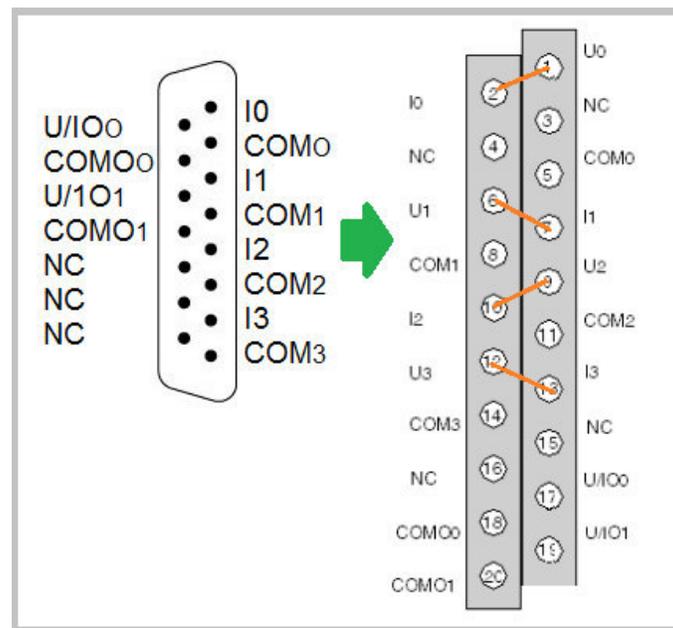


Figura 3.34: Conexión MALE PLUG a módulo BMX AMM 0600. Fuente: Autor

- **Diagrama de conexiones en la planta T 5552**

En la figura 3.35 se visualiza el diagrama de conexiones en la planta para la realización del sistema SCADA.

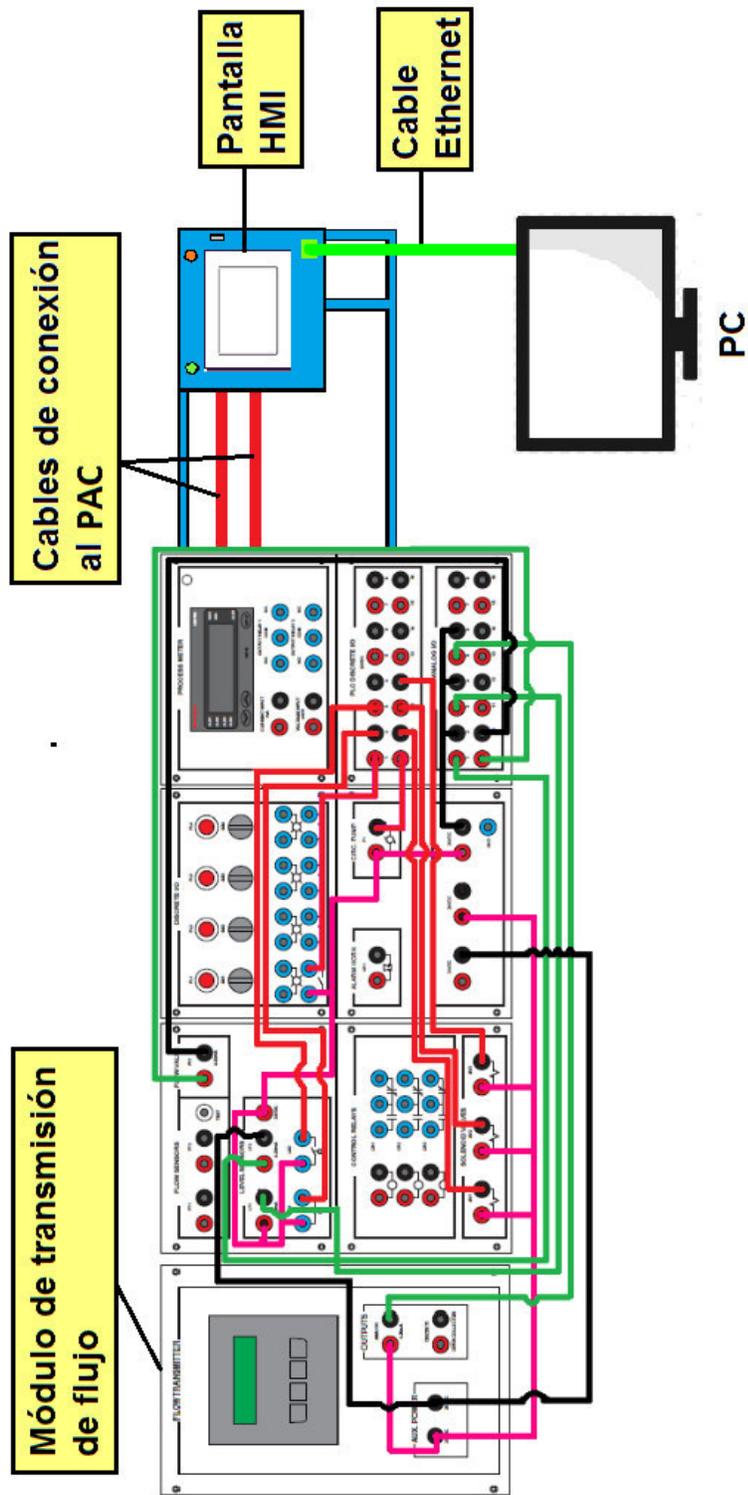


Figura 3.35: Diagrama de conexiones en la planta T 5552. Fuente: Autor

3.2.1. Comunicación

La comunicación entre los diferentes equipos fue realizada por medio del protocolo de comunicación Ethernet. Con ayuda de un Switch se pudo crear la red, como se observa en la figura 3.36.

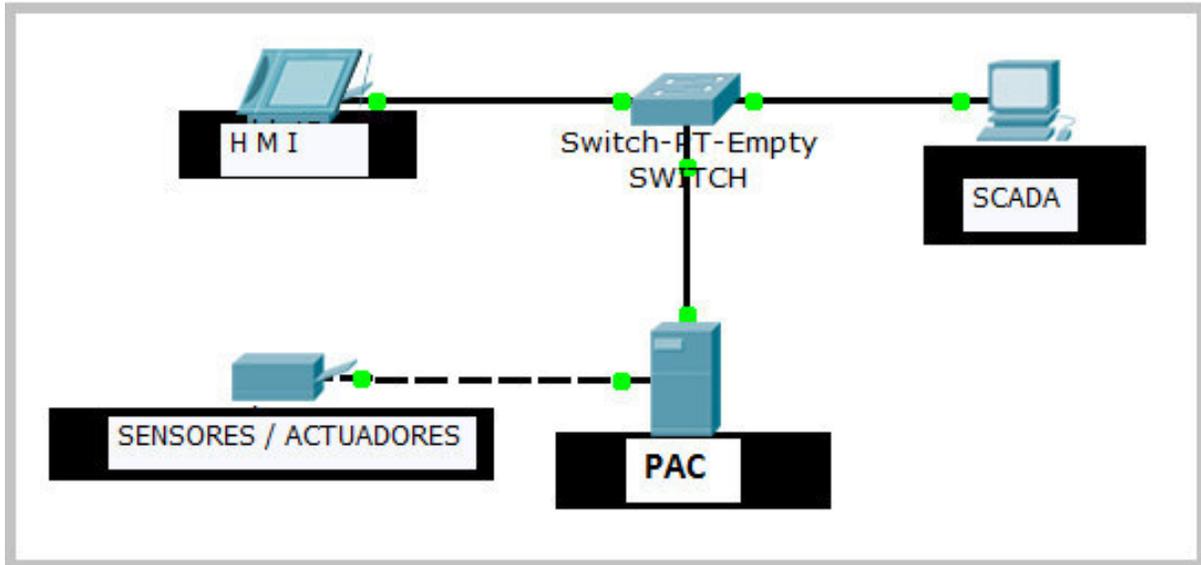


Figura 3.36: Comunicación entre los diferentes equipos. Fuente: Autor

3.3. MÓDULO MECÁNICO Y DISEÑO DEL CAJÓN

Para la ubicación de los equipos que conforman el sistema SCADA, se diseñó provisionalmente un cajón asemejando un gabinete industrial, donde pudieran ser ubicados estos. En la figura 3.37 se visualiza las dimensiones de dicho elemento.

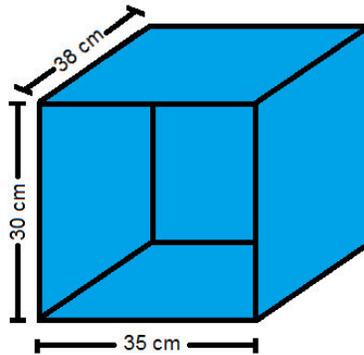


Figura 3.37: Dimensiones del cajón. Fuente: Autor

La figura 3.38 muestra las perforaciones realizadas para la ubicación de la pantalla HMI, los indicadores led, la entrada Ethernet y el interruptor de encendido y apagado de la interfaz HMI.

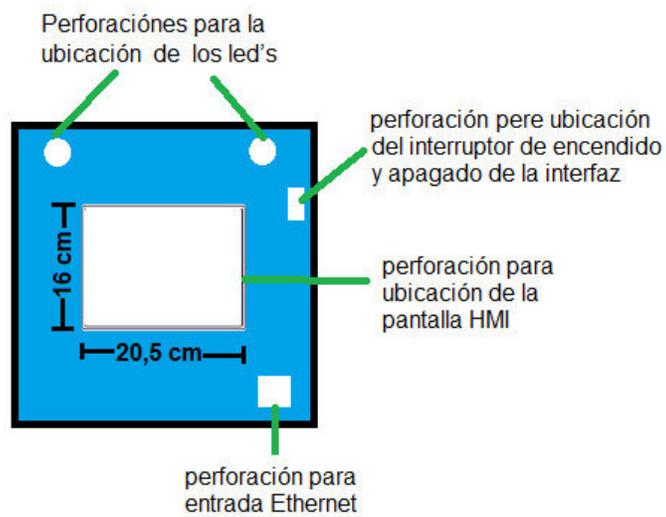


Figura 3.38: Perforaciones realizadas. Fuente: Autor

En la figura 3.39 se observa la parte frontal del cajón.



Figura 3.39: Parte frontal del cajón. Fuente: Autor

El sostenimiento del cajón se hizo por medio de una estructura metálica atornillada a la planta T5552 teniendo en cuenta que sea capaz de sostener el peso de este (ver figura 3.40).

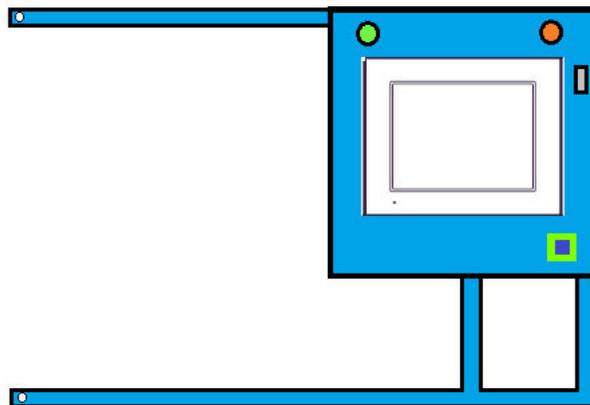


Figura 3.40: Estructura. Fuente: Autor

La ubicación de los equipos dentro del cajón se visualizan en la figura 3.41.



Figura 3.41 : Ubicación de los equipos dentro del cajón. Fuente: Autor

Capítulo 4

RESULTADOS

En este capítulo se presentaran los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo para la planta T5552 de Amatrol que se encuentra en el laboratorio de control de procesos, el cual se puede observar de manera general en la figura 4.1, donde se muestra el estado final y el funcionamiento de la pantalla HMI al igual que el sistema SCADA interactuando con el proceso de la planta.



Figura 4.1: Sistema SCADA. Fuente: Autor

4.1. Control ON/OFF con Interruptor LS2

En la figura 4.2, se presentan los resultados para el control ON/OFF con interruptor LS2, donde se aprecia el comportamiento de dos variables; la variable de color rojo representa el encendido de la bomba, la cual permanece en alto hasta que el nivel en el tanque reservorio activa el interruptor LS2, garantizando este nivel mediante el encendiendo y apagando la bomba. Por otro lado se tiene la variable de color azul que representa el nivel en el tanque, que se va incrementando hasta que alcanza el interruptor LS2, y permanece estable en ese nivel.

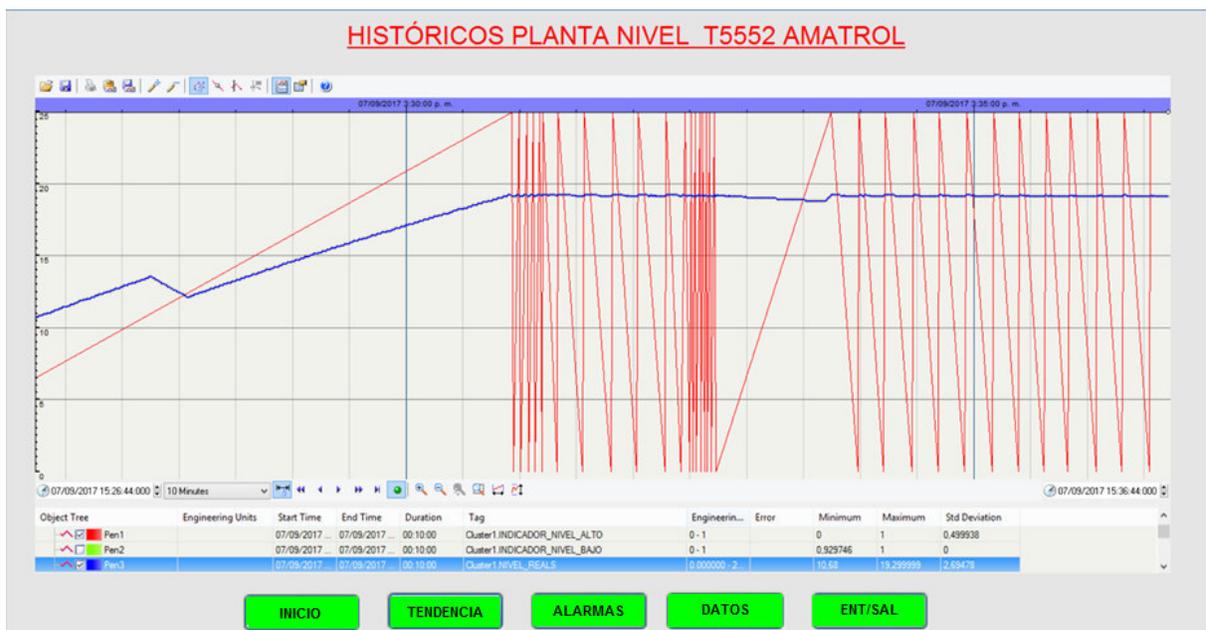


Figura 4.2: Resultados control ON/OFF nivel fijo con interruptor LS2. Fuente: Autor

La figura 4.3 muestra las entradas, comandos, salidas y errores en las lecturas análogas durante la ejecución de este tipo de control.



Figura 4.3: I/O activas en control ON/OFF nivel fijo con interruptor LS2. Fuente: Autor

4.2. Control ON/OFF con rango variable haciendo uso de los Interruptores LS1-LS2

En este tipo de control, el nivel oscila un rango, como se puede observar en la figura 4.4 donde la variable de color azul representa el nivel que tiene como mínimo 12 cm y máximo 15 cm, que son las posiciones donde fueron ubicados de manera manual los interruptores LS1 y LS2; la variable de color verde hace referencia a la bomba que se enciende o se apaga de manera automática para garantizar que el nivel siempre se mantenga dentro del rango seleccionado.

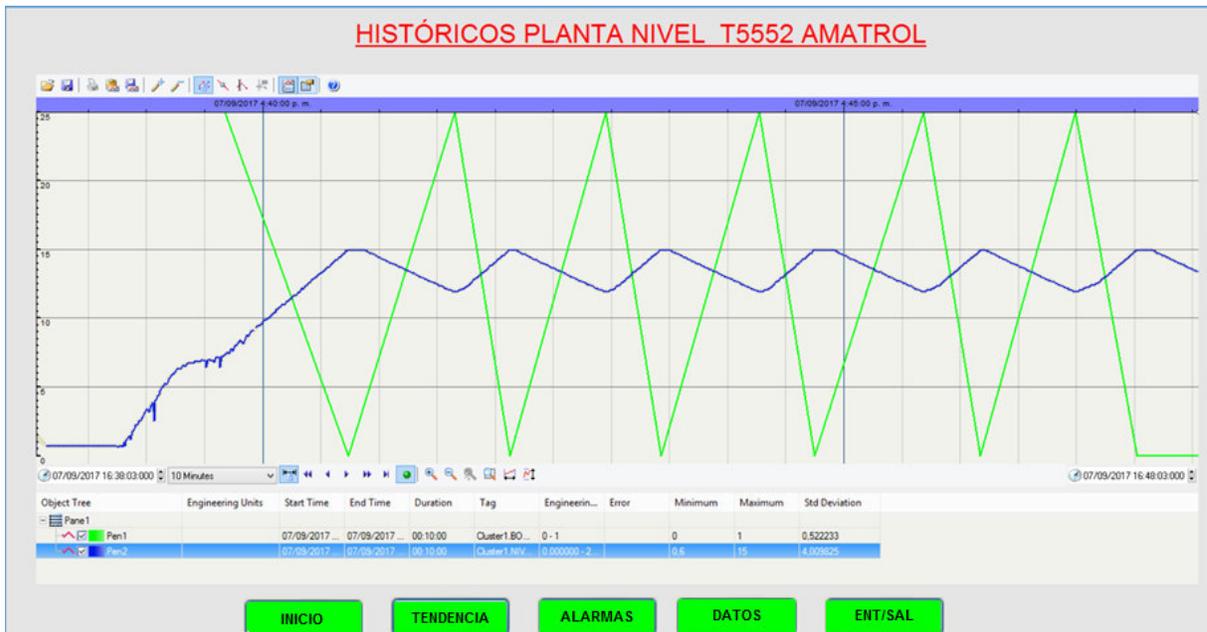


Figura 4.4: Control ON/OFF rango variable con LS1-LS2. Fuente: Autor

La figura 4.5 muestra las entradas, comandos, salidas y errores en las lecturas análogas durante la ejecución de este tipo de control.



Figura 4.5: I/O activas en control ON/OFF rango variable con LS1-LS2. Fuente: Autor

4.3. Control ON/OFF de nivel fijo usando con sensor LT2 ultrasónico.

Este tipo de control mantiene el nivel fijo haciendo uso de lecturas analógicas captadas por el sensor ultrasónico, que va a encender o apagar la bomba, garantizando así que el nivel alcance y se mantenga en la señal de referencia asignada por el usuario. En la figura 4.6 se aprecian dos graficas las cuales corresponden a nivel (color azul) que se va incrementando hasta que alcanza la señal de referencia manteniéndose estable y el encendido de la bomba (color verde) que va variando de cero a uno para garantizar estabilidad en el nivel.

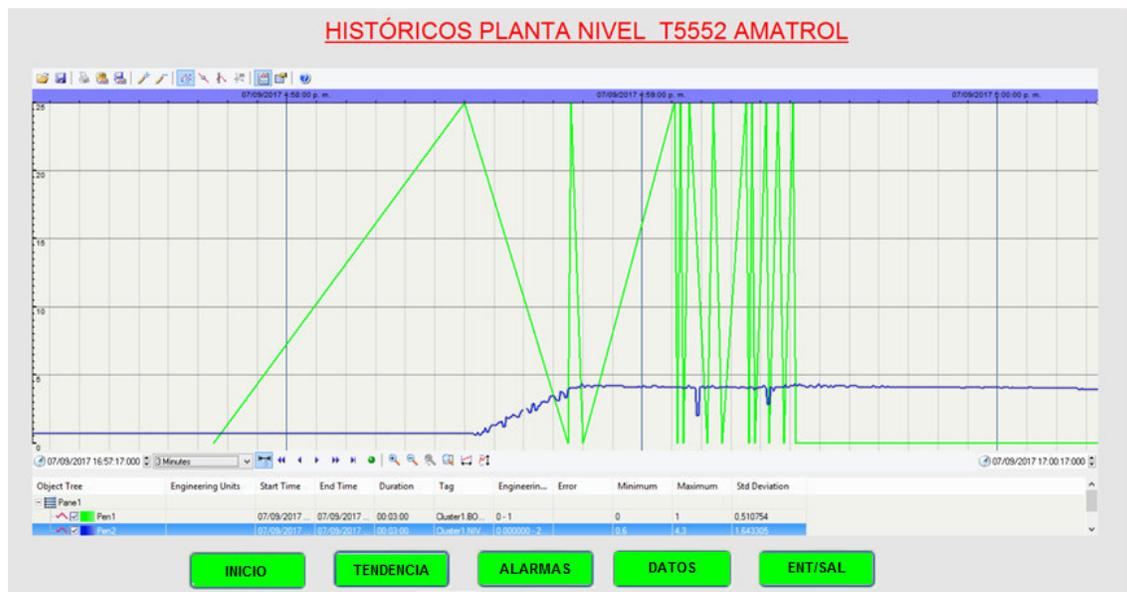


Figura 4.6: Control ON/OFF nivel fijo con sensor ultrasónico LT2. Fuente: Autor

La figura 4.7 muestra las entradas, comandos, salidas y errores en las lecturas análogas durante la ejecución de este tipo de control.



Figura 4.7: I/O activas durante control ON/OFF nivel fijo con sensor ultrasónico LT2.
Fuente: Autor

4.4. Control ON/OFF con rango de nivel usando sensor ultrasónico LT2

En la figura 4.8 se observa que la gráfica de color azul varía en un rango, esta variable representa el nivel en el tanque de procesos, y los límites superiores e inferiores donde oscila el nivel fueron asignados de manera digital en el sistema SCADA. Por otro lado la señal de color verde representa el encendido y apagado de la bomba para garantizar el nivel de referencia seleccionado.

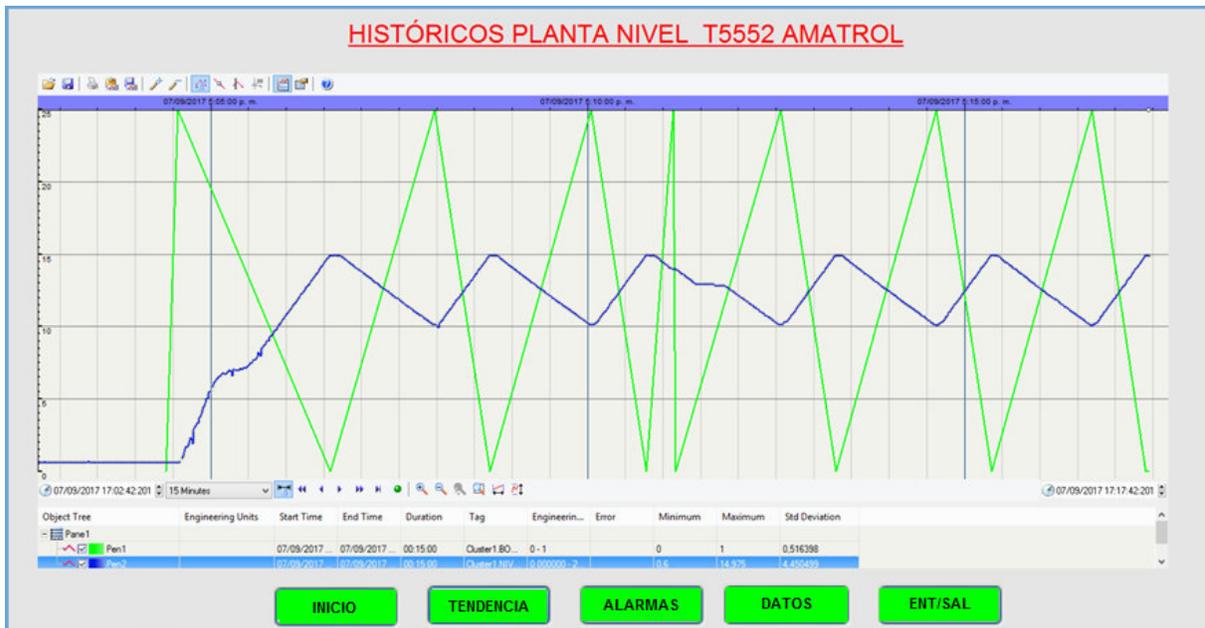


Figura 4.8: Control ON/OFF rango de nivel con sensor ultrasónico LT2. Fuente: Autor

4.5. Sintonización del control PID

La sintonización del controlador PID fue realizada mediante el método de lazo abierto, donde se obtuvo la curva de reacción del proceso y de esta manera se identificó el modelo, que para este caso fue de primer orden más tiempo muerto.

Una vez se obtuvo la curva de reacción se aplicó el método de dos puntos generalizado para hacer coincidir como mínimo en dos puntos el modelo con la curva real del proceso. Posteriormente se obtuvieron las constantes mediante las ecuaciones propuestas por Ziegler y Nichols en respuesta de razón de asentamiento de un cuarto para aplicárselas al controlador.

4.5.1. Curva de reacción

Para obtener la curva de reacción del sistema se realizó la conexión del compresor a la válvula controladora de presión PC-100, se verificó que el compresor de aire estuviera encendido y se configuró la válvula a 20 psi. Seguidamente se procedió a abrir completamente las válvulas HV 100-B, FV 100, HV 100-B, HV 100-A y HV 300 se dejó en una

posición de apertura media. La válvula HV 100-C se dejó en posición completamente cerrada para así mantener el flujo de agua en el tanque de procesos.

Posteriormente se ubicó la pantalla de históricos en Vijeo Citect, y se le asignó un porcentaje de operación del 70 % en la válvula de control de flujo hasta que el nivel fue fijo, posteriormente se efectuó un cambio de escalón al 50 % en la válvula y se hizo una espera para que de nuevo el nivel estabilizara como se visualiza en la figura 4.9.

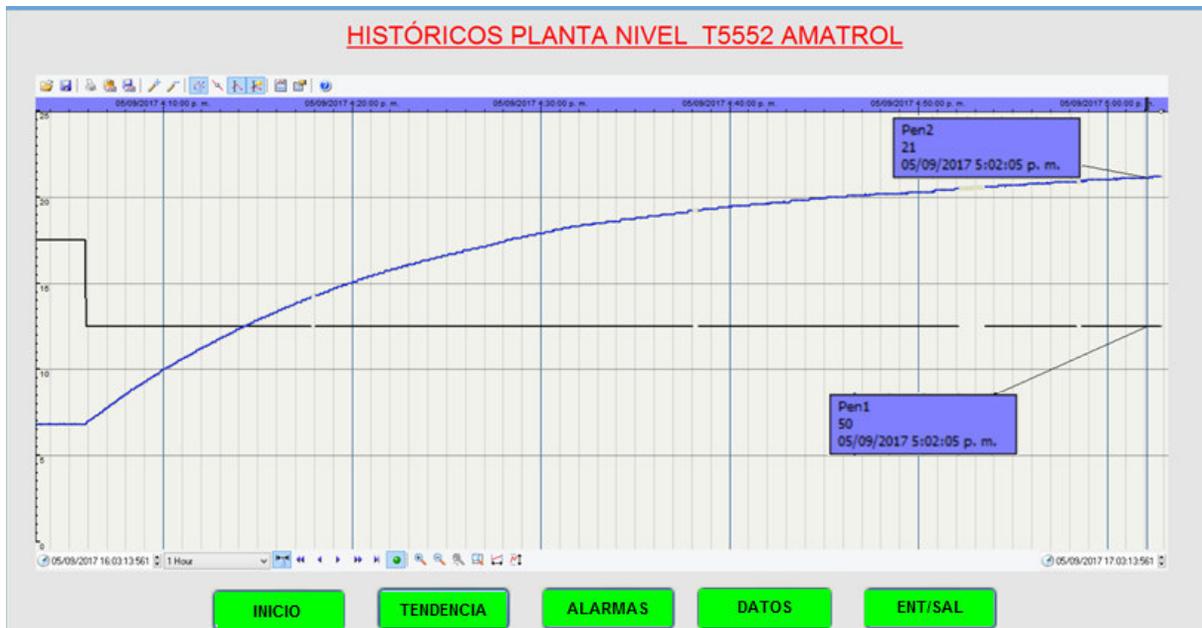


Figura 4.9: Curva de reacción. Fuente: Autor

Una vez obtenida la curva de reacción del proceso se procedió a extraer los datos de históricos en un archivo de Excel (ver figura 4.10) para luego graficarlos en Matlab como se observa en la figura 4.11 y así tener los tiempos de los porcentajes que requieren cada uno de los modelos de primer orden más tiempo muerto, para el método de dos puntos.

	A	B	C		A	B	C
1	Time	apertura	nivel	1322	1321	50	16,9
2	1	70	6,8428	1323	1322	50	16,9
3	2	70	6,85	1324	1323	50	16,9
4	3	70	6,815598	1325	1324	50	16,9
5	4	70	6,8	1326	1325	50	16,91733
6	5	70	6,8	1327	1326	50	16,96
7	6	70	6,8	1328	1327	50	16,96348
8	7	70	6,8	1329	1328	50	16,98247
9	8	70	6,8	1330	1329	50	17
10	9	70	6,8	1331	1330	50	17
11	10	70	6,8	1332	1331	50	17
12	11	70	6,8	1333	1332	50	17
13	12	70	6,8	1334	1333	50	17
14	13	70	6,8	1335	1334	50	17
15	14	70	6,8	1336	1335	50	17
16	15	70	6,8	1337	1336	50	17
17	16	70	6,8				

Figura 4.10: Datos de históricos en Excel. Fuente: Autor

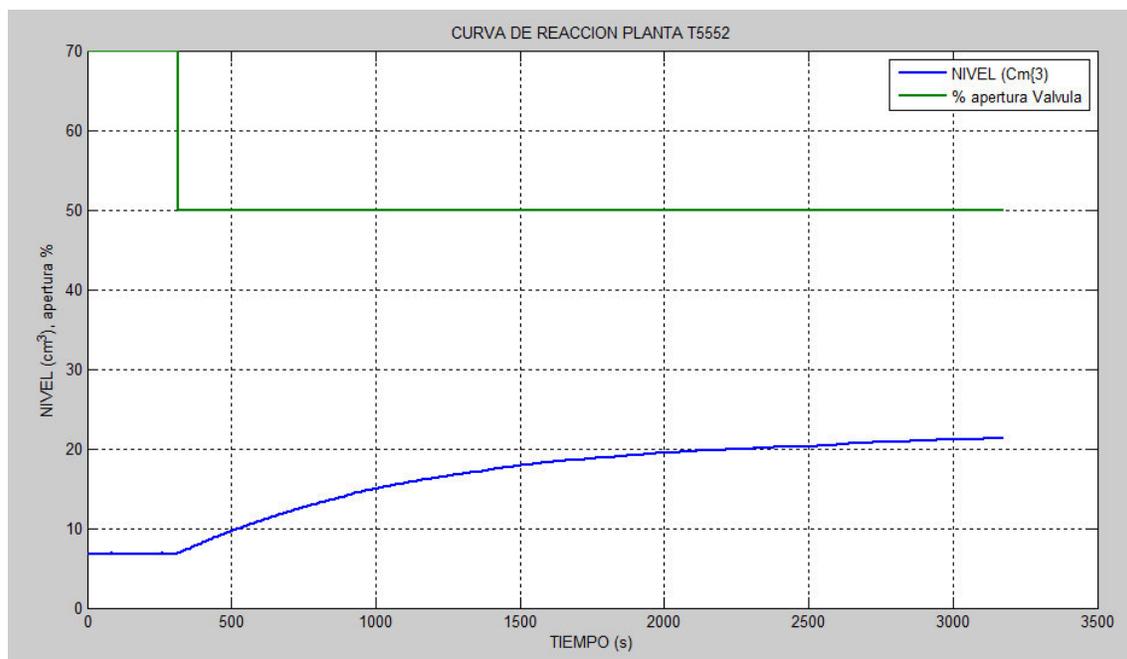


Figura 4.11: Curva de reacción en Matlab. Fuente: Autor

4.5.2. Cálculos para obtener los modelos de primer orden más tiempo muerto por el método de dos puntos

Para obtener los 6 modelos del método de dos puntos, se tomó de Matlab el vector correspondiente a la variable controlada que es nivel, el cual hace referencia al modelo real de la planta como se observa en la figura 4.12.

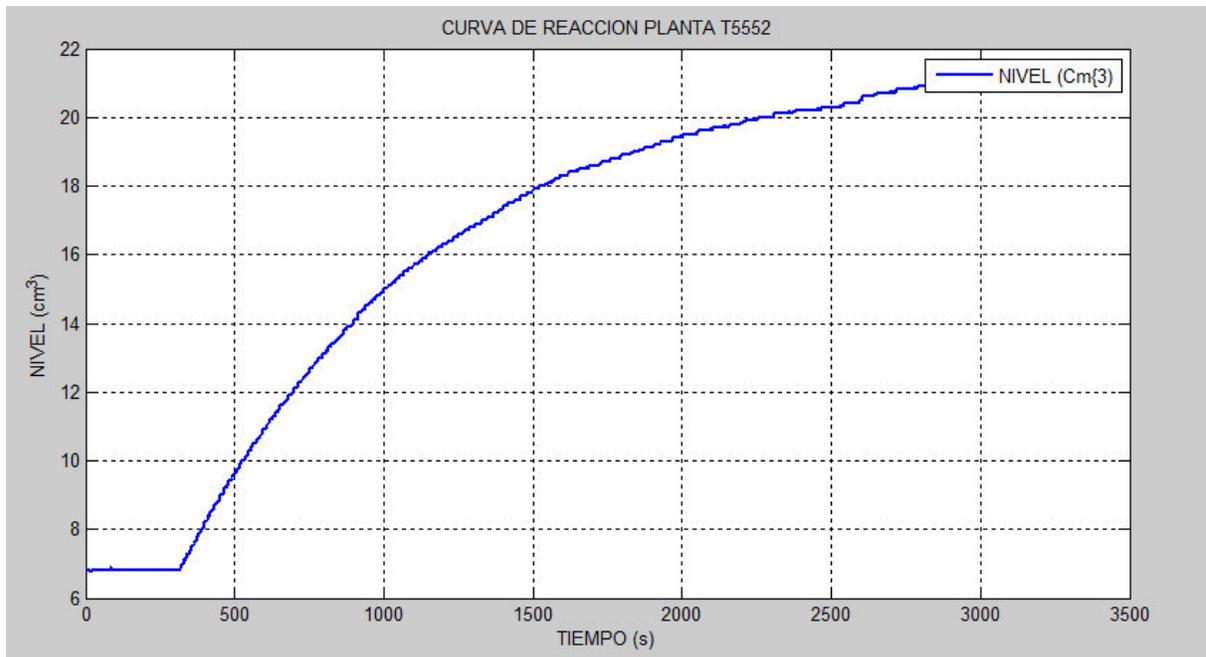


Figura 4.12: Curva de nivel del proceso de la planta de flujo y nivel T-5552. Fuente: Autor

La curva observada en la figura 4.12, hace referencia a un modelo de primer orden más tiempo muerto, el cual está representado matemáticamente por la ecuación 2.1.

Seguidamente se procedió a calcular los tiempos t_1 , t_2 , τ y el tiempo muerto t_m haciendo uso de los datos suministrados por la tabla 2.1 y las ecuaciones 2.5 y 2.6, para cada uno de los modelos del método de dos puntos, como se muestra en la tabla 4.1.

Modelo	t_1 (s)	t_2 (s)	t_m (s)	τ
Alfaro	245	1145	9.2	819
Broida	274	431	8.6	863.5
Chen y Yang	338	931	17.78	830.2
Ho et al.	365	1585	14.85	817.4
Smith	287	828	16.5	811.5
Vítecková et al.	338	1010	3.34	836.6

Tabla 4.1: Datos obtenidos por el método de dos puntos. Fuente: Autor

En Matlab se grafican los 6 modelos obtenidos de la tabla 4.1, y se compararon con la curva real del proceso como se muestra en las figura 4.13.

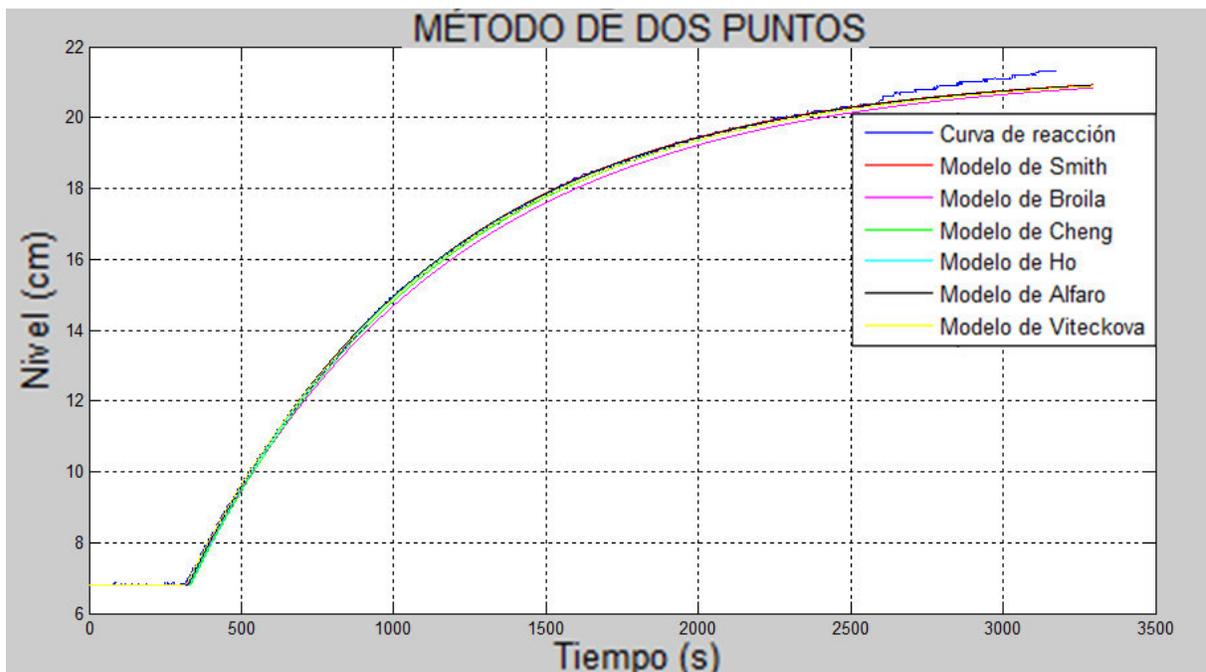


Figura 4.13: Comparación métodos de dos puntos vs curva real. Fuente: Autor

En la figura 4.13, se puede visualizar que todos los modelos se aproximan a la curva de reacción, por lo que cualquier modelo que se escoja para hallar las constantes del controlador PID es válido. En este trabajo el modelo escogido es el de Alfaro como se observa en la figura 4.14.

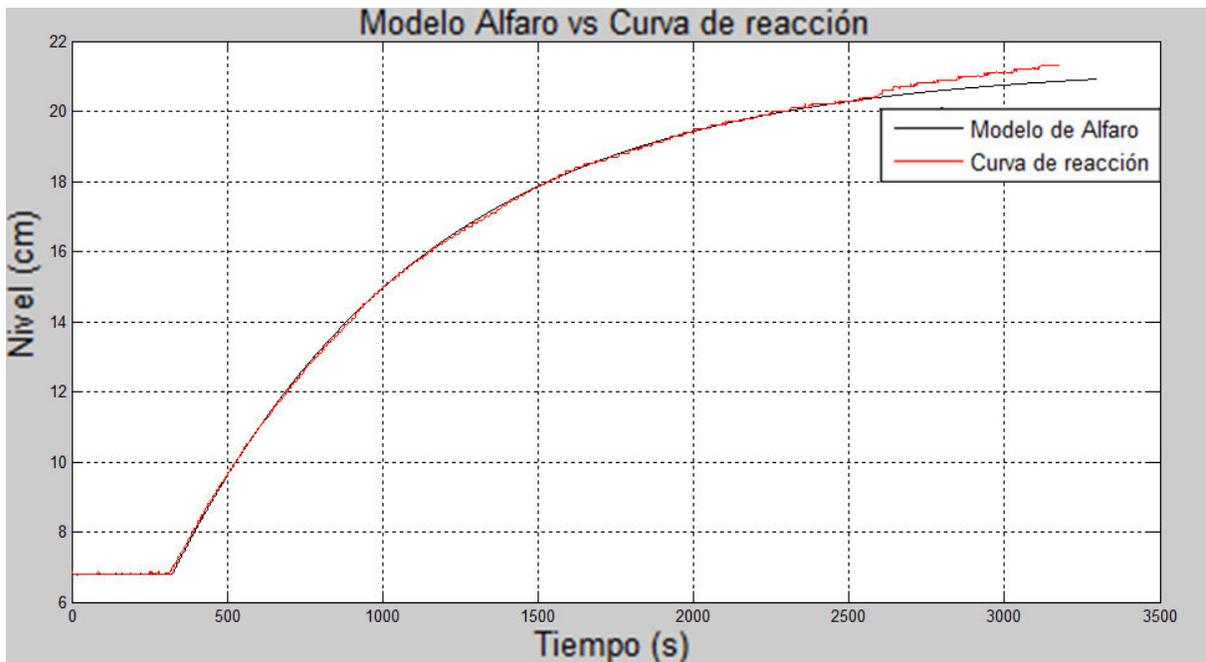


Figura 4.14: Modelo de Alfaro vs curva real. Fuente: Autor

4.5.3. Ganancias del controlador PID, por el método respuesta de razón de asentamiento de un cuarto de Ziegler y Nichols

Para el cálculo de las constantes K_c , T_i y T_d , se utilizó las formulas expuestas en la tabla 2.3.

$$K_c = 1,2 \frac{\tau}{K_p t_m} = 145,9970 \text{ cm}^3 \quad (4.1)$$

$$t_i = 2t_m = 18,4 \text{ s} \quad (4.2)$$

$$t_d = 0,5t_m = 4,6 \text{ s} \quad (4.3)$$

En el simulink de Matlab se implementó el esquema de control que muestra la figura 4.15 y se realizó seguimiento de consigna como se detalla en la figura 4.16.

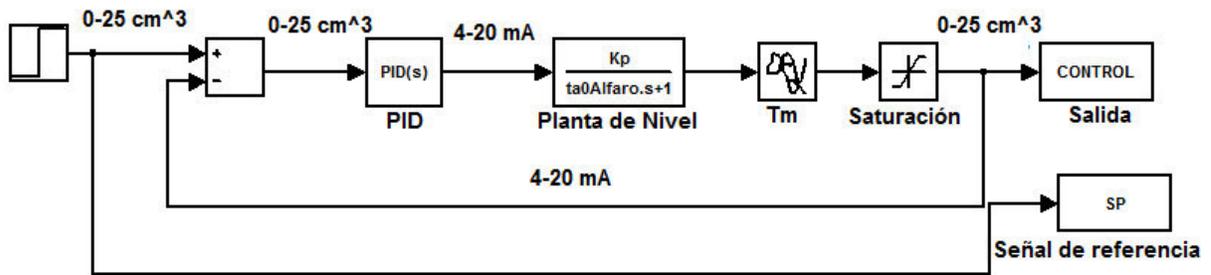


Figura 4.15: Esquema de control en Simulink de Matlab de planta T-5552. Fuente: Autor

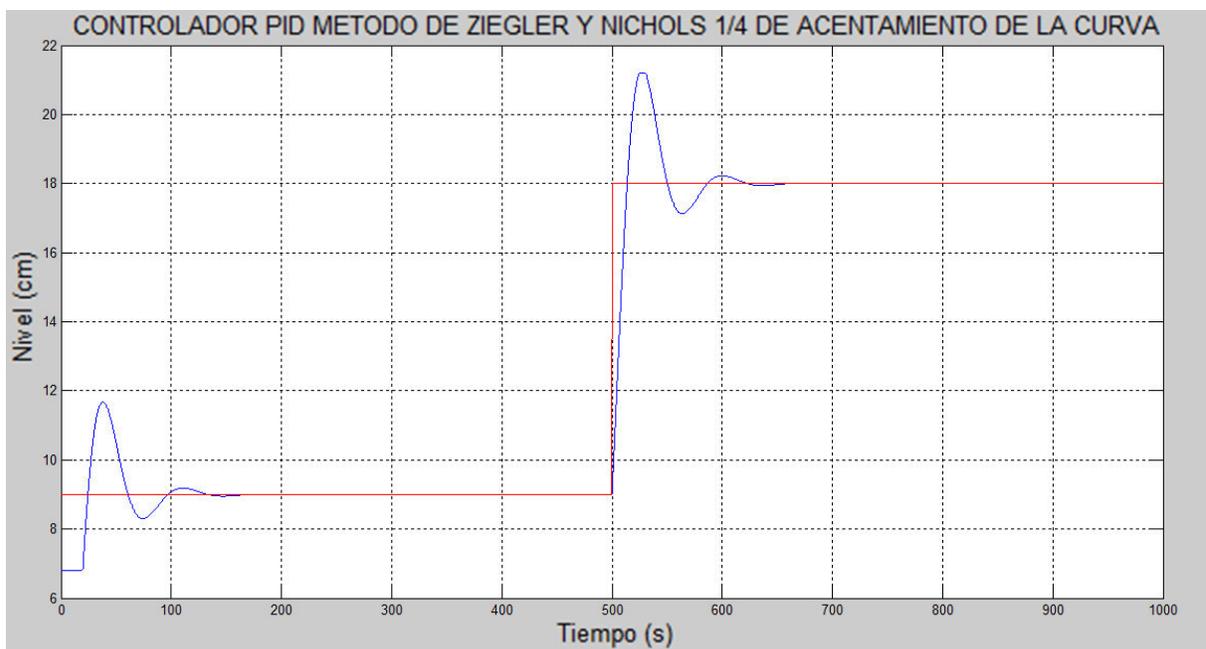


Figura 4.16: Seguimiento de consigna del controlador PID. Fuente: Autor

Al sistema de control realizado en Simulink, se le aplicó un disturbio (ver figura 4.17) y se obtuvo el comportamiento de la variable de controlada (ver figura 4.18).

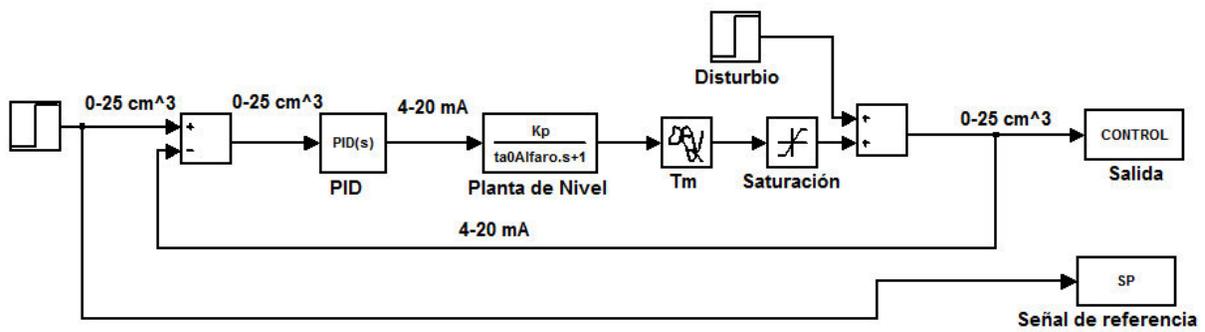


Figura 4.17: Esquema de control en Simulink de planta T-5552 con disturbio. Fuente: Autor

En la figura 4.18 se puede observar como el controlador PID reacciona ante un disturbio tipo escalón el cual lo corrige y estabiliza de nuevo el proceso, lo cual indica que el método de control PID es válido y hace que el sistema funcione de acuerdo el set point deseado.

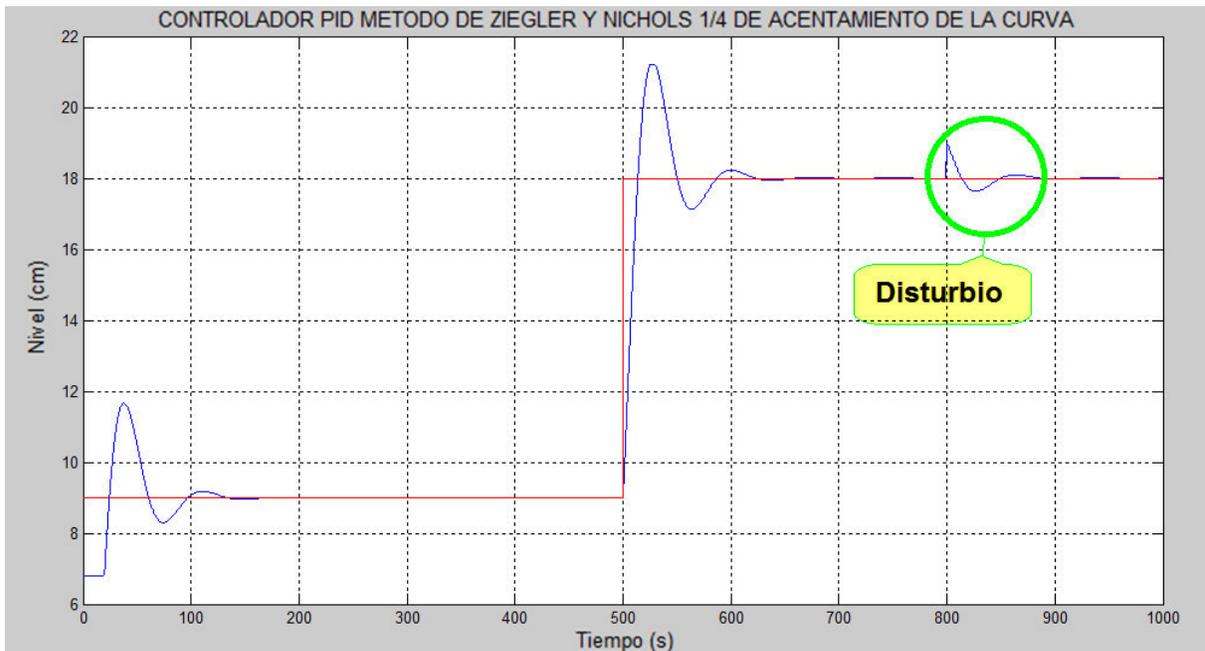


Figura 4.18: Seguimiento de consigna del controlador PID con disturbio. Fuente: Autor

Con el fin de comprobar si las constantes obtenidas para el controlador PID por método de Ziegler y Nichols controlan el proceso de la planta de flujo y nivel T-5552, se le intro-

dujeron las constantes al controlador del sistema SCADA como se observa en la figura 4.19.

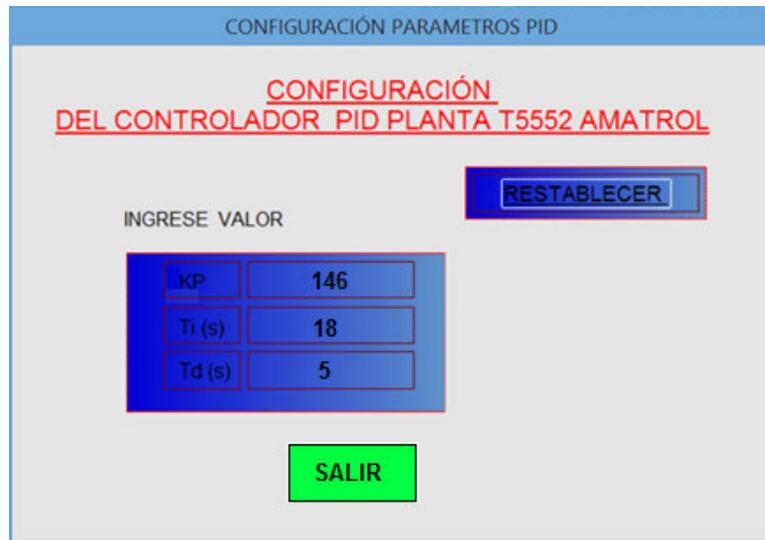


Figura 4.19: Ingreso de constantes al controlador del sistema SCADA. Fuente: Autor

En la figura 4.20 se observa el seguimiento de consigna y la respuesta del controlador ante un disturbio. La variable de color rojo representa la señal de referencia, la de color azul es la variable controlada, que que alcanza y se mantiene en la señal de referencia, por último se tiene la variable de color verde que representa el esfuerzo de control.

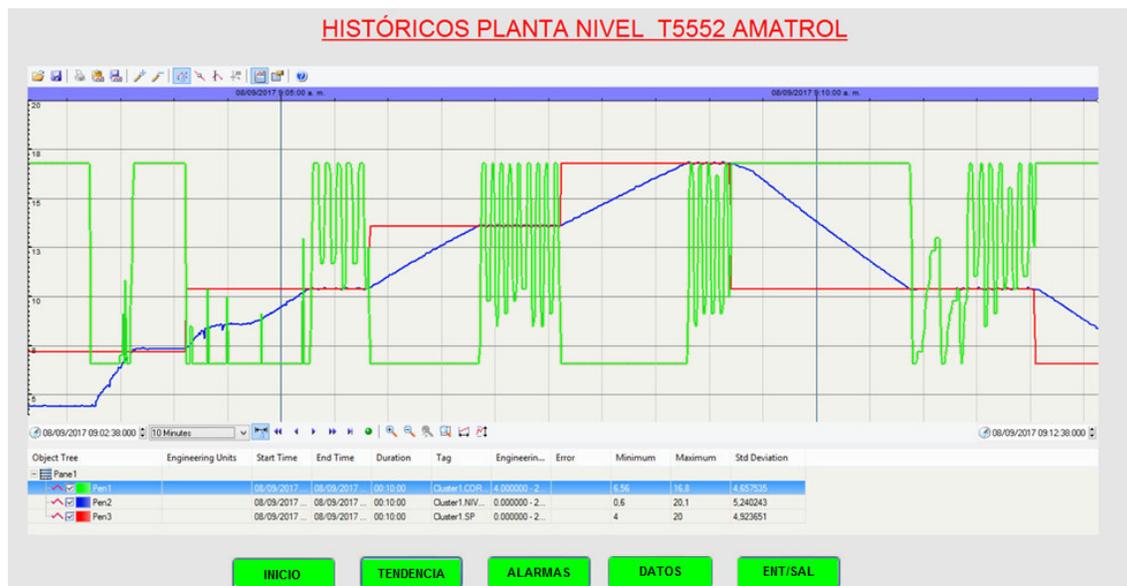


Figura 4.20: Resultado del controlador PID en la planta T-5552. Fuente: Autor

La figura 4.21 muestra las entradas, comandos, salidas y errores en las lecturas análogas durante la ejecución del controlador PID.



Figura 4.21: Entradas, comandos, salidas y errores en las lecturas análogas durante la ejecución del controlador PID. Fuente: Autor

Capítulo 5

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES y TRABAJOS FUTUROS

5.1. Conclusiones

1. Con la automatización por medio de PAC, HMI y SCADA para la planta T5552 que se encuentra en el laboratorio de control de procesos de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, se obtuvieron mejores prestaciones y se avanzó en la escala piramidal de la automatización industrial, toda vez que se monitorea los estados y valores de las variables del proceso que se pueden observar ya sea desde la HMI en la zona de máquinas e incluso remotamente a través del sistema SCADA.
2. La correcta calibración de los sensores permite que se obtengan valores confiables en la lectura de las variables, evitando errores y facilitando el diseño de un control adecuado que cumpla con los requerimientos apropiados.
3. El algoritmo de control PID diseñado para la planta de flujo y nivel T 5552 de Amatrol, cumple con el objetivo de ejercer control en el nivel del tanque de procesos por medio del PAC; debido a que el método de sintonización fue eficiente y el procedimiento para aplicarlo fue el adecuado.
4. Se puede apreciar que el diseño del SCADA y pantalla HMI cumple con las expectativas planteadas para el desarrollo de este trabajo, puesto que se tiene el control y monitoreo de la planta, además permite la adquisición de datos que son necesarios para la realizar el estudio del comportamiento del proceso en un periodo de tiempo específico.

5. Se resalta que la ejecución de las prácticas propuestas conllevan a la aplicación de conocimientos teóricos que refuerzan el aprender del estudiante que se prepara para un mundo real, donde se encuentra con los diferentes procesos industriales que están enmarcados en este tipo de aplicaciones.
6. Se considera que el protocolo de comunicación Ethernet satisface las consideraciones planteadas para el desarrollo del proyecto para lograr la comunicación del SCADA con la pantalla HMI y a su vez con el PAC lo que permitió la comunicación de los tres dispositivos para la automatización de la planta T5552 de Amatrol.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda que el estudiante tenga conocimientos previos al tema de los sistemas SCADA y programación de PLC antes de manipular estos.
2. Se debe asegurar que la presión de la tubería se encuentre en 20 Psi y que el tanque reservorio este lleno y libre de suciedades.
3. Se recomienda apagar la planta antes de realizar cualquier cambio en las conexiones.
4. Realizar la calibración de los elementos como sensores y transmisores con el fin de evitar lecturas erradas en las variables.
5. Verificar mediante las marquillas que las salidas y entradas del PAC, se encuentren en su lugar correcto.
6. Resetear al estado inicial las variables del PAC antes de apagar el tablero de control.
7. Informar cualquier novedad encontrada u ocurrida en los equipos o la planta al monitor del laboratorio.

5.3. Trabajos futuros

1. Diseñar un sistema SCADA que permita interactuar, monitorear y controlar las diferentes plantas del laboratorio de control de procesos donde se pueda conocer toda la cadena del proceso.
2. Implementar un sistema SCADA y HMI que incluya la utilización de diferentes marcas de PLC como Schneider y Siemens para el control de las plantas.
3. Optimizar las técnicas de control, donde se incluya control inteligente y se adecue en los PAC.

PRÁCTICA 1

RECONOCIMIENTO DEL PAC MODICON M340 Y PANTALLA HMIGTO3510

INTRODUCCIÓN

Los controladores lógicos programables (PAC's) y pantallas HMI son usados en las plantas industriales para controlar numerosas variables de los líquidos, gases, semi-sólidos y productos de manufactura. Antes de la utilización de un equipo es necesario tener un conocimiento previo acerca de cada uno de los módulos que hacen parte de este, para evitar fallos de funcionamiento o lecturas erróneas del sistema, así como también daños en los equipos o personales.

OBJETIVOS

- Identificar cada uno de los de los módulos del PAC MODICOM M340 y PANTALLA HMIGTO3510.
- Conocer la funcionalidad y características de cada uno de los módulos del PAC y PANTALLA HMIGTO3510.

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1. Los procesadores M340 de Modicon incluyen un indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria. Este indicador LED es verde y su estado es encendido cuando:

- a) Puede extraerse la tarjeta de memoria, ya que el procesador no tiene acceso a ella.

- a) Botón RESET.
 - b) Panel de visualización.
 - c) Conector para la red de entrada.
 - d) Conector del relé de alarma.
4. El módulo BMX DDM 16025 es un módulo binario con voltaje de _____
 5. El módulo BMX DDM 16022 posee un bloque de terminales de 20 pins, los cuales del 0 al 7 corresponden a canales de _____ y del 8 al 15 a canales de _____.
 6. El módulo analógico AMM 0600 tiene ____ salidas sin separación de potencial.
 7. El módulo analógico AMM 0600 tiene ____ entradas sin separación de potencial.
 8. El rango de entrada de corriente del módulo analógico AMM 0600 es de ____ a ____ o de ____ a _____.
 9. El rango de salida de tensión es de _____.
 10. El bastidor BMX XBP 0600 cumple con la función _____ y función _____.
 11. La PANTALLA HMIGTO3510 tiene una tensión de entrada nominal de _____.
 12. Escriba 3 características que haya observado de la pantalla HMIGTO3510.

PRÁCTICA 2

CONTROL ON/OFF PARA EL NIVEL DEL TANQUE T-5552 DE AMATROL

INTRODUCCIÓN

En esta práctica se hará uso los interruptores LS1 y LS2 ubicados en el tanque de procesos de la planta T 5552 de AMATROL, para realizar control de este mediante un sistema SCADA y pantalla HMI, haciendo uso de un controlador PAC externo.

OBJETIVOS

- Comprender el funcionamiento de los switches LS1 y LS2, en la planta de flujo y nivel T- 5552.
- Comprender la importancia de las señales de entrada y salida digitales.
- Implementar el control ON/OFF mediante los interruptores LS1 y LS2 en el sistema SCADA.

CONSULTAS PRELIMINARES

- Guía de usuario del PLC Modicon M340 y pantalla HMI.
- Como crear un proyecto Unitypro.
- Como crear un proyecto Vijeo designer.

- Como crear un proyecto Vijeo citec.
- Control ON-OFF.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Planta T5552 de AMATROL.
- PAC Modicon M340.
- Pantalla HMI.
- PC
- Cables de conexión.
- Multímetro
- Agenda de apuntes.

PROCEDIMIENTO

1. Conecte la planta T – 5552 al toma eléctrico de 110v.
2. Conecte el suministro de aire y ajuste el controlador de presión a 20 psi.
3. Verifique que el tanque reservorio se encuentre lleno de agua, de no ser así, llénelo.
4. Cierre las válvulas de drenaje del tanque de procesos.
5. Abra las válvulas manuales HV1 y HV2.
6. Solicite al laboratorista los programas de la SCADA de la planta T-5552 y cárguelos en los respectivos equipos los cuales son PC, PAC y pantalla HMI.
7. Realice la conexión que se muestra en la figura 5.1.

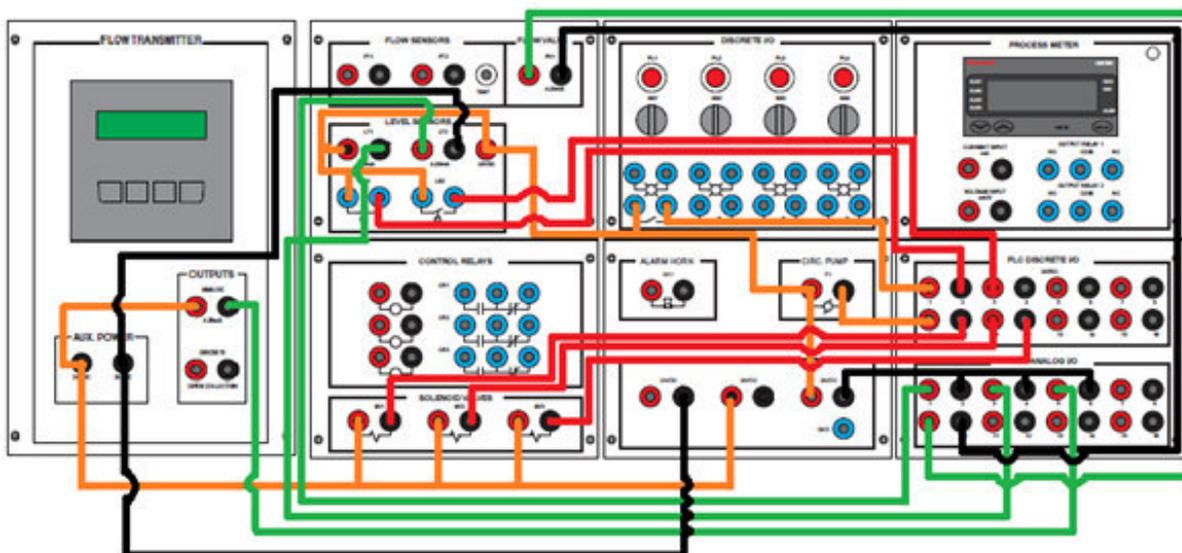


Figura 5.1: Diagrama de conexiones en la planta T 5552. Fuente: Autor

8. Conecte los módulos digital y analógico del PAC a la planta guiarse por figura 5.2.



Figura 5.2: Conexiones al PAC. Fuente: Autor

9. Ubique los switches en dos niveles deseados soltando el tornillo del eje en sentido antihorario, de esta manera podrá tener un nivel mínimo asignándose a LS2 y uno máximo a LS1 (ver figura 5.3).

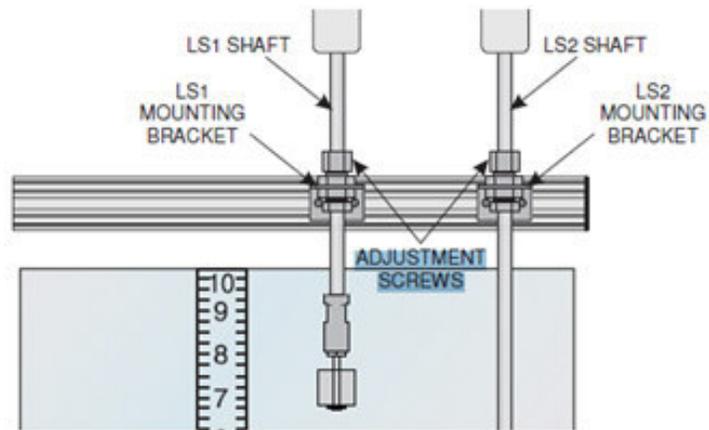


Figura 5.3: Configuración de los niveles para los flotadores. Fuente: Autor

10. Una vez escogido los dos niveles asegure de nuevo el tornillo, quedando finalmente como se observa en la figura 5.4.

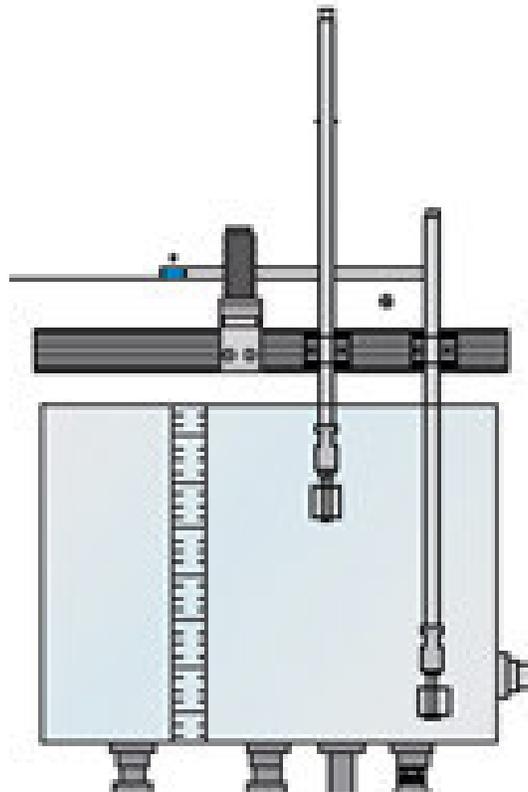


Figura 5.4: Niveles de los interruptores. Fuente: Autor

11. Abra la válvula de control de flujo manual (HFV2).

12. Remueva el seguro de la planta de nivel T5552 como se muestra en la figura 5.10 y coloque en ON el interruptor para encenderla.



Figura 5.5: Seguro de la Planta T-5552. Fuente: Autor

13. En la pantalla HMI ubique el botón con el nombre “control ON/OFF CON LS1-LS2” y actíVELO al oprimirlo (ver figura 5.6).

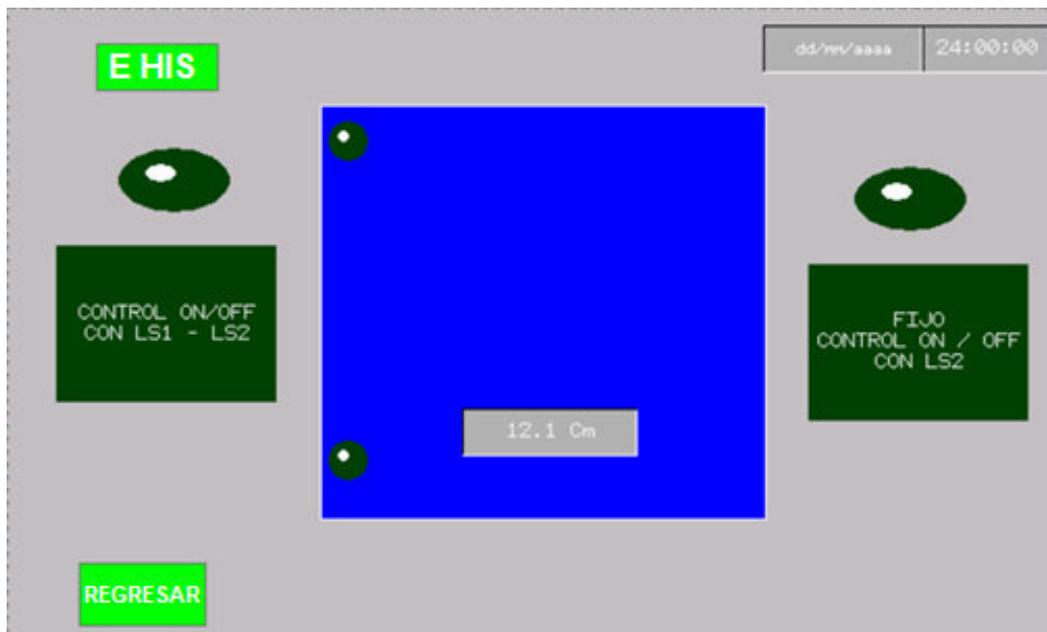


Figura 5.6: Pantalla de Control ON/OFF LS1-LS2. Fuente: Autor

14. En la figura 5.7 se observa el código implementado en diagrama de contactos, para este tipo de control.

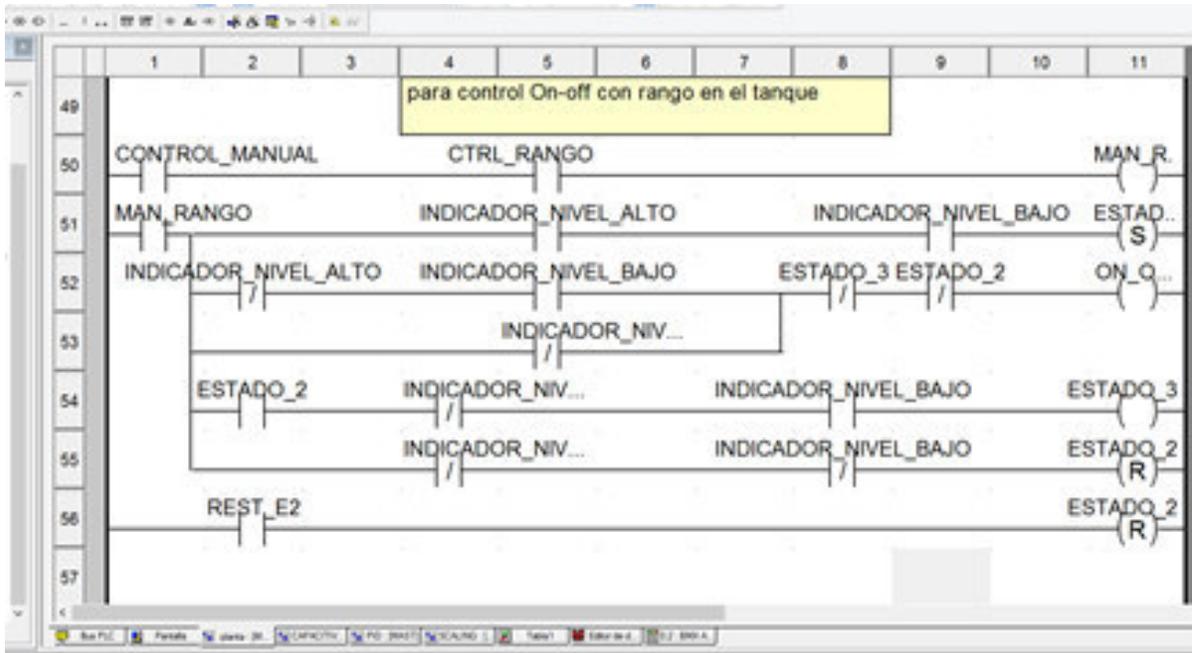


Figura 5.7: Control ON/OFF LS1-LS2. Fuente: Autor

15. Manipule la válvula de drenaje del tanque y vea el comportamiento del control ON/OFF.

16. Observe que ocurre cuando el nivel del líquido está por debajo de del interruptor de nivel bajo LS2.

17. Observe que ocurre cuando está por debajo del interruptor de nivel alto LS1.

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1. El control ON/Off da una salida que es 0 % o _____ %.
2. En el control ON/OFF, el área entre el nivel superior e inferior se llama _____.
3. El control de ON / OFF también se conoce como control _____.
4. plantee un pseudocódigo para un algoritmo de control de nivel haciendo uso de los interruptores.
5. Diseñe un nuevo código donde se cambie la configuración de los interruptores.
6. mencione una aplicación de tipo industrial donde aplicaría este tipo control.

PRÁCTICA 3

CONTROL DE VÁLVULA PROPORCIONAL

INTRODUCCIÓN

En esta práctica se analiza el comportamiento del convertidor I/P con la válvula de control proporcional manipulado desde el sistema SCADA y pantalla HMI, por medio de PAC Modicon M340.

OBJETIVOS

- Identificar y comprender el funcionamiento de la válvula de control proporcional.
- Comprender la importancia de las señales analógicas.
- Aplicar el uso del sistema SCADA para el control de la válvula.

CONSULTAS PRELIMINARES

- Guía de usuario del PAC Modicon M340 y pantalla HMI.
- Como crear un proyecto Unity Pro.
- Como crear un proyecto Vijeo Designer.
- Como crear un proyecto Vijeo Citec.
- Capítulo 4. Actuadores (Libro: Instrumentación Industrial, Creus Solé)
- Lectura LAP5, páginas 35 a 42 (Válvula proporcional)

EQUIPOS Y MATERIALES

- Planta T5552 de AMATROL.
- PAC Modicon M340.
- Pantalla HMI.
- PC
- Cables de conexión.
- Multímetro
- Agenda de apuntes.

PROCEDIMIENTO

1. Conecte la planta T – 5552 al toma eléctrico de 110v.
2. Conecte el suministro de aire y ajuste el controlador de presión a 20 psi.
3. Verifique que el tanque reservorio se encuentre lleno de agua, de no ser así, llénelo.
4. Abra completamente (contra las manecillas del reloj) las dos válvulas manuales de drenaje del tanque de procesos, HV300 (HV3) y HV 100C (HV4).
5. Abra completamente (contra las manecillas del reloj) las válvulas manuales de control de flujo, HV 100B (HV1) y HV 100A (HV2).
6. Abra completamente (contra las manecillas del reloj) la válvula manual de control de flujo HV100D.
7. Abra completamente (contra las manecillas del reloj) la válvula manual de control de flujo FV 100.
8. Conecte el circuito como se muestra en la figura 2.
9. Solicite al laboratorista los programas del SCADA de la planta T-5552 y cárguelos en los respectivos equipos los cuales son PC, PAC y pantalla HMI.
10. Realice la conexión que se muestra en la figura 5.8.

12. Remueva el seguro de la planta de nivel T5552 como se muestra en la figura 5.10 y coloque en ON el interruptor para encender la planta.



Figura 5.10: Seguro de la Planta T-5552. Fuente: Autor

13. Gire la perilla SS1 para encender la bomba (ver figura 5.11).



Figura 5.11: Encendido de la bomba. Fuente: Autor

14. Asigne un porcentaje de apertura a la válvula de control proporcional como se observa en la figura 5.11, para cada valor de tabla 5.1.

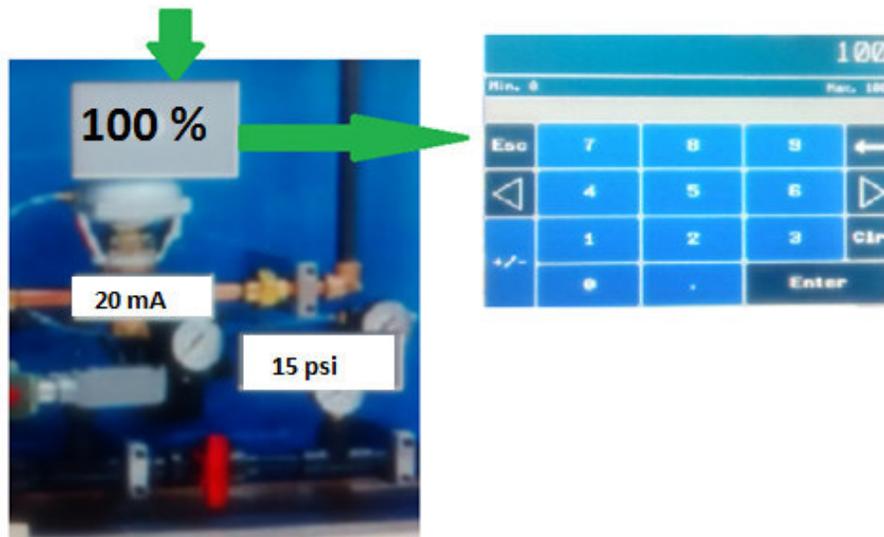


Figura 5.12: Porcentaje de apertura a la válvula de control proporcional. Fuente: Autor

15. Para cada porcentaje de salida del controlador, registre la corriente que muestre el multímetro, el flujo del transmisor y la presión que muestra el medidor del convertidor I/P en la tabla 5.1.

Salida del controlador (%)	Salida del controlador (mA)	Flujo del registrador (gpm)	Salida de Presión (Psi)
100			
90			
80			
70			
60			
50			
40			
30			
20			
10			
0			

Tabla 5.1: Convertidor de corriente I/P Vs. Flujo. Fuente: Autor

16. Grafique en Matlab los valores obtenidos en la tabla de flujo (GPM) vs presión (PSI).

17. Grafique en Matlab los valores obtenidos en la tabla de flujo (GPM) vs salida del controlador (mA).

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1. A mayor presión en la tubería el flujo _____ Aumenta/disminuye
2. El tipo de relación entre la presión de salida del convertidor I/P y el flujo es: _____
lineal/no lineal
3. Un convertidor I/P convierte señales _____ a señales _____.
4. Un porcentaje de apertura del 100 % en la válvula de control de flujo, aumenta significativa mente el paso de agua por la tubería _____ verdadero/falso.

PRÁCTICA 4

IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DE LA PLANTA DE NIVEL T-5552

INTRODUCCIÓN

En esta práctica se hará la identificación del modelo de la planta de nivel T-5552 del laboratorio de control de procesos, para obtener los parámetros que rigen el sistema y así modelar la dinámica que esta presenta. La idea es obtener un modelo de primer orden más tiempo muerto que represente el comportamiento del sistema y obtener las constantes para un controlador PID.

OBJETIVOS

- Identificar la dinámica de la planta de nivel T5552 por curva de reacción mediante el sistema SCADA.
- Obtener el modelo de la planta de nivel T5552 a partir de la curva de reacción.
- Sintonizar un controlador PID y probarlo mediante el software Matlab.
- Ingresar las constantes obtenidas al controlador PID del sistema SCADA y verificar su funcionamiento.

CONSULTAS PRELIMINARES

Para el desarrollo de esta práctica debe consultar el marco teórico visto en la sección 2.3.1 Sistemas de control y Método de dos puntos generalizado.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Planta T5552 de AMATROL.
- PAC Modicon M340.
- Pantalla HMI.
- PC
- Cables de conexión.
- Multímetro
- Agenda de apuntes.

PROCEDIMIENTO

1. Conecte la planta T – 5552 al toma eléctrico de 110v.
2. Conecte el suministro de aire y ajuste el controlador de presión a 20 psi.
3. Verifique que el tanque reservorio se encuentre lleno de agua, de no ser así, llénelo.
4. cierre completamente la válvula manual de drenaje del tanque de procesos HV 100C (HV4) y Abra completamente (contra las manecillas del reloj) la válvula manual HV300 (HV3).
5. Abra completamente (contra las manecillas del reloj) las válvulas manuales de control de flujo, HV 100B (HV1) y HV 100A (HV2).
6. Abra completamente (contra las manecillas del reloj) la válvula manual de control de flujo HV100D.
7. Abra completamente (contra las manecillas del reloj) la válvula manual de control de flujo FV 100.

8. Conecte el circuito como se muestra en la figura 5.13.

9. Solicite al laboratorista los programas de la SCADA de la planta T-5552 y cárguelos en los respectivos equipos los cuales son PC, PAC y pantalla HMI. 10. Realice la conexión que se muestra en la figura 5.13.

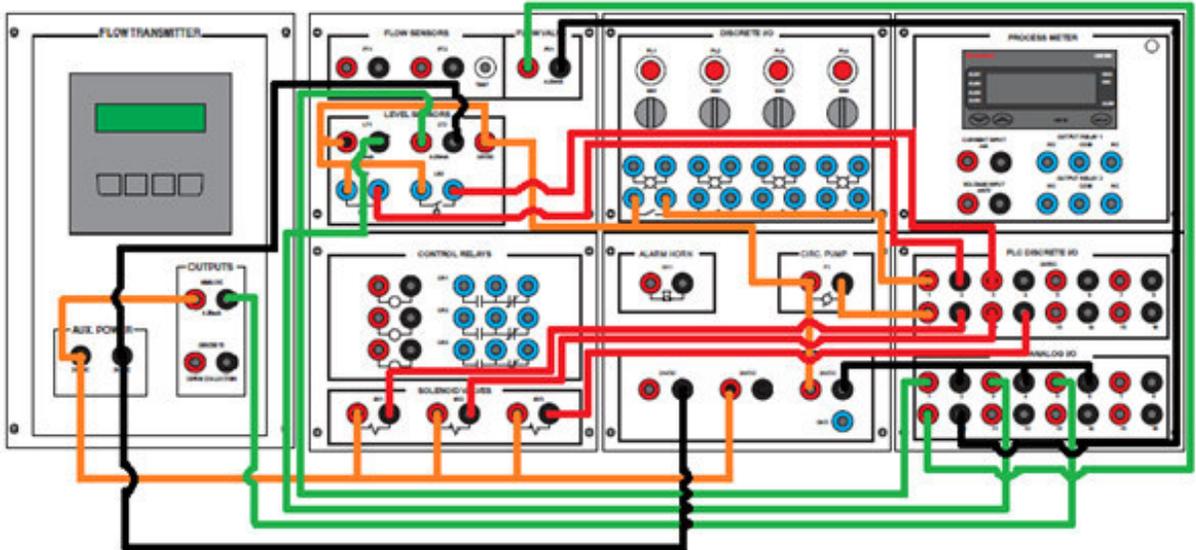


Figura 5.13: Diagrama de conexiones en la planta T 5552. Fuente: Autor

11. Conecte los módulos digital y analógico del PAC a la planta (ver figura 5.14).

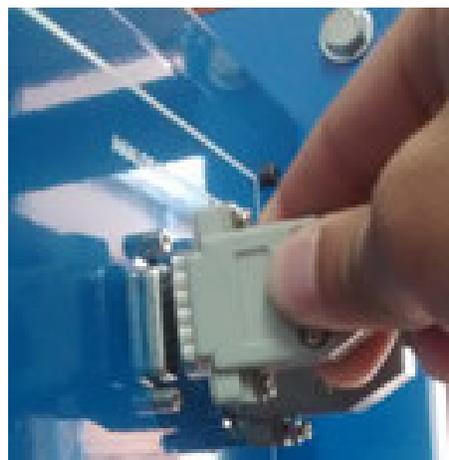


Figura 5.14: Conexiones al PAC. Fuente: Autor

12. Remueva el seguro de la planta de nivel T5552 como se muestra en la figura 5.15 y coloque en ON el interruptor para encender dicha planta.



Figura 5.15: Seguro de la Planta T-5552. Fuente: Autor

13. Encienda el sistema SCADA y ubique la pantalla de históricos en el software Vijeo Citect, como se ve en la figura 5.16.



Figura 5.16: Pantalla de Históricos. Fuente: Autor

14. Para visualizar las variables de nivel y porcentaje de apertura, se siguen los pasos observados en la figura 5.17

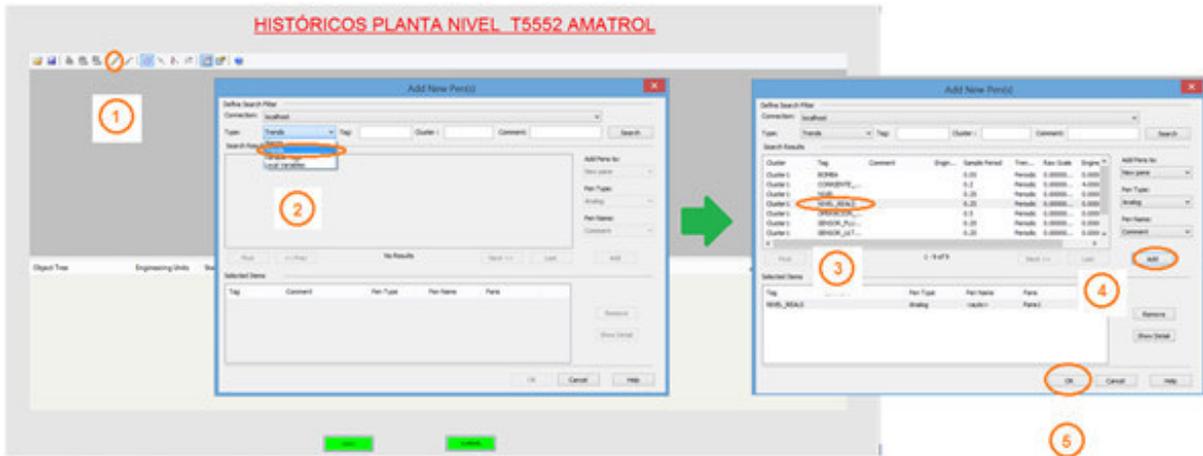


Figura 5.17: Pasos para el ingreso de variables a la pantalla de históricos. Fuente: Autor

15. Encienda la bomba seguidamente asigne un porcentaje de apertura de 40 % y gradúe la válvula manual HV300, para que la entrada sea igual a la salida y espere a que el sistema se establezca como se observa en la figura 5.18.



Figura 5.18: Porcentaje de apertura del 40%. Fuente: Autor

16. Una vez estable el nivel del tanque, cambie el porcentaje de apertura de la servoválvula a 30 %, y espere hasta que de nuevo el nivel sea estable.

Nota: los porcentajes de apertura van graduados de mayor a menor debido a que el porcentaje de apertura está configurada con lógica inversa.



Figura 5.19: Extraer datos del sistema SCADA a un archivo Excel. Fuente: Autor

17. Una vez estabilizado el nivel del tanque por segunda vez, se procede a extraer los datos de históricos del sistema SCADA a un archivo de Excel, guiarse con figura 5.19

18. La figura 5.20 muestra las líneas de código que se deben implementar en Matlab para extraer los datos del archivo creado en Excel y así graficar la curva de reacción del proceso.

```

TIME=xlsread('tomadatos2ptos.xlsx','Hojal','a2:a3179'); %TIEMPO
apertura=xlsread('tomadatos2ptos.xlsx','Hojal','b2:b3179'); %apertura
nivel=xlsread('tomadatos2ptos.xlsx','Hojal','c2:c3179');%nivel Cm^3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%5
figure(1)
plot(TIME,nivel,TIME,apertura,'LineWidth',2), grid on
title('CURVA DE REACCION PLANTA T5552')
xlabel('TIEMPO (s)')
ylabel('NIVEL (cm^3), apertura %')
legend('NIVEL (Cm{3}),'% apertura Valvula')

```

Figura 5.20: Código en Matlab para extraer datos de Exce. Fuente: Autor

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1. En una tabla ubique los parámetros del modelo de primer orden.
2. Modele las configuraciones por el método de dos puntos y muestre en una gráfica las seis curvas para cada configuración.
3. Escoja el modelo que mejor representa la dinámica y justifique él porque.
4. A partir del modelo calcule los parámetros para un controlador PID y pruébelo en Silumik haciendo seguimiento de consigna.
5. En el simulador aplique un disturbio y mire el efecto en las diferentes señales.
6. Ingrese las constantes obtenidas en el controlador del sistema SCADA y pruebe su funcionamiento haciendo seguimiento de consigna y aplicándole disturbios.
7. Diseñe un aplicativo en Vijeo Designer, Vijeo Citect y Unity Pro que se comuniquen entre sí, donde se pueda observar el comportamiento de la variable manipulada y controlada.

ANEXO 1: Manual de Usuario

PAC MODICON M340

“Los procesadores de plataforma automatizados M340 de Modicon gestionan toda la estación PLC, que está formada por módulos de E/S binarias, módulos de E/S analógicas y módulos de conteo, otros módulos expertos y módulos de comunicación. Éstos se distribuyen por uno o más bastidores conectados al bus local. Cada bastidor debe incluir un módulo de alimentación; el bastidor principal aloja la CPU” [59].

Procesadores BMX P34 2020

“Los procesadores BMX P34 2020 admiten algunos dispositivos sin fuente de alimentación propia. Por tanto, deberá tenerse en cuenta el consumo energético de estos dispositivos a la hora de hacer el cálculo de consumo general de potencia” [59].

“El consumo energético medio del procesador BMX P34 2020 sin otros dispositivos conectados es de 95 mA, y la alimentación disipada media es de 2,3 W” [59].

Nota: “Si un dispositivo consume alimentación del puerto serie del procesador, este consumo deberá añadirse a la alimentación consumida por el procesador. La potencia suministrada por el puerto serie es 5 VCC/190 mA” [59].

■ **Características del procesador BMX P34 2020.**

Características			Disponible
Funciones	Número máximo de canales	Entradas/salidas binarias del bastidor	1024
		Entradas/salidas analógicas del bastidor	256
		Canales expertos	36
		Canales Ethernet	3
	Número de conexiones incorporadas	USB	1
		Conexión Modbus serie	1
		Maestro CANopen	-
		Ethernet	1 (incorporado)
Reloj de tiempo real que puede guardarse			Sí
Capacidad de memoria de los datos de aplicación que puede guardarse			256 Kb
Estructura de la aplicación	Tarea MAST		1
	Tarea FAST		1
	Procesamiento de eventos		64
Velocidad de ejecución del código de aplicación	RAM interna	100 % booleano	8,1 Kins/ms (1)
		65 % booleano + 35 % digital	6,4 Kins/ms (1)
Tiempo de ejecución	Una instrucción booleana básica		0,12 μ s
	Una instrucción digital básica		0,17 μ s
	Una instrucción de coma flotante		1,16 μ s

Tabla 5.2: Características del procesador BMX P34 2020 [59].

(1) Kins: 1.024 instrucciones (lista)

■ **Características de la memoria del procesador BMX P34 xxxx.**

Tipo de objetos	Dirección	Tamaño máximo para los procesadores BMX P34 2000/2010/2020/2030	Tamaño predeterminado para los procesadores BMX P34 2000/2010/2020/2030
Bits internos	%Mi	32634	512
Bits de entrada/salida	%I.r.m.c %Q.r.m.c	(1)	(1)
Bits de sistema	%Si	128	128
Palabras internas	%MWi	32464	1024
Palabras constantes	%KWi	32760	256
Palabras de sistema	%SWi	168	168

Tabla 5.3: Características de la memoria del procesador BMX P34 xxxx [59].

(1) Depende de la configuración del equipo (módulos de entrada/salida).

- **Tamaño de los datos no ubicados.**

Los datos no ubicados son los siguientes:

- Tipos de datos elementales (EDT)
- Tipos de datos derivados (DDT)
- Datos de bloques de funciones DFB y EFB

- **Tamaño de los datos ubicados y no ubicados.**

“El tamaño total de los datos ubicados y no ubicados se limita a 256 Kilobytes para los procesadores BMX P34 2000/2010/2020/2030” [59].

- **Tarjetas de memoria para procesadores BMX P34 xxxx.**

“Todos los procesadores BMX P34 xxxx necesitan una tarjeta de memoria” [59].

- **Descripción de la tarjeta de memoria.**

“Las tarjetas de memoria Schneider son las únicas compatibles con los procesadores BMX P34 XXXX. Las tarjetas de memoria Schneider utilizan tecnología Flash y no necesitan batería. Estas tarjetas pueden almacenar alrededor de 100.000 ciclos de escribir/borrar (típico)” [59]. Existen tres modelos de tarjeta de memoria:

- “La tarjeta BMX RMS 008MP que sirve para guardar aplicaciones y páginas web” [59].
- “La tarjeta BMX RMS 008MPF, que se utiliza para guardar aplicaciones y páginas web y para almacenar archivos de usuarios creados por la aplicación con los bloques de funciones de gestión de archivos (o archivos transferidos mediante FTP). El tamaño disponible para archivos de usuario de la partición del sistema de archivos es de 8 MB (área de almacenamiento de datos)” [59].
- “La tarjeta BMX RMS 128MPF, que se utiliza para guardar aplicaciones y páginas web y para almacenar archivos de usuarios creados por la aplicación con los bloques de funciones de gestión de archivos (o archivos transferidos mediante FTP). El tamaño disponible para archivos de usuario de la partición del sistema de archivos es de 128 MB (área de almacenamiento de datos)” [59].

Nota: “Las páginas web son páginas de Schneider-Electric y no pueden modificarse” [59].

- **Características de la tarjeta de memoria.**

En la tabla 5.4, se muestran las características principales de las tarjetas de memoria.

Referencia de la tarjeta de memoria	Almacenamiento de la aplicación	Almacenamiento de datos
BMX RMS 008MP	Sí	No
BMX RMS 008MPF	Sí	8 MB
BMX RMS 128MPF	Sí	128 MB

Tabla 5.4: Características principales de las tarjetas de memoria [59].

Nota: “El tamaño indicado anteriormente para el área de almacenamiento de datos es el tamaño máximo recomendado para archivos de usuarios, aunque el almacenamiento de archivos sigue siendo posible hasta que la partición del sistema de archivos global esté llena. El riesgo de superar este máximo recomendado es que puede no haber suficiente espacio libre para una actualización de firmware; en este caso, sería necesario suprimir algunos archivos de usuario.” [59]

A continuación, se muestra la compatibilidad de las dos tarjetas de memoria:

- “Tarjeta BMX RMS 008MP compatible con todos los procesadores.
- Tarjetas BMX RMS 008MPF y BMX RMS 128MPF compatibles con los siguientes procesadores:
 - ◇ BMX P34 2000
 - ◇ BMX P34 2010
 - ◇ BMX P34 2020
 - ◇ BMX P34 2030” [59]

Nota: “La tarjeta de memoria está formateada para utilizarse con productos de Schneider Electric. No intente utilizar ni formatear la tarjeta en ninguna otra herramienta. De este modo, se evitará el uso de transferencias de datos y programas en un PLC M340 de Modicon.” [59]

● **Indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria.**

“Todos los procesadores M340 de Modicon incluyen un indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria. Este indicador LED informa al usuario del estado de la tarjeta de memoria para su extracción.” [59] La figura 5.21 muestra la ubicación física del indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria:

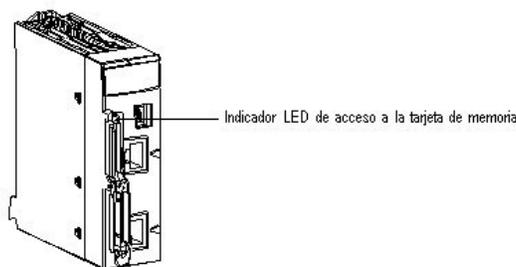


Figura 5.21: Indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria [59].

Este indicador LED es verde y tiene varios estados distintos:

- “Encendido: se ha reconocido la tarjeta y el procesador tiene acceso a ella.” [59]
- “Parpadeando: el indicador LED se apaga cada vez que el procesador accede a él y se enciende de nuevo al final del acceso.” [59]
- “Apagado: puede extraerse la tarjeta de memoria, ya que el procesador no tiene acceso a ella.” [59]

Nota: “Un flanco ascendente en el bit %S65 finaliza las acciones actuales, desactiva el acceso a la tarjeta, y a continuación, apaga el LED CARDAC. Se puede retirar la tarjeta en cuanto se apaga este indicador LED.” [59]

Nota: “El LED de acceso a la tarjeta de memoria sólo puede verse si la cubierta está abierta.” [59]

Nota: “El indicador LED rojo CARDERR muestra que o bien existe un error en la tarjeta de memoria o la aplicación memorizada es diferente de la que procesó el procesador. Está ubicado cerca de la parte superior del panel frontal del procesador.” [59]

● **Estados de indicadores LED en el apagado y encendido.**

“En la tabla 5.5 se presentan los distintos estados del indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria y del indicador LED CARDERR de los PLC en el apagado y encendido o en el reseteo del PLC.” [59]

	Comportamiento del PLC/tarjeta de memoria.	Estado del PLC	Indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria	LED CARDERR
No hay tarjeta de memoria	-	Sin configuración	APAGADO	ENCENDIDO
La tarjeta de memoria no está bien	-	Sin configuración	APAGADO	ENCENDIDO
Tarjeta de memoria sin proyecto	-	Sin configuración	ENCENDIDO	ENCENDIDO
Tarjeta de memoria con proyecto incompatible	-	Sin configuración	ENCENDIDO	ENCENDIDO
Tarjeta de memoria con proyecto compatible	Se ha detectado un error al restablecer el proyecto de la tarjeta de memoria a la RAM del PLC	Sin configuración	Parpadeo durante la transferencia Para quedar finalmente ENCENDIDO	ENCENDIDO
Tarjeta de memoria con proyecto compatible	No se ha detectado ningún error al restablecer el proyecto de la tarjeta de memoria a la RAM del PLC		Parpadeo durante la transferencia Para quedar finalmente ENCENDIDO	ENCENDIDO durante la transferencia Para quedar finalmente APAGADO

Tabla 5.5: Estados del indicador LED de acceso a la tarjeta de memoria [59].

■ Pantalla

“Existen varios indicadores LED en el panel frontal de los procesadores que permiten un diagnóstico rápido del estado del PLC” [59]. “Los indicadores LED proporcionan información sobre los siguientes elementos:

- El funcionamiento del PLC.
- La tarjeta de memoria.
- La comunicación con los módulos.
- La comunicación serie.
- La comunicación en la red CANopen.
- La comunicación en la red Ethernet” [59].

La figura 5.22 muestra la ubicación física de los indicadores LED en el panel frontal del procesador BMX P34 xxxx.

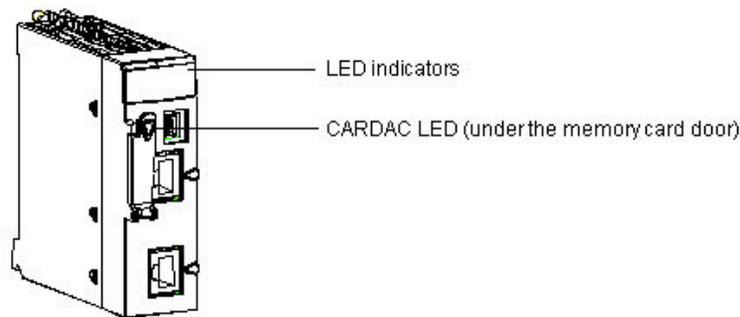


Figura 5.22: Indicadores LED en el panel frontal del procesador BMX P34 xxxx [59].

● Indicadores LED del procesador BMX P34 2020.

“La figura 5.23 muestra los indicadores LED de diagnóstico del procesador BMX P34 2020. Tenga en cuenta la existencia de dos pantallas, en función de si utiliza V1 o V2 (o superior) del procesador” [59].



Figura 5.23: Indicadores LED de diagnóstico del procesador BMX P34 2020 [59].

• Descripción.

Etiqueta	Estado	Indicación
RUN (verde): estado operativo	encendido	PLC en funcionamiento normal, ejecución del programa.
	parpadeante	PLC en modo STOP o bloqueado por un error de software detectado
	apagado	PLC no configurado (aplicación ausente, no válida o incompatible)
ERR (rojo): Errores detectados	encendido	Error del procesador o del sistema detectado
	parpadeante	* PLC no configurado (aplicación ausente, no válida o incompatible) * PLC bloqueado por un error de software detectado
	apagado	Estado normal, sin errores internos detectados
E/S (rojo): estado de entrada/salida	encendido	Error de entrada/salida detectado procedente de un módulo o de un canal Errores de configuración detectados
	apagado	Estado normal, sin errores internos detectados
SER COM (amarillo): estado de los datos serie	parpadeante	Intercambio de datos en curso en la conexión serie (recibiendo o enviando)
	apagado	No se están intercambiando datos en la conexión serie
CARDERR (rojo): error de tarjeta de memoria detectado	encendido	* Falta la tarjeta de memoria * No se reconoce la tarjeta de memoria * El contenido de la tarjeta de memoria difiere de la aplicación guardada en el procesador
	apagado	* Se ha reconocido la tarjeta de memoria * El contenido de la tarjeta de memoria es idéntico al de la aplicación guardada en el procesador
CAN RUN (verde): operaciones CANopen	encendido	Red CANopen operativa
	Parpadeo rápido (encendido durante 50 ms, apagado durante 50 ms, repitiéndose)	Detección automática del flujo de datos o de los servicios LSS en curso (se alterna con CAN ERR)
	parpadeo lento (encendido durante 200 ms, apagado durante 200 ms, repitiéndose)	DRed CANopen preoperativa
	1 parpadeo 3 parpadeos	Red CANopen detenida Descarga del firmware CANopen
CAN ERR (rojo): errores de CANopen detectados	encendido	Bus CANopen detenido
	Parpadeo rápido (encendido durante 50 ms, apagado durante 50 ms, repitiéndose)	Detección automática del flujo de datos o de los servicios LSS en curso (se alterna con CAN RUN)
	parpadeo lento (encendido durante 200 ms, apagado durante 200 ms, repitiéndose)	La configuración de CANopen no es válida
	1 parpadeo	Al menos uno de los contadores de errores detectados ha alcanzado o superado el nivel de alerta
	2 parpadeos	Se ha producido un evento de vigilancia (esclavo o maestro NMT) o de latido
	3 parpadeos	No se recibió el mensaje SYNC antes de que finalizara el periodo del ciclo de comunicación
	apagado	Ningún error de CANopen detectado
ETH STS (verde): estado de comunicación Ethernet	apagado	Sin actividad de comunicación
	encendido	Comunicación correcta
	2 parpadeos	Dirección MAC no válida
	3 parpadeos	La conexión Ethernet no está conectada
	4 parpadeos	Dirección IP duplicada
	5 parpadeos	En espera de una dirección IP del servidor
	6 parpadeos	Modo seguro (con una dirección IP predeterminada)
	7 parpadeos	Conflicto de configuración entre los conmutadores rotatorios y la configuración interna
CARDAC (verde): acceso a la tarjeta de memoria	encendido	Acceso a la tarjeta activado
	parpadeante	Actividad en la tarjeta; en cada acceso, el indicador LED de la tarjeta se establece como apagado y luego vuelve a encendido
Nota: Este indicador luminoso está ubicado debajo de la puerta de la tarjeta de memoria.	apagado	Acceso a la tarjeta deshabilitado. Puede extraerse la tarjeta después de haber bloqueado el acceso a la tarjeta generando un flanco ascendente en el bit %S65.

Tabla 5.6: Significado de los indicadores LED del panel frontal [59].

En la tabla 5.7 se describe el significado de los indicadores LED ETH ACT y ETH 100 del panel frontal para V1.

Etiqueta	Estado	Indicación
ETH ACT (verde): actividad de comunicación Ethernet (transmisión/recepción)	encendido	Conexión Ethernet detectada: sin actividad de comunicación
	apagado	Sin conexión Ethernet detectada
	parpadeante	Conexión Ethernet y actividad de comunicaciones detectadas
ETH 100 (verde): velocidad de transmisión Ethernet	encendido	Transmisión Ethernet a 100 Mbit/s (Fast Ethernet)
	apagado	Transmisión Ethernet a 10 Mbit/s (Ethernet) o no se ha detectado ninguna conexión

Tabla 5.7: Significado de los indicadores LED para V1 [59].

En la tabla 5.8 se describe el significado de los indicadores LED ETH ACT y ETH LNK del panel frontal para V2.

Etiqueta	Estado	Indicación
ETH ACT (verde): actividad de comunicación Ethernet (transmisión/recepción)	encendido	Actividad de comunicación detectada
	apagado	Sin actividad de comunicación detectada
ETH LNK (verde): Estado de la conexión Ethernet	encendido	Conexión Ethernet detectada
	apagado	Sin conexión Ethernet detectada
	apagado	Sin actividad de comunicación

Tabla 5.8: Significado de los indicadores LED para V2 [59].

Nota: “ El parpadeo rápido se establece como encendido para 50 ms y como apagado para 50 ms y el parpadeo lento se establece como encendido para 200 ms y como apagado para 200 ms” [59].

Módulos de fuente de alimentación BMX CPS ****

“Los módulos de alimentación BMX CPS **** se emplean en el bastidor BMX XBP **** y sus módulos. La elección del módulo de alimentación dependerá de la red distribuida (corriente alterna o continua) y la alimentación que precise” [59].

“Existen dos tipos de módulos de alimentación:

- Módulos de alimentación para redes de corriente alterna,
- Módulos de alimentación para redes de corriente continua” [59].

■ Funciones auxiliares de los módulos de alimentación

“Los módulos de alimentación desarrollan las siguientes funciones auxiliares:

- Bloque de visualización;
- Relé de alarma;
- Botón que se activa con objetos de punta fina que provoca el restablecimiento del bastidor si se presiona;
- Alimentación de sensor de 24 VCC (sólo para los módulos abastecidos por una red de corriente alterna)” [59].

La figura 5.24 muestra un módulo de alimentación BMX CPS ****:

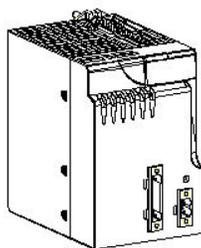


Figura 5.24: Módulo de alimentación BMX CPS **** [59].

■ Alimentación del sensor

“Los módulos de alimentación BMX CPS 2000/3500 de corriente alterna cuentan con una fuente de alimentación integrada que proporciona una tensión de 24 VCC, que se emplea para la alimentación de los sensores” [59].

nota: “Los sensores conectados a este bastidor deben recibir alimentación de él o de una fuente de alimentación externa. La alimentación de un bastidor diferente provocará un funcionamiento inesperado del equipo y una activación incorrecta de las salidas; asimismo, puede dañar la fuente de alimentación” [59].

■ Descripción de los módulos de alimentación

La figura 5.25 identifica los distintos componentes de un módulo de alimentación BMX P34 ****:

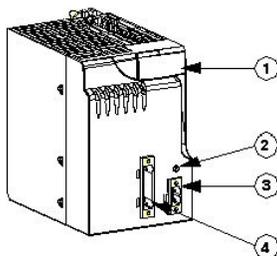


Figura 5.25: componentes de un módulo de alimentación BMX P34 **** [59].

En la tabla 5.9 se describen los componentes de un módulo de alimentación.

Número	Función
1	El panel de visualización consta de los siguientes elementos: * Un indicador LED OK (verde) encendido si el módulo de la fuente de alimentación del bastidor está operativa y funciona correctamente. * Un indicador LED de 24 V (verde) encendido si la fuente de alimentación del sensor está en funcionamiento. Este indicador LED sólo está integrado en los módulos de alimentación BMX CPS 2000/3500 de corriente alterna.
2	Botón RESET
3	Conector del relé de alarma
4	Conector para la red de entrada (y fuente de alimentación del sensor de de 24 VCC para los módulos de alimentación BMX CPS 2000/3500 de corriente alterna)

Tabla 5.9: Componentes de un módulo de alimentación [59].

■ Conexión de los módulos de alimentación de corriente alterna BMX CPS 2000

La figura 5.26 muestra la conexión de un módulo BMX CPS 2000 a la red de corriente alterna:

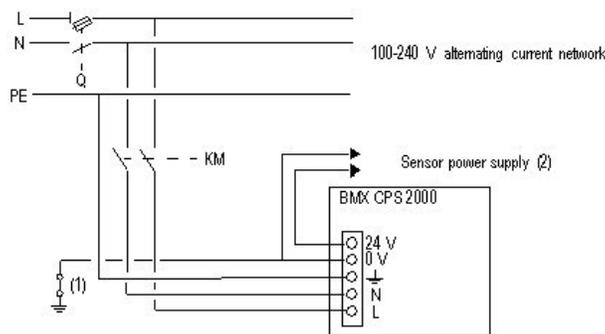


Figura 5.26: Conexión de un módulo BMX CPS 2000 a la red de corriente alterna [59].

Q: Seccionador general.

KM: Conector de línea o disyuntor.

(1): Barra del conector de aislamiento para localizar errores de puesta a tierra.

(2): Corriente disponible de 0,45 A.

Nota: “El módulo de alimentación de corriente alterna BMX CPS 2000 está provisto de un fusible de protección. Este fusible está conectado a la fase de entrada de la red de corriente alterna, está situado dentro del módulo y es inaccesible” [59].

■ **Visualizador de los módulos de alimentación BMX CPS xxxx**

“El módulo de alimentación cuenta con un panel de visualización con dos indicadores LED:

- Indicador LED OK.
- LED de 24 V” [59].

La tabla 5.10 describe los distintos tipos de indicadores LED y sus funciones.

Indicador LED	Descripción de los estados
Indicador LED OK (verde)	* Encendido en funcionamiento normal. * Apagado cuando la tensión de salida de la fuente de alimentación del bastidor está por debajo del umbral o cuando se presiona el botón RESET.
El indicador LED de 24 V (verde) sólo está integrado en los módulos de alimentación BMX CPS 2000/3500 de corriente alterna.	* Encendido en funcionamiento normal. * Apagado si la fuente de alimentación no proporciona tensión al sensor de 24 V.

Tabla 5.10: Indicadores LED del módulo de alimentación y sus funciones [59].

■ **Relé de alarma en los módulos de alimentación BMX CPS xxxx**

“El relé de alarma situado en todos los módulos de alimentación dispone de un contacto libre de potencial al que se puede acceder a través del bloque de terminales de conexión con tornillos del módulo” [59].

En la figura 5.27 se muestra el diagrama del circuito para el relé de alarma del módulo de alimentación:

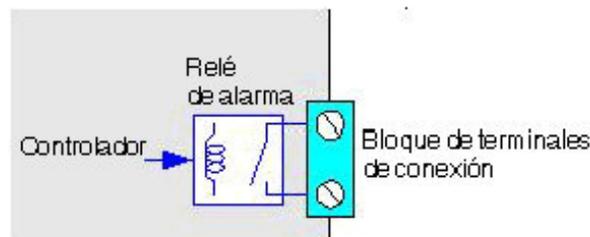


Figura 5.27: Relé de alarma del módulo de alimentación [59].

● **Funcionamiento del relé de alarma**

“En la modalidad de funcionamiento normal, con el PLC en RUN, el relé de alarma se activa y se cierra su contacto (estado 1)” [59].

“El relé se cierra y su contacto asociado se abre (estado 0) a causa de cualquier detención, incluso parcial, de la aplicación producida por los siguientes factores:

- Aparición de un error con bloqueo.
- Tensión de salida incorrecta de la fuente de alimentación del bastidor.
- Desaparición de la tensión de red” [59].

Nota: “Para aplicaciones de seguridad, utilice un dispositivo redundante. El relé de alarma no es un producto de seguridad” [59].

● **Características del contacto del relé de alarma**

En la tabla 5.11 se muestran las características del contacto en el relé de alarma de los módulos de alimentación BMX CPS 2000/2010/3020/3500.

Tensión límite de empleo	Corriente alterna		264 V	
	Corriente continua		62,4 V	
Corriente térmica	2 A			
Tiempo de vida	Características mecánicas	20 millones de ciclos		
	Eléctrica	Corriente alterna	200 V/1,5 A 240 V/1 A cos θ = 0,7	≥100.000 ciclos
			200 V/0,4 A 240 V/0,3 A cos θ = 0,7	≥300.000 ciclos
			200 V/1 A 240 V/0,5 A cos θ = 0,35	≥100.000 ciclos
			200 V/0,3 A 240 V/0,15 A cos θ = 0,35	≥300.000 ciclos
			Corriente continua	24 V/1 A 48 V/0,3 A L/R = 7 ms
		24 V/0,3 A 48 V/0,1 A L/R = 7 ms	≥300.000 ciclos	
Carga mínima conmutable	1 mA/5 V			
Tiempo de respuesta	Apertura	<12 ms		
	Cierre	<10 ms		
Tipo de contacto	De cierre			
Protecciones incorporadas	Contra las sobrecargas y los cortocircuitos	Ninguna, montaje obligatorio de un fusible de fusión rápida		
	Protección frente a sobretensiones inductivas de corriente alterna	Ninguna, montaje obligatorio en paralelo, en los bornes de cada preaccionador, de un circuito RC o descargador MOV (ZNO) adecuado para la tensión		
	Contra las sobretensiones inductivas en la corriente continua	Ninguna, montaje obligatorio en los bornes de cada preaccionador de un diodo de descarga		
Aislamiento (tensión de intento)	Contacto/puesta a tierra	1.500 V eff. - 50 Hz-1 mn (altitud 0 - 4.000 m) [32 - 7.232 pies]		
	Resistencia de aislamiento	>10 MW por debajo de 500 VCC		

Tabla 5.11: Relé de alarma de los módulos de alimentación [59].

■ **Potencia utilizable del módulo de alimentación**

En la tabla 5.12 se describe la potencia utilizable del módulo de alimentación BMX CPS 2000.

Potencia	Módulo BMX CPS 2000
Potencia utilizable total (incluidas todas las salidas)	20 W
Potencia utilizable en la salida 3V3_BAC	8,3 W (2,5 A)
Potencia utilizable en la salida 24V_BAC	16,5 W (0,7 A)
Potencia utilizable en las salidas 3V3_BAC y 24V_BAC	16,5 W
Potencia utilizable en la salida 24V_SENSORS	10,8 W (0,45 A)

Tabla 5.12: Potencia utilizable del módulo de alimentación BMX CPS 2000 [59].

Nota: “La salida 24V_BAC es una salida de alimentación de 24 V situada en el bastidor y que va a los módulos de entrada/salida y al procesador y la salida 3V3_BAC es una salida de alimentación de 3,3 V situada en el bastidor y que va a los módulos de entrada/salida. La salida 3V3_BAC output no abastece al procesador.” [59]

■ **Valoración de consumo de alimentación del módulo**

“El promedio de consumo de alimentación de un módulo es, la media entre el consumo máximo y el consumo habitual. Mediante la tabla 5.13, es posible calcular el consumo de alimentación por bastidor y por cada salida de los módulos de alimentación según los módulos instalados.” [59]

Tipo de módulo	Módulo		Consumo medio en mA		
	Referencia	Descripción	En la salida 3,3V_BAC	En la salida 24VR_BAC	En la salida 24V_SENSORS
Procesador	BMX P34 2020	CPU 340-20 Modbus Ethernet	–	95	–
Analógico	BMX AMM 0600	Entradas analógicas de cuatro canales	240	–	120
Entradas/salidas binarias	BMX DDM 16025	Ocho entradas 24 V CC binarias y ocho salidas binarias	100	50	30

Tabla 5.13: Valoración de consumo de alimentación del módulo [59].

■ **Características del módulo de alimentación BMX CPS 2000**

El módulo BMX CPS 2000 es un módulo de alimentación de corriente alterna.

La tabla 5.14 presenta las características generales del módulo BMX CPS 2000.

Características del bloque primario	Tensión nominal		100–120 V/200–240 V	
	Tensión límite		85 – 264 V	
	Frecuencia límite/nominal		50–60 Hz/47–63 Hz	
	Potencia aparente		70 VA	
	Irms de corriente nominal absorbida		0,61 A a 115 V	
			0,31 A a 240 V	
	Conexión inicial a 25 °C (1)	Corriente de señalización I	≤ 30 A a 120 V	
			≤ 60 A a 240 V	
		I^2t	≤ 0,5 A ² s a 120 V	
		En el bloqueo	≤ 2 A ² s a 240 V	
	It	≤ 0,03 As a 120 V		
	En el bloqueo	≤ 0,06 As a 240 V		
Duración aceptada de los microcortes		≤ 10 ms		
Protección integrada en la fase	En la interna, fusible sin acceso			
Características del bloque secundario	Alimentación total utilizable		20 W	
	Máxima potencia utilizable en las dos salidas: 3V3_BAC y 24V BAC		16,5 W	
	Salida 3V3_BAC	Tensión nominal	3,3 V	
		Corriente nominal	2,5 A	
		Potencia (típica)	8,3 W	
	Salida 24V BAC	Tensión nominal	24 VCC	
		Corriente nominal	0,7 A	
		Potencia (típica)	16,5 W	
	Salida 24V_SENSORS	Tensión nominal	24 VCC	
		Corriente nominal	0,45 A	
		Potencia (típica)	10,8 W	
Protección de las salidas 3V3_BAC, 24V BAC y 24V_SENSORS	Contra las sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones			
Máxima alimentación disipada		8,5 W		
Características de las funciones auxiliares	Relé de alarma	Contacto de cierre sin potencial en el bloque de terminales		
	Visualización	Indicador LED del panel frontal		
	Sostén de batería	No		
	Resistencia dieléctrica a 50 Hz–1 mn y altitud en el rango 0–4.000 m(32–7.232 pies)	(24V_BAC/3V3_BAC)primaria/secundaria	1.500 Vrms	
		(24V_SENSORS)primaria/secundaria	2.300 Vrms	
		Primaria/tierra	1.500 Vrms	
		24V_SENSORS/salida de tierra	500 Vrms	
	Resistencia de aislamiento	Primaria/secundaria	≥ 100 MW	
		Primaria/tierra	≥ 100 MW	

Tabla 5.14: Características del módulo de alimentación BMX CPS 2000 [59].

(1) “Deberán tenerse en cuenta estos valores para el encendido de varios dispositivos al mismo tiempo o para establecer el tamaño de los dispositivos de protección” [59].

Módulo mixto de entradas/salidas de relé BMX DDM 16025

“El módulo BMX DDM 16025 es un módulo binario de 24 VCC conectado a través de un bloque de terminales de 20 pins. Es un módulo de lógica positiva: los 8 canales de entrada reciben corriente de los sensores (común positivo). Las 8 salidas de relé aisladas funcionan con corriente continua (24 VCC) o con corriente alterna (de 24 a 240 VCA)” [59].

■ Especificaciones

● Características generales de entrada

La tabla 5.15 presentan las características generales de entrada del módulo BMX DDM 16025.

Módulo BMX DDM 16025		Ocho entradas de lógica positiva de 24 VCC	
Valores de entrada nominal		Tensión 24 VCC Actual 3,5 mA	
Valores límite de entrada	En 1	Tensión ≥ 11 V Actual ≥ 2 mA para $U \geq 11$ V	
		En 0	Tensión 5 V Actual < 1,5 mA
	Alimentación de sensor (ondulación incluida)		De 19 a 30 V (posible hasta 34 V, limitada a 1 hora/día)
	Impedancia de entrada	En U nominal	6,8 kW
Tiempo de respuesta	Típico	4 ms	
	Máximo	7 ms	
Conformidad con IEC 1131-2		Tipo 3	
Polaridad inversa		Protegido	
Compatibilidad con sensor de proximidad de dos o tres conductores		IEC 947-5-2	
Fiabilidad	MTFB en horas a $T_{ambiente} = 30^{\circ}\text{C}$	912 167	
Rigidez dieléctrica	Primaria/secundaria	1.500 V reales, 50/60 Hz durante un minuto	
	Entre grupos de entrada/salida	500 VCC	
Resistencia de aislamiento		> 10 MW (por debajo de 500 VCC)	
Tipo de entrada		Corriente de común positivo	
Paralelización de las entradas		No	
Tensión del sensor: umbral de monitorización	Aceptar	> 18 V	
	Error	< 14 V	
Tensión del sensor: tiempo de respuesta de control a 24V (-15% ... +20%)	En la aparición	8 ms < T < 30 ms	
	En la desaparición	1 ms < T < 3 ms	
Consumo de alimentación de 3,3 V	Típico	35 mA	
	Máximo	50 mA	
Consumo del preactuador de 24 V (sin incluir la corriente de carga)	Típico	79 mA	
	Máximo	111 mA	
Potencia disipada		3,1 W máx	
Descenso de temperatura		Ninguno	

Tabla 5.15: Características generales de entrada [59].

● **Fusibles de entrada**

Interno	Ninguno
Externo	1 fusible de acción rápida de 0,5 A por grupo de entrada

Tabla 5.16: Fusibles de entrada del módulo BMX DDM 16025 [59].

● **Características generales de salida**

La tabla 5.17 presenta las características generales de salida del módulo BMX DDM 16025.

Módulo BMX DDM 16025		ocho salidas de relé de 24 VCC/24?240 VCA
Valores nominales	Conmutación de tensión continua	Carga resistiva de 24 VCC
	Conmutación de corriente continua	Carga resistiva de 2 A
	Conmutación de tensión alterna	220 VCA, $\text{Cos}\Theta = 1$
	Conmutación de corriente alterna	2 A, $\text{Cos}\Theta = 1$
Corriente de carga mínima	Tensión/corriente	5 VCC/1 mA.
Corriente de carga máxima	Tensión	264 VCA/125 VCC
Cambio al módulo online		Posibilidad
Tiempo de respuesta	Activación	≤ 8 ms
	Desactivación	≤ 10 ms
Vida útil de componentes mecánicos	Número de conmutación	20 millones o superior
Fiabilidad	MTFB en horas a $T_{\text{ambiente}} = 30^{\circ}\text{C}$	912 167
Frecuencia máxima de conmutación	Ciclos por hora	3 600
Vida útil de componentes eléctricos		Conmutación de tensión/corriente
		200 VCA/1,5 A, 240 VCA/1 A, $\text{Cos}\Theta = 0,7$ (1)
		200 VCA/0,4 A, 240 VCA/0,3 A, $\text{Cos}\Theta = 0,7$ (2)
		200 VCA/1 A, 240 VCA/0,5 A, $\text{Cos}\Theta = 0,35$ (1)
		200 VCA/0,3 A, 240 VCA/0,15 A, $\text{Cos}\Theta = 0,35$ (2)
		200 VCA/1,5 A, 240 VCA/1 A, $\text{Cos}\Theta = 0,7$ (1)
		200 VCA/0,4 A, 240 VCA/0,3 A, $\text{Cos}\Theta = 0,7$ (2)
Inmunidad al ruido		En simulación de ruido, 1.500 V reales, ancho de 1 s y de 25 a 60 Hz
Consumo de alimentación de 3,3 V	Típico	79 mA
	Máximo	111 mA
Consumo del preactuador de 24 V	Típico	36 mA
	Máximo	58 mA
Potencia disipada		3,1 W máx.
Rigidez dieléctrica	Tensión máxima	2.830 VCA rms/ciclos
Resistencia de aislamiento		10 MW
Descenso de temperatura		Ninguno

Tabla 5.17: Características generales de salida [59].

(1) 1×10^5 ciclos

(2) 3×10^5 ciclos

- **Fusibles de salida**

Interno	Ninguno
Externo	1 fusible de acción rápida de 12 A por grupo de salida

Tabla 5.18: Fusibles de salida del módulo BMX DDM 16025 [59].

Nota: “El módulo BMX DDM 16025 debe conectarse o desconectarse tras cortar la tensión de los sensores y preactuadores” [59].

- **Conexión de módulos**

- **Diagrama del circuito de entrada**

La figura 5.28 muestra el circuito de entrada de corriente directa (lógica positiva).

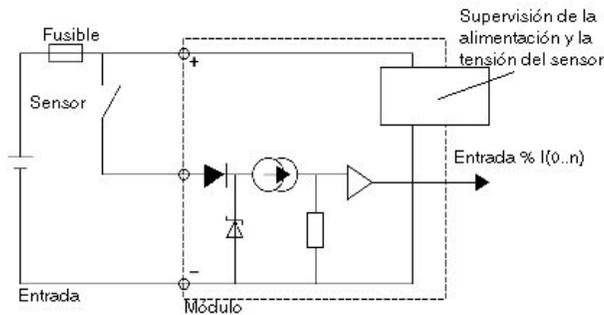


Figura 5.28: Circuito de entrada de corriente directa [59].

- **Diagrama del circuito de salida**

La figura 5.29 muestra el circuito de salida de relé.

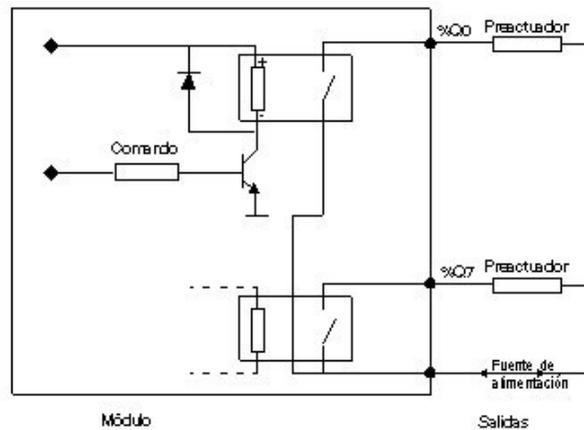


Figura 5.29: Circuito de salida de relé [59].

- **Conexión del módulo**

La figura 5.30 muestra la conexión del módulo a los sensores y preactuadores.

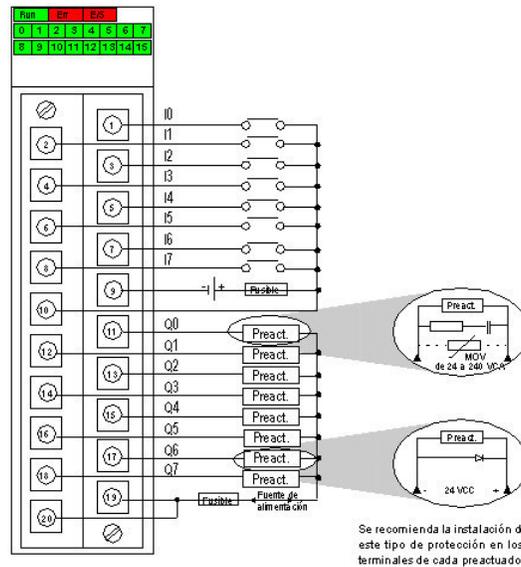


Figura 5.30: Conexión del módulo a los sensores y preactuadores [59].

fuelle de alimentación de la entrada: 24 VCC

fuelle de alimentación de la salida: 24 VCC o de 24 a 240 VCA

fusible de entrada: 1 fusible de acción rápida de 0,5 A

fusible de salida: 1 fusible de acción rápida de 12 A

preact.: preactuador

Módulo de entradas y salidas analógicas BMX AMM 0600

“El módulo de entradas y salidas BMX AMM 0600 combina 4 entradas analógicas sin separación de potencial con 2 salidas analógicas sin separación de potencial.” [59] “El módulo BMX AMM 0600 proporciona el rango siguiente, en función de la selección que se realice durante la configuración:

- Rango de entrada de tensión: +/-10 V/de 0 a 10 V/de 0 a 5 V/de 1 a 5 V
- Rango de entrada de corriente: de 0 a 20 mA/de 4 a 20 mA
- Rango de salida de tensión: +/-10 V
- Rango de salida de corriente: de 0 a 20 mA/de 4 a 20 mA” [59]

El aspecto del módulo de entradas y salidas analógicas BMX AMM 0600 se visualiza en la figura 5.31.

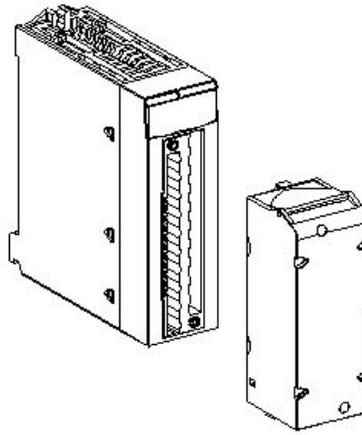


Figura 5.31: Módulo de entradas y salidas analógicas BMX AMM 0600 [59].

■ Características

● Características generales de entrada

La tabla 5.19 indica las características generales de entrada del módulo de entrada BMX AMM 0600.

Tipos de entradas	Entradas de modo común sin separación de potencial	
Naturaleza de las entradas	Tensión/corriente (resistencias internas protegidas de 250 Ω)	
Número de canales	4 entradas	
Tiempo de ciclo de adquisición:		
Rápido (* adquisición periódica para los canales utilizados)	1 ms + 1 ms \times número de canales utilizados	
* Predeterminado (adquisición periódica para todos los canales)	5 ms	
Resolución	14 bits en ± 10 V 12 bits en de 0 a 5 V	
Filtrado digital	1 ^o orden	
Separación de potencial:		
* Entre grupo de canales de entrada y grupo de canales de salida	750 VCC	
* Entre los canales y el bus	1.400 VCC	
* Entre los canales y la tierra	1.400 VCC	
Sobrecarga máxima autorizada para las entradas:	Entradas de tensión: ± 30 VCC Entradas de corriente: ± 90 mA	
Consumo de alimentación (3,3 V)	Típico	0,35 W
	Máximo	0,48 W
Consumo de alimentación (24 V)	Típico	1,3 W
	Máximo	2,8 W

Tabla 5.19: Características de entrada del módulo BMX AMM 0600 [59].

■ Rango de medición de entrada

Las entradas analógicas del módulo BMX AMM 0600 tienen las características de rango de medición de entrada las cuales se observan en la tabla 5.20:

Rango de medición	+/-10 V / +/-5 V ; de 0 a 10 V ; de 0 a 5 V ; de 1 a 5 V	de 0 a 20 mA/de 4 a 20 mA
Valor máximo de conversión	+/-11,25 V	de 0 a 30 mA
Resolución	1,42 mV	5,7 μ A
Impedancia de entrada	10 M Ω	250 Ω
		Resistencia interna de transformación
Precisión de la resistencia interna de transformación	-	0,1 %–15 ppm/ $^{\circ}$ C
Error de medición de las entradas: * a 25 $^{\circ}$ C * Máximo en el rango de temperatura	0,25 % de FS (1) 0,35 % de FS (1)	0,35 % de FS (1, 2) 0,50 % de FS (1, 2)
Deriva de temperatura de entrada	30 ppm/ $^{\circ}$ C	50 ppm/ $^{\circ}$ C
Monotonicidad	Sí	Sí
Sin linealidad	0,10 % de FS	0,10 % de FS
Leyenda:		
(1) FS: escala completa (Full Scale)		
(2) con error de la resistencia de transformación		

Tabla 5.20: Características de rango de medición de entrada[59].

Nota: “Si no hay nada conectado al módulo analógico BMX AMM 0600 y si los canales están configurados (rango 4-20 mA o 1-5 V), se detecta un conductor interrumpido y se produce un error de E/S” [59].

■ Características generales de salida

En la tabla 5.21 se indican las características generales de salida del módulo BMX AMM 0600.

Tipos de salidas	2 salidas sin separación de potencial
Configuración de rango	Selección del rango de corriente de alimentación propia o tensión por firmware

Tabla 5.21: Características generales de salida del módulo BMX AMM 0600 [59].

■ Rango de tensión

El rango de tensión del módulo BMX AMM 0600 tiene las características que se indican en la tabla 5.22.

Rango nominal de variación	+/- 10 V
Rango máximo de variación	+/- 11,25 V
Resolución de tensión	5,7 mV
Error de medición: * a 25 $^{\circ}$ C * Máximo en el rango de temperatura	0,25 % de FS (1) 0,60 % de FS (1)
Deriva de temperatura	100 ppm/ $^{\circ}$ C
Monotonicidad	Sí
Sin linealidad	0,1 % de FS
Ondulación de salida de CA	2 mV eficaces en 50 Ω BW < 25 MHz
Impedancia de carga	1 K Ω mínimo
Tipo de detección	Cortocircuitos y sobrecargas

Tabla 5.22: Características del rango de tensión del módulo BMX AMM 0600 [59].

■ Rango de corriente

El rango de corriente del módulo BMX AMM 0600 tiene las características que se indican en la tabla 5.23.

Rango nominal de variación	de 0 a 20 mA/de 4 a 20 mA
Corriente máxima disponible	24 mA
Resolución de corriente	12,3 A
Error de medición:	
* a 25°C	0,25 % de FS (1)
* Máximo en el rango de temperatura	0,60 % de FS (1)
Deriva de temperatura	100 ppm/°C
Monotonicidad	Sí
Sin linealidad	0,1 % de FS
Ondulación de salida de CA	2 mV eficaces en 50 Ω BW < 25 MHz
Impedancia de carga	600 KΩ máximo
Tipo de detección	Circuito abierto (1)
Leyenda	
(1) El módulo detecta físicamente los circuitos abiertos en un rango de 4 a 20 mA. También los detecta si el valor de la corriente de destino es distinto de 0 mA en un rango de 0 a 20 mA.	

Tabla 5.23: Características del rango de corriente del módulo BMX AMM 0600 [59].

■ Tiempo de respuesta de salidas

“El retraso máximo entre la transmisión del valor de salida del bus del PLC y su colocación efectiva en el bloque de terminales es inferior a 2 ms:

- tiempo de ciclo interno = 1 ms para las dos salidas
- tiempo de respuesta de conversión digital/análogica = 1 ms como máximo para un paso de 0 a 100 %” [59]

■ Descripción de funciones

“El módulo de entradas y salidas BMX AMM 0600 combina 4 entradas analógicas sin separación de potencial con 2 salidas analógicas sin separación de potencial. No obstante, los bloques de entradas y salidas tienen separación de potencial.” [59]

“El módulo BMX AMM 0600 proporciona el rango siguiente, en función de la selección que se realice durante la configuración:

- Rango de entrada de tensión: +/-10 V/de 0 a 10 V/de 0 a 5 V/de 1 a 5 V
- Rango de entrada de corriente: de 0 a 20 mA/de 4 a 20 mA
- Rango de salida de tensión: +/-10 V
- Rango de salida de corriente: de 0 a 20 mA/de 4 a 20 mA” [59]

La ilustración del módulo BMX AMM 0600 se observa en la figura 5.32.

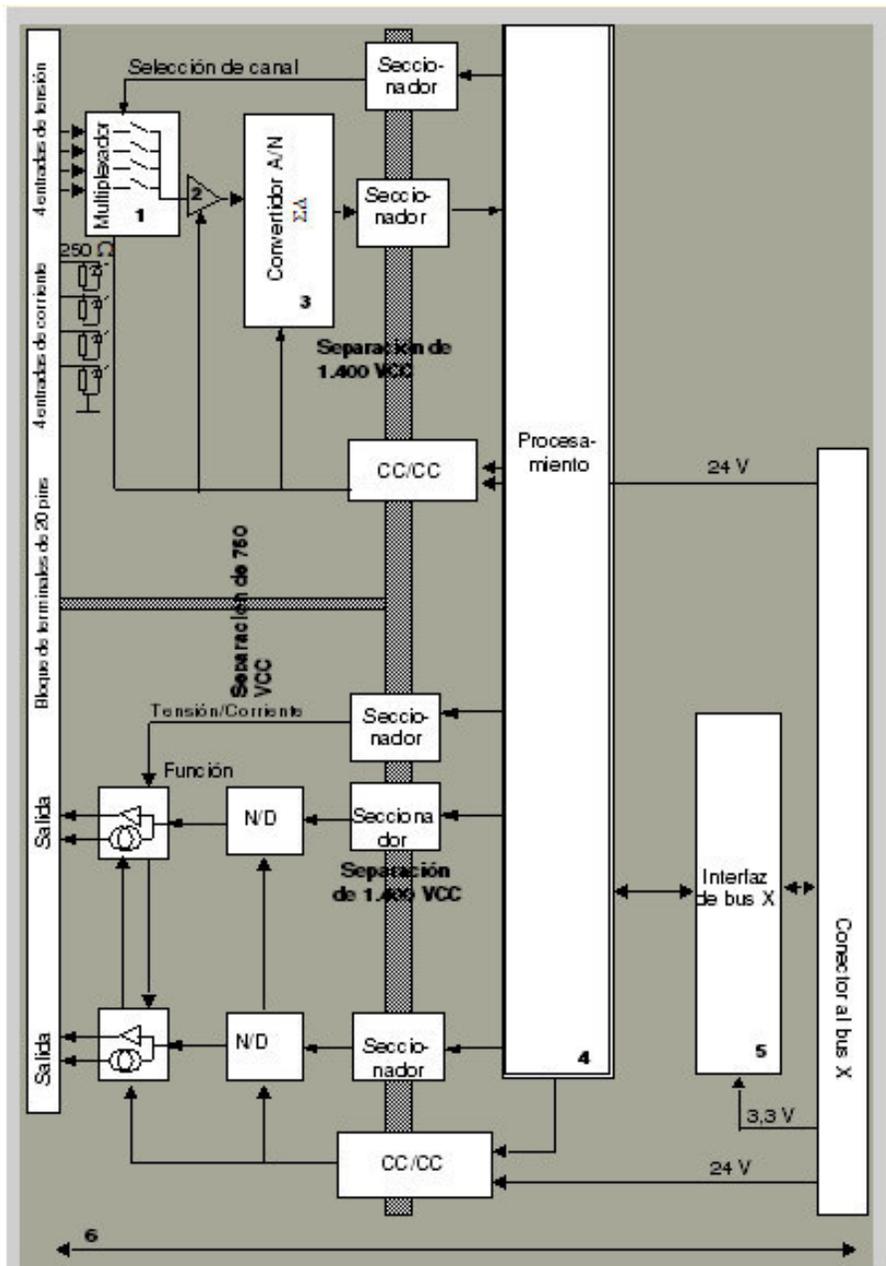


Figura 5.32: Ilustración del módulo BMX AMM 0600 [59].

Descripción:

Dirección	Proceso	Características
1	Adaptación	* Conexión física al proceso a través de un bloque de terminales con tornillos de 20 pins. * Protección del módulo contra sobretensiones.
2	Adaptación de la señal	* La adaptación se realiza sobre tensión o corriente mediante la configuración del software.
3	Conversión	* Esta conversión se realiza en 13 bits con un signo de polaridad. * El encuadre de los datos ofrecidos por el programa en la dinámica del convertidor se realiza automáticamente.
4	Transformación de los valores de la aplicación en datos que puede utilizar el convertidor digital/análogo	* Utilización de parámetros de calibración de equipo.
5	Comunicación con la aplicación	* Gestiona los intercambios con la CPU. * Direccionamiento geográfico. * Recepción desde la aplicación de los parámetros de configuración del módulo y de los canales, además de los valores teóricos numéricos de los canales. * Envío del estado del módulo a la aplicación.
6	Supervisión del módulo y envío de las notificaciones de error a la aplicación	* Prueba de desborde de rango en los canales. * Prueba de cortocircuitos y circuitos abiertos de salida. * Prueba del watchdog. * Capacidades de retorno programables.

Tabla 5.24: Descripción de La ilustración del módulo BMX AMM 0600 [59].

• Funciones de entrada: temporización de medición

“La temporización de mediciones se determina por el ciclo seleccionado durante la configuración: Ciclo normal o rápido” [59].

- “El Ciclo normal indica que la duración de ciclo de exploración es fija.
- Sin embargo, con el Ciclo rápido, el sistema sólo explora los canales designados como En uso. Por lo tanto, la duración del ciclo de exploración es proporcional al número de canales utilizados” [59].

Los valores de tiempo de ciclo se basan en el ciclo seleccionado(ver tabla 5.25).

Módulo	Ciclo normal	Ciclo rápido
BMX AMM 0600	5 ms	1 ms + (1 ms x N) donde N: número de canales en uso.

Tabla 5.25: Valores de tiempo de ciclo del módulo BMX AMM 0600 [59].

Nota: “El ciclo del módulo no está sincronizado con el ciclo de PLC. Al inicio de cada ciclo de PLC, se tiene en cuenta cada valor de canal. Si el tiempo de ciclo de tarea MAST/FAST es inferior al tiempo de ciclo del módulo, algunos valores no habrán cambiado” [59].

- **Funciones de entrada: control de desborde/transgresión por debajo de rango**

“El módulo **BMX AMM 0600** permite que el usuario pueda seleccionar entre 6 tensiones o rangos de corriente para cada entrada” [59].

“Esta opción debe configurarse para cada canal en las ventanas de configuración. La detección de tolerancia superior e inferior se encuentra siempre activa independientemente del control del desborde o trasgresión por debajo de rango” [59].

Según el rango seleccionado, el módulo comprueba si existe desborde. Esto garantiza que la medición rebase el límite entre un umbral superior o inferior (ver figura 5.33).

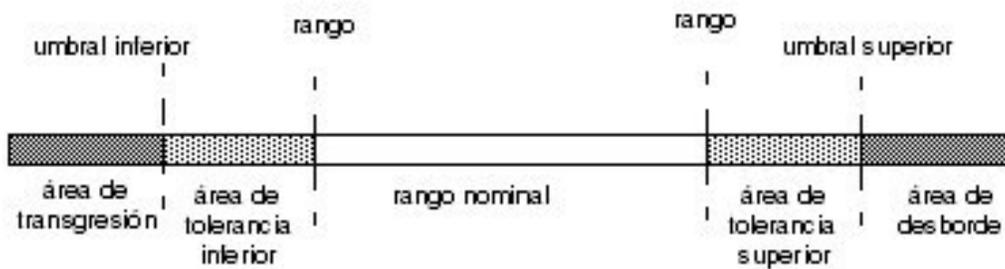


Figura 5.33: Control de desborde/transgresión por debajo de rango [59].

Descripción:

Designación	Descripción
Rango nominal	Rango de medición correspondiente al rango seleccionado.
Área de tolerancia superior	Varía entre los valores incluidos entre el valor máximo para el rango (por ejemplo: +10 V para el rango de +/-10 V) y el umbral superior.
Área de tolerancia inferior	Varía entre los valores incluidos entre el valor mínimo para el rango (por ejemplo: -10 V para el rango de +/-10 V) y el umbral inferior.
Área de desborde	Área ubicada por encima del umbral superior.
Área de transgresión	Área ubicada por debajo del umbral inferior.

Tabla 5.26: Descripción de las funciones de entrada [59].

Los valores de los umbrales pueden configurarse de forma individual. Estos valores pueden asumir valores enteros entre los límites que se muestran en la tabla 5.27

	Rango	Rango de BMX AMM 0600									
		Área de transgresión	Área de tolerancia inferior	Rango nominal	Área de tolerancia superior	Área de desborde					
Unipolar	De 0 a 10 V	-1,500	-1,001	-1,000	-1	0	10,000	10,001	11,000	11,001	11,400
	De 0 a 5 V / De 0 a 20 mA	-5,000	-1,001	-1,000	-1	0	10,000	10,001	11,000	11,001	15,000
	De 1 a 5 V / De 4 a 20 mA	-4,000	-801	-800	-1	0	10,000	10,001	10,800	10,801	14,000
Bipolar	+/-10 V	-11,500	-11,001	-11,000	-10,001	-10,000	10,000	10,001	11,000	11,001	11,400
Usuario	+/-10 V	-32,768				Definido por el usuario.	Definido por el usuario.				32,767
	De 0 a 10 V	-32,768				Definido por el usuario.	Definido por el usuario.				32,767

Tabla 5.27: Límites de los valores umbrales [59].

● Funciones de entrada: Visualización de mediciones

Las mediciones se pueden visualizar mediante una visualización normalizada (en %, hasta dos decimales) como se muestra en la tabla 5.28.

Tipo de rango	Visualización
Rango unipolar De 0 a 10 V, de 0 a 5 V, de 1 a 5 V, de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA	De 0 a 10.000 (0% a +100,00%)
Rango bipolar +/-10 V, +/-5 mV +/-20 mA	De -10.000 a 10.000 (-100,00% a +100,00%)

Tabla 5.28: Visualización normalizada de las mediciones [59].

“También es posible definir el rango de valores dentro de las mediciones expresadas seleccionando lo siguiente:

- El umbral inferior correspondiente al valor mínimo para el rango: 0% (ó -100,00%).
- El umbral superior correspondiente al valor máximo para el rango (+100,00%)” [59].

“Los umbrales superior o inferior deben ser enteros entre -32.768 y +32.767. Por ejemplo, imagine una zona de acondicionamiento que proporciona datos de presión en un bucle de 4 a 20 mA, donde 4 mA corresponde a 3.200 mB, y 20 mA corresponde a 9.600 mB. Tiene la posibilidad de elegir el formato Usuario, estableciendo los siguientes umbrales superior e inferior” [59]:

“3.200 para 3.200 mB como umbral inferior.

9.600 para 9.600 mB como umbral superior” [59].

“Los valores que se transmiten al programa varían entre 3.200 (= 4 mA) y 9.600 (= 20 mA)” [59].

● Funciones de entrada: filtrado de medición

“El tipo de filtrado efectuado por el sistema se denomina ”filtrado de primer orden”. El coeficiente de filtrado puede modificarse mediante una consola de programación o a través del programa” [59].

La fórmula matemática utilizada es la siguiente:

$$Mesf(n) = \alpha * Mesf(n - 1) + (1 - \alpha) * Valb(n) \quad (5.1)$$

donde:

“ α = eficacia del filtro.

Mesf(n) = medición filtrada en el momento n.

Mesf(n-1) = medición filtrada en el momento n-1.

Valg(n) = valor bruto en el momento n” [59].

“Puede establecer el valor de filtrado entre siete posibilidades (de 0 a 6). Este valor puede variar incluso si la aplicación se encuentra en modalidad de ejecución” [59].

Nota: “Es posible acceder al filtrado en Ciclo normal o rápido” [59].

Los valores de filtrado dependen del ciclo de configuración T (ver tabla 5.29)(donde T = tiempo de ciclo de 5 ms en modalidad estándar):

Eficacia deseada	Valor requerido	α correspondiente	Tiempo de respuesta del filtro en 63 %	Frecuencia de corte (en Hz)
Sin filtrado	0	0	0	0
Filtrado bajo	1	0.750	4 x T	0,040 / T
	2	0.875	8 x T	0,020 / T
Filtrado medio	3	0.937	16 x T	0,010 / T
	4	0.969	32 x T	0,005 / T
Filtrado intenso	5	0.984	64 x T	0,0025 / T
	6	0.992	128 x T	0,0012 / T

Tabla 5.29: Ciclo de configuración de filtrado [59].

● **Funciones de entrada: alineación de sensor**

“El proceso de “alineación” consiste en eliminar un offset sistemático comprobado mediante un sensor determinado, alrededor de un punto de funcionamiento específico. Esta operación compensa un error vinculado al proceso. De este modo, la sustitución de un módulo no requiere una nueva alineación. Sin embargo, la sustitución del sensor o la modificación del punto de funcionamiento del sensor sí requieren una nueva alineación” [59].

Las líneas de conversión se presentan en la imagen 5.34.

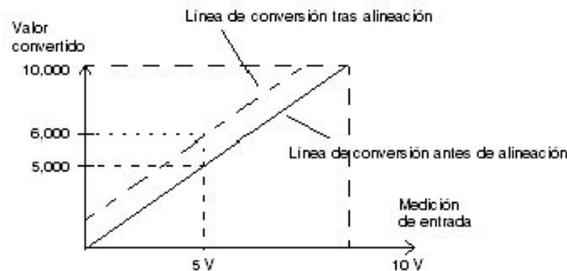


Figura 5.34: Líneas de conversión [59].

“El valor de alineación puede editarse mediante una consola de programación, incluso si el programa está en modalidad de ejecución. Para cada canal de entrada, es posible:

- visualizar y modificar el valor de medición deseado;
- guardar el valor de alineación;
- determinar si el canal ya tiene una alineación” [59].

“También es posible modificar el offset de alineación a través de la programación.

La alineación de canal se lleva a cabo en el canal con modalidad de funcionamiento estándar, sin que esto afecte a las modalidades de funcionamiento del canal” [59].

“El offset máximo entre el valor medido y el valor deseado (alineado) no debe ser superior a ± 1.500 ” [59].

Nota: “Para alinear varios canales analógicos en los módulos BMX AMO/AMI/ AMM/ ART, se recomienda proceder canal por canal. Pruebe todos los canales después de la alineación y antes de pasar al siguiente canal para aplicar los parámetros correctamente” [59].

● **Funciones de salida: escritura de las salidas**

“La aplicación debe facilitar a las salidas los valores en formato normalizado:

- De -10.000 a +10.000 para el rango ± 10 V.
- De 0 a +10.000 en 0 a 20 mV y rangos de 4 a 20 mA” [59].

● **Conversión digital/analógica**

“La conversión digital/analógica se realiza en:

- 12 bits en rangos de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA para el rango ± 10 V” [59].

● **Funciones de salida: control de desborde**

“El módulo **BMX AMM 0600** permite un control de desborde en los rangos de tensión y de corriente. El rango de medición se divide en tres áreas (ver figura 5.35)” [59].

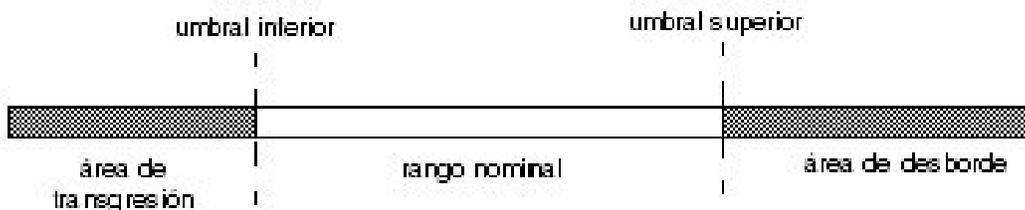


Figura 5.35: Áreas del rango de medición [59].

Descripción:

Designación	Descripción
Rango nominal	Rango de medición correspondiente al rango seleccionado.
Área de desborde	Área ubicada por encima del umbral superior.
Área de transgresión	Área ubicada por debajo del umbral inferior.

Tabla 5.30: Descripción de las áreas del rango de medición [59].

Los valores de desborde para los diversos se muestran en la tabla 5.31.

Rango	BMX AMM 0600					
	Área de transgresión	Rango nominal	Área de desborde			
+/-10 V	-11,250	-11,001	-11,000	11,000	11,001	11,250
De 0 a 20 mA	-2,000	-1,001	-1,000	11,000	11,001	12,000
De 4 a 20 mA	-1,600	-801	-800	10800	10801	11,600

Tabla 5.31: Valores de desborde para los diversos rangos [59].

“También puede elegir el indicador para un desborde del valor superior del rango, para una transgresión del valor inferior del rango o para ambos” [59].

● **Funciones de salida: retornar/mantener o restablecer salidas a cero.**

“En caso de error, y dependiendo de la gravedad, las salidas:

- Pasan a la posición retorno/mantener individualmente o de forma conjunta.
- Se fuerzan a 0 (0 V o 0 mA)” [59].

Distintos comportamientos de las salidas:

Error	Comportamiento de salidas de tensión	Comportamiento de salidas de corriente
Tarea en la modalidad de detención o ausencia de programa	Retornar/mantener (canal por canal)	Retornar/mantener (canal por canal)
Interrupción en la comunicación		
Error de configuración	0 V (todos los canales)	0 mA (todos los canales)
Error interno en el módulo		
Valor de salida fuera de rango (transgresión/desborde de rango)	Valor saturado en el límite definido (canal por canal)	Valor saturado (canal por canal)
Circuito abierto o cortocircuito de salida	Cortocircuito: mantener (canal por canal)	Circuito abierto: mantener (canal por canal)
Intercambio bajo tensión del módulo (procesador en modalidad de detención)	0 V (todos los canales)	0 mA (todos los canales)
Cargando el programa de nuevo		

Tabla 5.32: Distintos comportamientos de las salida [59].

“Retornar o mantener en el valor actual seleccionado durante la configuración del módulo. El valor de retorno se puede modificar desde Depuración en Unity Pro o con un programa” [59].

- **Funciones de salida: comportamiento en la conexión inicial y en la desconexión**

“Cuando el módulo está conectado o desconectado, las salidas se establecen en 0 (0 V o 0 mA)” [59].

- **Funciones de salida: alineación del actuador**

“El proceso de alineación consiste en eliminar un offset sistemático comprobado mediante un actuador determinado, alrededor de un punto de funcionamiento específico. Esta operación compensa un error vinculado al proceso. De este modo, la sustitución de un módulo no requiere una nueva alineación. Sin embargo, la sustitución del actuador o la modificación del punto de funcionamiento del sensor sí requieren una nueva alineación” [59].

Las líneas de conversión se presentan en la figura 5.36

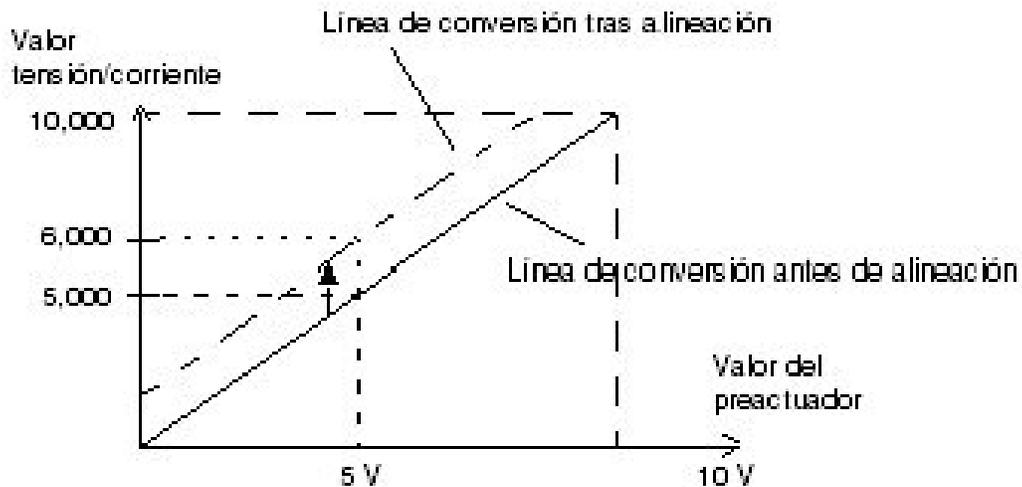


Figura 5.36: Líneas de conversión del actuador [59].

“El valor de alineación puede editarse mediante una consola de programación, incluso si el programa está en modalidad de ejecución. Para cada canal de salida, es posible:

- y modificar el valor de destino de salida inicial;
- guardar el valor de alineación;
- determinar si el canal ya tiene una alineación” [59].

“Es posible que el valor de offset máximo entre el valor medido y el valor de salida corregido (valor alineado) no exceda de ± 1.500 ” [59].

Nota: ” Para alinear varios canales analógicos en los módulos BMX AMO/AMI/AMM/ART, se recomienda proceder canal por canal. Pruebe todos los canales después

de la alineación y antes de pasar al siguiente canal para aplicar los parámetros correctamente” [59].

- **Esquema de cableado**

En la figura 5.37 se detalla la conexión del bloque de terminales, los sensores y el cableado de los actuadores.

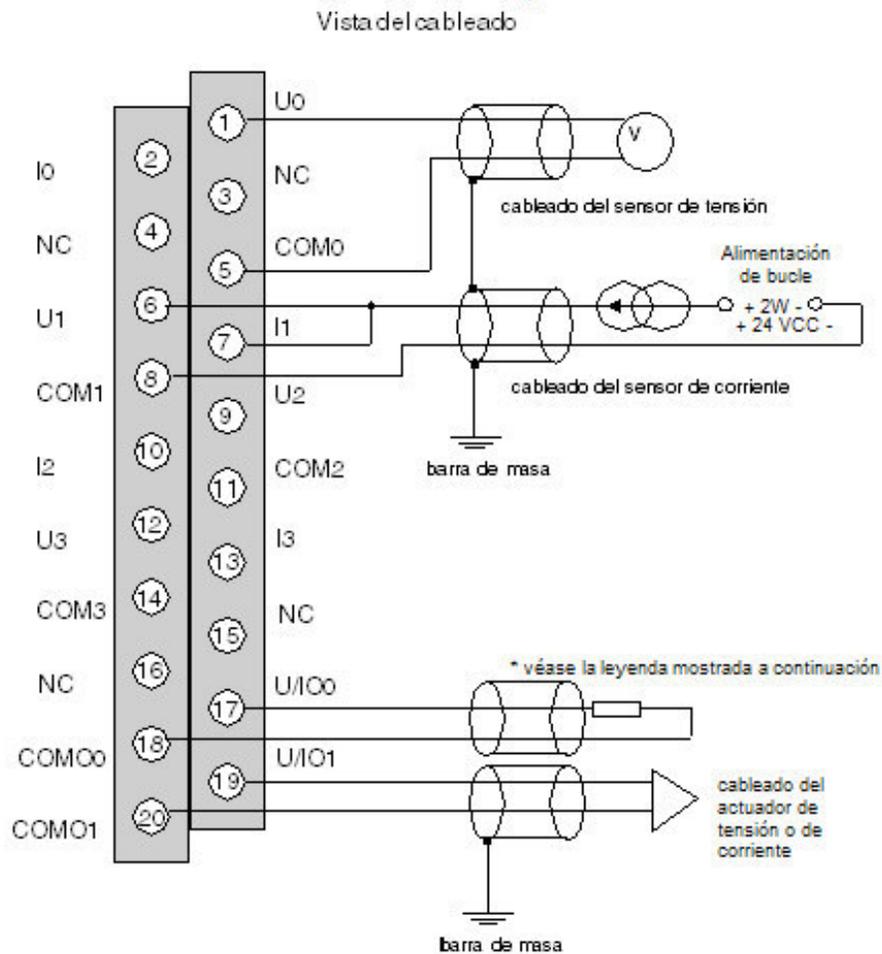


Figura 5.37: Esquema de cableado [59].

U_x entrada de polo + para el canal x

COM_x entrada de polo - para el canal x

U/IO_x salida de polo + para el canal x

COMO_x salida de polo - para el canal x

* El bucle de corriente se autoalimenta por la salida y no necesita ninguna fuente externa.

Bastidor BMX XBP 0600

“Los bastidores BMX XBP 0600 constituyen el elemento fundamental de las estaciones del autómeta M340 de Modicon.

Éstos desarrollan las siguientes funciones” [59]:

- ” Función mecánica: los bastidores se encargan de la fijación de todos los módulos de la estación del autómeta(módulo de alimentación, procesador, módulos de entradas/salidas binarias/analógicas, módulos específicos de la aplicación). Además, pueden fijarse en varias instalaciones:
 - En armarios.
 - En carcasas.
 - En paneles.” [59]
- ” Función eléctrica: los bastidores proporcionan los siguiente:
 - La alimentación necesaria para cada módulo en un solo bastidor.
 - Señales de servicio y datos para la totalidad de la estación del autómeta.” [59]

■ Descripción del bastidor BMX XBP 0600

La figura 5.38 muestra el bastidor BMX XPB 0600:

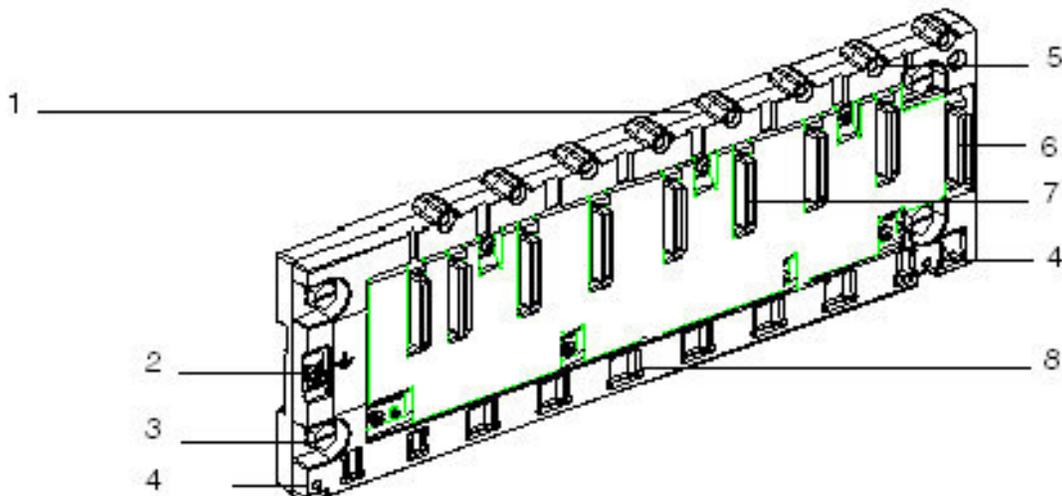


Figura 5.38: Bastidor BMX XBP 0600 [59].

■ Descripción

La tabla 5.33 describe los diferentes componentes de un bastidor.

Número	Descripción
1	Montaje metálico, que desempeña las funciones siguientes: * Aloja la tarjeta electrónica del bus del PLC y la protege de interferencias del tipo EMI (interferencia electromagnética) y ESD (descarga electrostática). * Aloja los módulos. * Proporciona rigidez mecánica al bastidor.
2	Terminal de tierra para la conexión a masa del bastidor.
3	Orificios para ajustar el bastidor a un montaje. Los orificios admiten tornillos M6.
4	Barra protectora para los puntos de ajuste.
5	Orificios de rosca para los tornillos de fijación del módulo.
6	Conector hembra de 40 pines para el módulo de ampliación. Este conector está marcado como XBE.
7	Conectores hembra de 40 pines para la conexión del bastidor con los distintos módulos. El bastidor cuenta con cubiertas de protección para estos conectores. Éstas deberán retirarse antes de la instalación de los módulos. Los dos conectores situados en el extremo izquierdo y marcados como CPS son los específicos del módulo de alimentación del bastidor. Los otros conectores, los marcados como 00, 01, 02, etc., sirven para el resto de los módulos.
8	Ventanas para anclar las clavijas del módulo.

Tabla 5.33: Descripción del bastidor BMX XBP 0600 [59].

■ Dimensiones del bastidor

La figura 5.39 muestra las dimensiones globales (mm/pulgada) del bastidor BMX XBP 0600:

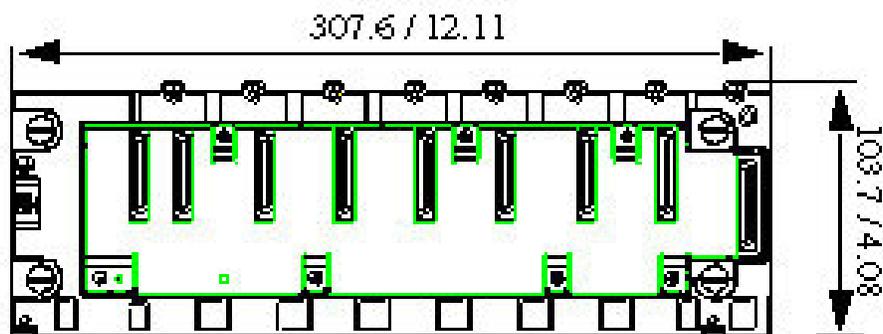


Figura 5.39: Dimensiones globales (mm/pulgada) del bastidor BMX XBP 0600 [59].

PANTALLA HMIGTO3510

Especificaciones estructurales

Puesta a tierra	Puesta a tierra funcional: Resistencia de la conexión a tierra de 100Ω , cable de 2 mm^2 (AWG14) o más grueso, o bien las normas aplicables de su país. (Lo mismo se aplica a los terminales FG y SG)
Método de refrigeración	Circulación natural del aire
Estructura* ¹	IP65f NEMA #250 TIPO 4X/13 (en el panel frontal cuando se instala correctamente en una carcasa)
Dimensiones exteriores	Ancho 218 x Alto 173 x Profundidad 60 mm (Ancho 8,58 x Alto 6,85 x Profundidad 2,36 in.)
Dimensiones del corte del panel	Ancho 204,5 x Alto 159,5 mm (Ancho 8,05 x Alto 6,28 in.)* ² Espesor del panel: 1,6...5 mm (0,06..0,2 in)* ³
Peso	1,2 kg (2,6 lbs) o menos (solamente la unidad principal)

Tabla 5.34: Especificaciones estructurales de HMIGTO3510 [60].

Especificaciones eléctricas

Fuente de alimentación	Tensión de entrada nominal	24 Vcc
	Límites de tensión de entrada	19,2...28,8 Vcc
	Caída de tensión	5 ms o menos
	Consumo de energía	12 W o menos
	Cuando no se suministra alimentación eléctrica a los dispositivos externos	8 W o menos
	Retroiluminación apagada (Modo de espera)	5 W o menos
Retroiluminación atenuada (Brillo: 20 %)	5,5 W o menos	
	Tensión de entrada nominal	30 A o menos
Resistencia de la tensión		1.000 Vca, 20 mA por un min (entre los terminales de carga y de la toma de tierra)
Resistencia de aislamiento		500 Vcc, 10 MW o más (entre los terminales de carga y de la toma de tierra)

Tabla 5.35: Especificaciones eléctricas de HMIGTO3510 [60].

Especificaciones ambientales

		HMIGTO3510
Entorno físico	Temperatura ambiente del aire	0...50 °C (32...122 °F)
	Temperatura de almacenamiento	-20...60 °C (-4...140 °F)
	Humedad ambiente del aire y del almacenamiento	10...90 % RH (Sin condensación, temperatura de bulbo húmedo 39 °C [102,2 °F] o menos)
	Polvo	0,1 mg/m ³ (10 ⁻⁷ oz./ft ³) o menos (niveles no conductores)
	Grado de contaminación	Uso en un entorno con un grado de contaminación 2
	Gases corrosivos	Libre de gases corrosivos
	Presión atmosférica	800...1.114 hPa (2.000 m [6.561 pies] o más bajo)
.5 Entorno mecánico	Resistencia a la vibración	IEC/EN 61131-2 5...9 Hz amplitud simple 3,5 mm (0,14 in.) 9...150 Hz Aceleración fija: 9,8 m/s ² Direcciones X, Y, Z para diez ciclos (aproximadamente 100 minutos)
	Resistencia a golpes	Conformidad IEC/EN 61131-2 147 m/s ² direcciones X, Y, Z para 3 repeticiones
.5 Entorno eléctrico	Inmunidad al ruido	Tensión de ruido: 1000 Vp-p Ancho de pulso: 1 μs Tiempo de subida: 1 ns
	Inmunidad a descarga electrostática	Método de descarga de contacto: 6 kV (IEC/EN61000-4-2 Nivel 3)

Tabla 5.36: Especificaciones ambientales de HMIGTO3510 [60].

■ Requisitos de calidad del aire

“No utilice ni almacene el panel en lugares donde se evaporan productos químicos o donde éstos están presentes en el aire”:[60]

NOTA: “*1 La parte frontal de Magelis GTO, instalada en un panel macizo, se ha probado bajo condiciones equivalentes a las normas que se citan en las especificaciones. Aunque el nivel de resistencia del Magelis GTO es equivalente al de las normas mencionadas, algunos aceites que no deberían afectar a Magelis GTO pueden dañarlo. Esto puede ocurrir en zonas en las que se hallen presentes aceites evaporados o en los casos en que se permita un contacto prolongado del panel con lubricantes de corte de baja viscosidad. Si se desprendiera la lámina de protección de la parte frontal de panel, podría propiciarse la entrada de aceite en panel, en cuyo caso se recomienda tomar medidas de protección adicionales” [60].

Especificaciones de la pantalla

		HMIGTO3510
Tipo de pantalla		Pantalla LCD de color TFT
Tamaño de la pantalla		7.0"
Resolución		800 x 480 píxeles(WVGA)
Área de visualización efectiva		Ancho 152,4 x Alto 91,44 mm Ancho 6,0 x Alto 3,6 in.
Colores de la pantalla		65.536 colores (Sin parpadeo) / 16.384 colores(Parpadeo)
Retroiluminación		LED blanco (no reemplazable por el usuario. Cuando sea necesario reemplazarlo, póngase en contacto con su distribuidor local.)
Duración de la retroiluminación		50.000 horas o más (funcionamiento continuo a 25 °C [77 °F] antes de que el brillo de la retroiluminación disminuye a 50 %)
Control de brillo		16 niveles (Ajustado con el panel táctil o el software)
Fuentes de idiomas		ASCII: (Página de códigos 850) alfanuméricos(incluidos los caracteres europeos) Chino: (Códigos GB2312-80) fuentes de chino simplificado Japonés (excepto para XBT GT1000 Series): ANK 158, Kanji: 6.962 (JIS estándares 1 y 2) (incluidos 607 caracteres no kanji) Coreano: (Códigos KSC5601 - 1992) fuentes Hangeul Taiwanés: (Códigos Big 5) fuentes de chino tradicional
Tamaño de los caracteres		Fuentes de 8 x 8, 8 x 16, 16 x 16 y 32 x 32 píxeles
Tamaño de fuentes		Puede aumentar el ancho hasta ocho veces y el alto hasta ocho veces.*1
Texto	8 x 8 píxeles	100 caracteres por fila x 60 filas
	8 x 16 píxeles	100 caracteres por fila x 30 filas
	16 x 16 píxeles	50 caracteres por fila x 30 filas
	32 x 32 píxeles	25 caracteres por fila x 15 filas

Tabla 5.37: Especificaciones de la pantalla HMIGTO3510 [60].

“*1 Puede usar el software para configurar otros tamaños de fuentes” [60].

Memoria, reloj, panel táctil y conmutadores de funciones

■ Memoria

	HMIGTO3510
Memoria de la aplicación *1	FLASH EPROM 96 MB
Copia de seguridad de los datos	SRAM 128 KB (Batería de litio reemplazable para memoria de backup)

Tabla 5.38: Memoria de HMIGTO3510 [60].

“ *1 Capacidad disponible para la aplicación del usuario” [60].

NOTA:

- “Cuando aparezca el mensaje “Nivel de batería bajo”, suministre electricidad al panel y cargue la batería completamente” [60].

■ Reloj

Precisión del reloj*1	±65 segundos por mes (desviación a temperatura ambiente y el panel está apagado).
-----------------------	---

Tabla 5.39: Reloj de HMIGTO3510 [60].

“ *1 Según la temperatura de funcionamiento y la antigüedad del panel, el reloj puede variar entre -380 y +90 segundos por mes. Si este nivel de precisión es insuficiente, el usuario debe monitorear el sistema y hacer los ajustes cuando sea necesario” [60].

■ Panel táctil

Tipo de panel táctil	Película resistente (analógica)
Resolución del panel táctil	1.024 x 1.024
Vida útil del panel táctil	1 millón de veces o más

Tabla 5.40: Panel táctil de HMIGTO3510 [60].

■ Conmutadores de funciones

“HMIGTO3510: Ocho conmutadores (de F1 a F8)” [60].

Especificaciones de la interfaz

■ Interfaz en serie COM1

Transmisión asíncrona	RS-232C
Longitud de los datos	7 o 8 bits
Bit de parada	1 o 2 bits
Paridad	Ninguna, par o impar
Velocidad de transmisión de los datos	2.400...115.200 bps
Conector	Sub-D de 9 pines (toma)

Tabla 5.41: Interfaz en serie COM1 [60].

■ Interfaz en serie COM2

Transmisión asíncrona	RS-485
Longitud de los datos	7 o 8 bits
Bit de parada	1 o 2 bits
Paridad	Ninguna, par o impar
Velocidad de transmisión de los datos	2.400...115.200 bps, 187.500 bps (MPI)
Conector	Conector de acoplador modular (RJ-45)

Tabla 5.42: Interfaz en serie COM2 [60].

■ Interfaz USB

	Interfaz USB (Tipo A)	Interfaz USB (mini-B)
Conector	USB 2,0 (Tipo A) x 1	USB 2,0 (mini-B) x 1
Tensión de la fuente de alimentación	5 Vcc \pm 5 %	-
Corriente máxima suministrada	500 mA	-
Distancia de transmisión máxima	5 m (16,4 pies)	

Tabla 5.43: Interfaz USB [60].

■ Interfaz Ethernet

Ethernet (LAN)	IEEE802.3i / IEEE802.3u, 10BASE-T/100BASE-TX
Conector	Conector de acoplador modular (RJ45) x 1

Tabla 5.44: Interfaz Ethernet [60].

■ Interfaz de la tarjeta SD

“Ranura de la tarjeta SD x 1 (Tarjeta SD/SDHC con un máximo de 32 GB)” [60].

Dimensiones

■ Dimensiones exteriores: HMIGTO3510

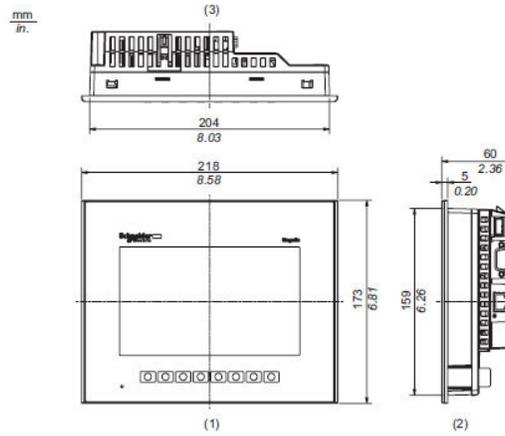


Figura 5.40: Dimensiones exteriores: HMIGTO3510 [60].

- 1 Frontal
- 2 Lateral derecho
- 3 Parte superior

■ Instalación con los elementos de fijación: HMIGTO3510

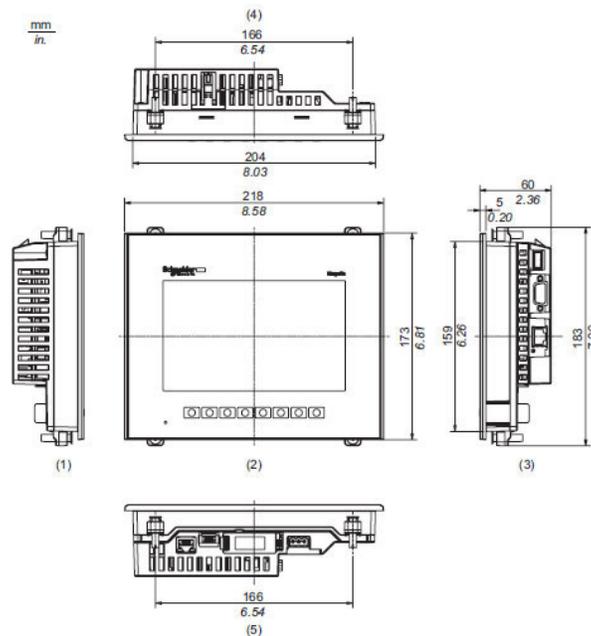


Figura 5.41: Instalación con los elementos de fijación: HMIGTO3510 [60].

- 1 Lateral izquierdo
- 2 Frontal
- 3 Lateral derecho
- 4 Parte superior
- 5 Inferior

■ Dimensiones con cables: HMIGTO3510

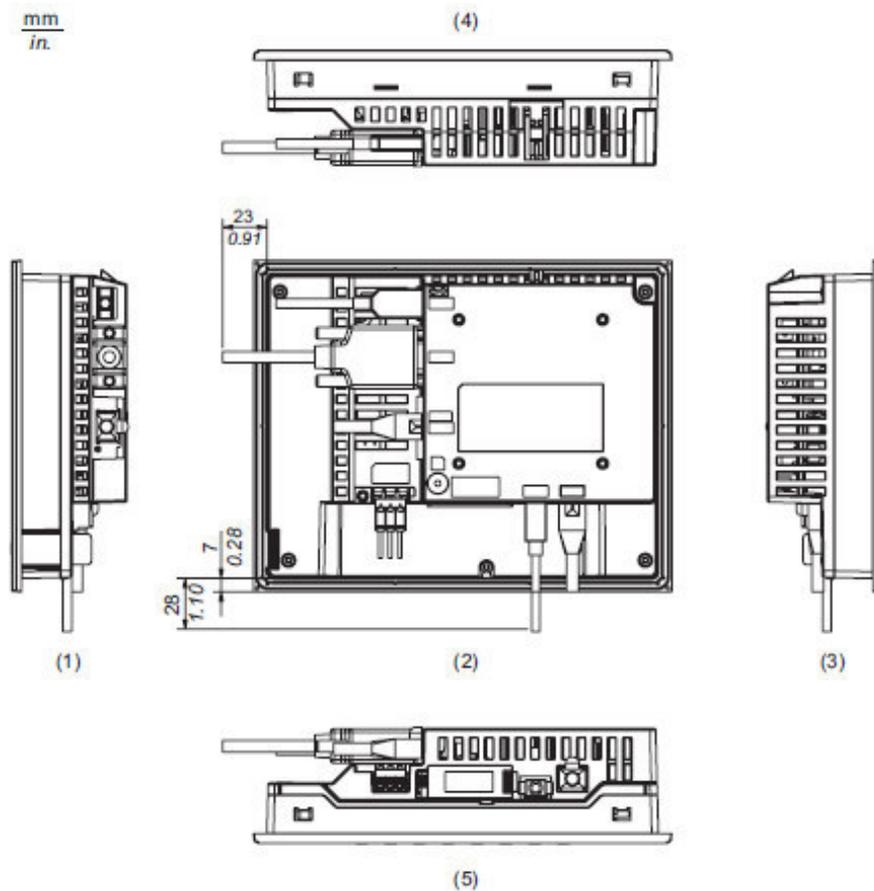


Figura 5.42: Instalación con los elementos de fijación: HMIGTO3510 [60].

- 1 Lateral izquierdo
- 2 Posterior
- 3 Lateral derecho
- 4 Parte superior
- 5 Inferior

NOTA: “Todos los valores anteriores están diseñados para permitir que los cables se doblen. Las dimensiones indicadas son valores representativos que dependen del tipo de cable de conexión utilizado. Por lo tanto, estos valores son sólo para referencia” [60].

Fuente de alimentación AC/DC ABL8MEM24012

La fuente de alimentación ABL8MEM24012 está diseñada para aplicaciones industriales, posee un rango de tensión de entrada de 100VAC a 240VAC, una tensión de salida de 24VDC, potencia nominal de 30W, corriente de salida de la fuente de 1,2A, eficiencia del 82 %, un led verde para indicación de estado y protección contra cortocircuitos.

SWITCH 5 PORTS 10/100Mbps Desktop

El SWITCH 5 PORTS 10/100Mbps Desktop cumple con los estándares IEEE 802.3, IEEE 802.3u, tiene 5 puertos RJ45 10/100Mbps auto-negociación de apoyo Auto-MDI/MDIX, soporta control de flujo IEEE 802.3x para Full Dúplex y backpressure para half-duplex, también soporta dirección MAC auto-learning y auto-aging, cuenta con indicadores LED para vigilancia, enlace y actividad, además incluye un adaptador de corriente externo de 5VDC/1A.

ANEXO 2: Unity Pro

Programación del PLC en Unity Pro

1. Busque y ejecute el programa Unity Pro XL, ver figura 5.43.



Figura 5.43: Programa Unity Pro XL.

2. Una vez abierto el software seleccione, nuevo proyecto, ver figura 5.44.

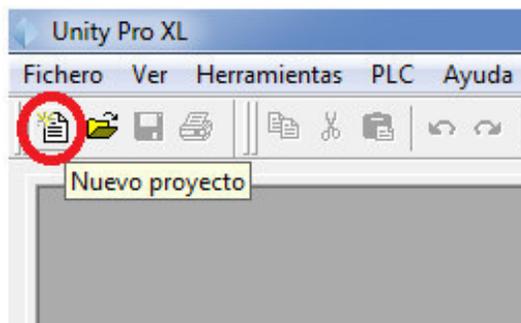


Figura 5.44: Nuevo proyecto.

3. Posteriormente seleccione el tipo de PLC que va a programar, que para este caso es un PLC Modicon M340 junto con la CPU BMX P34 2020, como se observa en la figura 5.45.

PLC	Versión OS min.	Descripción
Modicon M340		
BMX P34 1000	02.00	CPU 340-10 Modbus
BMX P34 2000	02.00	CPU 340-20 Modbus
BMX P34 2010	02.00	CPU 340-20 Modbus CANopen
BMX P34 2020	02.00	CPU 340-20 Modbus Ethernet
BMX P34 2030	02.00	CPU 340-20 Ethernet CANopen
Premium		
Quantum		

Figura 5.45: Tipo de PLC.

4. Seguidamente ubique “Explorador de proyectos” y seleccione dando doble clic en “Bus PLC”, como se ve en la figura 5.46.

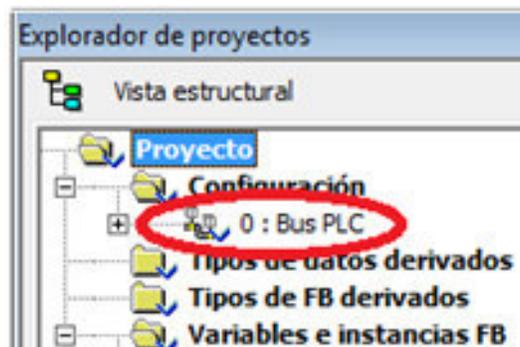


Figura 5.46: Selección de Bus PLC.

5. Bus PLC, contiene la fuente de alimentación y el procesador que se seleccionó al crear el proyecto, junto con más ranuras que permiten agregar otros módulos al PLC, como se visualiza en la figura 5.47.

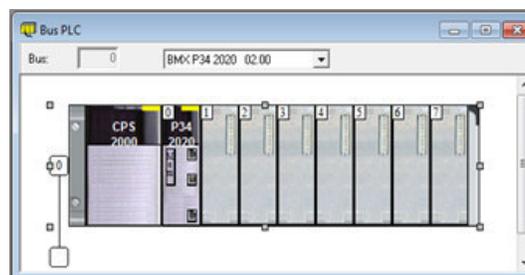


Figura 5.47: Bus PLC.

6. Para insertar otros módulos se selecciona una de las ranuras vacías dando doble clic, y aparecerá la ventana donde se seleccionará el módulo con el que cuenta el PLC, ver figura 5.48.

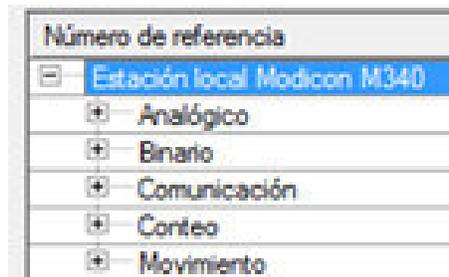


Figura 5.48: Insertar otros módulos.

7. Seguidamente se instalan un módulo binario BMX DDM 16025 y uno analógico BMX AMM 600, como se observa en la figura 5.49.

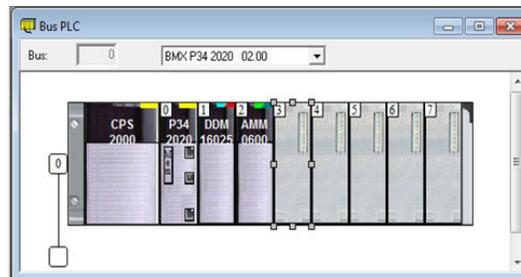


Figura 5.49: Módulo binario BMX DDM 16025 y analógico BMX AMM 600.

8. Al seleccionar los módulos dando doble clic, se habilitara las entradas y salidas que este posea, y se le asignan nombres a las que se vallan a utilizar, como se ve en la figura 5.50.

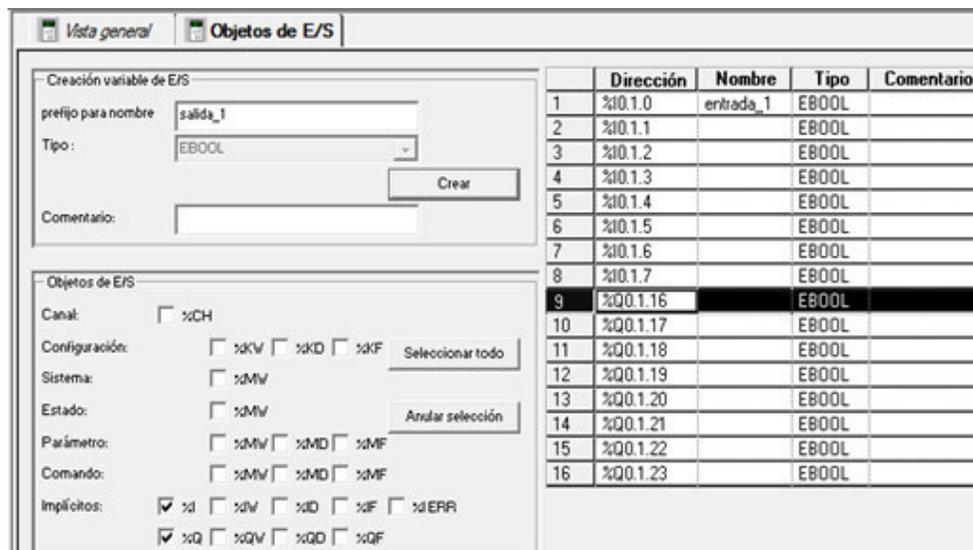


Figura 5.50: Entradas y salidas de los módulos.

9. Al seleccionar variables elementales se puede visualizar las variables que se crearon anteriormente y de ser necesario crear más, (ver figura 5.51).

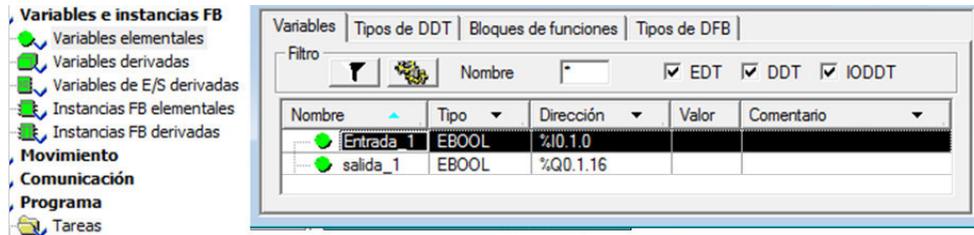


Figura 5.51: Variables.

10. Posteriormente se selecciona la carpeta de comunicación, se da clic derecho en la carpeta Redes y se da clic la opción “Nueva red”, seguidamente se le asigna la red disponible la cual es Ethernet, que tiene como nombre por defecto “Ethernet_1” y finalmente se da clic en Aceptar (ver figura 5.52).

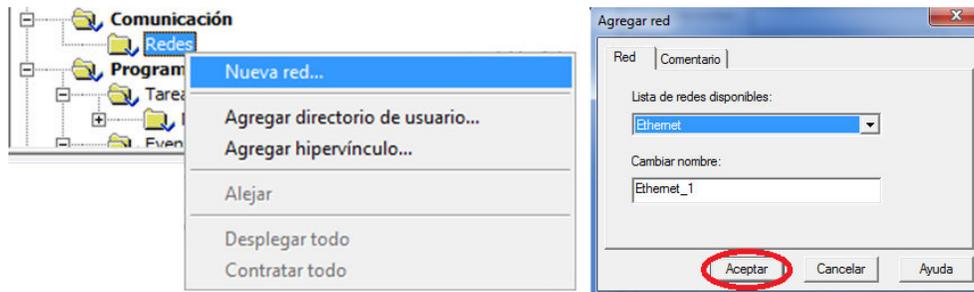


Figura 5.52: Comunicación.

11. Una vez creada la red se da doble clic sobre está para su respectiva configuración, donde se le debe asignar la CPU con la que se está trabajando y la dirección IP, como se observa en la figura 5.53.

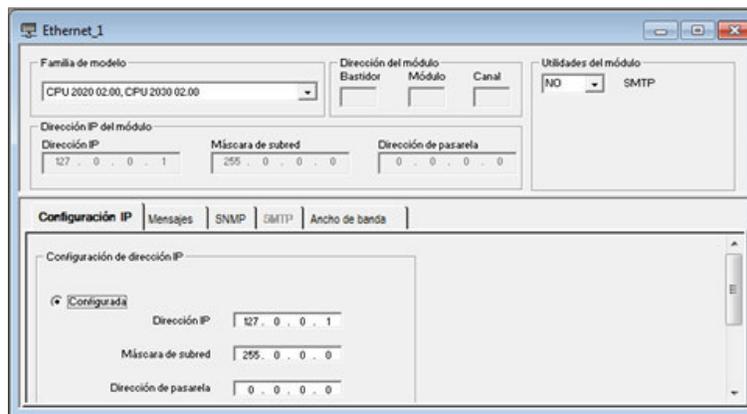


Figura 5.53: CPU y dirección IP.

12. En el módulo del procesador se selecciona la salida Ethernet y se le asigna la red antes creada, quedando finalmente la comunicación, como se observa en la figura 5.54.

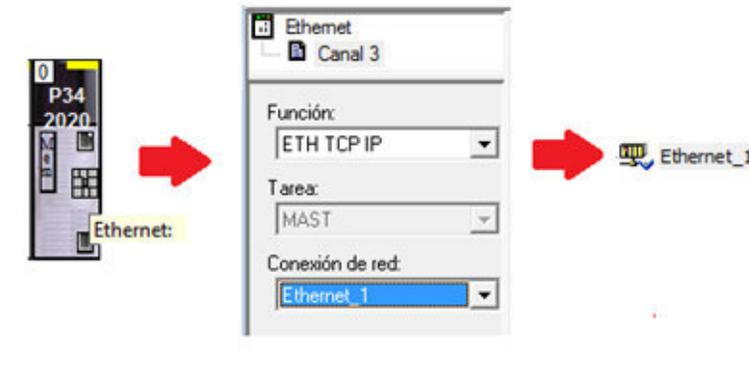


Figura 5.54: Salida Ethernet.

13. Una vez creada la comunicación el paso a seguir es asignar el lenguaje de programación con el que se va a trabajar, para esto se da clic derecho sobre el directorio Secciones, ubicado en el Explorador de proyectos, apareciendo finalmente otra ventana donde se asignara el lenguaje de programación que para este caso es LD y el nombre de la sección va a ser ejercicio_1, como se visualiza en la figura 5.55.

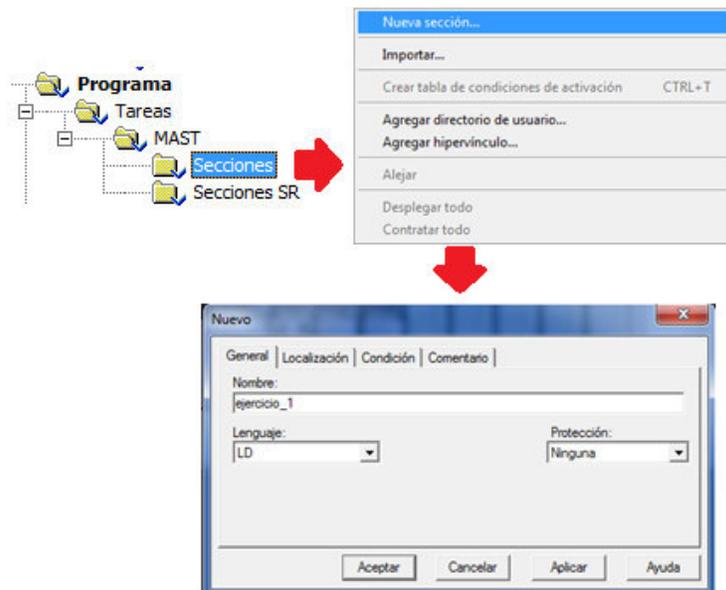


Figura 5.55: Lenguaje de programación.

14. El panel de programación aparecerá inmediatamente se halla creado la sección (ver figura 5.56).

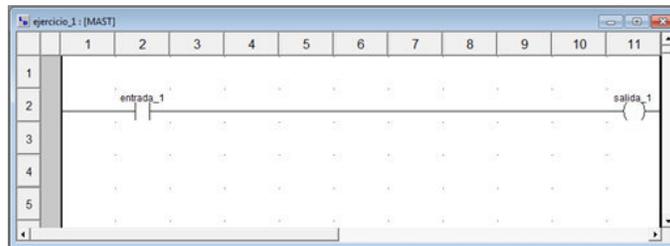


Figura 5.56: Panel de programación.

15. Al haber terminado el programa se deberá analizar para verificar que no hallan errores, y posteriormente se generara el proyecto, apareciendo en la parte derecha de abajo del programa como “GENERADO” (ver figura 5.57).

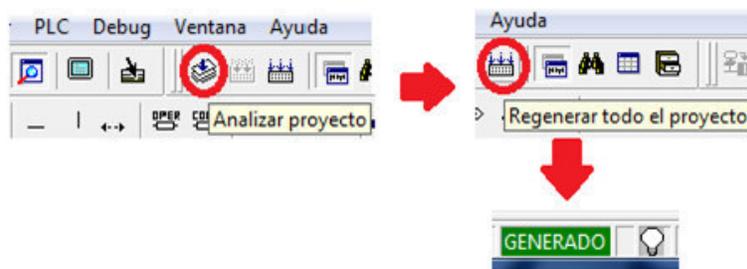


Figura 5.57: Generación del proyecto.

16. Generado el programa el paso a seguir es guardarlo en una carpeta donde se pueda localizar con facilidad (ver figura 5.58).

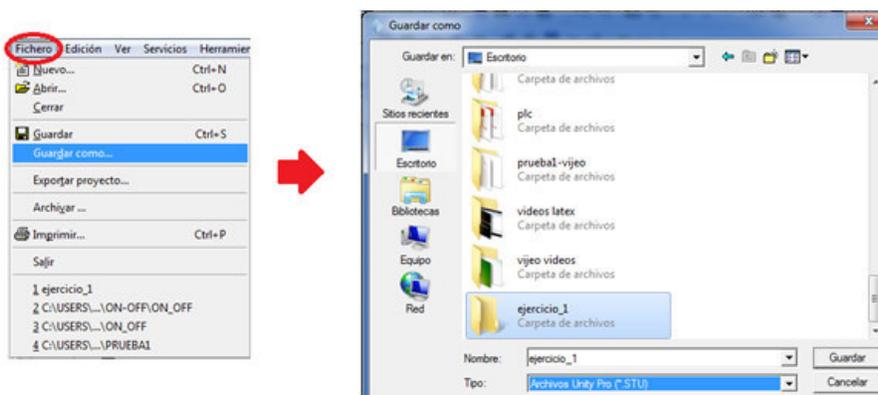


Figura 5.58: Guardar el proyecto.

17. Para cargar el programa al PLC, es necesario conectarlo posteriormente se envía el proyecto al PLC y se habilita la opción Ejecución del PLC después de la transferencia y se selecciona transferir donde aparecerá un mensaje el cual se le dará clic en aceptar como se en la figura 5.59).

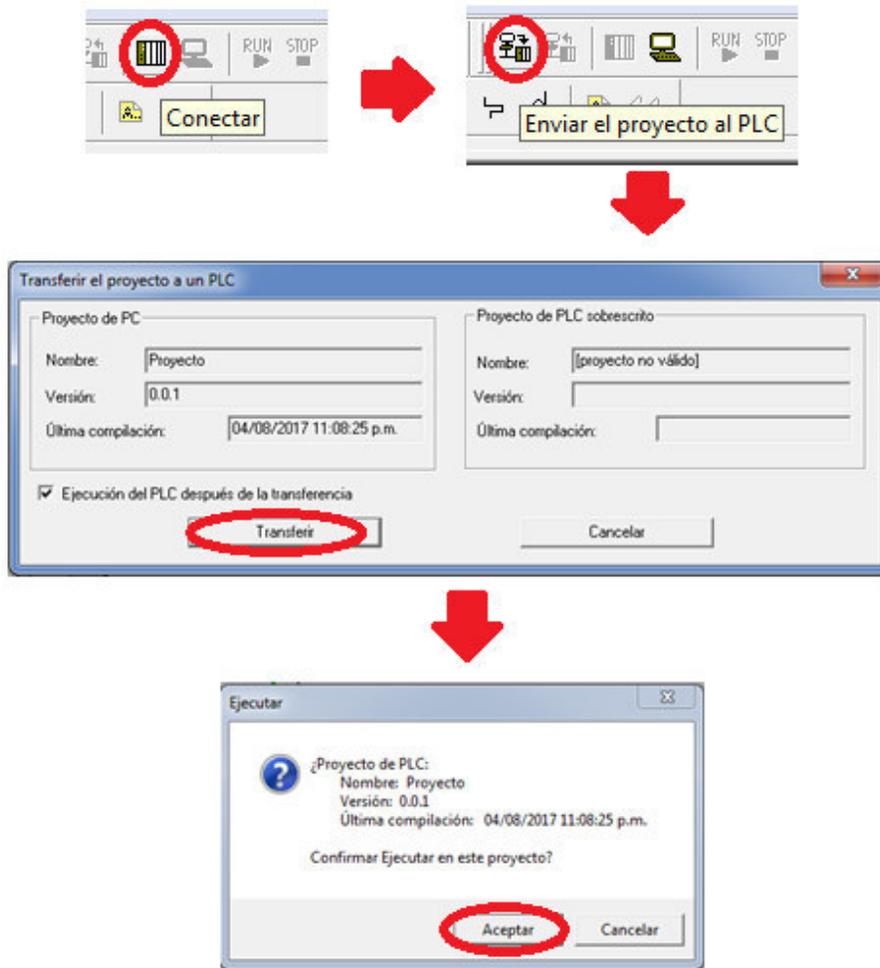


Figura 5.59: Cargar el programa al PLC.

ANEXO 3: Vijeo Designer

Crear un proyecto en Vijeo Designer

Vijeo Designer es un software diseñado para programar pantallas HMI, en el cual se incluye información del hardware, dibujos, alarmas etc. Donde se puede visualizar el comportamiento de un proceso y realizar control de este sin necesidad de manipular directamente la planta. Los pasos para desarrollar un proyecto en Vijeo Designer van a ser descritos a continuación.

1. Se debe abrir el programa Vijeo Designer dando doble clic sobre el icono, una vez abierto se selecciona Crear un nuevo proyecto y se da clic en siguiente, donde aparecerá una ventana donde se le asignara el nombre del proyecto, que para este ejemplo es ejercicio_1 y se da clic en siguiente, que abrirá una nueva ventana donde se selecciona el tipo de pantalla que se va a programar y su respectivo modelo seguidamente aparecerá una nueva pantalla donde se le asignara la dirección IP de la máquina de destino y se presionara clic en siguiente (ver figura 5.60)

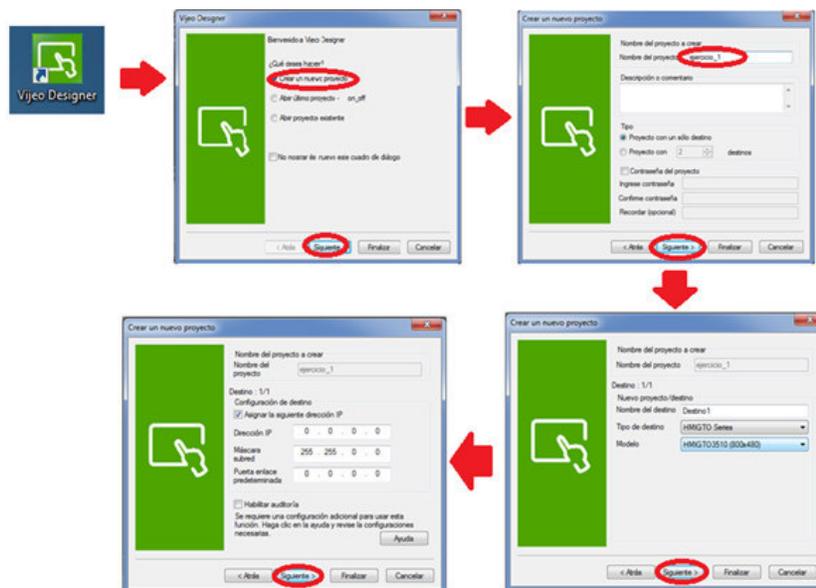


Figura 5.60: Crear un proyecto en Vijeo Designer.

- Una vez configurada la dirección IP, aparecerá una ventana donde se seleccionara el equipo con el cual se va a comunicar la terminal, que para este ejemplo es del fabricante Schneider Electric, con un controlador Modbus TCP/IP en un equipo Modbus, como se observa en la figura 5.61.

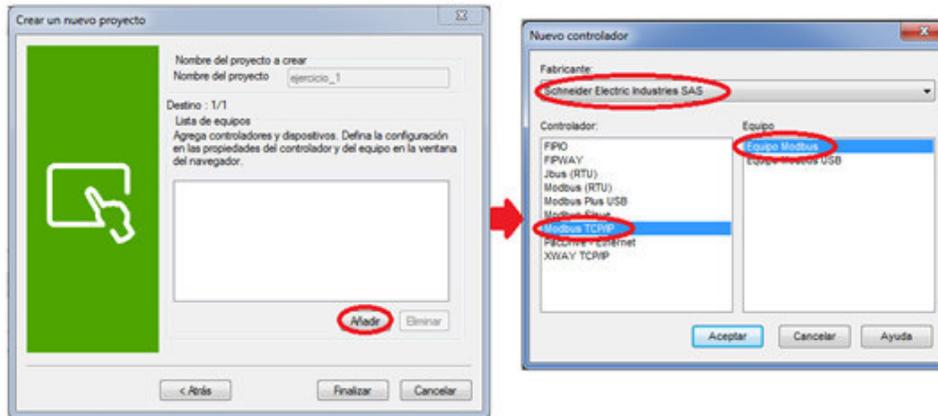


Figura 5.61: Comunicación con la terminal.

- Al haber terminado con la configuración de proyecto aparecerá la interfaz de usuario, que es donde se va a realizar el proyecto (ver figura 5.62).

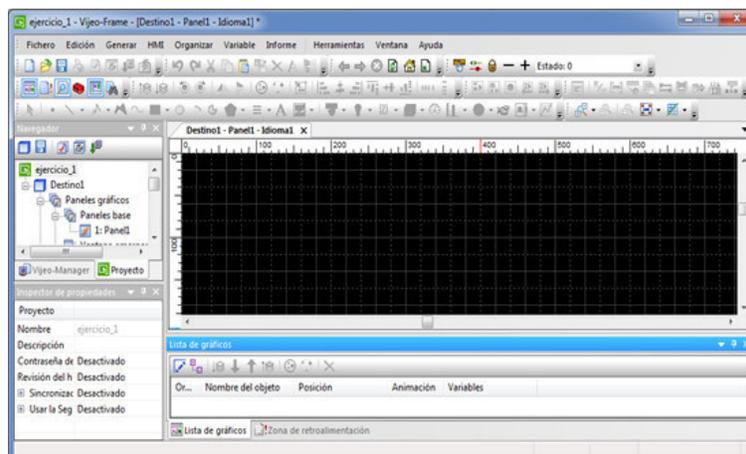


Figura 5.62: Interfaz de usuario.

- El siguiente paso es la comunicación con el PLC, para ello se debe añadir un controlador de dispositivo, dando clic derecho en "Administrador de E/S" y se selecciona "Nuevo controlador" (ver figura 5.63).

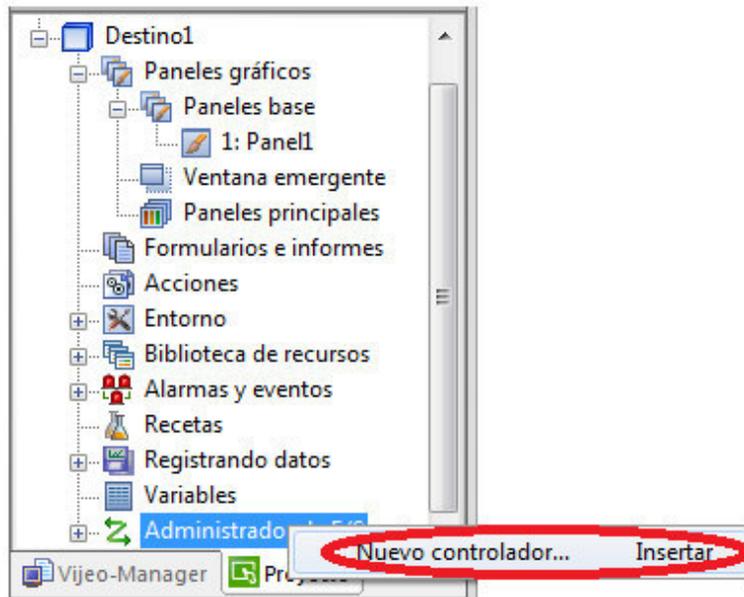


Figura 5.63: Comunicación con el PLC.

5. Las variables que se utilizarán son las mismas del PLC, ya que estas son exportadas con extensión .xvm o .stu, dando clic derecho en el nodo “variables” y posteriormente en vincular variables, como se ve en la figura 5.64.

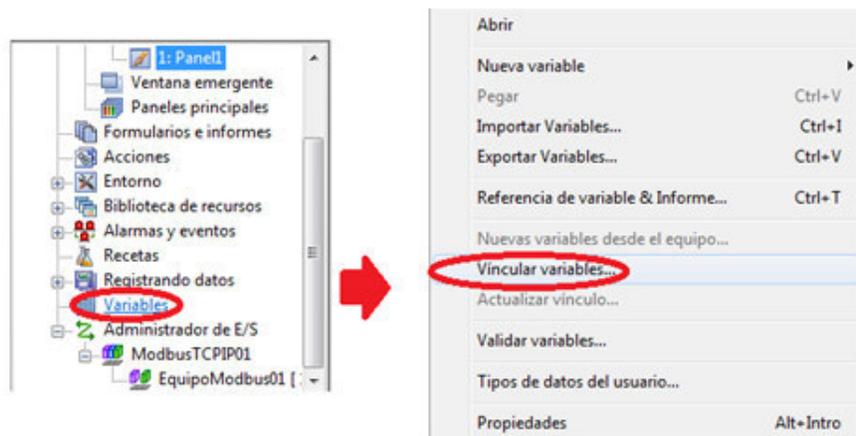


Figura 5.64: Variables.

6. El paso a seguir es construir los paneles haciendo clic derecho en Paneles base y posteriormente se selecciona Nuevo panel, como se observa en la figura 5.65.

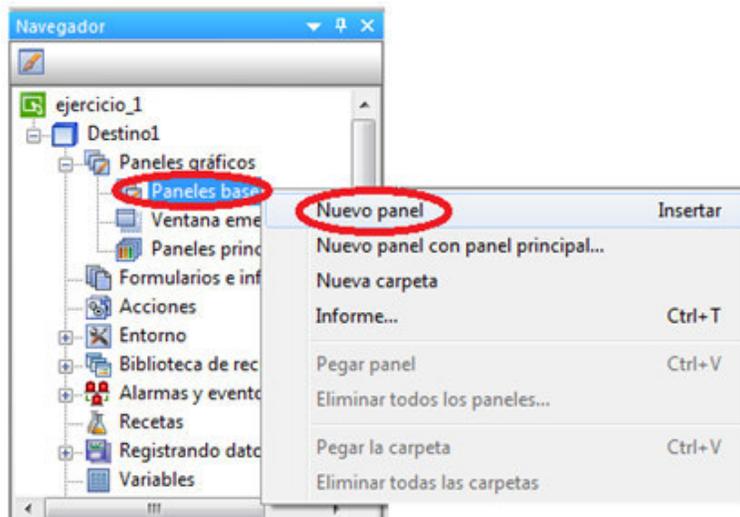


Figura 5.65: Nuevo panel.

7. Cada panel tiene variables que se pueden modificar en la pantalla “Inspector de propiedades” (ver figura 5.66).

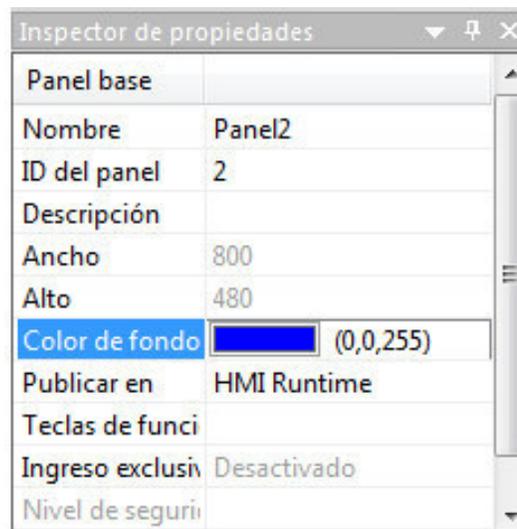


Figura 5.66: Inspector de propiedades.

8. Se selecciona un interruptor y un piloto para ubicarlos en el panel como se observa en la figura 5.67, posteriormente se vinculan estos a variables del PLC (ver figura 5.68).

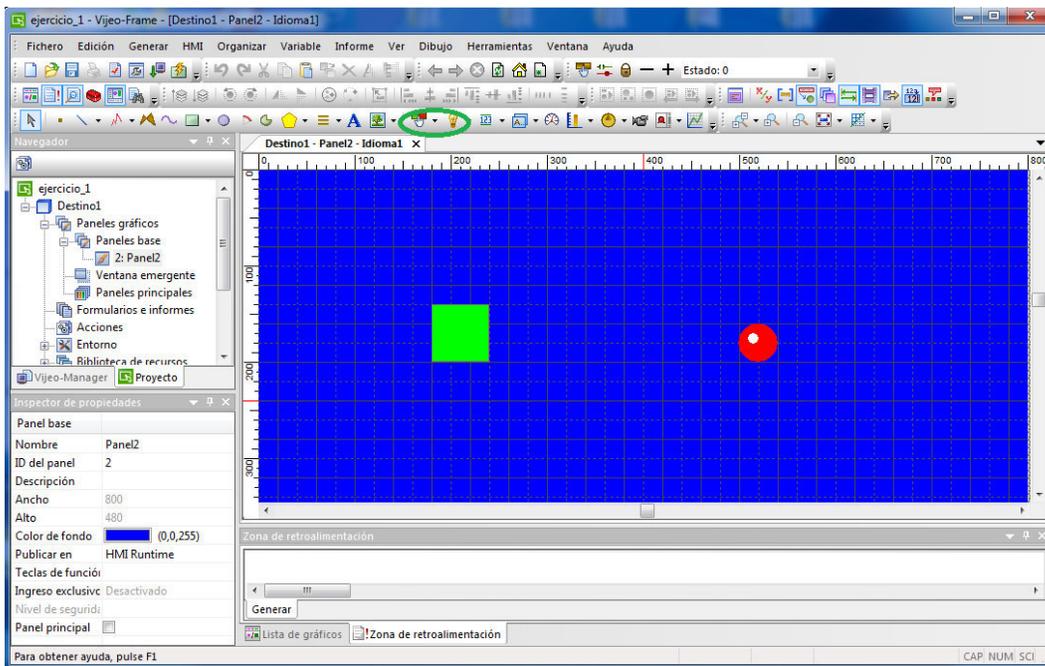


Figura 5.67: Ubicación de un interruptor y un piloto en el panel.

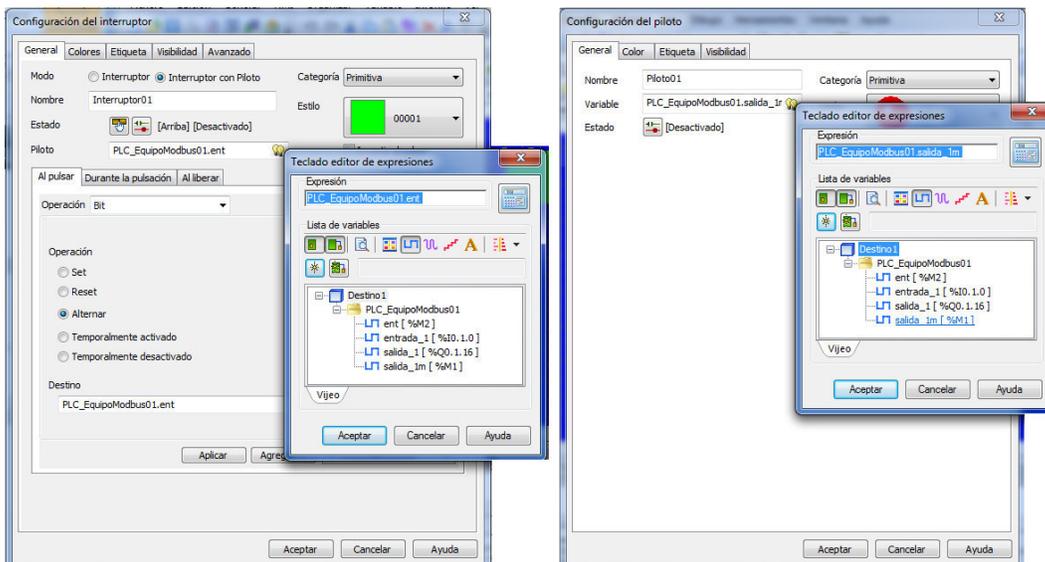


Figura 5.68: Vinculación de imágenes a variables del PLC.

9. Por último se comprueba el funcionamiento del proyecto, verificando la comunicación con Unity pro XL como se visualiza en las figuras 5.69 y 5.70 respectivamente.

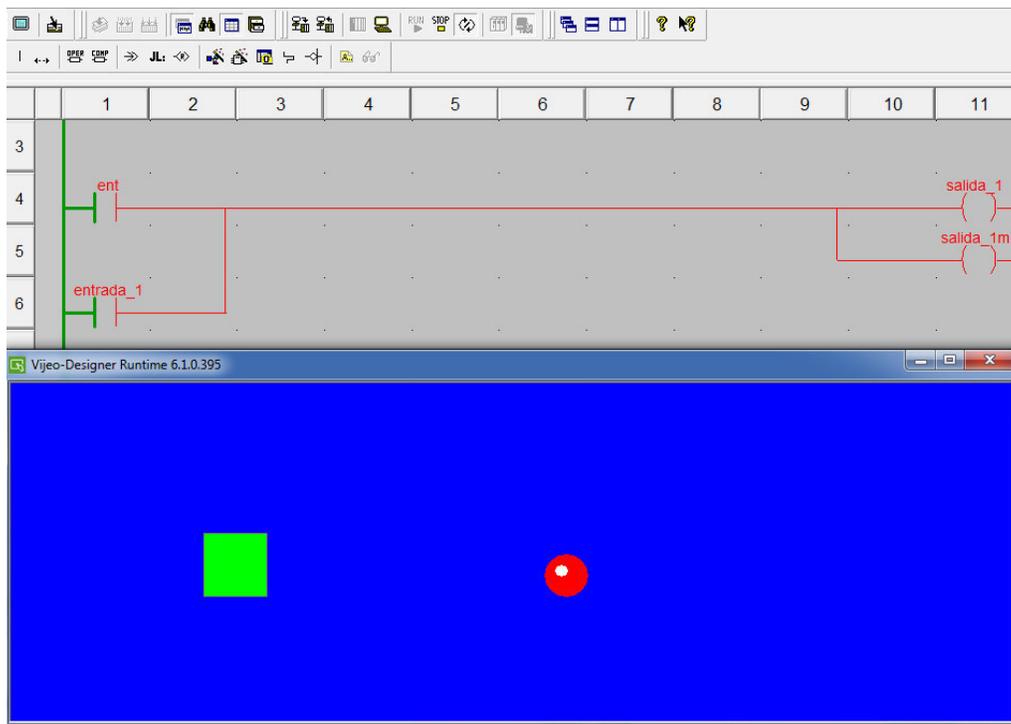


Figura 5.69: Prueba en estado inactivo.

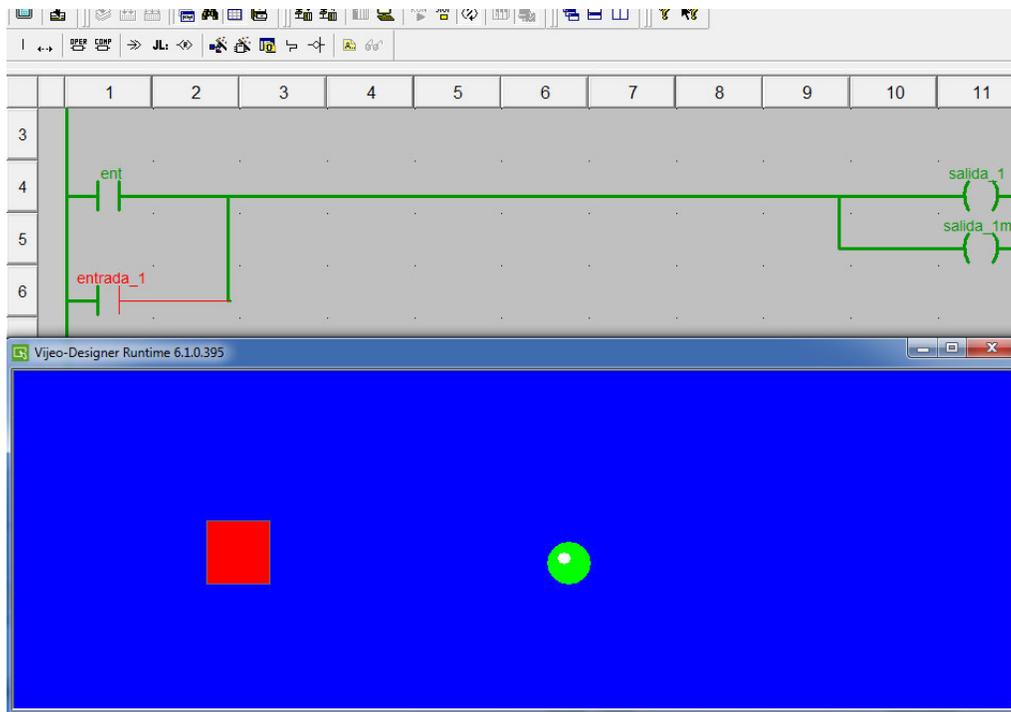


Figura 5.70: Prueba en estado activo.

ANEXO 4: Vijeo Citect

Crear un proyecto en Vijeo Citect

1. Busque y ejecute el programa Vijeo Citect, ver figura 5.71.



Figura 5.71: Programa Vijeo Citect.

2. Una vez ejecutado aparecerá 3 ventanas de aplicación que permitirán crear el sistema SCADA. La ventana de “Explorador de Citect” (ver figura 5.72) como su nombre lo indica se podrá explorar todo lo que tenga el proyecto, como lo son configuraciones, variables, paginas etc.

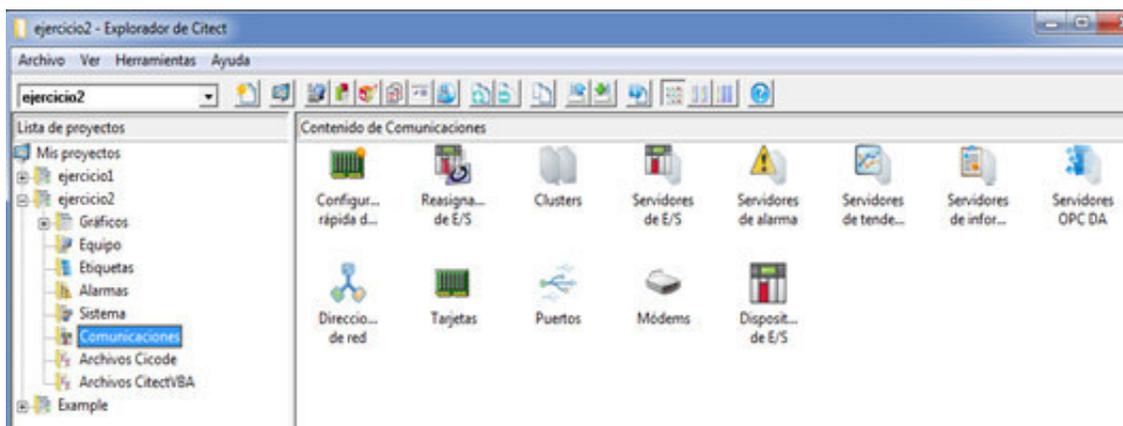


Figura 5.72: Explorador de Citect.

La ventana “Editor Gráfico de Citect” (ver figura 5.73), es donde se va a desarrollar el sistema SCADA.

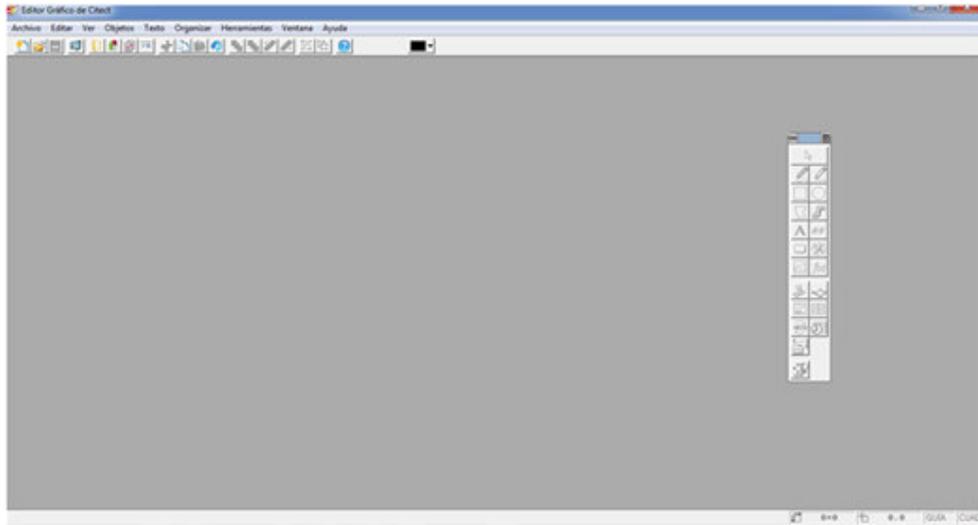


Figura 5.73: Editor Gráfico de Citect.

En la ventana “Editor de proyectos de Citect” como se ve en la figura 5.74, se va a configurar todo lo que tiene que ver con variables dentro del proyecto.

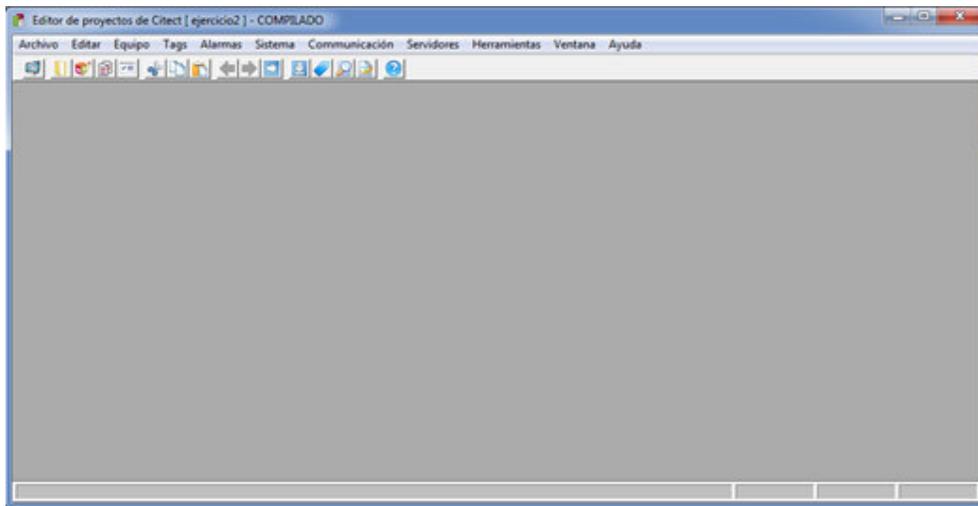


Figura 5.74: Editor de proyectos de Citect.

3. Para crear un nuevo proyecto se selecciona nuevo proyecto, donde aparecerá una ventana donde se le asignara el nombre del proyecto, la descripción y el lugar donde se desee guardar, como se observa en la figura 5.75.

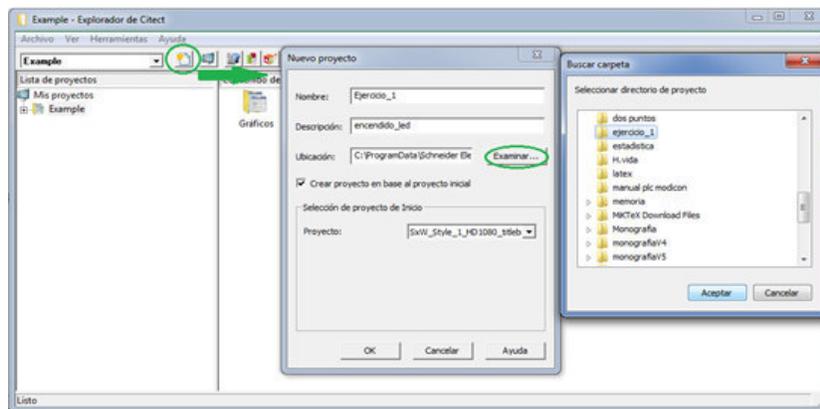


Figura 5.75: Creación del proyecto.

En la figura 5.76, se puede visualizar que aparece una nueva carpeta, con el nombre del proyecto que se acaba de crear, el cual contiene subcarpetas con el nombre de gráficos, equipo, etiquetas, alarmas, sistema, comunicaciones, archivos cicode y archivos CitectVBA.

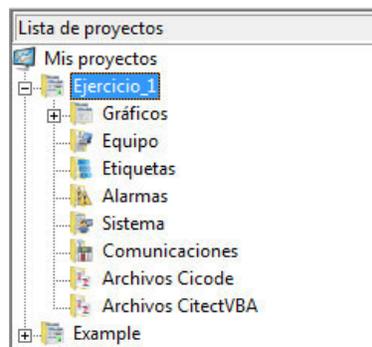


Figura 5.76: carpeta que contiene el proyecto.

- Posteriormente se procede a configurar la comunicación, para ello se crea Clusters(ver figura 5.77).



Figura 5.77: Creación del Clusters.

Seguidamente se crea un servidor de entradas y salidas y se le asigna un nombre como se visualiza en la figura 5.78.

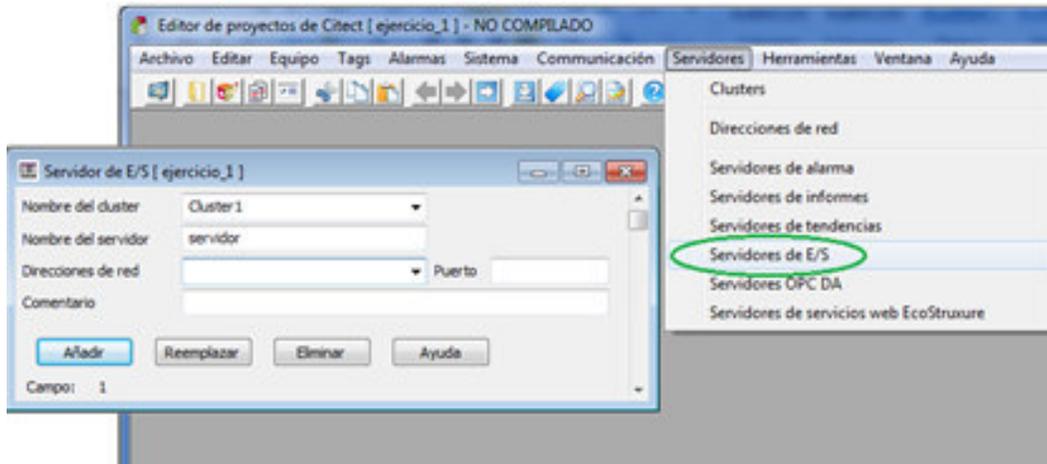


Figura 5.78: servidor de entradas y salidas.

Nota: de igual manera se deben crear los servidores que se requieran para el proyecto.

El paso a seguir es la configuración del servidor de entradas y salidas que permitirá la comunicación con el PLC, seleccionando “Configuración rápida de E/S” como se observa en la figura 5.79, donde se deberán seguir una serie de pasos visualizados en la figura 5.80.

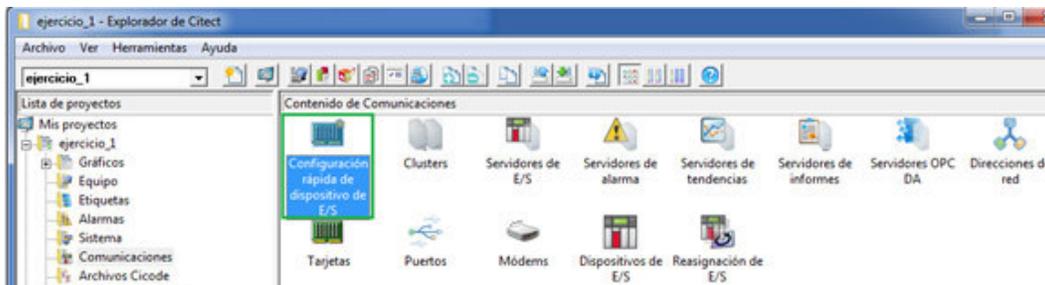


Figura 5.79: Configuración rápida de E/S.

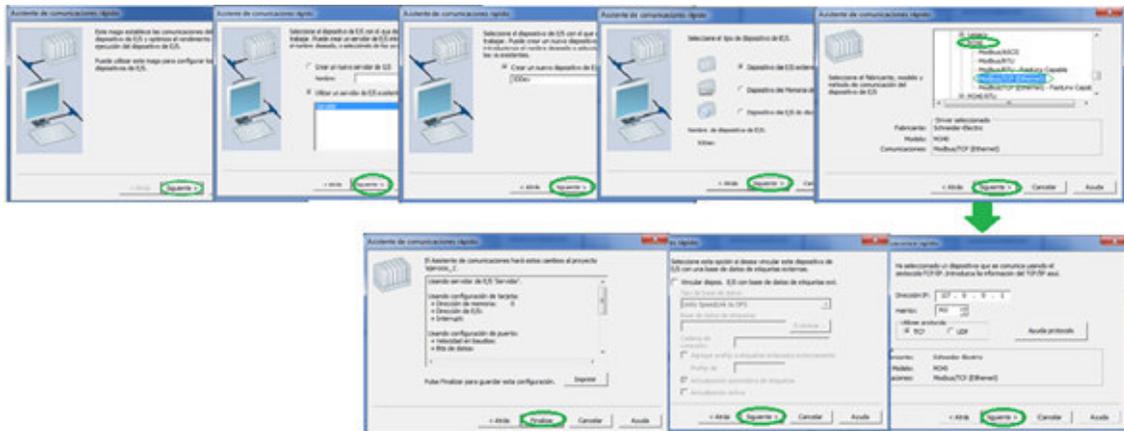


Figura 5.80: Configuración del servidor de entradas y salidas.

5. Para la creación de la página se debe seleccionar Gráficos, seguidamente páginas y por ultimo crear una nueva página como se ve en la figura 5.81, donde aparecerá diferentes opciones de pantallas en el Editor gráfico de Citect (ver figura 5.82).



Figura 5.81: Creación de la página.

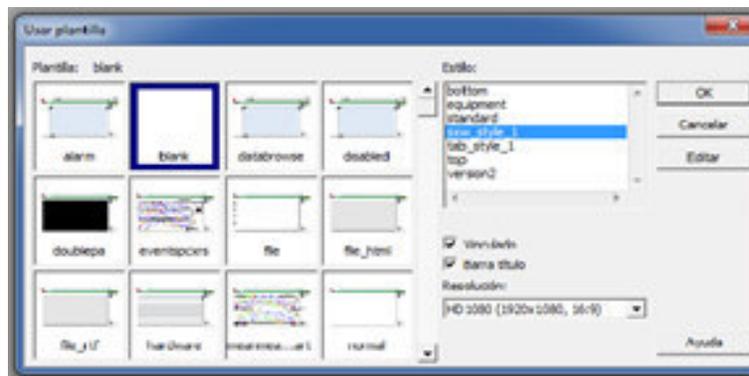


Figura 5.82: Pantallas en el Editor gráfico.

La pantalla aparecerá como se observa en la figura 5.83, donde se podrá realizar el sistema SCADA.

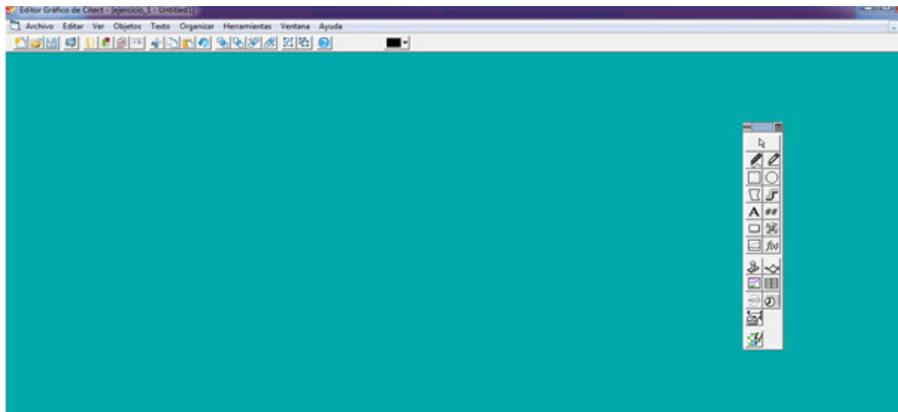


Figura 5.83: Pantalla para realizar el sistema SCADA.

6. Para asociar variables del PLC al sistema SCADA, se debe crear un equipo como se ve en la figura 5.84.

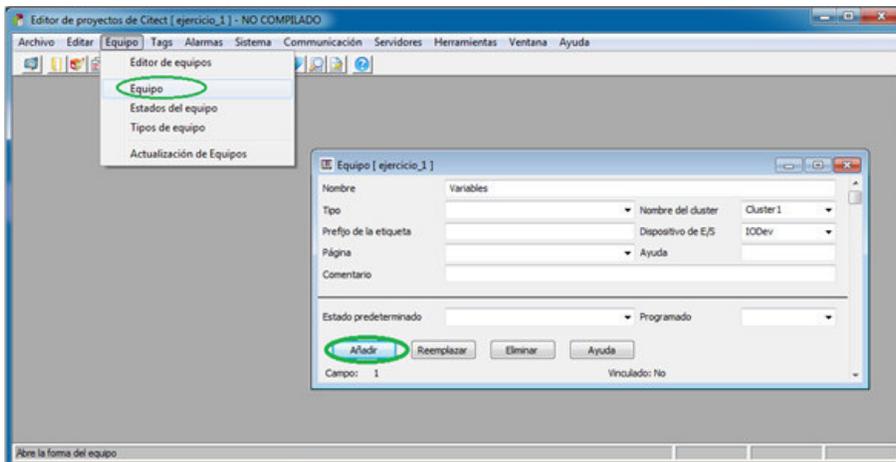


Figura 5.84: Creación del equipo.

7. Una vez creado el equipo se debe seleccionar la opción Tags, seguidamente Tags de Variable para poder vincular las variables del PLC a variables del sistema SCADA como se visualiza en la figura 5.85.

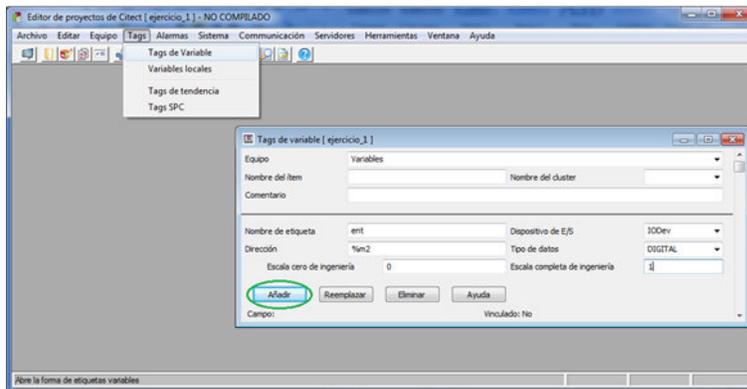


Figura 5.85: Tags de variable.

8. El paso a seguir es ingresar imágenes asociadas a variables del PLC, para poder tener control de estas, como se observa en la figura 5.86.

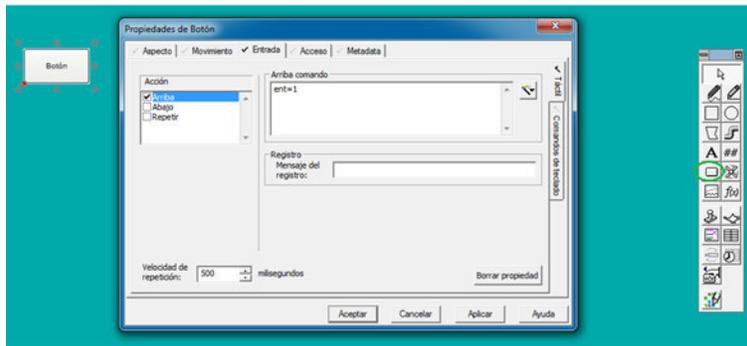


Figura 5.86: Asociar imágenes a variables del PLC.

9. Una vez terminada la configuración de la pantalla se deberá guardar asignándole un nombre como se observa en la figura 5.87 y se procederá a realizar la simulación.

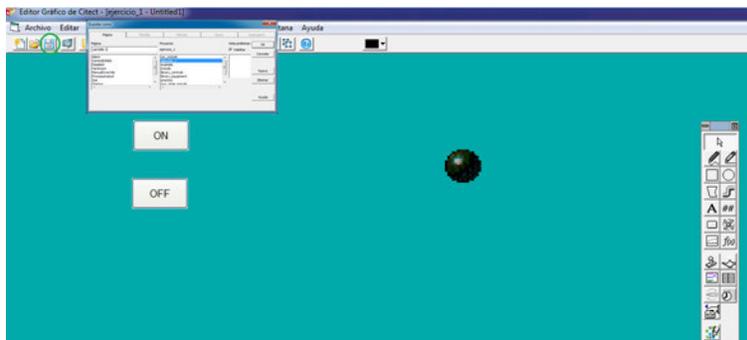


Figura 5.87: Guardar Pantalla.

10. La figura 5.88 muestra el estado de las variables en el PLC cuando se encuentra en OFF el sistema SCADA.

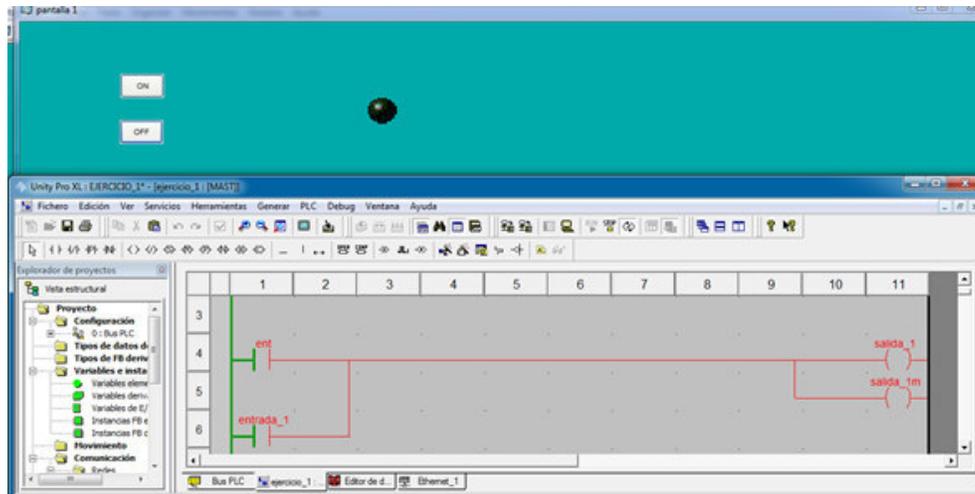


Figura 5.88: Marca “ent” en estado OFF.

En la figura 5.89 se visualiza la activación de las salidas del PLC, cuando se pone en estado ON, la marca “ent” .

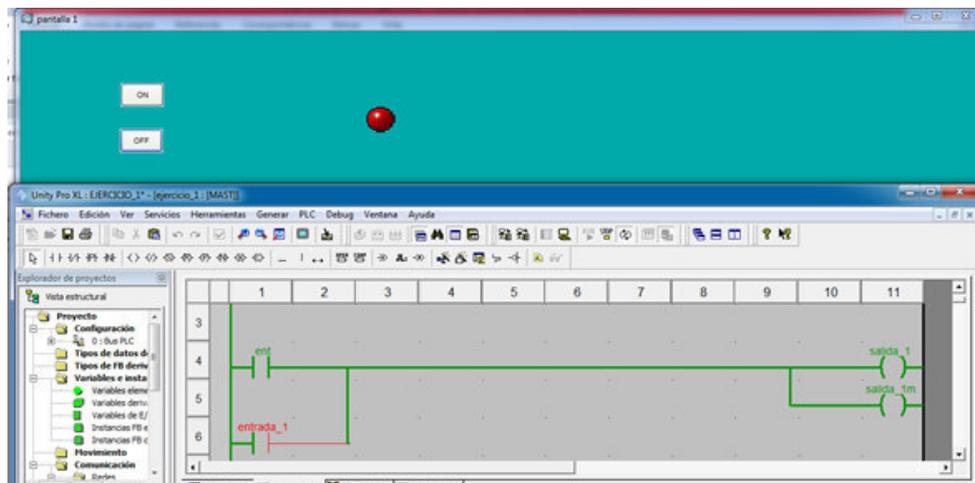


Figura 5.89: Activación de las salidas del PLC a través del sistema SCADA.

Bibliografía

- [1] Raquel Barragán Sánchez and Olga Buzón García. Desarrollo De Competencias Específicas En La Materia Tecnología Educativa Bajo El Marco Del Espacio Europeo De Educación Superior. *Revista Latinoamericana De Tecnología Educativa*, 3:101–114, 2005.
- [2] Isidro Calvo and Pablo González-nalda. Automatización Industrial y Posibles Acciones Para Evitar Ciberataques. *Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)*, pages 252–259, 2015.
- [3] and Fernando Álvarez Martín, Tadeo, Teresa, and Peláez. *Formación universitaria*, (5):31–40, 2009.
- [4] José Custodio. Tratamiento De Agua De Cvg Gosh . Ciudad Guayana Design of a Centralized Supervision System for the Water Treatment Plants of Cvg Gosh. pages 43–48, 2008.
- [5] Carlos Enrique Serrano Castaño. *Modelo integral para el profesional en ingeniería*. Universidad del Cauca, 2005.
- [6] Enrique Yamid, Garzón González, Carlos Eduardo, and Cotrino Badillo. Tecnura Application to batch process control. pages 189–204, 2014.
- [7] David Fernando, Carlos Erazo. *Diseño e implementación de un sistema SCADA en el laboratorio de instrumentación*. PhD thesis, Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [8] Germán Zapata, Juan Cardillo, and Edgar Chacón. Aportes metodológicos para el diseño de sistemas de supervisión de procesos continuos. *Informacion Tecnologica*, 22(3):97–114, 2011.
- [9] Jaime Isaza. Diseño de un control de temperatura con PLC y Sistema de Supervision SCADA Vía Ethernet. pages 65–71, 2009.
- [10] Roger Caputo Llanos, Alfredo Sanchez Hernandez, and Carlos Robles algarin. Diseño de un sistema Scada basado en labview , implementando el protocolo de comunicación inalámbrica zigbee. *Prospect.*, 10(1):44–52, 2012.

- [11] Esteban Pérez López. SCADA systems in the industrial automation. *Tecnología en Marcha*, 28(4):3–14, 2015.
- [12] Said Filali-yachou, Carina S González-gonzález, and Carlos Lecuona-rebollo. HMI / SCADA standards in the design of data center interfaces. *Universidad Nacional de Colombia sede Medellín Facultad de minas*, 82(193):180–186, 2015.
- [13] Jean Herrera, Mauricio Barrios, and Saul Perez. Desing and implementation of a wireless scadaa system by means of zigbee and arduino technology. *Prospect Journal*, 12(2):65–72, 2014.
- [14] Quezada-quezada José Carlos, Bautista-lópez Jorge, and Flores-garcía Ernesto. Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XV(1):41–50, 2014.
- [15] Alejandro Paz Parra, Carlos Alberto Lozano, and Manuel Vicente Valencia. SCADA System for a Power Electronics Laboratory. *INGENIERÍA*, 25(118):115–124, 2009.
- [16] Karla Puerto and Dios Contreras. Cálculo y diseño de un sistema de control mediante la impementación de un software SCADA en el curso de proyecto integrador II. *Revista Mundo FESC*, (8):66–75, 2014.
- [17] M Moreira, O Jovel, R C Jiménez, and V B Moncada. Diseño e implementación de medios de laboratorio para contribuir al proceso de enseñanza aprendizaje en el área de Instrumentación Industrial. 21(2):53–59, 2009.
- [18] R Manel. Diseño e implantación de un sistema scada para una planta de producción y envasado de líquidos. page 117, 2009.
- [19] David R Tobergte and Curtis Shirley. Integrar una plataforma de aprendizaje para la simulación de un proceso con control Batch. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9):1689–1699, 2013.
- [20] José Tito, Cardenas Ricardo Alfonso, Molina Miller Yamith, Salazar Juan Pablo, and Vásquez Juan Manuel. Planta Piloto de Procesos Industriales. *Tecnología en Electrónica*, page 87, 2010.
- [21] Carlos A Smith, Armando B Corripio, and Sergio D Manzanares Basurto. *Control automático de procesos: teoría y práctica*. Limusa, 1991.
- [22] José Arturo Sebastián Tejada Coaguila. Diseño e implementación de prototipo de control de flujo y temperatura para sistema “HVAC” aplicando control multivariable cascada. Master’s thesis, 2016.

- [23] Juan Diego Ernesto Cerrón Salcedo and Edmundo Oswaldo Moreno Arévalo. Automatización y diseño del sistema de la planta de balanceados en los procesos de molienda, mezclado y peletizado de la empresa de alimentos procesados S.A. e implementación del prototipo del módulo de acondicionamiento para el proceso de peletizado. Master's thesis, 2014.
- [24] M M Alfaro. Identificación de procesos sobreamortiguados utilizando técnicas de lazo abierto. *Revista de la Universidad de Costa Rica*, 11:11—25, 2001.
- [25] Victor M. Alfaro. Métodos de sintonización de controladores PID que operan como servomecanismos. *University of Costa Rica*, 13(Febrero):13–29, 2003.
- [26] Víctor M Alfaro Ruiz. Actualización del método de sintonización de controladores de Ziegler y nichols. *Universidad de Costa Rica*, 15:39–52, 2005.
- [27] Virginia Mazzone. Controladores PID. *Ingeniería en automatización y control industrial*.
- [28] Rafael F Tanda Martínez. Evaluación del desempeño de métodos experimentales de identificación a lazo abierto. *RIELAC*, XXXII:50–64, 2011.
- [29] Control Industrial and Antireset Wind-up. Optimización de señal de control en reguladores PID con arquitectura antireset Wind-Up. *Conciencias*, (30):24–31, 2011.
- [30] Thomas McAviney and Raymond Mulley. Control System Documentation, 2004.
- [31] Johana Caraballo, Diego Romero. Tutorial norma ISA S5.1 y Diagramas P&ID. *Universidad Tecnológica de Bolívar*, page 80, 2011.
- [32] Antonio Creus Solé. Instrumentación Industrial. pages 235–254, 2010.
- [33] Profesor Oscar. Norma ISA 5S. *Universidad de Santiago de Chile*, 1:1–14, 2010.
- [34] ANTONIO CREUS. *Cap1Instrumentación Industrial*. 6 edition, 1997.
- [35] Leonardo Emiro, Contreras Bravo, Julián Alfonso, Tristancho Ortiz, Universidad Distrital, and Francisco José. Diseño de guías de laboratorio para desarrollar habilidades profesionales en la asignatura Automatización del programa de ingeniería industrial 1. 8(2):112–122, 2015.
- [36] SISTEMAS INDUSTRIALES BECKHOFF. Los pacs. <http://www.logicelectronic.com/BECKHOFF/Que> Accedido en 04-06-2017.
- [37] Dag H Hanssen. Iec 61131-3. *Programmable Logic Controllers: A Practical Approach to IEC 61131-3 using CODESYS*, pages 152–186.
- [38] Equipo tecnico AISA. Introducción al estándar IEC 61131-3. *PLCopen*, pages 1–7.

- [39] Josep Balcells, José Luis Romeral, and José Luis Romeral Martínez. Autómatas programables PLC. *Universidad de Oviedo*, page 456, 1997.
- [40] Bajo Nivel, Alto Nivel, Plano De Contactos, Diagrama De Bloques Funcionales, and Organigrama De Bloques Secuenciales. Lección 6 Lenguajes de Programación Lección 7 Operaciones Lógicas Lección 8 Lenguaje de Plano de Contactos Lección 9 Temporizadores y Contadores. *Servicio Nacional de Aprendizaje*, pages 1–37, 2005.
- [41] Angel Villegas, Isaac Herrera, Gerardo Gómez, José Rodríguez, Edgar Lugo, and José Pacheco. Aplicación para el monitoreo y control de procesos industriales basada en el estándar de comunicaciones OPC. *Revista Ingeniería Uc*, 15(3):7–18, 2008.
- [42] V. Mascarós, V. Casanova, and J. Salt. Análisis experimental del funcionamiento de un sistema de control basado en red sobre el protocolo Profibus-DP (I). *XXV Jornadas de Automática, Ciudad Real (España)*, (August 2015):12, 2004.
- [43] Andres Ruiz, barandia lopez, and Fabio G. Implementación de una Red MOD-BUS/TCP. *Ingeniería y Competividad*, 6 No 2:35 –45, 2004.
- [44] Universidad de Valencia. Redes de comunicación industriales. *Estudi General Universitat de Valencia*, 1:39–60, 2009.
- [45] Kaschel C Ing and Ernesto Pinto L Fac. Analisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales. *Fac. de Ingeniería, Dpto. Ingeniería Eléctrica Universidad Santiago de Chile*, (November):10, 2002.
- [46] Miguel Álvaro and Santiago Martínez de la Casa. Implementación de las comunicaciones pc-autómata-robot mediante interfaz ethernet industrial, 2010.
- [47] and Erick Manuel Lugo Álvarez. Desarrollo de protocolo Ethernet en FPGA para el procesamiento digital de datos de cámara termográfica (Doctoral dissertation). *Universidad Autónoma De Querétaro Facultad De Ingeniería*, 1:129, 2014.
- [48] In Lee and Kyoochun Lee. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4):431–440, 2015.
- [49] Carlos Catalán, Félix Serna, and Alfonso Blesa. Industria 4.0 en el Grado de Ingeniería Electrónica y Automática. *Actas de las XXI Jornadas de la Enseñanza Universitaria de Informática*, pages 327–332, 2015.
- [50] E N Middleware and Y Software D E Código. Diseño conceptual de un sistema scada distribuido basado en middleware y software de código abierto. 2005.
- [51] Melgarejo Zafrilla Gonzalo Ruiz. Sistema de visualizacion y monitorizacion de un proceso distribuido. *Escuela Tecnica Superior de Ingeniería del Diseño*, 1:96, 2016.

- [52] Traian Turc. SCADA Systems Management Based on WEB Services. *Procedia Economics and Finance*, 32(15):464–470, 2015.
- [53] Pablo Landázuri, Paúl/Salguero. Diseño e implementación de un prototipo SCADA inalámbrico didáctico para el laboratorio de instrumentación. *Escuela politécnica nacional*, 1:87, 2012.
- [54] Amatrol. Planta de nivel t-5552. <http://www.amatrol.com/coursepage/t5552/>. Accedido en 04-04-2017.
- [55] Honeywell Sensors Tecnicos. Sensores ultrasónicos. <http://www.sensorstecnicos.net/es/productos/category/105/sensores-y-transmisores/sensores-ultrasonicos>. Accedido en 04-05-2017.
- [56] Asco Express. Catálogo ASCO EXPRESS.
- [57] Jesus Enesto Rojas. *Ficha técnica de la planta de nivel T5552 de Amatrol*. Corporación Universitaria Autónoma Del Cauca.
- [58] robertshaw. robertshaw control valves. <http://www.pricecabin.com/shop/robertshaw-control-valves>. Accedido en 04-05-2017.
- [59] Schneider-Electric. Modicon M340 con Unity Pro Procesadores, bastidores y módulos de fuente de alimentación Manual de configuración. 2009.
- [60] Schneider Electric. *Magelis GTO Manual del usuario pantalla Schneider Electric*. 2012.

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Proyecto

Proyecto	Planta Nivel T5552
Diseñador	Y. Moncada _ J. Trochez
Aplicación	PLANTAV1_1.stu
Versión del software	Unity Pro S V11.0
Fecha de creación	01/09/2017 10:45:28 a. m.
Fecha de la última modificación	01/09/2017 4:46:27 p. m.
PLC de destino	BMX P34 2020 02.70CPU 340-20 Modbus Ethernet

Autor:

Dept.:

Proyecto: Planta Nivel T5552

Este documento es propiedad de XXX y no se puede reproducir ni comercializar sin autorización previa.

1 Portada

Impreso el 15/11/2017

Página: 1 - 1/1

Tipo de red: Ethernet

Familia:

Nombre: planta

Ethernet_Micro_Basic_Embedded_V2

Comentario:

Red conectada: SÍ

Módulo de dirección: \0.0\0.0.3

Configuración IP

Configuración de dirección IP Configurado

Dirección IP: 192.168.0.14

Máscara de subred: 255.0.0.0

Dirección de pasarela: 0.0.0.0

Configuración Ethernet Ethernet II

Mensajes

Configuración de conexión

Control de acceso: Bloquear

SNMP Ethernet

Administradores de dirección

IP

Administrador 1 de dirección 0.0.0.0

IP:

Administrador 2 de dirección 0.0.0.0

IP:

Agente

Localización (SysLocation):

Contacto (SysContact):

Administrador SNMP : Bloquear

Nombres de comunidad Ajustar:

public

Autor:

6.1 Redes

Impreso el 14/11/2017

Dept.:

6.1.1 planta

Proyecto:

Página: 6.1.1 - 1/2

Este documento es propiedad de XXX y no se puede reproducir ni comercializar sin autorización previa.

0.0 : BMX P34 2020

Identificación del módulo:

Referencia comercial : BMX P34 2020 Designación : CPU 340-20 Modbus Ethernet
Dirección : 0.0 Símbolo :

Modalidad de servicio

Entrada de ejecución/detención : No
Protección de memoria : No
Iniciar ejecución automática : No
Resetear MWi : Sí
Sólo arranque en frío : No

Datos

Visión de E/S : Topológica
Cantidad de bits : 512
Cantidad de palabras : 1024
Cantidad de constantes : 256
Cantidad de bits de sistema : 128
Cantidad de palabras de sistema : 168

Canal 0 :

Función específica de la aplicación : Conexion Modbus
Tipo de canales de E/S : Canal integrado
Tarea : MAST
Tipo : Esclavo
Velocidad de transmisión : 19.200 bits/s Datos : a 8 bits
Parada : a 1 bit Paridad : Par
Retardo entre bloque de datos : 2 ms
Número de esclavo : 1
Línea física : RS485

Canal 3 :

Función específica de la aplicación : ETH TCP IP
Tipo de canales de E/S : Canal integrado
Conexión de red : planta
Tarea : MAST

Autor:

3.1.1 0 : BMX XBP 0600

Impreso el 14/11/2017

Dept.:

3.1.1.1 0 : BMX P34 2020

Proyecto:

Página: 3.1.1.1 - 1/1

Este documento es propiedad de XXX y no se puede reproducir ni comercializar sin autorización previa.

0.1 : BMX DDM 16025

Identificación del módulo:

Referencia comercial : BMX DDM 16025 Designación : Relés de 8 entradas digitales de 24 >>
Dirección : 0.1 Símbolo :

Parámetros comunes [0-7]

Monitorización de alimentación : Activo
Tarea : MAST
I/O Vision : Topológica

Parámetros del canal de entrada [0-7]

Canal	Dirección	Símbolo
0	%I0.1.0.0	ENCENDIDO_BOMBA_FISICO
1	%I0.1.1.0	NIVEL_ALTO
2	%I0.1.2.0	NIVEL_BAJO
3	%I0.1.3.0	
4	%I0.1.4.0	
5	%I0.1.5.0	
6	%I0.1.6.0	
7	%I0.1.7.0	

Parámetros comunes [16-23]

Tarea : MAST
Modalidad de retorno : Retorno
I/O Vision : Topológica

Parámetros del canal de salida [16-23]

Canal	Dirección	Símbolo	Valor de ret.
0	%Q0.1.16.0	SALIDA_BOMBA_FISICO	0
1	%Q0.1.17.0	SELENOIDE_1	0
2	%Q0.1.18.0	SELENOIDE_2	0
3	%Q0.1.19.0	SELENOIDE_3	0
4	%Q0.1.20.0		0
5	%Q0.1.21.0		0
6	%Q0.1.22.0		0
7	%Q0.1.23.0		0

Autor:

Dept.:

Proyecto:

3.1.1 0 : BMX XBP 0600
3.1.1.2 1 : BMX DDM 16025

Impreso el 14/11/2017

Página: 3.1.1.2 - 1/1

Este documento es propiedad de XXX y no se puede reproducir ni comercializar sin autorización previa.

0.2 : BMX AMM 0600

Identificación del módulo:

Referencia comercial : BMX AMM 0600 Designación : 4 entradas analógicas U/I, 2 salidas>>
 Dirección : 0.2 Símbolo :

Parámetros comunes [0-3]

Ciclo : Normal
 I/O Vision : Topológica

Parámetros del canal de entrada [0-3]

Canal	Dirección	Símbolo	Rango
0	%IW0.2.0.0	SENSOR_ULTRASONICO_FISICO	De 1 a 5 V / De 4 a 20 mA
1	%IW0.2.1.0	SENSOR_CAPACITIVO	De 1 a 5 V / De 4 a 20 mA
2	%IW0.2.2.0	SENSOR_FLUJO	De 1 a 5 V / De 4 a 20 mA
3	%IW0.2.3.0	SENSOR_TRANSMISOR_INDI_FLUJO	De 1 a 5 V / De 4 a 20 mA

Activo	Desborde	Mín.	Activo	Filtrado	Tarea	Utilizado	Transgresión por debajo de rango
0	User	0	250	0	MAST	Sí	-20 Sí 270 Sí
1	User	0	25	0	MAST	Sí	-2 Sí 27 Sí
2	User	2	185	1	MAST	Sí	-12 Sí 199 Sí
3	User	0	28	0	MAST	Sí	-2 Sí 30 Sí

Parámetros comunes [4-5]

TYPE : Salidas
 I/O Vision : Topológica

Parámetros del canal de salida [4-5]

Canal	Dirección	Símbolo	Rango	Mín.
0	%QW0.2.4.0	VALVULA_SEN_ULTRA_FISICO	De 4 a 20 mA	
5	%QW0.2.5.0		+/- 10 V	-10000

Tarea	Retornar/mantener	Ctrl cableado	Activo	Desborde	Activo
4	100	-8	Sí	108	Sí MAST 0
5	10000	-11000	Sí	11000	Sí MAST Mantener

Autor:

Dept.:

Proyecto:

3.1.1 0 : BMX XBP 0600
 3.1.1.3 2 : BMX AMM 0600

Impreso el 14/11/2017

Página: 3.1.1.3 - 1/1

Variables e instancias FB

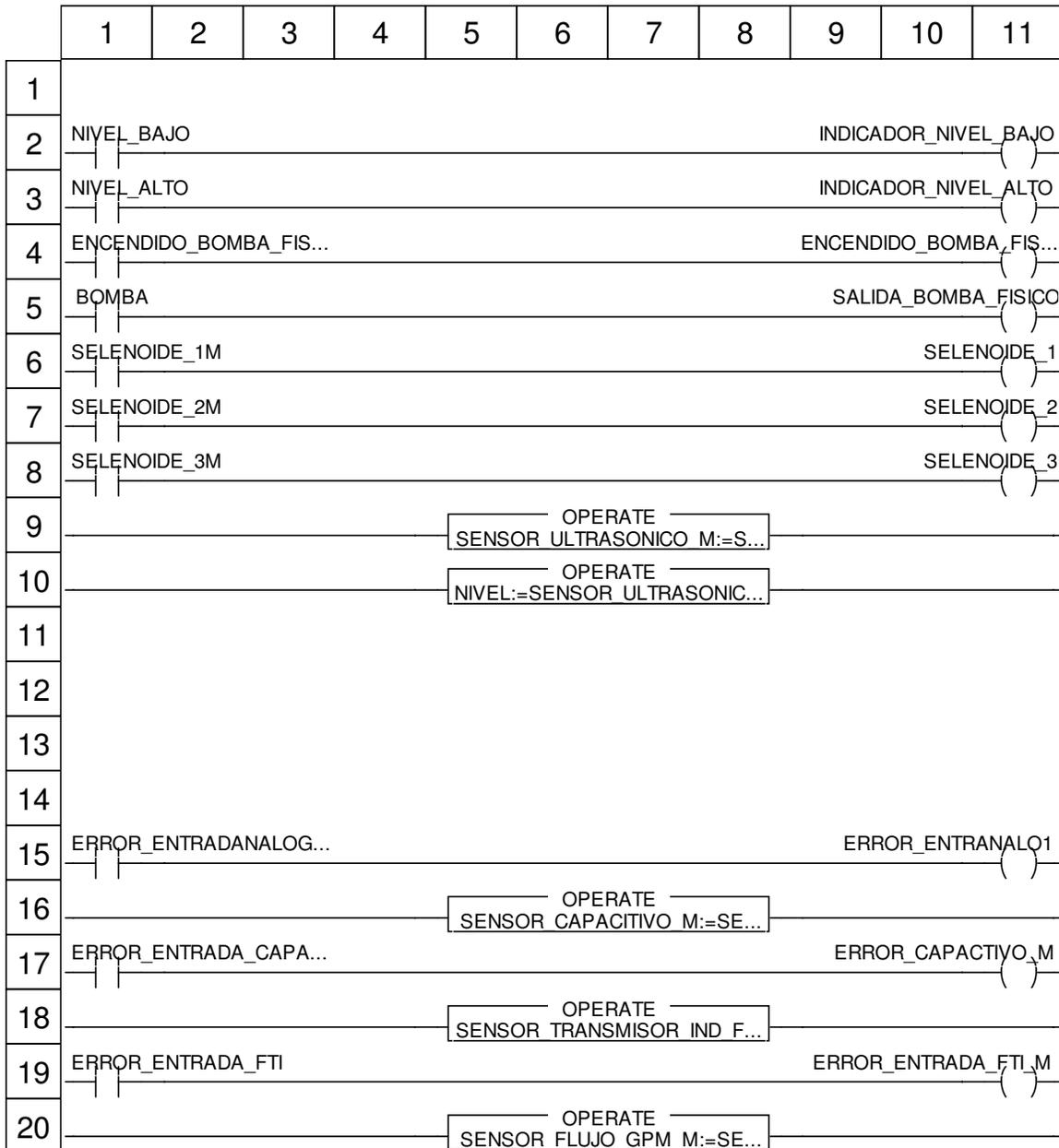
BOOL

Nombre	Const	Dirección	Comentario	Valor	Utilizado	DG
ERROR_ENTRADA_CAPACITIVO	NO	%I0.2.1.ERR	PARA ALARMA POR AUSENCIA CORRIENTE EN LECTURA SEN CAPACITIVO		1	NO
ERROR_ENTRADA_FTI	NO	%I0.2.3.ERR	PARA ESTABLECER ALARMA CUANDO NO HAYA COMUNICACION ANALOGA CON FTI		1	NO
ERROR_ENTRADANALOGICA1	NO	%I0.2.0.ERR	PARA ESTABLECER ALARMA CUANDO NO HAYA COMUNICACION ANALOGA		2	NO
ERROR_SEN_GPL	NO	%I0.2.2.ERR	DETECTA EROR EN SENSOR DE GPM		1	NO

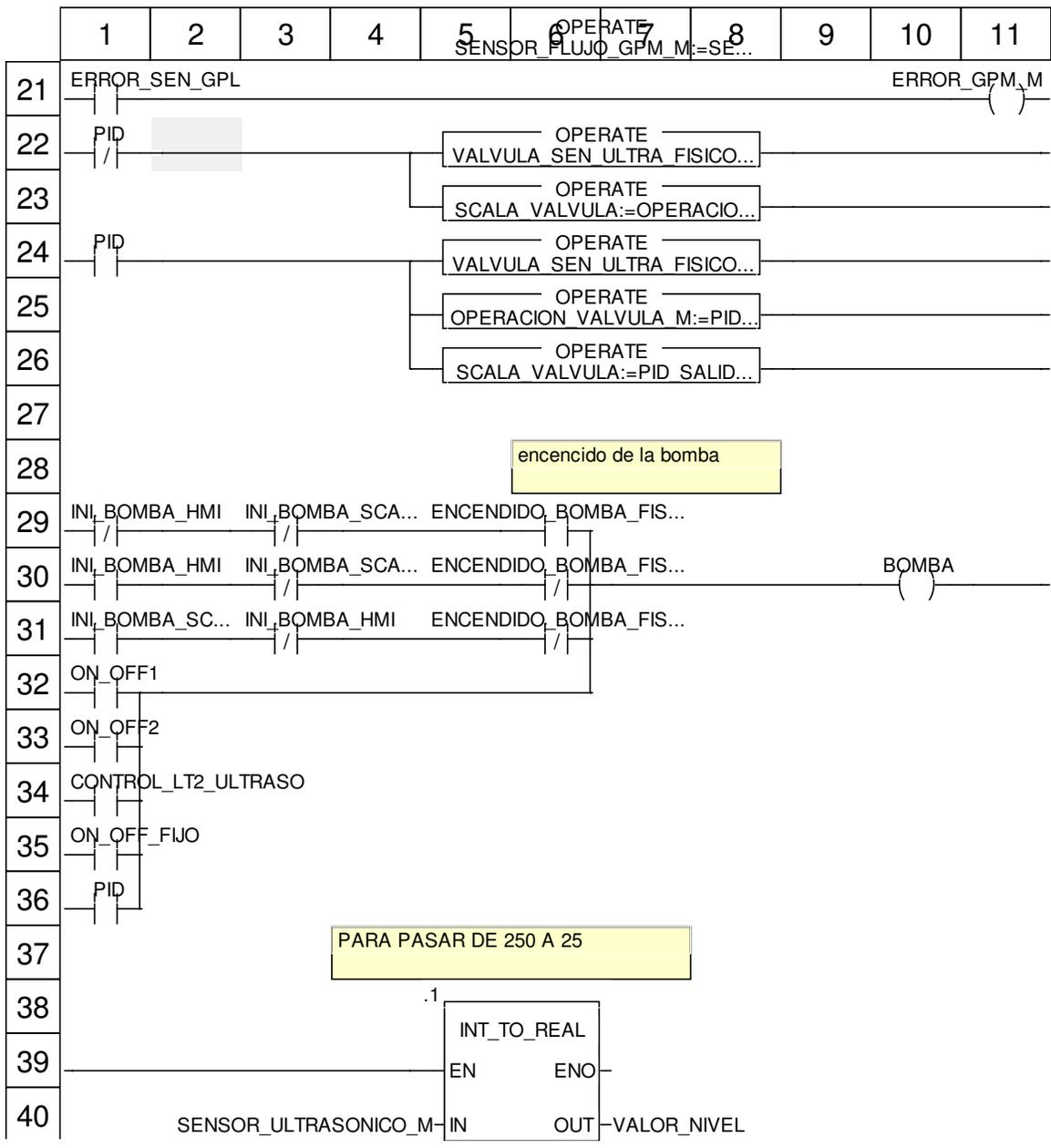
EBOOL

Nombre	Const	Dirección	Comentario	Valor	Utilizado	DG
BOMBA	NO	%M2	ESTADO DE LA BOMBA		4	NO
CMD_INIPID	NO		COMANDO DE PID AUTOMATICO		2	NO
CONTROL_LT2_ULTRASO	NO	%M29	INDICA ACTIVADO CONTROL LT2		2	NO
CTRL_LT2	NO	%M9	PARA SELECCIONAR FUNCIONAMIENTO DE SEMIAUTOMATICO		2	NO
CTRL_LT2_FIJO	NO	%M14	ACTIVA CTRL CON NIVEL FIJO POR USUARIO		1	NO
CTRL_LT2_RANGO	NO	%M13	ACTIVA EL CTRL CON RANGO VARIABLE		1	NO
CTRL_ON_OFF_FIJO_LS2	NO	%M12	MANTIENE EL NIVEL EL POSICION FISICA SW2		1	NO
CTRL_ON_OFF_LS	NO	%M10	CONTROL MANUAL CON SW		2	NO
CTRL_ON_OFF_LS1_LS2	NO	%M11	PARA SELECCIONAR CON RANGO MANUAL		1	NO
ENCENDIDO_BOMBA_FISICO	NO	%I0.1.0	PARA ENCENDER DESDE PLANTA FISICA		2	NO
ENCENDIDO_BOMBA_FISICO_M	NO	%M3	ESTADO DE ENTRADA D1		4	NO
ERROR_CAPACITIVO_M	NO	%M28	ERROR CAPACITIVO		2	NO
ERROR_ENTRADA_FTI_M	NO	%M31	INDICA ERROR DE FTI		1	NO
ERROR_ENTRANALO1	NO	%M8	INDICA ERROR EN LECTURA ANALOGA 0		2	NO
ERROR_GPM_M	NO	%M30	MARCA DEL ERROR EN SENSOR GPM		1	NO
ESTADO_2	NO	%M18	INDICA NIVEL ALTO Y BAJO ENCENDIDOS		5	NO

planta

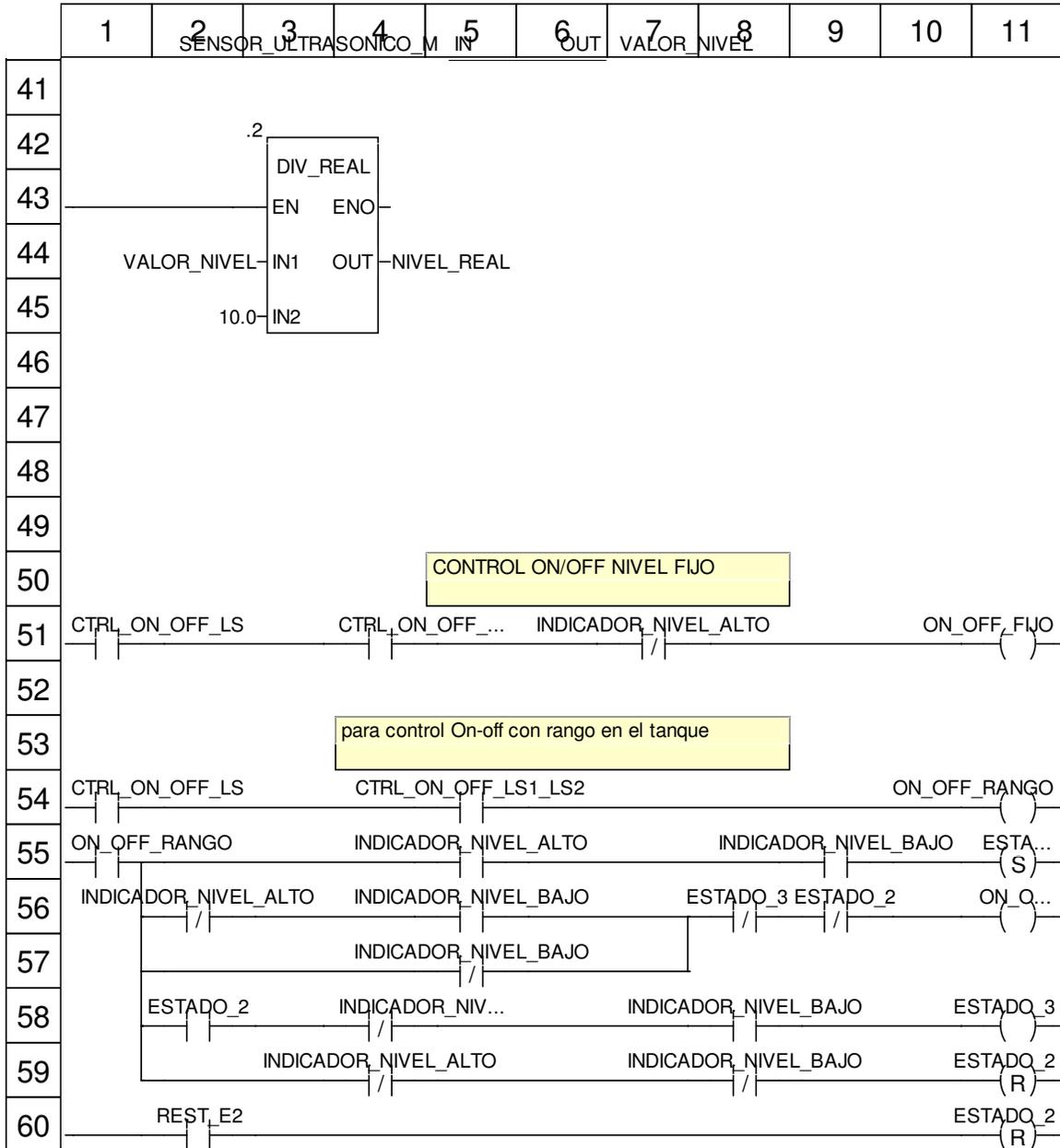


planta

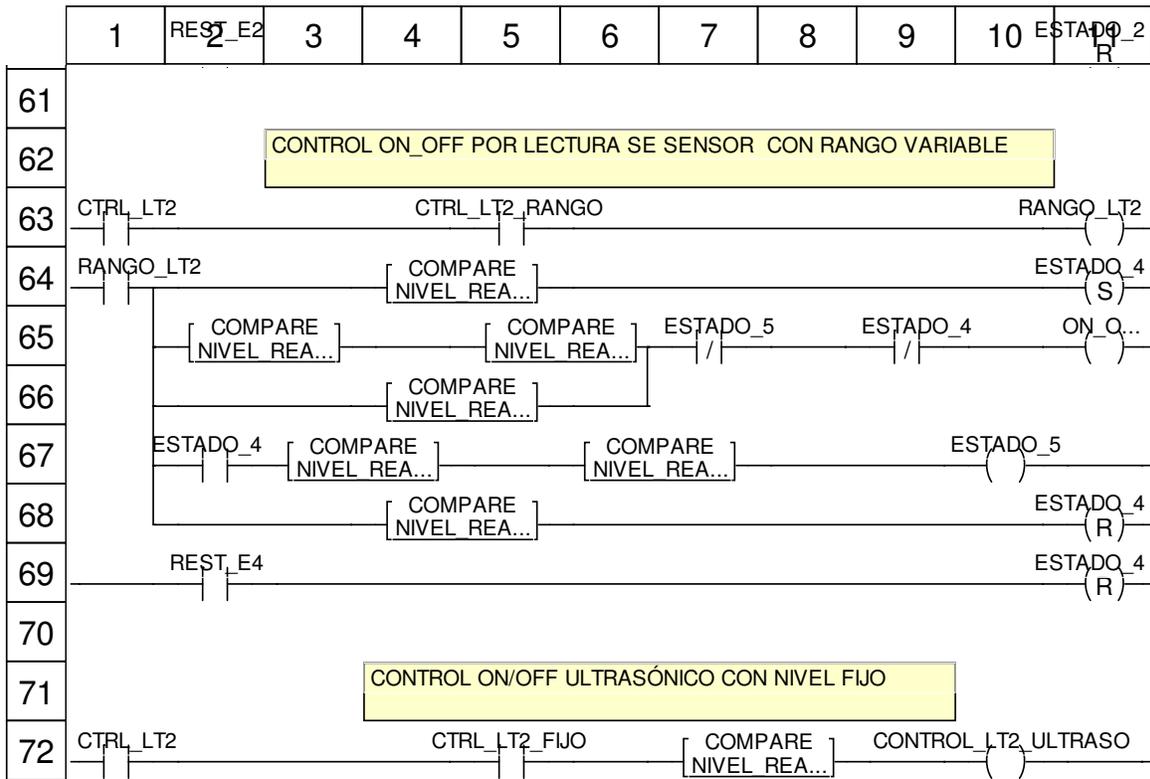


.1

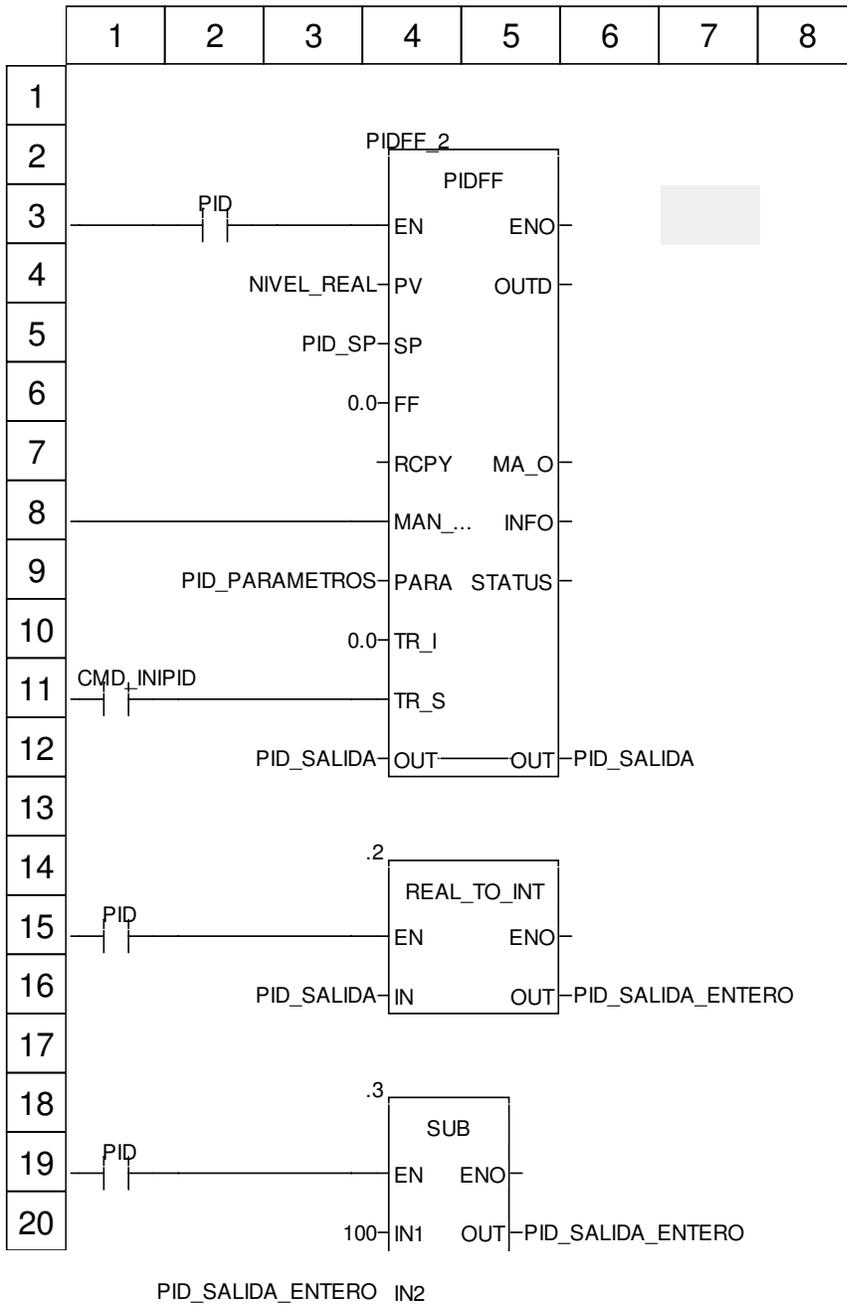
INT_TO_REAL
EN ENO
planta



planta



PID



.3

SUB

PID

EN ENO

