



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA,
UTILIZANDO ETHERNET INDUSTRIAL Y BLUETOOTH CON
TECNOLOGÍA SCHNEIDER ELECTRIC PARA EL
MONITOREO, CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LAS
ESTACIONES DE NIVEL Y PRESIÓN EN EL LABORATORIO
DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS DE
LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA”

ÁVILA LUZURIAGA DAVID ISRAEL
SALGUERO REMACHE VINICIO ORLANDO

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del
grado de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AÑO 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Ávila Luzuriaga David Israel
Salguero Remache Vinicio Orlando

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “Diseño e implementación de un sistema SCADA, utilizando Ethernet Industrial y Bluetooth con tecnología Schneider Electric para el monitoreo, control y supervisión de las estaciones de nivel y presión en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Extensión Latacunga”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, 10 de Abril del 2014.

David Israel Ávila Luzuriaga
C.C. 0502903628

Vinicio Orlando Salguero Remache
C.C. 0502904840

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICADO

Ing. Marco Pilatásig (Director)
Ing. Jacqueline Llanos (Codirector)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “Diseño e implementación de un sistema SCADA, utilizando Ethernet Industrial y Bluetooth con tecnología Schneider Electric para el monitoreo, control y supervisión de las estaciones de nivel y presión en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Extensión Latacunga”, realizado por David Israel Ávila Luzuriaga y Vinicio Orlando Salguero Remache, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de alto contenido de investigación, que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en forma portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a David Israel Ávila Luzuriaga y Vinicio Orlando Salguero Remache que lo entregue al Ing. José Bucheli, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, 10 de Abril del 2014.

Ing. Marco Pilatásig
DIRECTOR

Ing. Jacqueline Llanos
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Nosotros, David Israel Ávila Luzuriaga
Vinicio Orlando Salguero Remache

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Diseño e implementación de un sistema SCADA, utilizando Ethernet Industrial y Bluetooth con tecnología Schneider Electric para el monitoreo, control y supervisión de las estaciones de nivel y presión en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Extensión Latacunga”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, 10 de Abril del 2014.

David Israel Ávila Luzuriaga
C.C. 0502903628

Vinicio Orlando Salguero Remache
C.C. 0502904840

DEDICATORIA

El presente proyecto simboliza el final de mi vida universitaria, por ello quiero dedicárselo a Dios por su guía y cuidado, a mis padres, hermanos y enamorada quienes son las personas más importantes en mi vida, que sin su ayuda y comprensión, no habría podido finalizar mis estudios también por haberme acompañado en los momentos de felicidad y de tristeza a lo largo de la carrera, brindándome sus consejos, palabras de aliento, motivación para alcanzar mi objetivo.

David

A mis padres, mi hermano y mis abuelitos, que desde pequeño han velado por mí, siendo guía y apoyo constante, prevaleciendo a cada momento que todo sacrificio trae recompensa.

Vinicio

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitir que mis objetivos se cumplan y llegar a cumplir mi meta profesional.

A mis padres, por su apoyo incondicional y desinteresado en todo momento que lo necesité, quienes han sido la parte fundamental en el desarrollo de mi vida.

Al Director y Codirector del Proyecto de Grado Marco Pilatásig y Jacqueline Llanos por su acertada guía y oportunos consejos, así como a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Extensión Latacunga por la excelente calidad de conocimientos entregados.

David

A Dios, por acompañarme todos los días.

A mis padres, por su apoyo incondicional y enseñanzas de ser perseverante frente a toda adversidad.

Vinicio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
CERTIFICADO.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO 1.....	3
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
1.1. Introducción.....	3
1.2. Sistemas SCADA	4
1.2.1. Definición	4
1.2.2. Funciones de un sistema SCADA.....	6
1.2.3. Arquitectura general de un sistema SCADA	7
a. El hardware.....	9
b. Sistemas de comunicación	10
c. El software	10
d. Comunicaciones entre aplicaciones.....	10
1.3. Hardware del sistema SCADA	11
1.3.1. Interface Humano Maquina.....	11
a. Definición	11
b. Funciones de un Software HMI.....	12
c. Estructura general del software HMI.....	13

d. HMI Red Lion G306	15
1.3.2. Unidad central MTU	16
1.3.3. Unidad remota RTU	17
a. Definición	17
b. Controlador lógico programable PLC	18
c. Funcionamiento de un PLC	19
d. Comunicación con un PLC	20
e. PLC Telemecanique TWDLCAE40DRF.....	21
1.4. Sistema de comunicación del sistema SCADA	22
1.4.1. Protocolos industriales de comunicaciones	23
a. Buses de campo	24
b. Redes LAN industriales	26
c. Red de Área Personal Inalámbrica WPAN	27
1.4.2. Topologías de los sistemas de comunicación.....	28
1.4.3. Seguridad de los sistemas de comunicación	29
1.4.4. Ethernet Industrial.....	29
a. Definición	29
b. Medio de transmisión de la red Ethernet	30
c. Formato de las tramas Ethernet e IEEE 802.3.....	32
d. Comparativa entre buses actuales.....	33
e. Switch 3Com 3C16794	34
1.4.5. Estándar Bluetooth IEEE 802.15.1.....	35
a. Definición	35
b. Funcionamiento	35
c. Arquitectura.....	36
d. Adaptador Modbus Bluetooth VW3A8114	38
1.5. Software del sistema SCADA.....	39

1.6. Comunicación entre aplicaciones.....	39
CAPÍTULO 2.....	41
2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	41
2.1. Introducción.....	41
2.2. Diseño del sistema SCADA.....	41
2.3. Programación y configuración del autómeta	44
2.3.1. Configuración básica del PLC TWDLCAE40DRF	44
a. Crear un Nuevo Proyecto	45
b. Describir el Proyecto.....	46
c. Editar el Proyecto.....	47
d. Depurar el Proyecto	48
2.3.2. Algoritmo de control PID en TwidoSuite.....	48
a. Configuración de módulos analógicos en TwidoSuite.....	49
b. Configuración del algoritmo PID.	50
c. Implementación y funcionamiento del algoritmo PID	54
2.3.3. Comunicación Ethernet Industrial en TwidoSuite.....	55
a. Configuración de las Comunicaciones (Hardware)	55
b. Configuración de las Macros Comunicación	57
2.4. Sistema de monitoreo local en un control distribuido	58
2.4.1. Entorno Crimson 2.0	60
2.4.2. Configuración de la pantalla Red Lion con el PLC.....	61
2.4.3. Diseño del HMI local del proceso de Presión.....	64
2.4.4. Diseño del HMI local del proceso de Nivel.....	67
2.5. Sistema de comunicación inalámbrica por Bluetooth y MTU.....	70
2.5.1. Comunicación Bluetooth VW3A8114 con computador.....	71
2.5.2. Configuración del servidor OPC.....	74
a. Configuración OFS Configuration Tool	74
b. Configuración OFS Client	75

c. OFS Server.....	78
2.6. Sistema de monitoreo Integrado para unidades remotas.....	79
2.6.1. Estructura del Programa	79
a. Explorador de proyectos	79
b. Editor de proyectos	79
c. Editor Gráfico	79
2.6.2. Configuración básica de Vijeo Citect.....	80
a. Configuración de servidores en Vijeo Citect	80
b. Configuración de dispositivos en Vijeo Citect	81
c. Creación de variables en Vijeo Citect	82
2.6.3. Diseño de HMI Local.....	82
CAPÍTULO 3.....	85
3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	85
3.1. Introducción.....	85
3.2. Descripción física del sistema SCADA.....	85
3.3. Detalles de construcción del sistema SCADA.....	86
3.4. Pruebas de funcionamiento de los equipos.....	87
3.4.1. Estación de Presión Lab-Volt 3501-M.....	88
3.4.2. Estación de Nivel Lab-Volt 3503-M.....	88
3.4.3. PLC TWDLCAE40DRF y módulos analógicos.....	89
3.4.4. Pantallas Red Lion G306	90
3.4.5. Dispositivos de comunicación y señales de alarmas	90
3.5. Análisis de la programación de los controladores	92
3.5.1. Controlador de la estación de Presión	92
3.5.2. Controlador de la estación de Nivel	93
3.6. Análisis experimental de la Red Ethernet.....	95
3.7. Análisis experimental del Lazo PID	97
3.7.1. Sintonización del proceso de Presión	98
3.7.2. Sintonización del Proceso de Nivel.....	101

3.8. Resultados del sistema SCADA en el HMI.....	102
3.8.1. HMI Red Lion G306	102
3.8.2. HMI Vijeo Citect	105
3.9. Análisis y resultados de la comunicación Bluetooth	109
3.10. Análisis técnico económico	109
3.10.1. Análisis VAN	111
3.10.2. Análisis TIR.....	112
3.11. Alcances y limitaciones	112
CAPÍTULO 4.....	114
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
4.1. Conclusiones.....	114
4.2. Recomendaciones.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	117
NETGRAFÍA	119
ANEXOS.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Características PLC Telemecanique TWDLCAE40DRF	22
Tabla 1.2: Características de buses de campo	25
Tabla 1.3: Comparativa general respecto a Ethernet.....	33
Tabla 1.4: Características Switch Industrial 3Com 3C16794	34
Tabla 1.5: Clases de Bluetooth	36
Tabla 1.6: Características Adaptador Modbus Bluetooth VW3A8114.....	38
Tabla 2.1: Diseño de la estructura del sistema SCADA	42
Tabla 2.2: Funciones Macros Comunicación de TwidoSuite	58
Tabla 3.1: Tabla de datos del proceso Presión en TwidoSuite	93
Tabla 3.2: Tabla de datos del proceso Nivel en TwidoSuite	94
Tabla 3.3: Tabla de direccionamiento IP de la Red	95
Tabla 3.4: Tabla de datos del controlador Master.....	97
Tabla 3.5: Constantes PID por el método Ziegler y Nichols.....	98
Tabla 3.6: Constantes PID para el proceso de Presión	99
Tabla 3.7: Datos de sintonización PID de Nivel	101
Tabla 3.8: Datos experimentales Bluetooth	109
Tabla 3.9: Equipos existentes	110
Tabla 3.10: Equipos adquiridos.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema de un sistema SCADA	5
Figura 1.2: Arquitectura básica de un sistema SCADA.....	7
Figura 1.3: Idea básica de un sistema SCADA.....	8
Figura 1.4: SCADA, arquitectura básica de hardware	9
Figura 1.5: Comunicación entre HMI y dispositivos	12
Figura 1.6: Estructura de un HMI	13
Figura 1.7: Bloques de un HMI	15
Figura 1.8: HMI Red Lion G306	16
Figura 1.9: Funcionalidad de un PLC.....	18
Figura 1.10: Estructura externa de un PLC.....	19
Figura 1.11: PLC Telemecanique TWDLCAE40DRF.....	21
Figura 1.12: Ejemplo de protocolos de comunicaciones.....	23
Figura 1.13: Implementación de buses de campo	24
Figura 1.14: Clases de redes inalámbricas.....	27
Figura 1.15: Topología básicas de un sistema SCADA	29
Figura 1.16: Logotipo Ethernet Industrial	30
Figura 1.17: Topología bus de una conexión Ethernet	30
Figura 1.18 Cable par trenzado y conector RJ-45	31
Figura 1.19: Topología en estrella de una conexión Ethernet.....	31
Figura 1.20: Trama Ethernet.....	32
Figura 1.21: Switch Industrial 3C16794	34
Figura 1.22: Logotipo Bluetooth.....	35
Figura 1.23: Transceptor Bluetooth.....	35
Figura 1.24: Pila de Protocolos Bluetooth.....	37
Figura 1.25: Adaptador Modbus Bluetooth VW3A8114	38
Figura 2.1: Diagrama de bloques del sistema SCADA	43
Figura 2.2: Pantalla inicial del software TwidoSuite	44
Figura 2.3: Pantalla “Seleccionar el Modo” en TwidoSuite	45
Figura 2.4: Pantalla “Crear un proyecto nuevo” en TwidoSuite	46
Figura 2.5: Selección del PLCTWDLCAE40DRF en TwidoSuite	47

Figura 2.6: Entorno para editar el algoritmo en TwidoSuite	47
Figura 2.7: Comunicación con el autómata en TwidoSuite	48
Figura 2.8: Selección del módulo analógico en TwidoSuite	49
Figura 2.9: Configuración del módulo analógico en TwidoSuite	49
Figura 2.10: Comportamiento de los módulos analógicos	50
Figura 2.11: Bloque de función PID en TwidoSuite.....	50
Figura 2.12: Pantalla “Programar” para bloque PID en TwidoSuite	51
Figura 2.13: Pestaña “General” del bloque PID en TwidoSuite	52
Figura 2.14: Pestaña “Entrada” del bloque PID en TwidoSuite.....	53
Figura 2.15: Pestaña “PID” del bloque PID en TwidoSuite	53
Figura 2.16: Pestaña “Salida” del bloque PID en TwidoSuite	54
Figura 2.17: Trazos del proceso en Twido Suite.....	54
Figura 2.18: Configuración Puerto Ethernet en TwidoSuite	55
Figura 2.19: Configuración Dirección IP en TwidoSuite	56
Figura 2.20: Configuración Macros Comunicaciones en TwidoSuite.....	57
Figura 2.21: Diagrama de Flujo del HMI Local.....	59
Figura 2.22: Visualización principal Crimson 2.0	60
Figura 2.23: Selección de la pantalla en Crimson.....	62
Figura 2.24: Direccionamiento Ethernet de la Pantalla	62
Figura 2.25: Selección del driver TCP/IP en Crimson.....	63
Figura 2.26: Direccionamiento del controlador en la pantalla	63
Figura 2.27: Página de Inicio del HMI local de Presión.....	64
Figura 2.28: Página de Proceso del HMI local de Presión.....	64
Figura 2.29: Página de Control del HMI local de Presión	65
Figura 2.30: Página de Tendencias del HMI local de Presión	65
Figura 2.31: Página de Alarmas del HMI local de Presión.....	66
Figura 2.32: Página de Usuarios del HMI local de Presión.....	66
Figura 2.33: Página de Inicio del HMI local de Nivel.....	67
Figura 2.34: Página de Proceso del HMI local de Nivel	67
Figura 2.35: Página de Control del HMI local de Nivel.....	68
Figura 2.36: Página de Tendencias del HMI local de Nivel.....	68

Figura 2.37: Página de Alarmas del HMI local de Nivel	69
Figura 2.38: Página de Usuarios del HMI local de Nivel	69
Figura 2.39: Elemento genérico Modbus en TwidoSuite.....	70
Figura 2.40: Creación de la Red Modbus en TwidoSuite.....	71
Figura 2.41: Conexión PC-Adaptador Bluetooth-PLC Twido	71
Figura 2.42: Mostrar dispositivos Bluetooth en el computador	72
Figura 2.43: Visualización Adaptador Modbus en el computador	73
Figura 2.44: Detección del Puerto COM del Adaptador Bluetooth.....	73
Figura 2.45: Logotipo OFS Server	74
Figura 2.46: Entorno del Software OFS Server.....	75
Figura 2.47: Comunicación Modbus Serial en OFS Server	75
Figura 2.48: Selección del servidor “Schneider-AUT.OFS”	76
Figura 2.49: Creación de un “New Group” en OFS Client.....	76
Figura 2.50: Creación de un “New Ítem” en OFS Client.....	77
Figura 2.51: Validación de los ítems en OFS Client.....	78
Figura 2.52: Funcionamiento del OFS Server.....	78
Figura 2.53: Logotipo Vijeo Citect.....	79
Figura 2.54: Creación de un grupo en Vijeo Citect	80
Figura 2.55: Creación de servidores en Vijeo Citect.....	80
Figura 2.56: Configuración de un dispositivo interno Vijeo Citect	81
Figura 2.57: Configuración de un dispositivo externo Vijeo Citect	81
Figura 2.58: Configuración de una Tag en Vijeo Citect.....	82
Figura 2.59: Diseño de la pantalla de inicio en Vijeo Citect	82
Figura 2.60: Diseño de pantallas de procesos en Vijeo Citect.....	83
Figura 2.61: Diseño de pantallas de tendencias en Vijeo Citect	83
Figura 2.62: Diseño de pantallas de alarmas en Vijeo Citect.....	84
Figura 3.1: Estaciones del sistema SCADA.....	85
Figura 3.2: Armario de control del sistema SCADA	86
Figura 3.3: Conexiones eléctricas del sistema SCADA	87
Figura 3.4: Estación de Presión en funcionamiento.....	88
Figura 3.5: Estación de Nivel en funcionamiento.....	89

Figura 3.6: PLC Twido y módulos analógicos.....	89
Figura 3.7: Pantallas Red Lion G306 en funcionamiento.....	90
Figura 3.8: Switch Industrial 3COM en funcionamiento	90
Figura 3.9: Módulo Bluetooth en funcionamiento.....	91
Figura 3.10: Luces de alarmas del sistema SCADA	91
Figura 3.11: Animación PID TwidoSuite Presión	92
Figura 3.12: Animación PID TwidoSuite Nivel	94
Figura 3.13: Conexión (IP 192.168.10.2 con IP 192.168.10.12).....	95
Figura 3.14: Conexión (IP 192.168.10.3 con IP 192.168.10.13).....	96
Figura 3.15: Conexión (192.168.10.1, 192.168.10.2 y 192.168.10.3).....	96
Figura 3.16: Sintonía PID Presión.....	99
Figura 3.17: Pagina de Tendencia y frecuencia critica de Presión	100
Figura 3.18: Paginas de Proceso y Control proceso Presión.....	100
Figura 3.19: Páginas de Proceso y Control proceso Nivel.....	101
Figura 3.20: Página de Tendencias proceso Nivel.....	102
Figura 3.21: Página de Ingreso de usuario en monitoreo local.....	102
Figura 3.22: Página de Inicio en monitoreo local	103
Figura 3.23: Página de Proceso en monitoreo local	103
Figura 3.24: Página de Control en monitoreo local.....	103
Figura 3.25: Página de Tendencias en el monitoreo local	104
Figura 3.26: Página de Alarmas del monitoreo local.....	104
Figura 3.27: Página de Usuario del monitoreo local	104
Figura 3.28: Página de Inicio en Vijeo Citect	105
Figura 3.29: Página del proceso de Presión en Vijeo Citect	106
Figura 3.30: Página de tendencias de Presión en Vijeo Citect	106
Figura 3.31: Página del proceso de Nivel en Vijeo Citect	107
Figura 3.32: Página de tendencias de Nivel en Vijeo Citect 5	108
Figura 3.33: Página de alarmas del sistema SCADA en Vijeo Ciect.....	108
Figura 3.34: Dispositivo Bluetooth funcionando.....	109

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Glosario de Términos.....	122
ANEXO B: Programación de Controladores	129
ANEXO C: Diagramas P&ID	137

RESUMEN

El presente proyecto se basa en el diseño de un sistema SCADA, que tiene por objetivo la implementación de tecnología Bluetooth en la parte de adquisición de datos, en la interface remota y de manera complementaria la parte de gestión de datos, se basa en el diseño de una red industrial, la cual está en conexión con los autómatas de cada proceso y las interfaces locales.

El sistema controla dos estaciones de procesos (Lab-Volt 3501-M de Presión y Lab-Volt 3503-M de Nivel) del Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE Extensión Latacunga, los cuales tienen un algoritmo PID de control, que está implementado en el autómata Telemecanique TWDLCAE40DRF. Cada proceso se puede monitorear localmente gracias a que poseen independientemente una pantalla táctil que sirven de control local (Red Lion G-306).

La información de los autómatas y de las pantallas de cada proceso se las envía, por medio de una red industrial, hacia un tercer autómata que hace la función de maestro. El mismo que a más de tener una conexión ethernet, cuenta con el dispositivo Adaptador Modbus Bluetooth VW3A8114.

Este dispositivo Bluetooth permite enviar y recibir datos hacia un ordenador, que cuente con la misma tecnología, para establecer una conexión la que permite la supervisión y monitoreo de los procesos controlados.

El ordenador dispone de una interface, que está diseñada en Vijeo Citect un software de la familia Schneider Electric, la que cuenta con las opciones de un sistema SCADA (usuarios, tendencias, alarmas, etc.).

ABSTRACT

This project is based on the design of a SCADA system, which aims at the implementation of Bluetooth technology in data acquisition part, in the remote interface and complementary part of data management, is based on the design an industrial network, which is connected to the controllers of each process and local interfaces.

The system controls two stations Process (Lab-Volt 3501-M Pressure and Lab-Volt 3503-M Level) Laboratory of Industrial Process Control Network and the University of the Armed Forces-Extension ESPE Latacunga, which have PID control algorithm, which is implemented in the PLC Telemecanique TWDLCAE40DRF. Each process can be monitored locally by that independently have a touch screen that serves local control (Red Lion G- 306).

Information automata and displays each process sends, through an industrial network, to a third automaton that acts as a master. The same as having over an ethernet connection, the adapter has Bluetooth VW3A8114 Modbus device.

This Bluetooth device can send and receive data to a computer that has the same technology to make a connection that allows the supervision and monitoring of controlled processes.

The computer has an interface that is designed in Vijeo Citect software Schneider Electric family, which has the options of a SCADA system (users, trends, alarms, etc.).

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Introducción

En el entorno industrial los controladores lógicos programables (es decir, PLC) tienen un papel cada vez más importante, ya que se los encuentra en la mayoría de procesos industriales y sobre todo en ambientes hostiles; debido a esto se emplea el desarrollo de nuevas tecnologías y nuevos métodos de trabajo con la finalidad de aumentar el desempeño de los mismos. Por esta razón la eficiencia de los diferentes tipos de PLC's no sólo radica en su adaptación a los nuevos procesos y tecnologías, sino en aspectos como la eliminación de errores en cuanto a la seguridad, la reducción de los tiempos de respuesta o latencia la flexibilidad de los recursos, la simplificación de tareas, etc.

Los sistemas automatizados con tecnología inalámbrica están teniendo una amplia aceptación y gran desempeño en la industria, dado que los beneficios de esta tecnología se basan en el ahorro de cableado, posibilidad de comunicarse con equipos de difícil acceso, flexibilidad en la instalación.

La implementación de las redes inalámbricas es cada vez menos costosa, más simple y sencilla de configurar, ya que en la actualidad es posible diseñar e instalar una red en cualquier sitio remoto. En cuanto a las tecnologías inalámbricas, hay que destacar las redes que pertenecen al protocolo IEEE 802.15¹, que se refiere a redes WPAN², que incluyen a las tecnologías Bluetooth (IEEE 802.15.1) y ZigBee (IEE 802.15.4).

¹ Grupo de trabajo de la IEEE 802 especializado en redes inalámbricas de área personal.

² Wireless Personal Area Networks

Aunque la tecnología Bluetooth tiene la posibilidad de transmitir voz, imagen, datos multimedia entre dispositivos portátiles y PDA; esta tecnología tiene un futuro muy prometedor en lo referente al control y automatización de procesos industriales.

1.2. Sistemas SCADA³

1.2.1. Definición

SCADA⁴ cuyo significado es, Control con Supervisión y Adquisición de Datos, es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado.

Con el desarrollo de las redes digitales, la definición se tiene que modificar para incluir esta nueva forma de conectividad. Pues permite controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz⁵ gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

El sistema SCADA provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros usuarios superiores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.).

La Figura 1.1 describe de forma esquemática las partes más relevantes del sistema SCADA, estos elementos están conectados a un proceso automatizado, las funciones que cumplen cada una de estas son estrictas y se detallan posteriormente.

³ (Corrales, 2007)

⁴ Supervisory Control And Data Adquisition.

⁵ Conexión física y funcional entre dos aparatos o sistemas independientes.

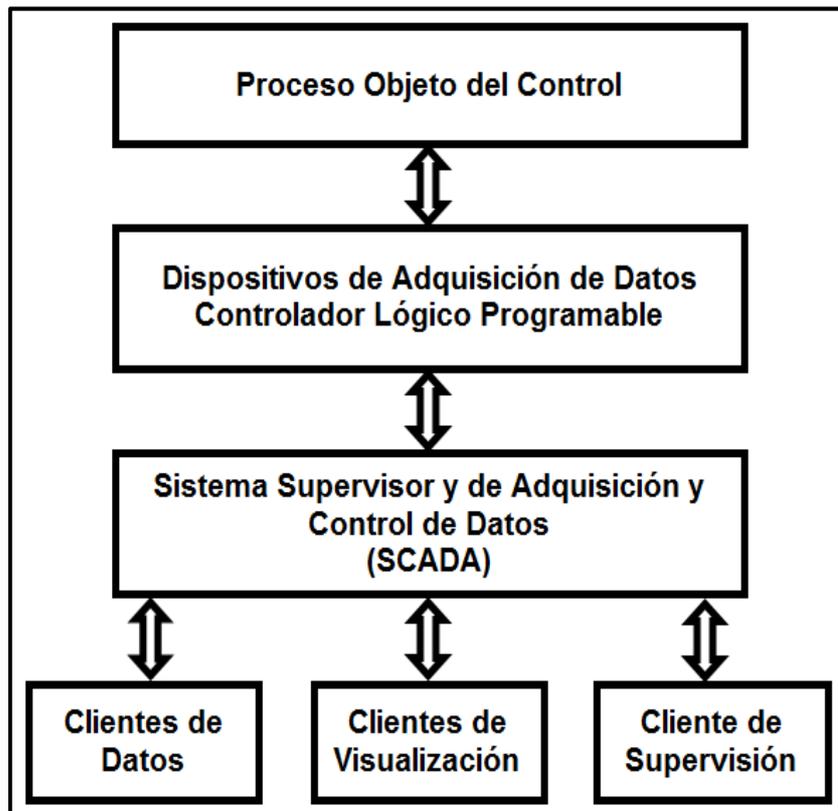


Figura 1.1: Esquema de un sistema SCADA⁶

- **Proceso objeto del control:** Es el proceso que se desea supervisar. En consecuencia, es el origen de los datos que se requiere coleccionar y distribuir.
- **Adquisición de datos:** Son un conjunto de instrumentos de medición dotados de alguna interface de comunicación que permita su interconexión.
- **SCADA:** Combinación de hardware y software que permita la colección y visualización de los datos proporcionados por los instrumentos.
- **Clientes:** Conjunto de aplicaciones que utilizan los datos obtenidos por el sistema SCADA.

⁶ (Corrales, 2007)

1.2.2. Funciones de un sistema SCADA

Dentro de un sistema SCADA las principales funciones que debe cumplir son las siguientes:

- **Supervisión remota de instalaciones y equipos:** Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta.
- **Control remoto⁷ de instalaciones y equipos:** Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual.
- **Procesamiento de datos:** El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores.
- **Visualización gráfica dinámica:** El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dando al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real.
- **Generación de reportes:** El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
- **Representación de señales de alarma:** A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable.
- **Almacenamiento de información histórica:** Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente.
- **Programación de eventos:** Esta referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

⁷ Dispositivo que regula a distancia el funcionamiento de un aparato, mecanismo o sistema.

1.2.3. Arquitectura general de un sistema SCADA⁸

Las primeras incursiones informáticas en el campo de la automatización localizaban todo el control en el PC y tendían progresivamente a la distribución del control en planta. De esta manera, el sistema queda dividido en tres bloques principales:

- Software de adquisición de datos y control (SCADA).
- Sistemas de adquisición y mando (sensores y actuadores).
- Sistema de interconexión (comunicaciones).

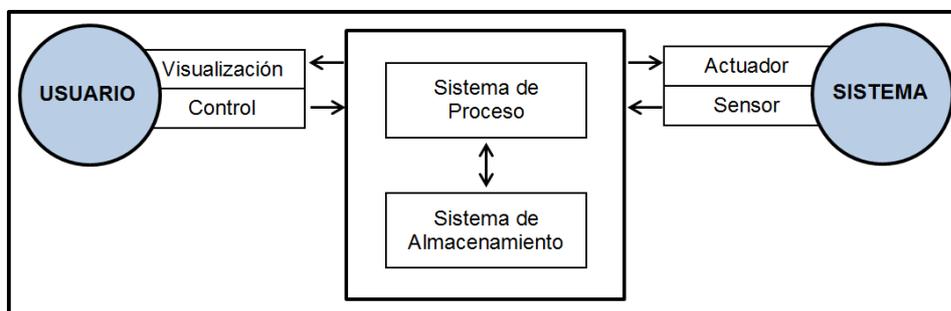


Figura 1.2: Arquitectura básica de un sistema SCADA⁹

El usuario (Figura 1.2), mediante herramientas de visualización y control, tiene acceso al Sistema de control de Proceso, generalmente un ordenador donde reside la aplicación de control de supervisión. La comunicación entre estos dos sistemas se suele realizar a través de redes de comunicaciones corporativas.

El Sistema de Proceso (Figura 1.2) capta el estado del Sistema a través de los elementos sensores e informa al usuario a través de las herramientas HMI. Basándose en los comandos ejecutados por el usuario, el Sistema de Proceso inicia las acciones pertinentes para mantener el control del Sistema a través de los elementos actuadores.

⁸ (Rodríguez, 2012)

⁹ (Caicedo Eraso, 2010)

La transmisión de los datos entre el Sistema de Proceso y los elementos de campo se lleva a cabo mediante los denominados Buses de Campo. La tendencia actual es englobar los sistemas de comunicación en una base común, como Ethernet Industrial. Toda la información generada durante la ejecución de las tareas de supervisión y control se almacena para disponer de los datos a posterioridad.

Un sistema SCADA es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción que proporciona comunicación entre los dispositivos de campo, llamados también RTU¹⁰ (Unidades Remotas), donde se pueden encontrar elementos tales como autómatas programables y un centro de control MTU¹¹ (Unidad Central), donde se controla el proceso de forma automática desde la pantalla de uno o varios ordenadores.

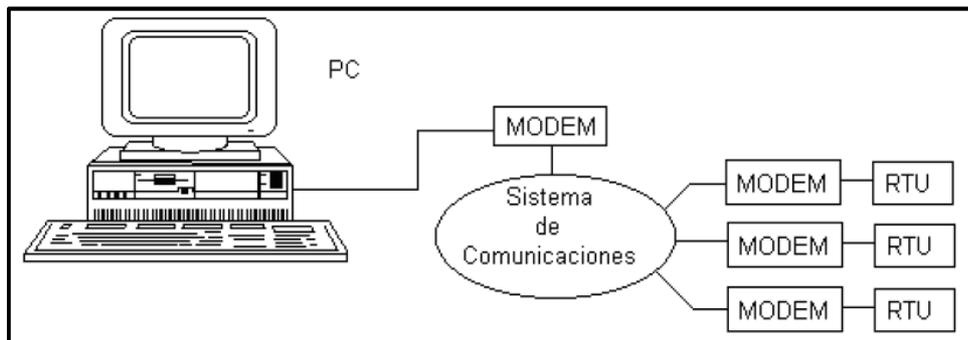


Figura 1.3: Idea básica de un sistema SCADA¹²

La estructura funcional (Figura 1.3) de un sistema de visualización y adquisición de datos obedece generalmente a la estructura Maestro-Eslavo. La estación central (maestro¹³) se comunica con el resto de estaciones (slaves¹⁴) requiriendo de estas una serie de acciones o datos.

¹⁰ Remote Terminal Units

¹¹ Master Terminal Unit

¹² (er-soft, 2010)

¹³ Maestro

¹⁴ Esclavo

a. El hardware

Un sistema Scada (Figura 1.4), a escala conceptual, está dividido en dos grandes bloques:

- **Captadores de datos:** Recopilan los datos de los elementos de control del sistema (autómatas, reguladores, registradores) y los procesan para su utilización. Son los servidores del sistema.
- **Utilizadores de datos:** Los que utilizan la información recogida por los anteriores, como pueden ser las herramientas de análisis de datos o los operadores del sistema. Son los clientes.

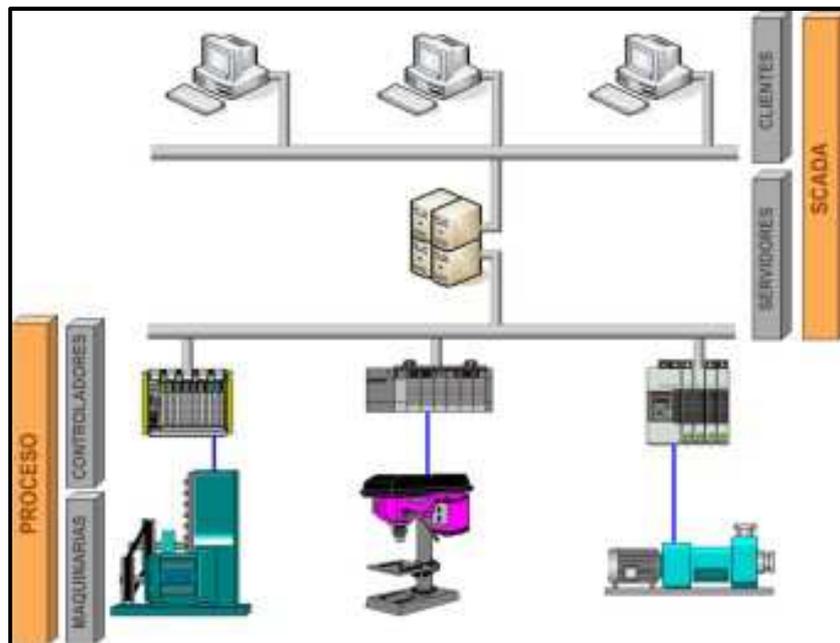


Figura 1.4: SCADA, arquitectura básica de hardware¹⁵

Estos sistemas están formados por los siguientes elementos básicos:

- Interface Hombre-Máquina (HMI, MMI)
- Unidad Central (MTU)
- Unidad Remota (RTU)
 - RTU
 - PLC
 - IED¹⁶

¹⁵ (CINTAL, 2011)

b. Sistemas de comunicación¹⁷

El intercambio de información entre servidores y clientes se basa en la relación de productor-consumidor. Los servidores de datos interrogan de manera cíclica a los elementos de campo (polling¹⁸), recopilando los datos generados por registradores, autómatas, reguladores de proceso, etc.

c. El software

El software debe tener la capacidad de manejar varios protocolos de comunicación ya que se tendrá dentro de la red varios dispositivos que probablemente se comunicarán en distintos lenguajes, encargado de comunicarse con otras aplicaciones hacia arriba con elementos de gestión de datos, hacia abajo con elementos de campo.

d. Comunicaciones entre aplicaciones

Los métodos de intercambio de información entre aplicaciones informáticas más conocidos son: OPC, ODBC, ASCII, API.

- **OPC¹⁹**: Es un estándar abierto que permite un método fiable para acceder a los datos desde aparatos de campo. El método de acceso siempre es el mismo, sin depender del tipo y origen de los datos.
- **ODBC²⁰**: Es un estándar que permite a las aplicaciones el acceso a datos en Sistemas de Gestión de Bases de Datos utilizando SQL como método estándar de acceso.
- **SQL²¹**: Permite una interface común para el acceso a los datos por parte de cualquier programa que se ciña al estándar SQL.

¹⁶ Intelligent Electronic Device

¹⁷ (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012)

¹⁸ Es una forma de control en redes de área local, según la cual la unidad central de procesamiento pide, de acuerdo con una programación determinada a cada puesto de trabajo conectado a la red, si ha de enviar alguna información.

¹⁹ OLE for Process Control

²⁰ Open Data Base Connectivity

²¹ Structures Query Language

- **ASCII²²**: Mediante el formato ASCII, común a prácticamente todas las aplicaciones informáticas, tenemos un estándar básico de intercambio de datos. Es sencillo exportar e importar datos de configuración, valores de variables, etc.
- **API²³**: Permite que el usuario pueda adaptar el sistema a sus necesidades mediante rutinas de programa propias escritas en lenguajes estandarizados, tales como Visual Basic, C++, o Java. Permite el acceso a las bases de datos de los servidores (valores almacenados temporalmente o archivos históricos).

1.3. Hardware del sistema SCADA

La estructura de hardware dentro del sistema se basa en la necesidad que un sistema SCADA pueda recopilar datos de un proceso. De esta forma un controlador autómatas (RTU) adquiere información; este a su vez envía a través de un sistema de comunicación hacia un sistema central de procesamiento de datos (MTU) en donde haya la posibilidad de visualizar el proceso por medio de una interfaz hombre máquina (HMI), a continuación se describe cada una de las partes del hardware del sistema SCADA.

1.3.1. Interface Humano Maquina²⁴

a. Definición

La función de un panel sinóptico es la de representar, de forma simplificada, el sistema bajo control. Los avances de la ciencia y la tecnología han puesto al hombre en un plano intermedio entre lo tangible e intangible computacionalmente hablando. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI o de monitoreo y control de supervisión.

²² American Standard Code for Information Interchange

²³ Application Programming Interfaces

²⁴ (Control & Automation, 2010)

Las señales de los procesos son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, controladores lógicos programables, unidades remotas de I/O, variadores de velocidad, etc. (Figura 1.5). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

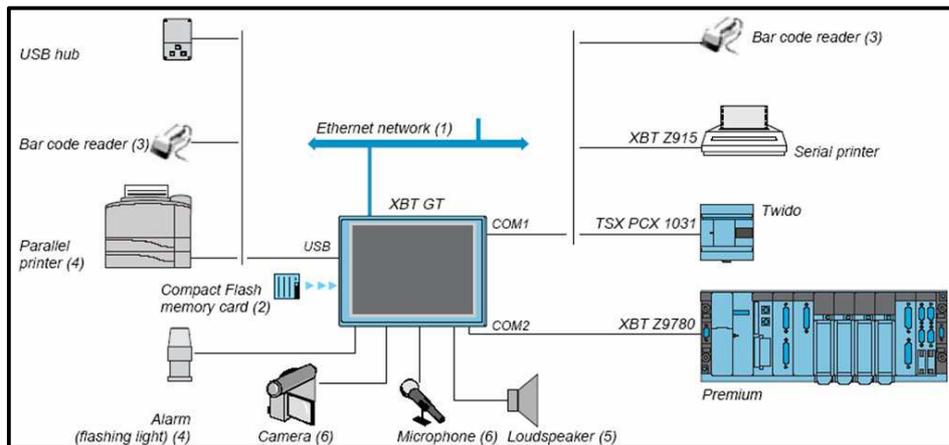


Figura 1.5: Comunicación entre HMI y dispositivos²⁵

b. Funciones de un Software HMI²⁶

- **Monitoreo:** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- **Supervisión:** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- **Alarmas:** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlo estos eventos²⁷. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control preestablecidos.
- **Control:** Es la capacidad de aplicar algoritmos²⁸ que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites.

²⁵ (Creus, 1998)

²⁶ (UPS, 2009)

²⁷ Eventualidad, hecho imprevisto o que puede acaecer.

- **Históricos:** Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

c. Estructura general del software HMI

El software HMI está compuesto por un conjunto de programas y archivos, hay programas para diseño y configuración del sistema y otros que son el motor. En la Figura 1.6 se muestra cómo funcionan algunos de los programas y archivos más importantes. Los rectángulos de la figura representan programas y las elipses representan archivos. Los programas que están con recuadro simple representan programas de diseño o configuración del sistema; los que tienen doble recuadro representan programas que son el motor del HMI.

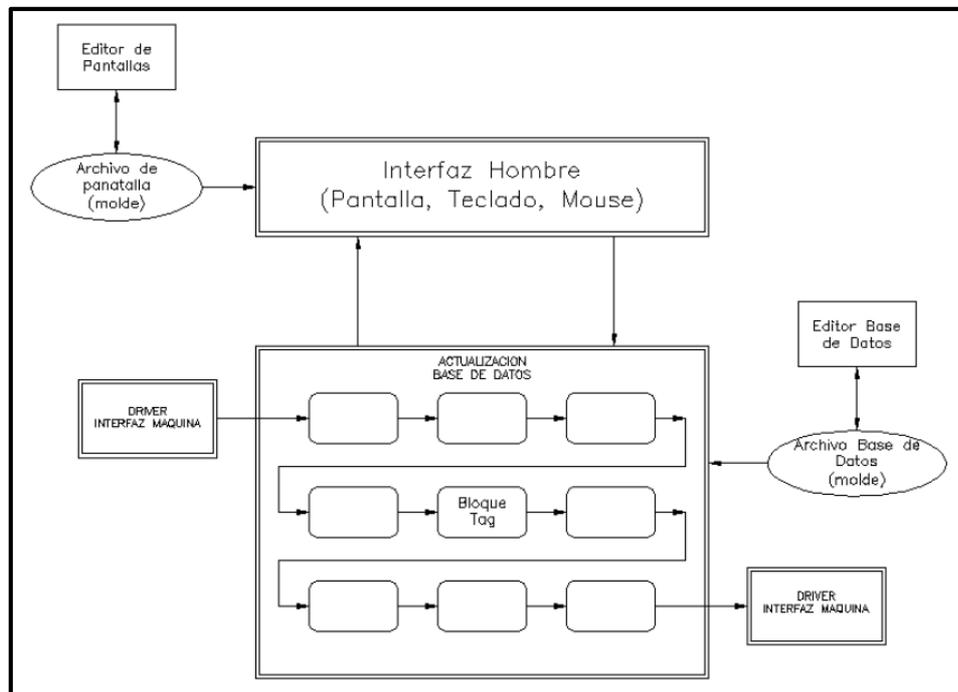


Figura 1.6: Estructura de un HMI²⁹

²⁸ Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.

²⁹ (Docentes Electronics, 2009)

- **Editor de pantallas:** Crea moldes de pantallas para visualización de datos del proceso. Estos moldes son guardados en archivos “Archivo de pantalla” y almacenan la forma como serán visualizados los datos en las pantallas.
- **Interfaz Hombre:** Es un programa que se encarga de refrescar las variables de la base de datos en la pantalla, y actualizarla, si corresponde, por entradas del teclado o el mouse. Este programa realiza la interfaz entre la base de datos y el hombre. El diseño de esta interfaz está establecido en el archivo molde “Archivo de pantalla” que debe estar previamente creado.
- **Base de datos³⁰:** Es un lugar de la memoria de la computadora donde se almacenan los datos requeridos del proceso. Estos datos varían en el tiempo según cambien los datos del procesos, por esta razón se denomina “base de datos dinámica”.
La base de datos está formada por bloques que pueden estar interconectadas. La creación de la bases de datos, sus bloques y la relación entre ellos se realiza a través de “editor de base de datos”.
- **Driver³¹:** La conexión entre los bloques de la base de datos y las señales del proceso se realiza por medio de drivers. Estos drivers manejan los protocolos de comunicación entre el HMI y los distintos dispositivos de campo. Los drivers son entonces la interfaz hacia la máquina.
- **Bloques:** La base de datos está compuesta por bloques. Para agregar o modificar las características de cada bloque se utiliza el editor de la base de datos. Los bloques pueden recibir información de los drivers u otros bloques y enviar información hacia los drivers u otros bloques.

³⁰ Conjunto de datos organizado de tal modo que permita obtener con rapidez diversos tipos de información.

³¹ Es un controlador o programa que controla un dispositivo.

Las funciones principales de los bloques son:

- Recibir datos de otros bloques o al driver.
- Enviar datos a otros bloques o al driver.
- Realizar cálculos de acuerdo a instrucciones del bloque.
- Comparar los valores con umbrales de alarmas.
- Escalar los datos del driver a unidades de ingeniería.
- Los bloques pueden estructurarse en cadenas para procesar una señal (Figura 1.7).

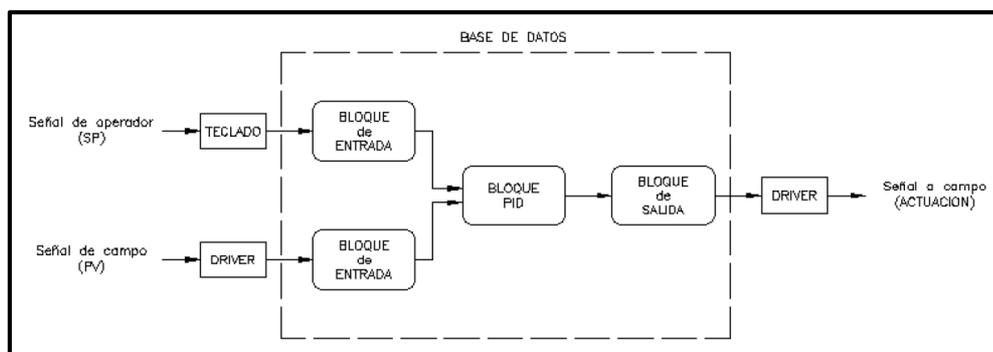


Figura 1.7: Bloques de un HMI³²

d. HMI Red Lion G306

La Interfaz Humano Maquina G306 combina las capacidades únicas que normalmente se espera de las unidades de gama alta con un precio muy asequible. Está construido alrededor de un núcleo de alto rendimiento con funcionalidad integrada. Este núcleo permite al G306A realizar muchas de las funciones normales de la gama de Paradigm Interfaces al tiempo que mejora y adiciona nuevas características.

El G306A es capaz de comunicarse con muchos tipos distintos de hardware el uso de alta velocidad puertos RS232/422/485 comunicación y Ethernet 10BaseT/100 comunicaciones Base-TX. Además, el G306A tiene funciones USB para una rápida descarga de archivos de configuración y acceso a tendencias y registro de datos.

³² (Obando, 2009)

Además de tener acceso y control de los recursos externos, el G306A permite al usuario ver y entrar fácilmente a la información. Los usuarios pueden introducir datos a través de la pantalla táctil y/o en el panel frontal del teclado de 5 botones.



Figura 1.8: HMI Red Lion G306³³

1.3.2. Unidad central MTU³⁴

Centraliza el mando del sistema. En el centro de Control se realiza principalmente, la tarea de recopilación y archivado de datos. Toda esta información que se genera en el proceso productivo se pone a disposición de los diversos usuarios que puedan requerirla. La MTU se encarga de:

- Gestionar las comunicaciones
- Recopilar los datos de todas las estaciones remotas (RTU)
- Envío de información
- Comunicación con los operadores
- Análisis
- Visualización de datos
- Seguridad

³³ (red lion, 2008)

³⁴ (Tempel group, 2011)

Estas tareas están encomendadas a equipos informativos con funciones específicas y exclusivas, tales como:

- **Database server**³⁵: Se ocupa del archivado de datos para el proceso posterior de los mismos mediante herramientas de representación gráfica o de análisis estadístico.
- **File server**³⁶: Almacena los resultados de los análisis de los datos recogidos, guarda los datos concernientes a los eventos del sistema, datos de configuraciones, alarmas, etc.
- **Administración**: Permite la gestión y el mantenimiento del sistema SCADA, controlar los sistemas de seguridad, modificar la configuración de las tareas de backup³⁷, etc.
- **Comunicaciones**: Permite el intercambio de datos en tiempo real con estaciones remotas. Este es un punto de entrada y salida de datos, por tanto, debe prestarse especial atención a la seguridad y protegerlo de accesos no autorizados.

1.3.3. Unidad remota RTU³⁸

a. Definición

Conjunto de elementos dedicados a labores de control y/o supervisión de un sistema, alejados del centro de control y comunicados con éste mediante algún canal de comunicación. Dentro de esta clasificación podemos encontrar varios elementos más o menos diferenciados:

- **RTU**: Las unidades remotas se encargan, de recopilar los datos de los elementos de campo (autómatas) y transmitirlos hacia la unidad central, a la vez de enviar los comandos de control. Tiene opciones de comunicación Modbus, CANopen y Ethernet.

³⁵ Servidor que tiene la función de almacenar datos

³⁶ Servidor para almacenar archivos.

³⁷ Una copia de seguridad de datos originales que se realiza con el fin de disponer de un medio para recuperarlos.

³⁸ (Prado, 2010)

- **PLC:** Controladores lógicos programables, son sistemas de dedicación exclusiva al control de instalaciones, maquinas o procesos. Puede tener elementos distribuidos con los cuales se comunican a través de sistemas de comunicación llamados buses de campo. Mediante una tarjeta accesoria, se le integra un PLC con capacidades de comunicación incluidas (CANopen), programable en CodeSys³⁹.
- **IED⁴⁰:** Son los denominados periféricos inteligentes (Intelligent Electronic Devices). Tiene funciones de regulación y control propias de este tipo de equipos (entradas, salidas, regulación PID, etc.).

b. Controlador lógico programable PLC⁴¹

Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, el cual permite automatizar procesos electromecánicos. Por lo tanto se puede decir que un PLC no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos.

A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.) por una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc.) por otra (Figura 1.9).

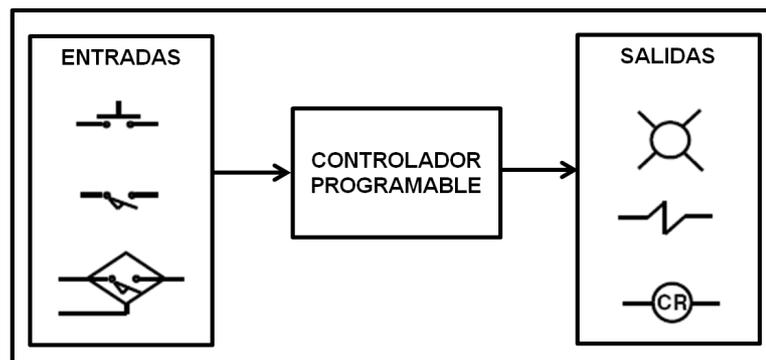


Figura 1.9: Funcionalidad de un PLC⁴²

³⁹ Es un entorno de desarrollo para la programación de controladores conforme con el estándar industrial internacional.

⁴⁰ Intelligent Electronic Device

⁴¹ (Control & Automation, 2010)

⁴² (Millan, 2008)

c. Funcionamiento de un PLC

Los controladores lógicos programables son máquinas secuenciales⁴³ que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa del usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta; al detectarse cambios en las señales, el autómata reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

La secuencia básica de operación del autómata se puede dividir en tres fases principales:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Procesado del programa para obtención de las señales de control.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.

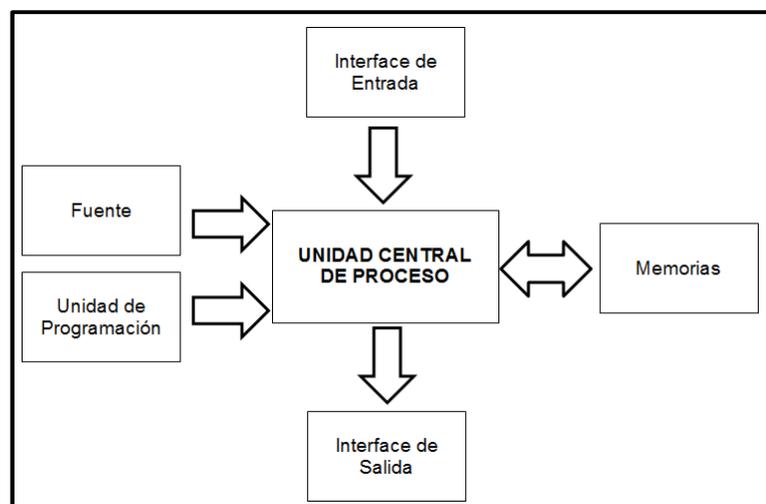


Figura 1.10: Estructura externa de un PLC⁴⁴

⁴³ Son aquellas cuyas salidas no solo dependen de sus entradas actuales, sino también de una secuencia de la entrada anterior.

⁴⁴ (Interactive Shopping, 2010)

El término estructura externa de un autómata se refiere al aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido, como se muestra en la Figura 1.10 se defina cada una de sus partes:

- **Unidad de programación:** Es el conjunto de medios, hardware y software mediante los cuales el programador introduce y depura sobre las secuencias de instrucciones que constituyen el programa.
- **Fuente de alimentación:** Proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. La alimentación a la CPU puede ser de continua a 24 Vcc, tensión muy frecuente en cuadros de distribución, o en alterna a 110/220 Vca.
- **Unidad central de proceso:** La CPU⁴⁵ es la parte inteligente del sistema. Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas. La CPU está constituida por los siguientes elementos:
 - Procesador
 - Memoria monitor del sistema
 - Circuitos auxiliares

d. Comunicación con un PLC

El primer sistema fue el bus Modicon (Modbus). El PLC podía ahora dialogar con otros PLC y en conjunto podían estar aislados de las máquinas que controlaban.

En los 80 se produjo un intento de estandarización de las comunicaciones con el protocolo MAP⁴⁶ de General Motor's. El último estándar (IEC 1131-3⁴⁷) intenta unificar el sistema de programación de todos los PLC en un único estándar internacional.

⁴⁵ Central Processing Unit

⁴⁶ Manufacturing Automation Protocol

⁴⁷ Es el primer esfuerzo real para normalizar los lenguajes de programación usados en automatización industrial.

e. PLC Telemecanique TWDLCAE40DRF⁴⁸

Los controladores Twido tienen un puerto serie que utiliza para acciones en tiempo real o servicios de gestión de sistemas. Los servicios en tiempo real proporcionan datos de distribución para el intercambio de información con los dispositivos de E/S. Además cumple la función de mensajería para comunicar con dispositivos externos. El controlador dispone de los siguientes servicios:

- Remote Link
- Modbus
- ASCII
- Modbus TCP / IP
- Puerto de comunicación Ethernet que permite realizar todas las comunicaciones en tiempo real y tareas de administración del sistema a través de la red.



Figura 1.11: PLC Telemecanique TWDLCAE40DRF⁴⁹

La Tabla 1.1, presenta las características generales del autómata TWDCAE40DRF.

⁴⁸ (Schneider Electric, 2005)

⁴⁹ (Ali express, 2002)

Tabla 1.1: Características PLC Telemecanique TWDLCAE40DRF⁵⁰

Características Generales	
Rango de Producto	Twido
Tipo del Producto	Controlador Base Compacta
Número de I/O Discretas	40
Número de Entradas Discretas	24
Tensión de Entrada Discreta	24V
Tipo de Tensión de Entrada Discreta	DC
Número de Salida Discreta	2 Transistor 14 Relé
Número de Módulo de Expansión I/O	7
Tensión de alimentación nominal	100 a 240 VAC
Datos de una copia de seguridad	RAM Interna (batería externa TSXPLP01) 3 años
Tipo de conexión Integrada	Ethernet TCP/IP RJ45 10/100 Mbps, 1 par trenzado transparente de clase listos A10. Enlace Serial no aislado mini DIN, Modbus/modo master/slave RTU/ASCII (RS485) un medio duplex, 38,4 Kbps. Fuente de alimentación Adaptador serie interfaz de enlace de (RS232C/RS485)
Funciones Complementarias	Procesamiento de Eventos, PID

1.4. Sistema de comunicación del sistema SCADA

La forma en que la información de doble vía será transmitida, el medio físico y el lenguaje que se utilice formará parte del sistema de comunicaciones. Los servidores de datos interrogan de manera cíclica a los dispositivos de campo, registrando todo el tiempo cambio de valores en variables.

⁵⁰ (Schneider Electric, 2005)

El sistema debe contar con un protocolo de comunicaciones estandarizado para evitar la incompatibilidad con otros dispositivos, esto es tomado como una ventaja ya que si posee el proceso un modelo estandarizado se puede integrar con cualquier sistema.

1.4.1. Protocolos industriales de comunicaciones⁵¹

Un protocolo de comunicaciones permite el intercambio de información (Figura 1.12) entre diferentes elementos que componen una red industrial⁵², estos elementos pueden ser autómatas, variadores de frecuencia, etc., con la central remota. La existencia de procesos, ha ocasionado que las redes y los protocolos de comunicación industrial se conviertan en indispensables para realizar un enlace entre las distintas etapas que conforman el proceso. Las ventajas de redes de comunicación figuran:

- Mayor precisión derivada de la tecnología digital en las mediciones.
- Mejor disponibilidad de información de los dispositivos de campo.
- Diagnóstico remoto de componentes

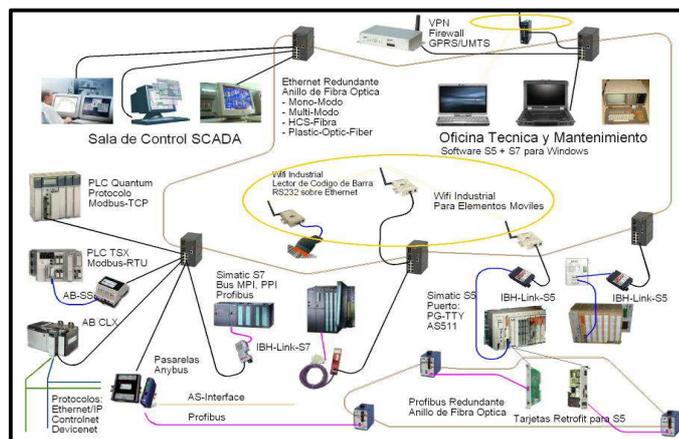


Figura 1.12: Ejemplo de protocolos de comunicaciones⁵³

⁵¹ (UPS, 2010)

⁵² Permite las comunicaciones entre instrumentos de proceso y el sistema de control se basan principalmente en señales analógicas.

⁵³ (er-soft, 2010)

La integración de los procesos automatizados ha permitido la división de tareas entre grupos de procesadores jerárquicamente anidados. Esto da lugar a una estructura de redes industriales, las cuales es posible agrupar en tres categorías:

- Buses de campo
- Redes LAN
- Redes LAN-WAN

a. Buses de campo⁵⁴

Tiene como objetivo sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional bucle de tensión o de corriente de 4 a 20mA. Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo (Figura 1.13).

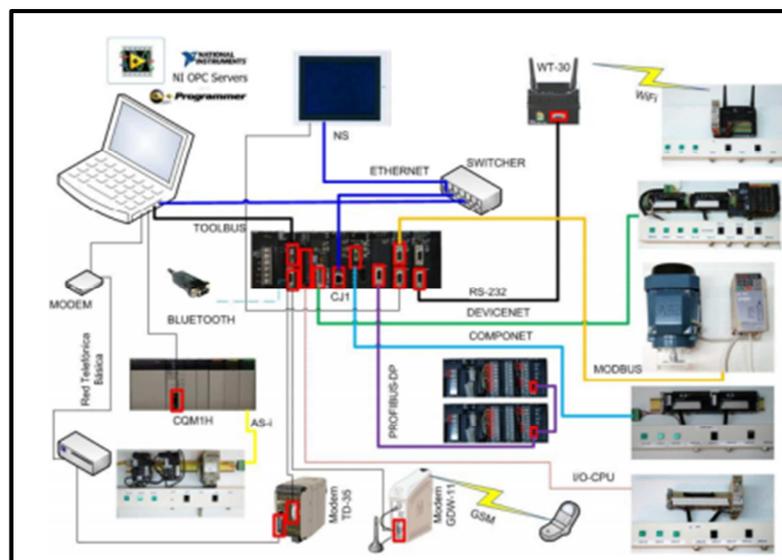


Figura 1.13: Implementación de buses de campo⁵⁵

Existen una gran cantidad de bus de campo, por lo cual en la Tabla 1.1, se describe las características más importantes y relevantes de cada uno de los mismos.

⁵⁴ (Kaschel, 2011)

⁵⁵ (Instrumentación y Control.net, 2013)

Tabla 1.2: Características de buses de campo⁵⁶

Nombre	Topología	Soporte	Máximo dispositivos	Rate transmisión bps	Distancia máxima Km.	Comunicación
Profibus DP	Línea, estrella y anillo	Par trenzado, fibra óptica	127 p/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus PA	Línea, estrella y anillo	Par trenzado, fibra óptica	14400 p/segm	31.5K	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS		Par trenzado, fibra óptica	127p/segm	500K		Master/Slave peer to peer
Foundation Fieldbus HSE	Estrella	Par trenzado, fibra óptica	240 p/segm 32768sist	100M	0.1 segm 2 fibra	Single/multi master
Foundation Fieldbus H1	Estrella o bus	Par trenzado, fibra óptica	240 p/segm 32768sist	31.25K	1.9 cable	Single/multi master
LonWorks	Bus, anillo, lazo, estrella	Par trenzado, fibra óptica, coaxial, radio	32768 p/dom	500K	2	Master/Slave peer to peer
Interbus-S	Segmentado	Par trenzado, fibra óptica	256 nodos	500K	400 segm 12.8 total	Master/Slave
DeviceNet	Troncal/puntual c/bifurcación	Par trenzado, fibra óptica	2048 nodos	500K	0.5 6 c/rep	Master/Slave, multi-master, peer to peer
AS-I	Bus, anillo, árbol, estrella	Par trenzado	31 p/red	167K	0.1, 0.3 c/rep	Master/Slave

⁵⁶ (Control & Automation, 2010)

Nombre	Topología	Soporte	Máximo dispositivos	Rate transmisión bps	Distancia máxima Km.	Comunicación
Modbus RTU	Línea, estrella, árbol, red con segmentos	Par trenzado, coaxial, radio	250 p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Master/Slave
Ethernet Industrial	Bus, estrella, malla-cadena	Coaxial, par trenzado, fibra óptica	400 p/segm	10, 100M	0.1 100 mono c/swtich	Master/Slave peer to peer
HART		Par trenzado	15 p/segm	1.2K		Master/Slave

b. Redes LAN industriales

Son las redes más elevadas jerárquicamente. Los estándares más extendidos son dos:

- **MAP⁵⁷**: Nació como un producto especialmente para el entorno industrial, proporcionando un medio de transmisión determinista⁵⁸. No actúa a nivel de bus de campo, pero establece pasarelas hacia estos buses mediante terminales. También permite integración en redes WAN. Se desarrolló paralelamente con la arquitectura OSI⁵⁹.
- **Ethernet**: Es una especificación para redes de área local que comprende el nivel físico y el nivel de enlace del modelo de referencia ISO/OSI. Se implementa en principio sobre una topología bus serie con mecanismo CSMA/CD⁶⁰ para el control del acceso al medio (MAC⁶¹).

⁵⁷ Protocolo de Fabricación Automatizada

⁵⁸ Cuando bajo condiciones normales de trabajo, permite determinar el tiempo máximo que un mensaje enviado a través de él va a tardar en llegar a su destino

⁵⁹ Open System Interconnection

⁶⁰ Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones.

⁶¹ Es un identificador de 48 bits, que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red.

c. Red de Área Personal Inalámbrica WPAN⁶²

Tradicionalmente se han utilizado cables de propósito específico para interconectar cada tipo de dispositivo, sin embargo la interconexión mediante cables es una tarea improductiva debido a daños sobre todo en el medio físico. Por esta razón la aparición de las redes inalámbricas es una solución para estos inconvenientes; y a su vez existen diversas clases de redes inalámbricas (Figura 1.14).

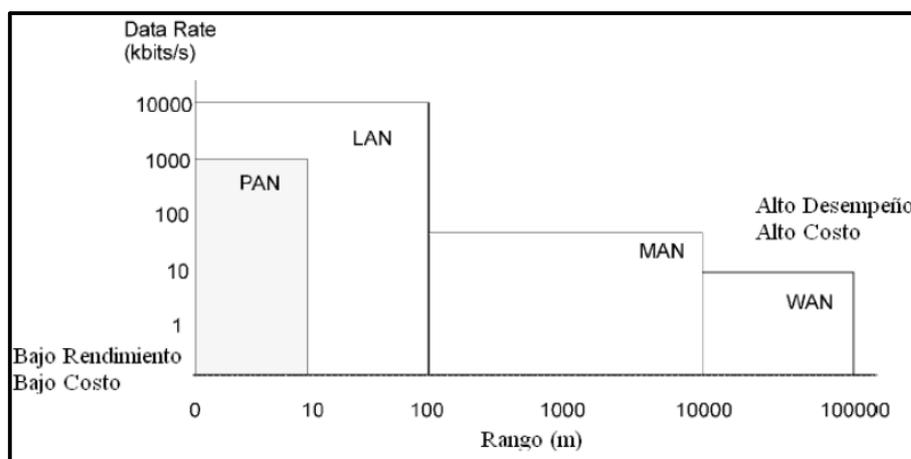


Figura 1.14: Clases de redes inalámbricas⁶³

En la actualidad y gracias a que la tecnología se desarrolla continuamente los dispositivos o tecnologías que se pueden considerar dentro de una red de área personal inalámbrica tenemos:

- **Tecnología Bluetooth:** La tecnología principal WPAN es Bluetooth, lanzado por Ericsson en 1994. Ofrece una velocidad máxima de 1Mbps con un alcance máximo de unos treinta metros. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:
 - Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
 - Eliminar cables y conectores entre éstos.
 - Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

⁶² (UPS, 2009)

⁶³ (UPS, 2010)

- **Tecnología HomeRF⁶⁴**: Lanzada en 1998 por HomeRF Working Group ofrece una velocidad máxima de 10Mbps con un alcance de 50 a 100m sin amplificador. Se abandonó en enero de 2003, en gran medida porque los fabricantes de procesadores empezaron a usar la tecnología Wi-Fi⁶⁵ en placa. Las prestaciones de este sistema son:
 - Modulación FSK⁶⁶ (Frequency Shift Keying).
 - Velocidad de datos variables de entre 800Kbps y 1.6Mbps.
 - Utiliza la banda de 2.4GHz.
 - 75 canales de 1MHz para voz.
- **Tecnología Zigbee**: Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones.

1.4.2. Topologías de los sistemas de comunicación

Las diversas de los elementos que se comunican dan a lugar a unas topologías determinadas (Figura 1.15):

- **Punto a punto (1)**: Un solo elemento remoto (RTU) está conectado al sistema de control (MTU) mediante una línea de comunicación.
- **Multipunto dedicado (2)**: Un solo sistema de control conectado a varias estaciones remotas mediante enlaces directos permanentes.
- **Multipunto compartido estrella (3)**: Esta configuración en estrella utiliza un solo puerto de comunicaciones, realizándose el intercambio de datos por turnos. Esto es posible debido a que las estaciones remotas tienen identificadores únicos.

⁶⁴ Home Radio Frequency

⁶⁵ Conexión de diferentes dispositivos de forma inalámbrica.

⁶⁶ Modulación por desplazamiento por frecuencia, es una técnica de transmisión digital de información binaria utilizando dos frecuencias diferentes.

- **Multipunto compartido en bus:** Una o varias unidades centrales están conectadas a una o varias estaciones remotas mediante un medio común (bus).
- **Multipunto compartido en anillo:** Más robusta al proporcionar dos caminos para la información. En caso de fallo de un nodo el tráfico no se interrumpe.

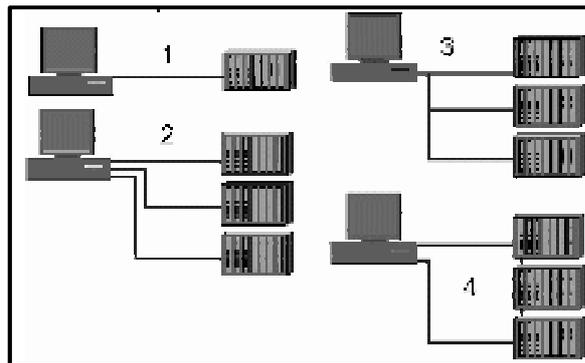


Figura 1.15: Topología básicas de un sistema SCADA⁶⁷

1.4.3. Seguridad de los sistemas de comunicación

La aplicación de estándares a las comunicaciones permite una mayor integración y flexibilidad en las configuraciones. No hay que olvidar que el uso de estándares acarrea un problema, las carencias que estos estándares tienen.

1.4.4. Ethernet Industrial⁶⁸

a. Definición

Ethernet industrial (logotipo Figura 1.16), es el nombre dado a la utilización del protocolo Ethernet en un entorno industrial, de automatización y control de máquinas de producción, ha sido la base para el desarrollo del estándar IEEE 802.3⁶⁹. Se implementaba originalmente sobre cable coaxial, codificándose la señal en banda base mediante el código Manchester.

⁶⁷ (Docentes Electronics, 2009)

⁶⁸ (Prado, 2010)

⁶⁹ Primera versión para estandarizar Ethernet

Se han desarrollado especificaciones para que la red Ethernet se pueda implementar sobre otros soportes físicos: par trenzado, fibra óptica, etc., y soportando mayores velocidades de transmisión (10Gbps⁷⁰).



Figura 1.16: Logotipo Ethernet Industrial⁷¹

El original control de acceso al medio CSMA/CD ha sido prácticamente desplazado por las técnicas de conmutación (Ethernet conmutada), que agilizan el tráfico de la red, aumentan el ancho de banda de transmisión disponible, aumenta el número de nodos que se pueden conectar a una misma red local y minimizan tanto la posibilidad de pérdida de mensajes como el retardo de propagación de estos hacia su destino.

b. Medio de transmisión de la red Ethernet

Inicialmente Ethernet fue una red en topología bus (Figura 1.17) basada en cables coaxiales. Pero estos cables planteaban problemas de fiabilidad, limitaban el alcance geográfico de la red a uno o dos kilómetros e impedían el aumento de la velocidad de la red por encima de los 10Mbps⁷² originales.

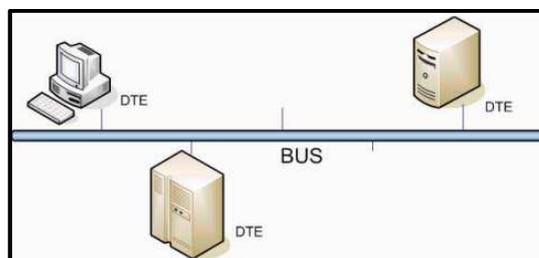


Figura 1.17: Topología bus de una conexión Ethernet⁷³

⁷⁰ Gigabit por segundo

⁷¹ (Rockwell Automation, 2009)

⁷² Megabits por segundo

⁷³ (Monografías.com, 2009)

Actualmente el cableado más popular es el par trenzado (Figura 1.18) bajo las denominaciones 10BASE-T y 100BASE-TX (para 10 y 100 Mbps respectivamente). En ambos casos se trata de cables de cobre formados por cuatro pares trenzados apantallados o sin apantallas (STP Y UTP, respectivamente). El cable de Categoría 5 es el más habitual ya que proporciona la calidad suficiente para la transmisión hasta 100Mbps. Los cables se conectan a los equipos de la red mediante conectores RJ-45.

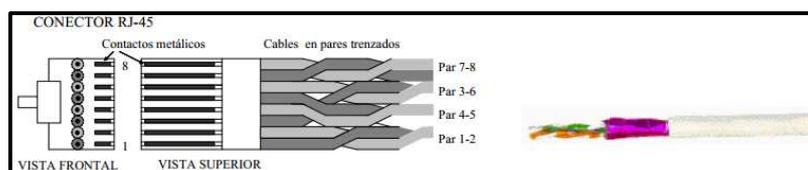


Figura 1.18 Cable par trenzado y conector RJ-45⁷⁴

También se utiliza la fibra óptica (10BASE-FL o 100BASE-FX). El cable de fibra óptica es más caro, pero puede ser útil en áreas donde hay grandes interferencias electromagnéticas. También cuando la distancia a salvar supera los 100 metros, que es aproximadamente el alcance máximo de los cables de cobre 10BASE-T o 100BASE-TX, pudiendo llegar hasta los dos kilómetros. Tanto el cable par trenzado como con la fibra óptica, la topología es en estrella (Figura 1.19). La unidad central de la red puede ser un repetidor (Hub) o un conmutador (Switch).

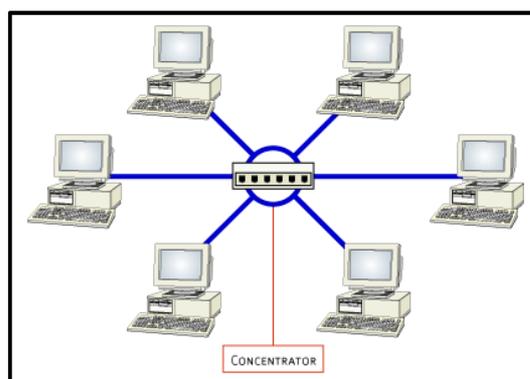


Figura 1.19: Topología en estrella de una conexión Ethernet⁷⁵

⁷⁴n (Wikipedia, 2007)

⁷⁵ (Docentes Electronics, 2009)

c. Formato de las tramas Ethernet e IEEE 802.3⁷⁶

Por ser una red broadcast los mensajes enviados por una estación se difunden por todo el árbol de la red formado por los repetidores y segmentos, llegando a todas las estaciones de la red. El paquete de un mensaje Ethernet (trama Ethernet Figura 1.20) consta de los siguientes campos:

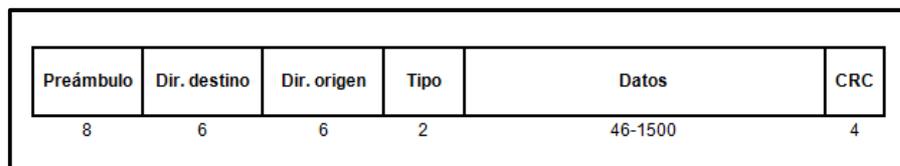


Figura 1.20: Trama Ethernet⁷⁷

- **Preámbulo (8 bytes):** Es una cadena de bits empleada para la sincronización de la codificación de fase y para determinar el comienzo de la trama. Consta de siete bytes (10101010) de preámbulo y un delimitador de comienzo de la trama (10101011).
- **Dirección de destino (6 bytes):** La dirección FF:FF:FF:FF:FF:FF (todos los bits a 1) es la dirección broadcast que significa que el mensaje se dirige a todas las estaciones.
- **Dirección de origen (6 bytes):** Las direcciones Ethernet tienen 48 bits, de manera que cada estación tiene una dirección única grabada en el hardware con lo que no puede haber coincidencias de dirección entre dos estaciones distintas.
- **Tipo (2 bytes):** En este campo se indica cual es el protocolo del nivel inmediatamente superior (el de Red) encapsulado en el campo de datos. Este valor ha de ser utilizado en tramas de tipo IEEE 802.3.
- **Datos (46 a 1500 bytes):** Contiene los datos de nivel de enlace transmitidos por la trama.
- **CRC (4 bytes):** Código de redundancia cíclica para detección de errores en la trama.

⁷⁶ (Heredia, 2002)

⁷⁷ (Millan, 2008)

d. Comparativa entre buses actuales

La tabla siguiente (Tabla 1.3) recoge las características generales, topológicas y de cableado de los distintos estándares y las compara con la red Ethernet Industrial.

Tabla 1.3: Comparativa general respecto a Ethernet⁷⁸

GENERAL	AS-Interface	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
Disponible desde	1995	1990	1995	1979	1975
Estándar	EN50295, IEC62026/2, IEC947	DIN19245, EN13321/1 (FMS), EN50254/2, EN50170/2, IEC 61158 Type 3, SEMIE54.8(DP)	ISO 11898	No international standard	IEEE 802.3
Variantes	V1.0, V2.0, V2.10, V2.11	FMS, PD, PA		ASCII, RTU (Remote Terminal Unit)	10BASE-T, 100BASE-TX
Aplicable para E/S Sensores-actuadores	SÍ (especialmente dedicado para ello)	No, (demasiado complejo y hardware excesivo)	SÍ	No	Hardware excesivo
¿Aplicable a E/S remotas?	Limitado a 4 E/S digitales o 2 analógicas	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Áreas de aplicación	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA) parcialmente	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA)	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA)	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA)	Niveles medio y alto de automatización industrial
Interfaz para PC	SÍ, varios vendedores	SÍ, varios vendedores	SÍ	Solo para RS 422/485	Incluida en cualquier PC

⁷⁸ (Docentes Electronics, 2009)

e. Switch 3Com 3C16794

La familia de switches 3Com OfficeConnect es una opción ideal para pequeñas oficinas y sucursales que necesitan compartir los recursos informáticos y conexiones a Internet sin romper el banco. Permite conexiones dedicadas de alta velocidad, ya sea en 10BASE-T o 100BASE-TX, lo que es ideal para la conexión de servidores o múltiples centros en las pequeñas empresas u oficinas y proporcionar una ruta de migración flexibles.



Figura 1.21: Switch Industrial 3C16794⁷⁹

Tabla 1.4: Características Switch Industrial 3Com 3C16794⁸⁰

Características Generales	
Factor de forma	Externo
Cantidad de puertos	8
Transferencia de datos	100Mbps
Protocolo de interconexión de datos	Ethernet, Fast Ethernet
Compatibilidad	PC
Tipo de Red	Interruptor
Tecnología de conectividad	Cableado
Protocolo de comunicación	Ethernet
Interfaces	Ethernet 10BaseT/100BaseTX, RJ-45
Consumo eléctrico en funcionamiento	11W
Fuente de energía	AC 110/220V ±10% (50/60Hz)
Memoria RAM	1MB

⁷⁹ (Interactive Shopping, 2010)

⁸⁰ (Interactive Shopping, 2010)

1.4.5. Estándar Bluetooth IEEE 802.15.1⁸¹

a. Definición

Bluetooth (Figura 1.22) es una especificación industrial para WPAN que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia⁸², esta tecnología facilita la comunicación entre dispositivos sin la utilización de cables.



Figura 1.22: Logotipo Bluetooth⁸³

La tecnología inalámbrica Bluetooth es una tecnología de ondas de radio de corto alcance (2.4 GHz de frecuencia) cuyo objetivo es el simplificar las comunicaciones entre dispositivos informáticos.

b. Funcionamiento

Cada dispositivo deberá estar equipado con un microchip, llamado Transceptor (Figura 1.23), que transmite y recibe en la frecuencia de 2.4GHz, disponible en todo el mundo; este chip es una unidad de control de enlace banda-base. Además de los datos, están disponibles tres canales de voz. Cada dispositivo tiene una dirección única de 48 bits basado en el estándar IEEE 802.15.1.



Figura 1.23: Transceptor Bluetooth⁸⁴

⁸¹ (Duran Acevedo, 2012)

⁸² Se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 KHz y unos 300 GHz.

⁸³ (Perez Quezada, 2008)

⁸⁴ (Toro, 2007)

Gracias a este protocolo, los dispositivos que lo implementan pueden comunicarse entre ellos cuando se encuentran dentro de su alcance. Debido a la naturaleza de las transmisiones, los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión lo permite. Estos dispositivos se clasifican como Clase 1, Clase 2, Clase 3 o en referencia a su potencia de transmisión (Tabla 1.5), siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras.

Tabla 1.5: Clases de Bluetooth⁸⁵

Clase	Potencia Máxima Permitida		Rango (Aproximado)
Clase 1	100 mW	20 dBm	100 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	10 metros
Clase 3	2.5 mW	0 dBm	1 metro

c. Arquitectura

La especificación principal de Bluetooth define el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC). La especificación principal cubre los cuatro niveles inferiores y sus protocolos asociados junto con el protocolo de descubrimiento de servicios (SDP) y el perfil de acceso genérico.

Los niveles inferiores de la pila de protocolos (Figura 1.24) constituyen el controlador Bluetooth (hardware), que contiene los bloques fundamentales de la tecnología, sobre los cuales se apoyan los niveles superiores y los protocolos de aplicación.

⁸⁵ (Hernandez, 2008)

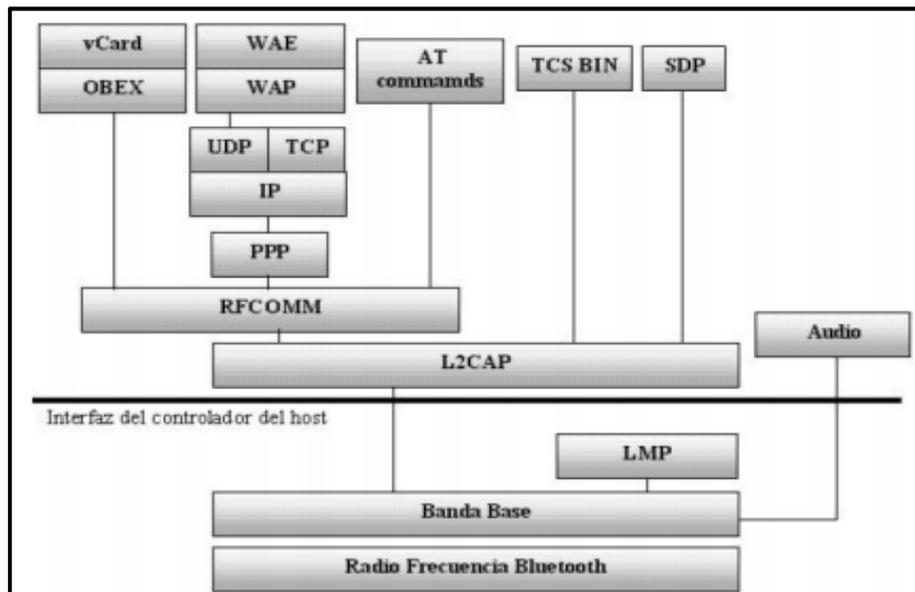


Figura 1.24: Pila de Protocolos Bluetooth⁸⁶

A continuación se muestran los componentes básicos de la Pila de Protocolos Bluetooth:

- **Banda base:** Esta capa implementa el canal físico real cuya principal característica es el salto en frecuencias, emplea una secuencia aleatoria de saltos a través de 79 frecuencias de radio diferentes. La Banda Base controla la sincronización de las unidades Bluetooth.
- **Protocolo de Gestión de Enlace (LMP):** Es el responsable de la autenticación, cifrado, control y configuración del enlace. El LMP también se encarga del manejo de los modos y consumos de potencia.
- **Interfaz de Controlador de Servidor (HCI):** Brinda un método de interfaz uniforme para acceder a los recursos hardware de Bluetooth.
- **Protocolo de Control y Adaptación de Enlace Lógico (L2CAP):** Corresponde a la capa de enlace de datos. Ésta brinda servicios de datos orientados y no orientados a conexión a las capas superiores.

⁸⁶ (Hernandez, 2008)

- **Comunicación por radio frecuencia (RFCOMM):** Protocolo que implementa la emulación de un puerto serial tradicional. Este protocolo es el que se utiliza habitualmente por las capas superiores para cumplir con el objetivo del Bluetooth (sustitución de cables).
- **Protocolo de Descubrimiento de Servicio (SDP):** Es el encargado de la búsqueda de otros dispositivos y servicios Bluetooth dentro del rango de alcance.
- **Control de Telefonía Binario (TCS):** Protocolo basado en paquetes que especifica como se deben manejar las llamadas telefónicas y conversaciones en conjunto con los teléfonos móviles, especialmente para aplicaciones que manejan dispositivos como “manos libres”.

d. **Adaptador Modbus Bluetooth VW3A8114**



Figura 1.25: Adaptador Modbus Bluetooth VW3A8114⁸⁷

Tabla 1.6: Características Adaptador Modbus Bluetooth VW3A8114⁸⁸

Características Generales	
Gama de Producto	Zelio Logic
Categoría pieza	Accesorio de Comunicación
Tipo de pieza	Enlace inalámbrico Bluetooth
Denominación de la pieza	Adaptador Modbus Bluetooth con conector RJ-45
Comunicación	PC con tecnología Bluetooth
Distancia máxima	10m

⁸⁷ (Schneider Electric, 2010)

⁸⁸ (Schneider Electric, 2011)

1.5. Software del sistema SCADA

Un programa del tipo HMI se ejecuta en un ordenador o terminal gráfico y unos programas específicos le permiten comunicarse con los dispositivos de control de planta (hacia abajo) y los elementos de gestión (hacia arriba). Estos programas son lo que se denomina controladores de comunicaciones. Este software debe tener la capacidad de manejar varios protocolos de comunicación ya que se tendrá dentro de la red varios dispositivos que probablemente se comunicarán en distintas lenguajes.

En un programa SCADA se tiene dos bloques bien diferenciados: el programa de Desarrollo y el programa de ejecución o Run-time.

- **Programa de Desarrollo:** Engloba las utilidades relacionadas con la creación y edición de las diferentes ventanas de la aplicación, así como sus características (textos, dibujos, propiedades de los objetos, etc.).
- **Programa Run-time:** Permite ejecutar la aplicación creada con el programa de desarrollo (en la industria es el producto acabado).

1.6. Comunicación entre aplicaciones

Los métodos de intercambio de información entre aplicaciones informáticas más conocidos son: OPC, ODBC, ASCII, API.

- **OPC⁸⁹:** Es un estándar abierto que permite un método fiable para acceder a los datos desde aparatos de campo. El método de acceso siempre es el mismo, sin depender del tipo y origen de los datos.
- **ODBC⁹⁰:** Es un estándar que permite a las aplicaciones el acceso a datos en Sistemas de Gestión de Bases de Datos utilizando SQL como método estándar de acceso.
- **SQL⁹¹:** Permite una interface común para el acceso a los datos por parte de cualquier programa que se ciña al estándar SQL.

⁸⁹ OLE for Process Control

⁹⁰ Open Data Base Connectivity

- **ASCII**⁹²: Mediante el formato ASCII, común a prácticamente todas las aplicaciones informáticas, tenemos un estándar básico de intercambio de datos. Es sencillo exportar e importar datos de configuración, valores de variables, etc.
- **API**⁹³: Permiten que el usuario pueda adaptar el sistema a sus necesidades mediante rutinas de programa propias escritas en lenguajes estandarizados, tales como Visual Basic, C++, o Java, lo cual les confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad. Permiten el acceso a las bases de datos de los servidores (valores almacenados temporalmente o archivos históricos).

⁹¹ Structures Query Language

⁹² American Standard Code for Information Interchange

⁹³ Application Programming Interfaces

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

2.1. Introducción

El presente capítulo se trata del diseño e implementación del sistema SCADA, utilizando ethernet industrial y bluetooth con tecnología Schneider Electric para el monitoreo, control y supervisión de las estaciones de Nivel y Presión en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga.

La primera parte del capítulo, habla acerca de los elementos del sistema SCADA, los sub-sistemas que contiene, así como también la descripción de los componentes tanto hardware como software que sirven como base fundamental para la implementación.

Además, describe los pasos necesarios para que el sistema SCADA sea implementado. Dentro de las descripciones se encuentran configuraciones y conexiones que deben ser realizadas para que el usuario ponga en funcionamiento.

2.2. Diseño del sistema SCADA

La incorporación de los elementos que forman la estructura de un sistema SCADA (hardware, sistemas de comunicación, software, comunicaciones entre aplicaciones); es la base del diseño, pues cada sistema cumple una función determinada, esto permite el correcto funcionamiento de un sistema SCADA.

La Tabla 2.1 presenta los elementos y la ocupación respectiva, dentro de la estructura general.

Tabla 2.1: Diseño de la estructura del sistema SCADA ⁹⁴

Estructura		Aplicación	
Hardware	Unidad Central MTU	Computador	Con dispositivo Bluetooth
	Unidad Remota RTU	PLC	Twido TWDLCAE40DRF
	Interface Hombre Maquina	Pantalla Táctil	Red Lion G306
Sistema de comunicación	Tipo	Ethernet Industrial	Switch 3Com 3C16794
	Topología	Estrella	
	Tipo	Comunicación Bluetooth	Módulo Twido VW3A8114
	Topología	Punto a punto	
Software			Vijeo Citect
Comunicación entre aplicaciones	OPC		OFS Server

Una vez determinado el lugar de cada uno de los dispositivos, es necesario un diagrama de bloques (Figura 2.1), que explica cómo se encuentra conformado el sistema en sí. La distribución del diagrama en numerales, presenta la existencia de subsistemas, que aportan en la implementación del sistema en general.

El sistema de control (número 1), conformado por los autómatas, adquiere y envía señales analógicas (1 a 5V y 4 a 20mA), desde y hacia la estación de proceso, a través de módulos que tienen características para realizar dicha función. Además, el controlador en cada uno de los procesos es el protagonista en esta etapa, por esta razón, se encargan de cumplir con el algoritmo de control implementado, teniendo la ventaja de actuar según el usuario lo desee de distintos tipos (P, PI, PID).

⁹⁴ Autoría

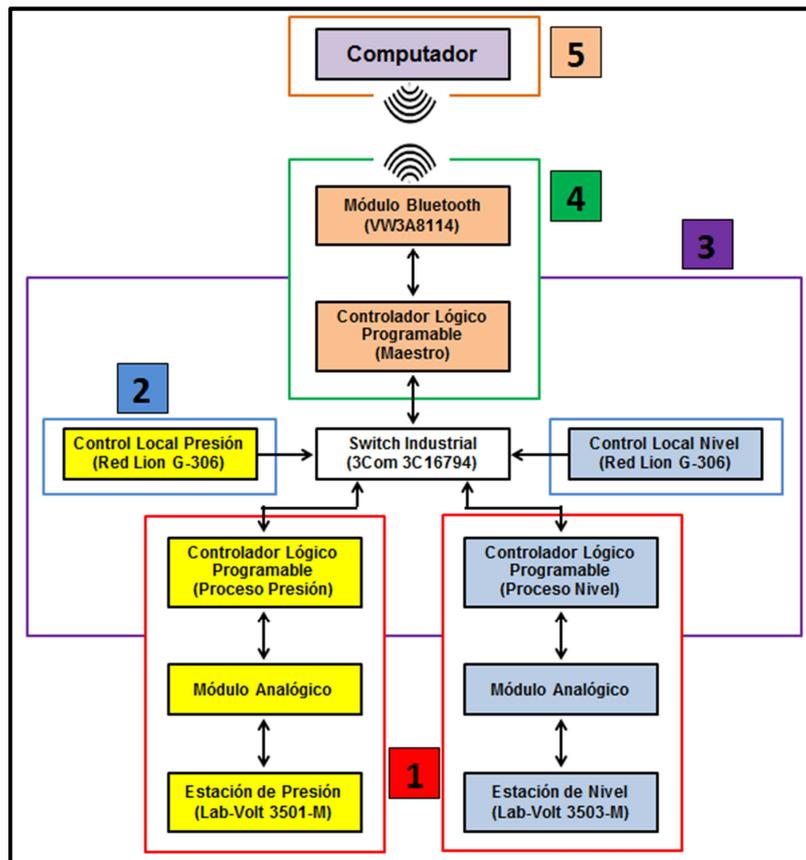


Figura 2.1: Diagrama de bloques del sistema SCADA⁹⁵

Dentro de la Figura 2.1, se encuentra la segunda etapa (número 2), que cumple la función de monitorear y controlar cada proceso, a través de pantalla táctiles, esto gracias a una red, la cual concentra los datos existentes dentro del sistema. La red Ethernet (número 3), es la parte fundamental dentro de las comunicaciones pues adquiere los datos de las pantallas, los autómatas de cada estación y los envía hacia un tercer controlador que cumple la función de Master.

En la sección 4 de la Figura 2.1, el controlador Máster después de adquirir los datos de los procesos, los envía mediante un Módulo Bluetooth, el cual forma parte del sistema de comunicaciones, de forma inalámbrica hacia un control integrado.

⁹⁵ Autoría

El computador (5) con la misma tecnología Bluetooth, adquiere los datos y los gestiona dentro de un software, Vijeo Citect, que tiene la función de monitorear los procesos, generando alarmas, tendencias, reportes, etc. La comunicación existente entre el dispositivo Bluetooth y Vijeo Citect, se la realiza mediante un Servidor OPC (OFS Server).

Cada uno de estos sistemas se analiza detenidamente, desde su diseño hasta la función que debe cumplir para complementarse con el resto de sistemas adosados.

2.3. Programación y configuración del autómata

Dentro del autómata, se implementa tanto la parte de control, como la comunicación a través de una red Ethernet; por esta razón la manipulación del controlador es una parte fundamental para que el sistema SCADA se implemente.

2.3.1. Configuración básica del PLC TWDLCAE40DRF

Los controladores lógicos programables Twido, necesitan de un programa propietario el cual sirve de intermediario entre el autómata y el usuario; este software se denomina TwidoSuite. Este paquete es un entorno de desarrollo gráfico, lleno de funciones para crear, configurar y mantener aplicaciones de automatización.

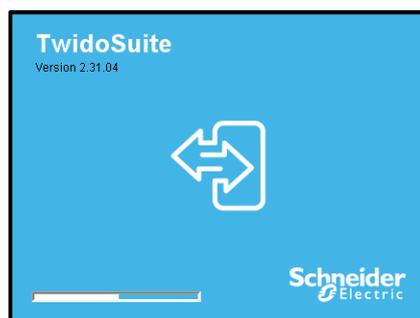


Figura 2.2: Pantalla inicial del software TwidoSuite⁹⁶

⁹⁶ TwidoSuite

a. Crear un Nuevo Proyecto

TwidoSuite permite una interface amigable con el usuario, esto es indispensable en la familiarización con el entorno; para iniciar con algún proyecto se debe tener como consideración el autómata con que se va a trabajar, el lenguaje con que se desea programar, entre otros.

Para crear un nuevo proyecto se debe seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Ingresar al software TwidoSuite, directamente desde el icono del escritorio, o a su vez a través del menú Inicio (Inicio/Schneider Electric/TwidoSuite/TwidoSuite).

Paso 2: TwidoSuite ofrece seleccionar el Modo, es decir presenta alternativas (Figura 2.3), cada una de ellas con propias tareas hacia el autómata.

- **Modo “Programación”:** Escribe instrucciones dentro de la memoria del autómata, esta opción será la que se utilice.
- **Modo “Vigilancia”:** Obtiene el algoritmo que se encuentra en el autómata y verifica el comportamiento del programa.
- **Actualización Autómatas:** Actualiza el autómata de la familia Schneider Electric, a un software mejorado.



Figura 2.3: Pantalla “Seleccionar el Modo” en TwidoSuite⁹⁷

⁹⁷ TwidoSuite

Paso 3: Para iniciar un proyecto, se recomienda crear una “Nueva Carpeta” dentro del computador, la cual contendrá todos los archivos que el software va a crear automáticamente, es primordial conocer su Path⁹⁸.

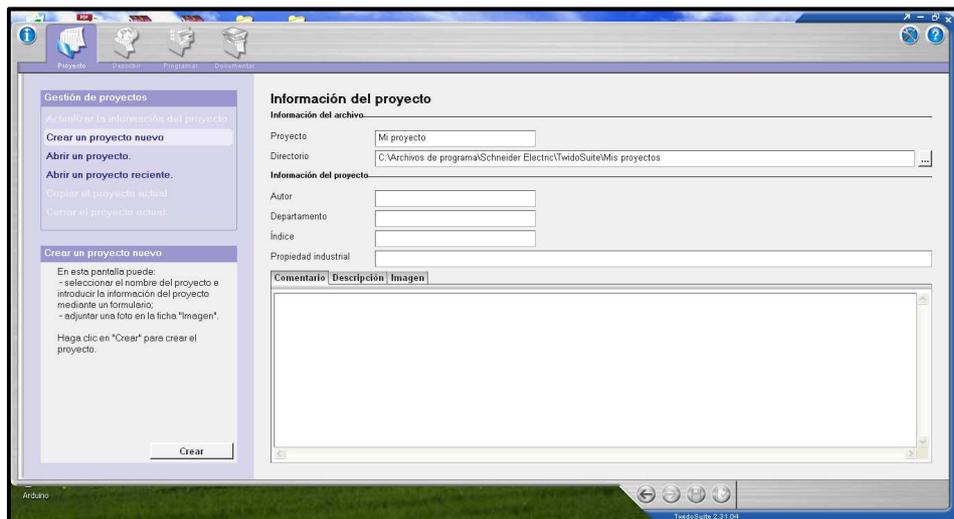


Figura 2.4: Pantalla “Crear un proyecto nuevo” en TwidoSuite⁹⁹

El nombre del proyecto depende del usuario en este caso es “Mi proyecto”; así como también el directorio, el mismo que se direccionara a la ubicación donde se encuentra la “Nueva Carpeta”; se finaliza dando clic en la opción “Crear” como se muestra en la Figura 2.4.

b. Describir el Proyecto.

Una vez creado satisfactoriamente el proyecto, se procede a describir el mismo; esto se trata de conocer el autómata a utilizar, el tipo de comunicación, lenguaje con el que se desea programar, etc.

Cada autómata tiene propias características, tanto a nivel de software como de hardware.

⁹⁸ Es una variable de entorno de sistemas operativos, especifica las rutas en las cuales se encuentran archivos, carpetas, etc.

⁹⁹ TwidoSuite

En este caso el PLC TWDLCAE40DRF es el seleccionado, este se encuentra en la parte derecha en el menú “Bases”, a continuación se despliega un submenú se selecciona el tipo de autómatas que corresponde en este caso “Compactos”, finalmente se localiza y se lo arrastra a la pantalla como se aprecia en la Figura 2.5.

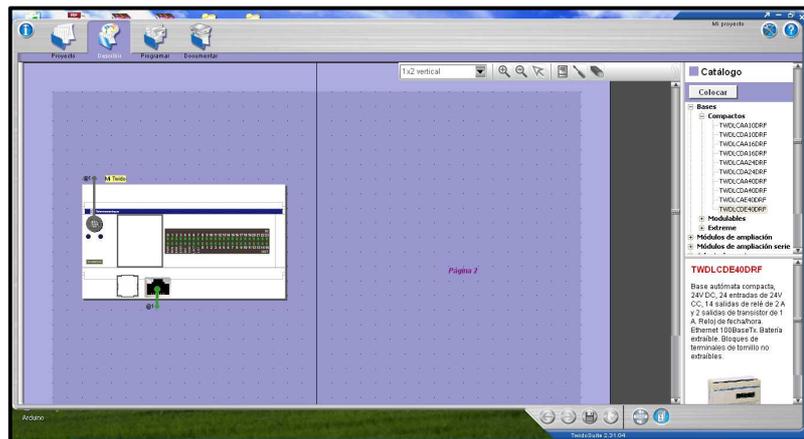


Figura 2.5: Selección del PLCTWDLCAE40DRF en TwidoSuite¹⁰⁰

c. Editar el Proyecto

Después de haber descrito el proyecto se procede a plasmar el respectivo algoritmo, para realizar se da clic en la pestaña “Programar” la cual dirige a una ventana como se muestra en la Figura 2.6.

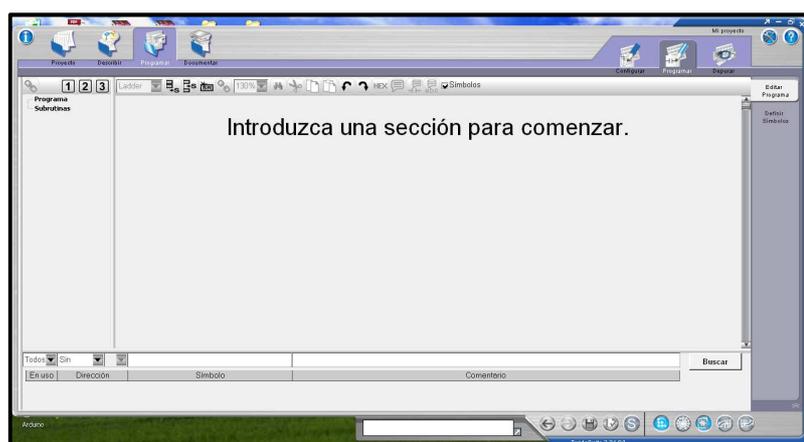


Figura 2.6: Entorno para editar el algoritmo en TwidoSuite¹⁰¹

¹⁰⁰ TwidoSuite

¹⁰¹ TwidoSuite

En esta ventana se encuentran todas las funciones básicas para editar un algoritmo en Lenguaje Ladder, dentro de estos se encuentran: contactos, bobinas, bloques de funciones, bloques de comparación, funciones aritméticas, etc.

d. Depurar el Proyecto

Después de haber finalizado el algoritmo de cada usuario, y sin haber encontrado ningún error, se procede a la transferencia hacia el autómata, dando clic en la pestaña “Depurar”, en esta ventana se selecciona el tipo de conexión entre la PC y el autómata.

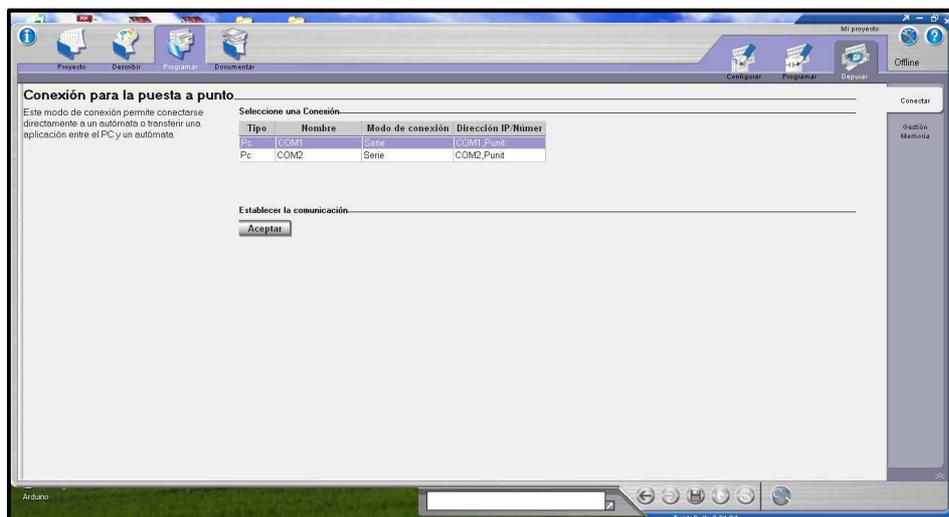


Figura 2.7: Comunicación con el autómata en TwidoSuite¹⁰²

2.3.2. Algoritmo de control PID en TwidoSuite

Un control P, PI, PID se basa en un lazo cerrado, el cual necesita que un sistema sea retroalimentado, de esta manera, un autómata necesita de un dispositivo adicional para la adquisición de señales desde el proceso (Valor del Proceso), al igual que la respuesta por parte del controlador generando una señal (Valor Controlado), que puede ser de igual o diferente magnitud a la adquirida.

¹⁰² TwidoSuite

a. Configuración de módulos analógicos en TwidoSuite

Para la configuración de un control PID en TwidoSuite, es necesaria la utilización de módulos analógicos en este caso TM2AMM3HT, esto se realiza en la pestaña “Describir” de TwidoSuite (Figura 2.8).

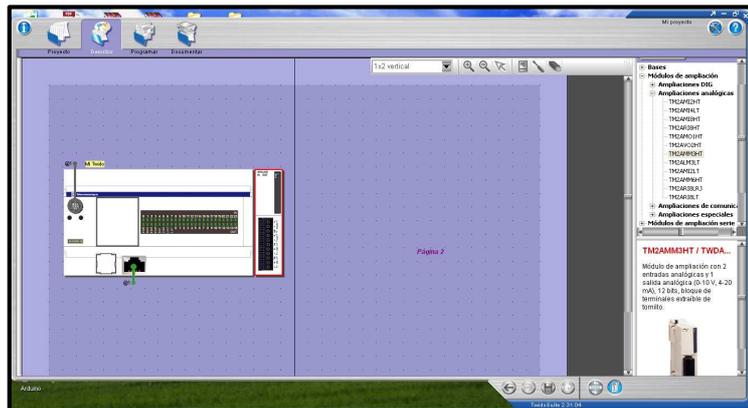


Figura 2.8: Selección del módulo analógico en TwidoSuite¹⁰³

Paso 1: Con el autómata y los módulos, se procede a la configuración, se debe conocer el tipo de señal eléctrica que el proceso genera. Dependiendo del módulo se puede seleccionar la señal estándar más idónea ya sea en voltaje o corriente; el computador comprende a nivel de bytes, en el caso de este módulo se puede modificar desde -32768 a 32768 bytes o tomar el valor predeterminado de 0-4095 (Figura 2.9).

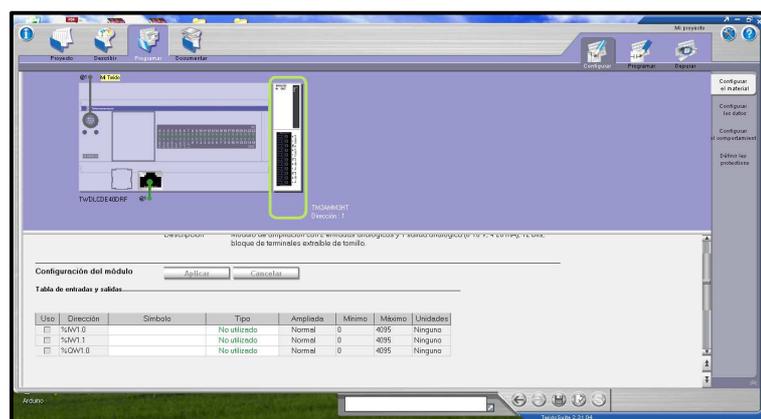


Figura 2.9: Configuración del módulo analógico en TwidoSuite¹⁰⁴

¹⁰³ TwidoSuite

¹⁰⁴ TwidoSuite

Paso 2: Configurar el comportamiento de los canales analógicos (Figura 2.10), determina el tiempo de muestreo de adquisición de señales, se selecciona “Programar”, seguidamente se da clic en “Configurar el Comportamiento”. En las opciones se modifica el modo de exploración de normal a modo periódico y se ingresa un valor entre (2-150 ms).

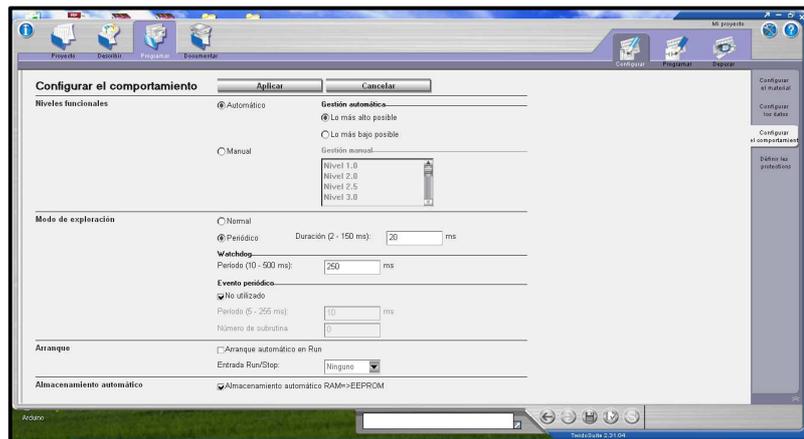


Figura 2.10: Comportamiento de los módulos analógicos¹⁰⁵

b. Configuración del algoritmo PID.

En la pantalla principal en TwidoSuite, se realiza un diagrama Ladder donde se implementa un bloque de función PID, como se observa en la Figura 2.11, para el funcionamiento el bloque debe ser configurado.

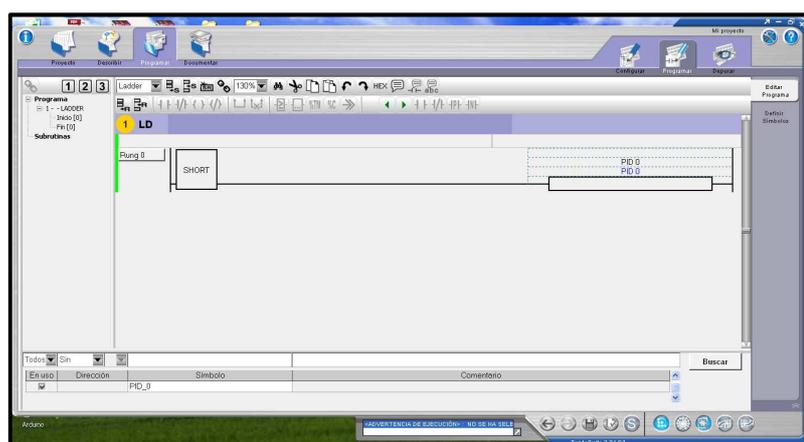


Figura 2.11: Bloque de función PID en TwidoSuite¹⁰⁶

¹⁰⁵ TwidoSuite

¹⁰⁶ TwidoSuite

Para la configuración del algoritmo PID se debe realizar un clic sobre el bloque de función, esto permite modificar los datos PID dependiendo del proceso que se desee controlar. De forma instantánea el software presenta la ventana “Programar” de TwidoSuite.

Paso 1: La configuración inicial, se basa en designar el número de PID, esto sirve para identificar, TwidoSuite presenta la opción de configurar catorce objetos PID, observar Figura 2.12, en caso particular la selección es PID 0.

Paso 2: Siguiendo con la configuración, TwidoSuite presenta al usuario un cuadro con varias pestañas cada una de ellas con su configuración respectiva, como se muestra en la Figura 2.12

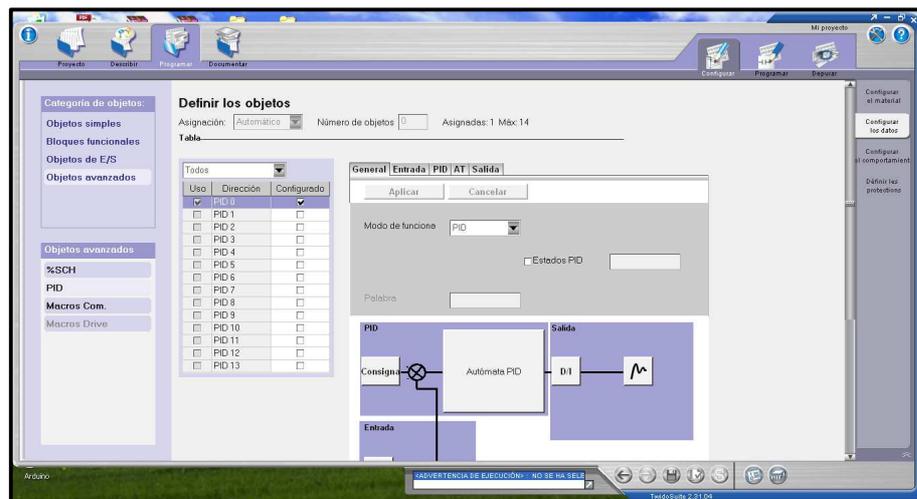


Figura 2.12: Pantalla “Programar” para bloque PID en TwidoSuite¹⁰⁷

Paso 3: En primer lugar se escoge la pestaña “General”, la que permite configurar de una forma amplia el comportamiento del bloque de función como se observa en la Figura 2.13, en esta aparece diferentes opciones, en este proyecto se trabaja con el modo de funcionamiento PID.

¹⁰⁷ TwidoSuite

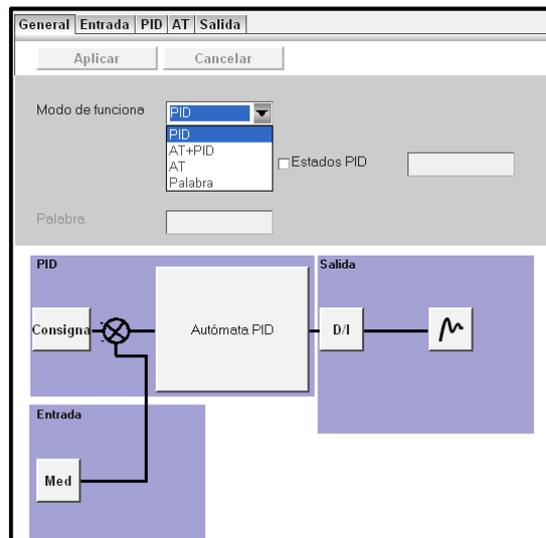


Figura 2.13: Pestaña “General” del bloque PID en TwidoSuite¹⁰⁸

La descripción de las opciones existentes para el modo de funcionamiento es la siguiente:

- **PID:** Este modo permite realizar un control proporcional integral derivativo ingresando constantes como son K_p , T_i y T_d .
- **AT+PID:** En este modo de funcionamiento se permite realizar control PID y de auto sintonía.
- **AT:** Realiza directamente auto sintonía devolviendo automáticamente las constantes K_p , T_i y T_d en las localidades de memoria seleccionadas.
- **PALABRA:** En este modo de funcionamiento se selecciona con una palabra la opción PID o de auto sintonía ya sea PID, AT+PID y AT.

Paso 4: Se prosigue a la pestaña “Entrada”, como se observa en la Figura 2.14, presenta las opciones de medida en la que se ingresa la dirección del canal analógico, además permite la conversión de unidades y alarmas que son opcionales. En el casillero conversión se puede cambiar las escalas de 0 a 4096 a cualquier valor necesario según el proceso en el proyecto se utilizó de 10 a 20 (cmH₂O).

¹⁰⁸ TwidoSuite

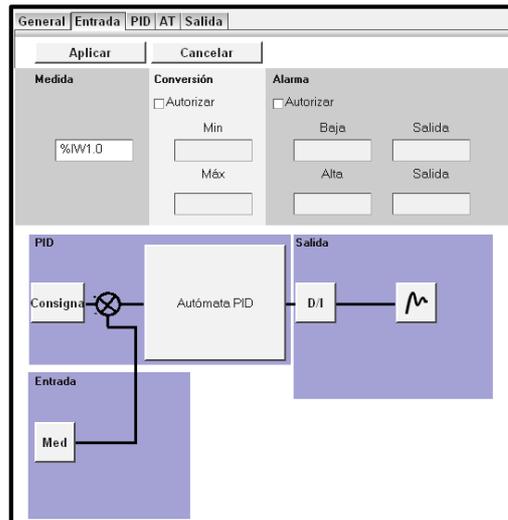


Figura 2.14: Pestaña “Entrada” del bloque PID en TwidoSuite¹⁰⁹

Paso 5: En la pestaña “PID” como se indica en la Figura 2.15, se ingresa el valor de la consigna en este caso se ingresa con una localidad de memoria, en el tipo de corrector se escoge PID ya que también hay la opción de un control PI en el corrector después ingresar los valores de Kp, Ti y Td puede ser en localidades de memoria o constantes, finalmente ingresamos el periodo de muestreo

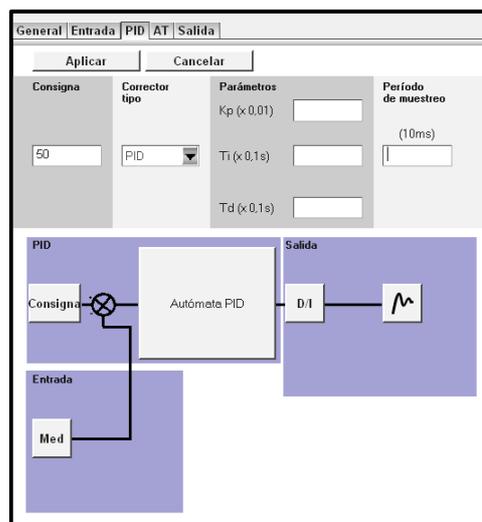


Figura 2.15: Pestaña “PID” del bloque PID en TwidoSuite¹¹⁰

¹⁰⁹ TwidoSuite

¹¹⁰ TwidoSuite

Paso 6: Finalmente la pestaña “Salida”, como se observa en la Figura 2.16, en esta pestaña se coloca la acción que debe efectuar el controlador ya sea directa o inversa, además se define los límites que producirá el módulo analógico, por ultimo colocar la salida del controlador que será la %QW1.0.

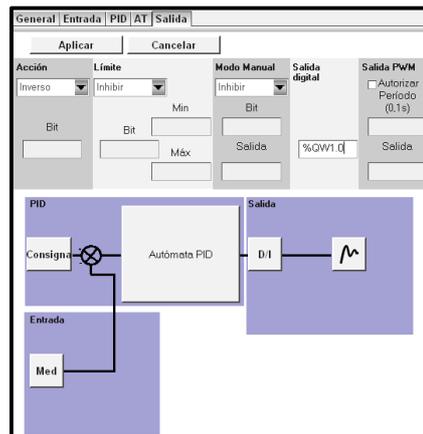


Figura 2.16: Pestaña “Salida” del bloque PID en TwidoSuite¹¹¹

c. Implementación y funcionamiento del algoritmo PID

Existe una opción en el PID cuando el PLC se encuentra en modo RUN, esta permite obtener los Trazos producidos por el proceso, se realiza doble clic en el bloque PID del diagrama Ladder. La pestaña “Trazo”, permite visualizar el funcionamiento y realizar ajustes en tiempo real, dependiendo del comportamiento como se mira en la Figura 2.17, en donde se grafica las curvas de consigna y la medida o valor de proceso.

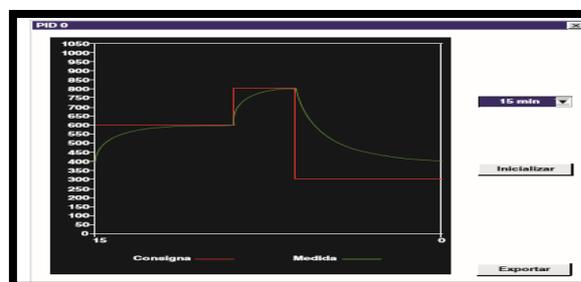


Figura 2.17: Trazos del proceso en Twido Suite¹¹²

¹¹¹ TwidoSuite

¹¹² TwidoSuite

2.3.3. Comunicación Ethernet Industrial en TwidoSuite

La parte fundamental del proyecto se basa en una Red Ethernet, gracias a que el autómata con el que se trabaja dispone de un Puerto de comunicación Ethernet incorporado, se puede implementar dicha red sin la necesidad de adquirir algún modulo externo.

Sin embargo para aprovechar este dispositivo incorporado (Puerto RJ-45), es necesaria la configuración de software y hardware para sacar el funcionamiento.

a. Configuración de las Comunicaciones (Hardware)

Para realizar una Red Ethernet se necesita de un autómata que disponga de un puerto Ethernet, si no es el caso se puede adquirir un módulo externo el cual permita dicha función. En este caso el autómata PLC TWDLCAE40DRF dispone de un puerto lo que beneficia para la realización de una Red Ethernet.

Paso 1: En el proyecto de trabajo de TwidoSuite, en la pestaña “Describir” una vez ya determinado el autómata; se procede a configurar el Puerto Ethernet dando clic en su respectivo conector (Figura 2.18).

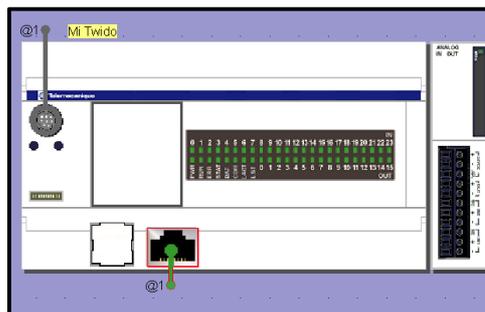


Figura 2.18: Configuración Puerto Ethernet en TwidoSuite¹¹³

Paso 2: Dentro del puerto Ethernet se despliega una ventana la que da la opción de ingresar la Dirección IP dependiendo del entorno donde se trabaje (Figura 2.19).

¹¹³ TwidoSuite

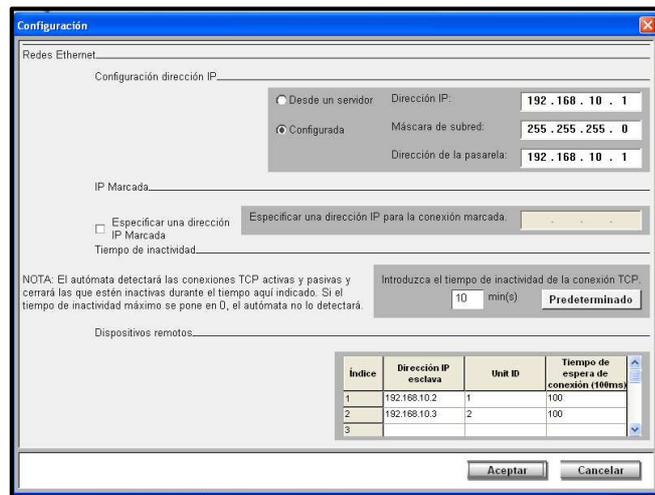


Figura 2.19: Configuración Dirección IP en TwidoSuite¹¹⁴

En esta ventana se despliega varias opciones las cuales deben ser llenadas dependiendo del entorno donde se trabaje, de esta manera se explica cada una de ellas:

- **Configuración dirección IP:** En esta ventana se tiene las opciones de elegir dos tipos de Dirección IP:

Desde un servidor: Significa que existe un servidor DHCP el cual asigna la dirección IP a cada dispositivo que se encuentra dentro de la Red.

Configurada: Es este caso el usuario ingresa la dirección IP, tomando en cuenta que no debe coincidir con la dirección IP de otro dispositivo.

Dirección IP: 192.168.10.1

Mascara de subred: 255.255.255.0

Dirección de la pasarela: 192.168.10.1

- **IP Marcada:** Esta función permite reservar uno de los cuatro canales de conexión TCP Ethernet que admite el autómata Twido para un ordenador principal cliente concreto designado como IP marcada. En este caso no se activa.

¹¹⁴ TwidoSuite

- **Dispositivos Remotos:** En esta sección se asigna las direcciones de los dispositivos con los que existirá una comunicación, se puede ingresar hasta 255. Los dispositivos deberán estar dentro de la Red caso contrario no existirá la comunicación.

b. Configuración de las Macros Comunicación

Las MACROS están diseñadas para facilitar la programación. Su función es estructurar el lenguaje y simplificar la lectura de los programas. Para acceder a la ventana de las MACROS de comunicación se la realiza de la siguiente manera:

Paso 1: Dar clic en la pestaña “Configurar” en la parte derecha de la ventana ingresar en el menú “Configurar los datos”.

Paso 2: Se despliega automáticamente en la parte izquierda una lista que se encuentra bajo el título “Categoría de Objetos”; dentro de ella localizar “Objetos avanzados”.

Paso 3: Dentro del sub-menú “Objetos avanzados” dar clic en “Macros Comunicaciones” (Figura 2.20).

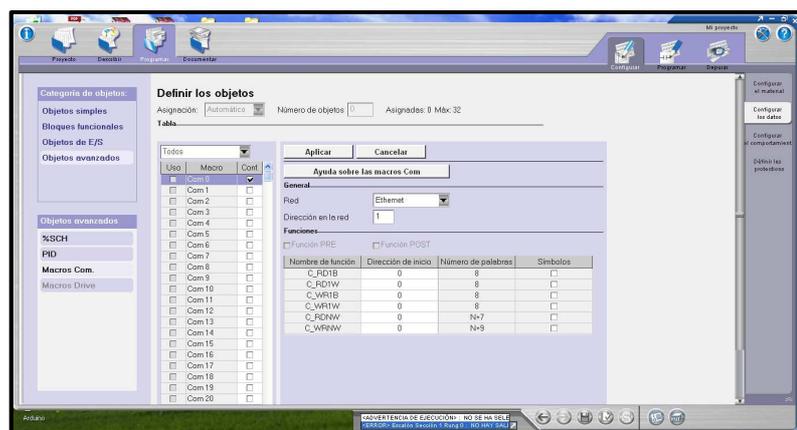


Figura 2.20: Configuración Macros Comunicaciones en TwidoSuite¹¹⁵

¹¹⁵ TwidoSuite

Dentro de este panel se encuentra, las casillas Red y Dirección de Red que hacen referencia al ID del esclavo (Figura 2.19) y a la red a la que se encuentra conectado.

En la columna Dirección de inicio se le indica a la MACRO en qué posición de memoria comienza la tabla de intercambio. El Número de palabras comunica la longitud de esa tabla, para tener en cuenta por parte del programador. De igual manera se configura las funciones Modbus de las cuales se encargará la MACRO seleccionada. La Tabla 2.2, presenta las opciones de funciones de las Macros de Comunicación.

Tabla 2.2: Funciones Macros Comunicación de TwidoSuite¹¹⁶

Función	Descripción
C_WR1B	Permite al usuario escribir 1 bit a través de la red Modbus.
C_RD1B	Permite al usuario leer 1 bit a través de la red Modbus.
C_WR1W	Permite al usuario escribir 1 palabra a través de la red Modbus.
C_RD1W	Permite al usuario leer 1 palabra a través de la red Modbus.
C_WRNW	Permite al usuario escribir N palabras a través de la red Modbus.
C_RDNW	Permite al usuario leer N palabras a través de la red Modbus.

2.4. Sistema de monitoreo local en un control distribuido

El sistema de monitoreo local, está encargado a las pantallas táctiles, que cumplen la función de ser la interface entre el autómatas y el usuario. Estas pantallas (Red Lion G306), al ser dispositivos inteligentes necesitan de un programación, la que permita contribuir con el proceso.

¹¹⁶ Autoría

El diagrama de flujo (Figura 2.21), presenta como debe actuar cada pantalla para que exista un correcto funcionamiento en el sistema SCADA.

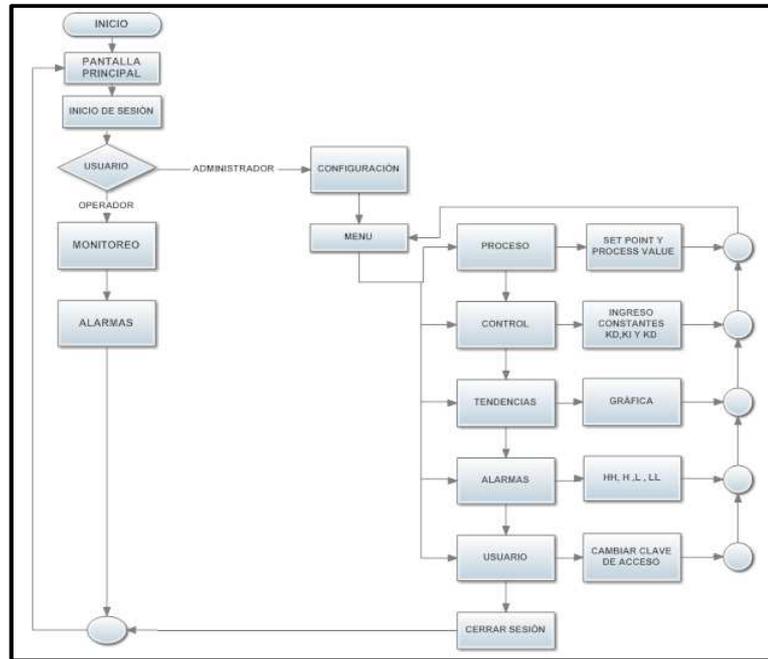


Figura 2.21: Diagrama de Flujo del HMI Local¹¹⁷

Dentro de la programación de cada una de las pantallas, se inicia con el “Inicio de Sesión”, que determina el funcionamiento del proceso; a continuación, exige la autenticación de un “Usuario”, el cual debe estar dentro de una base de datos ya establecida. La discriminación de usuarios, permite dar privilegios para que cada uno de ellos pueda manipular el proceso.

Dentro del proceso, la pantalla presenta ventanas como “Proceso”, “Control”, “Tendencias”, “Alarmas”, “Usuario”; cada uno de estas presenta información importante, que permite interactuar con el usuario. Hay que destacar que la programación de esta pantalla se lo realiza en un software propietario de la pantalla, el cual es Crimson.

¹¹⁷ Autoría

2.4.1. Entorno Crimson 2.0

La página principal en el Crimson 2.0 nos presenta las siguientes configuraciones de usuario para realizar el HMI que se detallaran a continuación y se mira en la Figura 2.22 en donde se observa 7 iconos de acceso para el diseñador.

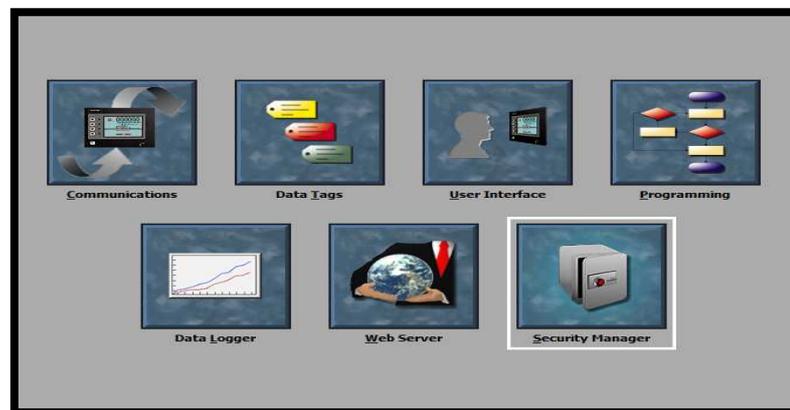


Figura 2.22: Visualización principal Crimson 2.0¹¹⁸

Communications: Este icono es usado para especificar con que protocolos se utilizaran con la pantalla G3 puertos serial y puertos Ethernet, también se puede utilizar este icono para especificar con que dispositivos se va a trabajar configurándoles como maestros o esclavos.

Data Tags: Este icono es usado para definir los tipos de datos con su formato, alarmas, prioridades, límites y acciones. Accediendo a estos datos con dispositivos remotos o variables internas dentro de la pantalla.

User Interface: Este icono se utiliza para configurar la visualización del HMI como el uso de las páginas y el control de las mismas existen formas, líneas como también imágenes para su animación y el ingreso de tags.

¹¹⁸ Crimson 2.0

Programming: Es usado para crear y editar programas utilizando un lenguaje programación C. Esta opción puede ayudar a completar decisiones lógicas, manipular operaciones con datos y realizar condiciones para sistema.

Data logger: Crea y dirige la adquisición de datos, que son utilizados para la visualización y almacenamiento en la base de datos para realizar históricos los mismos que pueden ser transportados a una hoja de cálculo.

Web Server: Este icono sirve para configurar el servidor web Crimson y crear y editar páginas web y facilita el acceso remoto a la G3 vía unos mecanismos de números.

Security Manager: Este icono ayuda a crear y dirigir varios usuarios del panel para accesos a ciertas páginas utilizando prioridades para cada usuario.

2.4.2. Configuración de la pantalla Red Lion con el PLC

Paso 1: Crear un nuevo proyecto dar un clic en la en la pestaña File y escoger la opción New.

Paso 2: Cuando se crea un nuevo proyecto, aparece un cuadro de dialogo con un lista de pantallas, de la que se debe seleccionar G3 Series HMI, de igual manera buscar el tipo de modelo, en este caso G306 Color Touch Panel, como se mira en la Figura 2.23, por ultimo dar clic en OK.

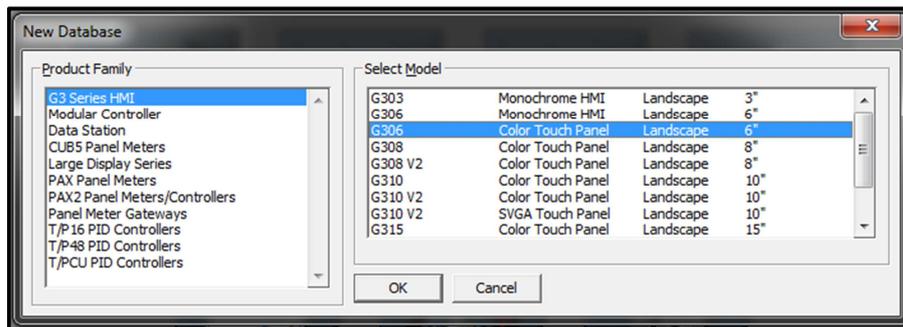


Figura 2.23: Selección de la pantalla en Crimson¹¹⁹

Paso 3: Ingresar a la opción Communications (Figura 2.22), donde se realiza la configuración de los protocolos de comunicación.

Paso 4: En la pantalla de comunicaciones ubicarse en la parte superior izquierda y seleccionar el protocolo de comunicación Ethernet, ingresar en la configuración manual, introducir la dirección IP de la pantalla como se indica en la Figura 2.24.

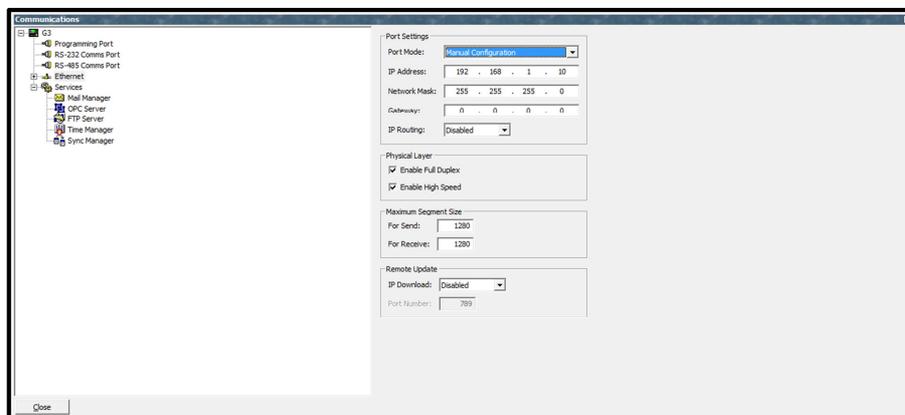


Figura 2.24: Direccionamiento Ethernet de la Pantalla¹²⁰

Paso 5: Seleccionar uno de los protocolos de comunicación Ethernet y dar clic en el botón Edit para escoger el driver con el que se va a trabajar. Escoger en manufactura la opción Modbus, en el driver se escoge TCP/IP Master y por ultimo dar clic en OK como se muestra en la Figura 2.25.

¹¹⁹ Crimson

¹²⁰ Crimson

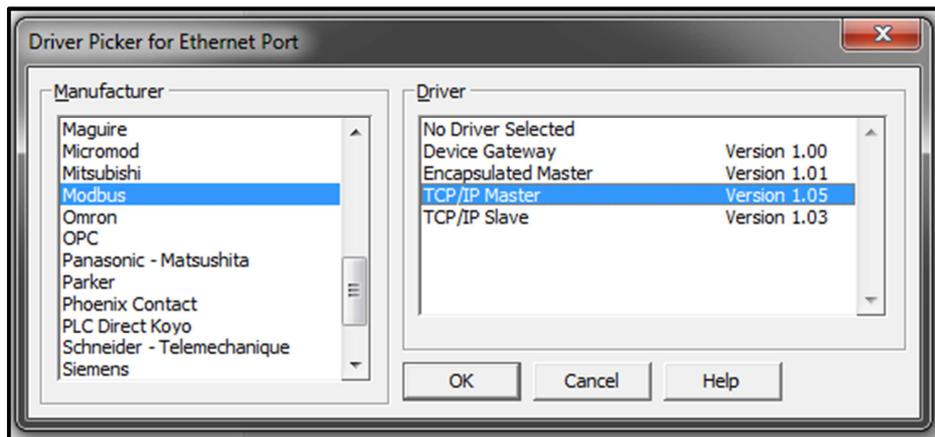


Figura 2.25: Selección del driver TCP/IP en Crimson¹²¹

Paso 6: Dar doble clic en protocolo-Modbus TCP/IP Master, escoger PLC1, aparece una pantalla de configuración del dispositivo en esta se coloca la dirección IP, como se muestra en la Figura 2.26.

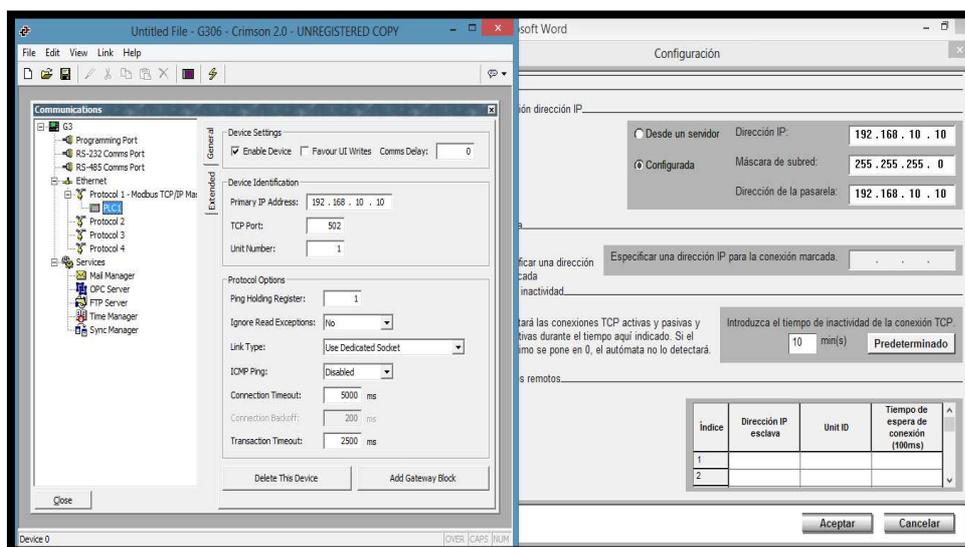


Figura 2.26: Direccionamiento del controlador en la pantalla¹²²

¹²¹ Crimson

¹²² Crimson

2.4.3. Diseño del HMI local del proceso de Presión

Al tratarse de un HMI local dentro del sistema, este debe disponer de la configuración necesaria de pantallas, para que sea intuitivo frente al usuario que va a manipular, por esta razón se describe a continuación:

Página de Inicio: Contiene una presentación del control local de presión con su menú principal de opciones con el sello y el logo de la institución como se detalla en la Figura 2.27.



Figura 2.27: Página de Inicio del HMI local de Presión¹²³

Página de Proceso: Esta página describe una animación de un manómetro que cambia su valor según varíe el proceso, además tiene los datos del Set Point y el Control Value, también posee un menú en la parte inferior para dirigirse a otras pantallas Figura 2.28.



Figura 2.28: Página de Proceso del HMI local de Presión¹²⁴

¹²³ Crimson

¹²⁴ Crimson

Página de Control: En la pantalla de control que se indica en la Figura 2.29, muestra los elementos de visualización como son el ingreso de las constantes de control (Kp, Ti, y Td), adicionalmente se muestran los valores del proceso PV y CV. Contiene esta página un submenú con opciones de salto de pantalla hacia el proceso, tendencias, alarmas y usuarios.

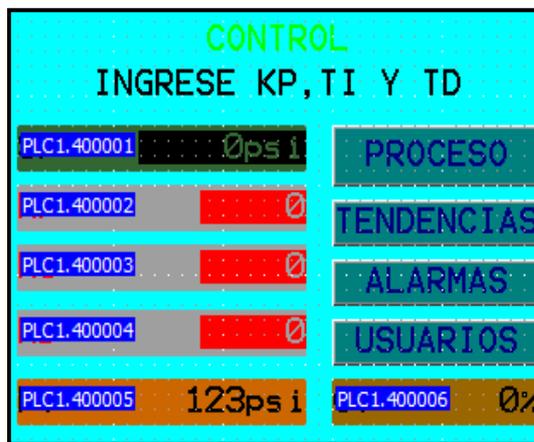


Figura 2.29: Página de Control del HMI local de Presión¹²⁵

Página de Tendencias: Esta página tiene como visualización, las tendencias de los valores de Set Point y Procces Value, distinguidos por un color, la que ayuda con la visualización del proceso. Figura 2.30.



Figura 2.30: Página de Tendencias del HMI local de Presión¹²⁶

¹²⁵ Crimson

¹²⁶ Crimson

Página de Alarmas: Contiene la información y los estados de las alarmas mediante uso de registros de eventos en alto y bajo permitiendo conocer su estado mediante una sirena y su visualización con animaciones de encendido de luces como se mira en la Figura 2.31.



Figura 2.31: Página de Alarmas del HMI local de Presión¹²⁷

Página de Usuarios: La página de usuarios posee opciones de acceso de usuario con su salida como también un registro de cuenta y cambio de contraseña como se detalla en la Figura 2.32, además un botón de acceso hacia la página principal.



Figura 2.32: Página de Usuarios del HMI local de Presión¹²⁸

¹²⁷ Crimson

¹²⁸ Crimson

2.4.4. Diseño del HMI local del proceso de Nivel

Página de Inicio: Contiene una portada de presentación en el que se indica el sello de la institución, la titulación del control con una imagen de la estación de nivel para controlar seguida del menú principal del proceso como es el icono de proceso, control, tendencias, alarmas y usuario como se observa en la Figura 2.33.



Figura 2.33: Página de Inicio del HMI local de Nivel¹²⁹

Página de Proceso: Esta página tiene los valores de procesos tanto de CV, PV y el ingreso del Set Point, animada que muestra el nivel del tanque con el valor de proceso o PV y tiene un submenú para dirigirse a las páginas de control, alarmas, tendencias y usuario mostrada en la Figura 2.34, la que especifica el formato de las tags con sus correspondientes unidades.

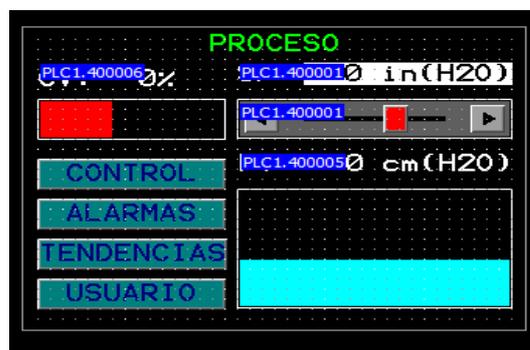


Figura 2.34: Página de Proceso del HMI local de Nivel¹³⁰

¹²⁹ Crimson

¹³⁰ Crimson

Página de Control: Contiene los parámetros de control PID como son las constantes Kp, Ti y Td. Muestra adicionalmente los datos del proceso, como también dos botones de salto de página para trasladarse hacia las tendencias y al proceso descrita en la Figura 2.35.

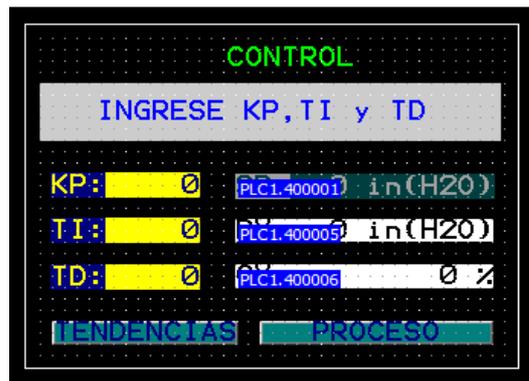


Figura 2.35: Página de Control del HMI local de Nivel¹³¹

Página de Tendencias: Tiene como contenido la visualización gráfica de los valores del proceso, a manera de un histórico que se encuentra graficando constantemente, los valores que indica son el Set Point y el Process Value, con diferentes colores de línea, como se muestra en la Figura 2.36.



Figura 2.36: Página de Tendencias del HMI local de Nivel¹³²

¹³¹ Crimson

¹³² Crimson

Página de Alarmas: Esta página contiene la visualización de las alarmas tanto como visualizadores como luces para mostrar los niveles de alarmas HH, H, L y LL, se representa un registro de alarmas de tipo alto y bajo con una sirena de advertencia para evitar el Shutdown del sistema y advertir así al operador, adicionalmente se encuentra un botón de salto para regresar al menú principal mostrado (Figura 2.37).



Figura 2.37: Página de Alarmas del HMI local de Nivel¹³³

Página de Usuario: Contiene botones de ingreso y salida de usuarios, mostrando un registro de todos los usuarios dentro del sistema indicado en la Figura 2.38.



Figura 2.38: Página de Usuarios del HMI local de Nivel¹³⁴

¹³³ Crimson

¹³⁴ Crimson

2.5. Sistema de comunicación inalámbrica por Bluetooth y MTU

Para una correcta comunicación entre el autómata y la MTU es necesario establecer un protocolo de Comunicaciones en esta caso Modbus, la idea principal radica, que se pueda enlazar con otros dispositivos hablando un solo lenguaje. Para configurar una Red Modbus se realiza en TwidoSuite en el controlador que disponible del Módulo Bluetooth.

Paso 1: Dentro de la pestaña “Describir” del software TwidoSuite, en el submenú localizado en la parte derecha se busca la opción “Elementos de Redes” seguido se despliega opciones y se selecciona “Elementos Modbus”, aquí se opta por elegir “Elemento genérico Modbus” y se lo arrastra a la pantalla (Figura 2.39).

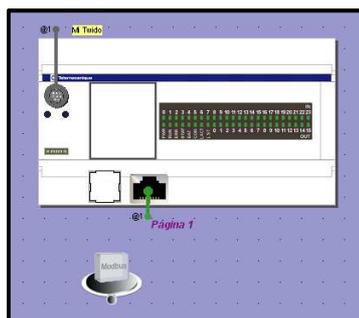


Figura 2.39: Elemento genérico Modbus en TwidoSuite¹³⁵

Paso 2: Al dar doble clic sobre este dispositivo se abre una ventana donde se completa los datos de la siguiente manera.

Nombre: Esclavo 0

Tipo: Modbus

Dirección: 1

Paso 3: Dar doble clic sobre el Puerto RS485 del autómata y configurarlo de la siguiente manera.

Tipo: Modbus

Dirección: 2

¹³⁵ TwidoSuite

Paso 4: Para crear la Red Modbus se coloca el cursor sobre el símbolo @1, donde se da doble clic y se lo une con @2, e inmediatamente se crea la red (Figura 2.40).

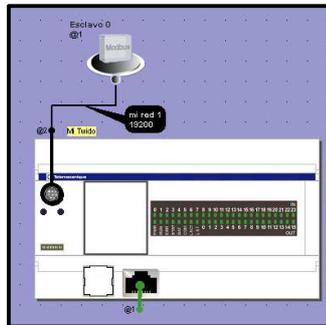


Figura 2.40: Creación de la Red Modbus en TwidoSuite¹³⁶

Paso 5: Para finalizar dar doble clic en el mensaje mi red 1, en la cual se configura los datos de la red (Figura 2.40) que servirá para la comunicación con cualquier Software que se utilice para realizar el HMI integrado:

Caudal: 9600

Bits de datos: 8 (RTU)

Paridad: Ninguna

Tiempo de respuesta: 10

2.5.1. Comunicación Bluetooth VW3A8114 con computador

Para que exista un enlace entre el autómata y la PC a través de un Adaptador Modbus (Figura 2.41), se necesita de una configuración tanto física y lógica.

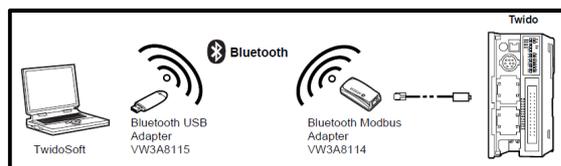


Figura 2.41: Conexión PC-Adaptador Bluetooth-PLC Twido¹³⁷

¹³⁶ TwidoSuite

¹³⁷ Autoría

El computador con el que se requiere tener la conexión debe disponer de un dispositivo Bluetooth, de no ser el caso se lo puede adquirir en algún local de computación.

Al ser un dispositivo inalámbrico se necesita de la detección por parte del computador para que se pueda realizar la vinculación con el Adaptador, de este modo se va a realizar el procedimiento para la vinculación respectiva.

Paso 1: En la parte inferior de la pantalla verificar el logotipo de la tecnología inalámbrica, esto permite la comunicación con otros dispositivos del mismo tipo.

Paso 2: Dar clic en el logotipo Bluetooth, se abrirá varias opciones, se elegirá “Mostrar dispositivos Bluetooth” (Figura 2.42).

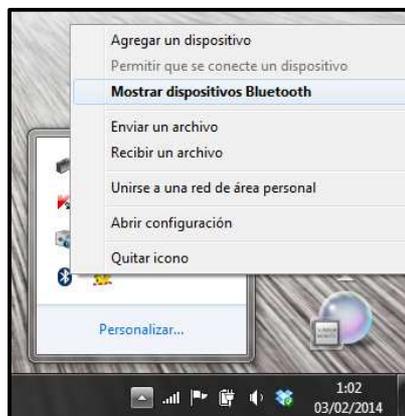


Figura 2.42: Mostrar dispositivos Bluetooth en el computador¹³⁸

Paso 3: Al ingresar a la ventana donde se muestran todos los dispositivos Bluetooth, se localiza el “Adaptador Modbus Bluetooth VW3A8114” (Figura 2.43).

¹³⁸ Autoría

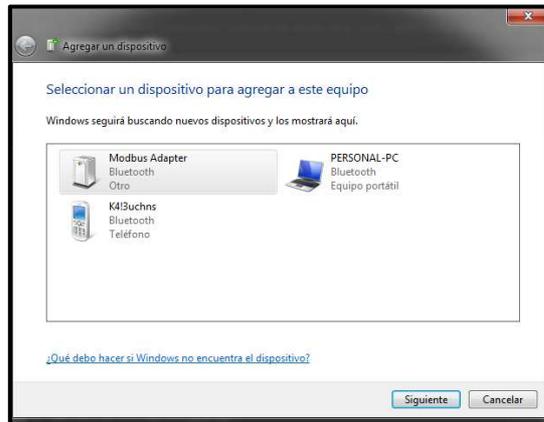


Figura 2.43: Visualización Adaptador Modbus en el computador¹³⁹

Se accede al dispositivo dando doble clic, lo que producirá una ventana que solicite un código, en esta parte escribe el Código 6699, para realizar la vinculación respectiva, posteriormente el computador presentará el mensaje “El dispositivo se agregó correctamente a este equipo”.

Paso 4: Es importante ya que es necesario asignar a un puerto COM al Modulo Bluetooth; se ingresa con un clic derecho sobre las propiedades del Adaptador esto permitirá verificar el número de puerto COM que fue asignado (Figura 2.44).

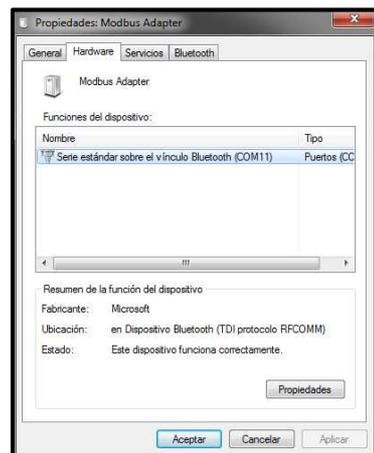


Figura 2.44: Detección del Puerto COM del Adaptador Bluetooth¹⁴⁰

¹³⁹ Autoría

¹⁴⁰ Autoría

2.5.2. Configuración del servidor OPC

El producto OFS (OPC Factory Server) es un servidor de datos multi-controlador, el cual es capaz de comunicarse con los PLC Twido. El producto OFS proporciona aplicaciones de cliente con un grupo de servicios para el acceso a las variables de un PLC de destino. Es un software de supervisión, mediante la interfaz de automatización OLE, (Figura 2.45), permite la comunicación entre el autómatas y el software que servirá para el SCADA-HMI.

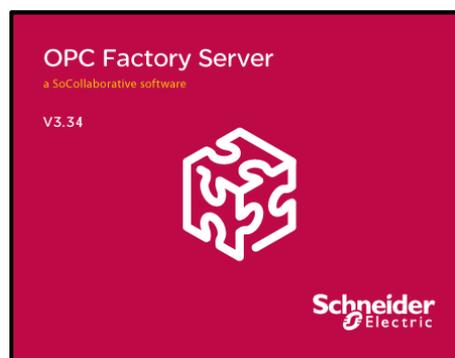


Figura 2.45: Logotipo OFS Server¹⁴¹

OPC Factory Server está compuesto por 3 herramientas:

- **OFS Configuration Tool:** En esta herramienta se configura el servidor de datos.
- **OFS Client:** Simula la recepción de datos desde el servidor.
- **OFS Server:** Aplicación pasiva que indica la actividad del servidor.

a. Configuración OFS Configuration Tool

Para obtener los datos del autómatas se a utilizar el OPC Factory Server de Schneider.

Paso 1: Se ingresa al programa como se visualiza. Dentro del software se establece una configuración acerca del dispositivo con el que se requiere intercambiar datos (Figura 2.46).

¹⁴¹ OFS Factory Server

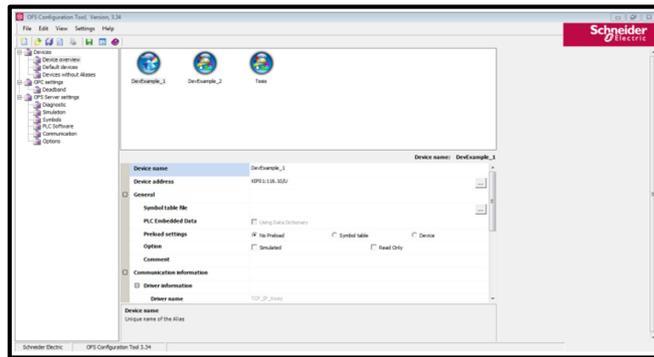


Figura 2.46: Entorno del Software OFS Server¹⁴²

Paso 2: Al haber creado un nuevo dispositivo en el entorno del OFS Server se ingresa para realizar la respectiva comunicación dependiendo, del enlace que se realice para este caso se utiliza una comunicación Modbus Serial (Figura 2.47).

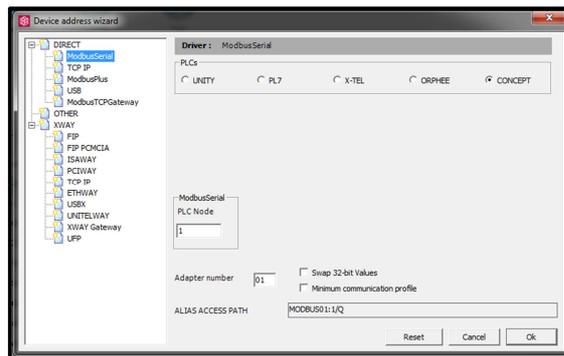


Figura 2.47: Comunicación Modbus Serial en OFS Server¹⁴³

b. Configuración OFS Client

El software OFS dispone de un cliente OPC que permite validar si la configuración del OFS Server es correcta. Gracias a esta herramienta se valida el servidor OPC sin necesidad de realizar una aplicación en Vijeo Citect o cualquier otro cliente OPC.

Este cliente funciona tanto para modo simulación como estándar en el PLC. Para realizar con este proceso se inicia con el ingreso hacia el programa.

¹⁴² OFS Factory Server

¹⁴³ OFS Factory Server

Paso 1: Una vez dentro del software OPC Client se despliega automáticamente una ventana, la que permite vincular los datos. Dependiendo de los respectivos servidores OPC instalados dentro de cada PC se elige “Schneider-Aut.OFS” (Figura 2.48).

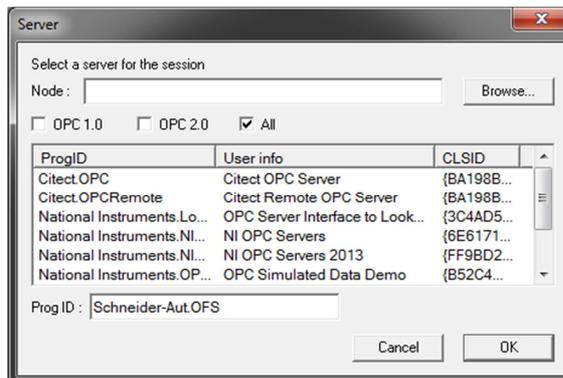


Figura 2.48: Selección del servidor “Schneider-AUT.OFS”¹⁴⁴

Paso 2: Continuado con la configuración se crea un grupo el cual ayuda a la comunicación dentro del área de trabajo. Dentro del menú de herramientas se da clic en la pestaña “Group”, y se ingresa en la opción “New group”, esto despliega una ventana emergente, se puede tomar los valores ya establecidos (Figura 2.49) dando únicamente clic en la opción de Aceptar.

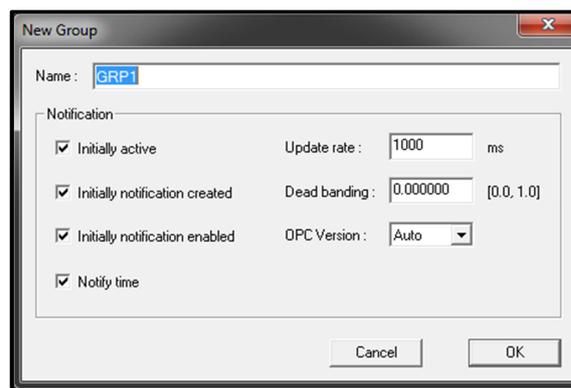


Figura 2.49: Creación de un “New Group” en OFS Client¹⁴⁵

¹⁴⁴ OFS Client

¹⁴⁵ OFS Client

Paso 3: Para la validación de los datos que el autómata está enviando se crea un ítem, (Barra de herramientas/Ítem/New); dentro de la pantalla que se despliega (Figura 2.50), se procede a obtener los datos desde las localidades de memoria del autómata, se debe conocer el nombre de dispositivo que se estableció en el OFS Server (Figura 2.46):

New Ítem: Nombre del dispositivo, Signo de admiración de cierre (!), Signo de porcentaje (%), Localidad de memoria del autómata + 1. Por ejemplo:

Localidad del autómata: %MW300

New ítem: Tesis!%MW301

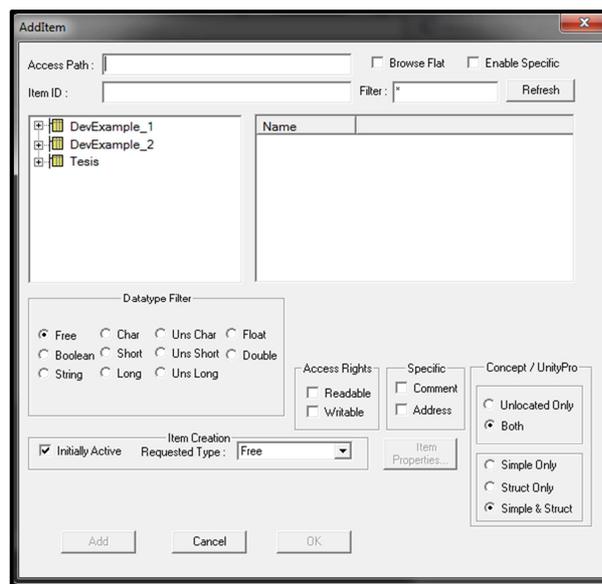


Figura 2.50: Creación de un “New Ítem” en OFS Client¹⁴⁶

Se crea automáticamente la conexión, y si esta se realizó correctamente se activara un led verde junto al ítem, se adjunta una ventana en la que presenta los datos y el estado de conexión (Figura 2.51).

¹⁴⁶ OFS Client

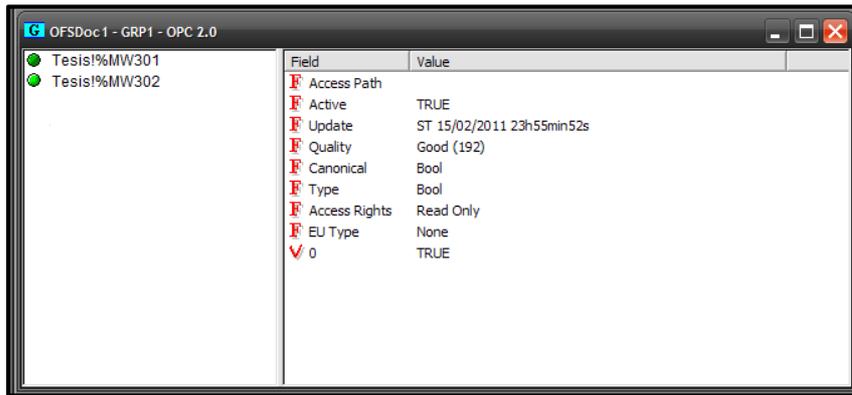


Figura 2.51: Validación de los ítems en OFS Client¹⁴⁷

c. OFS Server

Durante el proceso de configuración del cliente se activara automáticamente el OFS Server (Figura 2.52), donde notifica si existe la comunicación establecida con el autómeta.

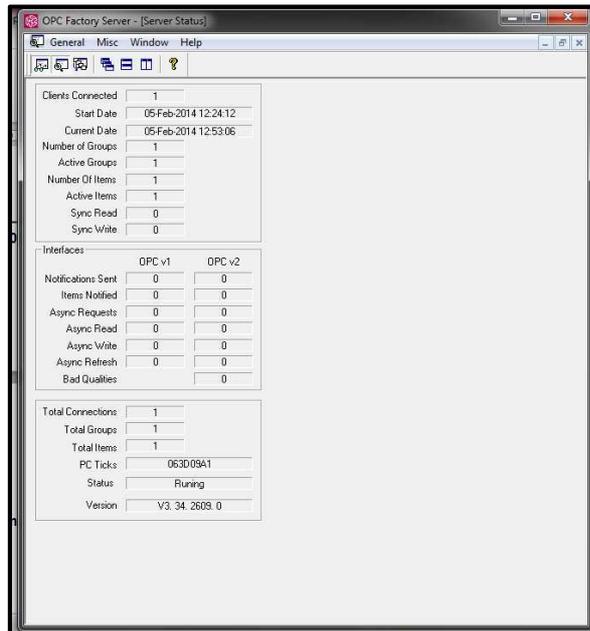


Figura 2.52: Funcionamiento del OFS Server¹⁴⁸

¹⁴⁷ OFS Client
¹⁴⁸ OFS Server

2.6. Sistema de monitoreo Integrado para unidades remotas

Vijeo Citect (Figura 2.53) es uno de los paquetes SCADA mas difundidos a nivel mundial. Las características y la potencia de este software hacen que sea adecuado para cualquier tipo de aplicación: Energía, Infraestructura, Industria, etc.



Figura 2.53: Logotipo Vijeo Citect¹⁴⁹

2.6.1. Estructura del Programa

Al arrancar el programa Vijeo Citect, se abren tres procesos simultáneos.

a. Explorador de proyectos

Es el programa principal, permite realizar las tareas de gestión de proyectos: crear proyectos nuevos, realizar copias de seguridad, etc.

b. Editor de proyectos

Es el gestor de las bases de datos que conforman la estructura interna de Vijeo Citect. Aquí es donde se configuran los dispositivos con los que dialoga el programa, las variables, alarmas, idiomas, configuraciones, etc.

c. Editor Gráfico

Es el programa que sirve para crear pantallas, símbolos, elementos gráficos con propiedades, etc.

¹⁴⁹ Vijeo Citect

2.6.2. Configuración básica de Vijeo Citect

Vijeo Citect es un software que necesita de configuraciones internas para que el HMI-SCADA funcione correctamente dentro del proceso, de esta manera se presenta, las opciones que un usuario debe implementar.

a. Configuración de servidores en Vijeo Citect

En Vijeo Citect, aparece el concepto de Clúster¹⁵⁰. Este es un conjunto de ordenadores que se comportan como si fuesen uno sólo. Antes de iniciar con el proyecto se crea un Clúster dentro del Editor de Proyectos, aquí se dirige hacia el menú Servidores e ingresar en Clúster (Figura 2.54), dar un nombre al grupo en este caso "Tesis".



Figura 2.54: Creación de un grupo en Vijeo Citect¹⁵¹

Dentro del grupo se define los servidores necesarios para el proyecto. Un proyecto en Vijeo Citect necesita uno o más servidores (Figura 2.55), como son: Entradas/Salidas, Reportes, Alarmas, Tendencias.

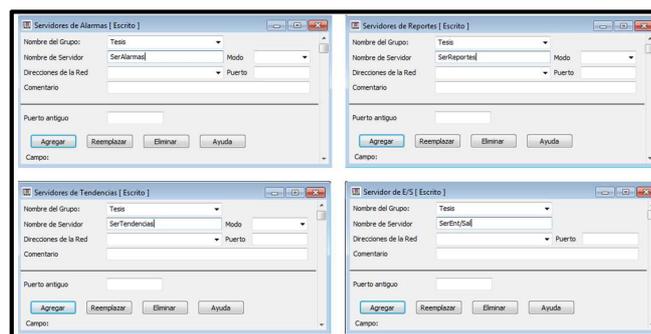


Figura 2.55: Creación de servidores en Vijeo Citect¹⁵²

¹⁵⁰ Racimo

¹⁵¹ Vijeo Citect

¹⁵² Vijeo Citect

b. Configuración de dispositivos en Vijeo Citect

Para enlazar con variables (Tags) a objetos, se debe definir los denominados Dispositivos de Entrada/Salida. Estos pueden ser de dos clases:

- **Dispositivos internos:** Es un controlador que permite gestionar las variables internas de la aplicación (las que no comunican “hacia afuera”). Se trata de variables internas del PC; para configuración se ingresa en el Explorador y se da clic en “Configuración rápida de dispositivos E/S”, se da clic en Siguiente hasta seleccionar el tipo (Figura 2.56). Posteriormente se elige el tipo de driver.

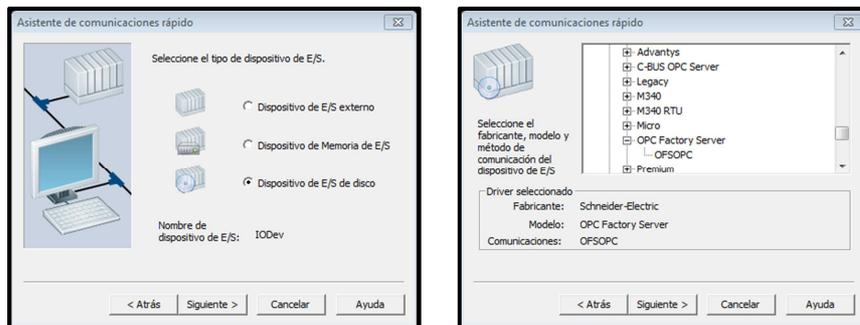


Figura 2.56: Configuración de un dispositivo interno Vijeo Citect¹⁵³

- **Dispositivos externos:** Son los que permiten las conexiones a elementos externos al PC (autómatas o software de simulación). Es el mismo procedimiento, las diferencias se presenta en la Figura 2.57.



Figura 2.57: Configuración de un dispositivo externo Vijeo Citect¹⁵⁴

¹⁵³ Vijeo Citect

¹⁵⁴ Vijeo Citect

c. Creación de variables en Vijeo Citect

Para poder trabajar con variables de dispositivo, primero deben crearse desde el Explorador de Citect o a través del Editor de Proyectos. Se abre una plantilla (Figura 2.58), donde se rellena los datos mínimos necesarios de la Tag.

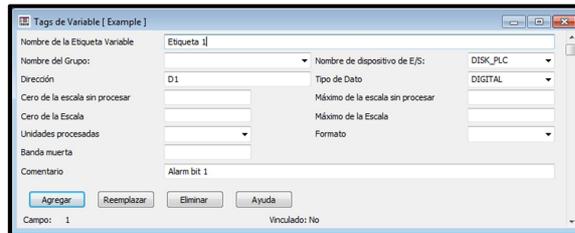


Figura 2.58: Configuración de una Tag en Vijeo Citect¹⁵⁵

Dentro de este cuadro, se puede seleccionar el tipo de variable (Analógica o Digital), así como la dirección donde queremos que se guarde el valor.

2.6.3. Diseño de HMI Local

Dentro del sistema de monitoreo integrado se encuentra la Interface Humano-Máquina, la que se localiza en la MTU, por esta razón este HMI se diseña que tenga las siguientes pantallas que ayudan al usuario a monitorear y supervisar el proceso.

Página de Inicio: Esta pantalla (Figura 2.59), presenta una bienvenida al sistema integrado de monitoreo; da información acerca del proyecto.



Figura 2.59: Diseño de la pantalla de inicio en Vijeo Citect¹⁵⁶

¹⁵⁵ Vijeo Citect

¹⁵⁶ Vijeo Citect

Página de Proceso: Dentro de esta página, como se observa en la Figura 2.60, presenta la animación de cada uno de los procesos (Presión y Nivel); en esta se encuentra la programación respectiva para que se produzca las diferentes decisiones del software cuando esté en funcionamiento.

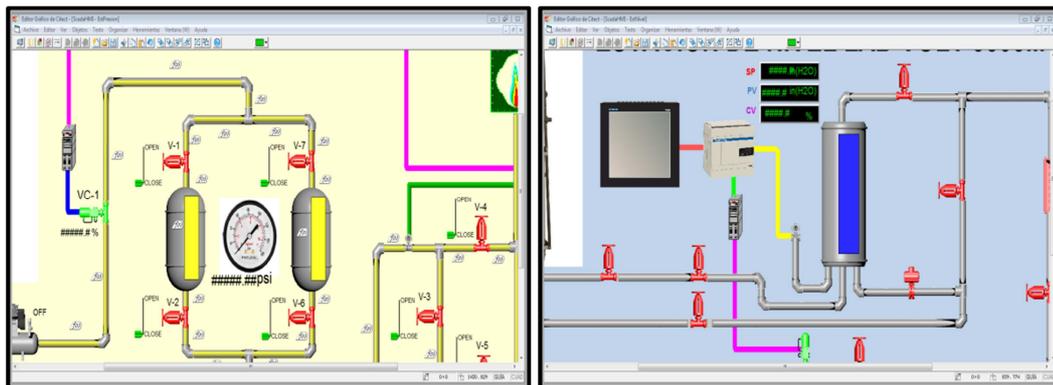


Figura 2.60: Diseño de pantallas de procesos en Vijeo Citect¹⁵⁷

Página de Tendencias: La Figura 2.61, tiene la función de registrar lo acontecido dentro del proceso que se esté monitoreando; para esto se utiliza una gráfica que Vijeo Citect ofrece.

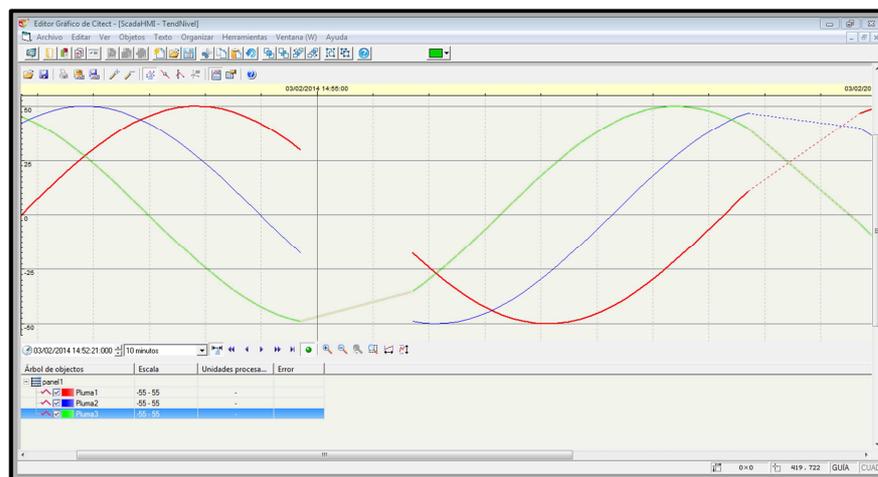


Figura 2.61: Diseño de pantallas de tendencias en Vijeo Citect¹⁵⁸

¹⁵⁷ Vijeo Citect

¹⁵⁸ Vijeo Citect

Página de Alarmas: El conocer si existe, alarmas o eventos es primordial dentro de un sistema SCADA, Vijeo Citect tiene configurado una pantalla especializada para este tipo como se ve en la Figura 2.62, cuando esté en funcionamiento se mantendrá alerta de algún funcionamiento anormal de los procesos.

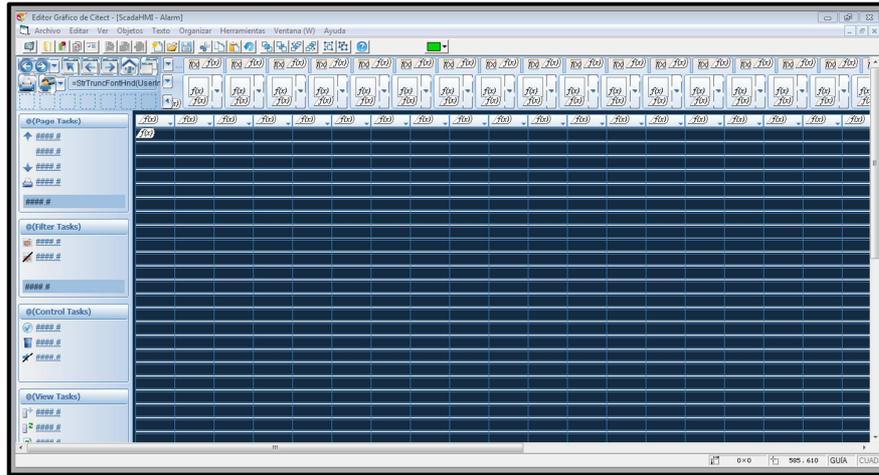


Figura 2.62: Diseño de pantallas de alarmas en Vijeo Citect¹⁵⁹

¹⁵⁹ Vijeo Citect

CAPÍTULO 3

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Introducción

El presente capítulo presenta el sistema SCADA implementado, las pruebas de funcionamiento de los instrumentos que utiliza cada proceso así como también la manera correcta en la que se debe manipular el sistema. Además, se analiza las variaciones del proceso con la respectiva calibración y las comunicaciones existentes tanto Ethernet como Bluetooth.

3.2. Descripción física del sistema SCADA

En la actualidad la tendencia es utilizar tecnologías inalámbricas, de una manera académica se realiza la implementación de una de estas en un sistema SCADA, el mismo que se basa en un control distribuido a su vez cada estación debe ser monitoreada y controlada por su respectiva HMI's, el sistema se complementa con una red Ethernet la que se encarga de gestionar los datos existentes, su monitoreo integral se realiza a través de tecnología Bluetooth como se observa en la Figura 3.1.



Figura 3.1: Estaciones del sistema SCADA¹⁶⁰

¹⁶⁰ Autoría

Este proyecto permite ayudar al aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación y potenciar sus conocimientos en el uso adecuado de tecnologías inalámbricas.

3.3. Detalles de construcción del sistema SCADA

El sistema SCADA implementado, se basa en los equipos instalados en las estaciones de control de procesos (Presión y Nivel), las cuales constan de transmisores inteligentes, sin embargo, para la correcta manipulación de las estaciones, es necesario la interpretación de los diagramas P&ID (ver Anexo C-1 y C-2), respectivamente.

Para el montaje de la red y los HMI's se construyó una estación de control didáctica para la manipulación de controladores, pantallas y módulo Bluetooth como se observa en la Figura 3.2.



Figura 3.2: Armario de control del sistema SCADA¹⁶¹

¹⁶¹ Autoría



Figura 3.3: Conexiones eléctricas del sistema SCADA¹⁶²

Este sistema SCADA, brinda modernización al laboratorio, ya que al implementar una tecnología inalámbrica (Bluetooth), permite la actualización de conocimientos a estudiantes, en busca de una mejor calidad en la educación superior.

3.4. Pruebas de funcionamiento de los equipos

Para la manipulación de los dispositivos y equipos se inicia con las respectivas pruebas de funcionamiento, de esta manera, se garantiza el correcto funcionamiento del sistema. La red Ethernet es sin embargo la columna vertebral de las comunicaciones dentro del sistema, por lo tanto es primordial conocer acerca de su estructura tanto a nivel físico como lógico, pues engloba desde la obtención de datos de transmisores, hasta el tratamiento de los mismos (autómatas, pantallas, alarmas, dispositivo Bluetooth).

¹⁶² Autoría

3.4.1. Estación de Presión Lab-Volt 3501-M

La estación de control Lab-Volt 3501-M (Figura 3.4) del Laboratorio de Control de Procesos se encuentra en condiciones óptimas; se comprueba con el correcto funcionamiento de sus elementos (válvula de control, tanques de almacenamiento, válvulas de mano, conversor de I/P) entre los más destacados.



Figura 3.4: Estación de Presión en funcionamiento¹⁶³

3.4.2. Estación de Nivel Lab-Volt 3503-M

La estación de nivel Lab-Volt 3503-M (Figura 3.5), una vez finalizada las respectivas pruebas en cada uno de sus dispositivos principales (bomba, válvula de control, conversor I/P), se comprueba el perfecto estado al igual que sus dispositivos.

¹⁶³ Autoría



Figura 3.5: Estación de Nivel en funcionamiento¹⁶⁴

3.4.3. PLC TWDLCAE40DRF y módulos analógicos

Los autómatas (Figura 3.6) después de las pruebas respectivas, se encuentran en buen estado; de manera visual se comprueba con las luces informativas (encendido y ejecución) incorporadas, el color verde de forma intuitiva demuestra que no existe algún error. El mismo método se lo realiza para los módulos analógicos TM2AMM3HT.

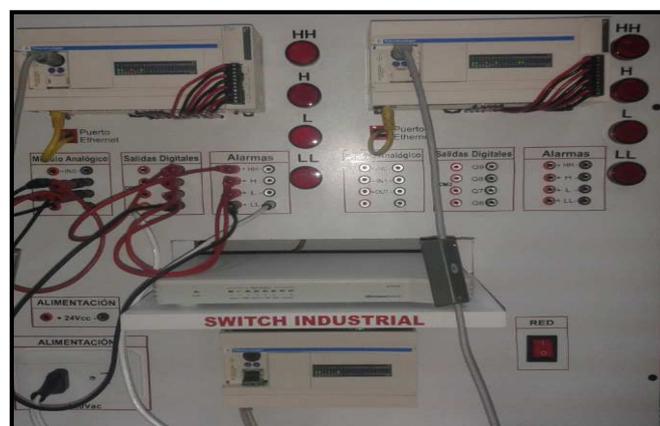


Figura 3.6: PLC Twido y módulos analógicos¹⁶⁵

¹⁶⁴ Autoría

¹⁶⁵ Autoría

3.4.4. Pantallas Red Lion G306

Las pantallas Red Lion G306 (Figura 3.7) al momento de entrar en funcionamiento no presenta ningún error, se puede comprobar con las luces de alarmas (rojo y verde), que indica el encendido y la comunicación, respectivamente.



Figura 3.7: Pantallas Red Lion G306 en funcionamiento¹⁶⁶

3.4.5. Dispositivos de comunicación y señales de alarmas

Los dispositivos de comunicación en la red como es el switch industrial 3COM está en óptimo estado debido a sus luces indicadoras de estado como la de encendido con luz amarilla y las luces de conexiones a los puertos de color amarillo con la diferencia que parpadean continuamente.



Figura 3.8: Switch Industrial 3COM en funcionamiento¹⁶⁷

¹⁶⁶ Autoría

¹⁶⁷ Autoría

El dispositivo Bluetooth VW3A8114 facilita la comunicación inalámbrica desde el autómata hacia el computador respectivo, tiene incorporado un led, que indica el estado en el que se encuentra. Al momento de su conexión con el autómata el led de forma automática presenta el color verde, indicando su correcto funcionamiento, al mismo tiempo que entra en un estado de espera hasta que exista alguna conexión (Figura 3.9). Por el contrario si el módulo detecta alguna conexión y existe una comunicación exitosa el led cambia a color azul.



Figura 3.9: Módulo Bluetooth en funcionamiento¹⁶⁸

Las luces de alarmas (Figura 3.10) como su nombre lo indica, informan al usuario que existe algún evento dentro del proceso, por esta razón es importante que ninguna de las luces se encuentre fuera de funcionamiento.



Figura 3.10: Luces de alarmas del sistema SCADA¹⁶⁹

¹⁶⁸ Autoría

¹⁶⁹ Autoría

3.5. Análisis de la programación de los controladores

Los algoritmos estructurados en cada uno de los autómatas son la parte fundamental del sistema, esto permite la conexión, comunicación e intercambio de datos dentro del sistema SCADA.

3.5.1. Controlador de la estación de Presión

La supervisión del algoritmo implementado en el autómata se lo realiza con la puesta en marcha del proceso; de manera digital se verifica mediante el valor que toma cada localidad de memoria del controlador, de esta forma se comprueba la plena relación entre el autómata y el usuario. El algoritmo implementado se encuentra Anexo B-1.

Se puede verificar el funcionamiento del proceso (dando clic sobre el Bloque PID), esto permite analizar las variaciones del proceso. En este bloque se puede ver los estados PID (Figura 3.11) y tener un seguimiento.

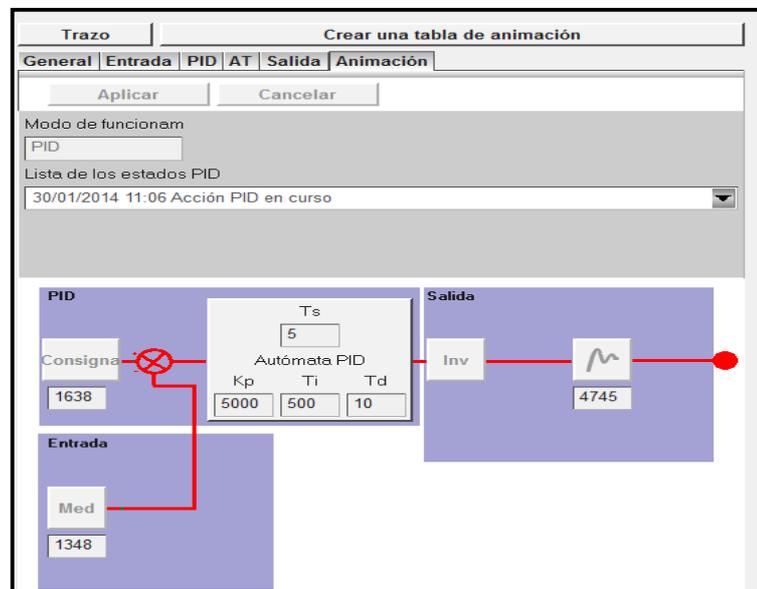


Figura 3.11: Animación PID TwidoSuite Presión¹⁷⁰

La gestión de tablas de datos es importante para verificar los valores dentro de la programación, pues permite observar las variaciones en las localidades de memoria utilizadas en el diagrama Ladder (Tabla 3.1).

¹⁷⁰ TwidoSuite

Tabla 3.1: Tabla de datos del proceso Presión en TwidoSuite¹⁷¹

	⚠ Us	Dirección	Símbolo	Actual	Guardado	Formato
1	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW0	SP	18	0	Decimal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW10	ESCSP	1638	0	Decimal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW14	PV	981	0	Decimal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW4	ESCPV	14	0	Decimal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW15	CV	4116	0	Decimal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW11	KP	5000	0	Decimal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW12	TI	500	0	Decimal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW13	TD	10	0	Decimal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	%M6	L	0	0	Decimal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	%M7	LL	0	0	Decimal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	%M8	H	0	0	Decimal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	%M9	HH	0	0	Decimal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW20		2	0	Decimal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW21		270	0	Decimal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW22		7	0	Decimal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW23		272	0	Decimal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW24	C_WRNW_ADDR	7	0	Decimal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW25		3	0	Decimal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW26		6	0	Decimal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW27	C_WRNW_VAL1_	0	0	Decimal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW28		18	0	Decimal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW29		4779	0	Decimal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW30		272	0	Decimal
24						

3.5.2. Controlador de la estación de Nivel

El algoritmo implementado en el autómata de la estación de Nivel, se verifica con la respectiva compilación del programa, la que manifiesta que no existe ningún error, su estado de funcionamiento es el adecuado, es importante verificar las estadísticas del programa que muestra la información suficiente para determinar si existe algún problema tanto de conexión como la del programa en sí, el algoritmo se muestra en el Anexo B-2.

Al momento de que el autómata se encuentra en modo RUN, permite la opción de ingresar a los estados del PID como se observa en la Figura 3.12 y tener un seguimiento más minuciosa del proceso para su respectiva sintonización.

¹⁷¹ TwidoSuite

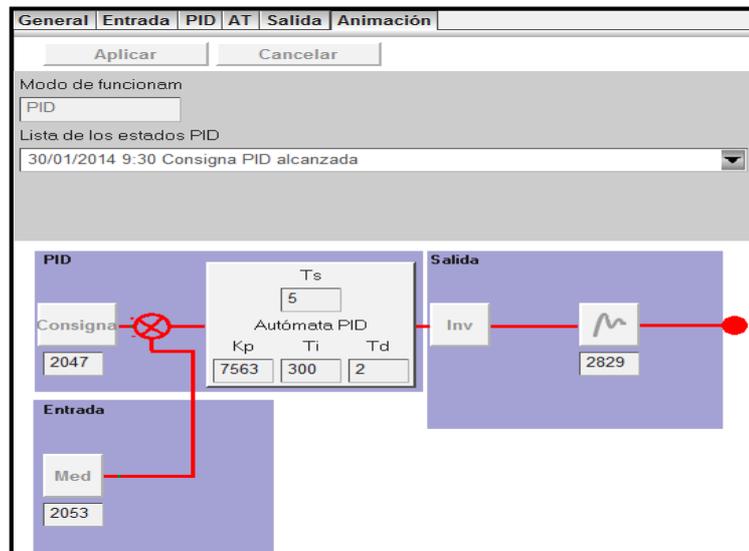


Figura 3.12: Animación PID TwidoSuite Nivel¹⁷²

La gestión de tablas de animación que presenta TwidoSuite, se la utiliza para verificar los valores de las localidades de memoria con las que el usuario trabaja (Tabla 3.2).

Tabla 3.2: Tabla de datos del proceso Nivel en TwidoSuite¹⁷³

	Us	Dirección	Símbolo	Actual	Guardado	Formato
1	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW0	SP	15	0	Decimal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW10	ESCSP	2047	0	Decimal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW14	PV	2068	0	Decimal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW4	ESCPV	15	0	Decimal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW15	CV	1800	0	Decimal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW11	KP	7563	0	Decimal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW12	TI	300	0	Decimal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW13	TD	2	0	Decimal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW40		2	0	Decimal
10	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW41		270	0	Decimal
11	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW42		7	0	Decimal
12	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW43		272	0	Decimal
13	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW44	C_WRNW_ADDR	55	0	Decimal
14	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW45		3	0	Decimal
15	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW46		6	0	Decimal
16	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW47	C_WRNW_VAL1	2047	0	Decimal
17	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW48		2073	0	Decimal
18	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW49		1212	0	Decimal
19	<input checked="" type="checkbox"/>	%MW50		272	0	Decimal
20	<input checked="" type="checkbox"/>	%M6	LL	0	0	Decimal
21	<input checked="" type="checkbox"/>	%M7	L	0	0	Decimal
22	<input checked="" type="checkbox"/>	%M8	H	0	0	Decimal
23	<input checked="" type="checkbox"/>	%M9	HH	0	0	Decimal
24			SP	15		

De igual manera el algoritmo implementado en el PLC Servidor se encuentra descrito en el Anexo B-3.

¹⁷² TwidoSuite

¹⁷³ TwidoSuite

3.6. Análisis experimental de la Red Ethernet

La red Ethernet a nivel de sus direcciones se encuentra formada como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Tabla de direccionamiento IP de la Red¹⁷⁴

DISPOSITIVO	Dirección IP
Controlador lógico programable Maestro	192.168.10.1
Controlador lógico programable de Presión	192.168.10.2
Controlador lógico programable de Nivel	192.168.10.3
Touchscreen Red Lion G306 de Presión	192.168.10.12
Touchscreen Red Lion G306 de Nivel	192.168.10.13

La primera comunicación de nodos en la red es la que existe entre el controlador de presión y la pantalla Red Lion G306 destinada a la misma aplicación como se indica en la Tabla 3.3, la dirección IP del PLC de la estación de control de presión es la 192.168.10.2, la que se enlaza con la pantalla con dirección 192.168.10.12; se comprueba su correcto funcionamiento de conexión como se muestra en la Figura 3.13.

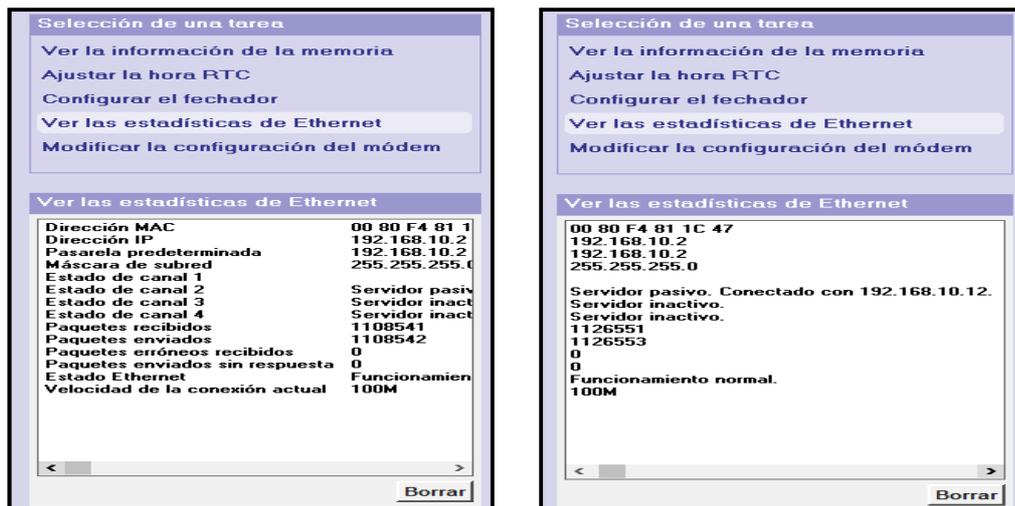


Figura 3.13: Conexión (IP 192.168.10.2 con IP 192.168.10.12)¹⁷⁵

¹⁷⁴ Autoría

¹⁷⁵ "TwidoSuite

La segunda comunicación que existe en la red es la comunicación entre el controlador de nivel y la touchscreen Red Lion G306, como se observa en la Figura 3.14.

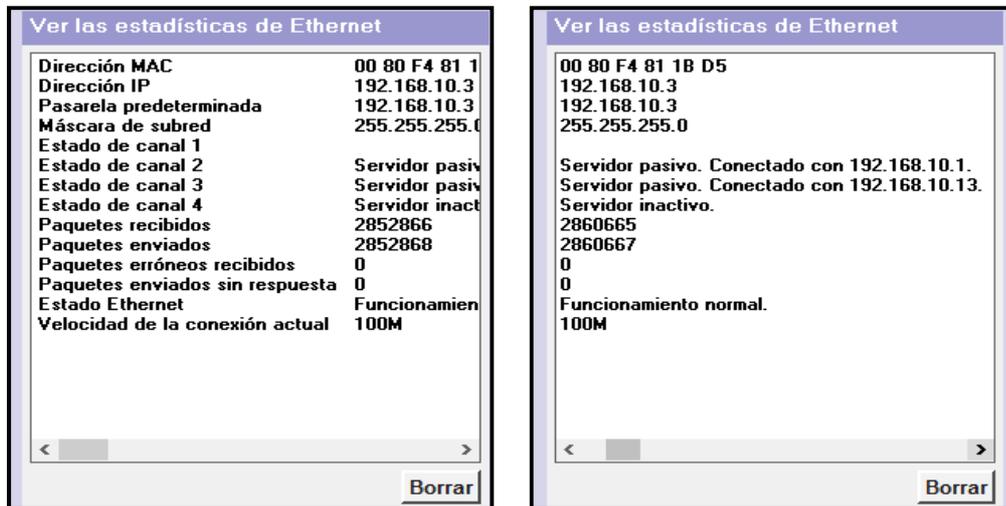


Figura 3.14: Conexión (IP 192.168.10.3 con IP 192.168.10.13)¹⁷⁶

Tercera comunicación, es la existente entre los dos autómatas que controlan las estaciones, con el autómata master que concentra los datos para enviarlo inalámbricamente a la estación MTU (Figura 3.15).

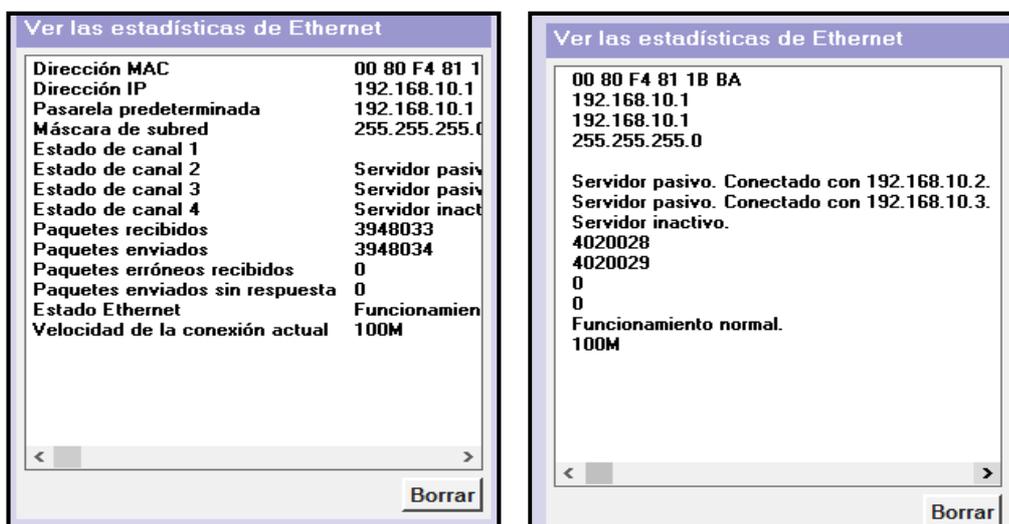


Figura 3.15: Conexión (192.168.10.1, 192.168.10.2 y 192.168.10.3)¹⁷⁷

¹⁷⁶ TwidoSuite

¹⁷⁷ TwidoSuite

En la última conexión, se indica la tabla de gestión de datos que tiene el servidor en la que se detalla la lectura de los datos de las dos estaciones de control como observa en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Tabla de datos del controlador Master¹⁷⁸

		Us	Dirección	Símbolo	Actual	Guardado	Formato
1		<input type="checkbox"/>	%MW0		0	0	Decimal
2		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW1		0	0	Decimal
3		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW2		0	0	Decimal
4		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW3		0	0	Decimal
5		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW4	C_RDNW_ADDR1	0	0	Decimal
6		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW5		0	0	Decimal
7		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW6		0	0	Decimal
8		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW7		0	0	Decimal
9		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW8	C_RDNW_VAL1_	24	0	Decimal
10		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW9		1903	0	Decimal
11		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW10		0	0	Decimal
12		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW41		262	0	Decimal
13		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW42		768	0	Decimal
14		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW43		515	0	Decimal
15		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW44	C_RDNW_ADDR1	55	0	Decimal
16		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW45		3	0	Decimal
17		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW46		515	0	Decimal
18		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW47		6	0	Decimal
19		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW48	C_RDNW_VAL1_	15	0	Decimal
20		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW49		0	0	Decimal
21		<input checked="" type="checkbox"/>	%MW50		7047	0	Decimal

3.7. Análisis experimental del Lazo PID

La función de control del PID integrada en todos los autómatas Twido proporciona un control eficaz de los procesos industriales simples que consisten en un estímulo del sistema (Set Point) y en una propiedad que se pueda medir del sistema (Process Value).

El autómata PID está formado por la combinación mixta (serie-paralelo) de la ganancia del autómata (Kp) y las constantes de tiempo integral (Ti) y derivada (Td).

¹⁷⁸ TwidoSuite

De esta forma, la ley de control del PID que usa el autómata Twido es la siguiente (Ecuación 3.1):

$$u(i) = Kp \left\{ \varepsilon(i) + \frac{Ts}{Ti} \sum_{j=1}^i \varepsilon(j) + \frac{Td}{Ts} [\varepsilon(i) - \varepsilon(i-1)] \right\} \quad (3.1)$$

Dónde:

- **Kp**= La ganancia proporcional del autómata.
- **Ti** = La constante de tiempo integral.
- **Td** = La constante de tiempo derivada.
- **Ts** = El período de muestreo.
- **ε(i)**= La desviación (ε(i)= consigna - variable del proceso).

3.7.1. Sintonización del proceso de Presión

El método de sintonización utilizado fue el de Ziegler y Nichols, con ajuste en bucle cerrado como se indica el cálculo para sus constantes de control en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Constantes PID por el método Ziegler y Nichols¹⁷⁹

-	Kp	Ti	Td
PID	Kpc/1.7	Tc/2	Tc/8
PI	Kpc/2.2	0.83 Tc	-

Datos del sistema:

Kpc = 870

Tc = 100 s

Se desarrolló los cálculos de las constantes indicados en la Tabla 3.6.

¹⁷⁹ (Mazzone, 2002)

Para PID

$T_i = T_c/2 = 50s$ en el controlador PID se introducen las constantes multiplicando 0.1s por la escala de ingreso de valores para T_i y T_d en TwidoSuite, para obtener 50s entonces el T_i será de 500

$T_d = T_c/8 = 12s$ en el controlador PID se introduce el valor de 120.

Para PI

$T_i = 0.83T_c = 83s$ en la T_i se introduce el valor de 830.

Tabla 3.6: Constantes PID para el proceso de Presión¹⁸⁰

-	Kp	Ti	Td
PID	500	500	120
PI	396	830	-

La visualización del control PID se verifica en la Figura 3.16 para valores de referencia (Set Point) de 18psi, 12psi y 28psi señalado con color rojo y su valor de proceso (Procces Value) resaltado de color verde.

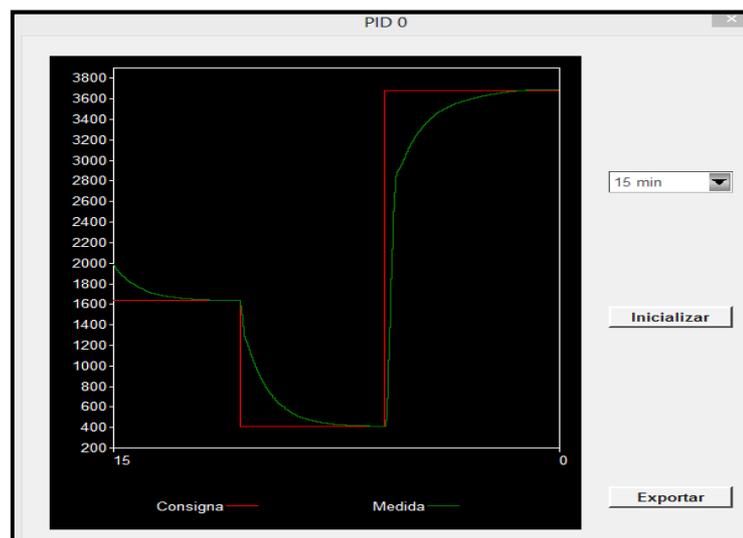


Figura 3.16: Sintonía PID Presión¹⁸¹

¹⁸⁰ Autoría

¹⁸¹ TwidoSuite

A continuación se mira en la Figura 3.17 el tiempo crítico encontrado para la estación de presión. Además se observa las tendencias para un valor de 17psi.

- Set Point (Rojo)
- Process Value (Azul)
- Control Value (Amarillo)

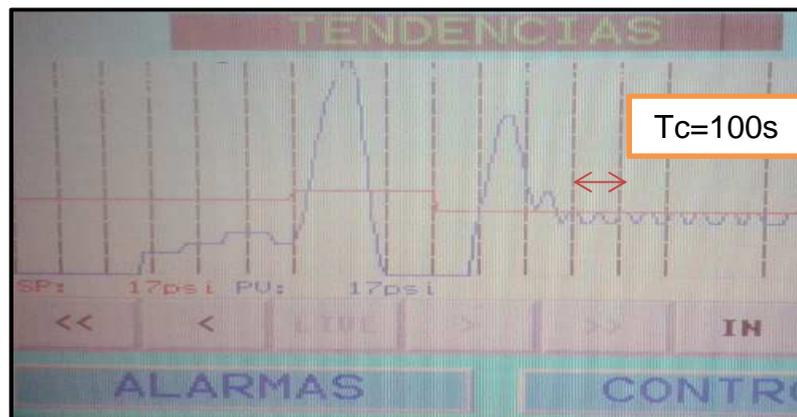


Figura 3.17: Pagina de Tendencia y frecuencia critica de Presión¹⁸²

Continuando se tiene la página de proceso y conjuntamente la de control donde se observa en la Figura 3.18 las constantes de control PID

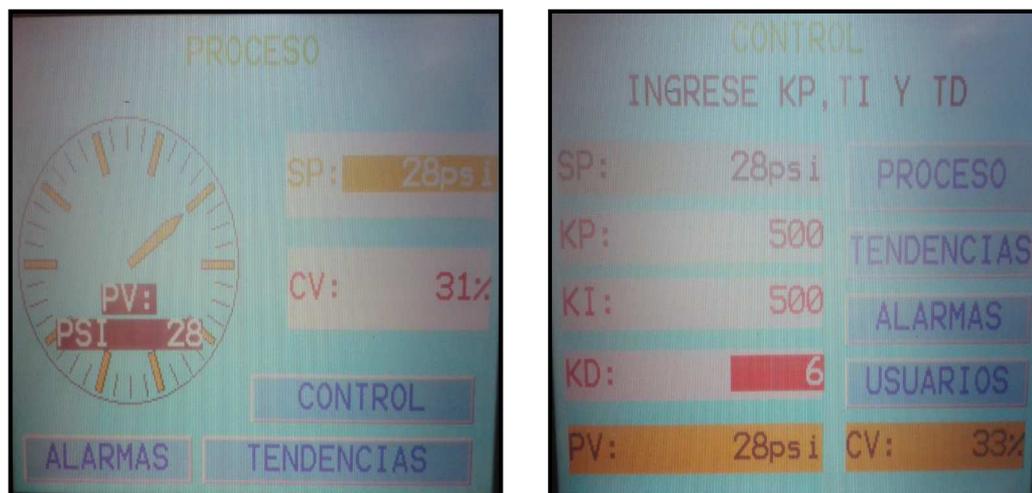


Figura 3.18: Paginas de Proceso y Control proceso Presión¹⁸³

¹⁸² Autoría

¹⁸³ Autoría

3.7.2. Sintonización del Proceso de Nivel

La sintonía se basa en la Ecuación 3.1, mediante la toma de muestras porque en el proceso de nivel se hace dificultoso encontrar la frecuencia crítica; se toma medidas empezando por valores pequeños de las tres constantes como K_p , T_i y T_d , de la misma manera ir aumentando sucesivamente hasta encontrar la estabilidad (Tabla 3.7).

Tabla 3.7: Datos de sintonización PID de Nivel¹⁸⁴

SP(in H2O)	PV(in H2O)	KP (0.01)	Ti x (0.1s)	Td x (0,1s)
5	15	1800	0	0
7	10	2200	22	1
9	11	2500	22	1
25	22	2700	25	2
23	21	2900	30	6
21	19	3000	30	6
11	10	3500	30	2
13	12	4000	55	3
15	15	4596	62	3
10	10	4596	62	3

Las constantes PID resultaron para $K_p=4596$, $T_i=62$ y $T_d=3$, la verificación de estos resultados se observan en la Figura 3.19.

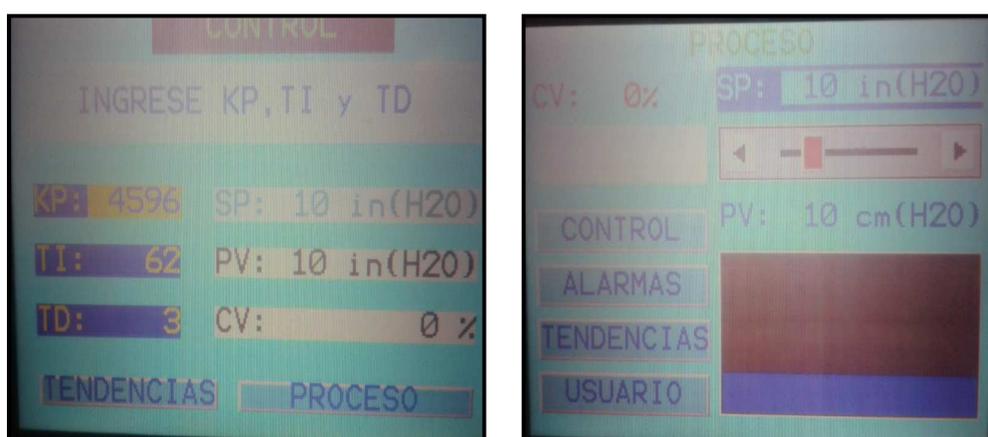


Figura 3.19: Páginas de Proceso y Control proceso Nivel¹⁸⁵

¹⁸⁴ Autoría

¹⁸⁵ Autoría

En la página de las tendencias que se indica en la Figura 3.20, se visualiza la estabilidad del proceso. El control de este proceso ante un escalón es una respuesta críticamente amortiguada debido a que presenta un sobreimpulso=0 y es muy rápida en establecerse.

- Set Point (Rojo)
- Procces Value (Azul)



Figura 3.20: Página de Tendencias proceso Nivel¹⁸⁶

3.8. Resultados del sistema SCADA en el HMI

3.8.1. HMI Red Lion G306

Pruebas de ingreso al HMI con identificación de usuario como se mira en la Figura 3.21.



Figura 3.21: Página de Ingreso de usuario en monitoreo local¹⁸⁷

¹⁸⁶ Autoría

¹⁸⁷ Autoría

Las pantallas en el HMI local para las páginas principales de ambos procesos quedaron como se observa en la Figura 3.22.



Figura 3.22: Página de Inicio en monitoreo local¹⁸⁸

La visualización de los datos en las estaciones de control se indica sus páginas de proceso de presión y nivel en la Figura 3.23.



Figura 3.23: Página de Proceso en monitoreo local¹⁸⁹

La página de control donde se escriben sus constantes PID se muestra en la Figura 3.24, tanto para presión y nivel.



Figura 3.24: Página de Control en monitoreo local¹⁹⁰

¹⁸⁸ Autoría

¹⁸⁹ Autoría

¹⁹⁰ Autoría

Las tendencias de las estaciones de presión y nivel se observa a continuación en la Figura 3.25.



Figura 3.25: Página de Tendencias en el monitoreo local¹⁹¹

La página de alarmas de las pantallas táctiles se visualiza en la Figura 3.26



Figura 3.26: Página de Alarmas del monitoreo local¹⁹²

Finalmente la página de usuario de las touchscreen quedó como se mira en la Figura 3.27.



Figura 3.27: Página de Usuario del monitoreo local¹⁹³

¹⁹¹ Autoría

¹⁹² Autoría

¹⁹³ Autoría

3.8.2. HMI Vijeo Citect

El sistema de monitoreo integrado, implementado en Vijeo Citect, presenta las opciones pertinentes, a lo que se refiere a un sistema SCADA, tiene diferentes ventanas que permiten interactuar con el usuario.

La Figura 3.28, muestra la ventana de Inicio que da la bienvenida al usuario, quien dependiendo de su privilegio puede modificar datos dentro del proceso en sí. Además, permite la opción de navegar dentro de los procesos existentes (Presión y Nivel).

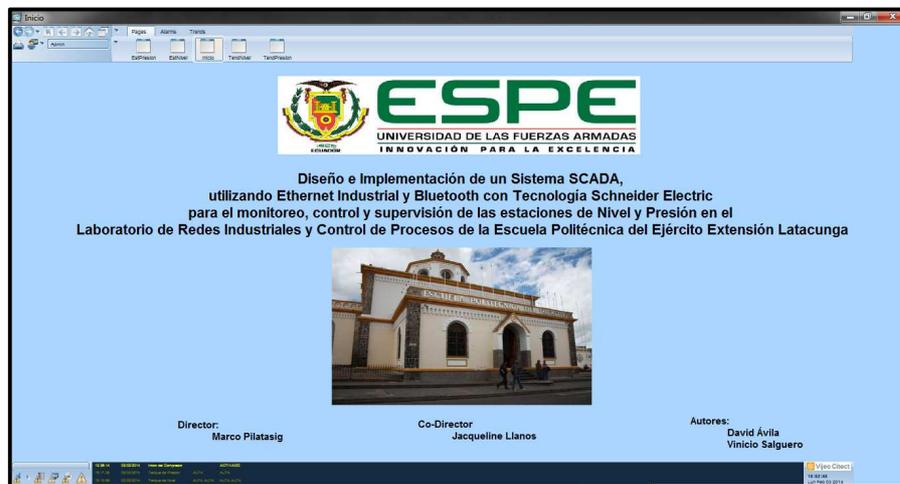


Figura 3.28: Página de Inicio en Vijeo Citect¹⁹⁴

La pantalla que presenta la Estación de Presión Lab-Volt 3501-M (Figura 3.29), tiene una animación la que permite la interacción con el usuario y el control acerca de su comportamiento, sin embargo cada uno de sus elementos y dispositivos , está limitada hacia privilegios que depende del usuario que esté trabajando.

El compresor, válvulas de control, falta y exceso de presión ocasionan alarmas las que se presenta en la respectiva ventana, manifestando al usuario el funcionamiento anormal del proceso.

¹⁹⁴ Vijeo Citect

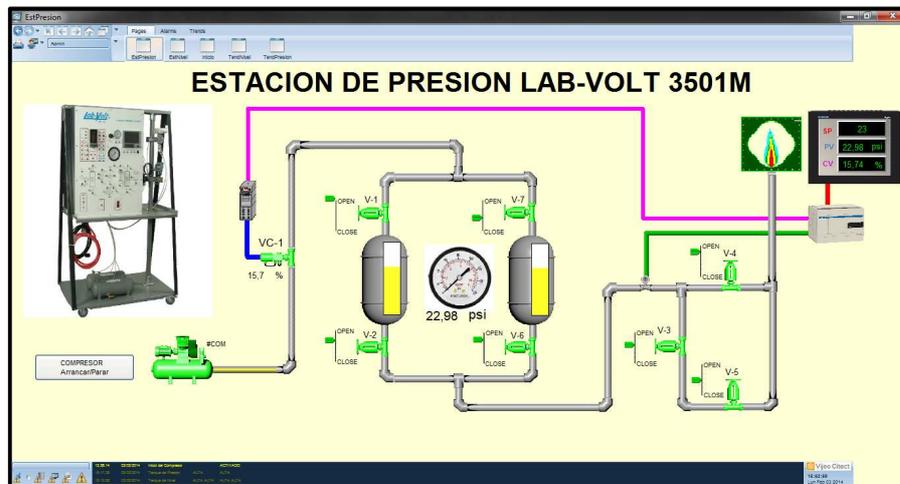


Figura 3.29: Página del proceso de Presión en Vijeo Citect¹⁹⁵

La página de tendencias, presenta el comportamiento del proceso de forma histórica, esto ayuda a verificar la existencia de alguna respuesta incorrecta del proceso; así como también ayuda a mantener la válvula de control estable (Figura 3.30).

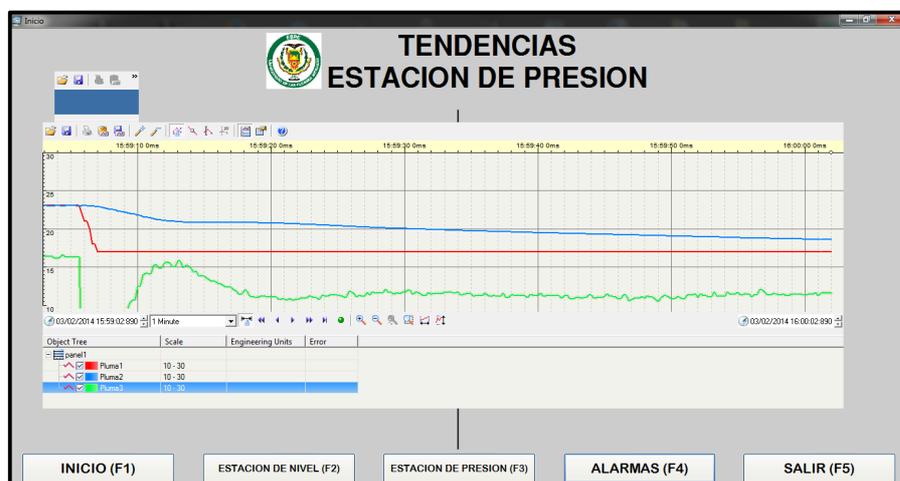


Figura 3.30: Página de tendencias de Presión en Vijeo Citect¹⁹⁶

¹⁹⁵ Vijeo Citect

¹⁹⁶ Vijeo Citect

Dentro del sistema integrado de monitoreo, muestra el proceso de la Estación de Nivel Lab-Volt 3503-M, como se muestra en la Figura 3.31; esta pantalla contiene una animación que permite monitorear el proceso, la semejanza a la realidad permite la comprensión si existiese alguna falla.

La bomba, válvula de control pueden ser manipuladas únicamente por usuarios que tengan privilegios exclusivos.

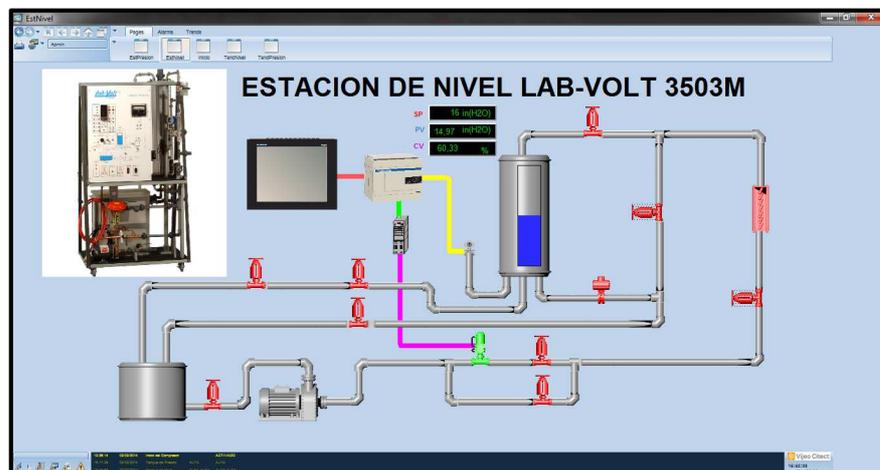


Figura 3.31: Página del proceso de Nivel en Vijeo Citect¹⁹⁷

La Figura 3.32, presenta la página de Tendencias del proceso de Nivel, informa al usuario el comportamiento del proceso en datos históricos, pues se puede analizar en tiempo real, así como también, la existencia de errores en un tiempo anterior.

¹⁹⁷ Vijeo Citect

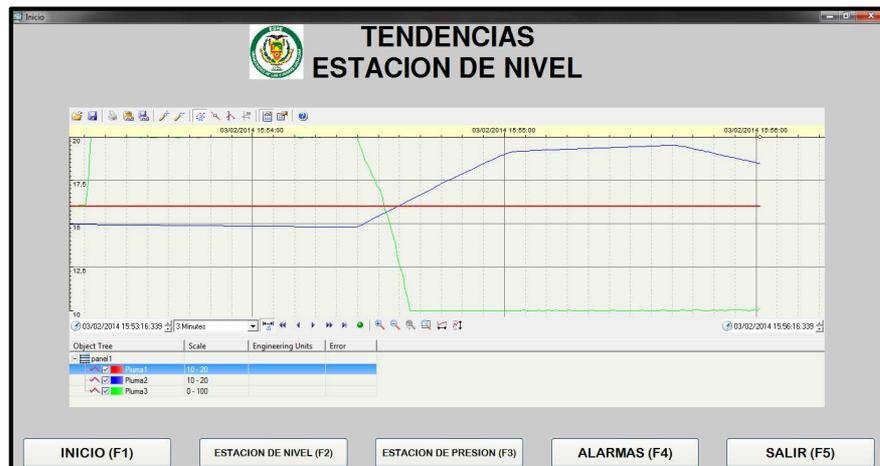


Figura 3.32: Página de tendencias de Nivel en Vijeo Citect 5¹⁹⁸

La página de alarmas (Figura 3.33), muestra la existencia de eventos o alarmas de los procesos, esta pantalla alerta al de algún desperfecto en el proceso hasta que sea detectada por algún usuario; actúa de forma histórica pues permite la generación de reportes.

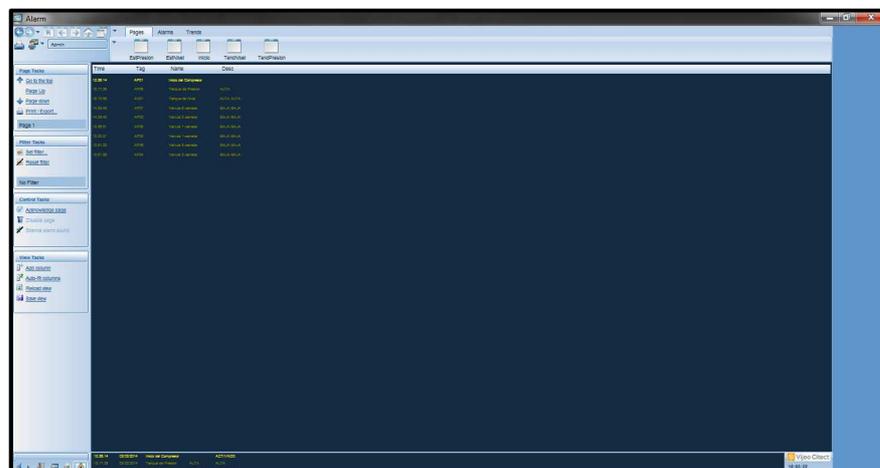


Figura 3.33: Página de alarmas del sistema SCADA en Vijeo Citect¹⁹⁹

¹⁹⁸ Vijeo Citect

¹⁹⁹ Vijeo Citect

3.9. Análisis y resultados de la comunicación Bluetooth

La comunicación entre la PC portátil y el dispositivo Bluetooth resultó exitosa, debido al intercambio de datos existente entre el PLC servidor y el módulo Modbus Bluetooth VW3A8114, este dispositivo se puede ver en funcionamiento en la Figura 3.34, al encenderse su luz de color azul, quiere decir que se está realizando la comunicación correctamente bajo el estándar 802.15.1.



Figura 3.34: Dispositivo Bluetooth funcionando²⁰⁰

La transmisión de los datos por Bluetooth como su velocidad, alcance y potencia máxima transmitida obtenidos se indica en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Datos experimentales Bluetooth²⁰¹

Dispositivo	Alcance máximo	Velocidad de transmisión	Potencia máxima permitida
Modbus Bluetooth VW3A8114	15 m	700 kb/s	2.5 MW

3.10. Análisis técnico económico

Una vez que el sistema SCADA ha cumplido con las pruebas de operación y funcionamiento se cuantifica el costo de los componentes utilizados.

²⁰⁰ Autoría

²⁰¹ Autoría

Por una parte en la Tabla 3.9 equipos facilitados por el Laboratorio de Control de Procesos y Redes Industriales de la ESPE y por otro lado en la Tabla 3.10 equipos comprados por los responsables del proyecto.

Tabla 3.9: Equipos existentes²⁰²

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
3	PLC TWIDO TWDLCAE40DRF	750.00	2250.00
2	Módulos analógicos	400.00	800.00
2	Touchscreen Red Lion G306A	800.00	1600.00
1	Switch 3COM 3C16794	700.00	700.00
1	Modulo Bluetooth	500.00	500.00
TOTAL			5850.00

Tabla 3.10: Equipos adquiridos²⁰³

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Armario de control	400.00	400.00
1	Adquisición de materiales	300.00	300.00
1	Gastos varios	200.00	200.00
TOTAL			900.00

Para saber el costo total del proyecto debe añadirse el rubro del trabajo de obra de ingeniería a un costo de \$12 la hora (320 horasX\$12=\$3840).

²⁰² Autoría

²⁰³ Autoría

Entonces el costo total del proyecto sería igual al total de costos facilitados por la ESPE mas los costos de los responsables y más el rubro de trabajo de obra de ingeniería que se tendrá como costo total del proyecto la cantidad de \$ 10590.

Se realiza el análisis de rentabilidad del proyecto con un análisis VAN (valor neto contable) y el T.I.R. (Tasa Interna de Rentabilidad).

3.10.1. Análisis VAN²⁰⁴

Con una inversión inicial de \$ 10590 del proyecto se desea recuperar el capital de inversión a cuatro años con una tasa de interés anual del 12% y con un flujo de fondos anuales de \$ 4000 debido a una implementación de cursos de automatización con tecnología Schneider Electric, mediante dos cursos anuales que se dictarán en el transcurso de vacaciones semestrales dejando así una ganancia neta de \$2000 por curso la ecuación del VAN es la siguiente Ecuación 3.2.

$$VAN = -C_0 + \sum_{t=0}^n \frac{F_n}{(1+r)^n} \quad (3.2)$$

Entonces la ecuación del VAN para el análisis de un periodo de 4 años queda:

$$VAN = \frac{F_1}{(1+r)} + \frac{F_2}{(1+r)^2} + \frac{F_3}{(1+r)^3} + \frac{F_4}{(1+r)^4} - C$$

$$VAN = \frac{4000}{(1+0,12)} + \frac{4000}{(1+0,12)^2} + \frac{4000}{(1+0,12)^3} + \frac{4000}{(1+0,12)^4} - 10590$$

$$VAN = 1559,46$$

Entonces como el VAN > 0

La empresa genera beneficio con la realización de este proyecto.

²⁰⁴ Valor Neto Contable

3.10.2. Análisis TIR²⁰⁵

Para realizar el cálculo del TIR tenemos que igualar el VAN=0 y calcular el valor de r (tasa de interés anual) para que el valor neto acumulado sea igual a cero.

$$0 = \frac{F_1}{(1+r)} + \frac{F_2}{(1+r)^2} + \frac{F_3}{(1+r)^3} + \frac{F_4}{(1+r)^4} - C \quad (3.3)$$
$$0 = \frac{4000}{(1+0,12)} + \frac{4000}{(1+0,12)^2} + \frac{4000}{(1+0,12)^3} + \frac{4000}{(1+0,12)^4} - 10590$$

TIR=19.3%

Entonces la rentabilidad del proyecto se encuentra en una tasa de interés anual menor al 19.3%.

3.11. Alcances y limitaciones

Se detalla los alcances obtenidos en el transcurso de realización del proyecto

- Es posible la visualización y monitoreo en tiempo real de las variables inmersas en los procesos de nivel y presión por interconexión inalámbrica Bluetooth utilizando tecnología Schneider Electric.
- Es posible tener seguridades de ingreso utilizando prioridades para cada usuario.
- Flexibilidad de interconexión con equipos que posean interfaz Ethernet.
- Acceso a la visualización de alarmas y de tendencias para todos los usuarios donde se pueda tomar acciones cuando haya alcanzado sus límites máximos y mínimos a través de sus alarmas en alto y bajo ayudadas de una sirena de alerta.

²⁰⁵ Tasa Interna de Rentabilidad

- Interconectar toda una red Ethernet con 5 dispositivos tres controladores lógicos programables y dos pantallas de HMI Red Lion G306.
- Conectar la Touchscreen Red Lion con el PLC Twido TWDLCAE40DRF.
- Es posible escribir y leer datos hacia el servidor utilizando las macros de comunicación.
- Manipulación del PID TwidoSuite en todos sus modos.
- Realizar el HMI mediante el uso de Vijeo Citec propio de Schneider Electric.
- Realizar el HMI con el software Crimson 2.0 para las pantallas Touch.

Las limitaciones encontradas en el proyecto son:

- No disponer de Pantallas Touch de la tecnología Schneider Electric.
- No contar con licencias de funcionamiento de software para TwidoSuite y Vijeo Citec.
- No interconectar el sistema SCADA con otro dispositivo móvil como una Tablet o celular con aplicación bluetooth.
- No realizar una red piconet.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Al culminar este proyecto se cumplió con el objetivo trazado que fue Diseñar e implementar de un Sistema SCADA, utilizando Ethernet Industrial y Bluetooth con Tecnología Schneider Electric para el monitoreo, control y supervisión de las estaciones de Nivel y Presión en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga.
- El sistema implementado facilita monitorear en forma remota y controlar localmente el estado de las estaciones de nivel y presión en tiempo real.
- La tecnología Bluetooth se encuentra en constante investigación a nivel industrial y es poco usada por razones de seguridades, alcance y por perdidas de conexión.
- El sistema SCADA implementado con tecnología inalámbrica Bluetooth clase II, en el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Escuela Politécnica del Ejército tiene un alcance óptimo de trabajo de 15m.
- En la red Ethernet para el monitoreo y control de las estaciones de procesos, se redujo en gran cantidad, la utilización de cables dando una solución a este problema que tienen las redes de datos cableadas.
- El estándar IEEE 802.15.1 (Bluetooth) se encuentra difundido a nivel industrial, mediante Schneider Electric que presenta soluciones inalámbricas en sus equipos industriales mediante el uso de esta tecnología WPAN.
- La combinación Ethernet Industrial y Bluetooth es una nueva alternativa para bajar costos para procesos industriales.

- Las pantallas táctiles Red Lion G306 poseen gran flexibilidad por su interconexión con varios dispositivos industriales de diferentes marcas ya que es compatible con más de 200 protocolos industriales.
- Se demuestra la efectividad del Método de Sintonización por Ziegler y Nichols con ajuste en bucle cerrado en la estación de control de presión al obtener una respuesta rápida y estable.
- En la estación de nivel no se utilizó el método de Ziegler y Nichols por la dificultad de encontrar el tiempo crítico para llegar a encontrar los parámetros PID para que el sistema se estabilice, por lo que resultó efectivo el método del tanteo.
- La red Ethernet presentó ventajas de velocidad de transmisión e intercambio de datos ya que alcanza los Mbps, así como su seguridad de transferencia de datos aun en el caso de perturbaciones electromagnéticas mediante componentes idóneos en la industria, como también ahorro en costos mediante una disminución de los costos de montaje y cableado.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar equipos móviles para nuevas aplicaciones de la comunicación Bluetooth en el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Escuela Politécnica del Ejército extensión Latacunga.
- Implementar una red Piconet colocando como maestro al módulo Modbus Bluetooth VW3A8114 en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Escuela Politécnica del Ejército extensión Latacunga.
- En el sistema SCADA implementado se recomienda utilizar como un sistema de back dentro de un proceso industrial.
- Se recomienda leer los manuales y hojas de especificaciones técnicas de los equipos a utilizar, para de esta forma garantizar una correcta manipulación y evitar daños inesperados por seguridad.
- Para tener una buena calibración de los transmisores inteligentes es recomendable tener instrumentos patrones en el laboratorio.
- Para el intercambio de datos Ethernet se recomienda utilizar en la programación las macros de comunicación y las instrucciones Exchange del TwidoSuite.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Acebedo, S. (2006). *Instrumentación y Control Básico*. México: Ediciones díaz de Santos S.A.
- ✓ Arian, J. (2003). *Como sintonizar un control PID*. México: Arian S.A.
- ✓ Caicedo Eraso, J. C. (2010). *Redes Industriales*. Colombia.
- ✓ Cárdenas, R. (2009). *Diseño electrónico analógico*. Bogotá: Editorial Planeta.
- ✓ Corrales, L. (2007). *Interfaces de Comunicación Industrial*. Quito: epn.
- ✓ Creus, A. (1998). *Instrumentación industrial* (Sexta ed.). Ciudad de México: Alfaomega.
- ✓ Creus, A. (1998). *Instrumentación Industrial*. Chile: Alfaomega.
- ✓ Doebelin, E. (1983). *Measurement Systems* (Tercera ed.). New York: Mc Graw Hill.
- ✓ Duran Acevedo, C. M. (2012). Comunicación inalámbrica basada en tecnología Bluetooth para la automatización de procesos industriales. *El hombre y la maquina*, 26-32.
- ✓ Enríquez, H. (2004). *El ABC de la Instrumentación en el control de Procesos Industriales* (Primera ed.). México: Editorial Limusa.
- ✓ Hernandez, J. (2008). Un vistazo profundo al Bluetooth. *Desvaríos Informáticos*, 35-39.
- ✓ Kaschel, H. (2011). *Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales*. Santiago de Chile.
- ✓ Maloney, T. (2006). *Electrónica Industrial Moderna* (Quinta ed.). Mexico: Pearson Educación.
- ✓ Mazzone, V. (2002). *Controladores PID*. Quilmes: Universidad Nacional.
- ✓ Morris, A. (2002). *Principio de medición e instrumentación* (Primera ed.). Ciudad de México: Pearson Educación.
- ✓ Obando, E. (2009). *Introducción a HMI*. Santiago de Chile: Editec.
- ✓ Perez Quezada, C. (2008). *Qué es el Bluetooth*. Ciudad de México: Editext.

- ✓ Prado, J. C. (2010). *Interconexión en redes de datos y servicios*. Uruguay.
- ✓ Rashid, M. (2004). *Electrónica de Potencia* (Tercera ed.). Ciudad de México: Pearson Educación.
- ✓ Rodríguez, A. (2012). *Sistemas SCADA*. Barcelona: marcombo.
- ✓ Schneider Electric. (2005). *Twido programmable controllers*. Francia: Schneider Electric.
- ✓ Schneider Electric. (2010). Redes Industriales. En *Redes Industriales* (págs. 198-231). Francia: Schneider Electric.
- ✓ Smith, C., & Corripio, A. (1991). *Control Automático de Procesos Teoría y Práctica* (Primera ed.). Ciudad de México: Editorial Limusa.
- ✓ Toro, E. (2007). *Bluetooth*. Buenos Aires: ArgEdi.
- ✓ UPS. (2010). Protocolos de comunicación. *Ciencia y tecnología*, 47-81.

NETGRAFÍA

- ✓ Ali express. (Septiembre de 28 de 2002). *Ali express*. Obtenido de <http://es.aliexpress.com/item/SCH-AUTOMATION-TWIDO-PROGRAMMABLE-CONTROLLER-TWDLCAE40DRF/495253280.html>
- ✓ CINTAL. (19 de Febrero de 2011). *Ministerio de Industrias Bpasicas y Minería*. Obtenido de <http://www.cintal.com.ve/tecnologia/argos/>
- ✓ Control & Automation. (27 de 5 de 2010). *Control & Automation*. Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf>
- ✓ Docentes Electronics. (18 de 11 de 2009). Obtenido de http://docente.ucol.mx/al973170/public_html/tarea6.html
- ✓ er-soft. (4 de 2 de 2010). *Industrial Control & Commnication Systems*. Obtenido de <http://www.er-soft.com/es/noticias/instalaciones-frecuentes-de-automatas-y-redes-de-comunicacion-industrial>
- ✓ Heredia, W. (5 de 6 de 2002). *Rincon del vago*. Obtenido de http://html.rincondelvago.com/redes-de-ordenadores_10.html
- ✓ Instrumentación y Control.net. (19 de 8 de 2013). Obtenido de <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/curso-supervision-procesos-por-computadora/item/272-sistemas-de-control-distribuido-con-fieldbus.html>
- ✓ Interactive Shopping. (27 de 6 de 2010). *Nivo*. Obtenido de <http://www.nivo.co.za/buy~3com.officeconnect.8.port.switch.3c16791c~p15127>
- ✓ Millan, R. (3 de Julio de 2008). *Ramón Millan*. Obtenido de <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/plc.php>
- ✓ Monografías.com. (4 de 9 de 2009). *Monografías.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos53/topologias-red/topologias-red2.shtml>

- ✓ *red lion*. (18 de Junio de 2008). Obtenido de <http://www.redlion.net/Products/HumanMachineInterface/OperatorInterface/G306.html>
- ✓ Rockwell Automation. (14 de 4 de 2009). *Allen Bradley*. Obtenido de <http://ab.rockwellautomation.com/es/networks-and-communications/ethernet-ip-network>
- ✓ Schneider Electric. (22 de Septiembre de 2010). *Schneider On Line*. Obtenido de <http://schneideronline.com.au/accessories/2756-vw3a8114.html>
- ✓ Schneider Electric. (2 de Julio de 2011). *Schneider Electric*. Obtenido de http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/166000/FA166177/en_US/30072-451-39.pdf
- ✓ Tempel group. (24 de 7 de 2011). *Tempel group*. Obtenido de <http://www.ethernetindustrial.es/>
- ✓ Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (25 de 6 de 2012). *UNAD*. Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/2150505/contlinea/leccin_25251__niveles_de_una_red_industrial_y_estndares_de_redes_lan_industriales.html
- ✓ UPS. (19 de 11 de 2009). *DSPACE*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/206/2/Capitulo%201.pdf>
- ✓ Wikipedia. (25 de 6 de 2007). *Wikipedia*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/RJ-45>

ANEXOS

ANEXO A: Glosario de Términos

-A-

Actuador: Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

Adaptador: Dispositivo o aparato que sirve para acomodar elementos de distinto uso, diseño, tamaño, finalidad, etc.

Ajuste: Es la forma en que dos piezas de una misma máquina se acoplan entre sí.

Alarma: Aviso o señal de cualquier tipo que advierte de la proximidad de un peligro.

Analógico: Dicho de un aparato o de un instrumento de medida: Que la representa mediante variables continuas, análogas a las magnitudes correspondientes.

Autómata: Instrumento o aparato que encierra dentro de sí el mecanismo que le imprime determinados movimientos.

-B-

Banda de frecuencia: En radiodifusión y televisión, intervalo de frecuencias entre dos límites definidos, que condiciona su aplicación.

Base de datos: Conjunto de datos organizado de tal modo que permita obtener con rapidez diversos tipos de información.

Batería: Acumulador o conjunto de varios acumuladores de electricidad.

-C-

Cable eléctrico: Cordón formado con varios conductores aislados unos de otros y protegido generalmente por una envoltura que reúna la flexibilidad y resistencia necesarias al uso a que el cable se destine.

Canal: Cada una de las bandas de frecuencia en que puede emitir una estación de televisión y radio.

Conmutar: Cambiar el destino de una señal o corriente eléctrica.

Controlador: Persona que controla.

Corriente eléctrica: Magnitud física que expresa la cantidad de electricidad que fluye por un conductor en la unidad de tiempo. Su unidad en el Sistema Internacional es el amperio.

-D-

Dato: Información dispuesta de manera adecuada para su tratamiento por un ordenador.

Diagrama: Dibujo en el que se muestran las relaciones entre las diferentes partes de un conjunto o sistema.

-E-

Error: Acción desacertada o equivocada.

Esclavo: Dicho de una persona: Que carece de libertad por estar bajo el dominio de otra.

Espectro: Distribución de la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como la longitud de onda, la energía, la frecuencia o la masa.

Estándar: Que sirve como tipo, modelo, norma, patrón o referencia.

Evento: Eventualidad, hecho imprevisto, o que puede acaecer.

-F-

Fiabilidad: Probabilidad de buen funcionamiento de algo.

Fibra óptica: Hilo o haz de hilos de material altamente transparente por el cual se transmite información a grandes distancias mediante señales luminosas.

Flexibilidad: Es la condición que tiene todo material o inmaterial de ser flexible, o sea lo contrario a lo rígido. Es lo que puede sufrir adaptaciones, es maleable, propenso a adaptarse a los cambios y a la movilidad.

-H-

Hardware: Conjunto de los componentes que integran la parte material de una computadora.

Hostil: Contrario o enemigo.

-I-

Inalámbrico: Dicho de un sistema de comunicación eléctrica: Sin alambres conductores.

Interactivo: Que procede por interacción.

Interfaz: Conexión física y funcional entre dos aparatos o sistemas independientes.

Interferencia: Acción recíproca de las ondas, de la cual puede resultar, en ciertas condiciones, aumento, disminución o anulación del movimiento ondulatorio.

Internet: Red informática mundial, descentralizada, formada por la conexión directa entre computadoras mediante un protocolo especial de comunicación.

Intrínseco: Íntimo, esencial.

-M-

Maestro: Persona que enseña una ciencia, arte u oficio, o tiene título para hacerlo.

Mensaje: Recado que envía alguien a otra persona.

Microprocesador: Circuito constituido por millares de transistores integrados en un chip, que realiza alguna determinada función de los computadores electrónicos digitales.

Monitorizar: Observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros fisiológicos o de otra naturaleza para detectar posibles anomalías.

-N-

Nivel: Altura a que llega la superficie de un líquido.

-O-

Ofimática: Automatización, mediante sistemas electrónicos, de las comunicaciones y procesos administrativos en las oficinas.

-P-

Perturbación: Acción y efecto de perturbar o perturbarse.

Preámbulo: Exordio, prefación, aquello que se dice antes de dar principio a lo que se trata de narrar, probar, mandar, pedir, etc.

Presión: Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie. Su unidad en el Sistema Internacional es el pascal.

Proceso: Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.

Propagación: Acción y efecto de propagar.

Protocolo: En informática y telecomunicación, es el conjunto de reglas y estándares que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre entidades que forman una red, como teléfonos o computadoras.

-R-

Radio: Significa 'radiación' o 'radiactividad'.

Remoto: Distante

-S-

Sensibilidad: Capacidad de respuesta a muy pequeñas excitaciones, estímulos o causas.

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

Señal: Variación de una corriente eléctrica u otra magnitud que se utiliza para transmitir información.

Sintonización: Ajuste de la frecuencia de resonancia de un circuito a una frecuencia determinada.

Sistema: Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto.

Software: Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.

Supervisar: Ejercer la inspección superior en trabajos realizados por otros.

-T-

Tendencia: Fuerza por la cual un cuerpo se inclina hacia otro o hacia alguna cosa.

Tensión: Voltaje con que se realiza una transmisión de energía eléctrica.

Topología: Rama de las matemáticas que trata especialmente de la continuidad y de otros conceptos más generales originados de ella, como las propiedades de las figuras con independencia de su tamaño o forma.

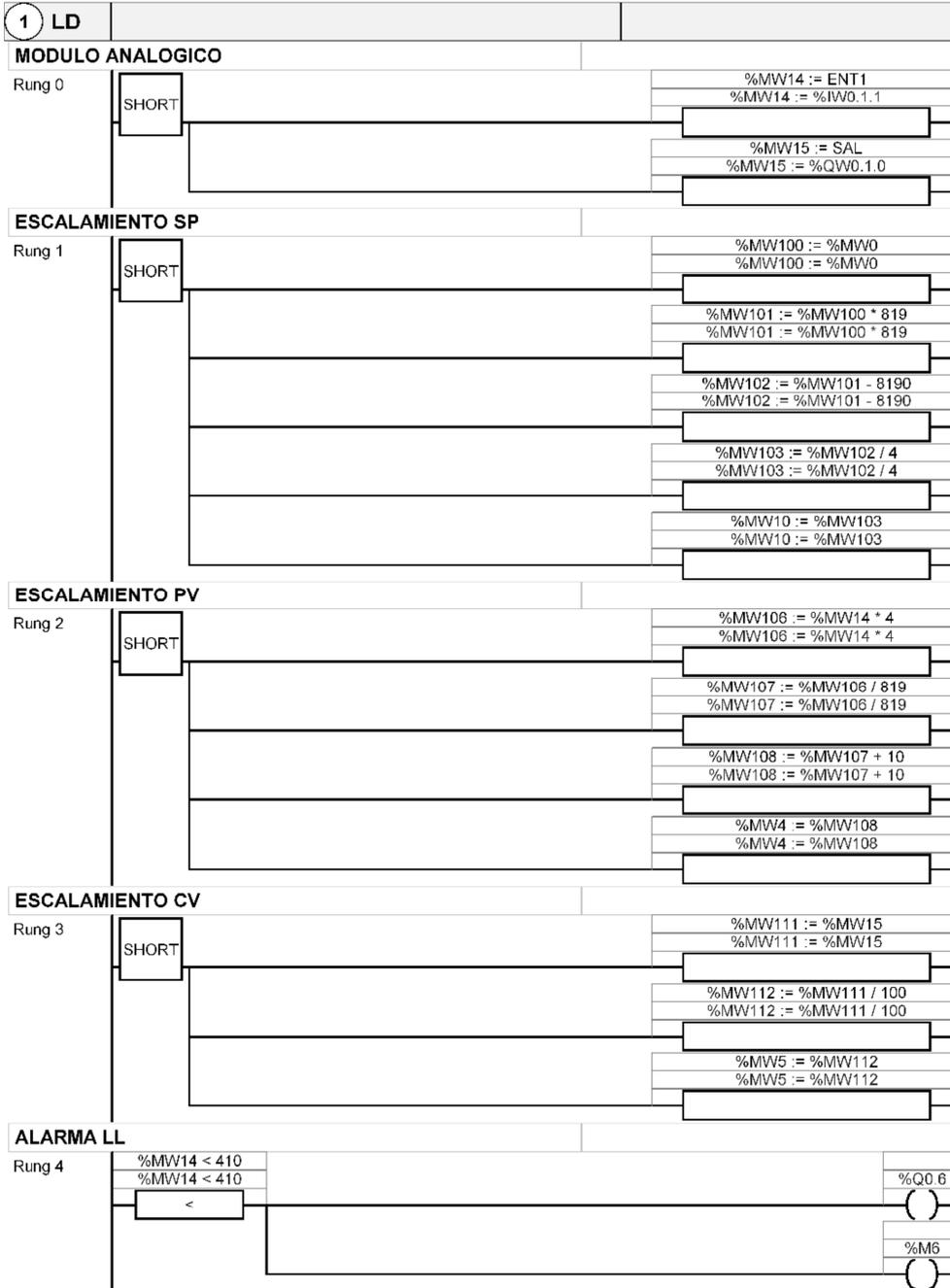
Transductor: Dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.

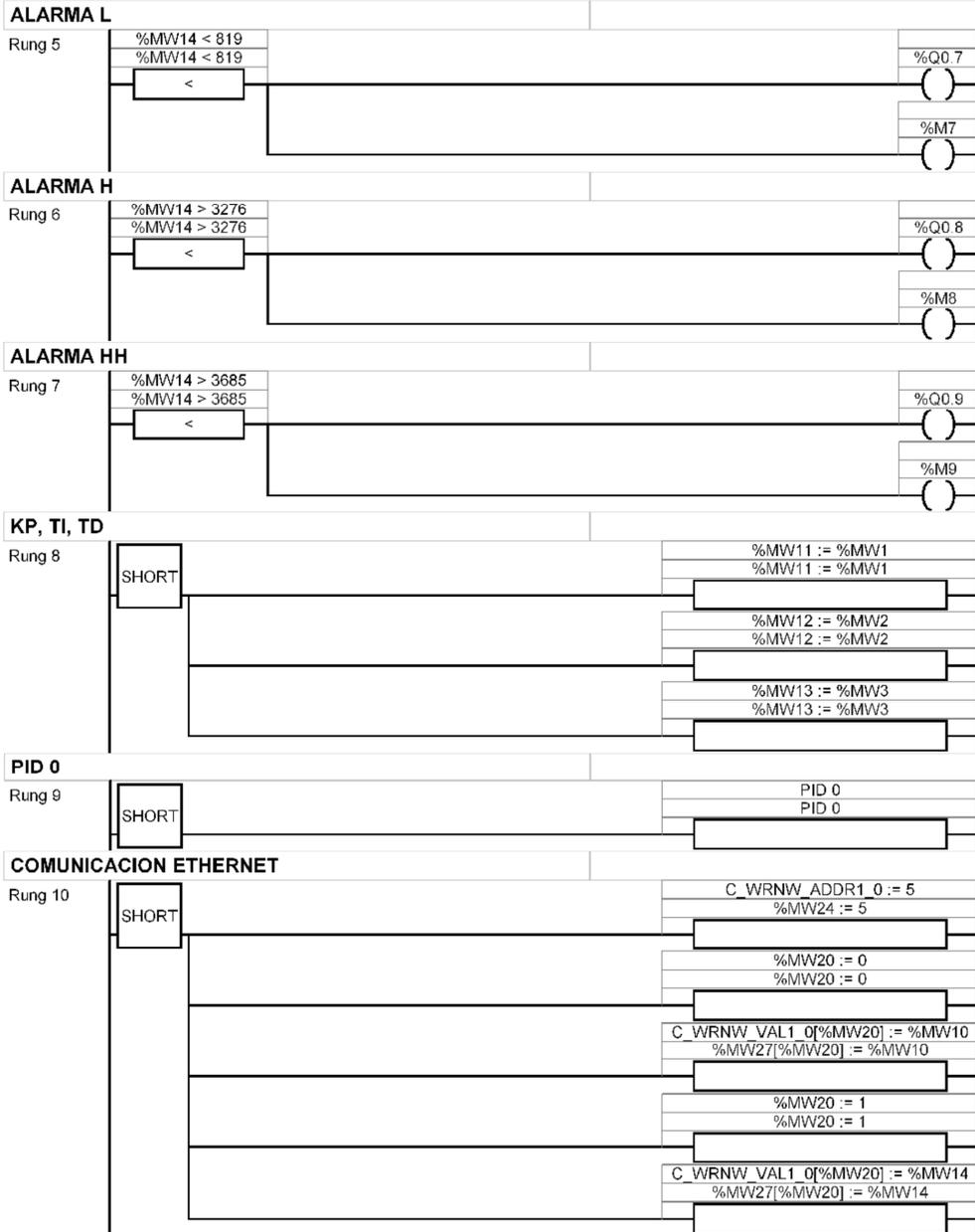
Transmisión: Acción y efecto de transmitir.

-V-

Variable: Que varía o puede variar.

ANEXO B: Programación de Controladores

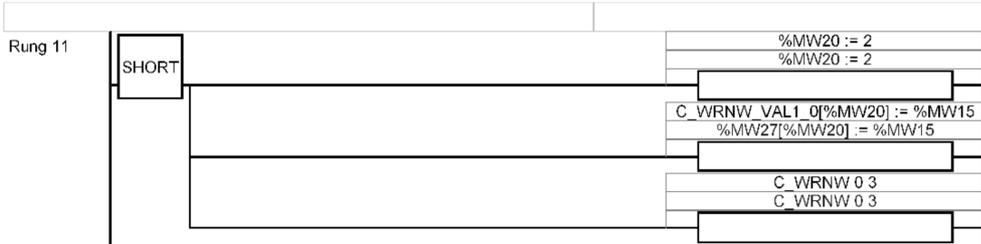


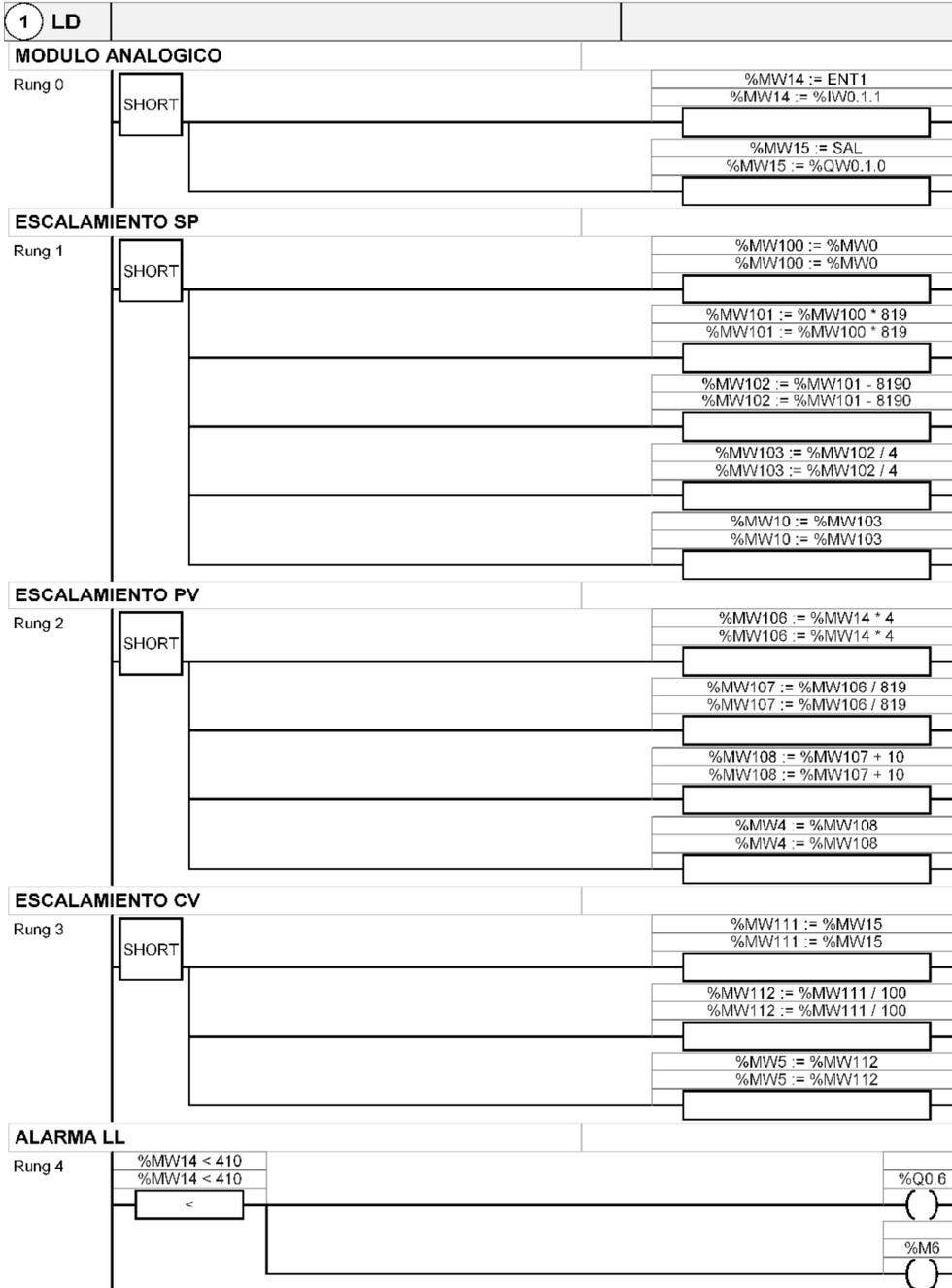


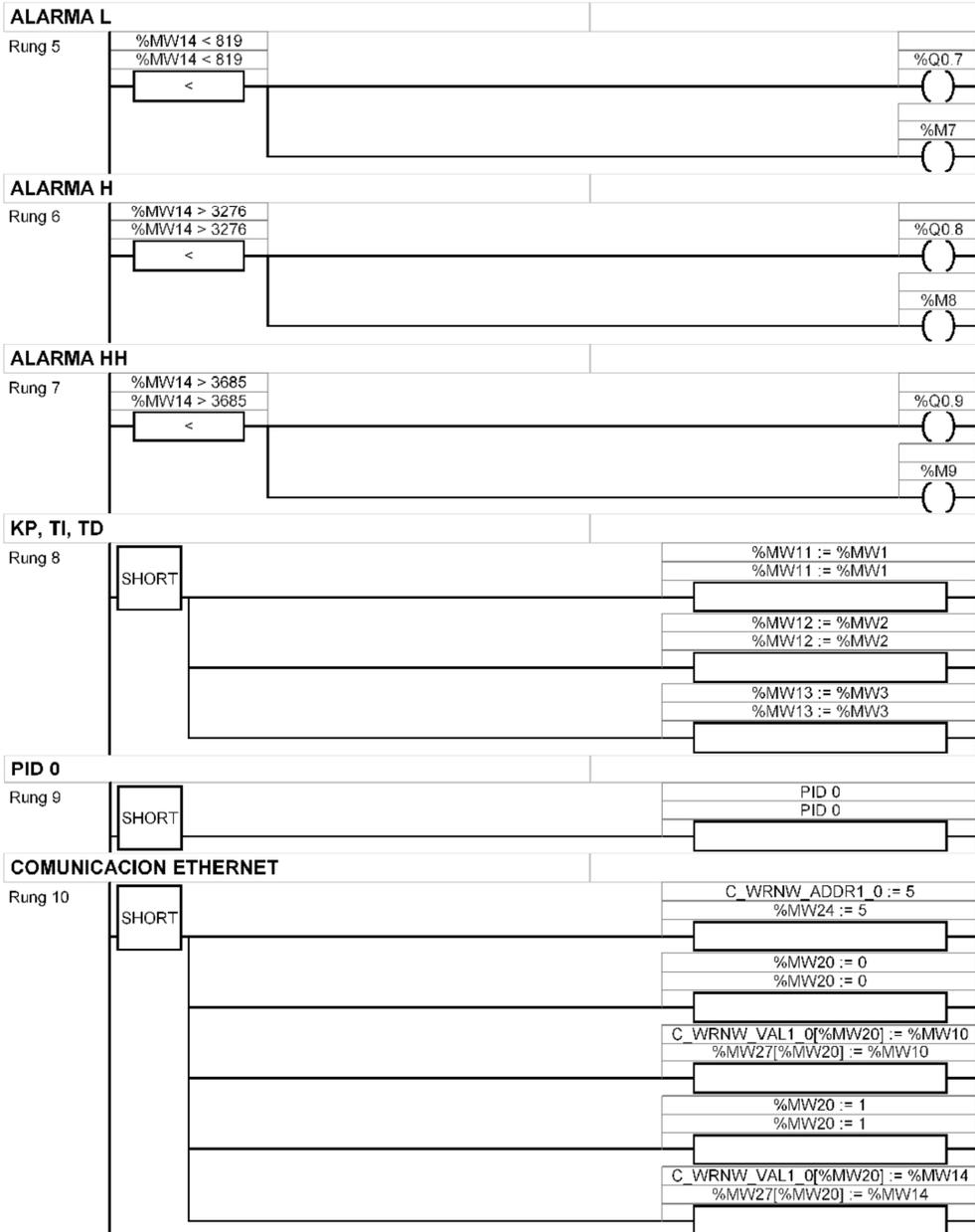
ANEXO B

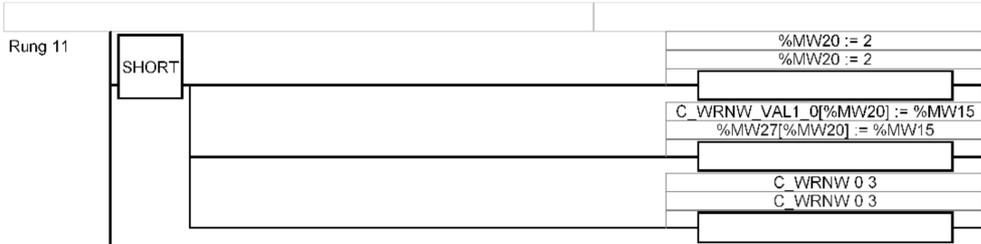
**Diagrama Ladder
Estación de Presión**

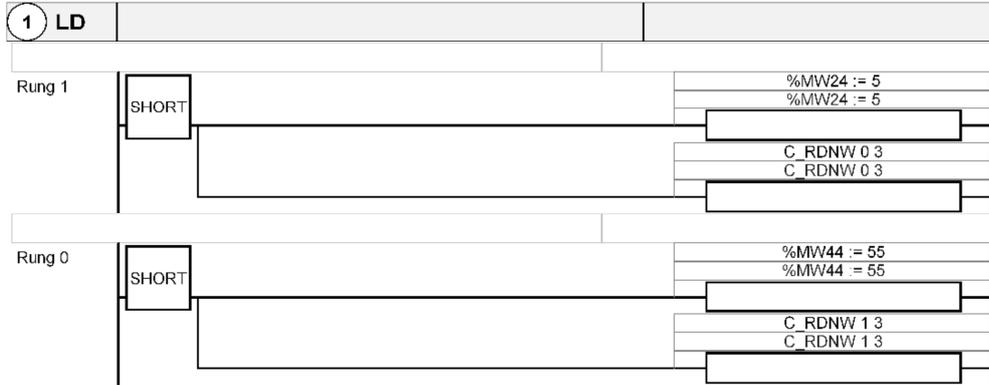
B-1



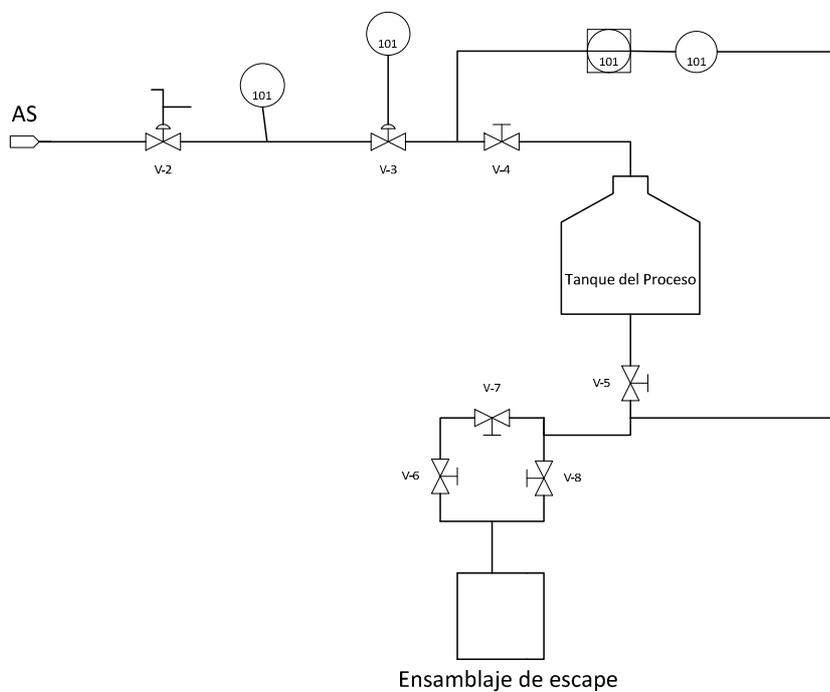


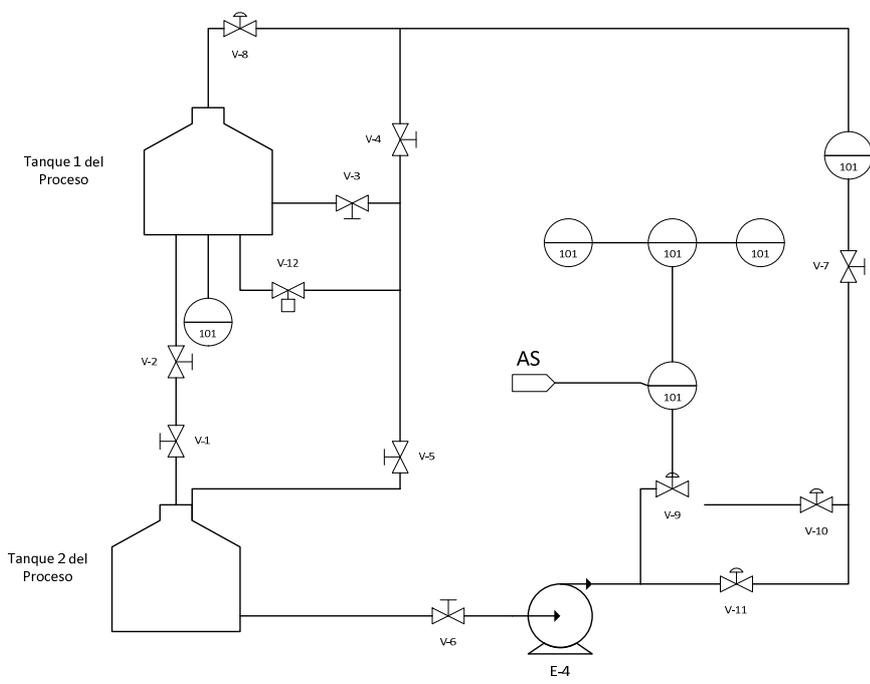






ANEXO C: Diagramas P&ID





AUTORÍA

Latacunga, Abril del 2014

ELABORADO POR:

David Ávila L.
C.C. 0502903628

Vinicio Salguero R.
C.C. 0502904840

APROBADO POR:

Ing. José Bucheli Andrade
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICADO POR:

Dr. Rodrigo Vaca Corrales
**SECRETARIO ACADÉMICO
UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO**