



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO
DIDÁCTICO PARA UNA RED DE COMUNICACIÓN
INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLO ABIERTO MODBUS
RTU – TCP/IP PARA MONITOREO, CONTROL LOCAL Y
REMOTO DE LA ESTACIÓN DE MULTIVARIABLES FÍSICAS,
EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA DE
LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA**

AUTORES: ROBERTO CARLOS LÓPEZ SALAZAR

ERIK ANTHONY MORA LEDESMA

DIRECTOR: ING. WILSON SÁNCHEZ

LATACUNGA

2017



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA UNA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLO ABIERTO MODBUS RTU – TCP/IP PARA MONITOREO, CONTROL LOCAL Y REMOTO DE LA ESTACIÓN DE MULTIVARIABLES FÍSICAS, EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEURÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, realizado por los señores **ROBERTO CARLOS LÓPEZ SALAZAR** y **ERIK ANTHONY MORA LEDESMA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **ROBERTO CARLOS LÓPEZ SALAZAR** y **ERIK ANTHONY MORA LEDESMA** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 23 de Agosto de 2017

ING. WILSON EDMUNDO SÁNCHEZ OCAÑA
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ROBERTO CARLOS LÓPEZ SALAZAR**, con cédula de ciudadanía N° 1804865168 y **ERIK ANTHONY MORA LEDESMA** con cédula de ciudadanía N° 1803777794, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA UNA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLO ABIERTO MODBUS RTU – TCP/IP PARA MONITOREO, CONTROL LOCAL Y REMOTO DE LA ESTACIÓN DE MULTIVARIABLES FÍSICAS, EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 23 de Agosto del 2017

Roberto Carlos López Salazar

C.C.: 1804865168

Erik Anthony Mora Ledesma

C.C.: 1803777794



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ROBERTO CARLOS LÓPEZ SALAZAR** y **ERIK ANTHONY MORA LEDESMA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA UNA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLO ABIERTO MODBUS RTU – TCP/IP PARA MONITOREO, CONTROL LOCAL Y REMOTO DE LA ESTACIÓN DE MULTIVARIABLES FÍSICAS, EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, cuyo contenido, ideas y criterios de diseño son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, agosto de 2017

Roberto Carlos López Salazar

C.C.: 1804865168

Erik Anthony Mora Ledesma

C.C.: 1803777794

DEDICATORIA

A mis hermanos, mis padres y a todas las personas que me han apoyado y han hecho posible que este proyecto se realice

Roberto

Dedico este trabajo a mis padres que siempre estuvieron entregándome el apoyo necesario para poder cumplir mis metas y sobretodo confiaron en mí, a mi hermanito Roberto que siempre ha sido una motivación para seguir adelante; hago una mención especial a mis amigos y a Carla C. que de una u otra manera supieron incentivar me a terminar la carrera como Ingeniero Electromecánico.

Erik

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis padres, mis hermanos, a los compañeros y amigos, especialmente a Erik con quien desarrollé este proyecto con el cual nos ha permitido ampliar nuestros conocimientos y un desarrollo profesional.

Agradezco a los profesores y personas allegadas a la Alma Máter por su dedicación hacia nosotros como estudiantes y su interés para no solo impartirnos el conocimiento sino también para formarnos como seres humanos.

Roberto

Agradezco a Dios, a mi familia y amigos que siempre estuvieron ahí apoyándome, a los docentes que supieron compartir conmigo sus conocimientos tanto humanos como profesionales y a Roberto que siempre fue un buen compañero y sobretodo amigo.

Erik

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	<i>i</i>
CERTIFICACIÓN	<i>ii</i>
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	<i>iii</i>
AUTORIZACIÓN	<i>iv</i>
DEDICATORIA	<i>v</i>
AGRADECIMIENTO	<i>vi</i>
ÍNDICE DE CONTENIDOS	<i>vii</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>xiii</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>xv</i>
RESUMEN	<i>xxv</i>
ABSTRACT	<i>xxvi</i>
CAPÍTULO I	
1 PROBLEMÁTICA	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación e Importancia.....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II	
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1 Redes de Comunicación Industrial.....	4
2.1.1 Introducción.....	4
2.1.2 Ventajas de una red Industrial.....	5
2.1.3 Pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing).....	5
2.1.4 Sistemas de control distribuido.....	6

2.1.5	Acceso a la Red (Modelo OSI)	6
a)	Capa Física	7
b)	Capa de Enlace	8
c)	Capa de Aplicación.....	8
2.1.6	TOPOLOGÍA DE RED	8
a)	Punto a punto	8
b)	Bus	9
c)	Árbol	9
d)	Anillo	10
e)	Estrella	10
f)	Red	11
2.1.7	Modo de dialogo	11
a)	Modo de comunicación Simplex.....	11
b)	Modo de comunicación Half Duplex	11
c)	Modo de comunicación Duplex.....	11
2.1.8	Formas de Organización de Datos	12
a)	Maestro-Esclavo.....	12
b)	Cliente-Servidor.....	12
2.1.9	Interconexión de Redes.....	12
a)	Repetidor.....	13
b)	Puente o bridge	13
c)	Encaminador o router	14
d)	Pasarela o gateway	15
2.2	Buses de Campo	15
2.2.1	Ventajas y Desventajas de los buses de campo	17
a)	Ventajas:.....	17
b)	Desventajas:.....	17
2.3	Protocolo de Comunicación MODBUS	18
2.3.1	Acceso al Medio Modbus.....	18
2.3.2	Modbus dentro de la Pirámide de Automatización.....	19
2.3.3	Modbus TCP/IP	19
2.3.4	Modbus RTU	20
2.3.5	Medio Físico del Protocolo Modbus.....	21
2.3.6	Unidad de datos del Protocolo Modbus (PDU)	22

2.3.7	Códigos de Función Estándares de Modbus	23
a)	Descripción de los Códigos de Función.....	24
b)	Códigos de Error Modbus (Códigos de Excepción)	25
2.3.8	Ventajas y desventajas de Modbus	26
a)	Ventajas:.....	26
b)	Desventajas:.....	26
2.4	Sistemas SCADA.....	27
2.4.1	Arquitectura general de un Sistema SCADA	27
a)	El Hardware	29
b)	El software	30
2.4.2	Componentes de un sistema SCADA.....	31
a)	Configuración	31
b)	Interfase Gráfica	31
c)	Tendencias	32
d)	Alarmas y Eventos.....	33
e)	Registro y archivado	33
f)	Generación de informes	34
g)	Control de Proceso	34
h)	Comunicaciones	35
i)	Tecnologías de comunicación entre aplicaciones	35
2.4.3	Ejemplo de Software SCADA	36
a)	Wonderware InTouch 14	36
b)	DAServer Modicon Modbus TCP (MBTCP).....	37

CAPÍTULO III

3	METODOLOGÍA	38
3.1	Antecedentes Investigativos	38
3.2	Fundamentación Legal	39
3.2.1	Modelo genérico para la evaluación del entorno de aprendizaje de las carreras.....	40
a)	Ambiente institucional.....	40
b)	Laboratorios/ centros de Simulación/ Talleres.....	40
3.3	Variables de Investigación.....	41
3.4	Operacionalización de Variables	41

3.5	Modalidad de la investigación.....	42
3.5.1	Investigación Bibliográfica	42
3.5.2	Investigación de Campo	42
3.5.3	Investigación Experimental.....	42
3.6	Tipos de investigación	43
3.6.1	Investigación Aplicada	43
3.7	Técnicas de recolección de datos.....	43
3.7.1	La observación en laboratorio	43
3.7.2	La encuesta	43

CAPÍTULO IV

4	DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DE LA RED INDUSTRIAL.....	44
4.1	Diseño de la Red	44
4.2	Descripción del Sistema	46
4.2.1	Topología.....	46
4.2.2	Modo de Diálogo.....	46
4.2.3	Interconexión de la Red.....	47
4.3	Descripción de los componentes de la red	48
4.3.1	PLC Schneider TM221CE24R	48
4.3.2	PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24AWB.....	51
4.3.3	Registrador de Energía SIEMENS SENTRON PAC3200.....	54
4.3.4	Convertidor Modbus RTU-TCP/IP DELTA IFD9507	58
4.3.5	Variador de Frecuencia DELTA VFD007E23A	62
4.3.6	Variador de Frecuencia Schneider ATV12H075M2	64
4.3.7	Controlador de Temperatura DELTA DTB4848	67
4.3.8	Pantalla táctil HMI DELTA DOP-B03E211.....	68
4.4	Diseño Mecánico	70
4.4.1	Análisis Estructural computacional del Perfil de Aluminio.....	74
4.4.2	Análisis Estructural computacional la mesa base.....	83

CAPÍTULO V

5	IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL	89
5.1	Introducción	89
5.2	Accionamientos Eléctricos.....	89

5.2.1	Conexión del motor.....	89
5.2.2	Conexión de la PT100	92
5.2.3	Conexión de los dispositivos seriales	93
a)	Conexión del controlador de temperatura.....	94
b)	Conexión del variador Delta VFD-007E723A	95
c)	Conexión del variador Schneider ATV12H075M2	95
5.2.4	Conexión del Convertidor Modbus RTU-TCP/IP Delta IFD9507	96
5.2.5	Conexión del PLC Schneider Modicon TM221CE24R.....	96
5.2.6	Conexión del PLC AB Micro850 2080-LC50-24QWB.....	97
5.2.7	Conexión del medidor de energía SENTRON PAC3200.....	98
5.2.8	Conexión pantalla HMI Delta DOP-B03E211	98
5.2.9	Conexión de los equipos Ethernet por Switch Ethernet.....	99
5.3	Comunicación de dispositivos seriales	99
5.3.1	Programación de variadores DELTA	100
a)	Programación de los variadores DELTA para operación.....	100
b)	Programación de variadores DELTA a través de su línea Serie.....	100
5.3.2	Programación de variador SCHNEIDER	105
5.3.3	Configuración de controlador de Temperatura DELTA.....	107
5.4	Comunicación por el convertidor RTU-TCP/IP	108
5.4.1	Configuración del Convertidor RTU-TCP/IP	108
5.4.2	Comunicación de dispositivos seriales con el convertidor RTU-TCP/IP	112
5.5	Comunicación entre equipos por MODBUS TCP/IP	119
5.5.1	Configuración del Servidor MODBUS TCP.....	120
5.5.2	Configuración de los Clientes MODBUS TCP	125
a)	Configuración del PLC AB Micro850	125
b)	Configuración del SENTRON PAC 3200	131
5.6	Visualización y monitoreo de datos	133
5.6.1	Programación en Intouch (Monitoreo Remoto).....	133
a)	Configuración del ArchestrA SMC (ArchestrA System Managment Console)	133
b)	Programación en InTouch	136
5.6.2	Programación de los HMI (Monitoreo Local)	142

CAPÍTULO VI

6	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROYECTO.....	144
6.1	Montaje de los elementos de la red industrial de comunicación Modbus.....	144
6.2	Prueba de comunicación de control Local (HMI)	144
6.3	Prueba de Comunicación de control Remoto (InTouch)	154
6.4	Encuestas de Evaluación de la Red Industrial Modbus TCP/IP – RTU.....	163
6.5	Guías de Laboratorio	165
	CONCLUSIONES.....	166
	RECOMENDACIONES.....	167
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
	ANEXOS.....	175

ANEXO A: DATOS TÉCNICOS DE LOS EQUIPOS

ANEXO B: CONFIGURACIÓN DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD DELTA

ANEXO C: CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD SCHNEIDER

ANEXO D: CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA DELTA

ANEXO E: FORMATO DE ENCUESTAS DE EVALUACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN MODBUS

ANEXO F: GUÍAS DE LABORATORIO

ANEXO G: INFORMES DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN ANSYS

ANEXO H: PLANO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE COMUNICACIÓN MODBUS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de las capas OSI.....	7
Tabla 2 Comparación entre buses de campo	16
Tabla 3 Características Modbus TCP.....	20
Tabla 4 Características Modbus RTU.....	21
Tabla 5 Bloques de Modelo de Datos de Modbus.....	23
Tabla 6 Códigos de Función Modbus (Function Code)	23
Tabla 7 Códigos de error Modbus.	25
Tabla 8 Operacionalización de variable independiente.....	41
Tabla 9 Operacionalización de variable dependiente	42
Tabla 10 Lista de Elementos de la Red Modbus TCP-IP/RTU	45
Tabla 11 Datos técnicos de controlador TM221CE24R	49
Tabla 12 Dimensionamiento del TM221CE24R.....	49
Tabla 13 Descripción general del TM221CE24R.....	50
Tabla 14 Datos técnicos de controlador Micro850.....	52
Tabla 15 Dimensionamiento del Micro850.....	52
Tabla 16 Descripción general del PLC Micro850.....	53
Tabla 17 Tipo de conexiones Sentron Pac3200	55
Tabla 18 Parámetros Técnicos Medidor de Energía Eléctrica SENTRON PAC3200.....	56
Tabla 19 Dimensionamiento Sentron Pac3200.....	56
Tabla 20 Descripción General Medidor Sentron Pac3200	58
Tabla 21 Descripción general del convertidor IFD9507	59
Tabla 22 Descripción bloque de terminales IFD9507.....	60
Tabla 23 Características del convertidor IFD9507	60
Tabla 24 Datos técnicos VFD-EL	64
Tabla 25 Dimensiones VFD-EL	64
Tabla 26 Características técnicas ATV12H075M2	65
Tabla 27 Dimensiones ATV12H075M2.....	65
Tabla 28 Descripción física del ATV12H075M2	66
Tabla 29 Dimensiones DTB4848	68
Tabla 30 Especificaciones técnicas del DOP-B03E211	69
Tabla 31 Dimensiones de DOP-B03E211	69

Tabla 32 Dimensiones Perfil Aluminio Festo.....	71
Tabla 33 Mesa Base del Módulo didáctico	72
Tabla 34 Características del Perfil de Aluminio 6061	75
Tabla 35 Distribución y pesos de los equipos montados en la Placa de Aluminio	76
Tabla 36 Resultados del mallado del elemento a analizar	79
Tabla 37 Resultados del mallado del elemento a analizar	85
Tabla 38 Pesos a considerar para el análisis de la mesa base.....	85
Tabla 39 Detalle para la conexión del motor de la bomba hidráulica....	90
Tabla 40 Características de la PT100	93
Tabla 41 Registros de forzamiento (Lista de Direcciones) en variadores Delta.....	101
Tabla 42 Acciones del variador Schneider para control de registros .	107
Tabla 43 Datos de temperatura del controlador DTB4848 para forzamiento.	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Modelo de integración de Sistemas de Automatización Industrial	4
Figura 2:	Pirámide de la automatización industrial	5
Figura 3	Sistemas de Control Distribuido.....	6
Figura 4	Estructura de red punto a punto.....	8
Figura 5	Estructura de red tipo bus.	9
Figura 6	Estructura de red tipo Árbol.....	9
Figura 7	Estructura de red tipo Anillo.....	10
Figura 8	Estructura de red tipo Estrella.....	10
Figura 9	Conexión de red tipo Red.....	11
Figura 10	Ejemplo de instalación con repetidor	13
Figura 11	Instalación con puente o bridge.....	14
Figura 12	Instalación con Router o Encaminador	14
Figura 13	Instalación con Pasarela.....	15
Figura 14	Pirámide de automatización por niveles	19
Figura 15	Formato de la PDU.....	22
Figura 16	Estructura básica de un sistema de supervisión y mando	28
Figura 17	Scada, arquitectura básica de hardware.	29
Figura 18	Configuración de Usuarios en SCADA.....	31
Figura 19	Interface gráfica de un sistema de bombeo	32
Figura 20	Gráfica histórica de variables.....	32
Figura 21	Pantalla de alarmas en sistemas SCADA	33

Figura 22	Registro y archivo de alarmas en sistemas SCADA.....	33
Figura 23	Generación de informes en Microsoft Office	34
Figura 24	Control de un proceso mediante InTouch.....	35
Figura 25	Ejemplo de OPC en Cliente-Servidor.	36
Figura 26	Inicialización del Software InTouch 2014	36
Figura 27	Esquema de red Modbus TCP/IP- Modbus RTU.....	45
Figura 28	Topología tipo estrella	46
Figura 29	Diálogo mediante modo de comunicación Half-Duplex	47
Figura 30	Pasarela o Gateway de red	47
Figura 31	Switch de 8 puertos D-Link.....	48
Figura 32	PLC Schneider TM221CE24R	48
Figura 33	Descripción física del TM221CE24R	50
Figura 34	PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24AWB	51
Figura 35	Arquitectura General de los módulos enchufables 2080 ...	52
Figura 36	Descripción física de PLC AB MICRO850 2080-LC50-24AWB	53
Figura 37	Bloque de terminales de salida PLC Micro850.....	54
Figura 38	SETRON PAC3200.....	54
Figura 39	Descripción física Medidor Sentron Pac3200	58
Figura 40	Descripción física del convertidor IFD9507	59
Figura 41	Bloque de terminales de salida del IFD9507	60
Figura 42	Pines de conexión RS-485 del convertidor IFD9507.....	61
Figura 43	Parámetros Modbus externos a configurar.....	61

Figura 44	Variador de Frecuencia DELTA VFD007E23A	62
Figura 45	Descripción física VFD DELTA VFD007E23A	63
Figura 46	Descripción tablero de control VFD DELTA VFD007E23A .	63
Figura 47	Variador de Frecuencia Schneider ATV12H075M2	64
Figura 48	Descripción física del ATV12H075M2	66
Figura 49	Controlador de Temperatura DELTA DTB4848	67
Figura 50	Diagrama de conexiones DTB4848	67
Figura 51	Pantalla táctil HMI DELTA DOP-B03E211	68
Figura 52	Vista frontal pantalla DOP-B03E211.....	69
Figura 53	Vista posterior de pantalla DOP-B03E211	70
Figura 54	Placa perfilada de aluminio marca FESTO	71
Figura 55	Diseño perfil de aluminio con base en SolidWorks.....	71
Figura 56	Diseño de mesa base en Solid Works	72
Figura 57	Diseño del módulo didáctico en SolidWorks	73
Figura 58	Mesa con los diferentes soportes para los elementos en Solidworks	73
Figura 59	Soportes de acero estructural del Perfil de aluminio	74
Figura 60	Distribución de los equipos en el Perfil de Aluminio con base	75
Figura 61	Puntos de aplicación de carga en el Perfil de Aluminio.....	77
Figura 62	Cargas puntuales para el análisis estructural	78
Figura 63	Mallado del elemento a analizar	78
Figura 64	Deformación total del elemento	80
Figura 65	Deformación direccional del elemento	81

Figura 66	Equivalente de Von Mises en el análisis estructural	82
Figura 67	Factor de seguridad del elemento.....	82
Figura 68	Geometría del elemento a analizar	83
Figura 69	Mallado de la mesa base.....	84
Figura 70	Puntos de aplicación de carga en la mesa base.....	86
Figura 71	Deformación total del elemento	86
Figura 72	Deformación direccional del elemento	87
Figura 73	Equivalente de Von Mises en el análisis estructural	87
Figura 74	Factor de seguridad del elemento.....	88
Figura 75	Placa de características del motor de la bomba hidráulica	90
Figura 76	Selección de conductor eléctrico para los motores.....	91
Figura 77	Instrumento de temperatura PT100.....	92
Figura 78	Conexión de la PT100, método de los 3 hilos	92
Figura 79	Conexión de 3 hilos en la PT100 del proyecto	92
Figura 80	Switch para el Bus RS485.....	93
Figura 81	Diagrama esquemático de un bus RS485.....	94
Figura 82	Conexión del controlador de temperatura Delta DTB4848	94
Figura 83	Conexión del variador de frecuencia Delta	95
Figura 84	Conexión del variador de frecuencia Schneider.....	95
Figura 85	Conexión del equipo Delta IFD9507	96
Figura 86	Conexión del PLC Schneider.....	97
Figura 87	Pulsadores para activar y desactivar el programa del PLC Schneider	97

Figura 88	Conexión del PLC AB Micro850	97
Figura 89	Conexión del medidor de energía SENTRON PAC3200	98
Figura 90	Conexión de pantalla HMI Delta B03E211	99
Figura 91	Conexión del switch Ethernet	99
Figura 92	Configuración de los registros a forzar del variador.....	101
Figura 93	Detalle de la configuración de los registros a forzar.....	102
Figura 94	Configuración de la trama de Modbus RTU	102
Figura 95	Detalle de la configuración de la trama de Modbus RTU, capa de enlace	103
Figura 96	Comprobación de comunicación del equipo serie	103
Figura 97	Forzamiento del registro “Command” del variador de frecuencia.....	104
Figura 98	Forzamiento del registro frecuencia del variador de frecuencia.....	104
Figura 99	Comprobación del forzamiento de registros en el equipo	105
Figura 100	Parámetros de comunicación o códigos (Code) para accionamiento del variador Schneider	106
Figura 101	Funciones de los Bits del código CMD.....	107
Figura 102	Búsqueda de equipo conectado a la red a través de DCISoft	109
Figura 103	Selección del dispositivo para su configuración.....	110
Figura 104	Detalle general del IFD9507	110
Figura 105	Configuración de la línea Serie del IFD9507	111
Figura 106	Configuración de dispositivos conectados al equipo IFD9507.....	111

Figura 107 Creación de proyecto nuevo	112
Figura 108 Selección de la pantalla a utilizar.....	113
Figura 109 Configuración del enlace de la pantalla con el puente	114
Figura 110 Selección del controlador conectado a la pantalla.....	114
Figura 111 Establecimiento de dirección IP del puente e ID a controlar	115
Figura 112 Adición de más dispositivos serie para que controle el HMI.....	116
Figura 113 Pantallas creadas para visualizar en HMI.....	116
Figura 114 Acceso a la configuración de botones	117
Figura 115 Selección del enlace del HMI al dispositivo a controlar...	118
Figura 116 Escritura del registro de forzamiento del HMI al dispositivo.....	119
Figura 117 Selección de controlador en el software Somachine.	120
Figura 118 Configuración de IP del PLC1.....	121
Figura 119 Asignación del PLC1 como Servidor Modbus TCP/IP	121
Figura 120 Adición de clientes Modbus TCP/IP	122
Figura 121 Comprobación de la asignación de clientes Modbus TCP/IP	122
Figura 122 Activación del programa del PLC.....	123
Figura 123 Programación de Osciladores.....	123
Figura 124 Configuración del tiempo de los osciladores	124
Figura 125 Bloque para Lectura del Cliente Modbus TCP/IP.....	124
Figura 126 Bloque para escritura del Cliente Modbus TCP/IP.....	125

Figura 127	Visualización de envío y recibo de datos de registros Modbus en el PLC.....	125
Figura 128	Selección del controlador 2080-LC50-24QWB	126
Figura 129	Adición de módulo de entradas análogas 2080-IF4.....	127
Figura 130	Adición del módulo de salidas análogas 2080-OF2.....	127
Figura 131	Configuración de la IP fija del PLC AB-850	128
Figura 132	Diagrama Ladder del PLC AB Micro850	129
Figura 133	Configuración de variables en el PLC AB Micro850.....	129
Figura 134	Asignación de Modbus en el PLC AB Micro850.....	130
Figura 135	Selección de variable para la Asignación de Modbus.....	130
Figura 136	Lista de registros para el monitoreo Modbus	131
Figura 137	Selección de ajuste del equipo desde el menu principal .	132
Figura 138	Selección de comunicación del equipo desde ajustes	132
Figura 139	Edición de la Dirección IP y protocolo de comunicación	133
Figura 140	Selección del DAServer para el control Remoto.....	133
Figura 141	Creación de un objeto para comunicación Modbus en SMC.....	134
Figura 142	Configuración de IP del equipo para monitoreo y control SMC.....	134
Figura 143	Creación de acceso a equipo a control en SMC	135
Figura 144	Creación de etiqueta para acceso a equipo en SMC	135
Figura 145	Creación de nuevo proyecto en InTouch	136
Figura 146	Proyecto creado en InTouch	136

Figura 147	Herramientas de In Touch para la creacion del entorno gráfico.....	137
Figura 148	Propiedades de ventana en InTouch	137
Figura 149	Escritura de ## para acceso a registros Modbus	138
Figura 150	Acceso de ## a las variables Modbus.....	138
Figura 151	Creación de etiqueta “Tagname” de acceso Modbus	139
Figura 152	Acceso al tipo de variable Modbus	139
Figura 153	Selección del tipo de variable Modbus.....	140
Figura 154	Acceso al enlace "Access Name" del SMC	140
Figura 155	Creación de un enlace al SMC.....	141
Figura 156	Configuración del enlace con el SMC.....	141
Figura 157	Direccionamiento del enlace a la variable por Modbus ...	142
Figura 158	Puesta en línea programa en SMC	142
Figura 159	Configuración de comunicación local del proyecto.....	143
Figura 160	Menú de equipos a controlar en el proyecto.....	143
Figura 161	Montaje de los equipos de la red industrial Modbus.....	144
Figura 162	Puesta en línea (Inicio de sesión) del Servidor Modbus ..	145
Figura 163	Descarga del programa del Servidor Modbus	145
Figura 164	Inicialización del Servidor Modbus	145
Figura 165	Activación del programa del Servidor Modbus	146
Figura 166	Visualización de activación del Servidor Modbus	146
Figura 167	Descarga de programa de control local	147
Figura 168	Visualización de valores en la tabla de animación de Servidor	147

Figura 169	Carátula del Proyecto de investigación	148
Figura 170	Menú principal de dispositivos a controlar	148
Figura 171	Arranque y asignación de frecuencia del variador VFD1.	149
Figura 172	Visualización del Variador 1	149
Figura 173	Arranque y asignación de la frecuencia del variador VFD2	150
Figura 174	Visualización del Variador 2	150
Figura 175	Arranque y asignación de la frecuencia del variador ATV12	151
Figura 176	Visualización del Variador ATV12	151
Figura 177	Asignación del Set Point y de los límites (superior e inferior) del Controlador de temperatura	152
Figura 178	Visualización del Controlador de Temperatura	152
Figura 179	Visualización de valores de Voltaje, corrientes (A, B y C) y frecuencia	153
Figura 180	Desactivación del programa del servidor	153
Figura 181	Detención del controlador	154
Figura 182	Carátula del proyecto de investigación	154
Figura 183	Menú principal del programa	155
Figura 184	Pantalla de comunicación con PLC Allen Bradley Micro850	156
Figura 185	Activación de la salida 3 del PLC Micro850	156
Figura 186	Estación del Variador Delta 1 (VFD1)	157
Figura 187	Pantalla de control del VFD1	158

Figura 188	Pantalla de control del VFD2	159
Figura 189	Motor trifásico para pruebas de variadores	159
Figura 190	Display del VFD2 en funcionamiento.....	160
Figura 191	Pantalla de control del ATV12	161
Figura 192	Display del Variador ATV12	161
Figura 193	Pantalla de control del controlador de temperatura DTB4848	162
Figura 194	Pantalla de visualización del Sentron PAC3200	163

RESUMEN

El presente trabajo de titulación describe la implementación de una red de comunicación industrial utilizando protocolo abierto MODBUS RTU – TCP/IP para monitoreo, control local y remoto de variable físicas en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica; se realiza la conexión, cableado, acondicionamiento y configuración de los dispositivos de campo que serán parte de la red. La red consta de dos partes, la primera es la comunicación de dispositivos seriales donde se realiza el accionamiento de los dispositivos de campo a través de los controladores y empleando la forma de organización de datos Maestro/Esclavo con la trama Modbus RTU; en la segunda parte se realiza la comunicación de los equipos Modbus TCP, seguidamente se desarrolla la comunicación de los dispositivos serie con el Convertidor Modbus RTU-TCP/IP por la configuración denominada Bus RS485 Modbus. Para la comunicación entre equipos Modbus TCP/IP, los dispositivos adoptan la forma de organización de datos Cliente/Servidor en Modbus TCP/IP, para lo cual es necesario asignar un Servidor Modbus TCP/IP, el cual será el que comande la red industrial. Finalmente se realiza la visualización y monitoreo de datos en las pantallas HMI (control local) y en un ordenador a través de InTouch (Control remoto). El proyecto tiene como fin el fortalecimiento del aprendizaje de redes de comunicación industriales Modbus, y con esto incentivar a futuros profesionales a adentrarse en el campo de la Automatización y control de procesos.

PALABRAS CLAVE:

- **COMUNICACIÓN INDUSTRIAL**
- **PROTOCOLOS TCP/IP**
- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**
- **SISTEMA SCADA**

ABSTRACT

The present Titling work describes the implementation of an industrial communication network using the open protocol MODBUS RTU - TCP / IP for monitoring, local and remote control of physical variables in the hydrologic and neutronics laboratory; the connection, wiring, conditioning and configuration of the field devices that will be part of the network are made. The network consists of two parts, the first is the communication of serial devices where the field devices are actuated through the controllers and using the Master / Slave data organization form with the Modbus RTU frame; In the second part the communication of the Modbus TCP equipment is performed, then the communication of the serial devices with the Modbus RTU-TCP / IP Converter is developed by the configuration called Modbus Bus RS485. For the communication between Modbus TCP / IP devices, the devices take the form of Client / Server data organization in Modbus TCP / IP, for which it is necessary to assign a Modbus TCP / IP Server, which will be the one that commands the industrial network. Finally, data visualization and monitoring is performed on the HMI screens (local control) and on a computer via InTouch (Remote Control). The project aims at strengthening the learning of Modbus industrial communication networks, and with this, to encourage future professionals to enter the field of Automation and process control.

KEYWORDS:

- **INDUSTRIAL COMMUNICATION**
- **MODBUS RTU**
- **MODBUS TCP / IP**
- **MASTER / SLAVE**
- **MODBUS TCP / IP SERVER.**

CAPÍTULO I

1 PROBLEMÁTICA

1.1 Planteamiento del Problema

El laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga para la Carrera de Ingeniería Electromecánica no dispone de un sistema de comunicación industrial en protocolo abierto, retardando el proceso de enseñanza y aprendizaje de las distintas ingenierías técnicas que hacen uso de este laboratorio, dificultando una formación integral para el futuro profesional. En adición al no contar con esta formación integral la Universidad no puede avanzar hacia un siguiente nivel en la pirámide de automatización que es la ejecución de operaciones de producción y aspectos de distribución, en el área industrial.

Con el fin de impulsar las tecnologías industriales en la industria ecuatoriana hacia su evolución y su vinculación con sistemas ciber-físicos, industria y productos inteligentes, hiperconectividad en lo que se enfoca la Industria 4.0 que pretende la puesta en marcha de fábricas inteligentes las cuales tengan la capacidad de adaptarse a las necesidades y a los procesos de producción con un manejo eficaz de los recursos.

1.2 Antecedentes

El desarrollo tecnológico ha venido de la mano de la revolución industrial y más ahora en el siglo XXI donde los procesos automatizados vienen a ser un pilar fundamental en el desarrollo de un país. La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga con su deber de transferencia de conocimiento impulsa a través de sus carreras el tratamiento de la comunicación y automatización.

Las redes industriales y los protocolos de comunicación están íntimamente relacionados ya que son indispensables para realizar un enlace entre las distintas etapas que conforman el proceso. El protocolo de comunicación es el intercambio de datos de distintos dispositivos que conforman una red. Los protocolos mayormente utilizados en el campo industrial y académico por su facilidad han sido Profibus y Devicenet,

relegando a segundo plano otros como el Modbus el cual se optado por profundizar en este estudio.

Las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga proporcionan a través de su Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica conocimientos básicos a los alumnos de carreras técnicas en el área de redes industriales direccionados a procesos neumáticos e hidráulicos, lo cual permite que el estudiante intuya y se vincule con la industria; con el desarrollo de este proyecto de investigación se fortalece la interacción de los usuarios del laboratorio con la red industrial Modbus.

1.3 Justificación e Importancia

El presente trabajo de investigación está encaminado a cumplir el modelo genérico para la evaluación de carreras de las instituciones de Educación Superior del país evaluado y categorizado por el CEAACES bajo el criterio de la funcionalidad, equipamiento y disponibilidad de Laboratorios del entorno de aprendizaje de carreras.

Las redes industriales brindan la posibilidad de intercambio de información entre equipos que controlan fases sucesivas de un mismo proceso, facilidad de comunicación hombre máquina, uso de una base de datos común.

El protocolo de comunicación Modbus ofrece supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. La Interfaces de Capa Física puede estar configurada en forma serial RTU/ASCII y TCP/IP (AIE, 2012)

Las aplicaciones industriales a las que se enfocará este proyecto son la interconexión local de variables físicas y el control remoto mediante InTouch para controlar el estado del PLC.

A través de este estudio se deja abierta la posibilidad de desarrollar distintos procesos adaptables a una red Modbus TCP/IP con equipos configurables en Profinet y Ethernet industrial en el laboratorio de Hidrónica

y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga fortaleciendo e impulsando el estudio e investigación en protocolos de comunicación industrial.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un módulo didáctico para una red de comunicación industrial utilizando protocolo abierto MODBUS RTU – TCP/IP para monitoreo, control local y remoto de la estación de multivariables físicas, en el Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la ESPE Extensión Latacunga.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características de funcionamiento de las Tramas de comunicación del protocolo Modbus RTU y TCP/IP.
- Análisis y determinación del medio, enlace, protocolo y registros del Protocolo Modbus.
- Implementar en la Red de Comunicación Industrial RTU, variadores, controladores de variables físicas dedicados.
- Implementar en la Red de Comunicación Industrial TCP/IP, controladores y dispositivos I/O multimarcas.
- Interconectar la red de comunicación industrial Ethernet en TCP/IP con una Serial RTU, mediante la configuración de un módulo de conversión.
- Controlar y monitorear mediante un HMI local y remoto, los dispositivos conectados en TCP/IP y RTU.

1.5 Hipótesis

A través del diseño e implementación de la red de comunicación Modbus RTU-TCP/IP se fortalecerá el proceso de aprendizaje de protocolos de comunicación industrial de las áreas del conocimiento en Automática y Robótica impartidas en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Redes de Comunicación Industrial

2.1.1 Introducción

El desarrollo tecnológico ha venido de la mano de la Revolución Industrial (Historia Universal, 2013), debido a los sistemas mecánicos claves para la industria y el desarrollo de los procesos industriales, es en este siglo cuando los sistemas de automatización despuntan por el avance de los sistemas eléctricos y electrónicos con el objetivo de mejorar producción, calidad, disminuyendo los riesgos de personal y de costos, un ejemplo se lo observa en la figura 1.

La aparición de los autómatas programables (PLC, Programmable Logic Controllers) permitió reducir en gran medida la cantidad de material necesario para conseguir controlar una máquina; los controles se programan en su interior y las modificaciones de funcionamiento no significan necesariamente cambios físicos y, además, el tiempo necesario para el mantenimiento se reduce. (Rodríguez, 2013)

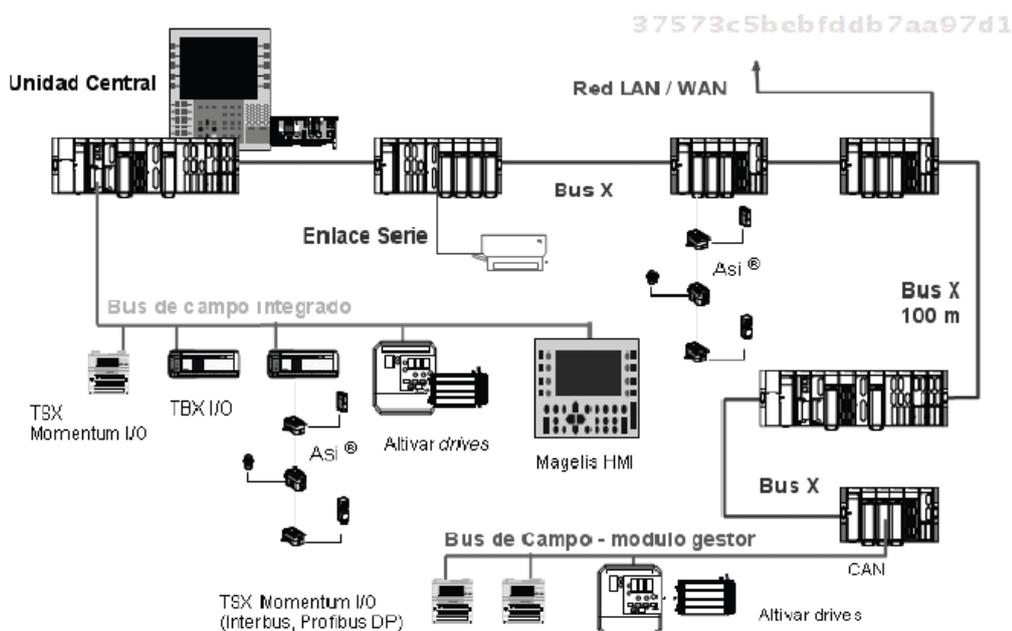


Figura 1: Modelo de integración de Sistemas de Automatización Industrial

Fuente: (Rodríguez, 2013)

2.1.2 Ventajas de una red Industrial

- Supervisión y visualización continua de los procesos interconectados en la red.
- Posibilidad de intercambio de información entre departamentos y sectores diferentes de procesos de manera sencilla.
- Menores necesidades de mantenimiento por lo que hace que el sistema sea más fiable
- Mejores prestaciones del sistema debido a la simplificación en la forma de obtener la información de los procesos, mejorando así la eficiencia.
- Variadas opciones de formas de comunicación según las necesidades mismas del proceso y de la posibilidad de recursos para el mismo. (SMC, 2016)

2.1.3 Pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing)

Existen diferentes niveles en las redes de comunicación de datos, a esto se le llama pirámide de las comunicaciones, figura 2, y está formada por los siguientes niveles (SMC, 2016):



Figura 2: Pirámide de la automatización industrial
Fuente: (SMC, 2016)

- El primer nivel o "nivel de campo" incluye los dispositivos físicos presentes en la industria, como los actuadores y sensores.
- El segundo nivel o "nivel de control" incluye los dispositivos controladores como ordenadores, PLCs, PIDs, etc.

- El "nivel de supervisión" (tercer nivel) corresponde a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).
- En un nivel superior o "nivel de planificación" se encuentran los sistemas de ejecución de la producción (MES).
- La cúspide de la pirámide ("nivel de gestión") la componen los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP). (SMC, 2016)

2.1.4 Sistemas de control distribuido.

El sistema de control distributivo, figura 3, es un sistema de control que es aplicado en procesos industriales con cierto grado de complejidad, desempeñan el control de funciones por medio de una sucesión de equipos de control automático que se encuentran distribuidos en un proceso. Según su arquitectura están formados por múltiples procesadores donde cada uno controla una unidad de proceso por lo tanto en caso de fallo solo esa parte del sistema se queda sin control, este tipo de sistemas posee características de robustez y fiabilidad permitiendo que los dispositivos se comuniquen a grandes distancias sin que la señal transmitida sea dañada por algún ruido (Interfaces de Comunicación Industrial, 2015).

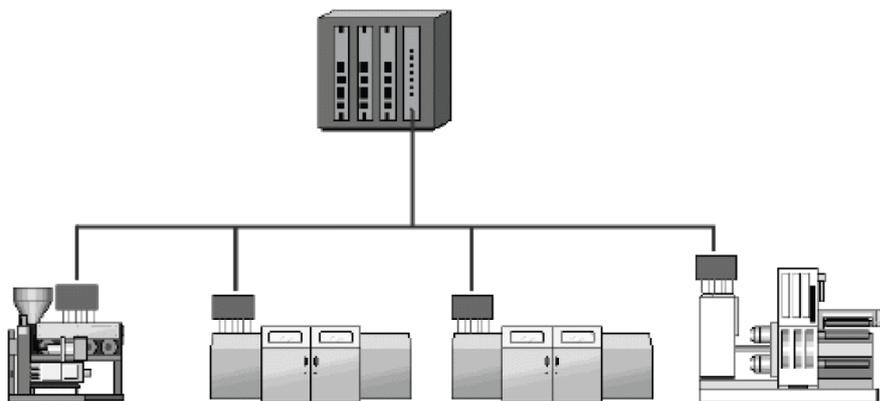


Figura 3 Sistemas de Control Distribuido
Fuente: (Rodríguez, 2013)

2.1.5 Acceso a la Red (Modelo OSI)

La ISO (International Standards Organization) definió en el año 1984 el modelo OSI (Open System Interconnection) o Interconexión de Sistemas Abiertos. Esta arquitectura se basa en un esquema de siete capas o niveles, descritas en la tabla 1 (Rodríguez, 2013).

Tabla 1
Resumen de las capas OSI

Nivel	Nombre	Función	Características (Objetivo)
7	Aplicación (Application Layer)	Funciones de Usuario y servicios de comunicación	RW Start/Stop HTTP, FTP (Intercambio de información: los ficheros)
6	Presentación (Presentation Layer)	Conversión de los datos a un formato común entendible por los equipos	Lenguaje propio del equipo para transmitir y recibir. (Idioma de intercambio: formato encriptado de datos, seguridad y compresión)
5	Sesión (Session Layer)	Control de las sesiones de comunicación (inicio, transcurso y final)	Coordinación y fiabilidad de la transmisión (hablar por turnos)
4	Transporte (Transport Layer)	Garantizar un enlace fiable entre terminales. Formación y gestión de los paquetes de información.	Transmisión segura. TCP, UDP (medio de comunicación: fragmentación y reconstrucción de datos)
3	Red (Network Layer)	Direccionamiento a través de sistemas (routing) y control de flujo.	Comunicación entre redes. IP, ARP (camino utilizados: routing)
2	Enlace de datos (Data Link Layer)	Método de acceso. Control de la transmisión de bits y detección y corrección de los errores.	CRC CSMA/CD Token (Utilización del medio: control de errores, generalización y envío de tramas)
1	Físico (Physical Layer)	Características mecánicas y eléctricas del sistema físico de transporte.	Tipo de cable COAXIAL, PAR (adaptación al medio)

Fuente: (Rodríguez A. , 2013)

A nivel de las comunicaciones industriales las capas más usadas son:

a) Capa Física

Se encarga de la transmisión de bits al canal de comunicación. Define los niveles de la señal eléctrica con la que se trabajara y controla la velocidad de transmisión.

b) Capa de Enlace

Se encarga de establecer una comunicación libre de errores entre dos equipos. Forma la trama organizando la información binaria y la pasa a la capa física.

c) Capa de Aplicación

Es la capa más próxima al usuario y puede ofrecer servicios tales como correo electrónico, acceso a base de datos, transferencia de ficheros, videoconferencia. (Guerrero, 2010)

2.1.6 TOPOLOGÍA DE RED

La topología de las redes industriales es la disposición que forman los equipos y el cableado de los mismos, podemos encontrar las siguientes:

a) Punto a punto

Es un tipo de red que se usa para comunicar dos nodos, figura 4, en éste tipo de topología los dispositivos interconectados actúan como pares o socios iguales, por ejemplo el elemento A puede ser el Maestro y el elemento B el esclavo para enviar un mensaje, pero pueden intercambiar roles según la información que se requiera procesar, esto quiere decir que es un tipo de red versátil (Guerrero, 2010).

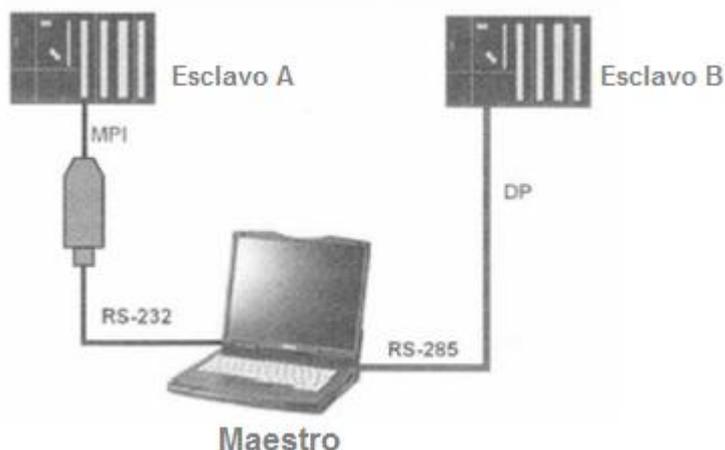


Figura 4 Estructura de red punto a punto.
Fuente: (Guerrero, 2010)

b) Bus

Es un tipo de conexión de red en donde todos los nodos que serán interconectados están conectados a un único canal o circuito común el cual es el medio por donde se transmitirá la información de manera bilateral, figura 5, pero hay que tener en cuenta que un solo mensaje puede ser transmitido a la vez para evitar colisiones (Guerrero, 2010).

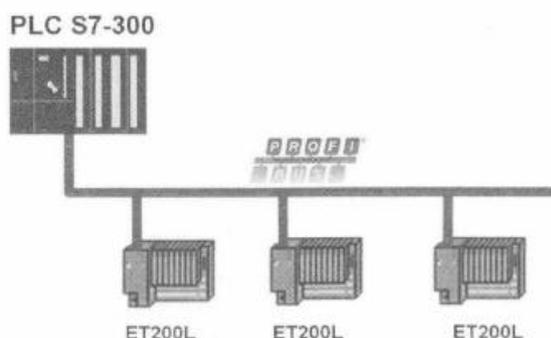


Figura 5 Estructura de red tipo bus.
Fuente: (Guerrero, 2010)

c) Árbol

Es un tipo de conexión en donde su distribución de nodos como su nombre lo indica es en forma de árbol, figura 6, con una punta y una base generalmente interconectadas mediante un switch, cuenta con un cable principal llamado Backbone, que lleva la comunicación a todos los nodos de la red (Guerrero, 2010).

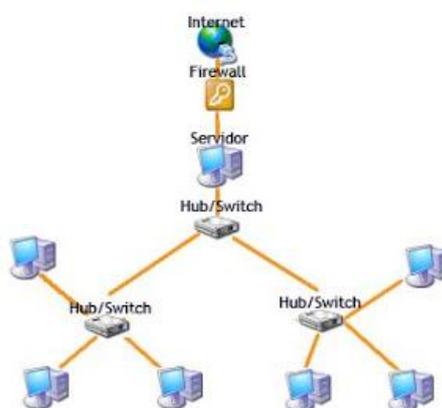


Figura 6 Estructura de red tipo Árbol.
Fuente: (Guerrero, 2010)

d) Anillo

Es un tipo de conexión de red donde la disposición de nodos forman entre sí un círculo, figura 7. La información viaja en un solo sentido, esto significa que si alguno de los nodos deja de funcionar se cae la red por ende no es muy eficaz (Guerrero, 2010).

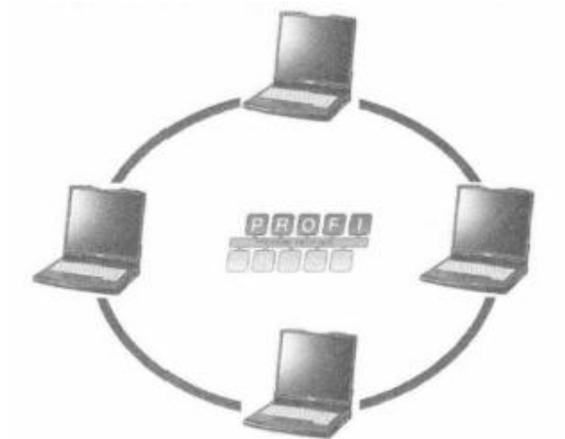


Figura 7 Estructura de red tipo Anillo.
Fuente: (Guerrero, 2010)

e) Estrella

Este tipo de conexión es muy eficaz debido a que su interconexión se la realiza mediante un nodo central o host el cual proporcionará la información a los demás nodos de la red, si algún nodo falla solamente saldrá de la red y el resto del sistema seguirá funcionando. La mayoría de este tipo de redes, figura 8, utilizan un router, un switch o un concentrador como nodo central (Guerrero, 2010).

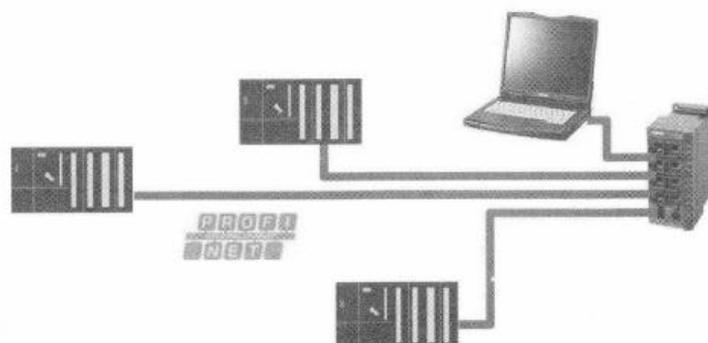


Figura 8 Estructura de red tipo Estrella.
Fuente: (Guerrero, 2010)

f) Red

Este tipo de comunicación tiene como característica principal que todos los nodos están comunicados entre sí, figura 9, no poseen un servidor central, si un nodo falla no ocasionaría problemas para la red. El cableado puede resultar complejo y muy costoso por lo que se prefiere utilizar conexión inalámbrica (wireless) (Guerrero, 2010).

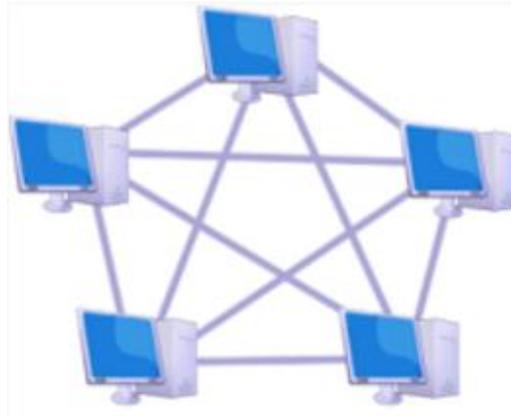


Figura 9 Conexión de red tipo Red.
Fuente: (Rábago, 2015)

2.1.7 Modo de dialogo

Según el tipo de enlace, aparecen tres tipos de diálogo.

a) Modo de comunicación Simplex

El modo simplex es aquel en el cual existe un emisor y un receptor de datos, donde la información fluye del primero al segundo. Se trata de un sistema en lazo abierto (no recibimos datos del elemento al cual se le manda la información) (Rodríguez, 2013).

b) Modo de comunicación Half Duplex

La comunicación se realiza entre dos puntos, en las dos direcciones, pero no de forma simultánea sino por turnos esto quiere decir que solo puede existir un emisor a la vez. Este modo de comunicación emplea Profibus o Modbus (Rodríguez, 2013).

c) Modo de comunicación Duplex

El intercambio de información es bidireccional y simultáneo, hay un canal para emitir y otro para recibir (Rodríguez, 2013).

2.1.8 Formas de Organización de Datos

Los nodos de una red pueden clasificarse también según su forma de gestionar la información en relación a otros nodos, pueden ser:

- Maestro-Esclavo
- Cliente-Servidor
- Productor-Consumidor

a) Maestro-Esclavo

Establece jerarquía entre los equipos a utilizar en donde uno de ellos tiene el control de las comunicaciones de forma temporal o permanente. El Maestro es un autómata que puede leer o escribir sobre los esclavos de la red que controla, el esclavo recibe los mensajes enviados por el maestro y los emite hacia este cuando le llega la orden de hacerlo. Dentro de los esclavos tenemos dos categorías: Activos (PLC's) y Pasivos (Actuadores y sensores) (Rodríguez, 2013).

b) Cliente-Servidor

La organización de los nodos de esta red es más dinámica en relación al anterior forma de organización, el Cliente es el elemento que solicita los servicios a una estación mientras que el Servidor es una estación que proporciona los servicios solicitados, puede ser a su vez un esclavo de la red y una estación puede ser a la vez Cliente y Servidor (Rodríguez, 2013).

2.1.9 Interconexión de Redes

Debido a que un tipo de red requiera ser ampliada o deba poderse conectar a otras redes del mismo o diferente tipo, etc. Para ello existen una serie de dispositivos auxiliares para la interconexión (Rodríguez, 2013), elementos como:

- El repetidor.
- El puente o bridge.
- El encaminador o router.
- La pasarela o gateway.

a) Repetidor

El objetivo del repetidor es la regeneración de las señales eléctricas y garantizar las conexiones entre los elementos de una red. Operan en el nivel 1, físico del modelo OSI, dado que tan sólo vuelven a acondicionar los valores de las señales eléctricas y no intervienen ni en el control de acceso ni en la topología. Hay otros aspectos que impiden un gran número de repetidores, como es la longitud máxima que se puede alcanzar en cada tipo de red. Un ejemplo tenemos en la figura 10. Un repetidor además se puede aprovechar para convertir la norma física (RS-232, RS-422, RS-485, etc.) o bien el sistema de cableado (Coaxial, Par trenzado UTP o FTP, FO, etc.) (Guerrero, 2010).

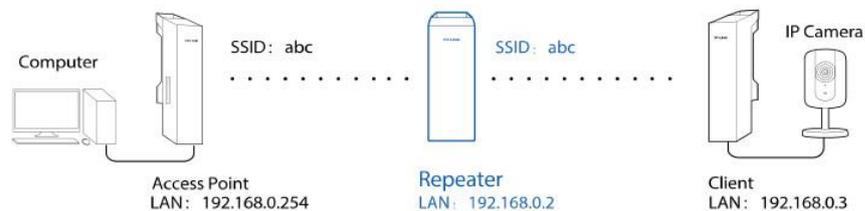


Figura 10 Ejemplo de instalación con repetidor

Fuente: (Repetidor WIFI, 2015)

b) Puente o bridge

Es un equipo de red que realiza una serie de operaciones como almacenar y reenviar información en función del contenido. Su principal aplicación es la de unir dos redes del mismo tipo, estructura y protocolo, como se aprecia en la figura 11. Los puentes o bridge operan en capa de enlace (OSI) nivel 2, es decir, su unidad de operación es la trama de red. Cuando un puente o bridge debe pasar una trama de una red a otra ejecuta las siguientes fases (Guerrero, 2010):

- Almacena en memoria la trama recibida, para su posterior análisis.
- Comprueba el campo de control de errores. Si hay error, elimina las tramas de la red.
- Si no hay errores, reenvía la trama al destinatario.

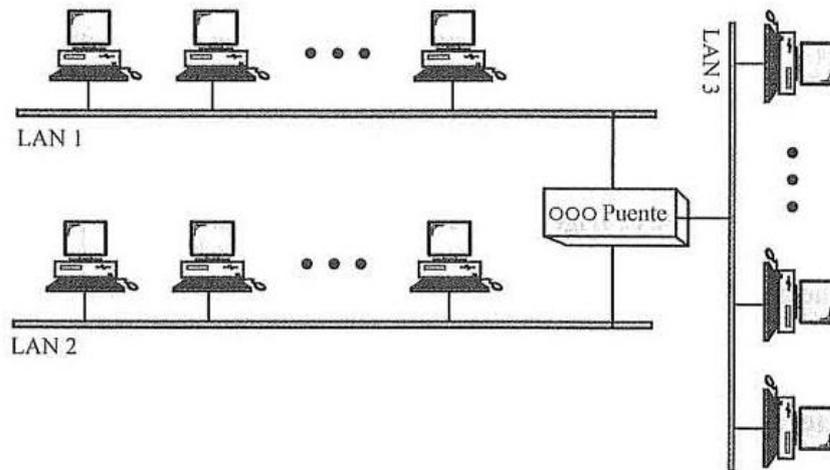


Figura 11 Instalación con puente o bridge.

Fuente: (Dispositivos de red e interconexión de redes, 2014)

c) Encaminador o router

Son dispositivos software o hardware que se pueden configurar para encaminar o convertir paquetes entre sus distintos puertos utilizando la dirección lógica correspondiente (por ejemplo 192.168.0.# en modo Subred tipo C) en la figura 12. El encaminador o router opera en el nivel 3 (OSI) de red. Lo que hace es unir dos redes de diferente configuración o estructura pero que trabajen con el mismo protocolo (Guerrero, 2010)

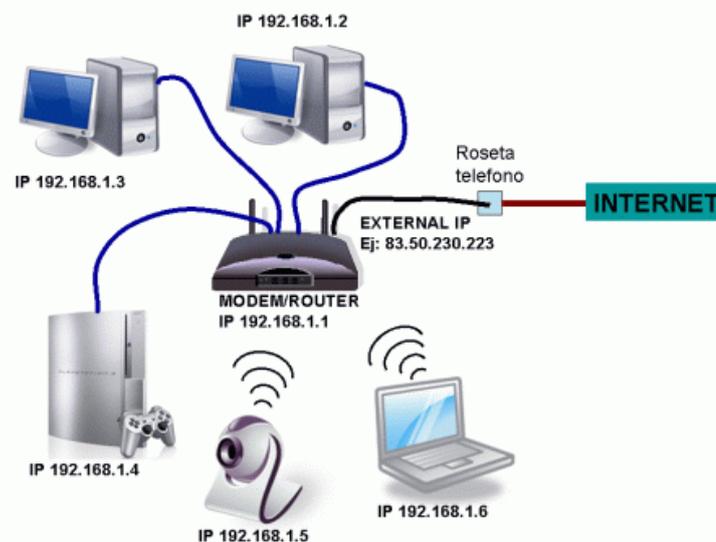


Figura 12 Instalación con Router o Encaminador

Fuente: (Configurar una red doméstica, 2009)

d) Pasarela o gateway

Una pasarela es una puerta de enlace con una red. Lo que hace es unir dos redes que puedan tener diferente estructura (bus, anillo, estrella, etc.), tipo (Ethernet, Master/Slave, etc.) y protocolo (TCP/IP, NetBeui, IPX/SPX, Profibus, Modbus, etc.). Un ejemplo de Pasarela es la figura 13 (Guerrero, 2010). Las funciones de una pasarela son:

- Reconocimiento y almacenamiento de los mensajes correspondientes a las estaciones de la red origen. Estos mensajes se desensamblan en el nivel de transporte.
- Adaptación de los formatos de datos de la red destino.
- Envío del mensaje a la red y estación destino.
- Conexión física de cada uno de los tipos de la red conectados. (Guerrero, 2010)

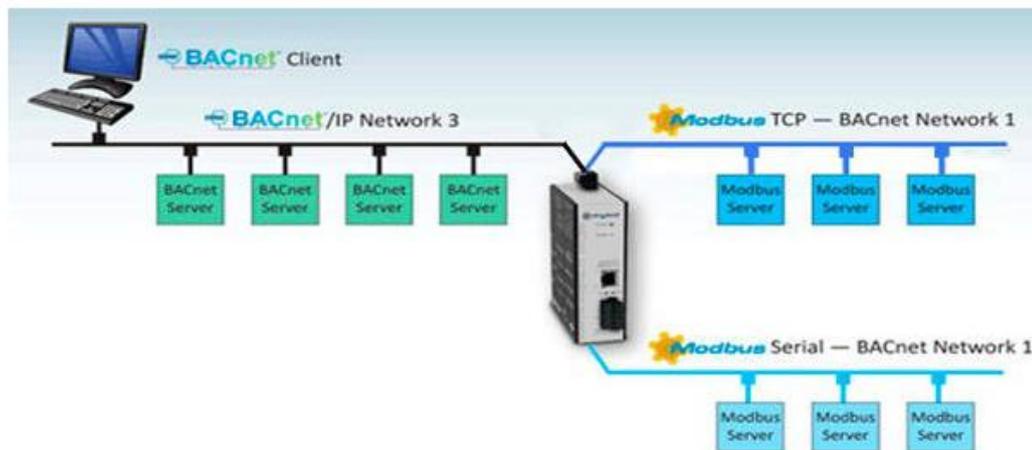


Figura 13 Instalación con Pasarela.

Fuente: (Conectónica, 2014)

2.2 Buses de Campo

Un bus de campo es un conjunto de redes de comunicación o sistema de transmisión de datos que interconecta dispositivos industriales en campo y elementos de control reemplazando al bucle de corriente de 4-20mA utilizado en conexiones punto a punto. Permiten reducir considerablemente los costos de implementación al rebajar la cantidad de cableado a instalar. Se diferencian de los sistemas analógicos, ya que son normalmente redes

digitales, bidireccionales, multipunto montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLC's, transductores, actuadores y sensores. El uso de buses de campo además se adquiere rapidez para transportar Información, facilidad para administrar los elementos de la red y la flexibilidad para distribuir el control. En la tabla 2 se realiza la comparación entre diferentes buses de campo

La elección del bus de campo más adecuado depende de varios factores como son el tamaño de la solución a implementar que depende de la cantidad de dispositivos que se interconectarán, rapidez a la cual se necesita transmitir los datos según sea la criticidad del proceso a controlar, costo de implementación, interoperabilidad con equipamiento y medios de transmisión ya instalados en la empresa, escalabilidad, entre otros. (www.aie.cl, 2015).

Tabla 2
Comparación entre buses de campo

Nombre	Topología	Soporte	Max. Dispositivos	Rango de transmisión BPS	Distancia máx. en Km	Comunicación
Profibus DP	Línea, estrella y anillo	Par trenzado Fibra óptica	127/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Maestro/Esclavo Punto a punto
Profibus PA	Línea, estrella y anillo	Par trenzado Fibra óptica	14400/segm	31.5K	0.1 segm 24 fibra	Maestro/Esclavo Punto a punto
Profibus FMS		Par trenzado Fibra óptica	127/segm	500K		Maestro/Esclavo Punto a punto
Fieldbus HSE	Estrella	Par trenzado Fibra óptica	240/segm 32.768 sist	100M	0.1 segm 2 fibra	Simple/Multi Maestro
Fieldbus H1	Estrella o bus	Par trenzado Fibra óptica	240/segm 32.768 sist	31.25K	1.9 cable	Simple/Multi Maestro
Interbus-S	Segmentado	Par trenzado Fibra óptica	256 nodos	500K	400/segm 12.6 total	Maestro/Esclavo
DeviceNet	Troncal/puntual c/bifurcación	Par trenzado Fibra óptica	2048 nodos	500K	0.5 6 c/rep	Maestro/Esclavo Multi Maestro Punto a punto
AS-I	Bus, anillo, árbol, estrella	Par trenzado	31 p/red	167K	0.1, 0.3 c/rep	Maestro/Esclavo

Modbus RTU	Línea, estrella, árbol, red con segmentos	Par trenzado Coaxial Radio	250 p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Maestro/Esclavo
Ethernet Industrial	Bus, estrella, Malla	Coaxial Par trenzado Fibra óptica	400 p/segm	10, 100M	0.1 100 mono c/switch	Maestro/Esclavo Punto a punto
HART		Par trenzado	15 p/segm	1.2K		Maestro/Esclavo

Fuente: (Buses de campo y comunicacion, 2014)

2.2.1 Ventajas y Desventajas de los buses de campo

a) Ventajas:

- La principal ventaja es la reducción de costos, tanto de instalación, mantenimiento y ahorros derivados del funcionamiento del sistema.
- Existe una reducción significativa en el cableado del proceso, con un estimado en ahorro de cables de 5 a 1.
- Mayor fiabilidad del sistema debido a la reducción de mantenimiento de costes.
- Facilidad en el detecto de fallas de cualquier parte de la red.
- Mayor flexibilidad en el diseño del sistema.
- Mediante los buses de campo se permite la comunicación bidireccional entre los dispositivos de campo y los de control (Buses de campo y comunicacion, 2014).

b) Desventajas:

- Los elementos de los buses de campo pueden ser costosos debido a las ventajas que proveen al sistema.
- Los dispositivos encargados del mantenimiento pueden llegar a tener un alto costo.
- Son sistemas complejos que requieren avanzado conocimiento tanto para la instalación, puesta en marcha y mantenimiento.
- Necesidad de constante capacitación y actualización (Buses de campo y comunicacion, 2014).

2.3 Protocolo de Comunicación MODBUS

El protocolo de Comunicación fue desarrollado por la empresa Modicon, parte de la Schneider Automation. Modbus era un solo protocolo construido en base a serial, por lo que no podía ser dividida en múltiples capas; con el tiempo, diferentes unidades de datos de aplicación fueron introducidas ya sea para cambiar el formato del paquete utilizado a través de serial o para permitir el uso de redes TCP/IP y UDP (User Datagram Protocol). El protocolo de comunicación Modbus actualmente es utilizado para establecer comunicaciones Maestro-Esclavo y Cliente-Servidor con el fin de transmitir señales digitales, analógicas y registros entre dispositivos inteligentes y dispositivos de campo (Modbus.org, 2015).

2.3.1 Acceso al Medio Modbus

La estructura lógica es del tipo maestro-esclavo con el acceso al medio controlado por el maestro, el número máximo de estaciones previsto es de 63 esclavos y una extra para el maestro. Los intercambios de información se pueden dar mediante dos tipos, los punto a punto donde existen solo dos mensajes: una demanda del maestro y una respuesta del esclavo, o también mediante difusión de mensajes lo cual consiste en una comunicación unidireccional del maestro hacia todos los esclavos de la red (Modbus.org, 2015).

La arquitectura de Maestro-Esclavo significa que el Maestro envía un mensaje o solicitud y espera una respuesta del esclavo, lo cual brinda al maestro un control total sobre el flujo de información que circula por la red. En Modbus ésta solicitud de información está formada por tres capas, la primera es la Unidad de Datos de Aplicación (ADU) y existen tres tipos: ASCII, la unidad terminal remota (RTU) y TCP/IP, siendo las últimas dos mencionadas las que se utilizará en el presente proyecto. En cada uno de los ADU mencionados existe una Unidad de Datos de Protocolo (PDU) que es el núcleo del protocolo Modbus donde cada uno tiene un distinto código de función y una respuesta bien definida. Todo sistema está expuesto a errores, a estos se le llaman códigos de excepción de Modbus (Modbus.org, 2015).

2.3.2 Modbus dentro de la Pirámide de Automatización

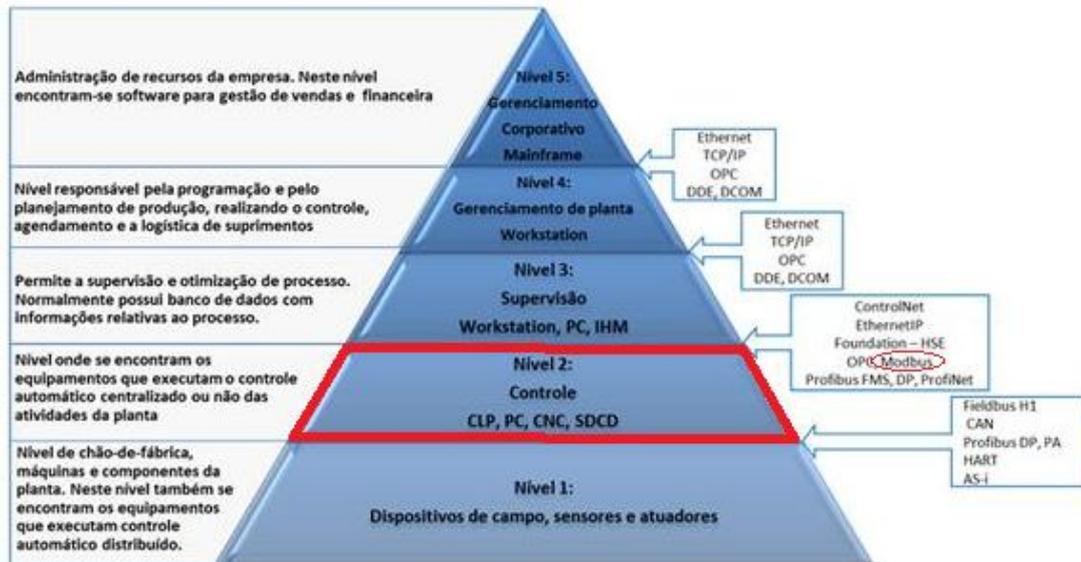


Figura 14 Pirámide de automatización por niveles

Fuente: (Cassiolato, 2016)

En la figura 14 podemos encontrar al protocolo a utilizar en el presente proyecto en el Nivel 2 por utilizarse en controladores y dispositivos de planta que poseen control automático de los sensores y actuadores así como son los PLC'S, pero también se utiliza el Modbus TCP/IP para el Nivel 3 ya que en la supervisión debemos comunicarnos con pantallas a través de este protocolo, mientras que Modbus RTU utilizamos para netamente dispositivos de planta como variadores de frecuencia. Así que Modbus dentro de las redes de comunicación industriales permite la comunicación y conexionado de un PLC con elementos por medio de las entradas y salidas analógicas pero para el siguiente nivel se lo hace mediante la conexión Ethernet del dispositivo.

2.3.3 Modbus TCP/IP

Modbus es un protocolo solicitud / respuesta y ofrece servicios especificado por los códigos de función. Los códigos de función Modbus son elementos Modbus PDU solicitud / respuesta. Este protocolo proporciona un conjunto de funciones para leer y escribir datos en los dispositivos de campo; soporta transferencias de datos bit o word. El rendimiento de una red Modbus-TCP depende altamente del tipo y diseño de la red Ethernet que se utiliza y en el rendimiento de los procesadores en las interfaces de comunicación de los respectivos dispositivos (Modbus.org, 2015).

Modbus-TCP es un enfoque pragmático para utilizar Ethernet como medio de transmisión de datos para aplicaciones de automatización, en resumen sus características están en la tabla 3. El valor adicional de la infraestructura de red (topología en estrella con switches inteligentes) pueden justificarse por las ventajas de Ethernet, tales como el gran número de estaciones en una red y por los beneficios sustanciales debido a las funciones IT adicionales incorporados a Internet, correo electrónico y la transferencia de archivos) que puede utilizar el mismo medio. (Modbus.org, 2015)

Tabla 3
Características Modbus TCP

INFORMACIÓN MODBUS-TCP	
Tipo de red:	Ethernet-TCP/IP basado en la red Cliente/Servidor
Topología:	Muy flexible, con estructuras en estrella, árbol o bus. Todas las topologías que pueden ser implementados con la tecnología Ethernet estándar.
Instalación:	La tecnología de Ethernet 10, 100 o 1.000 Mbit /s estándar basada en alambres de cobre, fibra óptica o accesorios inalámbricos se pueden utilizar.
Velocidad de datos:	10, 100 o 1.000 Mbit /s.
Max. Estaciones:	Casi ilimitada.
Datos:	Desde 1500 Byte por estructura. Total: casi ilimitada.
Funciones de red:	Red simple Cliente/Servidor basada en tecnología Ethernet estándar y los protocolos TCP/UDP/IP en la capa 3-4.

Fuente: (Modbus.org, 2015)

2.3.4 Modbus RTU

Proporciona la comunicación maestro/esclavo entre los dispositivos conectados a diferentes tipos de buses o redes. Modbus RTU (Remote Terminal Unit) significa que el protocolo Modbus se utiliza en la parte superior de una línea serie con RS-232, RS-485 o una interfaz física similar. Cuando los dispositivos se comunican en una línea serie Modbus utiliza RTU, cada 8 bits (byte) en un mensaje contiene dos caracteres hexadecimales de 4 bits. La principal ventaja de este modo es que su mayor densidad de caracteres permite un mejor rendimiento de datos que el modo ASCII para la misma velocidad de transmisión. Cada mensaje debe ser transmitido en un flujo continuo de caracteres. En las redes Modbus basadas

en RS-485, el campo de dirección en el telegrama se utiliza como dirección para un único dispositivo en la red. En resumen se aprecia en la tabla 4 (Protocolo abierto Modbus RTU, 2015)

Tabla 4
Características Modbus RTU

INFORMACIÓN MODBUS-RTU	
Tipo de red:	Sistema de comunicación simple Maestro/Esclavo.
Topología:	RS-232: Conexión punto a punto entre Maestro y esclavo. RS-485: Tipo bus con segmentos de hasta 32 dispositivos. Cada segmento debe tener un inicio y un final.
Instalación:	Cable blindado de par trenzado. Longitud de la línea en función de los medios físicos y velocidad de transmisión.
Velocidad de datos:	Seleccionable por el usuario; dependiendo de los medios físicos. Pueden ser: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 baudios.
Max. Estaciones:	1 Maestro y hasta 246 esclavos.
Datos:	0-252 por estructura.
Funciones de red:	Red simple Maestro/Esclavo para punto a punto (RS-232) o comunicación multipunto (RS-485).

Fuente: (Protocolo abierto Modbus RTU, 2015)

2.3.5 Medio Físico del Protocolo Modbus

Modbus en comunicación serial consiste en el envío secuencial de un bit a la vez de información entre dos o más dispositivos, enviando siempre del bit menos significativo al más significativo en bloques de 8 bits y a una misma velocidad de transmisión donde para la transmisión de datos se la realiza mediante un cable entre ellos y una referencia o tierra.

Existe en la trama de Modbus un bit extra, este es el bit de paridad el cual sirve para detectar errores en las tramas enviadas pero la mayoría de veces es opcional su uso, lo que no ocurre con la velocidad que eso si es algo indispensable en la comunicación entre equipos. La velocidad de transferencia de información indica el número de bits que se transmiten por segundo, la unidad es en baudios y las más usadas son: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200.

El medio físico es decir la comunicación mediante Modbus RS485 se puede utilizar mediante un cable de dos hilos, uno llamado receptor (Rx) y un transmisor (Tx), a este tipo de conexión se la llama modo “half duplex” lo que ahorra el cableado más aún en largas distancias entre dispositivos; existe también la posibilidad de utilizar el modo “full duplex” donde se utiliza un cable de cuatro hilos que agrega una tierra y un común a la conexión para tener mayor robustez en la comunicación. La ventaja de tener el tipo de conexión RS485 es la posibilidad de conectar más dispositivos a la misma red mediante los dos hilos, donde uno de ellos va a ser el Maestro ya hablado anteriormente y los demás serán esclavos (Modbus.org, 2015).

2.3.6 Unidad de datos del Protocolo Modbus (PDU)

La PDU y los códigos que se maneja en esta capa son prácticamente el núcleo del protocolo, el uso de ésta información es lo que permite tener el acceso a los datos, la implementación correcta y el respectivo código de error en el caso de haberlo. El formato está definido por un código seguido por un conjunto de datos asociados el cual no puede exceder a los 253 bytes de tamaño, figura 15. Cada uno de los códigos tiene un significado distinto para que los esclavos puedan entender el mensaje enviado por el Maestro.

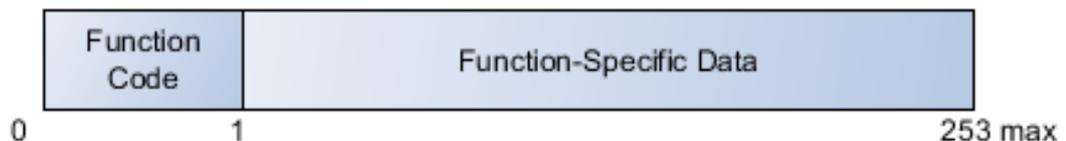


Figura 15 Formato de la PDU

Fuente: (Modbus.org, 2015)

El acceso a los datos se maneja mediante en general por uno de los cuatro tipos de datos: bobinas (salidas discretas), entradas discretas, registros de retención (registros de salida) y registros de entrada, hay que tener en cuenta que el acceso a estos datos es diferente tanto para el maestro como para el esclavo y se lo especifica en la tabla 5:

Tabla 5
Bloques de Modelo de Datos de Modbus.

Modelos de Datos Modbus			
Bloque de Memoria	Tipo de datos	Acceso de Maestro	Acceso de Esclavo
Bobinas	Booleano	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura
Entradas discretas	Booleano	Solo Lectura	Lectura/Escritura
Registros de retención	de Palabra sin signo	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura
Registros de entrada	de Palabra sin signo	Solo Lectura	Lectura/Escritura

Fuente: (Modbus.org, 2015)

La especificación de cada uno de estos bloques contiene un espacio de 65,536 (2^{16}) elementos pero Modbus está definido que vaya desde el 0, lo que quiere decir que la bobina 1 está en el bloque de bobina 0, esto es un dato a considerar. Los rangos de Dirección de datos según el tipo de bloque a utilizar es un sistema donde se utiliza como prefijo un número específico para cada dato como por ejemplo los registros de retención utiliza el número 4, ahora lo que hay que entender es si se utiliza 4XXX, 4XXXX, o 4XXXXX, esto depende del espacio de dirección utilizado por el dispositivo, por ejemplo si utilizamos todos los 65,536 registros, debemos utilizar la anotación 4XXXXX ya que así permitimos el rango de 400,001 hasta 465,536 (Modbus.org, 2015).

2.3.7 Códigos de Función Estándares de Modbus

Tabla 6
Códigos de Función Modbus (Function Code)

Código	Descripción
1	Leer Bobinas
2	Leer Entradas Discretas
3	Leer Múltiples Registros
4	Leer Registros de Entrada

CONTINÚA
→

5	Escribir a Bobina Individual
6	Escribir a Registro Individual
7	Estado de Excepción (Serial)
15	Escribir a Múltiples Bobinas
16	Escribir a Múltiples Registros
20	Leer Registro de Archivo
21	Leer a Registro de Archivo
22	Leer a Registro con Máscara
23	Leer/Escribir Múltiples Registros
24	Leer FIFO

Fuente: (Modbus.org, 2015)

a) Descripción de los Códigos de Función

- **Funciones 1 y 2 (Read Coil Status – Read Input Status):** Esta es la lectura de n bits del autómata tanto de entradas y salidas, la forma de direccionamiento de los bits es a base de dar la dirección de la palabra que los contiene y luego la posición del bit.
- **Funciones 3 y 4 (Read Holding Registers – Read Input Registers):** En este apartado leemos las palabras del autómata donde se especifica el número de palabras a leer.
- **Función 5 (Force Single Coil):** Se refiere únicamente a la escritura de un bit.
- **Función 6 (Preset Single Register):** Se refiere a la escritura de una palabra.
- **Función 7 (Read Exception Status):** Permite la lectura de un byte fijo de un esclavo que es el de excepción y que informa el estado de la comunicación con el equipo.
- **Función 15 (Force Multiple Coils):** Permite la escritura de bits en el autómata o señales discretas de salida, permitiendo pasarlos de un estado a otro según convenga.
- **Función 16 (Preset Multiple Registers):** Permite la escritura de múltiples registros donde se debe especificar la dirección, el número

de valores que queremos actualizar y la lista de valores que queremos asignar a estos registros.

- **Función 20 (Read General Reference):** Este código permite leer el contenido de los registros de la Extended Memory (6XXXX) como por ejemplo en la dirección que pueden estar en alto o bajo.
- **Función 21 (Write General Reference):** Modifica el contenido de los registros de la Extended Memory. (Bartolomé, 2016)

b) Códigos de Error Modbus (Códigos de Excepción)

Los códigos de excepción asocian un error en el protocolo Modbus a diferentes causas detectadas, tabla 7. Hay que tener en cuenta un par de aspectos a contemplar en la comunicación antes de entrar en el detalle de los códigos de error como son:

- Que exista una respuesta correspondiente a la petición del maestro.
- Que el esclavo no reciba la trama de parte del maestro y por ende no exista respuesta.
- El maestro envía un mensaje y el esclavo recibe la información correctamente pero por algún motivo no puede completar la petición.
- El esclavo detecta un error de CRC (Campo de Comprobación de Errores) que es una comprobación de redundancia cíclica en la petición del maestro (Martí, 2015).

Tabla 7
Códigos de error Modbus.

Código	Significado	Descripción
0x01	Función ilegal	El código de función recibido no es una acción permitida para tal esclavo. Esto puede darse ya que el dispositivo es muy antiguo, también podría indicar que el esclavo se encuentra sin configurarse.
0x02	Dirección de datos no válido	La dirección de datos recibida en la consulta no es una dirección permitida para el esclavo. Podría ser que la combinación de número de referencia y la longitud de transferencia no es válida.
0x03	Datos con valor no válido	Un valor de datos no está permitido por el esclavo ocasionando un fallo en la estructura de los datos.

CONTINÚA
→

0x04	Fallo en el dispositivo esclavo	Se da debido a un error interno mientras el esclavo intentaba responder a la petición del maestro.
0x05	Ack	El esclavo recibió el mensaje y lo procesa pero requiere más tiempo de lo que se esperaba entonces emite el mensaje de error de tiempo de espera.
0x06	Dispositivo esclavo ocupado	Como se describe, el esclavo se encuentra realizando otra tarea entonces el maestro debe volver a emitir el mensaje cuando el esclavo esté libre.
0x07	Nack	El dispositivo esclavo no puede realizar la solicitud, el maestro debe solicitar información de diagnóstico.
0x08	Error de paridad en la memoria	El esclavo intentó leer la memoria extendida o un archivo de registro, pero detecta un error de paridad en la memoria.
0x0A	Puerta de enlace ruta no disponible	La puerta de enlace no pudo asignar la comunicación interna del puerto de entrada al de salida. Pasarela mal configurada.
0x0B	Dispositivo de puerta de enlace de destino no respondió	El dispositivo no se encuentra presente en la red ya que no se obtuvo respuesta del dispositivo destino.

Fuente: (Martí, 2015)

2.3.8 Ventajas y desventajas de Modbus

a) Ventajas:

- Es un software libre y disponible para la mayoría de fabricantes.
- Su implementación es relativamente fácil siempre y cuando se tenga la capacitación en redes de comunicación.
- Este protocolo no impone demasiadas restricciones en el manejo de datos.
- Permite un enlace entre el nivel 2 y el nivel 3 en la pirámide de automatización.

b) Desventajas:

- Las mejoras de este protocolo (Modbus Plus) solo pertenecen a la marca Schneider Electric, por lo tanto cuesta.
- Posee restricciones al conectar algunos elementos ya que por ejemplo en Modbus RTU tenemos únicamente dos hilos expuestos a ruido eléctrico,

por lo tanto se debe hacer pruebas para comprobar su funcionalidad correcta.

- En el estándar solo se permiten 254 nodos como máximo.
- Basado en la jerarquía Maestro-Esclavo por lo que no permite comunicaciones no solicitadas previamente.

2.4 Sistemas SCADA

Los Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) comprende el Control con Supervisión y Adquisición de Datos a cualquier software que permita el acceso de datos remotos de un proceso, permitiendo el control del mismo, gracias a las herramientas de comunicación. Es una técnica de control, basada en la utilización de software para la monitorización o supervisión, manejando la interface entre los diferentes niveles de control (PLC) y los de gestión en un nivel superior en la pirámide CIM. Los sistemas SCADA destacan por:

- Funcionalidad completa de manejo y visualización con los ordenadores.
- Arquitectura abierta que permita combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario.
- Sencillez de instalación, sin exigencias de hardware elevadas, fáciles de utilizar, y con interfaces amigables con el usuario.
- Permitir la integración con las herramientas ofimáticas y de producción.
- Fácilmente configurable y escalable.
- Ser independiente del sector y la tecnología.
- Funciones de mando y supervisión integradas (Modbus.org, 2015).

2.4.1 Arquitectura general de un Sistema SCADA

En la automatización el control por el PC hacia la planta de procesos, figura 16, 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).

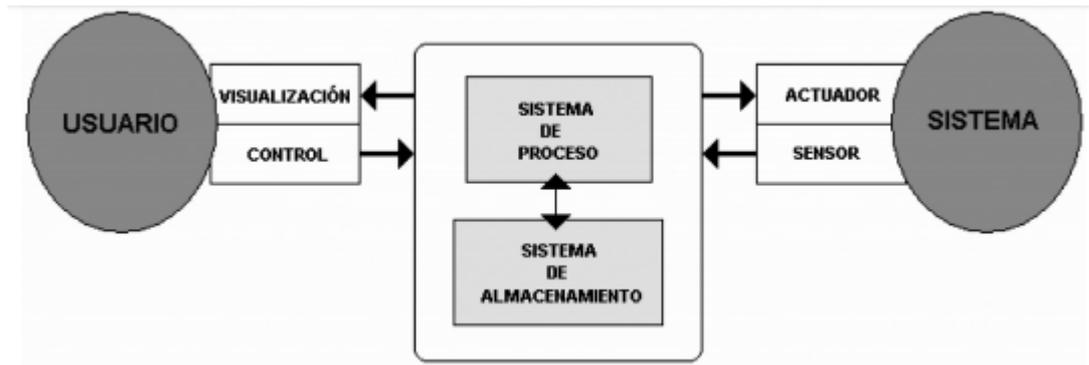


Figura 16 Estructura básica de un sistema de supervisión y mando
Fuente: (Rodríguez, 2013)

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

La transmisión de los datos entre el Sistema de Proceso y los elementos de campo (sensores y actuadores) 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, mediante el software de datos y control, se almacena para disponer de los datos a posteriori, pasando a formar parte de los elementos que permitirán crear estrategias de empresa globales. Aparece el concepto de Fabricación Integral Informatizada (Computer Integrated Manufacturing).

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 RTU (Remote Terminal Units o Unidades Remotas), donde se pueden encontrar elementos tales como controladores autónomos o autómatas programables, y un centro de control o Unidad Central (MTU,

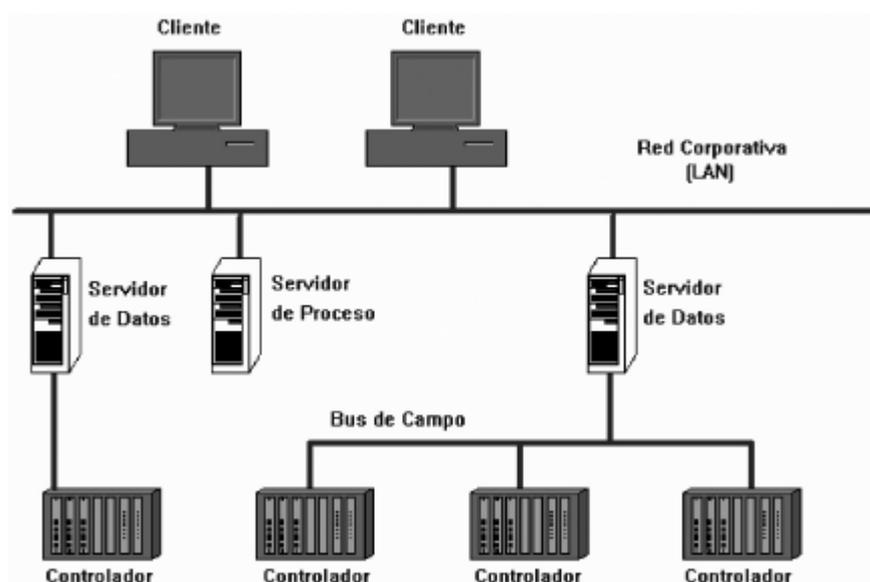
Master Terminal Unit), donde se controla el proceso de forma automática desde la pantalla de uno o varios ordenadores (Rodríguez, 2013).

a) El Hardware

Un sistema Scada, figura17, a escala conceptual, está dividido en dos grandes bloques:

- **Captadores de datos:** recopilan los datos de los elementos de control del sistema (por ejemplo, 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.

Mediante los Clientes los datos residentes en los servidores pueden evaluarse, permitiendo realizar las acciones oportunas para mantener las condiciones nominales del sistema. Mediante los denominados buses de campo, los Controladores de proceso (generalmente autómatas programables o sistemas de regulación) envían la información a los Servidores de datos (Data Servers), los cuales, a su vez, intercambian la información con niveles superiores del sistema automatizado a través de redes de comunicaciones de Área Local.



**Figura 17 Scada, arquitectura básica de hardware.
Fuente: (Rodríguez, 2013)**

Estos sistemas están formados por los siguientes elementos básicos:

- **Interfase Hombre-Máquina (HMI, MMI)** son los Paneles Sinópticos de control y los sistemas de representación gráfica. La función de un Panel Sinóptico es la de representar, de forma simplificada, el proceso bajo control. En sistemas complejos suelen aparecer los terminales múltiples, que permiten la visualización, de forma simultánea, de varios sectores del sistema.
- **Unidad Central (MTU, Master Terminal Unit)** Centraliza el mando del sistema. A través del uso extensivo de protocolos abiertos, permite la interoperabilidad de multiplataformas y multisistemas. De esta manera es posible intercambiar información en tiempo real entre centros de control y subestaciones situadas en cualquier lugar.
Toda esta información que se genera en el proceso productivo se pone a disposición de los diversos usuarios que puedan requerirla. Entre las tareas que están encomendadas a equipos informáticos con funciones específicas y exclusivas como almacenar datos, almacenar archivos, administración y comunicaciones con el sistema.
- **Unidad Remota (RTU, Remote Terminal Unit)** Por unidad o Estación Remota se entiende aquel conjunto de elementos dedicados a labores de control y/o supervisión de un sistema, alejados del centro de control y comunicados con este mediante algún canal de comunicación.

Podemos encontrar varios elementos más o menos diferenciados:

RTU (Remote Terminal Unit) especializados en comunicación.

PLC (Programmable Logic Computer) tareas generales de control.

IED (Intelligent Electronic Device) tareas específicas de control.

b) El software

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 los denominados controladores (drivers) de comunicaciones. En un programa SCADA tenemos dos bloques bien diferenciados:

- **El programa de Desarrollo** engloba las utilidades relacionadas con la creación y edición de las diferentes ventanas de aplicación, así como sus características (textos, dibujos, colores, propiedades de los objetos, programas, etc).
- **El programa de ejecución o *Run-time*** permite ejecutar la aplicación creada con el programa de desarrollo (en Industria se entrega, como producto acabado, el Run-time y la aplicación (Rodríguez, 2013).

2.4.2 Componentes de un sistema SCADA

a) Configuración

En esta parte definimos el entorno según las necesidades que requiera la aplicación. Por lo general la estructura de las pantallas se la organiza de forma lineal o en árbol, también se requiere clasificar los usuarios según la importancia de ellos, creándose grupos y privilegios que limiten su influencia en el sistema. La importancia de tener las pantallas de interface, figura 18, es la cantidad de herramientas con que realizan las tareas comunes de manera fácil y eficaz (Rodríguez A. , 2013).

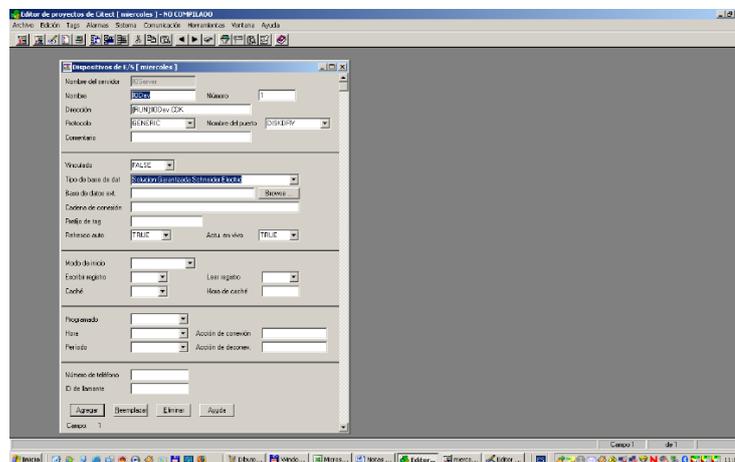


Figura 18 Configuración de Usuarios en SCADA
Fuente: (Lauren, 2012)

b) Interfase Gráfica

Las interfaces gráficas, figura 19, permiten un monitoreo y supervisión de planta mediante la combinación de imágenes y textos mostrados al usuario a través de la pantalla. Gracias a las librerías que poseen los programas, los objetos se pueden relacionar fácilmente según el proceso que deseamos

como por ejemplo una barra indicadora de nivel que mediante animaciones indica al usuario el estado de un tanque (Rodríguez A. , 2013).

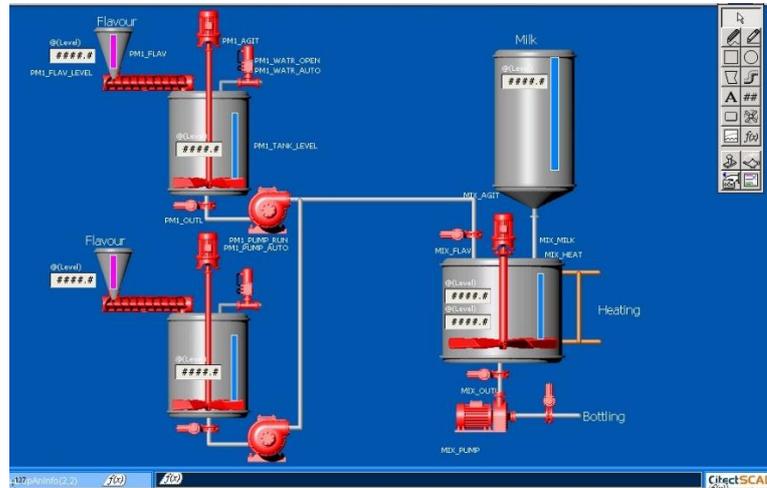


Figura 19 Interface gráfica de un sistema de bombeo
Fuente: (Techdesign, 2011)

c) Tendencias

Las tendencias son las utilidades que permiten representar de forma cómoda la evolución de las variables del sistema, para representar las variables de las puede hacer en tiempo real, con visualización de valores mediante un programa llamado Process Analyst de Vijeo Citect, figura 20 (Rodríguez A. , 2013).

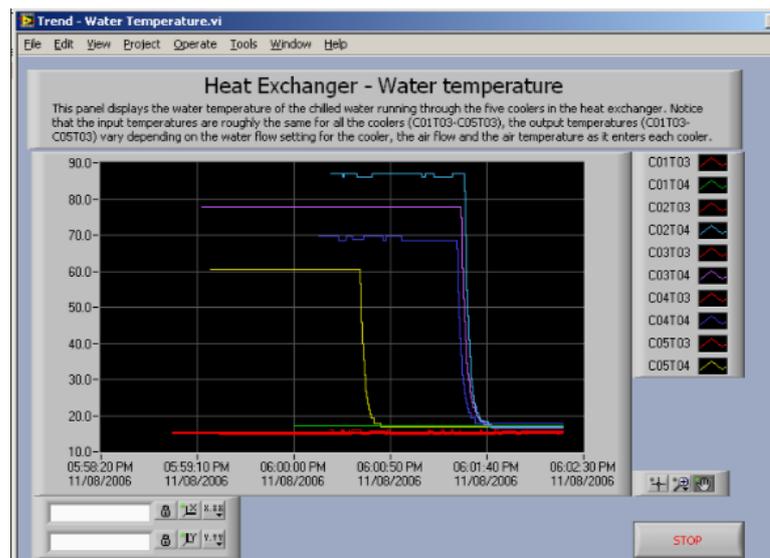


Figura 20 Gráfica histórica de variables
Fuente: (Modbus.org, 2015)

d) Alarmas y Eventos

Las alarmas son los aquellas que se encargan de la vigilancia de los parámetros de las variables que se encuentren en el sistema, figura 21, por lo general son sucesos no deseables que alertan al operador de una situación que pueda alterar el normal funcionamiento del proceso para que este llegue a una solución según la emergencia (Rodríguez A. , 2013).

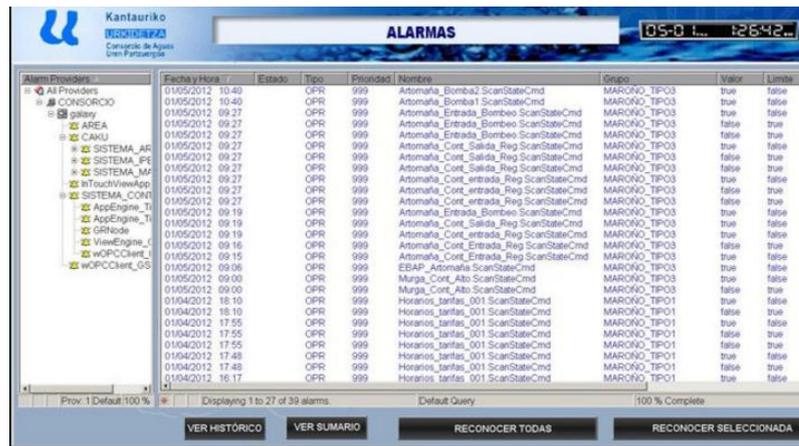


Figura 21 Pantalla de alarmas en sistemas SCADA
Fuente: (Modbus.org, 2015)

e) Registro y archivado

Por lo general cada situación de riesgo de fallo del sistema en donde se activa una alarma, viene acompañado de la situación, el tiempo y el usuario que estaba a cargo del sistema en ese momento, para esto se debe llevar un registro de todos estos acontecimientos, figura 22 (Rodríguez A. , 2013).

Event No	Date Time	User Name	Parent	Child	Info	Value
2	26.01.2013 17:01:01	Administrator	Main Screen	TS_Button_1	Function:OpenS...	Screen_2
4	26.01.2013 17:01:05	Administrator	Screen_2	Button_0	Function:OpenS...	Login
5	26.01.2013 17:01:06	Administrator	Login	Login	User activate	Administrator
6	26.01.2013 17:01:08	Administrator	Screen_2	RecipeView_0	Category changi...	Mould
7	26.01.2013 17:01:09	Administrator	Screen_2	RecipeView_0	Recipe changing	First
17	11.02.2013 15:43:05	Administrator	Main Screen	TS_Button_3	Empty	Screen_4
18	11.02.2013 15:43:09	Administrator	Main Screen	TS_Button_3	Empty	Screen_4
19	11.02.2013 15:43:31	Administrator	Main Screen	TS_Button_2	Empty	Screen_3
20	11.02.2013 15:43:47	Administrator	Main Screen	TS_Button_1	Empty	Screen_2
23	11.02.2013 15:43:58	Administrator	Main Screen	TS_Button_3	Empty	Screen_4
24	11.02.2013 15:44:09	Administrator	Main Screen	TS_Button_1	Empty	Screen_2
25	11.02.2013 15:44:36	Administrator	Main Screen	TS_Button_1	Empty	Screen_2
26	11.02.2013 15:45:05	Administrator	Main Screen	TS_Button_3	Empty	Screen_4
29	11.02.2013 15:46:53	Administrator	Screen_4	TS_Button_3	Empty	Screen_4
31	11.02.2013 15:46:55	Administrator	Main Screen	TS_Button_0	Empty	Main Screen
34	11.02.2013 16:24:53	Administrator	Screen_3	TS_Button_2	Empty	Screen_3

Figura 22 Registro y archivo de alarmas en sistemas SCADA
Fuente: (ScadaSoftware, 2014)

f) Generación de informes

Esta herramienta nos permite como usuarios obtener información referente al estado o las incidencias de una planta, su producción en tiempo real, adquisición de datos e historiales así como la generación y registros de alarmas, todo esto de manera automática para entablar una interacción entre las áreas de producción y el área de gestión; como ejemplo la figura 23 (Rodríguez A. , 2013).

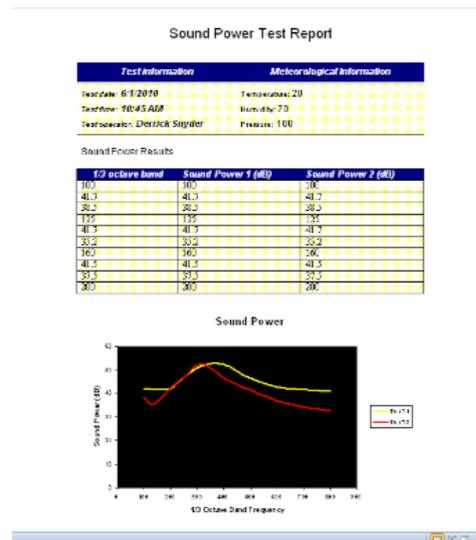


Figura 23 Generación de informes en Microsoft Office
Fuente: (Modbus.org, 2015)

g) Control de Proceso

Se utiliza lenguajes de programación como Java para realizar en el *InTouch*, figura 24, los diferentes controles de los procesos que permitan tener un control sobre los elementos del sistema ya sea mediante una alarma, un correo electrónico o incluso poner en marcha o detener el proceso (Rodríguez A. , 2013).



Figura 24 Control de un proceso mediante InTouch
Fuente: (Valerio, 2012)

h) Comunicaciones

El intercambio de información se lo realiza mediante un sistema de controladores o también llamados autómatas reguladores en conjunto con los ordenadores que se encargan de la recopilación de la información. Estos controladores pueden ser específicos o genéricos, su diferencia está en la de poder conectar dispositivos del mismo fabricante o no, refiriéndose a cierta exclusividad de sus elementos de campo, pero a la práctica es mejor utilizar controladores genéricos los cuales son de tipo abierto cuya idea básica es definir una interface estándar entre elementos de campo y aplicaciones independientemente del fabricante (Rodríguez A. , 2013).

i) Tecnologías de comunicación entre aplicaciones

Es la parte más difícil de solucionar en el campo industrial ya que los diferentes elementos de campo y controladores pueden tener distintos tipos de comunicación, así como distintos fabricantes, para ello los sistemas SCADA utilizan diferentes métodos para adaptar resolver estos problemas. Uno de estos métodos es el de OOP (Programación Orientada a Objetos) lo cual se basa en principios básicos de programación, teniendo distintas estructuras con rasgos diferenciadores entre objetos como por ejemplo el encapsulado, herencia y polimorfismo (Rodríguez A. , 2013).

El OPC (según sus siglas en ingles que significa Vinculación e inserción de objetos para control de procesos) es una plataforma que crea un interface fácil de manejar integrando los distintos hardware y software de los distintos elementos que se encuentren actuando en el proceso, esto lo hace mediante aplicaciones del tipo Cliente-Servidor donde el intercambio de

datos ocurre a través de uno o varios ordenadores. Un esquema a manera de ejemplo se tiene en la figura 25 (Rodríguez A. , 2013).

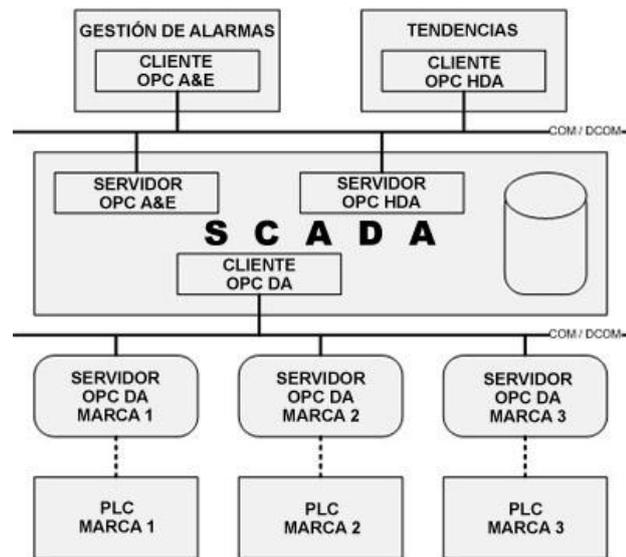


Figura 25 Ejemplo de OPC en Cliente-Servidor.
Fuente: (Aristeguieta, 2015)

2.4.3 Ejemplo de Software SCADA

a) Wonderware InTouch 14



Figura 26 Inicialización del Software InTouch 2014

InTouch (figura 26) es un software de visualización HMI que permite a los operarios tengan una buena interacción con el proceso automatizado a través de gráficos y representaciones, controlando en tiempo real las actividades del sistema. Permite el acceso a los controladores mediante

protocolo Modbus a través de DAServer Modicon Modbus TCP (MBTCP). A continuación algunas funciones que realiza el InTouch tenemos (Modbus.org, 2015):

- Gráficos orientados a objetos.
- Enlaces de animación.
- Asistentes.
- Programación en Scripts.
- Gestión de alarmas distribuidas.
- Datos históricos distribuidos.
- Visualización remota de aplicaciones.

b) DAServer Modicon Modbus TCP (MBTCP)

DAServer son la última adición a la familia de productos de integración de dispositivos de Wonderware. Creado para proporcionar conectividad simultánea entre dispositivos del piso de planta y DDE moderno, SuiteLink™ y/o las aplicaciones basadas en clientes OPC. El DAServer MBTCP de Wonderware es un programa que actúa como un servidor de protocolo de comunicaciones. Este permite que otras aplicaciones de Windows accedan a los datos de los PLC's y otros dispositivos compatibles a través de los puertos Ethernet mediante el protocolo Modbus TCP/IP. (Tubón, 2009)

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 Antecedentes Investigativos

Con el tiempo las industrias manufactureras y plantas de producción en masa van envejeciendo, muchos sistemas de control van disminuyendo su eficiencia y productividad por lo cual la industria necesita actualizarse y adoptar nuevas tecnologías. Hoy en día las empresas conocen el desafío de la competitividad y una constante modernización, esta actualización de la tecnología no debe poner en riesgo la continuidad del proceso industrial y evitar la sobreinversión de capital para asegurar su productividad.

En el Ecuador existen varias empresas dedicadas a brindar soluciones técnicas confiables en el campo industrial con el fin de salvaguardar la seguridad del personal y de los equipos, asimismo mejorando la productividad. Existen tesis e industrias en las que se ha aplicado la automatización siendo estas enfocadas en protocolos de comunicación como Ethernet, Profibus, DeviceNet, ASInterface y Modbus (que ofrece mejorar sus versiones con el tiempo al tratarse de un protocolo abierto) para el control de procesos.

En la tesis “IMPLEMENTACIÓN DE UNA HMI EN LABVIEW DE LAS VARIABLES FÍSICAS DE LA ESTACIÓN DE NIVEL DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL EMPLEANDO UN PLC TWIDO Y UN MÓDULO TWIDO ETHERNET” (2013). Previo la obtención del título de tecnólogo en electrónica mención instrumentación & aviónica el autor Jeynson Amilcar Guanoluisa Tipantuña desarrolla la adquisición de datos de los sensores de nivel y temperatura que posee la estación de nivel mediante el módulo de E/S analógicas del PLC Schneider; para posteriormente proceder a la programación respectiva para el control y monitoreo de procesos, la programación de la HMI en LABVIEW y el montaje respectivo de la red. (Tipantuña, 2013). Este trabajo sirve de referencia en este proyecto, puesto que se utiliza un PLC de la misma marca en una gama anterior a la utilizada.

En la tesis “INTEGRACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES MEDIANTE UNA RED ETHERNET DEDICADA PARA PLC’S DE DIFERENTES FABRICANTES, APLICADA EN CECATTEC (MECATRONICOS)” previo a la obtención del título de ingeniero en sistemas informáticos el autor Wilson Gustavo Chango Sailema se buscó integrar PLCs de diferentes fabricantes, mediante una red ethernet existentes en el laboratorio del Centro de Capacitación y Transferencia Tecnológica (CECATEC) de la ciudad de Ambato, con la finalidad de mejorar su comunicación con miras a ser aplicados en los procesos industriales (Mecatrónica). (Sailema, 2010). Este trabajo ayuda en la comprensión de redes de comunicación en el desarrollo del proyecto.

En el informe de Proyecto de Graduación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SCADA Y TABLERO DE CONTROL DE COMANDO MANUAL/AUTOMÁTICO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCENTRADO SKF PARA NEFROCONTROL S.A.” (2013). Previo la obtención del título de ingeniero en electrónica y control la autora Paola Andrea Erazo Benítez detalla la importancia de los sistemas SCADA para el control del proceso de producción del concentrado ácido SFK 203G. (Erazo, 2013). Al hacer referencia a los sistemas SCADA sirve de apoyo para el proyecto desarrollado.

3.2 Fundamentación Legal

El artículo 173 de la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES), establece que el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES) es el organismo técnico público encargado de ejecutar los procesos de evaluación externa, acreditación y aseguramiento de la calidad de la educación superior, así como de normar el proceso de autoevaluación. En el mismo artículo también se establece que:

Las universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y conservatorios superiores del país, tanto públicos como particulares, sus carreras y programas, deberán someterse en forma obligatoria a la evaluación interna y externa, a la

acreditación, a la clasificación académica y al aseguramiento de la calidad. (CEAACES, 2015)

3.2.1 Modelo genérico para la evaluación del entorno de aprendizaje de las carreras.

Este modelo establece 5 criterios para la evaluación del entorno de aprendizaje de la carrera.

- Pertinencia
- Plan curricular
- Academia
- Ambiente institucional
- Estudiantes

a) Ambiente institucional

Este criterio evalúa el sistema de gestión académica de la carrera y los recursos de apoyo relacionados con bibliotecas y laboratorios, que cumplan con los objetivos para los cuales fueron creados y de esa manera aporten al mejoramiento de la calidad de la educación. (CEAACES, 2015)

Este criterio contiene 3 subcriterios que son:

- Gestión Académica
- Fondo Bibliográfico
- Laboratorios/ Centros de simulación/ Talleres

b) Laboratorios/ centros de Simulación/ Talleres

“Este subcriterio evalúa los laboratorios/ centros de simulación y/o talleres, que deben ser funcionales, debidamente equipados y con espacios/equipos suficientes en relación con el número de estudiantes para garantizar el adecuado desarrollo de las actividades académicas planificadas” (CEAACES, 2015).

Este subcriterio tiene tres indicadores:

- **Funcionalidad:** “Este indicador evalúa las condiciones físicas y de seguridad que disponen los laboratorios/centros de simulación/

talleres de la carrera, que faciliten el desarrollo de las actividades prácticas planificadas” (CEAACES, 2015).

- **Equipamiento:** “Este indicador evalúa la existencia, condiciones y características del equipamiento básico de cada uno de los laboratorios / centros de simulación / talleres de la carrera, que garanticen la consecución de los objetivos de las prácticas y actividades planificadas” (CEAACES, 2015).
- **Disponibilidad:** “Este indicador evalúa la cantidad de equipos instalados, mobiliario e insumos disponibles en los laboratorios/centros de simulación/ talleres, en relación con el número de estudiantes que hacen uso de los mismos” (CEAACES, 2015).

Estos subcriterios: (Funcionalidad, Equipamiento y Disponibilidad) van a ser evaluados por parte de los estudiantes, docentes y usuarios del presente proyecto, mediante encuestas y resultados de las actividades planificadas con la Red industrial implementada.

3.3 Variables de Investigación

Variable Independiente: Diseño e implementación de un módulo didáctico para una red de comunicación industrial utilizando protocolo abierto MODBUS RTU – TCP/IP.

Variable Dependiente: monitoreo, control local y remoto de la estación de multivariables físicas, en el Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

3.4 Operacionalización de Variables

Tabla 8

Operacionalización de variable independiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Diseño e implementación de un módulo didáctico para una red de comunicación industrial utilizando	El módulo didáctico es un equipo de pruebas que interconecta los equipos de la red de comunicación industrial, para el control y monitoreo	Configuración de la red RTU - TCP/IP	Software de programación Fundamentos de programación
		Programación de los PLC's	Software de programación Fundamentos de programación

CONTINÚA
→

protocolo abierto MODBUS RTU – TCP/IP	de la estación	Programación del	Software de
	multivariables del	convertidor Modbus	programación
	laboratorio de	TCP/IP – RTU	Fundamentos de
	Hidráulica y		programación
	Neutrónica	Diseño de los HMI's	Software de
			programación

Tabla 9
Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Monitoreo, control local y remoto de la estación de multivariables físicas, en el Laboratorio de Hidráulica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga	El monitoreo local y remoto nos permite analizar el comportamiento que ejerce la presión, el nivel y la temperatura en la estación multivariables del laboratorio	Programación de los variadores de velocidad Programación del controlador de temperatura Programación del medidor de energía	Parámetros de comunicación

3.5 Modalidad de la investigación

3.5.1 Investigación Bibliográfica

En el desarrollo del presente proyecto se hará selección, recolección, análisis y uso de libros, documentos, artículos y demás fuentes bibliográficas para identificar y acceder a información de redes industriales para su posterior ejecución.

3.5.2 Investigación de Campo

La investigación se la desarrollará en el laboratorio de Hidráulica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga puesto que en el lugar se encuentran procesos a controlar con el proyecto a implementar para sus posteriores análisis y estudios que se puedan relacionar en el campo.

3.5.3 Investigación Experimental

El proyecto de investigación mediante actividades metódicas y técnicas está encaminado a la aplicatividad de la red industrial en protocolo Modbus entre equipos que controlan fases de un mismo proceso. La interacción entre

los diferentes equipos del módulo y los elementos aplicables en laboratorio. Se obtuvo información a través de pruebas de ensayo y error en los equipos, en base a la teoría de redes industriales y se modificó ciertas variables adecuándose al proyecto de investigación para su implementación.

3.6 Tipos de investigación

3.6.1 Investigación Aplicada

Con el presente proyecto de investigación se pretende renovar el proceso de aprendizaje de los estudiantes, mediante la actualización del laboratorio de Hidrónica y Neutrónica al implementar un módulo didáctico para el aprendizaje de redes de comunicación industrial con protocolo abierto Modbus para procesos aplicables en campo de manera local y remota.

3.7 Técnicas de recolección de datos

Para el presente proyecto de investigación se consideran varios indicadores para su respaldo, las técnicas más adecuadas para este estudio son las siguientes:

3.7.1 La observación en laboratorio

La observación en el laboratorio es una técnica que no se la puede deslindar de este proyecto de investigación, ya que el método experimental en la red de comunicación industrial es un punto clave y lo cual se lo debe necesariamente sustentar con la observación, síntesis y análisis del comportamiento de la red mientras se desarrolla el proyecto y para posteriores estudios aplicables.

3.7.2 La encuesta

Esta técnica será de utilidad tanto durante como después de la implementación de la red de comunicación industrial como instrumento para la recolección de datos, reforzamiento de conocimiento, así como para tener una perspectiva más amplia de la influencia que tiene o tendrá el proyecto una vez realizado.

CAPÍTULO IV

4 DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DE LA RED INDUSTRIAL

4.1 Diseño de la Red

La red industrial Modbus a implementar se la puede observar en el esquema mostrado en la figura 27 consiste en dos partes, la primera parte será configurar los dispositivos seriales (VFD1, VFD2, ATV12 y Ctrl Temp) para que a través del convertidor Modbus TCP-IP/Modbus RTU los datos que ellos estén controlando sean monitoreados y puedan ser modificados en la siguiente parte, Modbus TCP-IP. En la segunda parte se define como Servidor TCP-IP de la red al PLC Modicon M221(PLC1) y se realiza la configuración de los clientes Modbus TCP-IP, el convertidor TCP-IP/RTU se convierte en un Cliente TCP que monitorea y controla los equipos serie, otro Cliente TCP es el medidor de energía SENTRON PAC3200 (MED3F) que monitoreará los valores de energía de una bomba hidráulica en el laboratorio; se realiza un proceso con el PLC AB Micro850 como Cliente TCP-IP y también se realizará el control PID y monitoreo de la planta de nivel y flujo de la estación multivariables a través del controlador Siemens S7-1200 (PLC3) asimismo como Cliente TCP-IP.

Dentro de la configuración de los Clientes TCP-IP también están la pantallas HMIs (HMI1, HMI2) para la visualización del control y monitoreo de valores de los procesos de la red; se utiliza el HMI1 para visualización de los dispositivos serie, el proceso del PLC AB y el monitoreo del medidor de energía. En el HMI2 se visualiza el monitoreo y control de la estación multivariables conectada al PLC S7-1200. El proyecto contará además con un control remoto el cual se desarrolló mediante el software InTouch y permitirá visualizar todos los procesos de la Red Industrial.

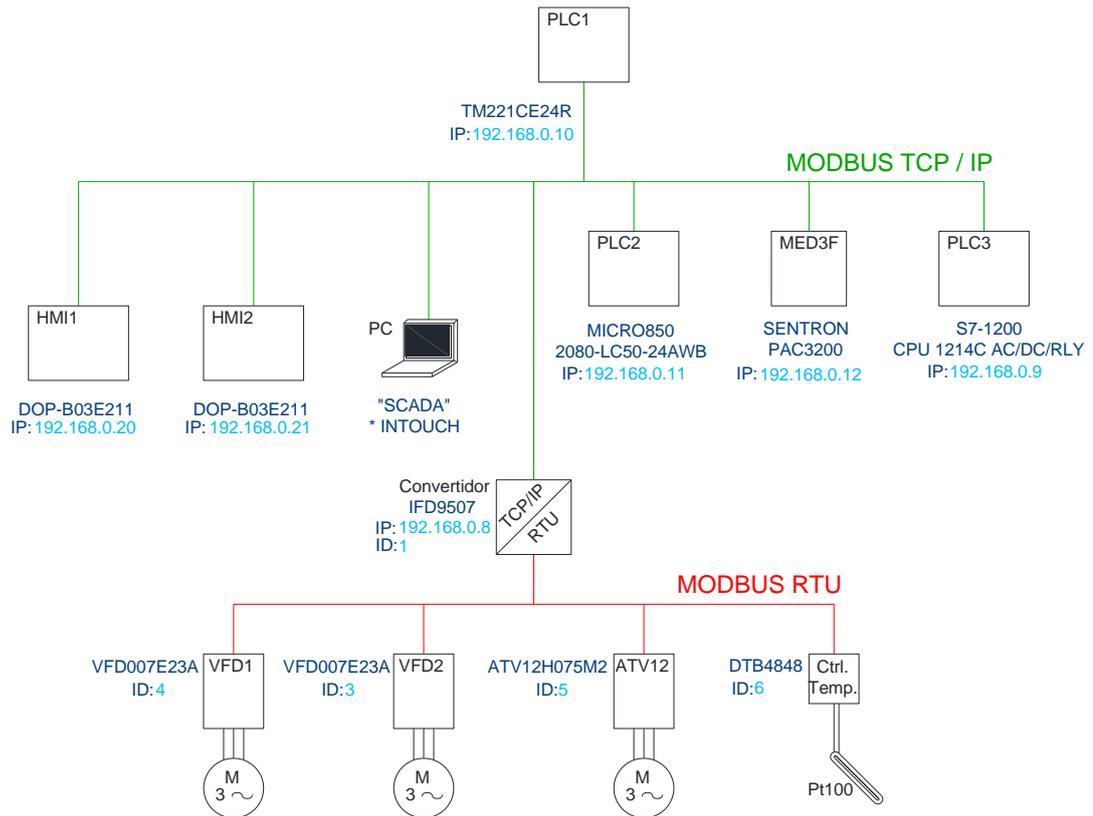


Figura 27 Esquema de red Modbus TCP/IP- Modbus RTU

Tabla 10

Lista de Elementos de la Red Modbus TCP-IP/RTU

Lista de Elementos de la Red Modbus	
1	Controlador Modicon M221
2	Controlador Micrologix 850
3	Medidor SETRON PAC3200
4	Pantalla DOP-B03E211
5	Pantalla DOP-B03E211
6	Convertidor Modbus TCP-IP/RTU IFD9507
7	Variador de Frecuencia ATV12H075M2
8	Variador de Frecuencia VFD007E23A
9	Variador de Frecuencia VFD007E23A
10	Controlador de Temperatura DTB4848
11	Ordenador
12	Switch de 8 puertos

4.2 Descripción del Sistema

4.2.1 Topología

La topología que se va a utilizar es en árbol (Guerrero, 2010) como se muestra en la figura 28, ya que este tipo de conexión puede componer varias topologías en estrella, pero con la particularidad de que están de manera jerárquica; por lo cual es similar a la topología en estrella en cuanto a seguridad, cableado, entre otros. En el caso de la esta red el equipo de mayor jerarquía es el Servidor TCP/IP (PLC M221) (Schneider Electric, 2016) que deriva tareas hacia los clientes de la red, es decir, el convertidor IFD9507, los equipos de visualización (HMIs) y demás PLCs.

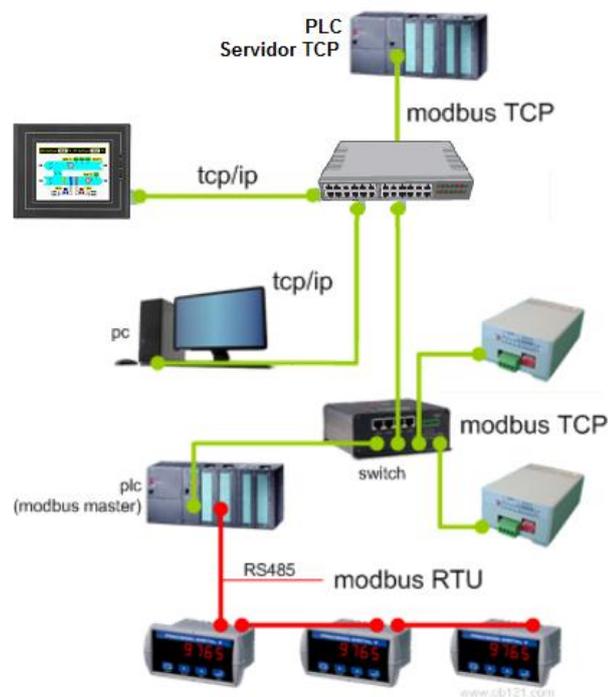


Figura 28 Topología tipo estrella

Fuente: (Modbus, 2016)

4.2.2 Modo de Diálogo

La red en el la parte serie (RS-485) va a tener un modo de comunicación Half-Duplex en donde las comunicaciones de este tipo definen aquel tipo de diálogo entre dos puntos tal como se indica en la figura 29, donde en cada esclavo tenemos un emisor y un transmisor conectados hacia el dispositivo maestro pasando por resistencias terminadoras de 120 ohmios, normativa referenciada por (Modbus.org, 2015).

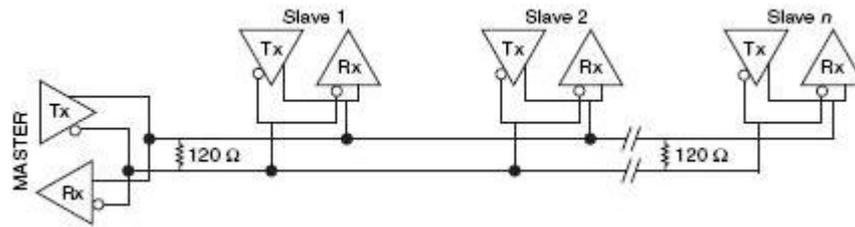


Figura 29 Diálogo mediante modo de comunicación Half-Duplex
Fuente: (Modbus.org, 2015)

4.2.3 Interconexión de la Red

Para poder transportar los datos desde Modbus Serial hacia Modbus TCP/IP será mediante una pasarela o Gateway y ese equipo es el DELTA IFD9507 (DELTA, 2017). La pasarela en este proyecto de investigación actuará parecido a la que se encuentra en la figura 30.

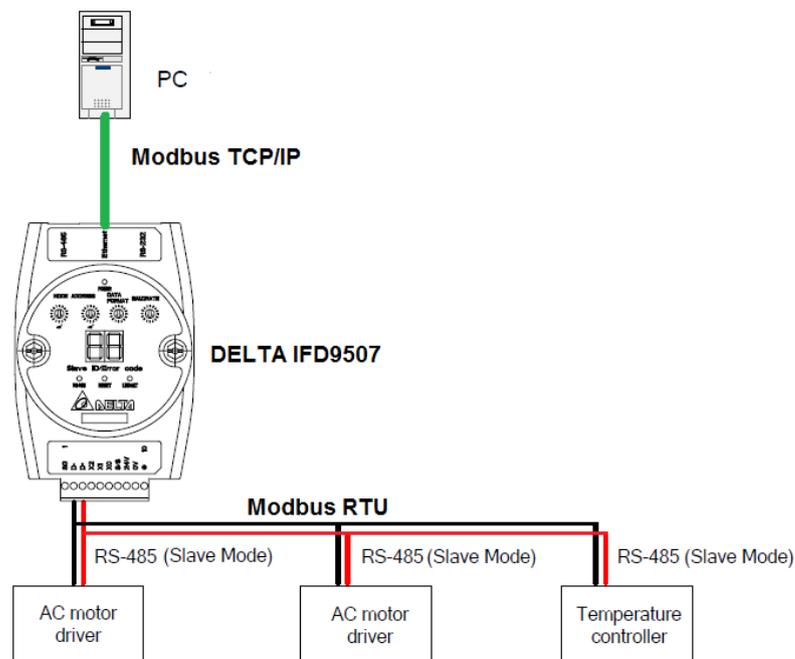


Figura 30 Pasarela o Gateway de red
Fuente: (Delta, 2017)

Para la interconexión de los equipos en la parte de Modbus TCP/IP se utilizó un Switch D-Link de escritorio de 8 puertos que maneja velocidades de hasta 200Mbps exactamente uno como indica la figura 31.



Figura 31 Switch de 8 puertos D-Link
Fuente: (Página Principal D-Link)

4.3 Descripción de los componentes de la red

4.3.1 PLC Schneider TM221CE24R



Figura 32 PLC Schneider TM221CE24R
Fuente: (Schneider Electric, 2012)

Pertenece a la gama de los Modicon M221 (Schneider Electric, 2016) este PLC (Figura 32) de pequeñas dimensiones pero de grandes ventajas con respecto a otros equipos ya que tiene la disponibilidad de un puerto Ethernet, una línea serie y un USB mini. La configuración, programación y puesta en marcha se lo realiza mediante el software SoMachine (Schneider Electric, 2016) perteneciente a la misma marca donde el entorno de programación nos permite hacerlo ya sea por lista de instrucciones,

diagrama de contactos o Grafcet (Uniovi, 2015). A continuación se listará las características técnicas más importantes en la tabla 11 y la tabla 12, pero a detalle en el Anexo A.

Tabla 11
Datos técnicos de controlador TM221CE24R

Tensión de Alimentación	100...240 V AC
Número de entrada analógica	2 en el rango de entrada: 0...10 V
Tipo de salida digital	Relé NA
Número de salidas discretas	10 relé
Tensión de Salida	5...125 V CC 5... 250 V CA
Número de E/S digitales	24
Límites de Tensión de Alimentación	85...264 V
Frecuencia de red	50/60 Hz
Tensión de Entrada digital	24 V
Corriente de Entrada	<= 40 A
Lazo de regulación	Regulador PID ajustable hasta 14 lazos simultáneos.

Fuente: (Hoja de Datos PLC Schneider TM221CE24R)

Tabla 12 Dimensionamiento del TM221CE24R

Altura	90 mm
Profundidad	70 mm
Anchura	110 mm
Peso del producto	0,395 Kg

Fuente: (Hoja de Datos PLC Schneider TM221CE24R)

A continuación se detallará una descripción general del equipo como se muestra en la figura 33 y la tabla 13.

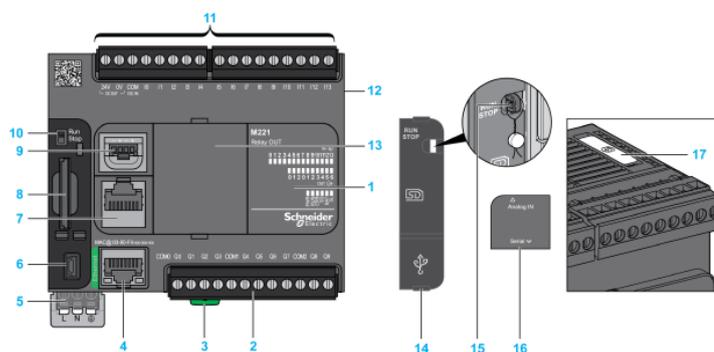


Figura 33 Descripción física del TM221CE24R
Fuente: (Schneider Electric, 2012)

Tabla 13
Descripción general del TM221CE24R

Número	Descripción
1	Indicadores Led de estado
2	Bloque de terminales extraíble de la salida
3	Carril DIN (segmento DIN) de cierre de clip para 35 mm (1,38 in)
4	Puerto Ethernet / conector RJ-45
5	Fuente de alimentación de 100 a 240 V CA
6	Puerto de programación USB mini-B
7	Puerto de línea serie 1 / conector RJ-45 (RS-232 o RS-485)
8	Slot para tarjeta SD
9	2 entradas analógicas
10	Interruptor Run/Stop
11	Bloque de terminales extraíble de entrada y fuente de alimentación integrada.
12	Conector de ampliación de E/S
13	Slot para cartucho
14	Cubierta de protección
15	Gancho de sujeción
16	Cubierta de entradas analógicas extraíble
17	Soporte de la batería

Fuente: (Schneider Electric, 2012)

4.3.2 PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24AWB



Figura 34 PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24AWB

Fuente: (Rockwell Automation, 2010)

El controlador Micro850 (Rockwell Automation, 2013) (Figura 34) como se lo llama por abreviatura, es un equipo muy útil por su flexibilidad y medio amigable con el usuario, perteneciente a la familia de los Micro800 de Allen Bradley, una nueva gama de controladores con características singulares, por ejemplo en este equipo se incluye un puerto Ethernet que no se incluía en las anteriores versiones lo cual es algo sumamente positivo si se planea armar una red industrial con sistema scada, posee de igual manera una unidad terminal remota (RTU) combinada de RS232 Y RS485, compatible con Modbus mediante comunicación Ethernet, así como también un conector USB Tipo B. Otra característica es su capacidad de expansión de hasta cuatro módulos, cabe recalcar que son diferentes los módulos de expansión y los enchufables son distintos, usaremos uno para entradas analógicas (IF4) (Rockwell Automation, 2010) y otro para salidas analógicas (OF2) (Rockwell Automation, 2010) como el que se muestra en la figura 35. Un aspecto importante a considerar en el manejo de este equipo es que su alimentación es a través de 24 V DC, este y otras características técnicas del PLC están la tabla 14 y la tabla 15 donde están las dimensiones del mismo.



Figura 35 Arquitectura General de los módulos enchufables 2080
Fuente: (Rockwell Automation, 2010)

Tabla 14
Datos técnicos de controlador Micro850

Tensión de Alimentación	24 V DC
Tipo de salida digital	Relé NA
Número de salidas discretas	10 relé
Número de E/S digitales	24
Módulos enchufables	2080 IF4 y 2080 OF2
Frecuencia de red	50/60 Hz
Tensión de Entrada digital	24 V
Tipo de Entrada analógica (2080-IF4)	Entrada de V/I de 4 canales Unipolar, 0...20mA, 0...10V, 12 bits (No aislado)
Tipo de Salida analógica (2080-OF2)	Salida de V/I de 4 canales Unipolar, 0...20mA, 0...10V, 12 bits
Lazo de regulación	Regulador PID

Fuente: Hoja de datos PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24AWB

Tabla 15 Dimensionamiento del Micro850

Altura	90 mm
Profundidad	80 mm
Anchura	145 mm

Fuente: (Hoja de datos PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24AWB)

A continuación se detallará una descripción general del equipo a través de la figura 36 y tabla 16, la parte que está en tono transparente es debido a que es la parte del PLC que es opcional para poder conectar mediante 120 V AC.

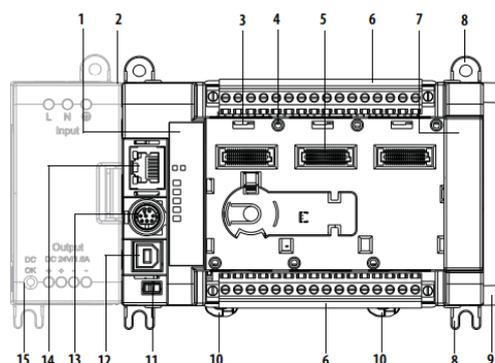


Figura 36 Descripción física de PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24AWB
Fuente: (Hoja de datos PLC AB MICRO 850 2080-LC50-24AWB)

Tabla 16
Descripción general del PLC Micro850

Número	Descripción
1	Indicadores Led de estado
2	Ranura de fuente de alimentación eléctrica opcional
3	Seguro enchufable
4	Agujero para tornillo de módulo enchufable
5	Conector enchufable de alta velocidad de 40 pines
6	Bloque de terminales E/S extraíble
7	Cubierta del lado derecho
8	Agujero para tornillo de montaje/pie de montaje
9	Cubierta de ranura de E/S de expansión
10	Seguro de montaje en riel DIN
11	Interruptor de modo
12	Puerto USB de conector Tipo B
13	Puerto en serie combinado no aislado RS232/RS485
14	Conector RJ-45 EtherNet (con indicadores LED verde y amarillo incorporados)
15	Fuente de alimentación eléctrica opcional

Fuente: Hoja de datos PLC AB MICRO850 2080-LC50-24AWB

La alimentación se la realiza en el bloque de terminales de salida específicamente en el 1 y 2 como se especifica en la figura 37:

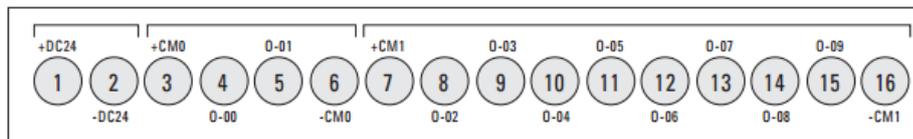


Figura 37 Bloque de terminales de salida PLC Micro850
Fuente: (Hoja de datos PLC AB MICRO850 2080-LC50-24AWB)

El software requerido para la programación de los Controladores Micro850 es el software Connected Components Workbench (Rockwell Automation, 2017), el cual es un conjunto de herramientas de colaboración compatibles con la familia de controladores Micro800. Se basa en tecnología de Rockwell Automation y Microsoft Visual Studio (Microsoft, 2017), y ofrece programación de controladores, configuración de dispositivos e integración con el editor HMI. El Connected Components permite una programación mediante diagrama de lógica de escalera, bloque de funciones o texto estructurado.

4.3.3 Registrador de Energía SIEMENS SENTRON PAC3200



Figura 38 SENTRON PAC3200
Fuente: Hoja de datos Sentron Pac3200

El SENTRON PAC3200 (Siemens, 2017) (figura 38) es un instrumento que permite la visualización de los parámetros de red más relevantes, monitoreo, diagnóstico y servicio técnico de variables eléctricas, un contador

de energía activa (Kwh) y reactiva (Kwhr), a partir de medir los valores de magnitudes eléctricas como tensiones y corrientes, permite también medir la potencia aparente, reactiva, efectiva y valores de energía. Viene a ser también un multímetro tipo central de medida para la visualización de todos los parámetros de red relevantes en la distribución de energía eléctrica en baja tensión. Entonces en resumen tiene como función medir la tensión, la corriente, la potencia activa, la potencia reactiva, la medición de pulsos y medición de la frecuencia. A continuación en la tabla 17 encontramos tipos de conexión que tiene el medidor.

Tabla 17
Tipo de conexiones Sentron Pac3200

Abreviatura	Tipo de conexión
3P4W	3 fases, 4 conductores, carga desbalanceada
3P3W	3 fases, 3 conductores, carga desbalanceada
3P4WB	3 fases, 4 conductores, carga balanceada
3P3WB	3 fases, 3 conductores, carga balanceada
1P2W	Corriente alterna monofásica

Fuente: (Hoja de datos Sentron Pac3200)

Gracias a su amplio rango de tensión medida, el SENTRON PAC3200 (Siemens, 2017) puede conectarse directamente a cualquier red de baja tensión con una tensión nominal de hasta 690 V (máx. 400 V para NL). Pueden medirse tensiones superiores si se usan transformadores de tensión pero en el presente proyecto utilizaremos el medidor para voltajes y corrientes bajas en relación a lo que el equipo podría medir. (Rodríguez, 2015)

A continuación en las tablas 18 y 19 encontramos las características técnicas y el dimensionamiento del medidor de energía proporcionadas por el proveedor a través de la hoja de datos.

Tabla 18
Parámetros Técnicos Medidor de Energía Eléctrica SENTRON PAC3200

Alimentación	Rango Nominal	<ul style="list-style-type: none"> • 95 ... 240 V AC (50 / 60 Hz) • 110 ... 340 V DC
	Área de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • ± 10 % del rango nominal AC • ± 10 % del rango nominal DC
	Consumo	• Típico 8 VA (con módulo)
	Categoría de sobretensión	• CAT III
Entrada de Tensión Alterna	Modelo con fuente de alimentación multirango	<ul style="list-style-type: none"> • AC 3~ 400 V (+ 20 %), máx. 347 V para UL • AC 3~ 690 V (+ 20 %), máx. 600 V para UL
	Modelo con fuente de alimentación de muy baja tensión	<ul style="list-style-type: none"> • AC 3~ 289 V (+ 20 %) • AC 3~ 500 V (+ 20 %)
Entrada de Corriente Alterna	Corriente de entrada IE	<ul style="list-style-type: none"> • AC 3~ x / 1 A (+ 20 %, máx. 300 V) ó • AC 3~ x / 5 A (+ 20 %, máx. 300 V)
	Sobrecarga de choque soportable	• 100 A durante 1 s
	Consumo de potencia por fase	<ul style="list-style-type: none"> • 4 mVA a 1 A • 115 mVA a 5 A

Fuente: (Hoja de datos Sentron Pac3200)

Tabla 19
Dimensionamiento Sentron Pac3200

Altura	96 mm
Profundidad	56 mm
Anchura	96 mm

Fuente: (Hoja de datos Sentron Pac3200)

El SENTRON PAC3200 dispone de una pantalla LCD de 72 x 54 mm monocroma la cual posee una resolución de 128 x 96 píxeles con una retroiluminación regulable para garantizar una lectura óptima incluso en condiciones lumínicas desfavorables. Ahora describiremos las funciones que nos es proporcionado de igual manera por el manual:

- Valores promedio de la potencia aparente, activa y reactiva.
- Valores mínimos / máximos Por cada período de medición.
- Almacenamiento del registro En períodos de medición de 15 min hasta 40 días
- Sincronización de: Entrada digital, Comunicación, reloj interno.
- Conformación ajustable del valor medio Aritmética o acumulada.
- Métodos de registro Bloque fijo o deslizante.
- Registro de eventos.
- Cantidad máxima de eventos – > 4000.
- Control de prioridades.
- Niveles de aviso, elegibles.
- Obligación de suministrar acuse de recibo, ajustable.
- Almacenamiento de eventos, configurable. 62
- Interfaces.
- Ethernet (Integrada) Para cable de par cruzado 10 Mbit/s 10/100Mbit/s.
- Cantidad de conexiones Simultáneas 1 3.
- Protocolo Modbus TCP.

Para la comunicación utilizaremos el puerto Ethernet que posee, dándole una dirección IP al equipo para integrarse en la red Modbus TCP-IP todo esto ayudándonos nada más del manual del equipo, mediante dos módulos de ampliación se podría comunicar mediante Profibus (Smar, 2017) y puerto serie RS485. A continuación de la figura 39 y la tabla 20 describiremos al equipo físicamente para realizar las conexiones pertinentes.

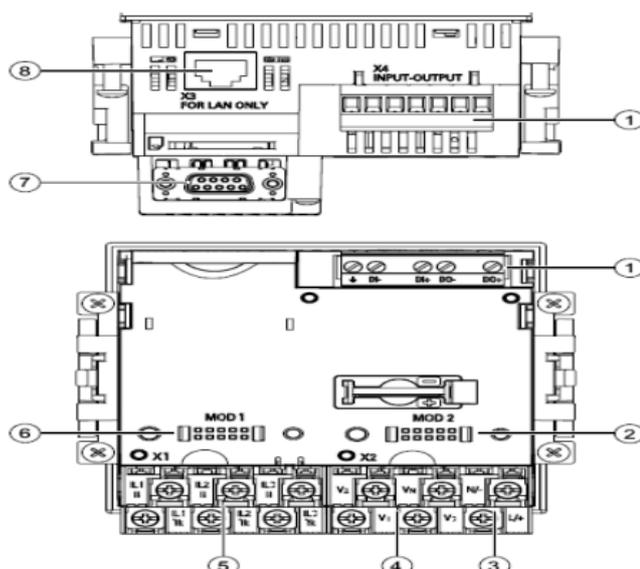


Figura 39 Descripción física Medidor Sentron Pac3200
Fuente: (Manual Sentron PAC3200).

Tabla 20
Descripción General Medidor Sentron Pac3200

Número	Descripción
1	Entradas y salidas digitales, tierra funcional
2	Conexión ciega
3	Entrada de alimentación L/+, N/-
4	Entradas de medida tensión V1, V2, V3, VN
5	Entradas de medida corriente IL1, IL2, IL3
6	Ranura para módulos de ampliación opcionales
7	Módulo de ampliación opcional
8	Conexión Ethernet

Fuente: (Hoja de datos Sentron Pac3200)

4.3.4 Convertidor Modbus RTU-TCP/IP DELTA IFD9507

El convertidor Modbus TCP-IP/ Modbus RTU Delta IFD9507 (DELTA, 2017) que viene a actuar como puente de comunicación en nuestra red industrial es un módulo de comunicación Ethernet el cual puede convertir Modbus a Ethernet y viceversa. La programación de este elemento de red se lo realiza mediante el software de su proveedor Delta DCISoft (Delta, 2017). Posee 3 puertos que son: Ethernet, serial RS232 y serial RS485. Este

equipo detecta automáticamente la velocidad de transmisión Ethernet 10/100 Mbps, posee un monitor donde almacena los datos que pasan a través de él, tiene un sistema de envío de alarmas, es robusto por lo que soporta el ruido, y lo más importante es que soporta el protocolo Modbus TCP.

A continuación en la figura 40 y en la tabla 21 la descripción de las partes del equipo, con más detalle en el anexo A en la hoja de datos del mismo.

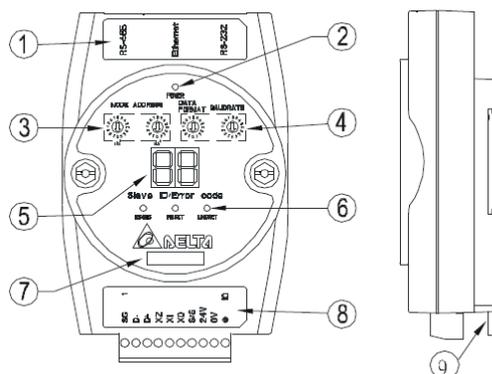


Figura 40 Descripción física del convertidor IFD9507
Fuente: (Hoja de datos del convertidor IFD9507)

Tabla 21
Descripción general del convertidor IFD9507

Número	Descripción
1	Puertos de comunicación: RS-485, Ethernet, RS-232
2	Indicador de Energía
3	Switch de dirección
4	Switch de formato de datos/Velocidad de transmisión de datos
5	Pantalla de dígitos
6	Indicador de RS-485, botón de reseteo, indicador Ethernet
7	Nombre de módulo
8	Bloque de terminales
9	Conector riel DIN

Fuente: (Hoja de datos del convertidor IFD9507)

Los terminales que se encuentran en la parte inferior se detallan a continuación en la figura 41 y en la tabla 22.

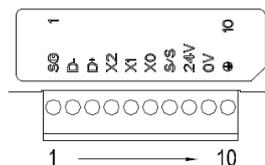


Figura 41 Bloque de terminales de salida del IFD9507
Fuente: (Hoja de datos del convertidor IFD9507)

Tabla 22
Descripción bloque de terminales IFD9507

PIN	SÍMBOLO	DEFINICIÓN
1	SG	Señal de tierra
2	D-	Dato -
3	D+	Dato +
4	X2	Entrada digital 2
5	X1	Entrada digital 1
6	X0	Entrada digital 0
7	S/S	Tierra en entrada digital
8	24 V	+24 V
9	0 V	0 V
10	---	Tierra

Fuente: (Hoja de datos del convertidor IFD9507)

A continuación en la tabla 23 algunas características técnicas y dimensionamiento del equipo:

Tabla 23
Características del convertidor IFD9507

Tensión de Alimentación	24 V DC
Consumo de Energía	3 W
Puertos de Comunicación	Ethernet, RS485, RS232
Altura	108 mm
Anchura	71 mm
Profundidad	33 mm
Peso	140 g
Temperatura de operación	De 0 a 55 grados C.

Fuente: (Hoja de datos del convertidor IFD9507)

Algo que tendremos que considerar en el presente proyecto es la distribución de los pines en comunicación serial RS485, tomado de la ficha técnica del equipo. Recordemos que solo ocuparemos los pines D+ y D- para la interconexión de los equipos en RS485. Los pines que vamos a utilizar los encontramos en la figura 42 tomada de la hoja de datos del convertidor IFD9507.

PIN	Signal	Definition	PIN	Signal	Definition
1	--	N/C	4	D-	Negative pole for data
2	--	N/C	5	GND	Ground
3	D+	Positive pole for data	6	--	N/C

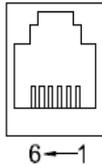


Figura 42 Pines de conexión RS-485 del convertidor IFD9507
Fuente: (Hoja de datos del convertidor IFD9507)

Para la configuración de la trama Modbus se lo hace de forma externa como se indica en la siguiente figura (figura 43), la información detallada la podemos encontrar en el anexo A.

■ **Address Switch**

Switch setting	Content
01 ... F7	Valid Modbus communication address



■ **Data Format Switch**

Switch setting	Format	Switch setting	Format
0	7-N-1	8	7-N-2
1	8-N-1	9	8-N-2
2	7-O-1	A	7-O-2
3	8-O-1	B	8-O-2
6	7-E-1	E	7-E-2
7	8-E-1	F	8-E-2



■ **Baud Rate Switch**

Switch setting	Baud rate (bps)	Switch setting	Baud rate (bps)
1	110	7	4,800
2	150	8	9,600
3	300	9	19,200
4	600	A	38,400
5	1,200	B	57,600
6	2,400	C	115,200



Figura 43 Parámetros Modbus externos a configurar
Fuente: (Hoja de datos del convertidor IFD9507)

Otro aspecto a considerar en este equipo es la actividad de los LED, si bien ya se conoce que hay 3 indicadores LED y un display, la actividad que nos indica que existe un funcionamiento normal ya sea por Ethernet o por RS-485 cuando la luz verde parpadea, si no se prende no existe comunicación o el equipo está apagado y si la luz verde es continua es porque existe conexión pero no hay transmisión de datos. Los códigos que van a mostrarse en el display se lo puede revisar con detalle en el anexo A en la ficha técnica del convertidor.

4.3.5 Variador de Frecuencia DELTA VFD007E23A



Figura 44 Variador de Frecuencia DELTA VFD007E23A
Fuente: (Delta Automation, 2010)

Este variador de velocidad VFD007E23A (DELTA, 2017) (figura 44) de motores de corriente alterna es un equipo que funciona con alimentación trifásica, perteneciente a la marca Delta, caracterizada por la facilidad de manejo de sus equipos y su bajo costo relativo a otros equipos que realizan el mismo trabajo. Posee un diseño compacto y la novedad de esta serie es que posee comunicación con protocolo Modbus RS-485, motivo por el cual se adquirió este equipo aunque existen disponibles para conexión buses de campo Profibus, CANopen, DeviceNet y LonWorks. Mediante los terminales de salida se conecta a un motor trifásico pero antes de ello debemos asegurarnos que las características del mismo sean compatibles con el variador, el cableado y la configuración de este equipo la podremos

encontrar detalladamente en el Anexo A. A continuación una descripción de las partes del variador a través de la figura 45 y 46:



Figura 45 Descripción física VFD DELTA VFD007E23A
Fuente: (Hoja de datos DELTA VFD007E23A)



Figura 46 Descripción tablero de control VFD DELTA VFD007E23A
Fuente: (Hoja de datos DELTA VFD007E23A)

A continuación algunas características técnicas y dimensionamiento del variador de velocidad según su número de serie en las tablas 24 y 25.

Tabla 24
Datos técnicos VFD-EL

Tensión de Alimentación	220 V AC
Salida máxima aplicable al motor	1 HP
Máxima corriente de salida	4.2
Máxima entrada de voltaje	3 fases, proporcional a la alimentación.
Frecuencia de Salida	0.1-600 Hz
Máxima corriente de entrada	4.9 A
Frecuencia de entrada	50-60 Hz
Método de refrigeración	Natural y por ventilador
Tipo de Comunicación	RS-485

Fuente: (Hoja de datos DELTA VFD007E23A)

Tabla 25
Dimensiones VFD-EL

Altura	174 mm
Profundidad	72 mm
Anchura	136 mm
Peso del producto	1.2 Kg

Fuente: (Hoja de datos DELTA VFD007E23A)

4.3.6 Variador de Frecuencia Schneider ATV12H075M2



Figura 47 Variador de Frecuencia Schneider ATV12H075M2

Fuente: (Schneider Electric, 2012)

Este Variador de frecuencia ATV12H075M2 (Schneider Electric, 2016) (figura 47) perteneciente a la familia de los ATV con una simple fase controla motores trifásicos asíncronos con 220 V de alimentación, posee un puerto para comunicación Modbus serie mediante conexión de cable RJ-11 adaptable para RS-485, tiene como característica su excelente regulación de velocidad ante cambios de carga. A continuación algunas características técnicas del ATV12 en la tabla 26, 27. La descripción física del equipo en la figura 48 y tabla 28.

Tabla 26
Características técnicas ATV12H075M2

Tensión de Alimentación	220 V AC (1 Fase)
Salida máxima aplicable al motor	1 HP
Máxima corriente de salida	4.2
Máxima entrada de voltaje	240 (3 fases)
Voltaje de control	24 V DC
Frecuencia de entrada	50-60 Hz
Método de refrigeración	Natural y por ventilador
Tipo de Comunicación	RS-485

Fuente: (Hoja de datos ATV12H075M2)

Tabla 27
Dimensiones ATV12H075M2

Altura	143 mm
Profundidad	72 mm
Anchura	131.2 mm
Peso del producto	0.8 Kg

Fuente: (Hoja de datos ATV12H075M2)

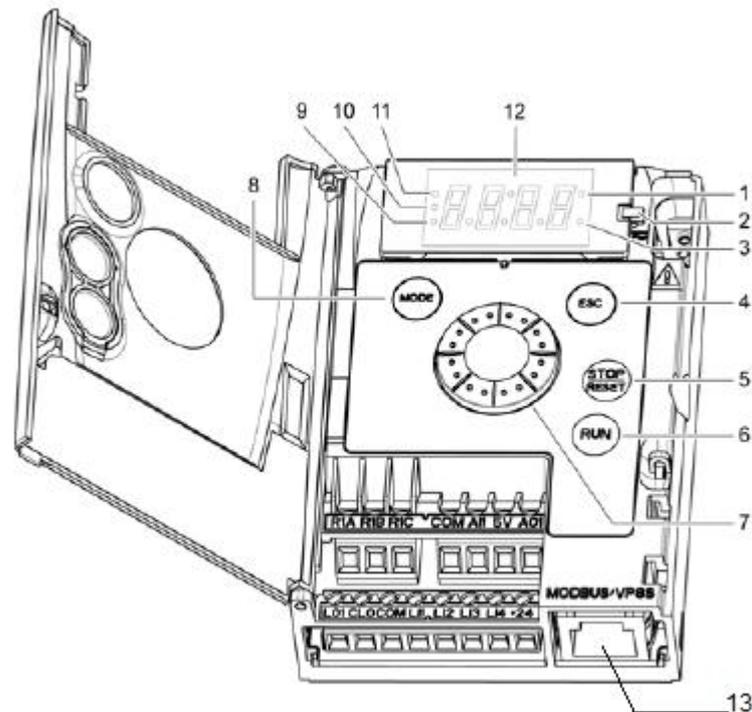


Figura 48 Descripción física del ATV12H075M2
Fuente: (Schneider Electric, 2012)

Tabla 28
Descripción física del ATV12H075M2

Número	Descripción
1	Led de valor (a) (b)
2	Led de carga
3	Led de unidad
4	Botón de escape (ESC)
5	Botón STOP/RESET
6	Botón RUN
7	Selector Giratorio
8	Botón Mode
9	Led de modo Configuración
10	Led de modo Supervisión
11	Led de modo Referencia
12	4 Visualizadores de "7 segmentos"
13	Puerto Modbus RS-485

Fuente: (Manual de Usuario ATV12H075M2)

4.3.7 Controlador de Temperatura DELTA DTB4848



Figura 49 Controlador de Temperatura DELTA DTB4848
Fuente: (Delta Automation, 2010)

Este controlador de temperatura DELTA (figura 49) es un dispositivo de respuesta rápida que posee dos salidas de control con la capacidad de utilizar la una para calentar y otra para refrigerar, otra ventaja que tiene este equipo es la comunicación mediante protocolo Modbus RS-485 es decir posee dos puertos (un D+ y un D-). Como varios controladores este equipo tiene una salida analógica de tensión 0-10. El equipo puede aplicarse a un rango amplio de termopares. La Alimentación es de 110 V AC mediante los terminales 11 y 12, para mayor detalle a continuación en la figura Y el 50 diagrama de terminales y las dimensiones del equipo en la tabla 29.

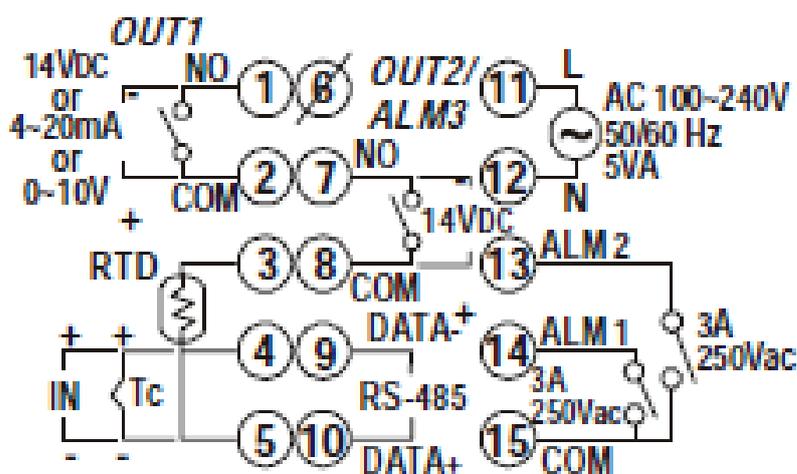


Figura 50 Diagrama de conexiones DTB4848
Fuente: (Hoja de datos DTB4848)

Tabla 29
Dimensiones DTB4848

Altura	48 mm
Profundidad	80 mm
Anchura	48 mm

Fuente: (Hoja de datos DTB4848)

4.3.8 Pantalla táctil HMI DELTA DOP-B03E211



Figura 51 Pantalla táctil HMI DELTA DOP-B03E211
Fuente: (Delta Automation, 2010)

Esta pantalla HMI DOP-B03E211 (Delta, 2017) de 4,3 pulgadas (figura 51), una resolución de 480x272 píxeles y una retroiluminación de LED se utilizará para crear el interfaz humano-máquina (HMI), alimentada con 24 V DC, tiene un interfaz amigable con el usuario y posee varias ventajas como la monitorización y el control eficiente en tiempo real, además lo que utilizaremos que es el cambio de parámetros de los equipos que se pueden comunicar mediante cualquiera de los puertos serie o el puerto Ethernet. Además, la pantalla LCD de alta resolución, táctil y a color permite una gran variedad de formas de exponer datos y variables, incluyendo gráficos de tendencias y elementos de alarma, y cuenta con un software de edición fácil de usar que es el DOPSoft. A continuación en las tablas 30 y 31 algunas especificaciones técnicas basados en la hoja de datos.

Tabla 30
Especificaciones técnicas del DOP-B03E211

Tensión de Alimentación	24 V DC
Tipo de display	4.3" TFT LCD (65536 colores)
Resolución	480 x 272 pixels
Tamaño de display	95.04 x 53.856 mm
Sistema Operativo	Delta Real Time OS
Comunicación	Dos puertos seriales: COM1 (RS-232 y RS-485) y COM2 (RS-422 y RS-485)
Temperatura de operación	De 0 a 55 grados Centígrados.
Peso	0.264 Kg

Fuente: (Hoja de datos de pantalla DOP-B03E211)

Tabla 31
Dimensiones de DOP-B03E211

Altura	129 mm
Profundidad	39 mm
Anchura	103 mm

Fuente: (Hoja de datos de pantalla DOP-B03E211)

En las figuras 52 y 53 se describe los componentes más importantes de la pantalla, que se muestran en sus vistas frontal y posterior.

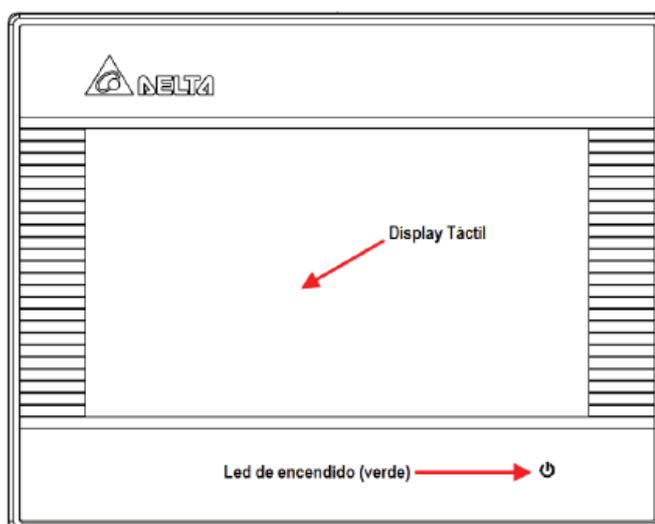


Figura 52 Vista frontal pantalla DOP-B03E211
Fuente: (Hoja de datos de pantalla DOP-B03E211)

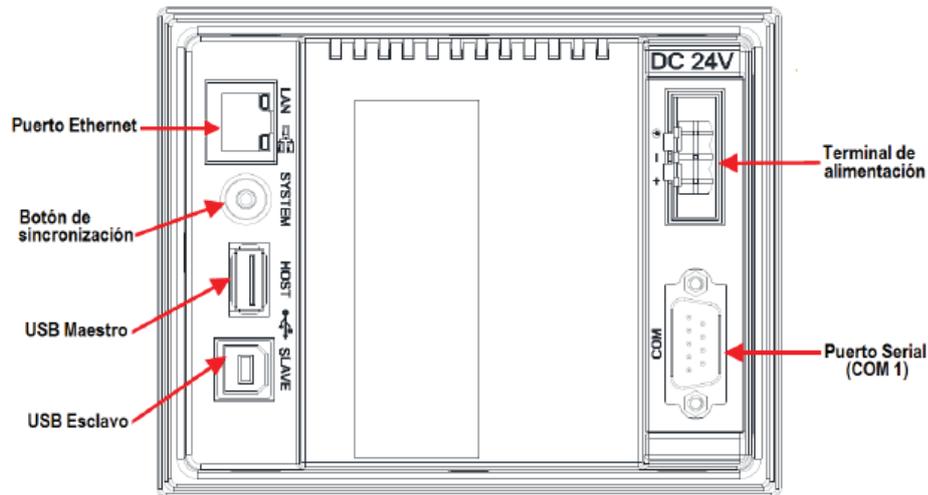


Figura 53 Vista posterior de pantalla DOP-B03E211
Fuente: (Hoja de datos de pantalla DOP-B03E211)

4.4 Diseño Mecánico

Para el diseño y construcción apropiada del módulo didáctico debemos tomar en cuenta el tipo de material a utilizar así como también que las dimensiones sean las apropiadas para la facilidad de uso de los equipos que van a ser montados en el mismo, para ello utilizamos software con las facilidades que se requieren: SolidWorks (SOLIDWORKS, 2017) y ANSYS (ANSYS, 2017), donde se realizará el modelo 3D y el análisis estructural respectivamente.

Para la construcción del módulo, contamos con una placa perfilada de aluminio Festo (figura 54) posee ranuras las cuales fijan ciertos componentes de manera segura, las ranuras son compatibles con el sistema de perfiles ITEM. Dimensiones de retícula: 50 mm, por lo tanto, son especialmente apropiadas para el montaje de actuadores neumáticos, posee una placa perfilada de 200 mm de ancho el material de la misma es una aleación de aluminio reforzada la cual garantiza una base sólida y segura para el montaje de los elementos de la red industrial. Se construirá una mesa la cual va a ser la base para la fijación de la placa perfilada, con base de madera en la parte superior y lo demás con una aleación de acero inoxidable.



Figura 54 Placa perfilada de aluminio marca FESTO
Fuente: (FESTO, 2016)

Además cuenta con dos cajones incorporados para el almacenamiento de PLC'S, variadores, y demás dispositivos que se incluirán en el montaje de la red industrial, se utilizarán canaletas, y rieles DIN de 35 mm para la sujeción de elementos, estos últimos serán desmontables para el multiuso de la mesa en la parte Neumática e hidráulica mediante los módulos Festo, las dimensiones se las especifica en la tabla 32. Finalmente el diseño del perfil realizado mediante el software SolidWorks como se muestra en la figura 55.

Tabla 32
Dimensiones Perfil Aluminio Festo

Dimensión	Valor
Alto	700 mm
Largo	1110 mm
Ancho	32 mm

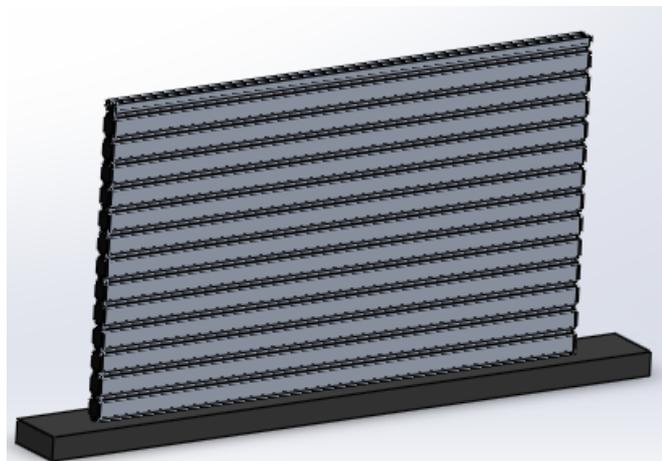


Figura 55 Diseño perfil de aluminio con base en SolidWorks

Se procede a la construcción de la mesa base con tubo cuadrado de acero inoxidable. El tipo de material es una aleación de acero que es el apropiado para el presente proyecto, ya que las dimensiones de la mesa soportan el peso de la placa perfilada de aluminio y los diferentes elementos que van a montarse en la red, y también debido a la facilidad de obtención en el medio.

Para los soportes se recomiendan utilizar ángulos y pletinas que a su vez sujetos con pernos que permitirá que el modulo no pueda inclinarse a cualquier dirección mediante su manipulación, cuenta también con un soporte tipo “L” en la parte posterior para evitar pandeos. A continuación en la tabla 33 observamos las dimensiones de la mesa y su diseño en SolidWorks en la figura 56.

Tabla 33
Mesa Base del Módulo didáctico

Dimensión	Valor
Alto	880 mm
Largo	1500 mm
Ancho	600 mm

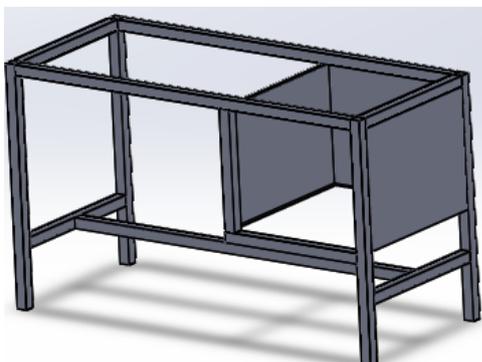


Figura 56 Diseño de mesa base en Solid Works

Para concluir con el ensamble se diseñó un par de cajones que pueden servir para guardar por ejemplo los manuales de los equipos, las cajas de los mismos, y cableado en general, como resultado tenemos en la figura 57 el ensamble final del módulo base donde irán todos los elementos de la red industrial.



Figura 57 Diseño del módulo didáctico en SolidWorks

Una vez seleccionado el material del perfil con las características especificadas debemos elaborar en SolidWorks los diferentes soportes que tenemos en mesa ya que estos también tienen influencia en el análisis estructural como se indica en la figura 58. En la figura 59 observamos que el perfil tiene puesto dos tirantes de acero estructural los cuales sirven de soporte para el mismo. El plano del diseño del módulo se encuentra en el Anexo H.

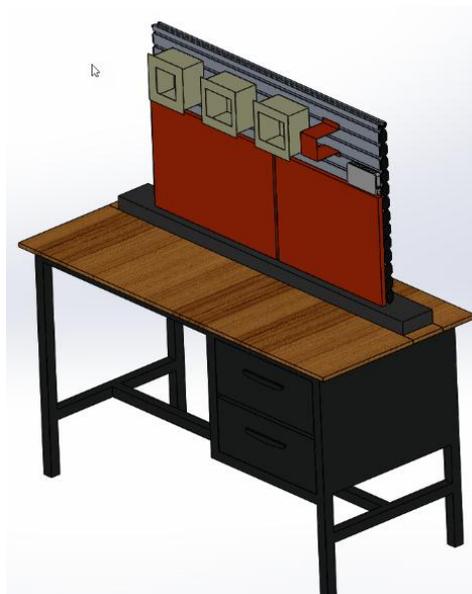


Figura 58 Mesa con los diferentes soportes para los elementos en Solidworks



Figura 59 Soportes de acero estructural del Perfil de aluminio

4.4.1 Análisis Estructural computacional del Perfil de Aluminio

Para garantizar la seguridad e integridad de los equipos montados en la red y que no haya deformación en el perfil de aluminio se debe hacer el análisis computacional en el software Ansys mediante el método de elementos finitos, el cual nos permite realizar el mallado del perfil analizando los pesos de cada uno de los elementos montados en la red, la deformación que se da al montarlos y el factor de seguridad, tomando en cuenta la geometría del elemento; para ello primeramente debemos tomar en cuenta las características del perfil de aluminio (6061), el cual es una aleación de aluminio endurecido que contiene otros elementos como magnesio y silicio usado principalmente en estructuras de alta resistencia, que se resume en la tabla 34.

Tabla 34
Características del Perfil de Aluminio 6061

Características del Perfil de Aluminio 6061	
Densidad	0.0 gramos por mm ³
Masa	37740.96 gramos
Volumen	13978132.70 mm ³
Área	4304273.21 mm ²
Alto	700 mm
Largo	1110 mm
Ancho	32 mm
Centro de Masa	X: 16,07 mm Y: -326,87 mm Z: 555 mm
Resistencia a la Fluencia	2,8E+0.8 Pa

Se debe hacer un estudio de los pesos que poseen cada uno de ellos, esta información se la puede encontrar en los datos técnicos de los equipos en el ANEXO A, y su equivalente en Newtons (Se multiplica el peso por la gravedad $9,81\text{m/s}^2$) como se muestra en la tabla 35 y su distribución en el perfil de aluminio como se muestra en la figura 60.



Figura 60 Distribución de los equipos en el Perfil de Aluminio con base

Tabla 35
Distribución y pesos de los equipos montados en la Placa de Aluminio

Número	Equipo	Peso (Kg)	Equivalente en Newtons (N)
6	PLC M221 SCHNEIDER	0,395	3,871
5	PLC AB Micro850	0,423	4,1454
1	Medidor Siemens SENTRON PAC3200	0,46	4,508
7	Convertidor DELTA IFD9507	0,14	1,372
9	Variador de Frecuencia Delta VFD007E23A	1,2	11,76
8	Variador de Frecuencia Schneider ATV12H075M2	0,8	7,84
3	Controlador de Temperatura Delta DTB4848	0,147	1,4406
2	Pantalla táctil HMI Delta DOP-B03E211	0,264	2,5872
2	Pantalla táctil HMI Delta DOP-B03E211	0,264	2,5872
4	Switch 8 puertos	0,13	1,274

Para el cálculo de los esfuerzos primero debemos importar desde el Solidworks los diseños CAD que vamos a analizar, en este caso solo es el del perfil con el soporte de acero estructural (A36) ya que es donde van a encontrarse los elementos y es allí donde se desea saber el factor de seguridad y la deformación al montar los elementos, para que el programa reconozca los diseños se los debe guardar en el formato “.STEP”. Ahora lo que se debe hacer es distribuir los pesos de los elementos a montar, en este caso de los soportes con los respectivos pesos de los elementos, debemos incluir el soporte base y los soportes que se encuentran en la parte posterior del perfil de Aluminio como se indica en la figura 61.

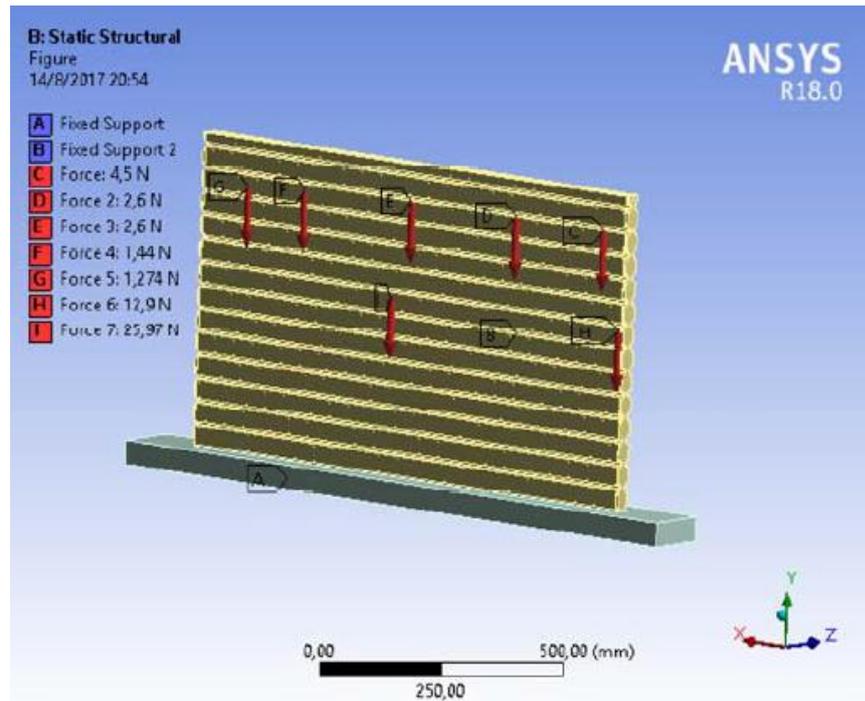


Figura 61 Puntos de aplicación de carga en el Perfil de Aluminio
Fuente: Programa Ansys

Como se indica en la figura 61, tenemos los pesos distribuidos de cada elemento en la parte superior pero las fuerzas en la parte interior se le puso cargas distribuidas debido a que se toma en cuenta los pesos de las láminas de aluminio naranjas que se colocaron (5N cada una) y se suman los pesos de los elementos que se encuentran en la lámina izquierda y en la lámina derecha dando un total de 25,97 N y 12,9 N respectivamente. En la figura 62 se observan las cargas puntuales distribuidas en el tablero, se le agregó al diseño CAD del perfil de aluminio puntos de sujeción de dimensiones despreciables solo para la simulación, esto se realiza ya que para análisis de diseño se recomienda establecer las cargas en 4 puntos para cada elemento para facilitar el análisis y el mallado.

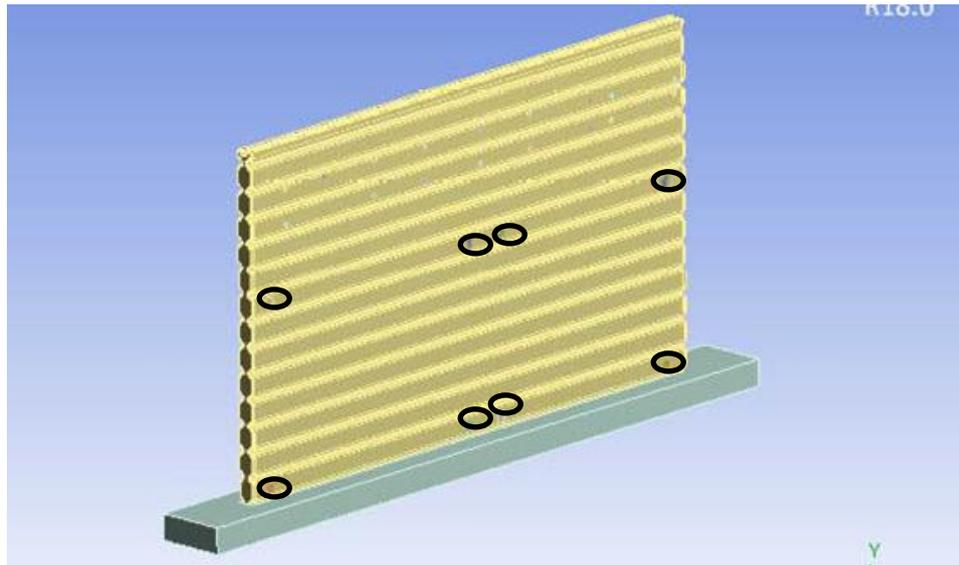


Figura 62 Cargas puntuales para el análisis estructural
Fuente: Programa Ansys

Para análisis estructural por medio del método de elementos finitos se debe mallar al elemento que vamos a analizar (figura 63), mientras más mallado se encuentre el elemento se mejora el análisis de los nodos para con ello poder obtener el radio Jacobiano donde según la teoría de análisis de elementos debe acercarse a 1 lo que quiere decir que el elemento computacional es altamente fiable.

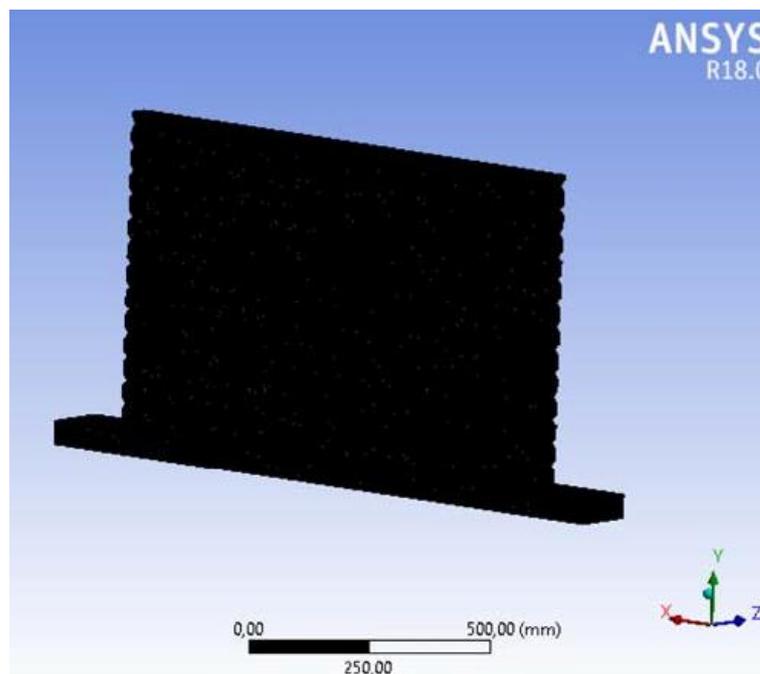


Figura 63 Mallado del elemento a analizar
Fuente: Programa Ansys

Tabla 36
Resultados del mallado del elemento a analizar

Model (B2) > Mesh	
Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Element Midside Nodes	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeature Size	Default
Minimum Edge Length	0,50 mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Jacobian Ratio (MAPDL)
Min	1,
Max	4,2168
Average	1,0004
Standard Deviation	2,4879e-002

Fuente: Programa Ansys

Se utilizó una malla mecánica con un centro de relevancia grueso donde el tamaño de cada elemento es de 0,5 mm. El promedio de radio Jacobiano que nos muestra el programa es de 1,0004 como se muestra en la tabla 36 que es un fragmento del informe total del análisis estructural el cual encontramos en el anexo G.

Para el análisis estructural se debe tener en cuenta estas dos condiciones de borde:

- Se consideran cargas a los diferentes elementos
- Fueron consideradas dos fijaciones (A: BASE y B: TIRANTES)

Considerando todas las condiciones, las fuerzas ejercidas en el elemento a analizar, el material de la placa de aluminio (Al 6061) y de la base de acero estructural, cuyas características las encontramos en la biblioteca propia del Ansys y el análisis de malla podemos obtener la deformación total del

elemento que como nos indica la figura 64 el punto más crítico se encuentra en la parte superior de la placa con una deformación de 0,00827 mm lo cual es bastante bajo y por ende nuestra estructura no se va a deformar. El programa también nos arroja la simulación de la deformación direccional en el eje Y ya que es el más influyente al momento de hacer análisis estructural como se observa en la figura 65, donde observamos que la máxima deformación posible es de 0,0003935 mm también en la parte superior del elemento, de igual forma nos indica que no se va a deformar al momento de colocar las cargas.

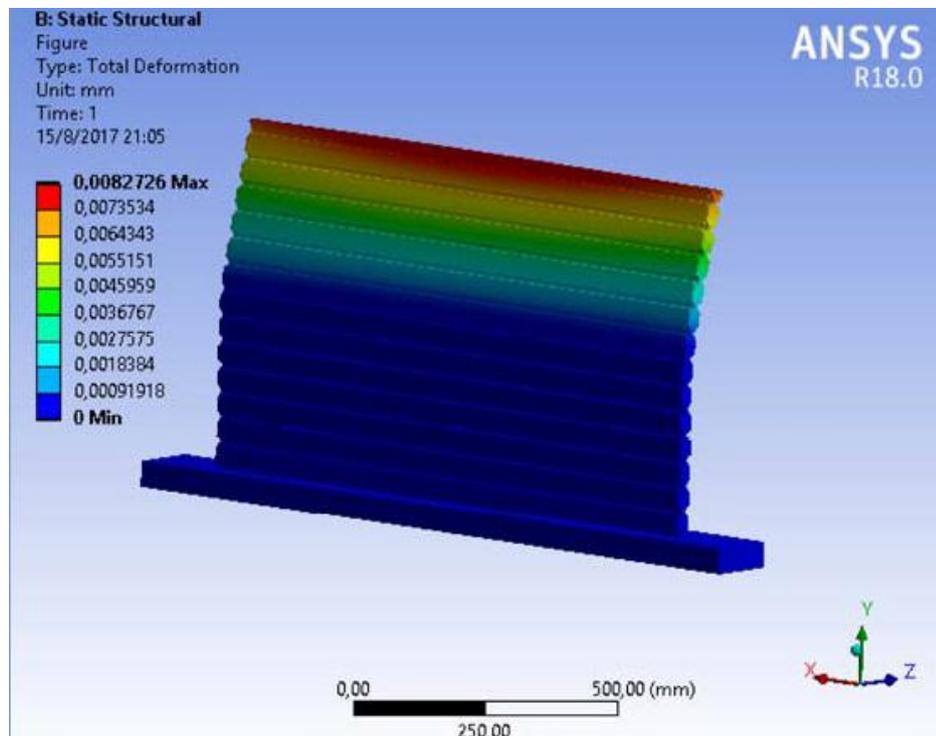


Figura 64 Deformación total del elemento
Fuente: Programa Ansys

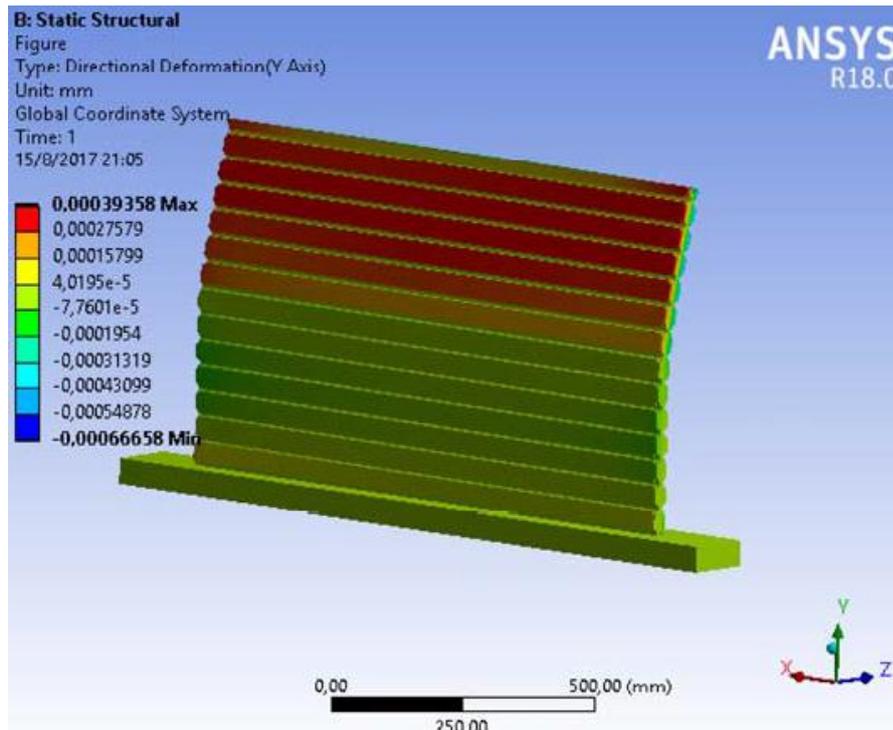


Figura 65 Deformación direccional del elemento
Fuente: Programa Ansys

Otro factor a analizar en la teoría de fallos de elementos para determinar los esfuerzos estáticos permisibles en estructura es el Equivalente de Von Mises el cual nos indica la máxima energía de distorsión que soporta el elemento, de igual manera el software nos indica la zona con menos esfuerzo, como podemos observar en la figura 66. El equivalente máximo de Von Mises es de 0,53547 MPa pero como observamos en la figura no es pronunciado en el perfil de aluminio, el cual en su gran mayoría está de color azul con un equivalente de $7.2843e-8$ MPa lo cual es bajísimo y por ende seguro.

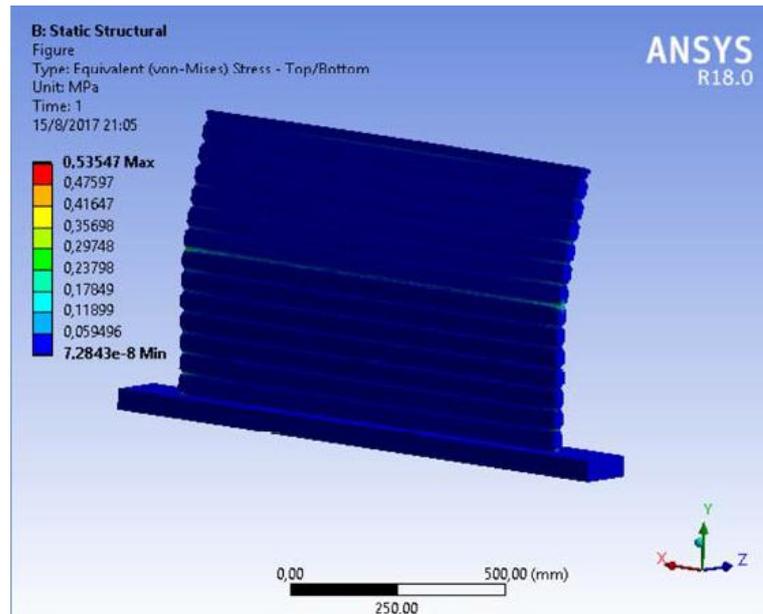


Figura 66 Equivalente de Von Mises en el análisis estructural
Fuente: Programa Ansys

El factor de diseño es lo más importante en el análisis estructural y tiene que ser mayor a uno para que el diseño sea considerado apropiado, el factor de diseño supera el 15 que es lo máximo que el programa muestra y por tal motivo se encuentra el elemento de color rojo, no significa que el diseño esté mal pero sí que está sobredimensionado como se muestra en la figura 67, por lo que se puede utilizar menos denso como madera o plástico, pero lo que se trata de hacer con el análisis estructural es saber si el material va a soportar todas las cargas y se comprueba que sí.

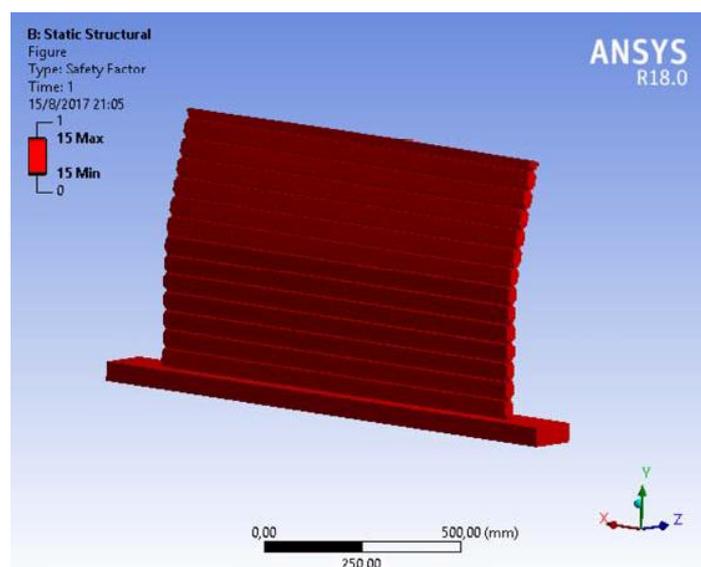


Figura 67 Factor de seguridad del elemento
Fuente: Programa Ansys

4.4.2 Análisis Estructural computacional la mesa base.

Para realizar el análisis estructural se debe seguir los mismos pasos que se realizaron para el perfil de aluminio, se debe cargar al programa el CAD de la misma manera en el formato “.STEP”, quedando el diseño como se muestra en la figura 68. Tomar en cuenta que el soporte superior es de madera de tablero (MDF) y la estructura de acero (A36), ambas bibliotecas encontramos en el programa Ansys.

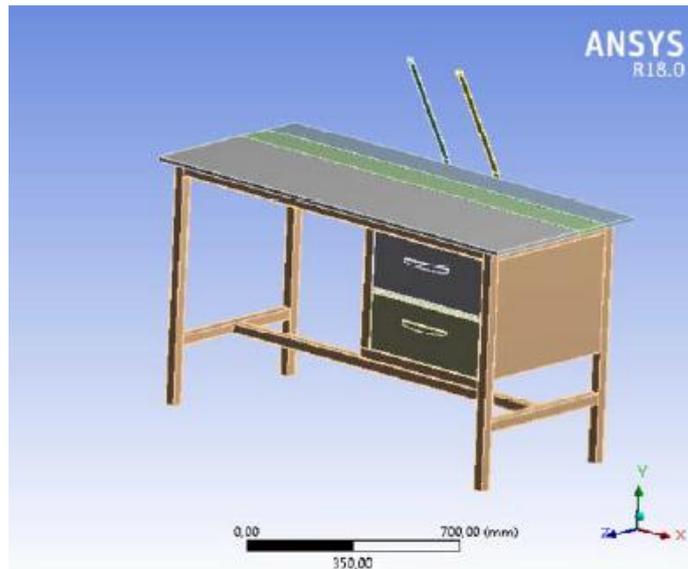


Figura 68 Geometría del elemento a analizar
Fuente: Programa Ansys

Lo que se debe hacer primero es el mallado del elemento para encontrar el radio Jacobiano, el cual debe aproximarse a uno para que se garantice que el elemento computacional sea altamente fiable, como se muestra en la figura 69.

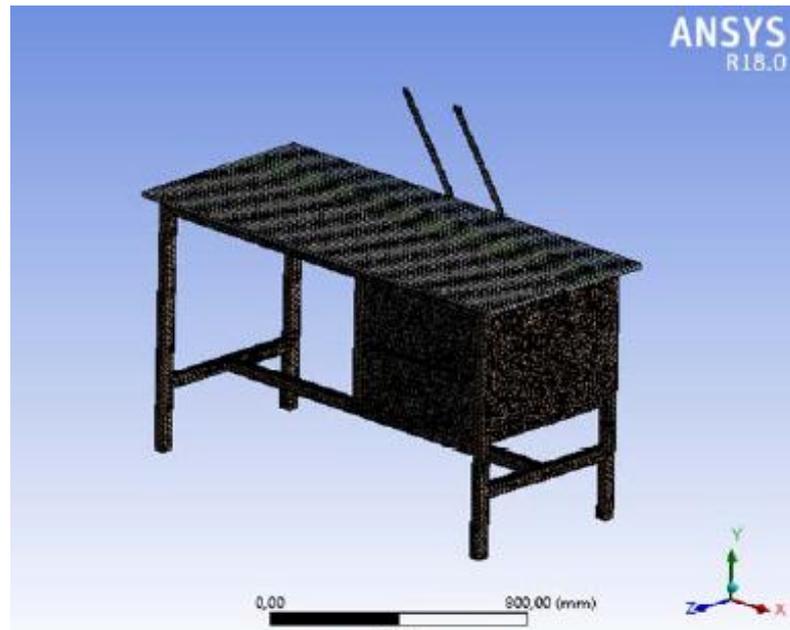


Figura 69 Mallado de la mesa base
Fuente: Programa Ansys

Se utilizó una malla mecánica con un centro de relevancia grueso donde el tamaño de cada elemento es de 0,48 mm. El promedio de radio Jacobiano que nos muestra el programa es de 0,99645 como se muestra en la tabla 37 que es un fragmento del informe total del análisis estructural el cual encontramos en el anexo G.

Para el análisis estructural se debe tener en cuenta estas dos condiciones de borde:

- Fijo en las 4 columnas (patas de la mesa)
- Se considera la carga uniforme en la superficie del tablero donde se van a montar los elementos

Tabla 37
Resultados del mallado del elemento a analizar

Model (E2) > Mesh	
Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Element Midside Nodes	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeature Size	Default
Minimum Edge Length	0,487140 mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0,050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Jacobian Ratio (MAPDL)
Min	-100,
Max	373,21
Average	0,99645
Standard Deviation	2,091

Fuente: Programa Ansys

Lo que se hace ahora es el distribuir la fuerza y el peso que va a soportar la mesa como se muestra en la figura 70, los valores de los pesos y el total a aplicar en la mesa se encuentran en la tabla 38.

Tabla 38 Pesos a considerar para el análisis de la mesa base

Equipo	Peso (Kg)	Equivalente en Newtons (N)
Perfil de Aluminio	737,74	3369,852
Peso de la estructura de soporte del perfil de aluminio	77,65	774,97
Peso de los tableros de sujeción de elementos	11,5	14,7
	TTotal N:	f500,9074

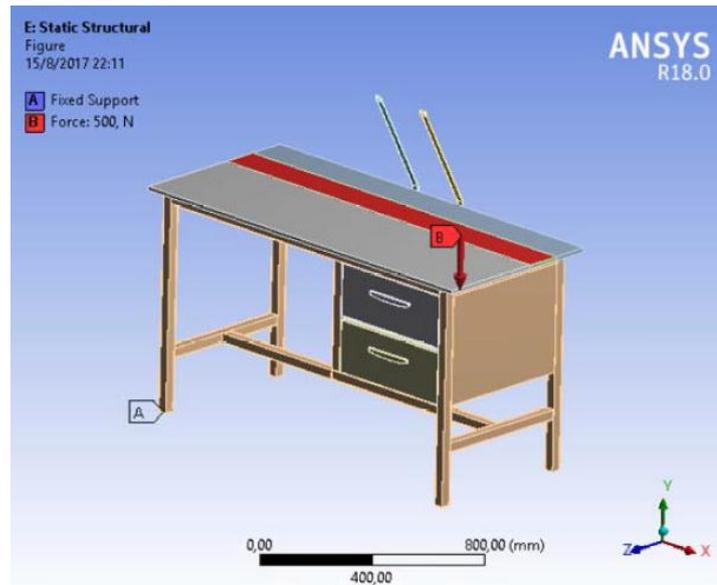


Figura 70 Puntos de aplicación de carga en la mesa base
Fuente: Programa Ansys

Ahora observamos la deformación total del elemento en la figura 71, donde indica que la máxima deformación es de 1,1338 mm; la mayor deflexión se observa que es en el centro de la mesa pero con una deflexión mínima de 0,4 mm aproximadamente. El programa también nos arroja la simulación de la deformación direccional en el eje Y como se observa en la figura 72, donde observamos que la máxima deformación posible es de 0,00018999 mm también en la parte central del elemento.

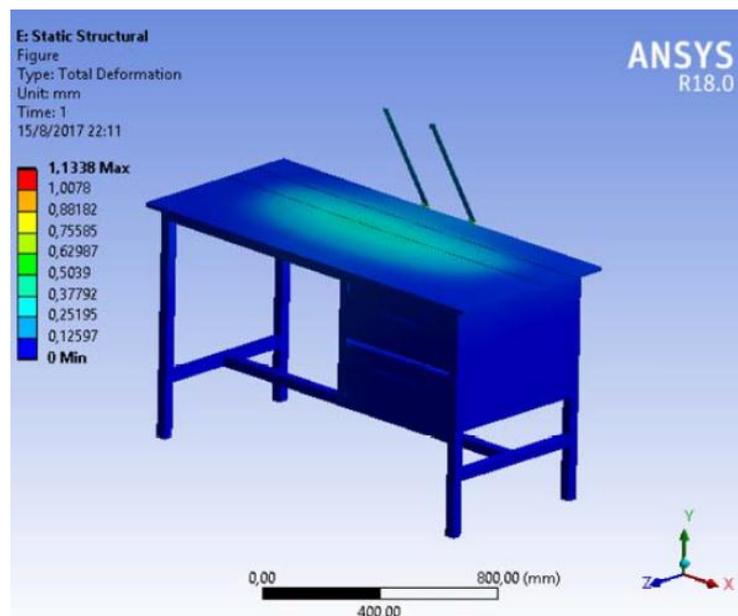


Figura 71 Deformación total del elemento
Fuente: Programa Ansys

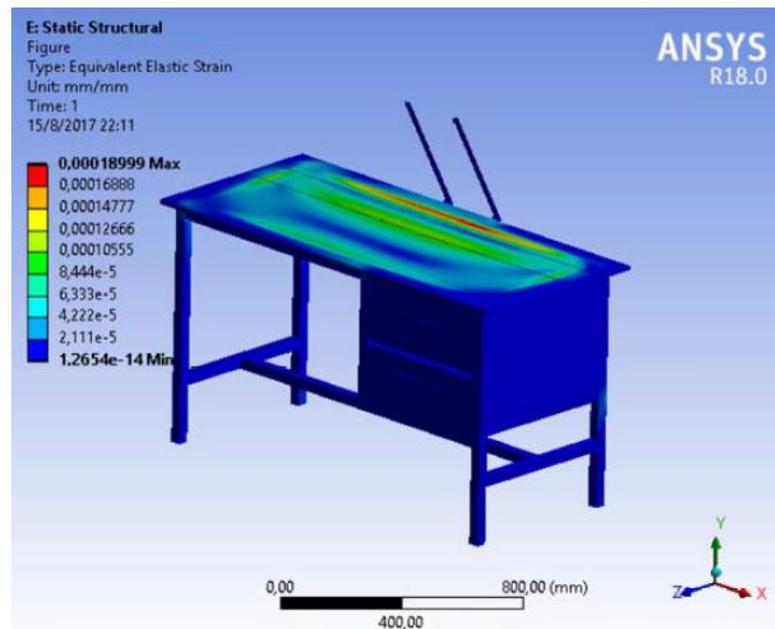


Figura 72 Deformación direccional del elemento
Fuente: Programa Ansys

Ahora obtenemos el esfuerzo de Von Mises como se muestra en la figura 73, donde el máximo valor es esfuerzo es de 19,25 MPa y el mínimo de $8,6936e-10$ Mpa, en las distintas partes de la mesa.

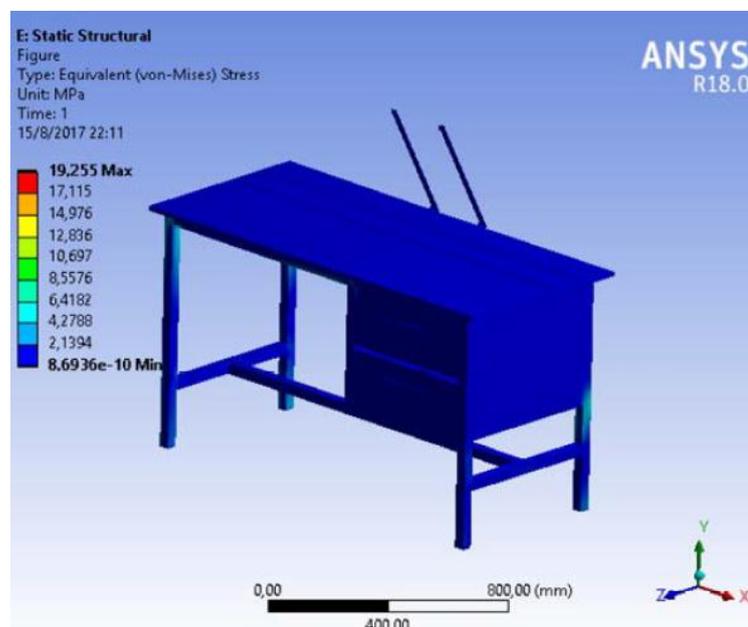


Figura 73 Equivalente de Von Mises en el análisis estructural
Fuente: Programa Ansys

El equivalente de Von Mises nos permite sacar el factor de diseño lo cual es lo más importante en el análisis estructural, tiene que ser mayor a uno

para que el diseño sea considerado apropiado, en esta vez el factor de diseño tenemos 1,5899 como se muestra en la figura 74, lo que quiere decir que la mesa podría aguantar más de la mitad del peso que ya soporta, lo cual es un resultado satisfactorio.

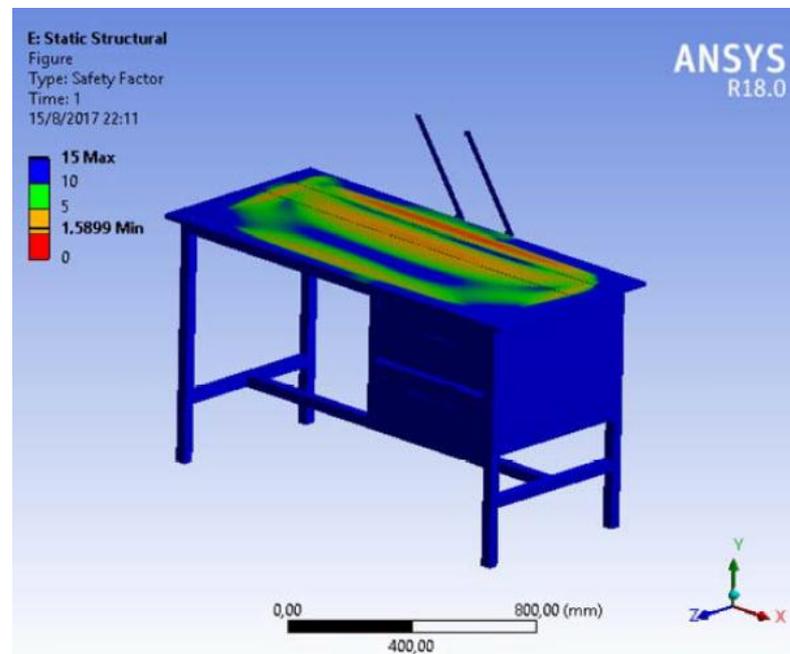


Figura 74 Factor de seguridad del elemento
Fuente: Programa Ansys

CAPÍTULO V

5 IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL

5.1 Introducción

El sistema del módulo didáctico para una red de comunicación industrial utilizando protocolo abierto MODBUS RTU – TCP/IP para monitoreo, control local y remoto de la estación de multivARIABLES físicas consta de las siguientes etapas:

- **Accionamientos Eléctricos:** Conexión cableado y acondicionamiento de los dispositivos de campo que se acoplarán a la Red de comunicación industrial a implementar.
- **Comunicación de dispositivos seriales:** Accionamiento en el ordenador de los dispositivos de campo a través de los controladores, empleando la forma de organización de datos Maestro/Esclavo con la trama MODBUS RTU.
- **Comunicación por el Convertidor RTU-TCP/IP:** Accionamiento simultaneo de los dispositivos de comunicación gracias a la utilización del puente de comunicación Delta IFD9507. Configuración y programación inicial de la trama MODBUS TCP.
- **Comunicación entre equipos MODBUS TCP/P:** Establecimiento de comunicación entre los dispositivos con puerto Ethernet empleando la forma de organización de datos Cliente/Servidor con la trama MODBUS TCP/IP.
- **Visualización y monitoreo de datos en las pantallas HMI y ordenador:** Configuración y programación de las pantallas HMI y el ordenador para la presentación de datos y monitoreo de la red de comunicación industrial.

5.2 Accionamientos Eléctricos

5.2.1 Conexión del motor

En el proyecto se utilizará una bomba hidráulica, su motor eléctrico acoplado va a ser controlado por los variadores de frecuencia Delta y Schneider que se acoplarán a la red a través de sus puertos seriales. La

placa de características del motor de la bomba hidráulica y el detalle de su conexión se describen en la figura 75 y la tabla 40.



Figura 75 Placa de características del motor de la bomba hidráulica

Tabla 39

Detalle para la conexión del motor de la bomba hidráulica

Marca	THEBE
Potencia	0.5 HP
Frecuencia	60 Hz
RPM	3480
Corriente	1.8 A
Voltaje	220 V

La corriente que nos proporciona la placa de características del motor de la bomba es de utilidad para la configuración de los variadores de frecuencia y el medidor de energía para el cálculo del conductor para su conexión. El conductor eléctrico para el motor de la bomba hidráulica se selecciona en la figura 76, para la configuración de cable concéntrico tipo TC (cable sucre).

Cálculo de conductor para el motor de la bomba hidráulica

$$I_{3f} = \frac{P}{V}$$

$$I_{3f} = \frac{0.5hp}{220V} \times \frac{746W}{1hp}$$

$$I_{3f} = 1.7A$$

$$I_{1f} = \frac{I_{3f}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{1f} = \frac{1.7 A}{\sqrt{3}}$$

$$I_{1f} = 0.979 A \approx 1A$$

Conductores Rígidos Multipolares de Cobre tipo TC

Conductor elaborado bajo normas:

NEMA WC-5 • ICEA S-61-402 • ASTM B3, B8 • UL STANDARD 719 • INEN

Forma de Embalaje:

A: Rollo de 100 m.

Z: Long. a requerimiento del cliente.

Colores Disponibles:

Para todos los calibres (conductores internos): Blanco, azul, rojo y verde.

Para la chaqueta exterior: negro.

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm ²	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPEJOR AISLAMIENTO mm.	ESPEJOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/ Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	ALTERNAT. DE EMBALAJE
2 x 16	1,31	1 x 1,29	0,76	1,14	8,40	88,90	13	A,Z
2 x 14	2,08	1 x 1,63	1,14	1,14	10,30	143,00	18	A,Z
2 x 12	3,31	1 x 2,05	1,14	1,14	11,30	184,00	25	A,Z
2 x 10	5,26	1 x 2,59	1,14	1,14	12,50	243,00	30	A,Z
2 x 8	8,37	7 x 1,23	1,52	1,52	17,20	447,00	40	A,Z
2 x 6	13,30	7 x 1,55	1,52	1,52	19,20	606,00	55	A,Z
2 x 4	21,15	7 x 1,96	1,52	2,03	23,20	912,00	70	A,Z
2 x 2	33,62	7 x 2,47	1,52	2,03	26,10	1360,00	95	A,Z
2 x 1/0	53,49	19 x 1,89	2,03	2,03	29,80	1950,00	130	A,Z
3 x 16	1,31	1 x 1,29	0,76	1,14	9,10	112,50	10	A,Z
3 x 14	2,08	1 x 1,63	1,14	1,14	11,30	181,00	15	A,Z
3 x 12	3,31	1 x 2,05	1,14	1,14	12,30	234,00	20	A,Z
3 x 10	5,26	1 x 2,59	1,14	1,14	13,83	318,00	25	A,Z
3 x 8	8,37	7 x 1,23	1,52	1,52	18,20	551,00	35	A,Z
3 x 6	13,30	7 x 1,55	1,52	1,52	20,40	764,00	45	A,Z
3 x 4	21,15	7 x 1,96	1,52	2,03	24,50	1149,00	60	A,Z
3 x 2	33,62	7 x 2,47	1,52	2,03	27,60	1710,00	80	A,Z
3 x 1/0	53,49	19 x 1,89	2,03	2,03	31,50	2740,00	110	A,Z
4 x 16	1,31	1 x 1,29	0,76	1,14	9,70	130,60	8	A,Z
4 x 14	2,08	1 x 1,63	1,14	1,14	12,30	221,00	12	A,Z

Figura 76 Selección de conductor eléctrico para los motores
Fuente: (Electrocables, 2012)

5.2.2 Conexión de la PT100

Como elemento primario de temperatura (TE) conectado al controlador de Temperatura DTB4848 en el proyecto se tiene una PT100 (figura 77). Su conexión es por el método de 3 hilos (figura 78 y 79) y sus principales características están en la tabla 41.



Figura 77 Instrumento de temperatura PT100

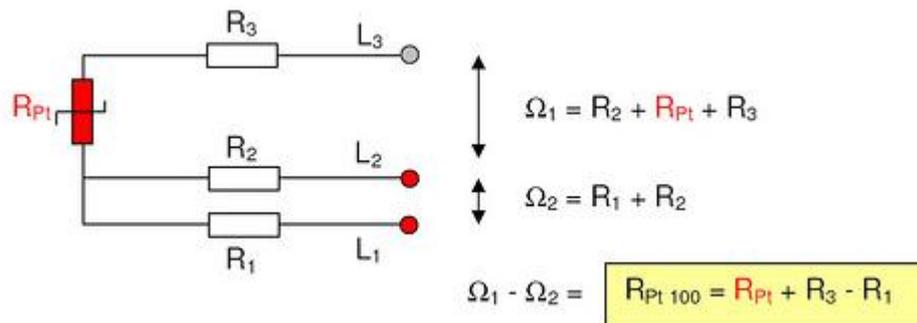


Figura 78 Conexión de la PT100, método de los 3 hilos
Fuente: (Suministro y calibración industrial, 2016)

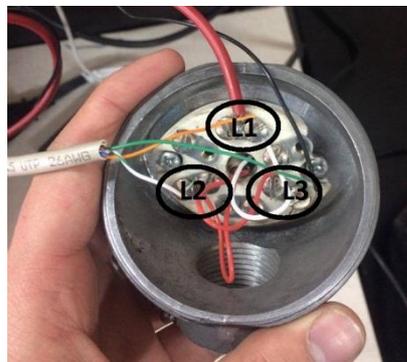


Figura 79 Conexión de 3 hilos en la PT100 del proyecto

Tabla 40
Características de la PT100

INSTRUMENTO	PT100
Rango de medida	de -200 a 850°C
Sensibilidad	Sens. Total
Estabilidad	Excelente
Precisión	± 0.1 °C
Salida	Ohm

Fuente: (Introducción sensores de temperatura, 2013)

5.2.3 Conexión de los dispositivos seriales

La conexión de los dispositivos serie implementados en el proyecto se interconectan a través de un Bus Modbus RS485 como se indica en la figura 80. Al conectar varios dispositivos serie en el protocolo Modbus RTU se produce intermitencia de la señal (Ruido) lo cual se soluciona con la instalación de resistencias y capacitancias terminadoras en el bus RS485 como dice la teoría de Conexión de bus Modbus RS485, este inconveniente se soluciona como se indica en la figura 81.



Figura 80 Switch para el Bus RS485

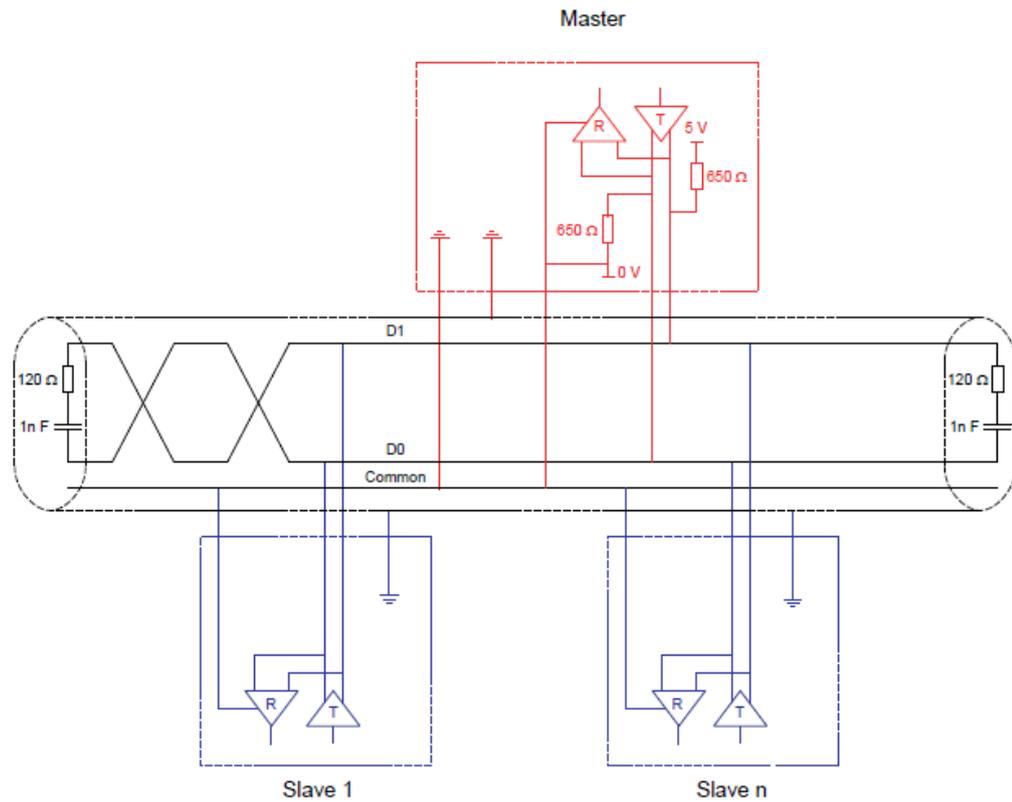


Figura 81 Diagrama esquemático de un bus RS485
Fuente: (Schneider Electric, 2013)

a) Conexión del controlador de temperatura

En la figura 82 se muestra el conexionado del controlador de temperatura a la PT100. La alimentación es a 110V AC están conectados a los terminales 11 y 12 del elemento; los cables L1, L2, L3 de la figura 79 se conectan a las terminales 3, 4, 5 del elemento; la señal D- y D+ (RS-485) están conectados a los terminales 9 y 10 respectivamente.



Figura 82 Conexión del controlador de temperatura Delta DTB4848

b) Conexión del variador Delta VFD-007E723A

En la figura 83 se muestra el conexionado del variador de frecuencia Delta VFD-EL. La alimentación es a 220V AC trifásico conectada en la parte superior del elemento; la señal D- y D+ (RS-485) está conectada en la parte inferior derecha por medio de cable serie RJ11.



Figura 83 Conexión del variador de frecuencia Delta

c) Conexión del variador Schneider ATV12H075M2

En la figura 84 se muestra el conexionado del variador de frecuencia Schneider ATV12H075M2. La alimentación es a 220V AC bifásico conectada en la parte superior del elemento; la señal D- y D+ (RS-485) está conectada en la parte inferior derecha por medio de cable serie RJ45.



Figura 84 Conexión del variador de frecuencia Schneider

5.2.4 Conexión del Convertidor Modbus RTU-TCP/IP Delta IFD9507

En la figura 85 se indica el conexionado del convertidor Modbus RTU-TCP/IP Delta IFD9507. La alimentación es a 24V DC conectada en la parte inferior derecha del elemento; la señal D- y D+ del bus RS-485 está conectada en la parte superior izquierda por medio de cable serie RJ11; su conexión Ethernet por medio de cable de red RJ45 se aprecia en la parte central superior.



Figura 85 Conexión del equipo Delta IFD9507

5.2.5 Conexión del PLC Schneider Modicon TM221CE24R

En la figura 86 se indica el conexionado del PLC TM221CE24R. La alimentación es monofásica a 100V AC conectada en la parte inferior izquierda (cable negro); su conexión Ethernet se encuentra en la parte inferior izquierda por medio de cable de red RJ45; en la parte superior del elemento tenemos las entradas digitales en donde se conectaron dos pulsadores para la activación (pulsador rojo) y desactivación (pulsador negro) del programa en uso como se muestra en la figura 87.



Figura 86 Conexión del PLC Schneider



Figura 87 Pulsadores para activar y desactivar el programa del PLC Schneider

5.2.6 Conexión del PLC AB Micro850 2080-LC50-24QWB

En la figura 88 se indica el conexionado del PLC AB Micro850 2080-LC50-24QWB. La alimentación es a 24V DC conectada en la parte inferior izquierda al inicio de la bornera de salidas digitales; su conexión Ethernet se encuentra en la parte superior izquierda por medio de cable de red RJ45.



Figura 88 Conexión del PLC AB Micro850

5.2.7 Conexión del medidor de energía SENTRON PAC3200

En la figura 89 se indica el conexionado del medidor de energía SENTRON PAC3200 viendo al elemento desde la parte posterior para mejor perspectiva. La alimentación es monofásica a 110V AC conectada en la parte inferior derecha (terminales color naranja), el cable de red Ethernet RJ45 va conectado en la parte superior izquierda (Cable azul).

El conexionado para medir voltajes se encuentra en la parte inferior derecha al lado de la alimentación donde tenemos la nomenclatura V1, V2 y V3; para medir las corrientes de línea se requirieron dos cables (conexión como amperímetro) para cada línea (IL1, IL2, IL3) como se muestra en la figura, para este conexionado se utilizó cable sucre.

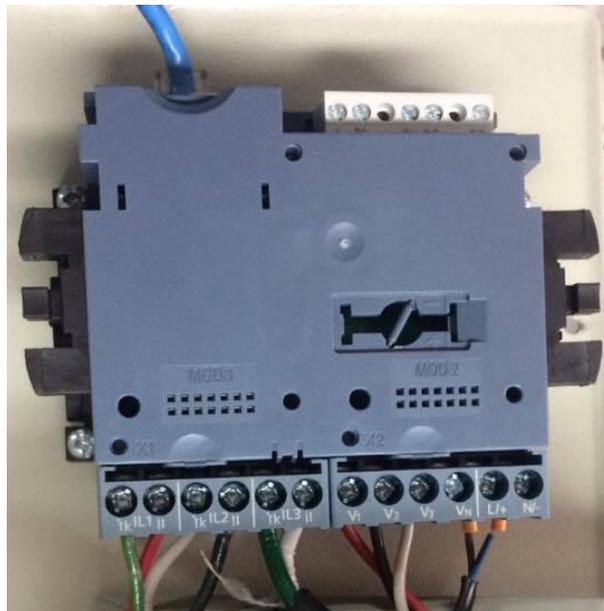


Figura 89 Conexión del medidor de energía SENTRON PAC3200

5.2.8 Conexión pantalla HMI Delta DOP-B03E211

En la figura 90 se indica el conexionado de la pantalla HMI Delta DOP-B03E211 viendo el elemento desde la parte posterior. La alimentación es a 24V DC conectada en la parte superior izquierda; su conexión Ethernet se encuentra en la parte inferior izquierda por medio de cable de red RJ45.



Figura 90 Conexión de pantalla HMI Delta B03E211

5.2.9 Conexión de los equipos Ethernet por Switch Ethernet

En la figura 91 se indica que la conexión de todos los equipos Ethernet se la realizó mediante un switch Ethernet. En la parte inferior derecha de la figura se aprecia su alimentación monofásica a 110 V AC (conector negro) y en su parte superior se distinguen los cables de red interconectados.



Figura 91 Conexión del switch Ethernet

5.3 Comunicación de dispositivos seriales

En esta etapa se realizará un modo de comunicación punto-punto por separado entre los variadores de velocidad (VFD1, VFD2, ATV12), el

controlador de temperatura (Ctrl. Temp), con el ordenador a través de sus puertos serie.

5.3.1 Programación de variadores DELTA

a) Programación de los variadores DELTA para operación

Para la operación de los variadores DELTA VFD007E23A y VFD007EL23A se realiza la configuración de parámetros del manual de usuario (Anexo B) según las características del motor de la bomba hidráulica y la funcionalidad del variador.

- Los parámetros del motor (Parámetros 00.XX y 01.XX), según la placa de características del motor que se muestra en la Tabla 40.
- Los parámetros de operación del variador (Parámetros 02.XX), es aquí donde se definirá si es a través del teclado del variador, de su bornera, o a través del puerto RS485.
- Los parámetros correspondientes a la capa de enlace de la trama MODBUS RTU se las realizan en el parámetro 09.XX.

b) Programación de variadores DELTA a través de su línea Serie

Para operar los variadores DELTA desde el ordenador se debe forzar los parámetros internos del variador con el software MbPoll para lo cual se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Conectar el variador al ordenador por el puerto serie, o a través de un convertidor RS485 a USB, IFD6500, (Delta, 2017).
- Ejecutar el software MbPoll y realizar la configuración que se encuentra en las figuras 92, 93, 94 y 95.
- Los registros MODBUS de los variadores Delta para el accionamiento del motor se encuentran detallados como Lista de Direcciones en el manual de usuario.
- Se usa el registro 2000H (8192 decimal), para el arranque, parada e inversión de giro, mientras que el registro 2001H (8193 decimal) para la escritura y lectura del valor de frecuencia del motor; como se indica en la tabla 42.

Tabla 41
Registros de forzamiento (Lista de Direcciones) en variadores Delta

ACCIÓN DEL MOTOR	Registro a Forzar		Valor de activación	
	Hexadecimal	Decimal	Bits activos	Decimal
Parada	2000	8192	Bit 0	1
Arranque			Bit 1	2
Giro Directo (FWD)			Bit 4	16
Giro Inverso (RWD)			Bit 5	32
Cambio de Giro			Bit 4, 5	48
Valor de Frecuencia	2001	8193	-	[Hz] x 100

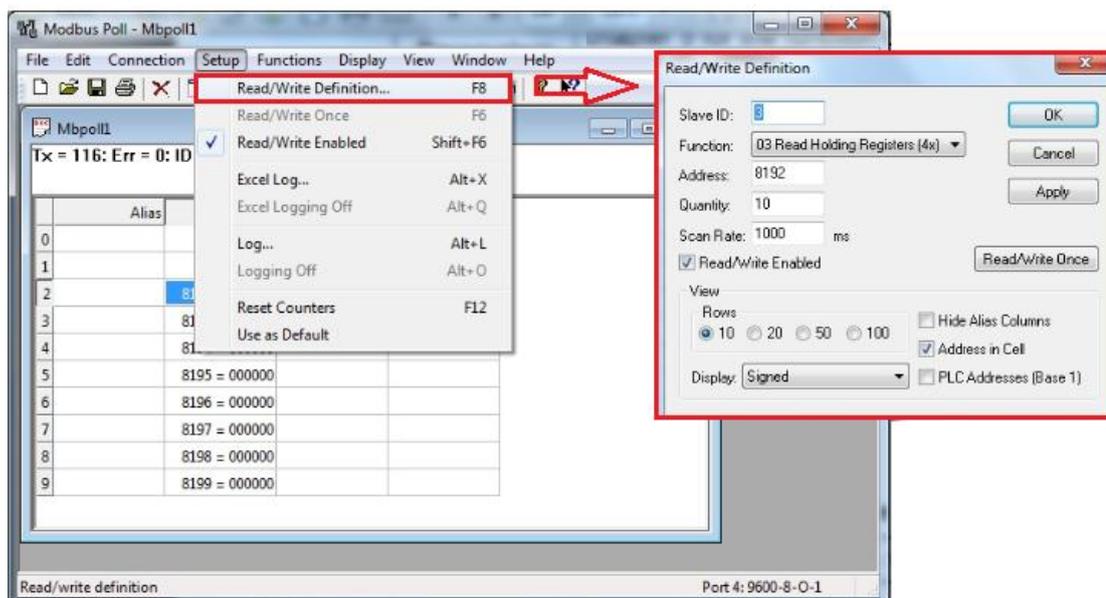


Figura 92 Configuración de los registros a forzar del variador

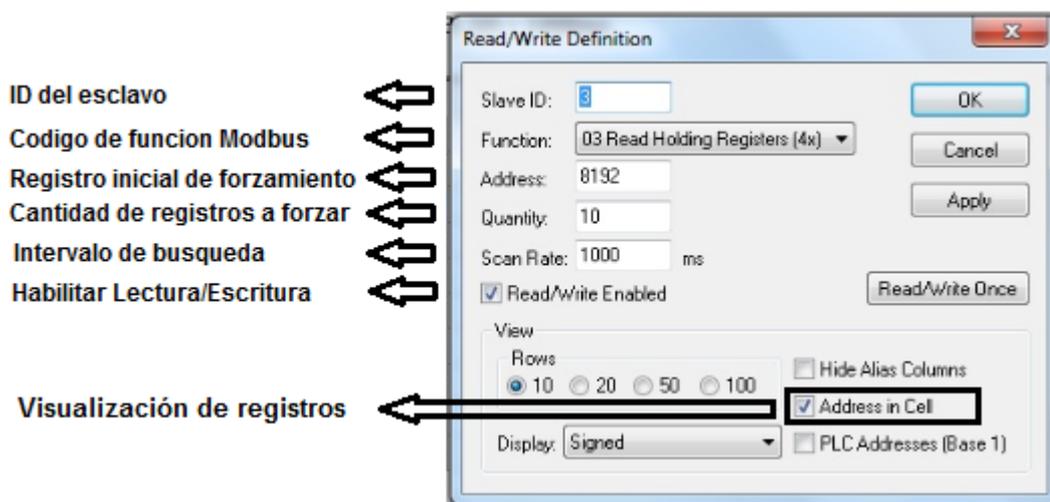


Figura 93 Detalle de la configuración de los registros a forzar

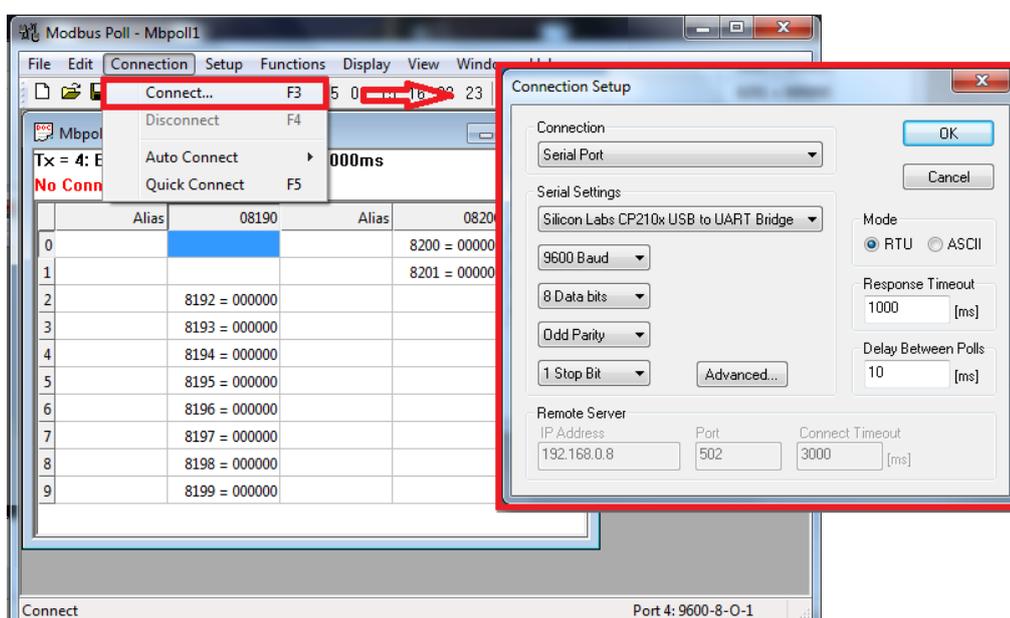


Figura 94 Configuración de la trama de Modbus RTU

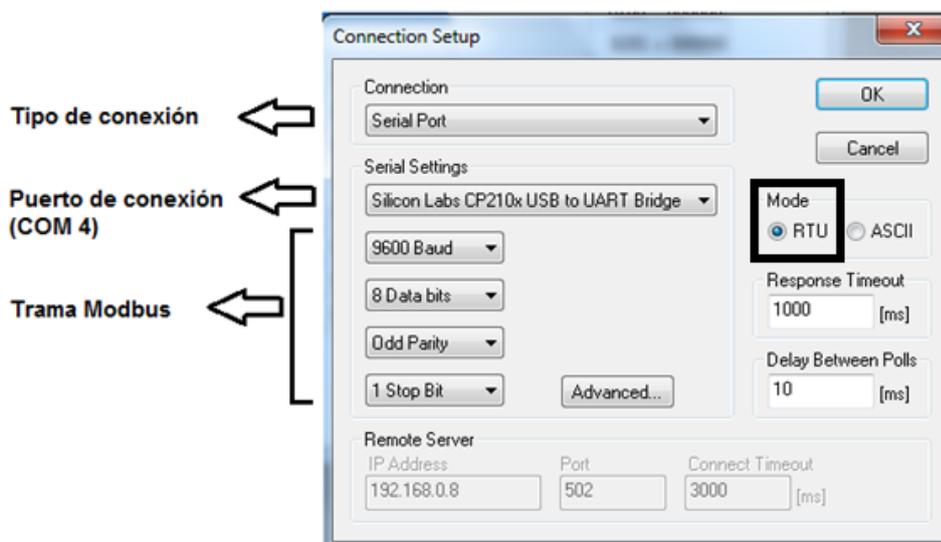


Figura 95 Detalle de la configuración de la trama de Modbus RTU, capa de enlace

Realizada la configuración se realiza una confirmación de la comunicación (Figura 96) consiste en dar click en “Display”, seleccionar “Communication” se abre la ventana de comunicación donde se visualiza que existe comunicación si después de cada línea TX existe una línea de respuesta Rx como indica la ventana desplegada; en el caso de no haber respuesta no aparecería la línea Rx.

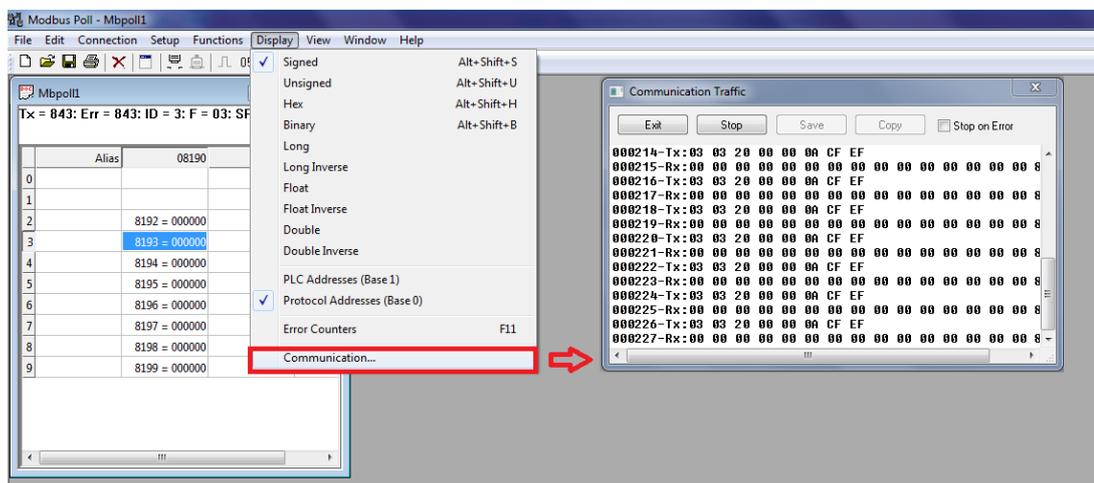


Figura 96 Comprobación de comunicación del equipo serie

Establecida comunicación entre los equipos se procede al forzamiento de los registros, figuras 97, 98, conforme se había descrito en la tabla 36. La comprobación del forzamiento de registros se la visualiza en la figura 99.

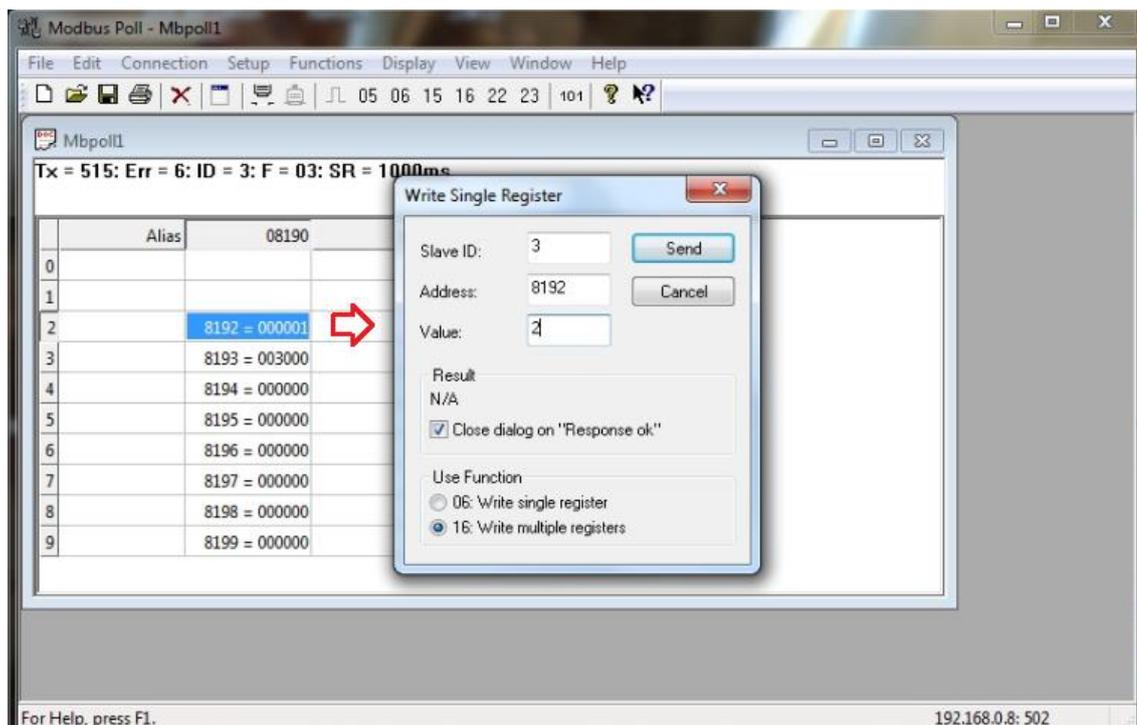


Figura 97 Forzamiento del registro "Command" del variador de frecuencia

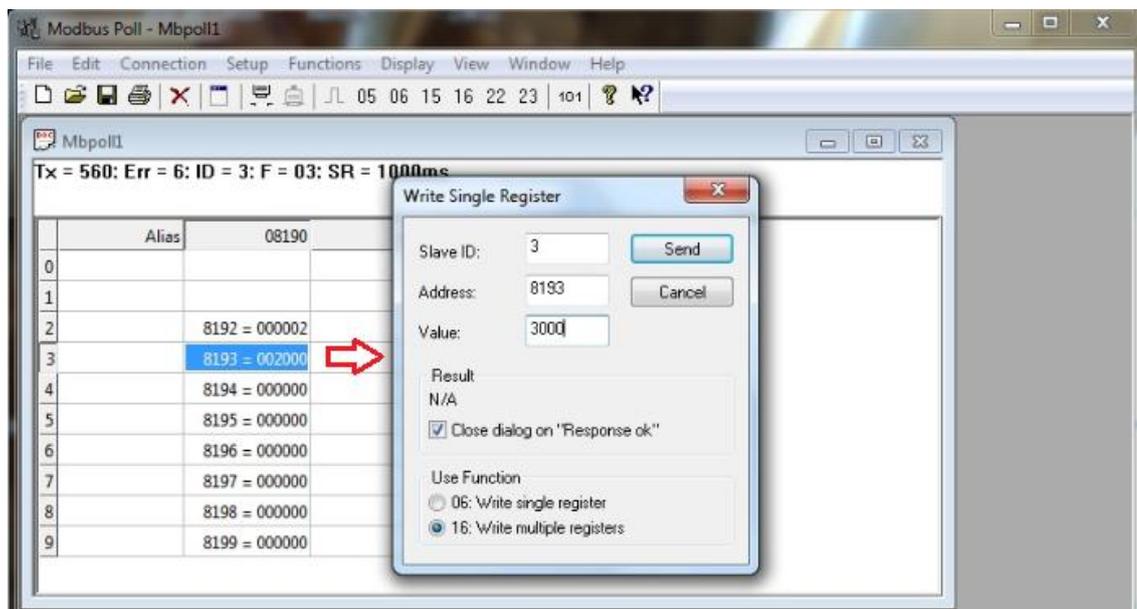


Figura 98 Forzamiento del registro frecuencia del variador de frecuencia

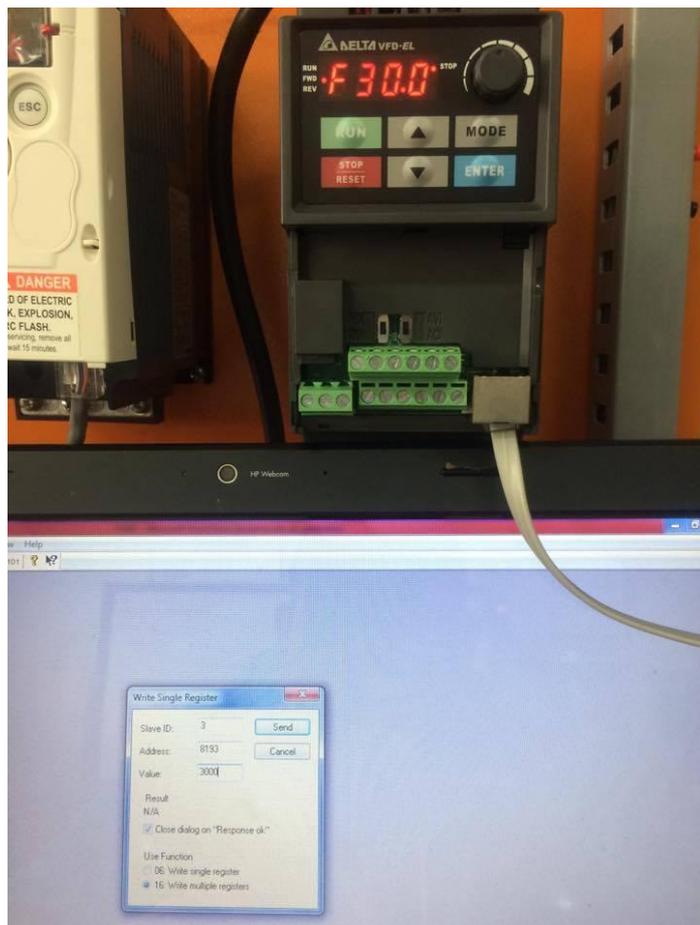


Figura 99 Comprobación del forzamiento de registros en el equipo

5.3.2 Programación de variador SCHNEIDER

La configuración del variador Schneider ATV12H075M2 se lo realiza desde el teclado del variador, siguiendo los pasos que se encuentran detallados en el Anexo C, en resumen:

- Se configura los datos de placa del motor, Tabla 40, que se conectará a sus terminales
- Se configura también el modo de Operación del motor, para el propósito desde el puerto serial
- En la comunicación del variador, se definirá la trama de Modbus RTU a comandar el variador.

Realizada la configuración en el variador se procede a conectar el variador al ordenador por el puerto serie a través de un convertidor RS485 a USB (IFD6500).

- Se ejecuta el software MbPoll y realizar la configuración del ID del esclavo (5) y se define la trama Modbus RTU.
- Se usa el registro 2000H (8192 decimal), para el arranque, parada e inversión de giro, mientras que el registro 2001H (8193 decimal) para la escritura y lectura del valor de frecuencia del motor; como se indica en la tabla 42.
- Los registros de monitoreo del variador Schneider para el accionamiento del motor se detallan en las figuras 100 y 101.
- Para la aplicación en el proyecto los valores que se controlan en estos registros se indican en la tabla 43. Se usa el registro 2135H (8501 decimal), para el arranque, parada e inversión de giro, mientras que el registro 2136H (8502 decimal) para la escritura y lectura del valor de frecuencia del motor

Code	Name	Logic address	Category	Access	Type	Units
CMD	Control word	16#2199 = 8601 (speed) 16#2135 = 8501 (frequency)	Control parameters	R/W	WORD (BitString16)	-
CMI	Extended control word	16#2138 = 8504	Control parameters	R/W	WORD (BitString16)	-
RPR	Reset counters command	16#0C30 = 03120	Control parameters	R/W	WORD (Enumeration)	-
LFRD	Speed setpoint	16#219A = 8602	Setpoint parameters	R/W	INT (Signed16)	1 rpm
LFR	Frequency setpoint	16#2136 = 8502	Setpoint parameters	R/W	INT (Signed16)	0.1 Hz
NCA1	Communication scanner, address of write word 1	16#31B1 = 12721	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	1
NCA2	Communication scanner, address of write word 2	16#31B2 = 12722	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	1
NCA3	Communication scanner, address of write word 3	16#31B3 = 12723	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	1
NCA4	Communication scanner, address of write word 4	16#31B4 = 12724	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	1
NMA1	Communication scanner, address of read word 1	16#319D = 12701	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	1
NMA2	Communication scanner, address of read word 2	16#319E = 12702	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	1
NMA3	Communication scanner, address of read word 3	16#319F = 12703	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	1
NMA4	Communication scanner, address of read word 4	16#31A0 = 12704	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	1
ADD	Terminal modbus : Drive address	16#1771 = 06001	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	1
TBR	Terminal modbus : Baud-rate	16#1773 = 06003	Communication	R/WS	WORD (Enumeration)	-
TFO	Terminal modbus : Frame format	16#1774 = 06004	Communication	R/WS	WORD (Enumeration)	-
TTO	Terminal modbus : Time-out	16#1775 = 06005	Communication	R/WS	UINT (Unsigned16)	0.1 s
FLO	Forced local assignment	16#20EF = 08431	Communication	R/WS	WORD (Enumeration)	-
FLOC	Forced local reference source assignment	16#20F0 = 08432	Communication	R/WS	WORD (Enumeration)	-

Figura 100 Parámetros de comunicación o códigos (Code) para accionamiento del variador Schneider

Fuente: (Schneider Electric, 2013)

CMD	bit 0: = 1 : Switch on
	bit 1: = 0 : Disable voltage
	bit 2: = 0 : Quick stop/Emergency stop
	bit 3: = 1 : Enable operation/Run command
	bit 4: Reserved (set to 0).
	bit 5: Reserved (set to 0).
	bit 6: Reserved (set to 0).
	bit 7: Fault reset/Fault acknowledgment active on 0 V 1 rising edge
	bit 8: = 0 : RUN asked, 1 : STOP asked
	bit 9: Reserved (set to 0).
	bit 10: Reserved (set to 0).
	bit 11: Direction of rotation command = 0: Forward rotation = 1: Reverse rotation. Default value, this bit can be assigned to another command.
	bit 12: Reserved (set to 0).
	bit 13: Reserved (set to 0).
	bit 14: Reserved (set to 0).
bit 15: Reserved (set to 0).	

Figura 101 Funciones de los Bits del código CMD
Fuente: (Schneider Electric, 2013)

Tabla 42

Acciones del variador Schneider para control de registros

ACCIÓN DEL MOTOR	Registro de control		Valor de activación	
	Hexadecimal	Decimal	Bits activos	Decimal
Reset	2135	8501	7	128
Paro de emergencia			0, 1, 3	11
Paro			1, 2	6
Giro Directo (FWD)			0,1, 2, 3	15
Giro Inverso (REV)			0,1, 2, 3, 11	2063
Valor de Frecuencia	2136	8502	-	[Hz] x 10

5.3.3 Configuración de controlador de Temperatura DELTA

El controlador de Temperatura Delta DTB4848 tiene la posibilidad de conectarse varios Instrumentos de Temperatura, para este efecto se utilizara como instrumento acoplado una PT100. Este equipo nos ofrece la lectura de temperatura obtenida por el instrumento de medida desde su pantalla, así como también otros valores de temperatura como Set Point y límites de operación según el instrumento acoplado.

Realizada la conexión del instrumento al controlador se realiza la configuración de los parámetros del instrumento conectado (PT100) como se

indica en el manual de usuario en el Anexo D, también se configura el modo de comunicación (trama de Modbus RTU) que se utilizara.

Mediante el puerto de comunicación serial que tiene este controlador se puede principalmente visualizar la temperatura de un proceso, así como escritura de SetPoint y límites de operación del instrumento. El forzamiento de registros del DTB4848 es parecido al forzamiento descrito para los variadores de frecuencia, para este equipo los registros a forzar están descritos en la tabla 43.

Tabla 43
Datos de temperatura del controlador DTB4848 para forzamiento.

Dato de Temperatura	Registro de forzamiento			Unidad
	Hexadecimal	Decimal	Acceso	
Temperatura del proceso	1000	4096	Lectura	[°C] x 10
Set Point	1001	4097	Lectura / Escritura	[°C] x 10
Límite superior del instrumento	1002	4098	Lectura / Escritura	
Límite inferior del instrumento	1003	4099	Lectura / Escritura	

Fuente: (Delta Electronics, 2015)

5.4 Comunicación por el convertidor RTU-TCP/IP

En esta etapa se realizara un modo de comunicación multipunto entre los variadores de velocidad (VFD1, VFD2, ATV12), el controlador de temperatura (Ctrl. T), con convertidor RTU-TCP/IP (Delta IFD9507), el cual convierte el protocolo de comunicación Modbus RTU, el cual admiten los equipos citados anteriormente, con el protocolo de comunicación Modbus TCP, el cual se utilizara en equipos con puerto Ethernet.

5.4.1 Configuración del Convertidor RTU-TCP/IP

Se alimenta el puente IFD9507 a 24Vdc y se establece la trama de comunicación Modbus RTU girando los selectores como lo indica en la figura 43. La configuración del convertidor RTU-TCP/IP (Delta IFD9507) se lo

realiza con el software DCISoft, conectado el equipo al ordenador, a través del puerto Ethernet.

Para la aplicación del proyecto el equipo será Maestro Modbus RTU, sin embargo el ordenador y otros equipos que se conectaran con este lo reconocerán como un Cliente Modbus TCP/IP, por lo cual se debe establecer dirección IP. En el software se establecerán estas condiciones como se indican las figuras 102, 103, 104, 105 y 106.

En la figura 102 se describe que se da click en el icono search (recuadro rojo) lo cual despliega una ventana, la cual es la que está bajo la flecha hacia abajo, indicando la búsqueda del dispositivo.

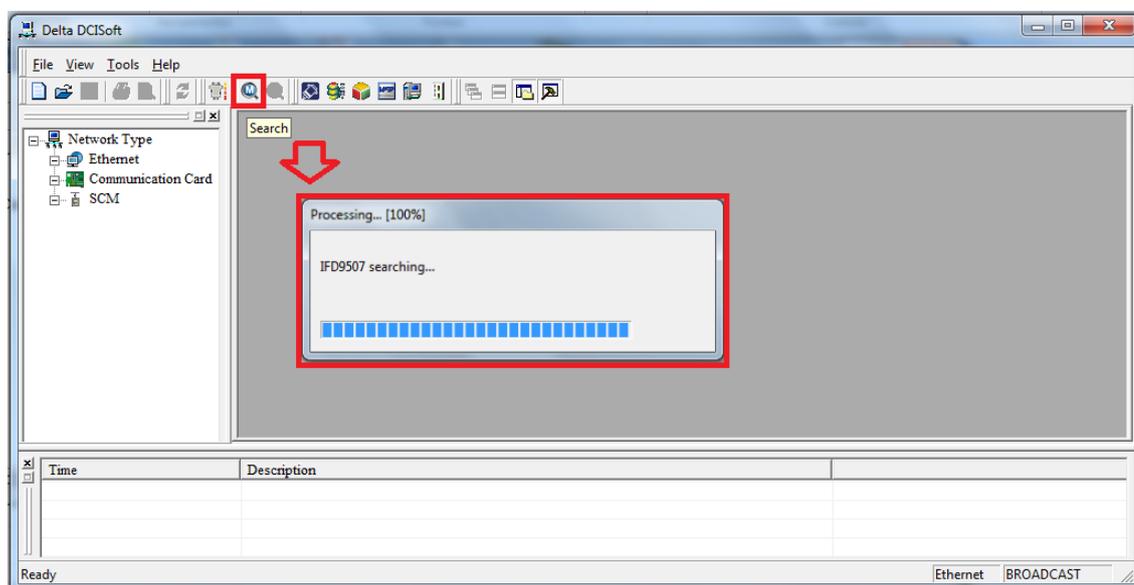


Figura 102 Búsqueda de equipo conectado a la red a través de DCISoft

En la figura 103 se muestra que al dar click encima del dispositivo encontrado se mostrara la información del equipo. Esta información es desplegada en la ventana de la figura 104. Al moverse en las pestañas de la ventana de información del dispositivo se puede realizar su configuración

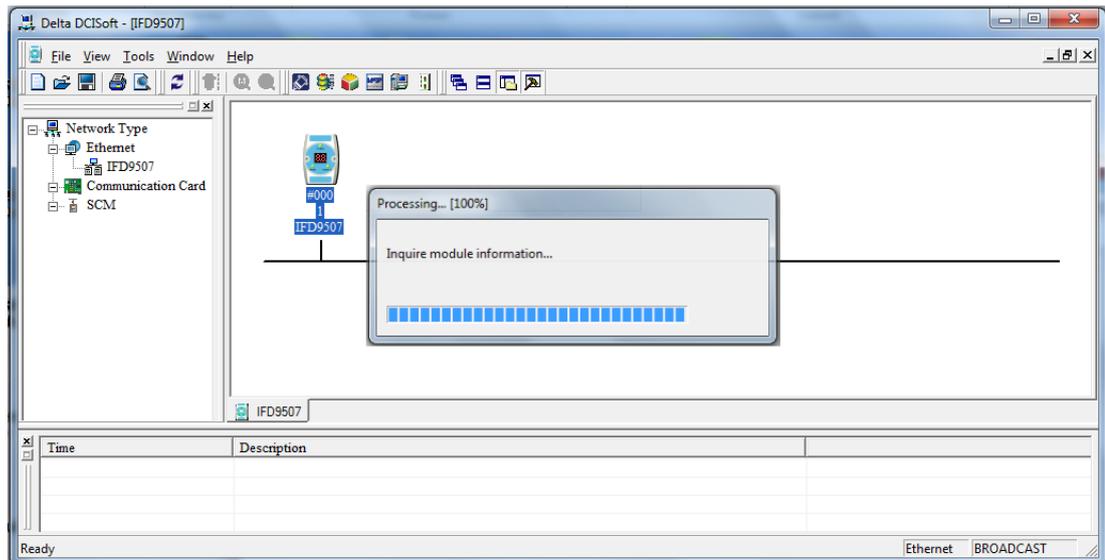


Figura 103 Selección del dispositivo para su configuración

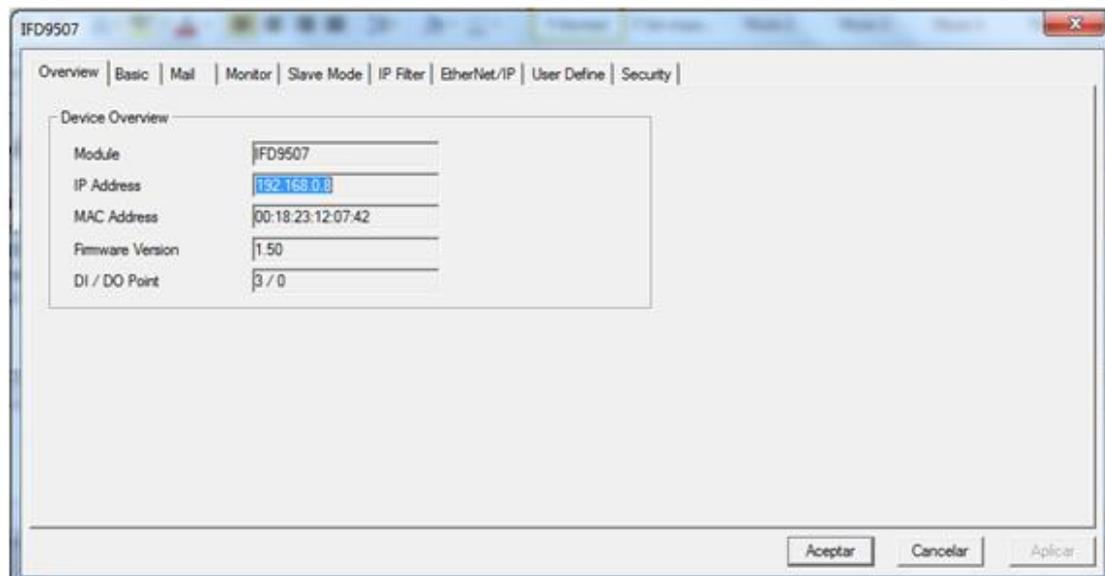


Figura 104 Detalle general del IFD9507

Continuando con la configuración del dispositivo, en la figura 105 indica que al seleccionar la pestaña “Basic” de la ventana, se configura los parámetros de la línea serie conectada, señalados en los recuadros especificados con flechas. La figura 106 pertenece a la pestaña “IP Filter” de la ventana, en su columna izquierda se escribe las direcciones IP de los equipos con los que se conectará el convertidor RTU-TCP/IP.

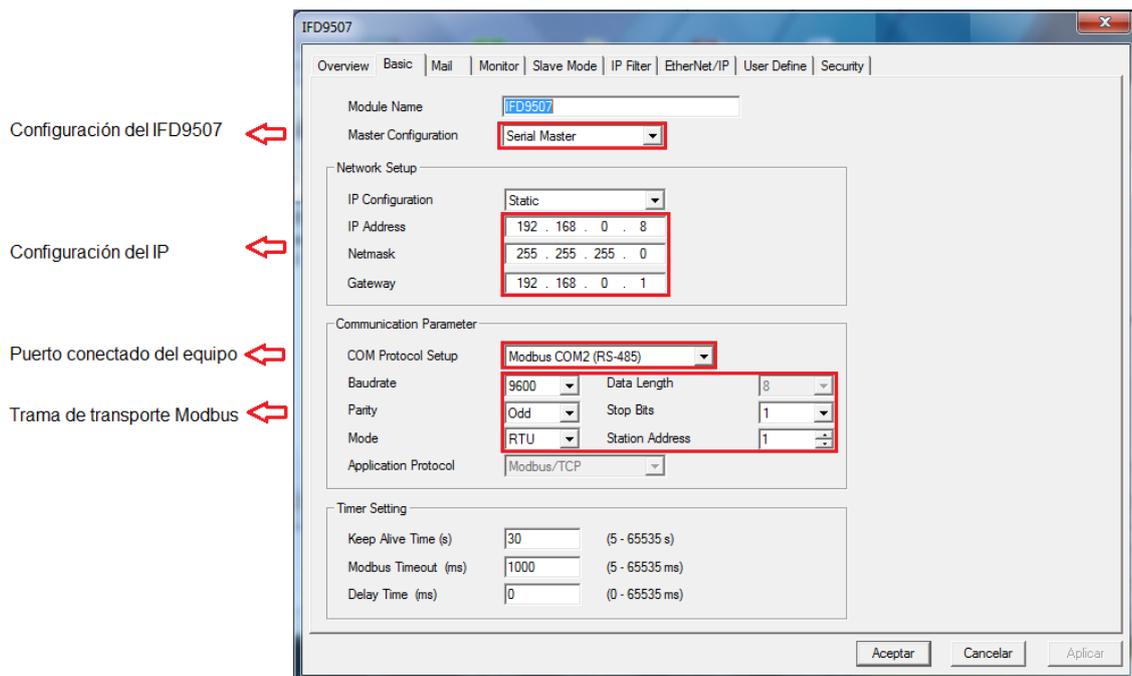


Figura 105 Configuración de la línea Serie del IFD9507

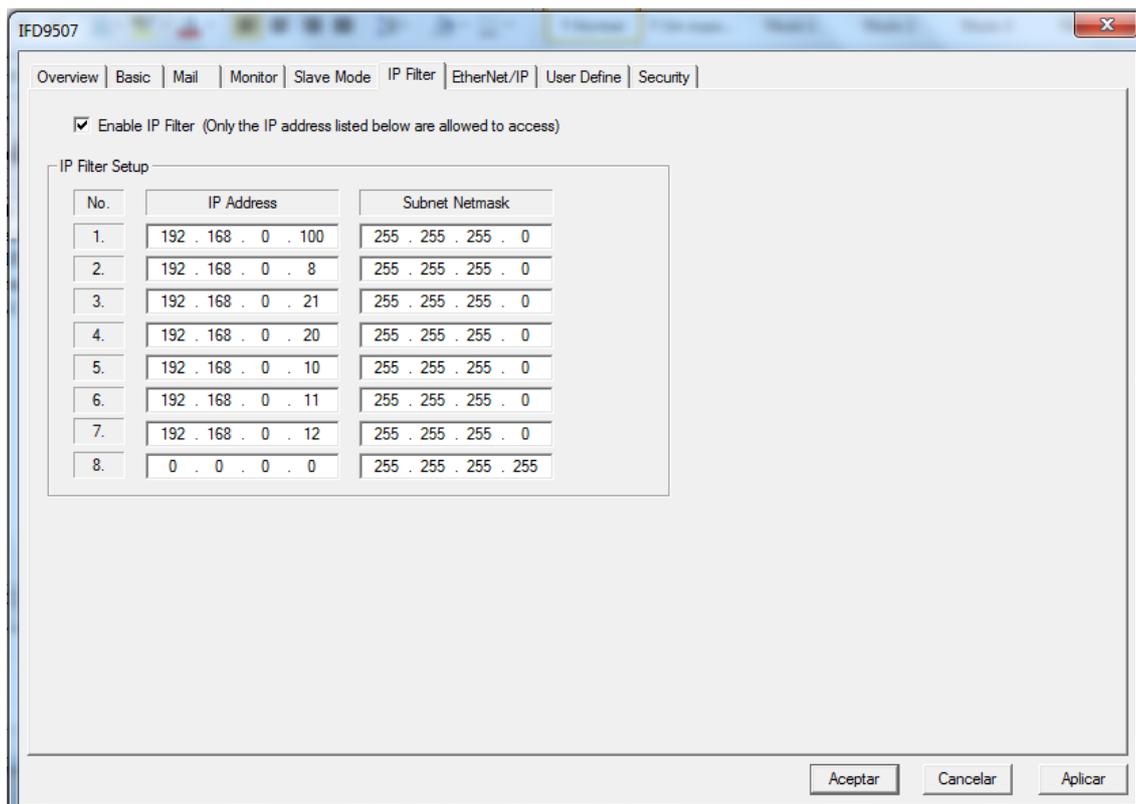


Figura 106 Configuración de dispositivos conectados al equipo IFD9507

5.4.2 Comunicación de dispositivos seriales con el convertidor RTU-TCP/IP

Establecido el convertidor RTU-TCP/IP como Cliente Modbus TCP/IP, es necesario establecer un Servidor Modbus TCP/IP, con lo cual se validara el correcto funcionamiento del equipo. El Servidor Modbus TCP/IP puede ser un PLC, HMI, PC, entre otros; por efectos prácticos, inicialmente, se utiliza una pantalla táctil HMI Delta con esta con esta jerarquía.

La programación de la pantalla HMI Delta B03E211, se lo realiza en el software DOPSoft, exclusivo de pantallas HMI Delta, como se indica en las figuras 107, 108, 109, 110 y 111.

Para la programación de las pantallas HMI se inicia con la apertura del software DOPSoft y se procede a la creación de un nuevo proyecto como se aprecia en la figura 107 se da click en “File” y selecciona “New”, lo cual despliega una ventana la cual es mostrada en la figura 108, esta ventana indica la selección de la pantalla que se utilizará en el proyecto, B03E211 (Delta, 2017).

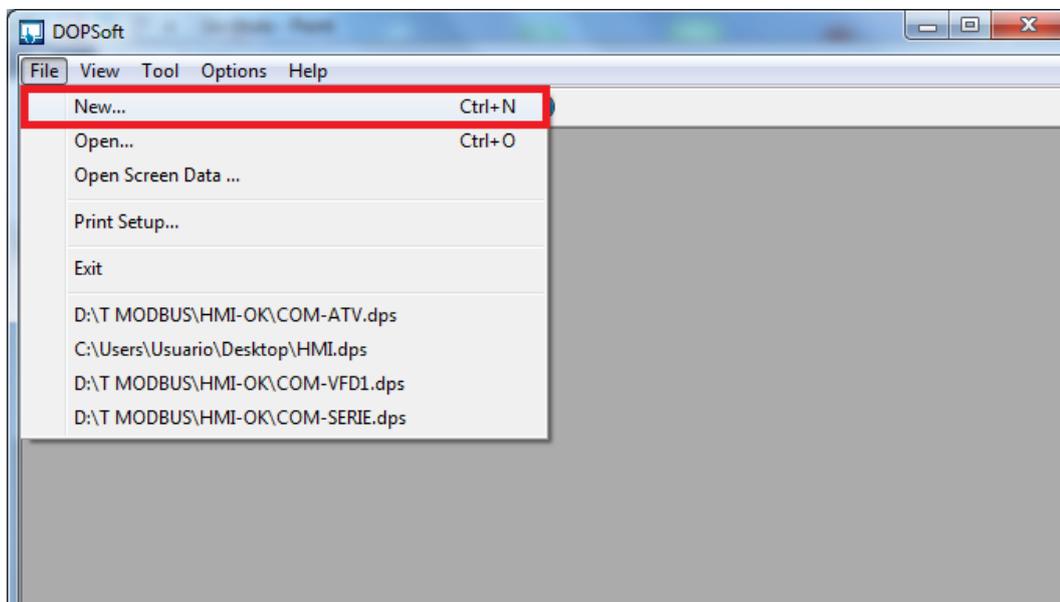


Figura 107 Creación de proyecto nuevo

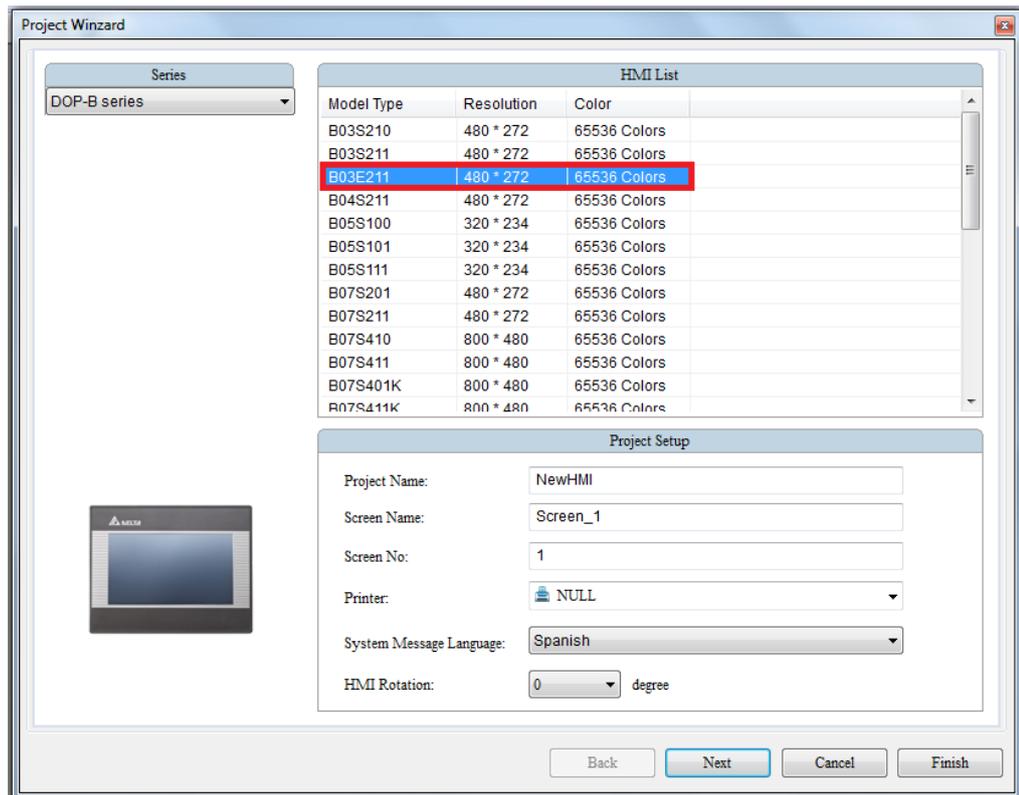


Figura 108 Selección de la pantalla a utilizar

Una vez seleccionada la pantalla HMI correspondiente para la programación se da click en “Next” lo cual desplegará una nueva ventana (figura 109) en esta ventana se detalla el tipo de acceso de comunicación con la pantalla HMI, de lo cual se seleccionó por su línea Ethernet, y se da un nombre a este acceso (parte resaltada).

Definido al acceso de comunicación y a la vez dado un nombre se procede a configurar el tipo de enlace que tendrá la pantalla HMI por medio de su puerto Ethernet. La figura 110 indica la secuencia de pasos a seguir, mostrado por flechas, para definir el protocolo de comunicación industrial de la pantalla; inicia por dar click en la pestaña del controlador, seleccionar la carpeta Modbus y selección de “TCP/IP (6 Digits)” lo cual nos da a entender que el protocolo de comunicación industrial que registrará la pantalla HMI será Modbus TCP/IP.

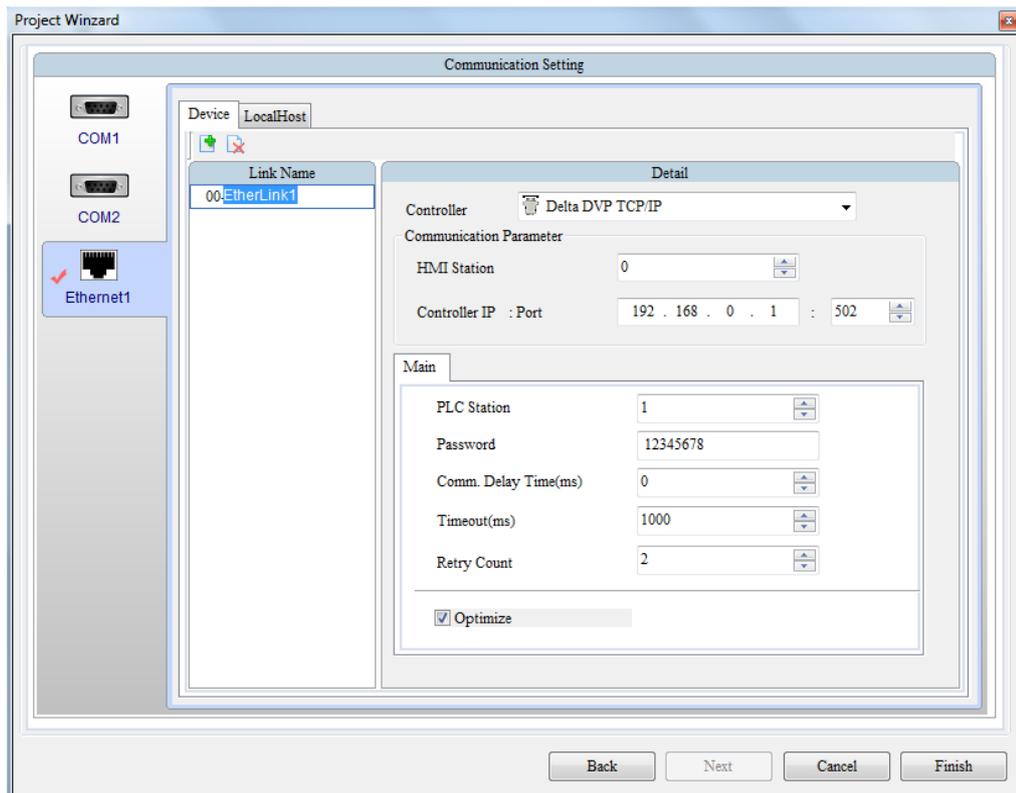


Figura 109 Configuración del enlace de la pantalla con el puente

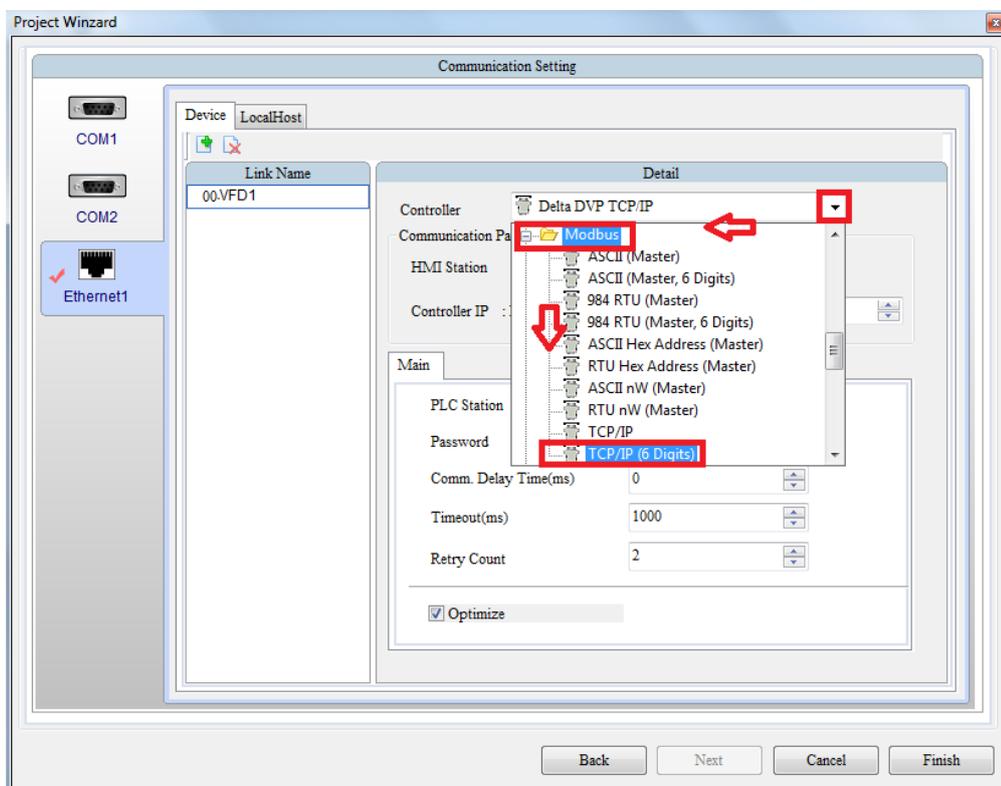


Figura 110 Selección del controlador conectado a la pantalla

Al convertidor RTU-TCP/IP pueden añadirse varios dispositivos serie por conexión en paralelo al puerto RS485 (conexión conocida como bus RS485), para el establecimiento de comunicación con la pantalla HMI hay que tener en cuenta que el ID de cada equipo del bus RS485 será el ID que tiene como esclavo serie y el IP será heredado del convertidor RTU-TCP/IP.

Continuando con la configuración del enlace de la pantalla al convertidor RTU-TCP/IP y por ende a sus dispositivos serie conectados, se define el acceso a cada uno de ellos. La figura 111 presenta en el recuadro rojo el ID del dispositivo serie que se conectara al bus RS485 y el recuadro verde indica el IP del convertidor RTU-TCP/IP.

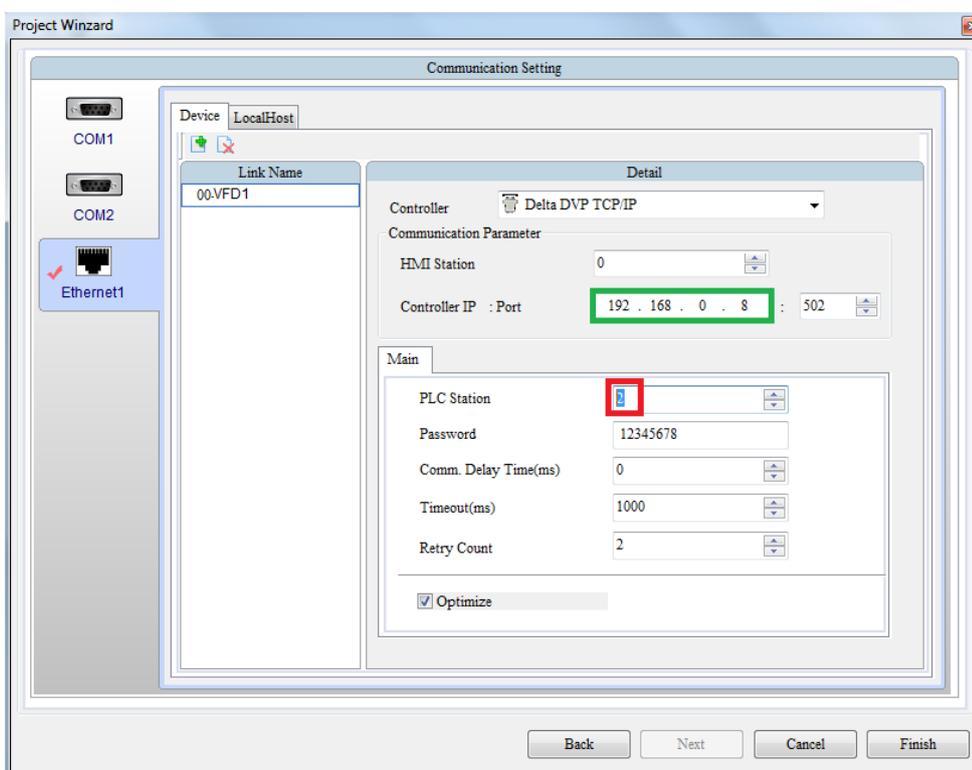


Figura 111 Establecimiento de dirección IP del puente e ID a controlar

En la figura 112 se indica la adición de equipos del bus RS485 a la pantalla HMI, los pasos a seguir son dar click en el símbolo del recuadro rojo, dar un nombre al dispositivo que se vinculará y realizar la configuración descrita en las figuras 110 y 111, teniendo en cuenta el ID respectivo de cada equipo.

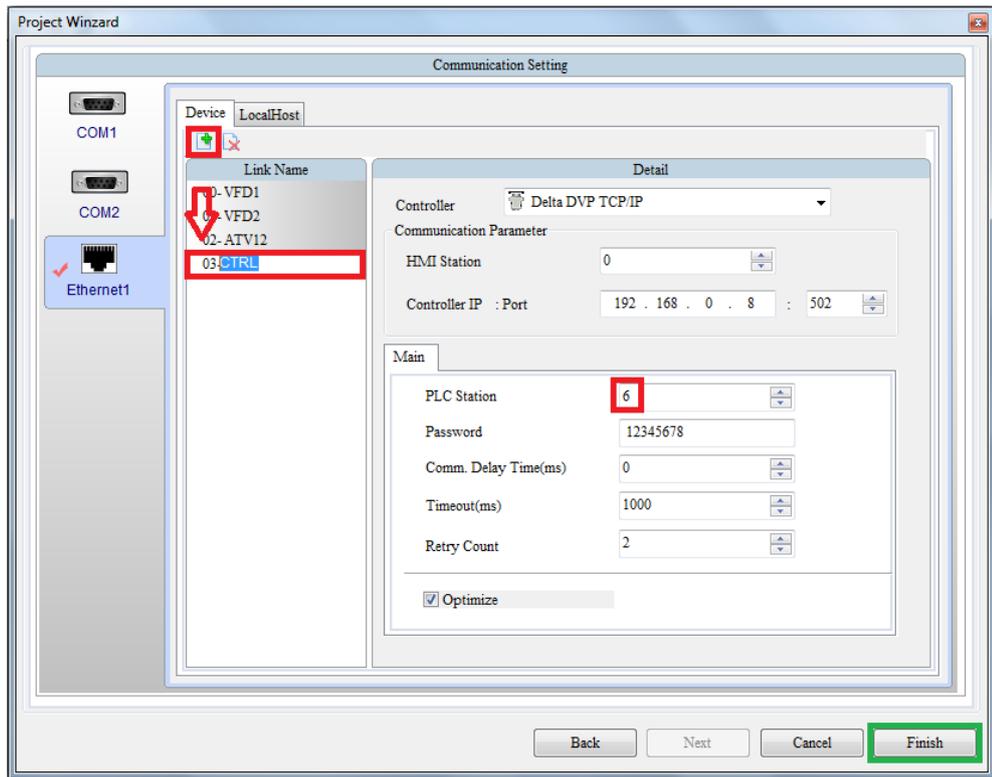


Figura 112 Adición de más dispositivos serie para que controle el HMI

Una vez configurado los dispositivos se realiza la creación del entorno de las pantallas a visualizar en el HMI como se observa en la figura 113. La configuración de los botones para la comunicación se muestra en las figuras 114, 115 y 116.

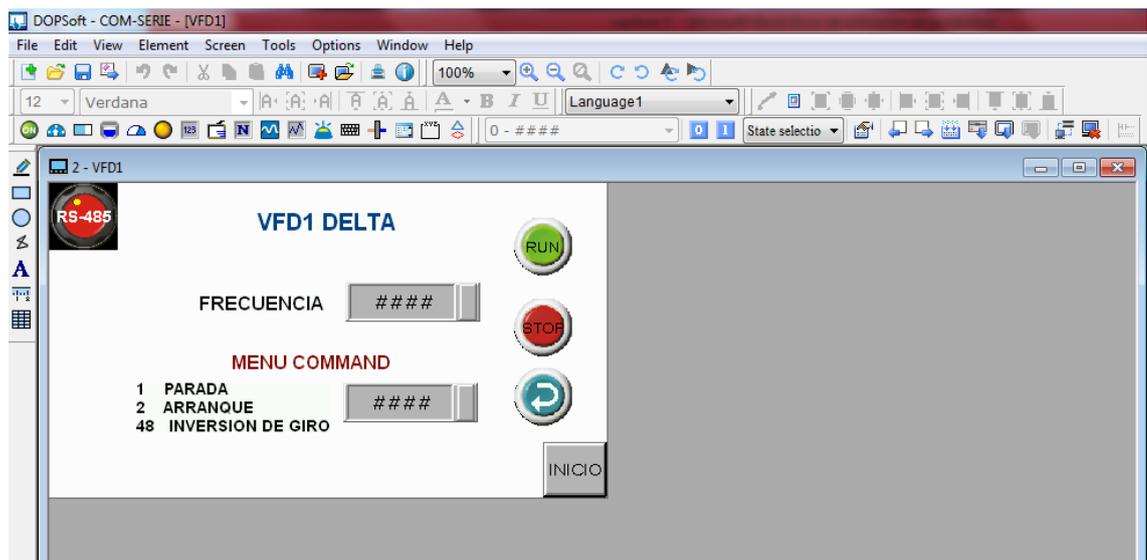


Figura 113 Pantallas creadas para visualizar en HMI

En la figura 114 se observa cómo acceder a la configuración de los botones creados en el programa a cargar en la pantalla HMI, se da doble click en el botón creado, lo cual despliega una ventana, la que indica la flecha, en la ventana se da click en la pestaña resaltada en el recuadro, con lo que se despliega una nueva ventana detallada en la figura 115.

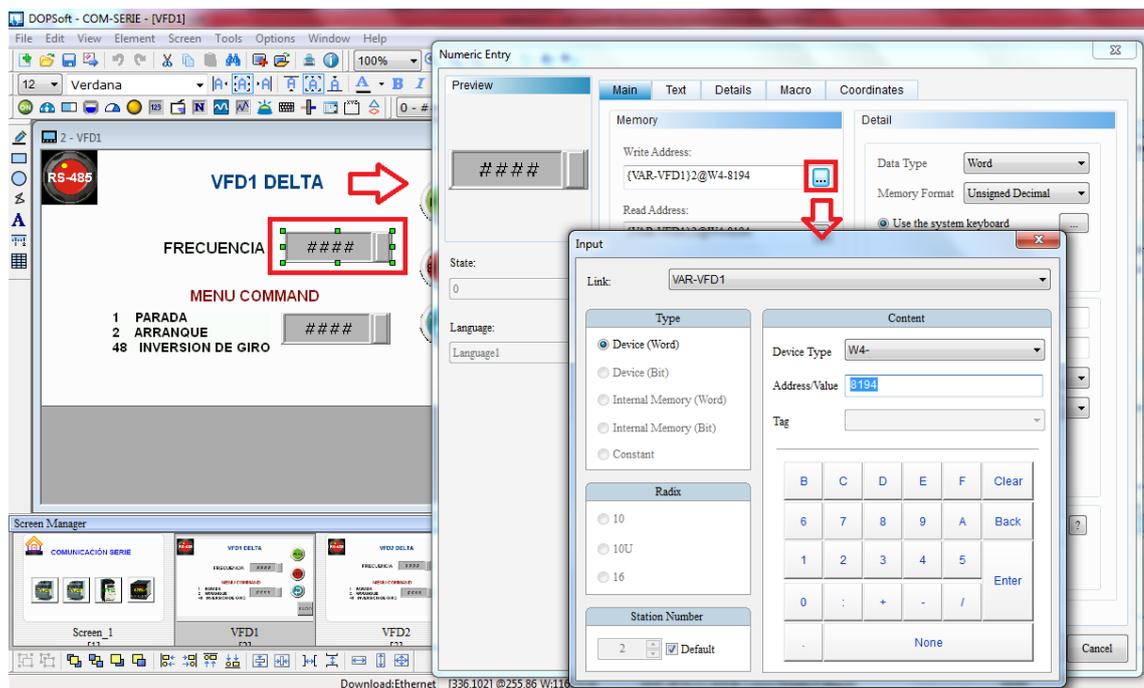


Figura 114 Acceso a la configuración de botones

En la ventana descrita en la figura 115 se escoge el modo de acceso que tendrá el botón por la red Ethernet, se aprecia que al dar click en la pestaña “Link” se escoge el equipo que monitoreará y controlará el botón, este equipo tendrá el nombre asignado en “Link Name” de la configuración descrita en las figuras 109, 110, 111 y 112.

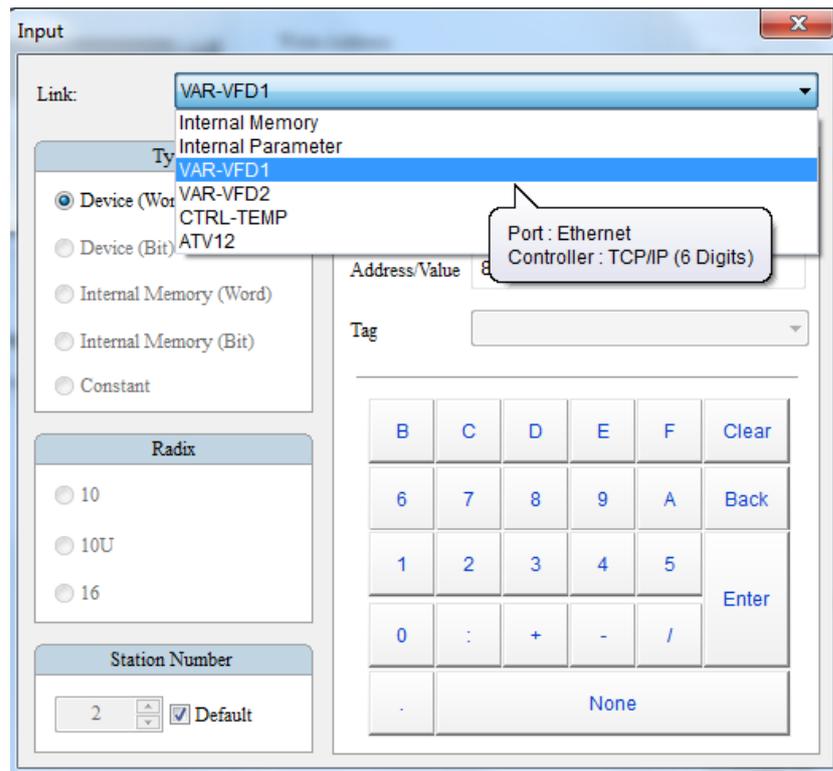


Figura 115 Selección del enlace del HMI al dispositivo a controlar

La comunicación de varios equipos de diferentes marcas o por puentes de comunicación (convertidor RTU-TCP/IP) puede producir en la capa de enlace del protocolo Modbus, desplazamiento de registros, lo cual afecta los valores de los parámetros de control y forzamiento. La teoría de desplazamiento de registros establece que el equipo maestro en Modbus RTU o Servidor en Modbus TCP/IP, reconocerá ± 1 dígitos el valor del parámetro correspondiente en el equipo final a ser controlado o monitoreado.

En la figura 116 se muestra en el recuadro la escritura del parámetro de control o monitoreo que va acceder el botón que se configura. El valor es 8194 de lo cual se interpreta que es el parámetro de frecuencia del variador de frecuencia Delta (8193) y que la pantalla HMI reconoce el valor con desplazamiento de registro ($8193 + 1$) por lo cual es 8194.

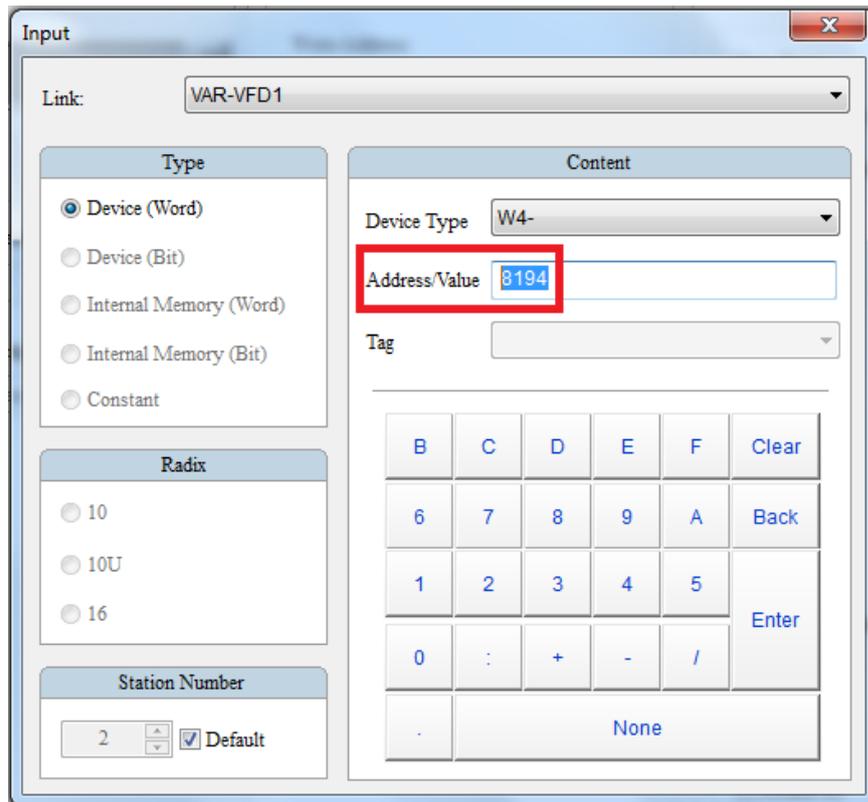


Figura 116 Escritura del registro de forzamiento del HMI al dispositivo

5.5 Comunicación entre equipos por MODBUS TCP/IP

En el proyecto se desarrolló primero la configuración de Modbus RTU, para los dispositivos seriales que se acoplaron a la Red y a través del convertidor RTU-TCP/IP (Delta IFD9507) estos dispositivos lograron formar parte de una red Modbus TCP/IP. El control y monitoreo se desarrolló desde una pantalla HMI Delta.

La red de comunicación industrial implementada consta de varios elementos además de los dispositivos seriales y el convertidor RTU-TCP/IP por lo cual se estableció un Servidor Modbus TCP/IP para que comande el proyecto en general, el PLC Schneider Modicon TM221E24R. A este Servidor Modbus se acoplan además de convertidor RTU-TCP/IP (al que se conectan los dispositivos seriales), el PLC AB Micro850, el medidor de energía SENTRON PAC3200 y la pantalla HMI Delta; los cuales se configuran como Clientes Modbus TCP/IP en la red industrial implementada.

5.5.1 Configuración del Servidor MODBUS TCP

Como Servidor Modbus TCP/IP se escogió el PLC Schneider Modicon TM221CE24R, por las características que tiene este equipo, su disponibilidad en el mercado y además porque la marca Schneider fue la que introdujo en la industria el Protocolo de Comunicación Industrial Modbus. La gama de PLCs a la que pertenece este equipo utiliza el software Somachine Basic de Schneider. El procedimiento a seguir en el software consta de los siguientes pasos:

- Se apertura el software, se crea un proyecto nuevo y se dirige a “Configuración” para escoger el controlador a utilizar, arrastrando el equipo disponible “TM221CE24R” y confirmando como lo ilustra la figura 117.

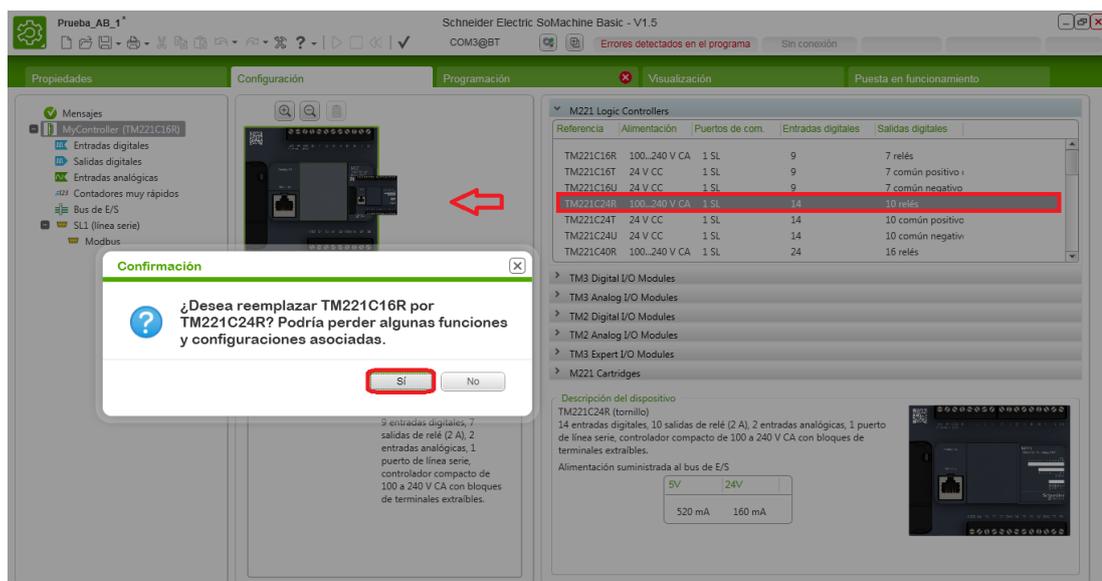


Figura 117 Selección de controlador en el software Somachine.

- Continúa la configuración de una IP fija como se indica en la figura 118. Se siguen los siguientes pasos de izquierda a derecha como indican los recuadros se da click en “ETH1”, enmarcar “Direccion IP fija” y escribir la dirección IP, finalizando dar click en “Aplicar”.

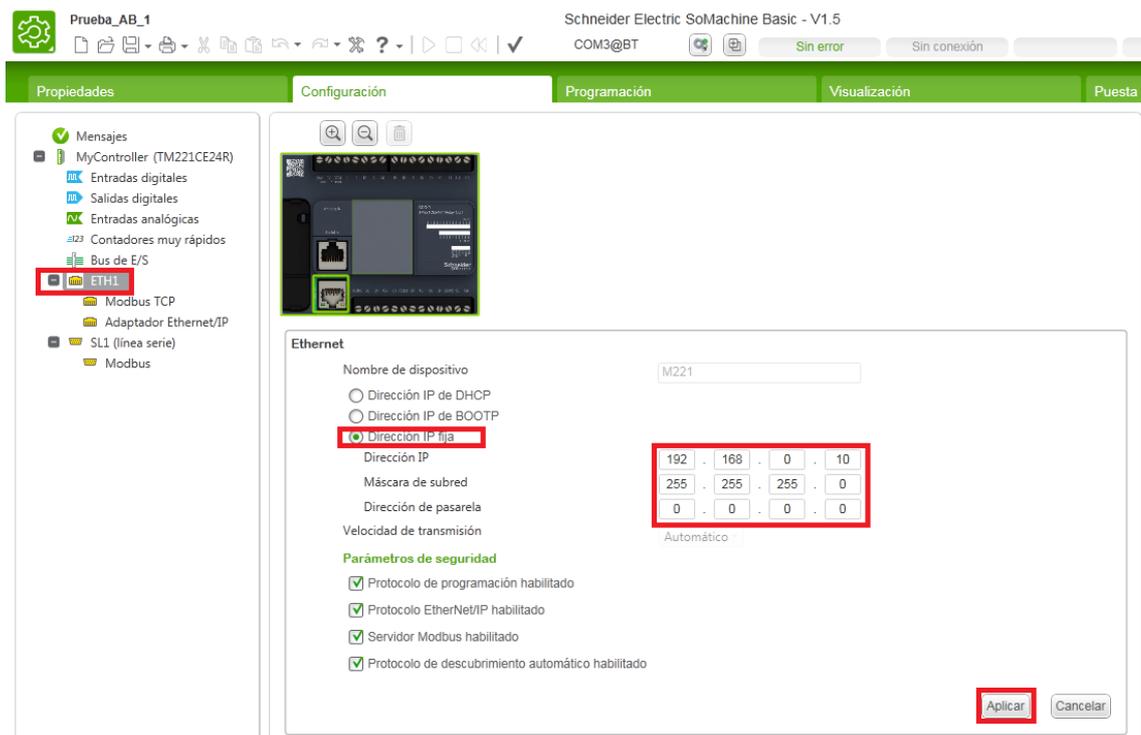


Figura 118 Configuración de IP del PLC1

- Se define el equipo como Servidor Modbus TCP/IP, figura 119. Se da click en “Modbus TCP” y se enmarca “Habilitado” en “Asignacion de Modbus” (Modbus Mapping).

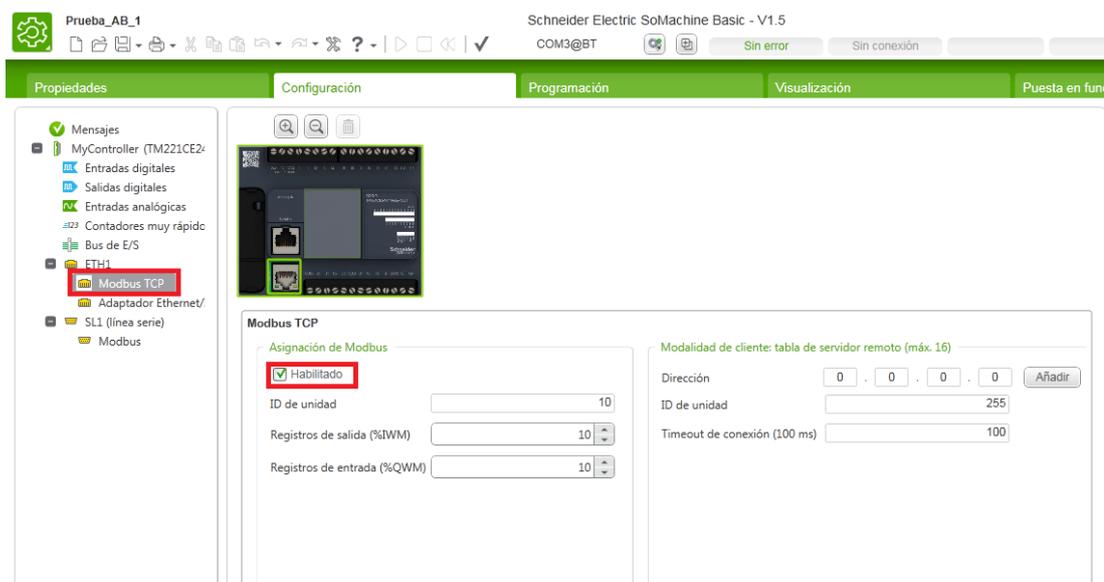


Figura 119 Asignación del PLC1 como Servidor Modbus TCP/IP

- La asignación de los clientes asociados a este servidor se indica en las figuras 120 y 121. Se continua en la configuración del paso anterior en la figura 120, donde se escribe la dirección IP (recuadro rojo) de los clientes que se conectaran al equipo, se da click en añadir.
- La figura 121 sirve de comprobación de la ejecución del paso anterior (recuadro rojo), se realiza el paso anterior para añadir más clientes y se da click en “Aplicar” (parte inferior).

Propiedades Configuración Programación Visualización Puesta en fun

Modbus TCP

Asignación de Modbus

Habilitado

ID de unidad

Registros de salida (%IWM)

Registros de entrada (%QWM)

Modalidad de cliente: tabla de servidor remoto (máx. 16)

Dirección . . .

ID de unidad

Timeout de conexión (100 ms)

Figura 120 Adición de clientes Modbus TCP/IP

Propiedades Configuración Programación Visualización Puesta en funci

Modbus TCP

Asignación de Modbus

Habilitado

ID de unidad

Registros de salida (%IWM)

Registros de entrada (%QWM)

Modalidad de cliente: tabla de servidor remoto (máx. 16)

Dirección . . .

ID de unidad

Timeout de conexión (100 ms)

Índice	Dirección	ID de uni	Timeout de conexión (100)
(X) 1	192.168.0.11	255	100

Figura 121 Comprobación de la asignación de clientes Modbus TCP/IP

- Realizada la asignación de la trama Modbus TCP/IP se realiza la programación del equipo (Diagrama Ladder) del PLC como se lo detalla en las figuras 122 hasta la figura 127.

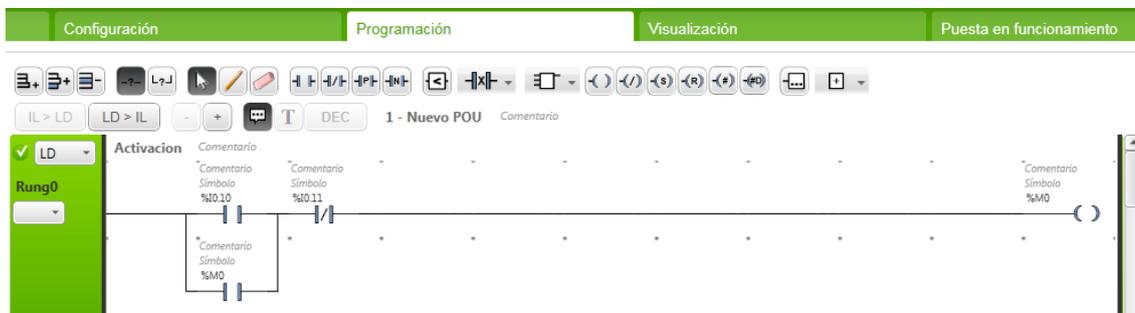


Figura 122 Activación del programa del PLC

En la figura 122 se observa la activación de la bobina %M0 por medio de la entrada digital %I0.0 y su desactivación por medio de %I0.1 con lo cual se activara o desactivara los bloques del diagrama ladder. En la figura 123 se realiza la creación de Osciladores de tiempo que requiere los bloques %ReadVar y %WriteVar que son necesarios adelante en el programa.

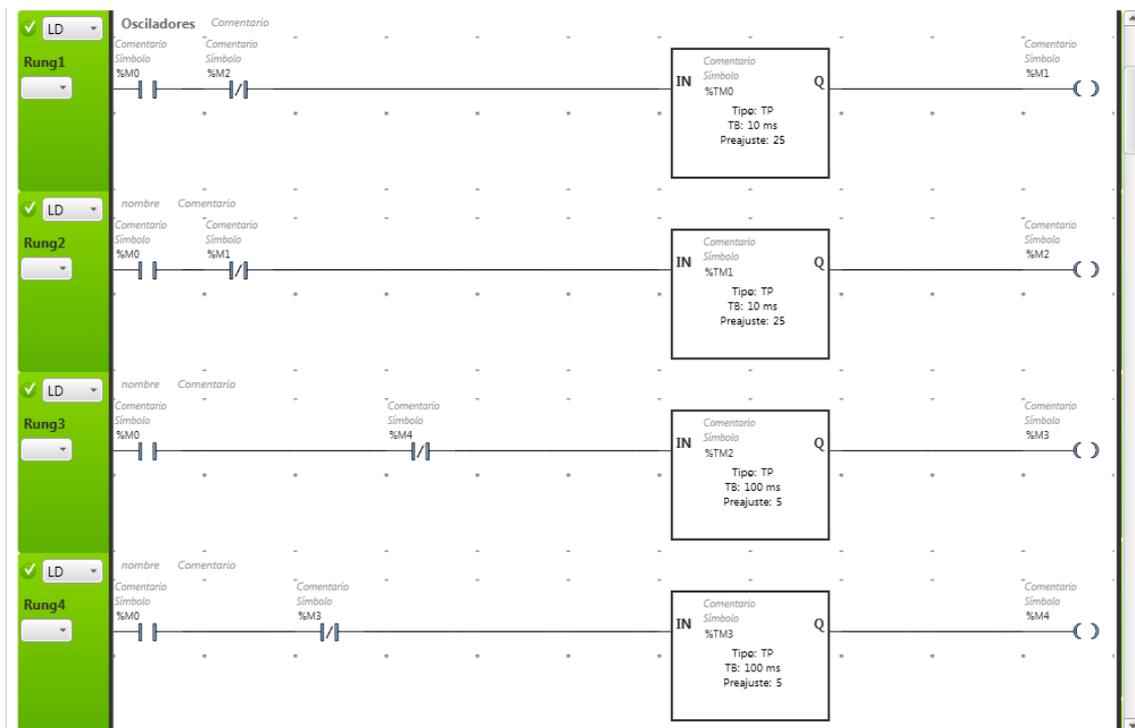


Figura 123 Programación de Osciladores

Los osciladores de tiempo programados necesitan configurarse sus tiempos de actuación lo cual se detalla en la parte inferior de la figura 124.

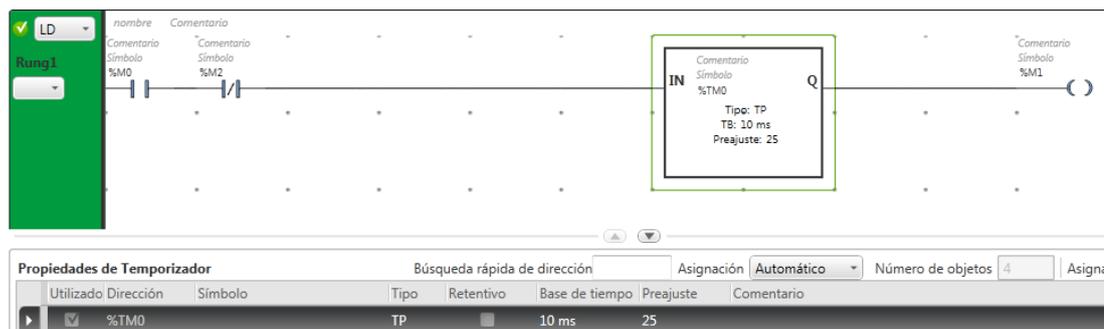


Figura 124 Configuración del tiempo de los osciladores

En la figura 125 está el bloque %ReadVar para la lectura de registros Modbus, el cual funciona necesariamente con un oscilador de tiempo, %M4, que se programaron anteriormente. En su parte inferior esta la configuración del bloque, en la parte “Link” se escoge “3-ETH1” para definir su conexión por el puerto Ethernet, “Id” (1) es el índice del equipo a leer (figura 121), además se define un Timeout, en “ObjType” el código de función Modbus “0[Mbs 0x03 – Read mult. words (holding reg.)]”, en “FirstObj” el parámetro del equipo a leer (3, es decir, 400003), “Quantity” define la cantidad de registros seguidos a leer (2), “IndexData” para definir el espacio de memoria a almacenar en el PLC (3, es decir, inicia en %MW3) y “Comentario” para identificar el bloque (LECTURA).

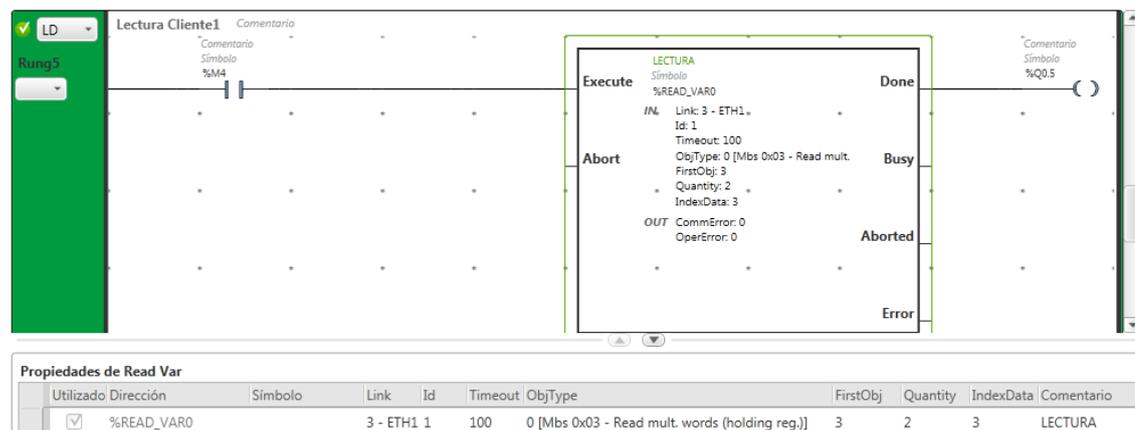


Figura 125 Bloque para Lectura del Cliente Modbus TCP/IP

En la figura 126 se visualiza el Bloque %WriteVar para la escritura de registros Modbus funciona con un oscilador de tiempo, %M2. En su parte inferior esta la configuración del bloque, en la parte “Link” se escoge “3-ETH1” para definir su conexión por el puerto Ethernet, “Id” (1) es el índice del equipo a leer (figura 121), además se define un Timeout, en “ObjType” el

código de función Modbus “0[Mbs 0x10 – Write mult. words (reg.)]”, en “FirstObj” el parámetro del equipo a escribir (1, es decir, 400001), “Quantity” define la cantidad de registros seguidos a escribir (2), “IndexData” para definir el espacio de memoria a almacenar en el PLC (1, es decir, inicia en %MW3) y “Comentario” para identificar el bloque (ESCRITURA).



Utilizado	Dirección	Símbolo	Link	Id	Timeout	ObjType	FirstObj	Quantity	IndexData	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>		%WRITE_VAR	3 - ETH1	1	100	0 [Mbs 0x10 - Write mult. words (reg.)]	1	2	1	ESCRITURA

Figura 126 Bloque para escritura del Cliente Modbus TCP/IP

La figura 127 indica una “Tabla de animación” para la visualización y monitoreo de los parámetros a leer o escribir desde el PLC. La creación de la tabla se realiza dando click izquierdo en “Tabla de animación” en la parte izquierda en “Herramientas”, en la parte derecha se escribe los espacios a visualizar (%MW1, %MW2, %MW3, ...).



Utilizado	Trazado	Dirección	Símbolo	Valor	Forzar	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW1			ESCRITURA
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW2			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW3			LECTURA
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW4			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%I0.10			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%Q0.11			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%M0			

Figura 127 Visualización de envío y recibo de datos de registros Modbus en el PLC

5.5.2 Configuración de los Clientes MODBUS TCP

a) Configuración del PLC AB Micro850

El PLC AB Micro 850 2080-LC50-24QWB (PLC2) se ocupa en la red como Cliente Modbus TCP/IP, el Software empleado para su programación es Connected Components Workbench. Para este equipo se inicia el

Software, se crea un nuevo proyecto y se escoge el controlador a ocupar, a este controlador se le añadirán módulos de entradas y salidas analógicas; se continua con el establecimiento de su IP fija. La programación en lenguaje Ladder se aprecia en las figuras 132 y 133. Seguidamente se hace la asignación de Modbus para el monitoreo y control desde el Servidor Modbus TCP/IP en la figuras 134, 135 y 136.

Después de abrir el software “Connected Components Workbench” se crea un nuevo programa y seleccionar el controlador a utilizar como Cliente Modbus (2080-LC50-24QWB) como se aprecia en la figura 128.

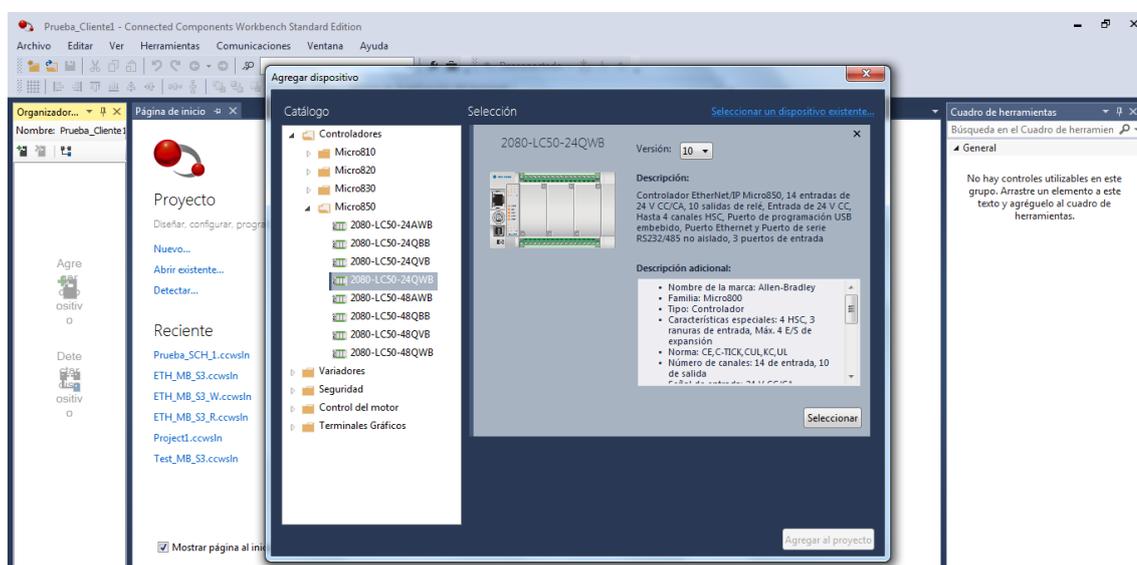


Figura 128 Selección del controlador 2080-LC50-24QWB

Para agregar los módulos enchufados al PLC AB (2080-IF4 y 2080-OF2) se da click encima del slot en el que va el modulo se escoge “Analogo” luego “2080-IF4” (figura 129) y después el mismo procedimiento seleccionando al final “2080-OF2” (figura 130).

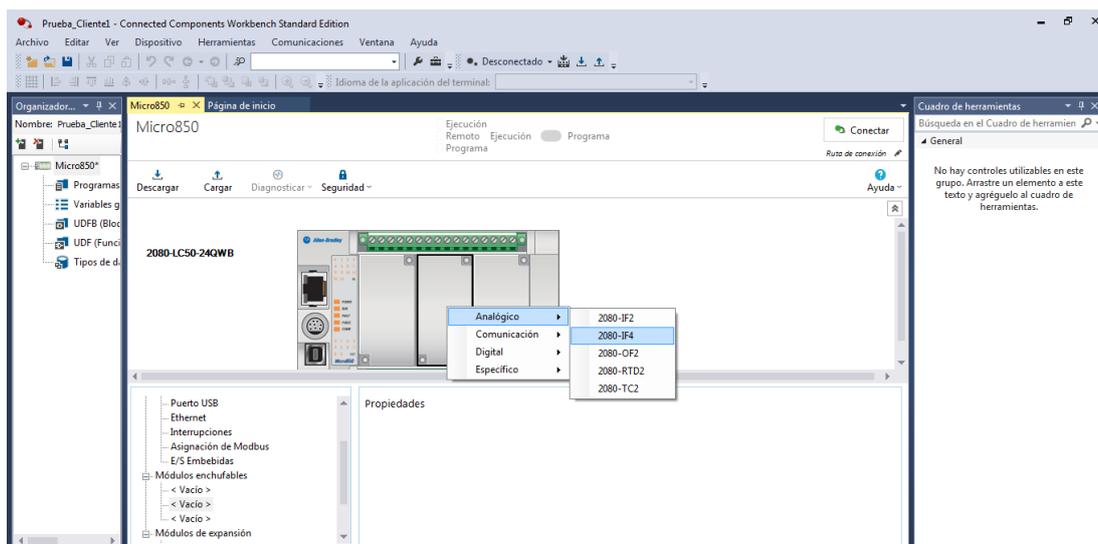


Figura 129 Adición de módulo de entradas análogas 2080-IF4

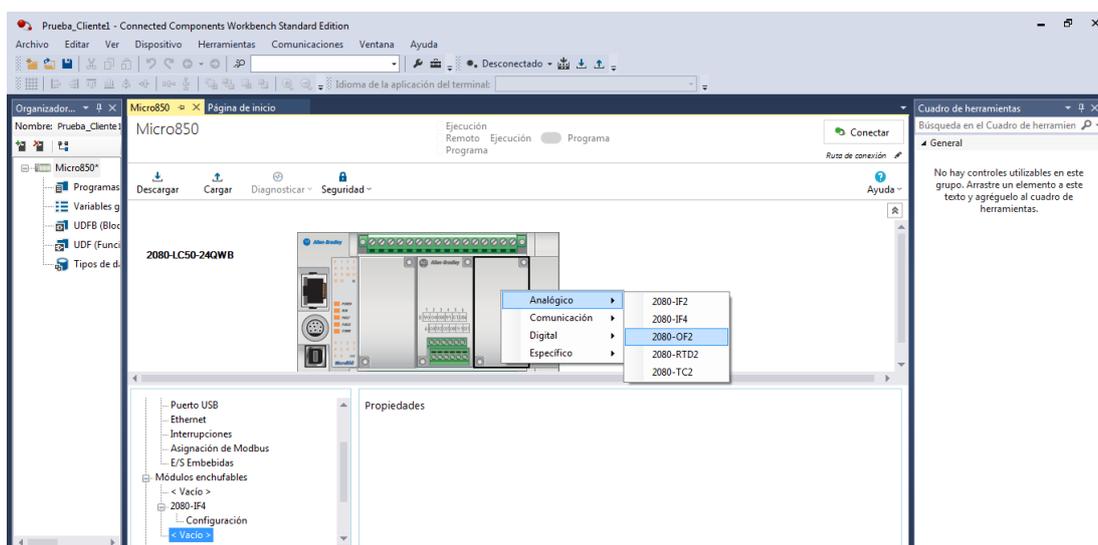


Figura 130 Adición del módulo de salidas análogas 2080-OF2

En la figura 131 se muestra la configuración de la IP fija para el PLC se sigue los siguientes pasos: en la parte inferior de “Controlador” seleccionar “Ethernet” a su lado derecho seleccionar “Configurar dirección IP y ajustes” y escribir la dirección IP fija del PLC (192.168.0.11)

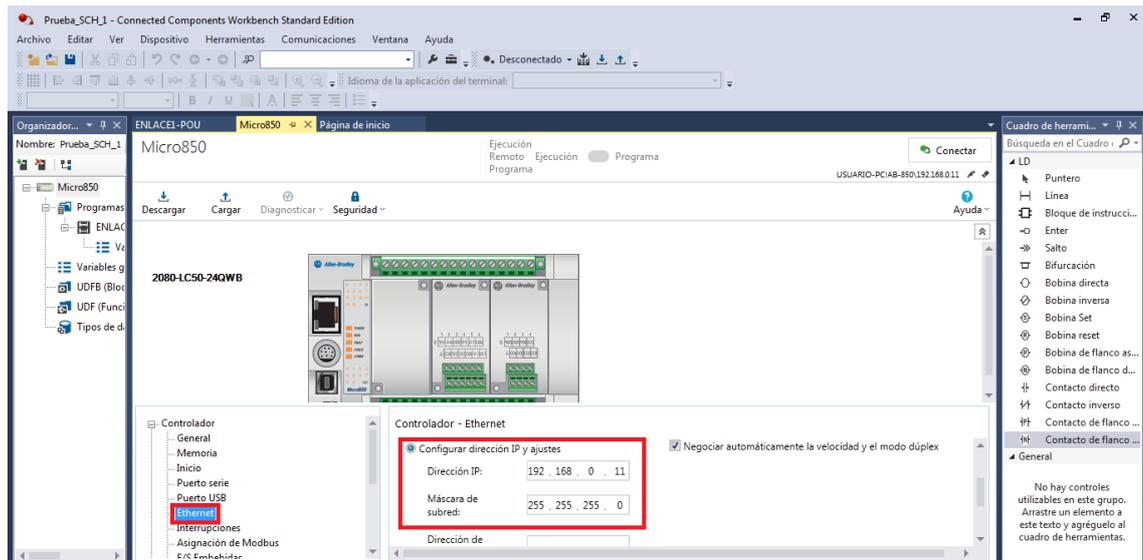


Figura 131 Configuración de la IP fija del PLC AB-850

Realizada la configuración del PLC se procede a realizar el diagrama Ladder (figura 132) que comandara el PLC AB para ser monitoreado desde el Servidor Modbus. La programación Ladder consta de las siguientes partes:

- Bloques para comprobación de escritura de registros desde el Servidor Modbus TCP/IP. Se utiliza el bloque de comparación “=” para comparar el dato escrito desde el servidor Modbus (VALOR_ESC) con un valor almacenado (W1, W2, W3) según lo cual se activara una salida (acción en el PLC).
- Bloque para comprobación de lectura de registros desde el Servidor Modbus TCP/IP. Se lo realiza desde el bloque de asignación “MOV” en el cual el valor de “VALOR_ESC” se asigna a “VALOR_LECT”. Este nuevo valor se lo podrá leer en el Servidor Modbus TCP/IP.

La configuración de datos para el intercambio de registros con el Servidor Modbus TCP/IP se lo puede visualizar en la figura 133 donde se visualiza la ventana de variables en la que se muestra el tipo de dato y si tiene una asignación inicial las variables del programa.

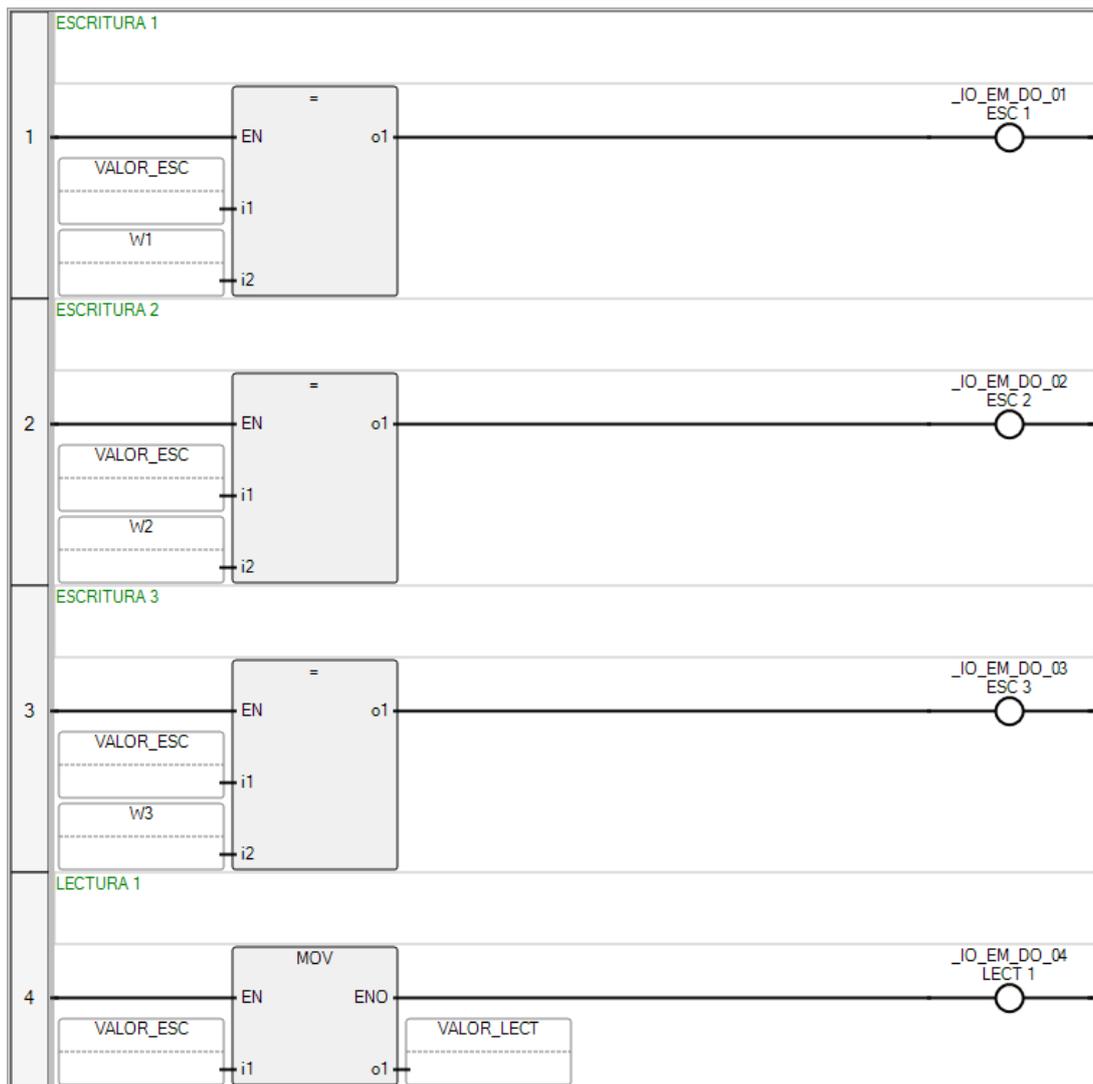
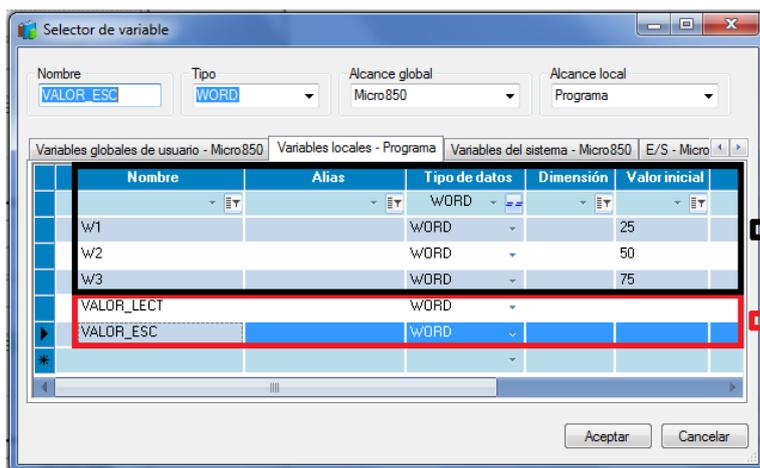


Figura 132 Diagrama Ladder del PLC AB Micro850



Valores almacenadas en la memoria del programa para la comprobación de escritura de registros Modbus

Memorias en las que se almacenan los registros Modbus del PLC

Figura 133 Configuración de variables en el PLC AB Micro850

Se realiza la configuración de la Asignación de Modbus (Modbus Mapping) en el PLC. En la parte inferior de “Controlador” seleccionar “Asignación de Modbus” a su lado derecho dar click en “Agregar” (figura 134). Continua la asignación de variables a controlar por Modbus (figura 135) en la ventana que se despliega se selecciona la variable y se da click en aceptar. Finalmente se asigna el valor de dirección Modbus que leerá el Servidor Modbus (figura 136).

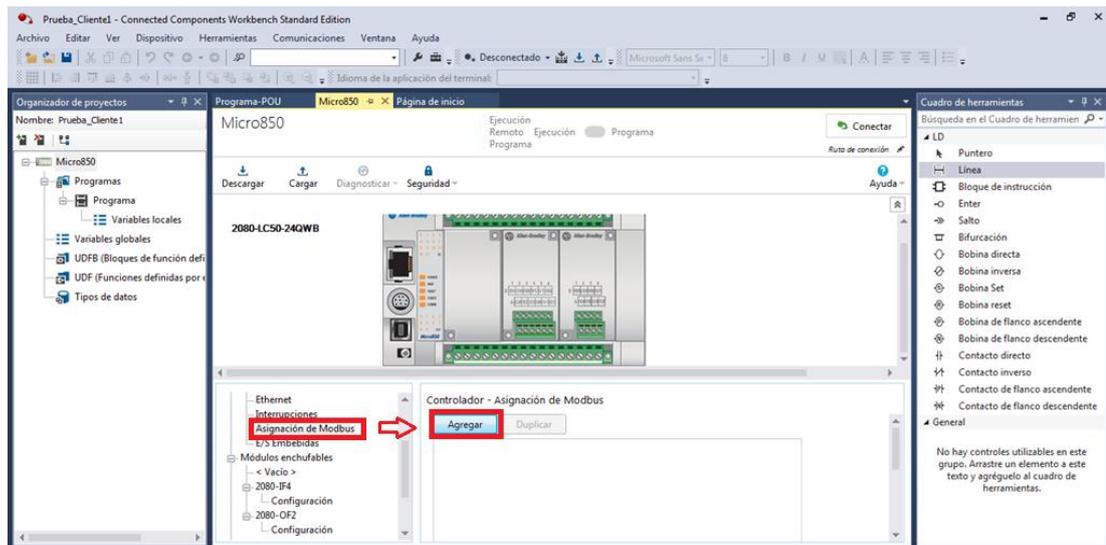


Figura 134 Asignación de Modbus en el PLC AB Micro850

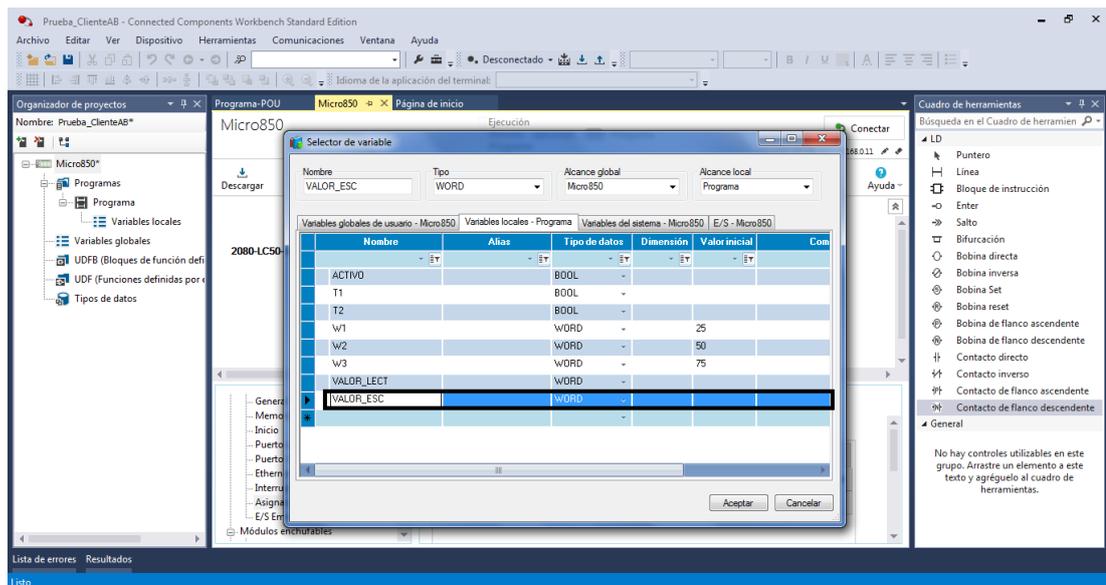


Figura 135 Selección de variable para la Asignación de Modbus

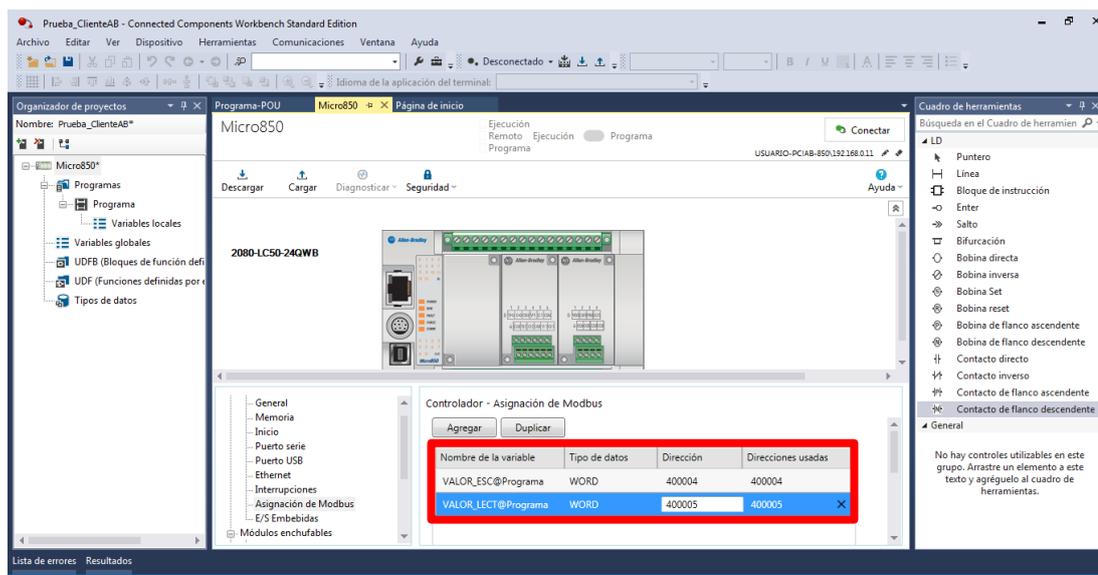


Figura 136 Lista de registros para el monitoreo Modbus

b) Configuración del SENTRON PAC 3200

La configuración de la dirección IP, submascara y modo de comunicación con la red Modbus TCP/IP del SENTRON PAC3200 se la realiza desde el teclado del equipo, es decir, sus botones F1, F2, F3, F4; la configuración del equipo se visualiza en las figuras 137, 138, 139 y 140.

La figura 137 indica la pantalla de acceso “MENÚ PRINCIPAL” del equipo en la cual nos dirigimos con las flechas (botones F2 y F3) hacia “AJUSTES” donde pulsamos “ENTER” (F4), se despliega la pantalla de la figura 138, en la cual con las flechas hacia “COMUNICACIÓN” y pulsamos “ENTER”.



Figura 137 Selección de ajuste del equipo desde el menu principal



Figura 138 Selección de comunicación del equipo desde ajustes

La pantalla “COMUNICACIÓN” del equipo se muestra en la figura 139, en esta ventana al dirigirse con las flechas hacia “DIR. IP” después seleccionar “EDIT” permite cambiar la dirección IP del equipo mediante los botones del equipo. De la misma manera se puede modificar el tipo de comunicación moviéndose con las flechas hacia “PROTOCOLO” después “EDIT” y seleccionar “MODBUS TCP”.

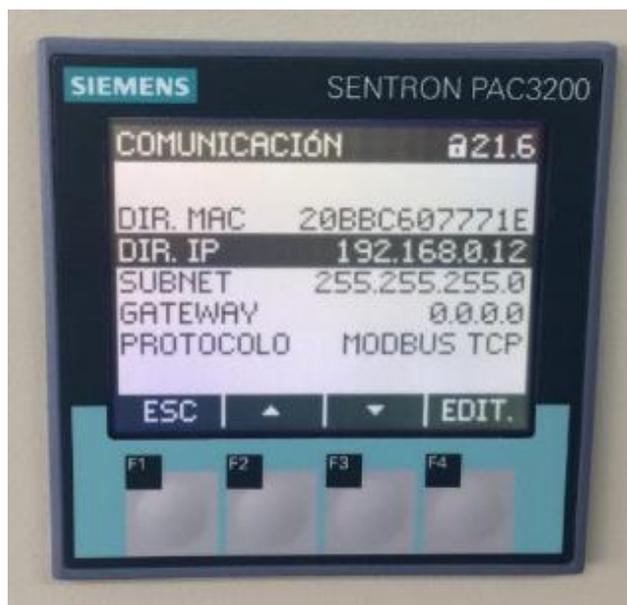


Figura 139 Edición de la Dirección IP y protocolo de comunicación

5.6 Visualización y monitoreo de datos

5.6.1 Programación en Intouch (Monitoreo Remoto)

a) Configuración del ArcestrA SMC (ArcestrA System Managment Console)

Para iniciar debemos configurar el DAServer (Data Access Server) que nos va a permitir comunicar nuestra PC con el PLC servidor que en este caso es el PLC Modicon M221. Se abre el software “Archestra SMC” y comienza la configuración en su parte izquierda dando click en la pestaña de “DAServer Manager” después en “Default Group” y “Local” para luego seleccionar “ArcestrA DASMBTCP” que se encuentra a su derecha como se muestra en la figura 140, ya que éste es el que se utiliza para aplicaciones con Modbus TCP/IP.

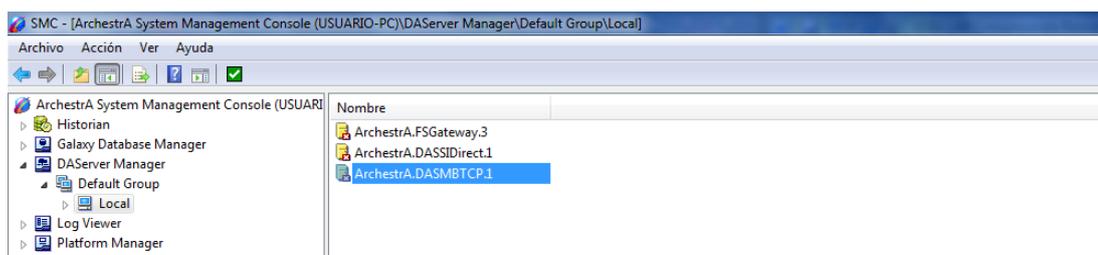


Figura 140 Selección del DAServer para el control Remoto

A continuación se configura los parámetros de comunicación como el número de puerto para Modbus TCP “502” y se agrega un objeto como puente de comunicación para Modbus como se aprecia en la figura 141, los pasos a seguir es abrir la pestaña de “ArchestrA DASMBTCP.1” abrir la pestaña de “Configuration” y dar click derecho en “PORT_MB” escogemos “Add ModbusBridge Object” al realizar esta acción se aparecerá en su parte inferior “New_ModbusBridge_000” como se indica en la figura 142 se da nuevamente click encima y es su parte derecha en “Network Address” se escribe el IP del equipo al cual se va a realizar el monitoreo y control (192.168.0.10 correspondiente al Servidor Modbus).

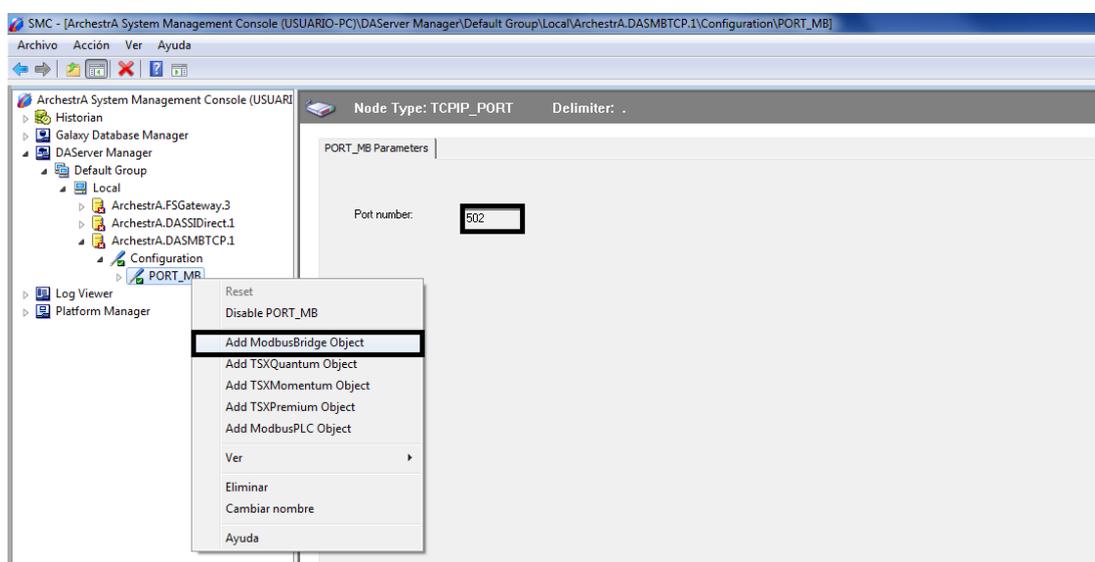


Figura 141 Creación de un objeto para comunicación Modbus en SMC

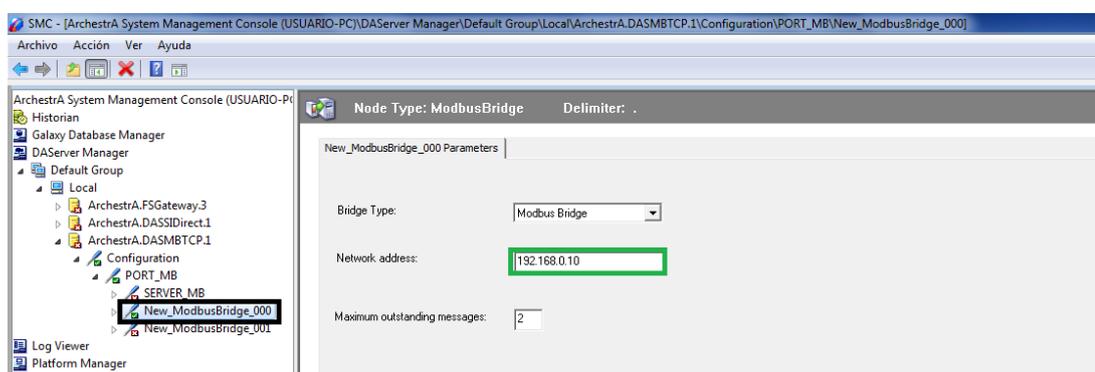


Figura 142 Configuración de IP del equipo para monitoreo y control SMC

Seguidamente se agrega una etiqueta para identificar el equipo a controlar dentro del objeto Modbus su creación se observa en la figura 143, dando click derecho en “New_ModbusBridge_000” seleccionar “Add ModbusPLCRS Object”, ejecutado esto aparecerá un nuevo nodo su configuración se describe en la figura 144, en la parte derecha en la pestaña “Device Groups” se da un nombre (M221) y un intervalo de actualización de datos (100 ms) del recuadro verde.

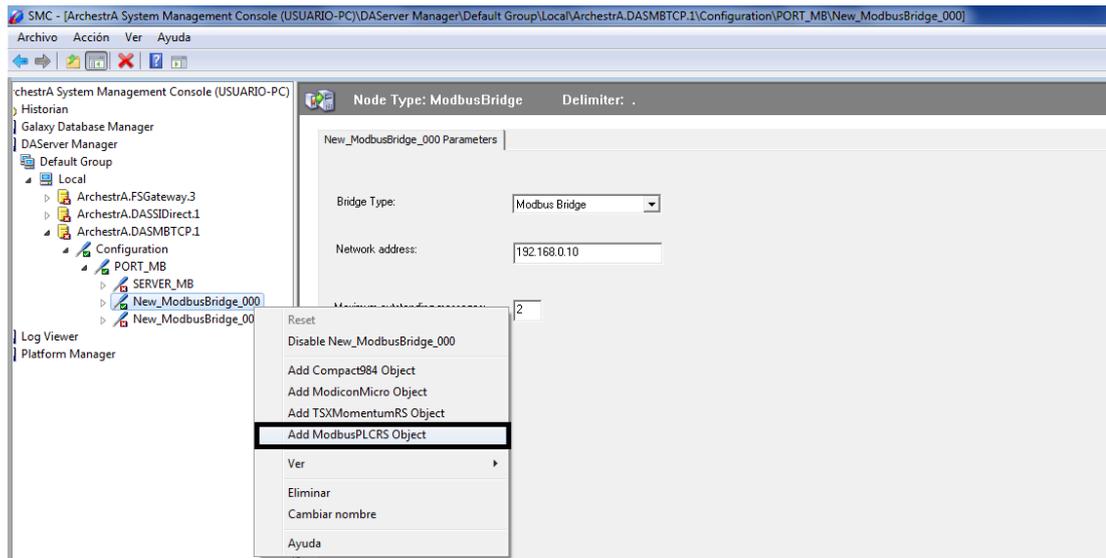


Figura 143 Creación de acceso a equipo a control en SMC

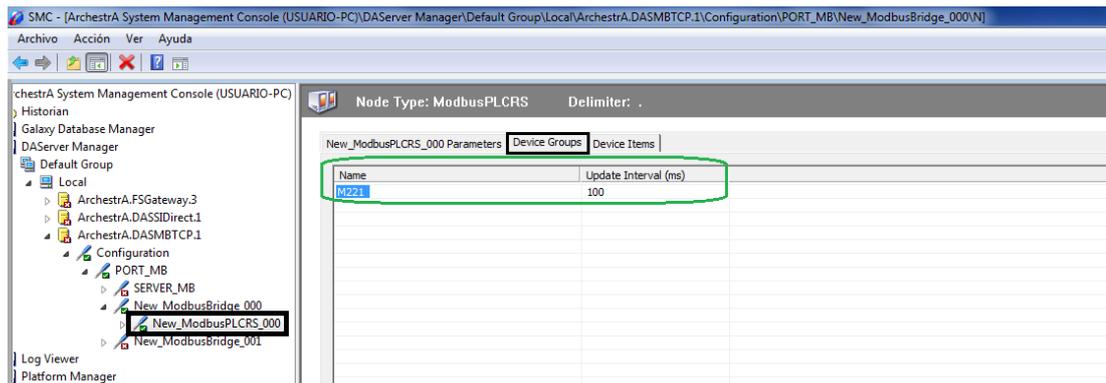


Figura 144 Creación de etiqueta para acceso a equipo en SMC

b) Programación en InTouch

Una vez configurado el dispositivo Servidor, nos dirigimos al software InTouch para realizar la interfaz gráfica para el control remoto en donde se realiza configuración de gráficos, botones o ingreso de valores según se requiera. Primero inicializamos el software InTouch 2014 y creamos un nuevo proyecto (Figura 145), se le asigna un nombre y se inicia la creación y configuración de ventanas para la visualización como se indica la figura 146.

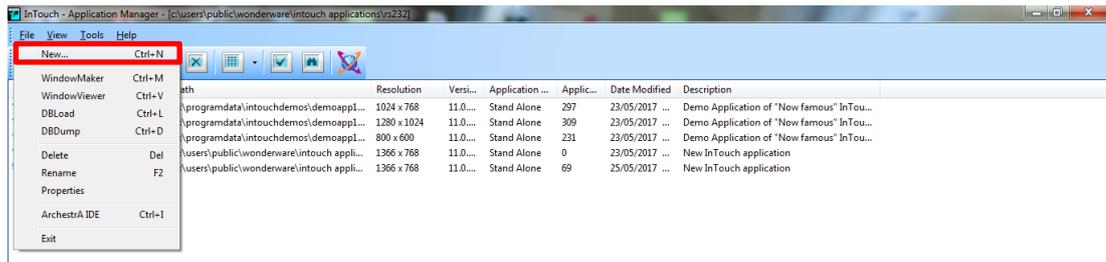


Figura 145 Creación de nuevo proyecto en InTouch



Figura 146 Proyecto creado en InTouch

La creación del entorno, letras, imágenes entre otros detalles para la visualización del entorno gráfico en In Touch se realizó mayoritariamente con la ayuda de la Barra de Herramientas de Dibujo y de Texto, además de la vista del proyecto que ayuda a controlar la ejecución de instrucciones “Scripts” y de ventanas “Windows”. Estas herramientas se las puede identificar en la figura 147. En la figura 148 indica las propiedades de las ventanas se accede al dar click derecho encima, el recuadro indica el lugar para editar el color de ventana.

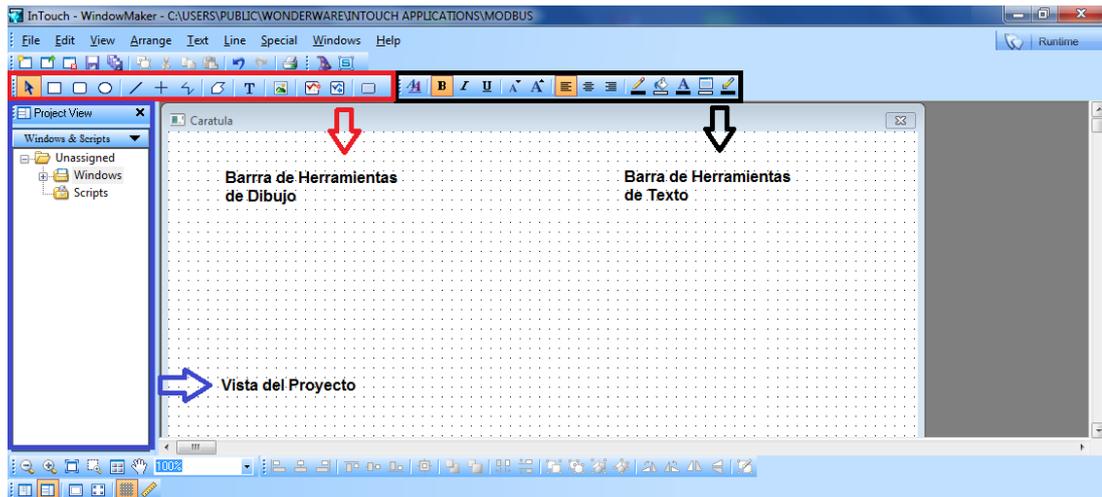


Figura 147 Herramientas de In Touch para la creacion del entorno gráfico

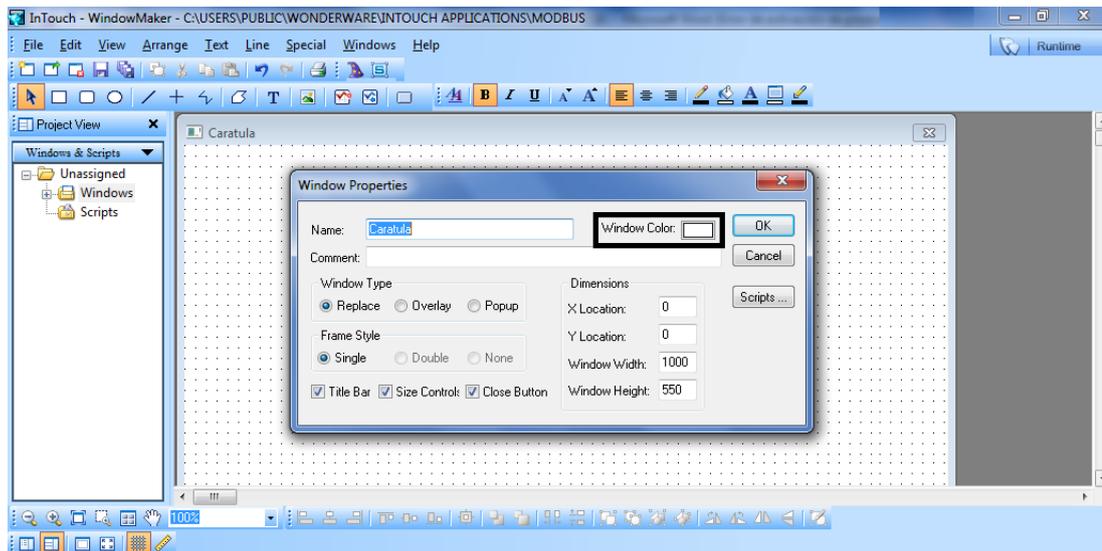


Figura 148 Propiedades de ventana en InTouch

El diseño del entorno gráfico del software InTouch se lo realizó en base al manual de usuario (Curso Intouch Basico 7.1, 2011), la parte pertinente a la comunicación Modbus TCP se configura en las figuras 149 hasta la 154.

Para el monitoreo y control de una variable enlazada por medio del software ArchestrA SMC al servidor Modbus se lo realiza escribiendo el texto “##” o “##.##” en la ventana de InTouch, figura 149, seleccionando “T” de la barra de Herramientas de Texto, al dar doble click encima de este texto se abre una ventana como se aprecia en la figura 150 en esta ventana

seleccionar “Analog” lo cual apertura una nueva ventanas, para la selección del acceso, es decir, configurar las variables (edición de tags) y direccionamos al PLC que habíamos creado en el Archestra SMC, como se muestra en las figuras 151 hasta la 157.



Figura 149 Escritura de ## para acceso a registros Modbus

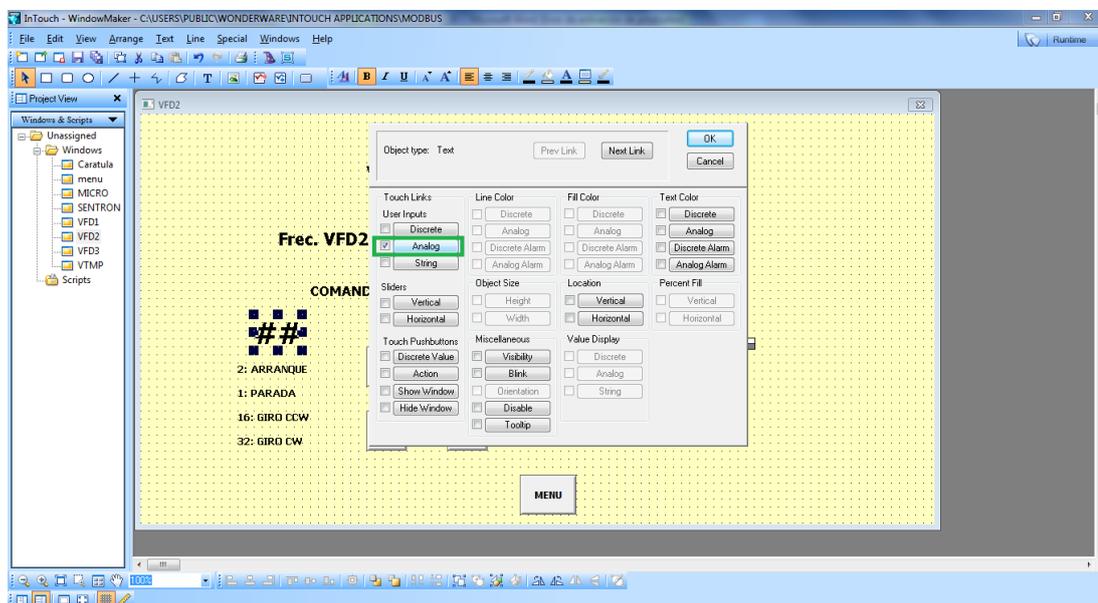


Figura 150 Acceso de ## a las variables Modbus

En la figura 151 indica la ventana que se despliega al dar click encima de ## y por ende su asignación como una variable Modbus, se escribe un nombre

“arranque” el cual será la etiqueta (Tagname) hacia el software SMC, al dar click encima de esto se despliega una nueva ventana, figura 152, para definir esta etiqueta.

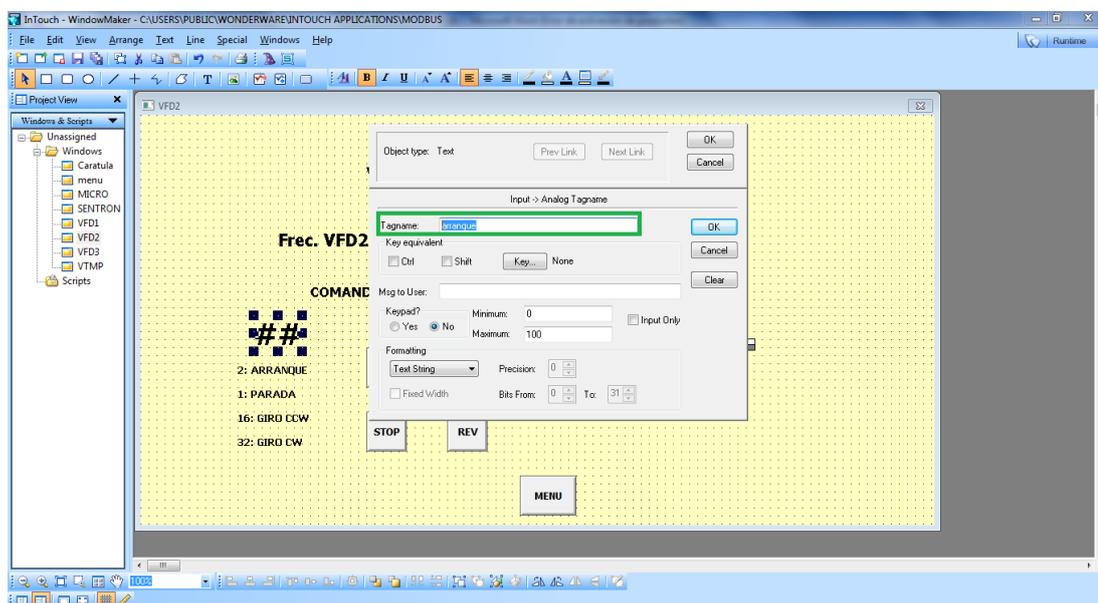


Figura 151 Creación de etiqueta “Tagname” de acceso Modbus

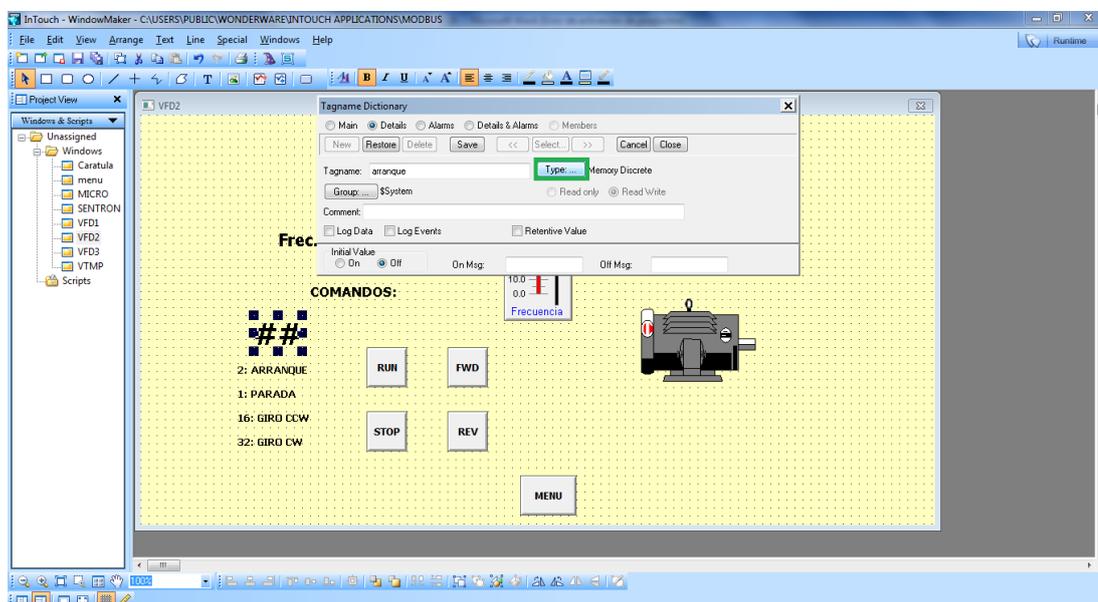


Figura 152 Acceso al tipo de variable Modbus

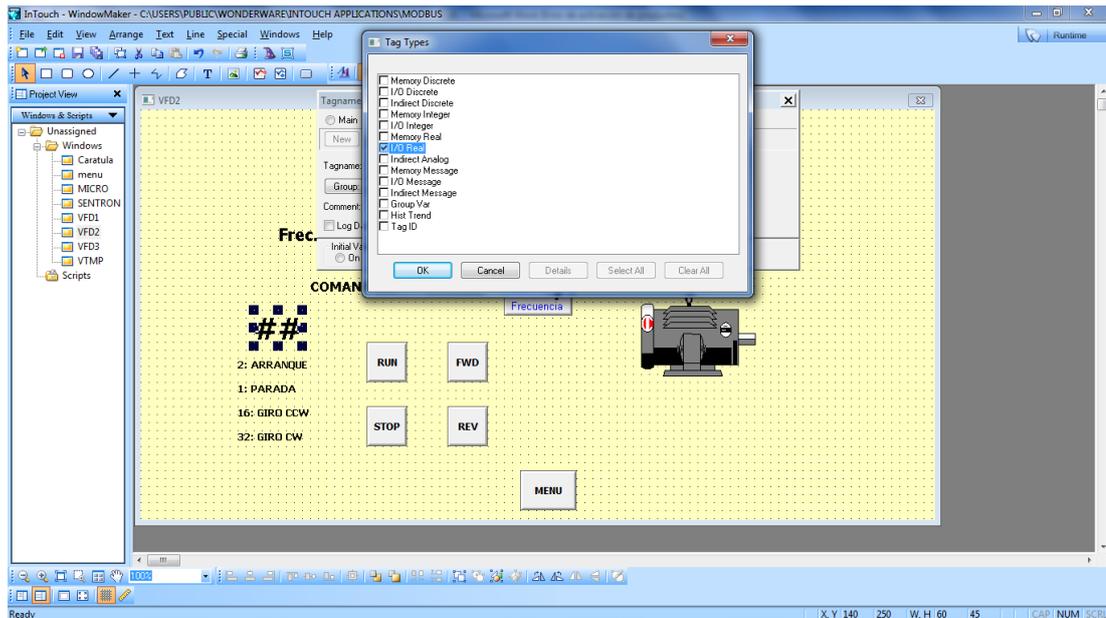


Figura 153 Selección del tipo de variable Modbus

Al seleccionar encima de "Type" en la figura 152 se edita el tipo de dato Modbus que se hace el control o monitoreo como lo indica la figura 153. Continuando con la configuración en la figura 154 se define el enlace con SMC, al dar click encima de "Access Name" nos dirige hacia una nueva ventana, figura 155, en la cual se añade el "Access Name" requerido.

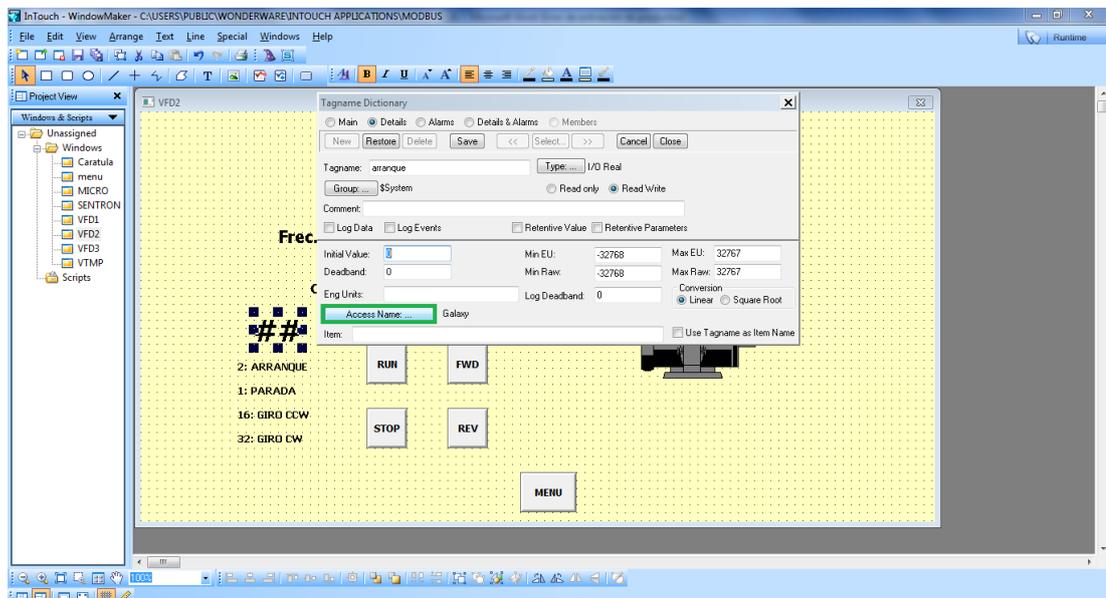


Figura 154 Acceso al enlace "Access Name" del SMC

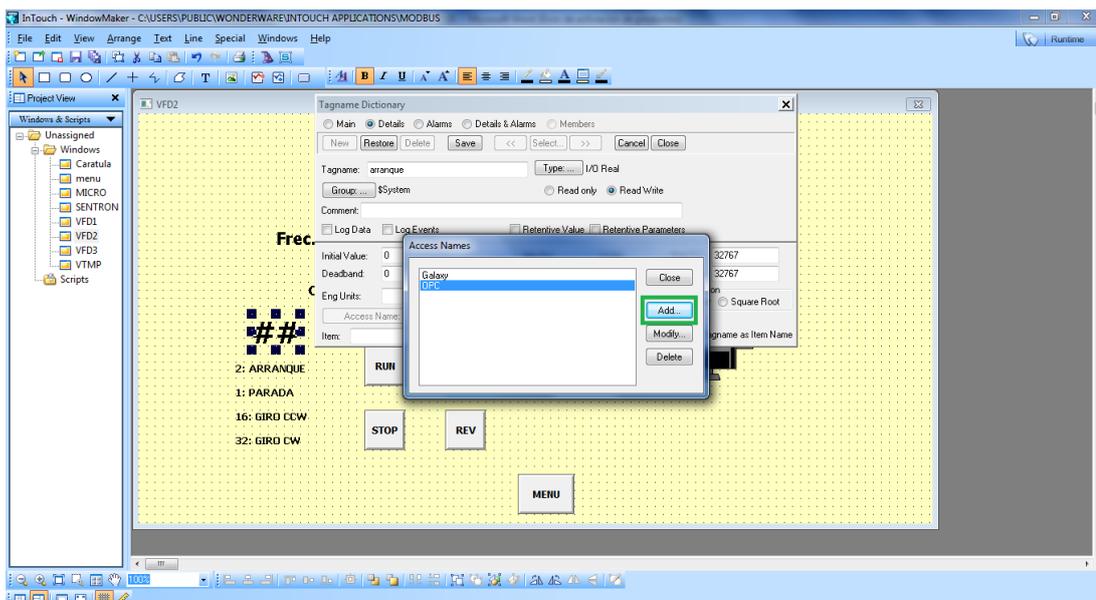


Figura 155 Creación de un enlace al SMC

En la figura 156 se da un nombre al acceso desde InTouch “MODICON” y se escribe el DAServer “DASMBTCP” y el acceso “M221” del SMC al cual accederá el software InTouch. En la figura 157 se define la dirección Modbus “400004” se guarda cambios y cierran las ventanas.

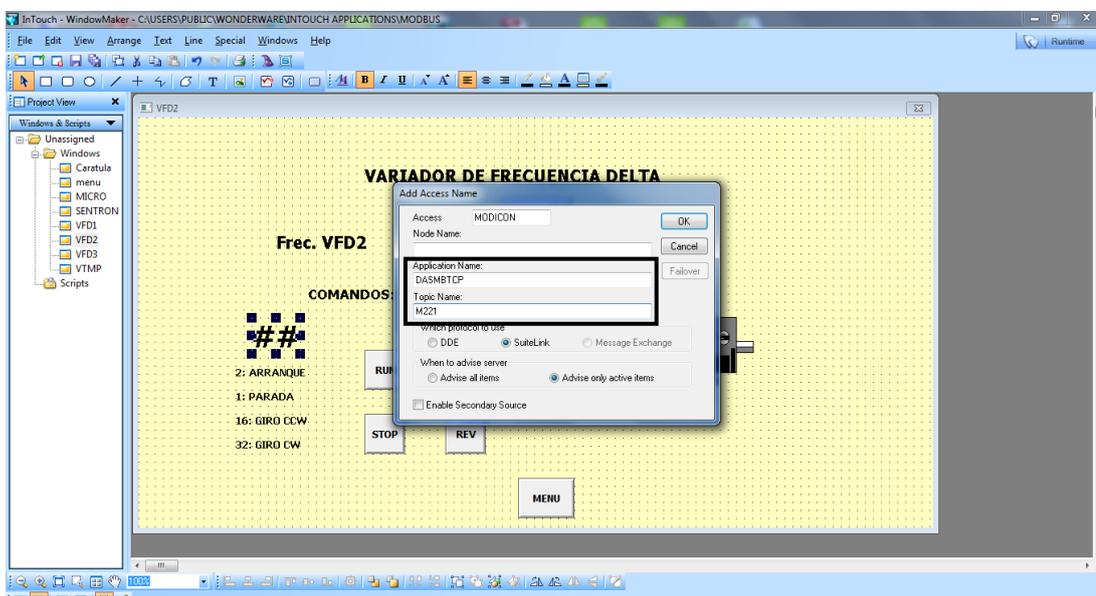


Figura 156 Configuración del enlace con el SMC

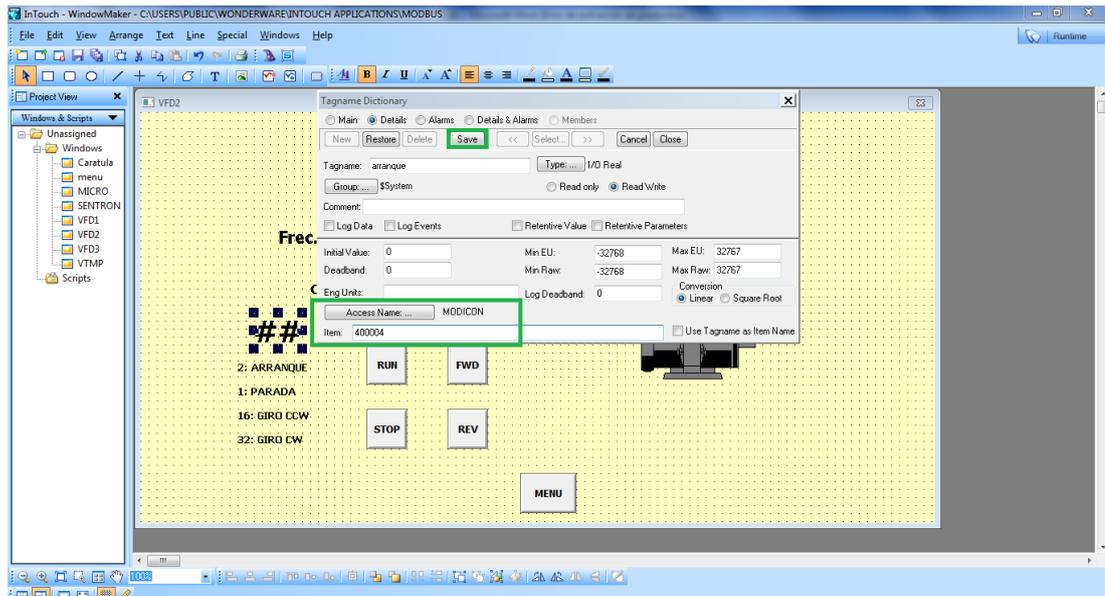


Figura 157 Direcccionamiento del enlace a la variable por Modbus

Debido a que el software InTouch esta enlazado al software SMC, para la ejecución de InTouch es necesario poner en marcha el programa SMC y activar el servidor a utilizar como se indica en la figura 158, una vez que estén lo equipos en línea y cargado el programa correspondiente al controlador.

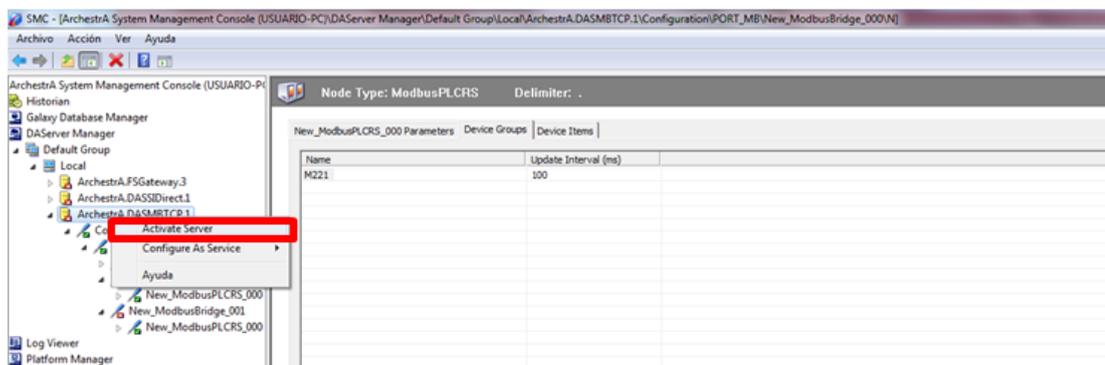


Figura 158 Puesta en línea programa en SMC

5.6.2 Programación de los HMI (Monitoreo Local)

La programación local para el proyecto se lo realiza a través del software DOPSoft, la configuración de comunicación se lo realiza dirigida únicamente hacia el Servidor Modbus puesto que es este el que hará el control y monitoreo de todos los equipos de la red industrial; por consiguiente la configuración de comunicación, figura 159, nos indica el enlace por Modbus

TCP “TCP IP (6 Digits)” hacia la dirección IP del Servidor Modbus (192.168.0.10) por el puerto “502” (Modbus TCP). Se sigue la configuración de los botones como se indicó anteriormente para los diferentes equipos a controlar la red industrial que se muestran en la figura 160.

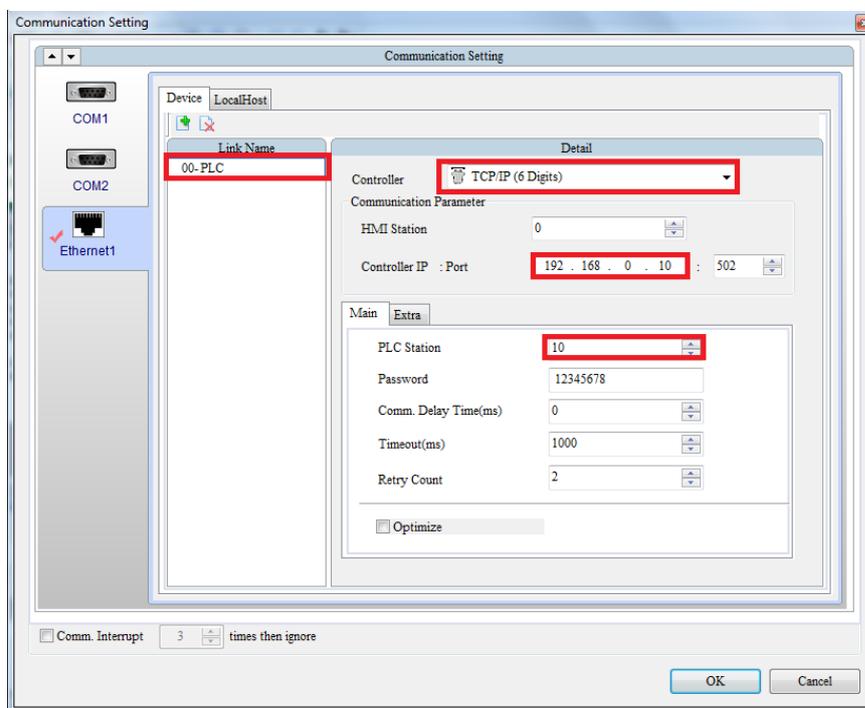


Figura 159 Configuración de comunicación local del proyecto

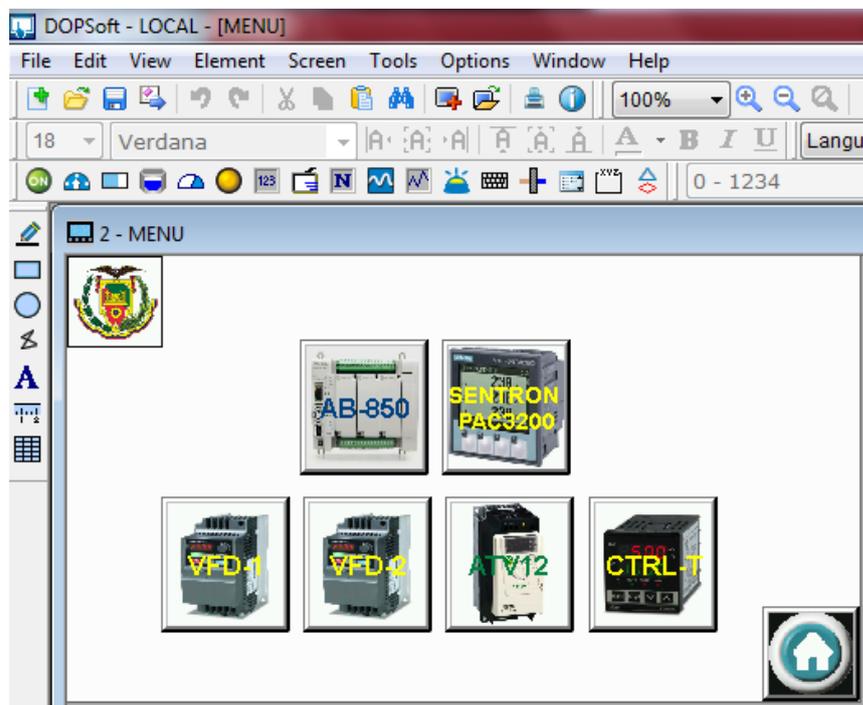


Figura 160 Menú de equipos a controlar en el proyecto

CAPÍTULO VI

6 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROYECTO

6.1 Montaje de los elementos de la red industrial de comunicación Modbus

Una vez realizada la construcción de la mesa y hecho el análisis estructural de la misma, se procede a montar cada uno de los elementos según la distribución tomada para el análisis, quedando como se muestra en la figura 161, donde se observan los equipos del módulo didáctico. Se realiza todo el cableado como se especifica en el capítulo 4 y 5.



Figura 161 Montaje de los equipos de la red industrial Modbus

6.2 Prueba de comunicación de control Local (HMI)

Se realiza la puesta en línea (figura 162) y descarga (figura 163) del programa del Servidor Modbus en el PLC Modicon TM221CE24R, además se inicia el controlador (figura 164) y se acciona el pulsador para la activación del programa (figura 165 y 166) donde se realiza el control y monitoreo de los equipos que conforman la red industrial.

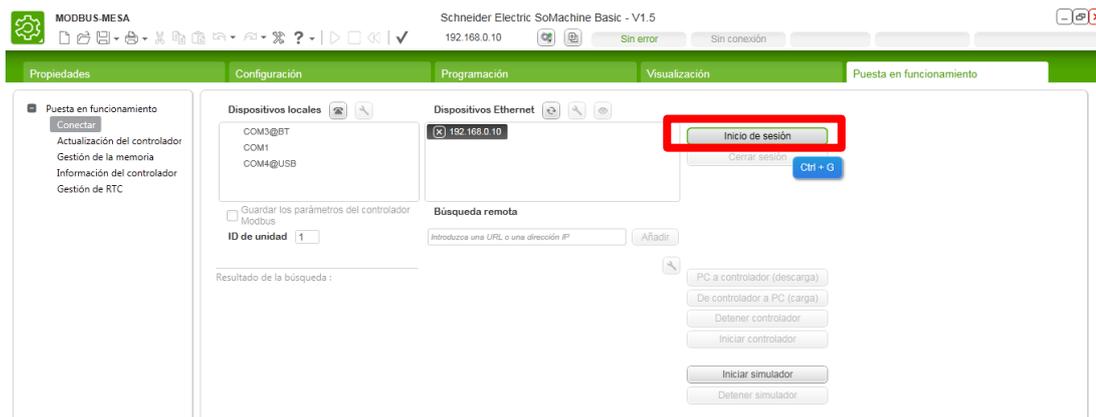


Figura 162 Puesta en línea (Inicio de sesión) del Servidor Modbus

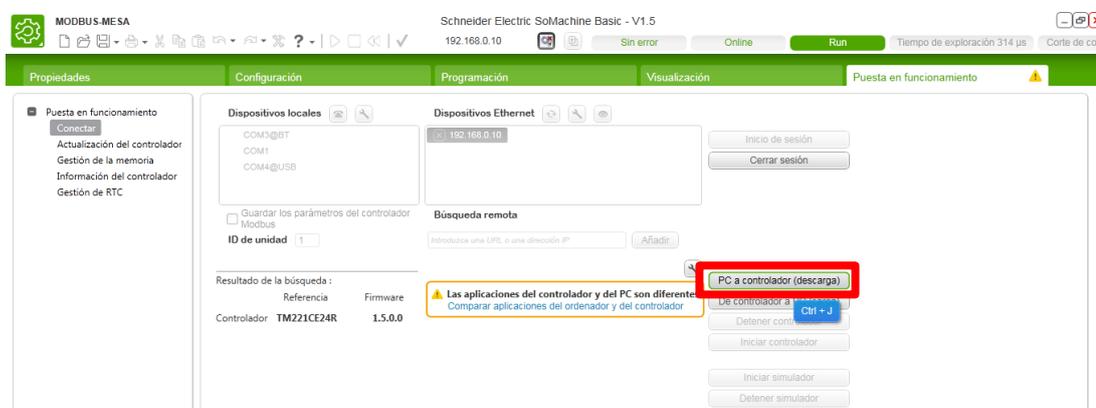


Figura 163 Descarga del programa del Servidor Modbus

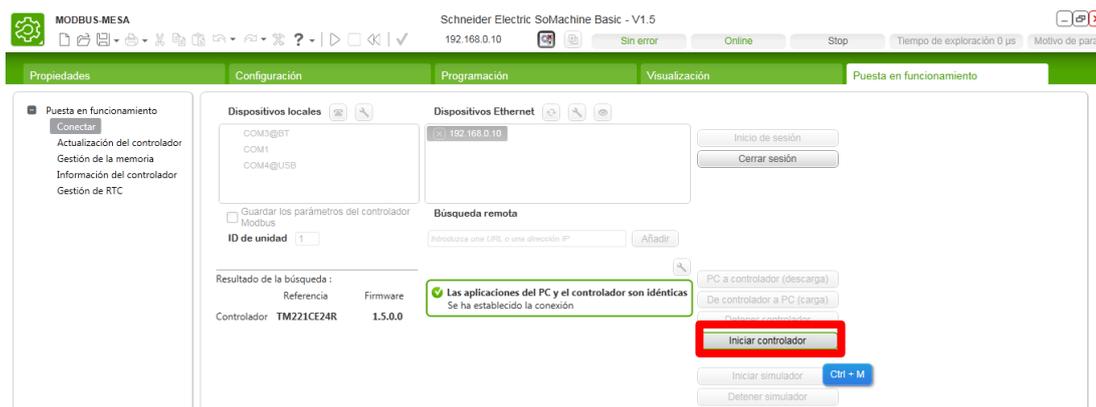


Figura 164 Inicialización del Servidor Modbus



Figura 165 Activación del programa del Servidor Modbus

MODBUS-MESA Schneider Electric SoMachine Basic - V1.5
192.168.0.10 Sin error Online Run Tiempo de exploración 413 ms Motivo de pa

Propiedades Configuración Programación Visualización Puesta en funcionamiento

Tareas Herramientas

Comportamiento
Tarea maestra
1 - COM-SERIE

- Rung0 - Inicialización
- Rung1 - Oscilador 1
- Rung2 - Oscilador 2
- Rung3 - Oscilador 3
- Rung4 - Oscilador 4
- Rung5 - Oscilador 5
- Rung6 - Oscilador 6
- Rung7 - Oscilador 7
- Rung8 - Oscilador 8
- Rung9 - Oscilador 9
- Rung10 - Oscilador 10
- Rung11 - Oscilador 11
- Rung12 - Oscilador 12
- Rung13 - LECTURA
- Rung14 - ESCRITURA
- Rung15 - LECTURA
- Rung16 - ESCRITURA
- Rung17 - LECTURA
- Rung18 - ESCRITURA
- Rung19 - LECTURA
- Rung20 - ESCRITURA
- Rung21 - LECTURA
- Rung22 - ESCRITURA
- Rung23 - Intercambio
- Rung24
- Rung25
- Rung26
- Rung27
- Rung28
- Rung29

1 - COM-SERIE Comentario

LD Inicialización del Programa Comentario

Rung0 ON Símbolo %I0.0 OFF Símbolo %I0.1 Comentario Símbolo %SM0 True True

LD Oscilador 1 Tiempo en alto del oscilador 1 Comentario

Rung1 Símbolo %M0 Símbolo %M1 Comentario Símbolo %TM0 Símbolo %M1 Tipo: TP False

Tabla de animación_0

Utilizado	Trazado	Dirección	Símbolo	Valor	Forzar	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		%MW0	0		ESC CMD VFD1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW1	0		ESC FREQ VFD1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW2	0		ESC CMD VFD2
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW3	0		ESC FREQ VFD2
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW4	0		ESC CMD ATV

Figura 166 Visualización de activación del Servidor Modbus

Se carga el programa de visualización local en la pantalla HMI B03E211 (IP: 192.168.0.20), el cual realiza el control y monitoreo de registros Modbus

que están programados en el Servidor. En la figura 167 se busca la pantalla HMI a descargar el programa por medio de su IP.

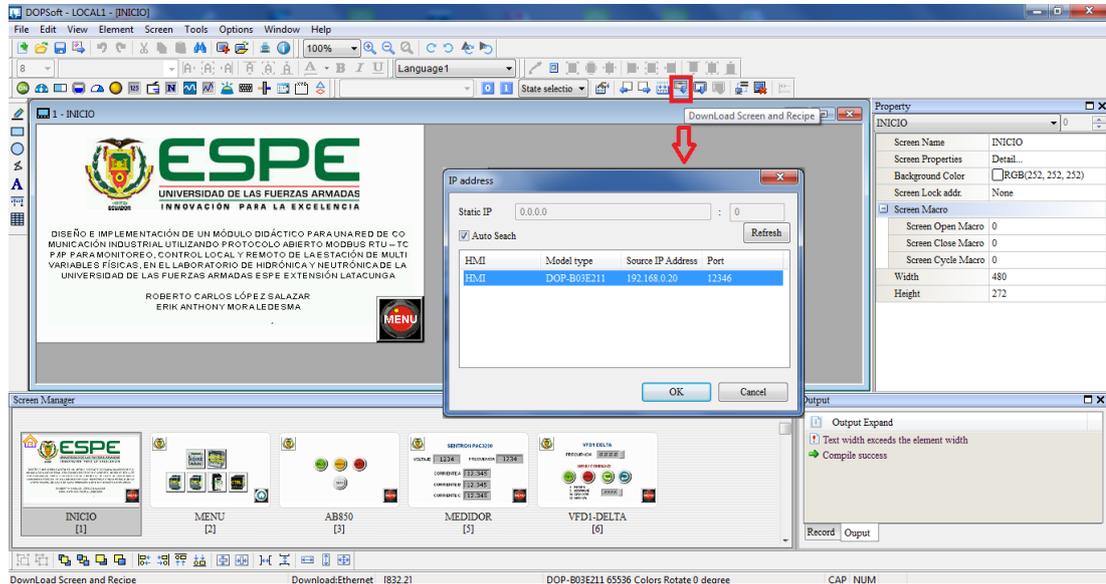


Figura 167 Descarga de programa de control local

Establecida la comunicación entre el Servidor y los clientes Modbus se comprueba el funcionamiento adecuado de la red, principalmente mediante la tabla de animación del servidor Modbus (figura 168) con los valores que se van seteando en la pantalla HMI o en el mismo Servidor. En las figuras 169 hasta la 179 se muestra el seteo de valores y lectura de los mismos en la pantalla HMI y en los equipos.

Tabla de animación_0

Añadir Insertar Base de tiempo 5s Abrir ventana de trazado

Utilizado	Trazado	Dirección	Símbolo	Valor	Forzar	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW0	2		ESC CMD VFD1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW1	2000		ESC FREQ VFD1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW2	2		ESC CMD VFD2
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW3	3000		ESC FREQ VFD2
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW4	15		ESC CMD ATV
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW5	500		ESC FREQ ATV
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW6	400		ESC SET CTRL
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW7	1000		ESC UP CTRL
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW8	0		ESC LOW CTRL
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW9	197		LECT TEMP CTRL
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW10	400		LECT SET
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW11	1000		LECT UP
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW12	0		LECT LOW
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		%MW13	75		MICRO 850

Figura 168 Visualización de valores en la tabla de animación de Servidor



Figura 169 Carátula del Proyecto de investigación

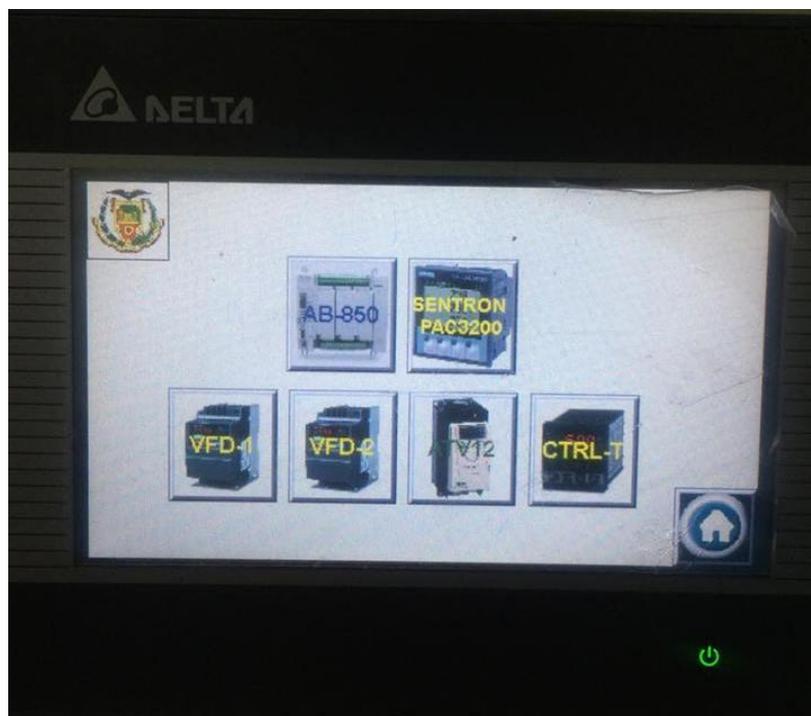


Figura 170 Menú principal de dispositivos a controlar



Figura 171 Arranque y asignación de frecuencia del variador VFD1



Figura 172 Visualización del Variador 1

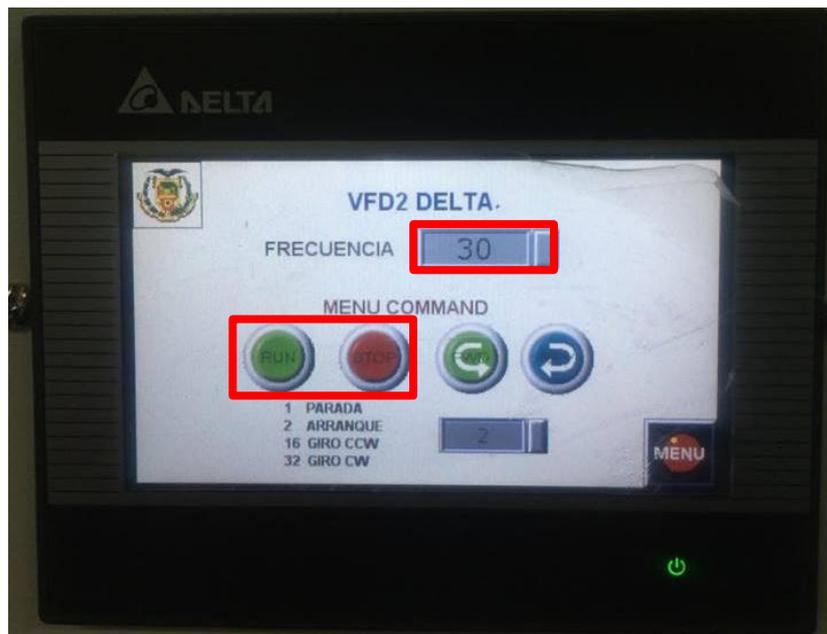


Figura 173 Arranque y asignación de la frecuencia del variador VFD2



Figura 174 Visualización del Variador 2

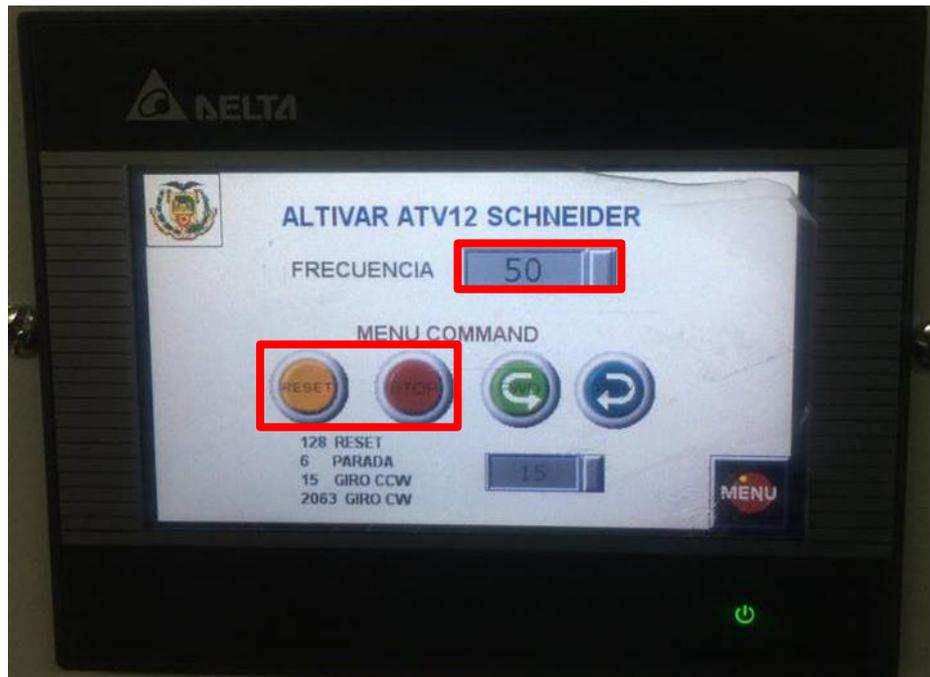


Figura 175 Arranque y asignación de la frecuencia del variador ATV12



Figura 176 Visualización del Variador ATV12



Figura 177 Asignación del Set Point y de los límites (superior e inferior) del Controlador de temperatura



Figura 178 Visualización del Controlador de Temperatura



Figura 179 Visualización de valores de Voltaje, corrientes (A, B y C) y frecuencia

Para cerrar sesión presionamos el botón negro ubicado al costado derecho del módulo como se indica en las figura 180; a continuación detenemos el controlador como se muestra en la figura 181.



Figura 180 Desactivación del programa del servidor

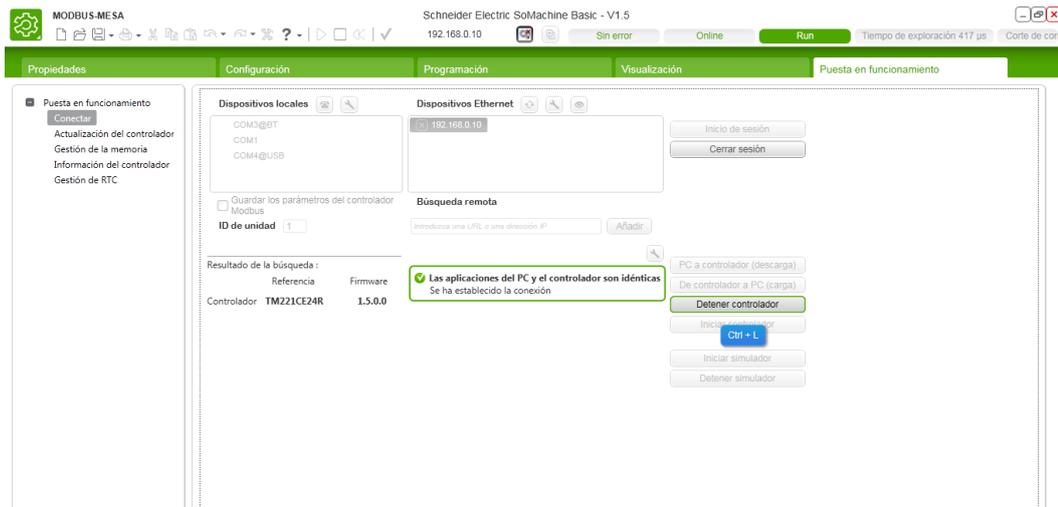


Figura 181 Detención del controlador

6.3 Prueba de Comunicación de control Remoto (InTouch)

La verificación del funcionamiento remoto se lo hace mediante el SMC Orchestra el cual viene a ser el que nos establece la comunicación entre el Servidor Modbus PLC Modicon TM221CE24R y el programa InTouch, procedimiento de configuración realizado en el capítulo anterior, a continuación en la figura 182 observamos la carátula del proyecto de investigación donde se encuentra el título del proyecto, con un respectivo botón el cual nos lleva a la pantalla de menú del programa.



Figura 182 Carátula del proyecto de investigación

En la figura 183 podemos observar el menú del programa en donde se ha subido imágenes reales de cada uno de los dispositivos que se encuentran conectados a nuestro Servidor Modbus (Modicon TM221CE24R), al seleccionar cualquiera de ellos se nos dirigirá hacia el programa de cada uno de ellos. Se recomienda tener abierto en el programa SoMachine la tabla de animación donde se encuentran cada una de las direcciones y los valores de cada una de ellas, con esto podemos confirmar que los valores visualizados en cada uno de los elementos sean los correctos.



Figura 183 Menú principal del programa

Primero abrimos la ventana del controlador Micrologix 850 como se observa en la figura 184, donde por motivos de espacio en la memoria de nuestro Servidor Modbus (Modicon TM221CE24R) se simuló un proceso de nivel acompañado por una curva para que al momento de nosotros enviar la señal ya sea de “alto”, “medio”, “bajo” o “cero” a la memoria respectiva del Servidor Modbus, éste a través de Modbus TCP/IP envíe el mensaje al controlador Micro850 para que éste active las salidas 1, 2, 3 o 4, según corresponda, probando así que se ha establecido la conexión Modbus satisfactoriamente. En la figura 185 observamos que la luz naranja se

enciende, la cual corresponde a la salida Q3, cuando activamos el botón alto que en la curva tiene el valor de 75 unidades. Finalmente después de la comprobación de la comunicación presionamos en el botón “menú” para continuar con el siguiente elemento de la red industrial Modbus.



Figura 184 Pantalla de comunicación con PLC Allen Bradley Micro850



Figura 185 Activación de la salida 3 del PLC Micro850

El siguiente elemento a seleccionar en el menú principal es el variador Delta VFD-007E723A (VFD1) el cual se encuentra conectado a una bomba la cual llena un tanque (tanque 1) cómo se muestra en la figura 186, en el diseño de la pantalla (Figura 187) podemos encontrar similitudes con el programa del HMI Delta ya que vamos a realizar exactamente lo mismo y manejamos los mismos parámetros. Se le añadió a la pantalla una barra para poder manejar la frecuencia del motor de la bomba así como también un botón el cuál se pone de color verde cuando el variador se encuentra en funcionamiento y rojo cuando no; esto se lo hizo debido a que si no se tiene el proceso cerca del operador no puede saber si está o no en funcionamiento. El tanque se llena de líquido según la frecuencia con la que funciona la bomba. El número que indica el comando ingresado también puede ser modificado en el caso de que no se desea controlar por los botones implementados (Run, Stop, Fwd, Rev).



Figura 186 Estación del Variador Delta 1 (VFD1)



Figura 187 Pantalla de control del VFD1

Una vez finalizado el control del Variador VFD1, procedemos a apagarlo y regresar al menú principal para proceder con el siguiente elemento de la red el cual es el variador Delta VFD-007E723A (VFD2), el diseño de la pantalla (figura 188) es parecido al anterior variador (VFD1) ya que realiza exactamente lo mismo y posee características idénticas con la diferencia que solo comprobaremos su funcionamiento con un motor trifásico y mediante su encendido de luces en el display del variador donde podemos reconocer si se encuentra arrancando, parado, en giro normal o reversa. En la figura 189 observamos el motor en el cual realizaremos las pruebas tanto para éste variador como para el Altivar 12. Por motivos de que no se puede apreciar el giro de eje del motor en las imágenes, observamos los leds en el variador como se muestra en la figura 190 donde se enciende el led de encendido y el sentido de giro normal del motor (Sentido Horario) así como la frecuencia insertada en la pantalla InTouch



Figura 188 Pantalla de control del VFD2



Figura 189 Motor trifásico para pruebas de variadores



Figura 190 Display del VFD2 en funcionamiento

Una vez finalizado el control del Variador VFD2, procedemos a apagarlo y regresar al menú principal para proceder con el siguiente elemento de la red el cual es el variador Schneider ATV12H075M2 y seleccionamos la pantalla, en la pantalla del ATV12 (figura 191) visualizamos exactamente lo mismo que en el variador VFD2 debido a que comprobaremos su funcionamiento de la misma forma, con el mismo motor (figura 189). Por el mismo motivo que en el VFD2, debemos observar el display del ATV12 (figura 192) para comprobar los valores ingresados en el InTouch con la diferencia que en el Altivar solo podemos observar la frecuencia del motor. En el diseño de la pantalla de igual manera tenemos un led que indica si el motor está en funcionamiento o no.

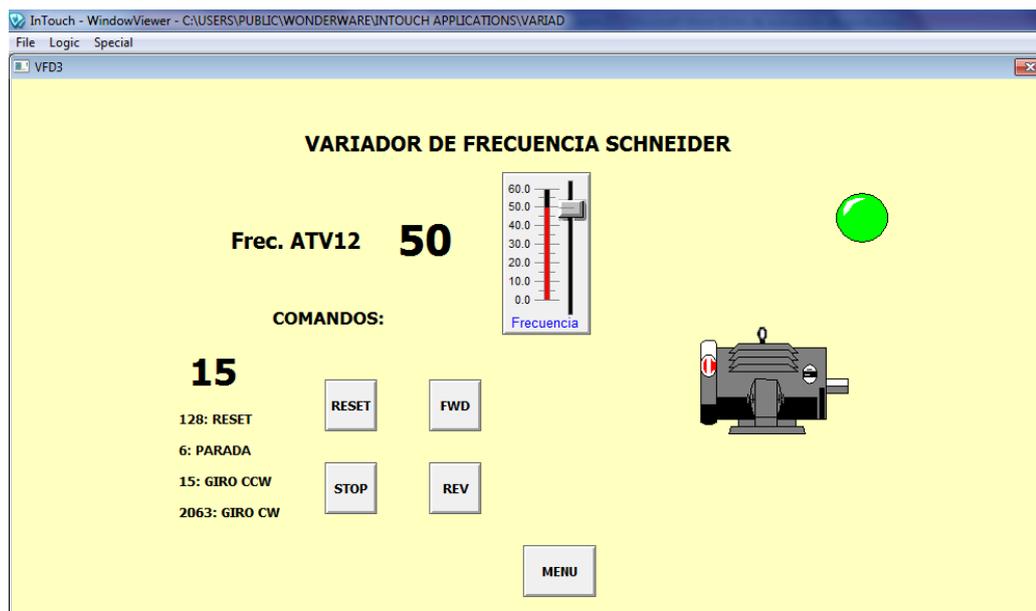


Figura 191 Pantalla de control del ATV12



Figura 192 Display del Variador ATV12

Una vez finalizado el control del Variador ATV12, procedemos a apagarlo y regresar al menú principal para proceder con el siguiente elemento de la red el cual es controlador de temperatura DTB4848, en su pantalla (figura F193) podemos observar el gráfico de una PT100 ya que es el elemento que nos va a medir la temperatura en este caso del medio ambiente, se puede observar también el valor PV el cuál es el que mide la PT100, un ST el cuál es el valor del Set Point que se le ingresa al controlador, tenemos el límite superior (Upper Limit) y el límite inferior (Lower Limit) donde podemos limitar la temperatura que queramos, en el caso de que nos salgamos de ellos el controlador de temperatura mostrará en su display un parpadeo de luces para indicarnos ello. Se agregó de igual forma una gráfica para poder observar la tendencia en tiempo real de la temperatura que mide la PT100.

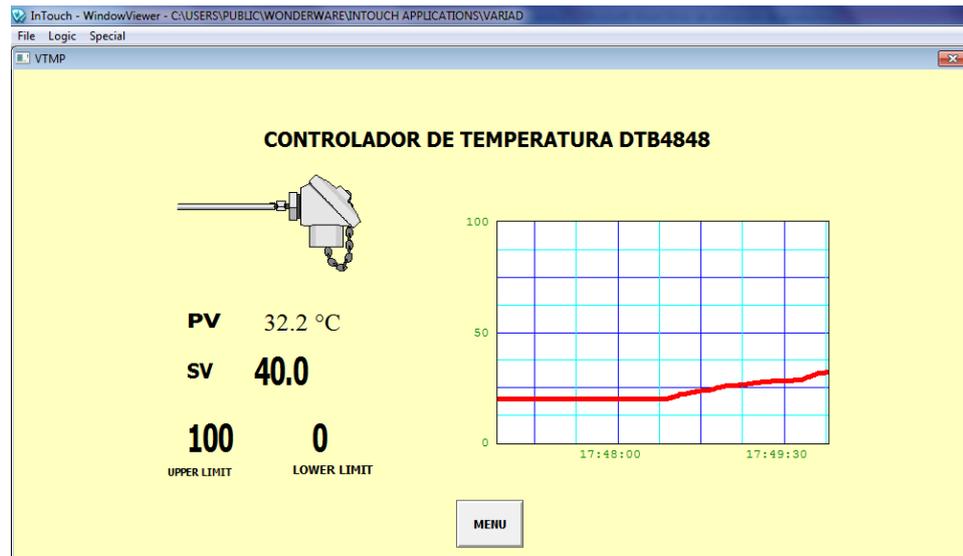


Figura 193 Pantalla de control del controlador de temperatura DTB4848

Una vez finalizado el proceso del controlador de temperatura DTB4848, regresamos al menú principal para observar el comportamiento del último elemento de la red Modbus el Medidor de Energía Siemens Sentron PAC3200, al abrir su pantalla (figura 194) podemos observar el dispositivo y los valores de Frecuencia, un voltaje de fase (debido a que consideramos que son iguales de todas las fases), y tres corrientes de línea; el medidor puede ser conectado a cualquier parte de la red ya que lo importante es la comunicación con el sistema pero en éste caso está conectado a la salida del variador VFD1 para poder observar el comportamiento de la corriente que va al motor de la bomba en el momento que se enciende.



Figura 194 Pantalla de visualización del Sentron PAC3200

6.4 Encuestas de Evaluación de la Red Industrial Modbus TCP/IP – RTU

En el capítulo 1 del presente proyecto fue planteada la hipótesis siguiente: “A través del diseño e implementación de la red de comunicación Modbus RTU-TCP/IP se fortalecerá el proceso de aprendizaje de protocolos de comunicación industrial de las áreas del conocimiento en Automática y Robótica impartidas en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.”; para poder comprobar si se fortaleció el proceso de aprendizaje se realizó una encuesta a los alumnos de Redes Industriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga las siguientes preguntas, las cuales apuntan directamente a sus resultados logrados al haber estudiado el protocolo Modbus en el módulo implementado en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica:

- Conoce ud del protocolo de comunicación Modbus?
- Considera ud que el módulo de comunicación Modbus, que se encuentra en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la universidad, ayuda a la mejora de aprendizaje de los estudiantes en el área de Automatización Industrial?
- Considera ud que el módulo es de fácil manejo en relación a otros módulos implementados con otros protocolos?

- Cree ud que el aprendizaje práctico en el módulo ha mejorado la enseñanza complementando al fundamento teórico?
- Considera que se deben realizar más proyectos como el mencionado, relacionado con redes industriales?
- Considera que el proyecto implementado fue necesario para la enseñanza de redes industriales?
- Cite en el caso de considerarlo, una mejora para el módulo de comunicación Modbus.

La encuesta fue realizada a un total de 30 alumnos, las encuestas se las puede revisar en el ANEXO F, donde también se adjunta una tabla donde se encuentran las respuestas de los encuestados.

Analizando la tabla, daremos los resultados basándonos en la conformidad de los alumnos. Para la primera pregunta tenemos: 26 personas que conocen muy bien y excelente el protocolo, 1 persona lo conoce bien y solo 3 personas no lo conocen bien, teniendo un grado de conformidad del alumno del 90%.

Para la segunda pregunta referida a que si el proyecto implementado sirvió para su aprendizaje de Automatización Industrial tenemos: 26 personas que consideran muy bueno y excelente, 2 personas consideran que fue bueno y solo 2 personas creen que no sirvió mucho, teniendo un grado de conformidad del alumno del 93%.

La tercera pregunta la cual se refiere a la facilidad de uso del módulo en comparación a otros protocolos nos dan los siguientes resultados: 23 alumnos consideran que es bastante sencillo el manejo del módulo, 3 alumnos creen que es de normal manejo y 4 alumnos lo consideran un poco complejo, teniendo un grado de conformidad de del 87%, el otro 13% debe reforzar su falencia mediante las guías de laboratorio.

La cuarta pregunta se refiere a que si el módulo ha complementado el aprendizaje de Modbus reforzando a la teoría y tenemos los siguientes resultados: 25 personas consideran que fue muy bueno y excelente complementar la teoría mediante el proyecto, 1 persona cree que fue bueno

y 4 personas creen que no mejoró su aprendizaje, teniendo un grado de conformidad del 87%.

La quinta pregunta se refiere a que si el alumno cree que se necesiten más proyectos como este para mejorar su aprendizaje, teniendo los siguientes resultados: 26 alumnos cree que es estrictamente necesario realizar más proyectos como este y solo 4 personas creen que no es necesario, teniendo un grado de conformidad del 87%.

La sexta es muy clara al preguntar si el proyecto implementado fue necesario para su asignatura de Redes Industriales, teniendo como resultados: 25 personas consideran estrictamente que el proyecto fue necesario para su aprendizaje, 4 personas respondieron que no del todo y 1 persona no respondió. Teniendo un grado de conformidad del 86%.

Al analizar los grados de conformidad de las preguntas de la encuesta, es claro que el proyecto implementado ha facilitado la enseñanza de los alumnos que estudiaron el protocolo Modbus, con esto se argumenta que se cumplió la hipótesis planteada.

Por último en la última pregunta de la encuesta, la cual se refiere a las mejoras del módulo, tenemos las sugerencias de que se podría mejorar el proyecto mediante el uso inalámbrico de la red mediante un router, también se mencionó que se pueden añadir más dispositivos a la red, esto es algo positivo ya que muestra el interés de los alumnos por incursionar más en éste protocolo y muestra una de las ventajas del protocolo, que es el que se pueden ir añadiendo más dispositivos a la red para ser controlados y monitoreados; la gran mayoría no considera que el módulo requiera mejoras.

6.5 Guías de Laboratorio

Las guías de laboratorio del módulo didáctico para su correcta utilización se encuentran en el ANEXO F.

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un módulo didáctico para una red de comunicación industrial utilizando protocolo abierto MODBUS RTU – TCP/IP para monitoreo, control local y remoto de la estación de multivARIABLES físicas, en el Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la ESPE Extensión Latacunga.
- En la red industrial implementada se utilizan los protocolos Modbus RTU y Modbus TCP/IP. El medio en Modbus RTU es por dos cables D+ y D-; el medio en Modbus TCP/IP a través de cable Ethernet (por los cables Tx+, Tx-, Rx+, Rx-). En el enlace se define la trama de comunicación. Los registros de control y monitoreo de los equipos en RTU están descritos en los manuales, las capas en TCP se pueden editar en la programación adecuándose al usuario.
- En la trama de comunicación del protocolo Modbus RTU utilizado en el proyecto, los bytes se envían de manera binaria, con comprobación de error CRC, el mensaje tiene 1 bit de inicio, 8 bits de datos, en paridad impar y 1 bit de parada, lo cual se transmite a 9600 baudios por segundo. La trama en Modbus TCP/IP convierte la trama en RTU en la capa de aplicación y enlace del modelo OSI para su transmisión por la capa de transporte utilizando protocolo IP.
- Se Implementó en la Red de Comunicación Industrial RTU tres variadores de frecuencia, un controlador de temperatura en un bus Modbus RTU; todos ellos en diferentes marcas.
- Se implementó en la Red de Comunicación Industrial TCP/IP, dos controladores lógicos programables (PLC), un equipo de medición de energía, un convertidor de protocolo RTU-TCP/IP y dos pantallas HMI; todos ellos en diferentes marcas.
- Se interconectó la red de comunicación industrial Ethernet en TCP/IP con una Serial RTU mediante un convertidor DELTA IFD9507, el cual se configuró con el software DCISoft; todo ello en protocolo Modbus.
- Se controló y monitoreó la red industrial de manera local a través de dos pantallas HMI Delta y de manera remota a través de un sistema

SCADA para computador con el software Wonderware InTouch utilizando un OPC server (DAServer Modicon Modbus TCP).

- Mediante las encuestas realizadas se comprobó el aporte de la red de comunicación industrial a la mejora del proceso de aprendizaje en el área de Automatización industrial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta la configuración de los pines de los puertos serie de los elementos dedicados (dispositivos seriales) para su conexión en el bus RS485.
- Comprobar que se utiliza la misma trama de comunicación en el maestro y esclavo Modbus RTU. Tener en cuenta el ID del esclavo al direccionar la comunicación con el maestro.
- Al utilizar un Bus RS485 tener en cuenta la instalación de resistencias y capacitancias terminadoras para evitar interferencia de señal que se produce en este tipo de conexión.
- Al realizar comunicación con equipos por medio de la línea Ethernet, usar el programa CMD del equipo y hacer PING al IP de los equipos conectados, para comprobar la interconexión de equipos.
- Al realizar comunicación desde Modbus TCP/IP hacia Modbus RTU, en los dispositivos seriales conectados, puede verse afectada su comunicación; tener en cuenta la teoría de desplazamiento de registros para su control y monitoreo.
- Realizar pruebas de comunicación Modbus con controladores de Alta Gama, como son los Controllogix y Compactlogix mediante la implementación de una tarjeta ProSoft.
- Implementar un sistema MES/ERP en la Red Industrial Modbus RTU-TCP/IP, con el propósito de incorporar los niveles de gestión y planificación de un proceso industrial.
- Implementar pruebas de penetración para determinar la debilidad de seguridad de una Red Industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Configurar una red doméstica. (marzo de 2009). Recuperado el 13 de Noviembre de 2016, Obtenido de <https://tutorialpc.wordpress.com/redes/configurar-red-domestica/>

Curso Intouch Basico 7.1. (2011). Recuperado el 21 de Abril de 2017, Obtenido de <http://www.infoplcn.net/descargas/49-wonderware/626-curso-intouch-basico-71-nivel-1>

(Mayo de 2013). Recuperado el 5 de Junio de 2017, Obtenido de Introduccion sensores de temperatura: http://srcsl.com/catalogoPDFs/AreaTecnica/Introduccion_sensores_temperatura.pdf

Historia Universal. (Septiembre de 2013). Recuperado el 12 de Enero de 2017, Obtenido de <http://www.historialuniversal.com/2010/09/revolucion-industrial.html>

Buses de campo y comunicacion. (Marzo de 2014). Recuperado el 23 de Noviembre de 2016, Obtenido de <http://es.slideshare.net/juanbushido/trab-und5-modbus>

Conectronica. (Febrero de 2014). Recuperado el 13 de Noviembre de 2016, Obtenido de <http://www.conectronica.com/ethernet-industrial/pasarela-de-comunicacion-anybus-bacnet-a-modbus>

Dispositivos de red e interconexión de redes. (Mayo de 2014). Recuperado el 21 de Noviembre de 2016, Obtenido de <https://sites.google.com/site/sistemasdemultiplexado/arquitecturas-de-las-redes-de-comunicacin-caractersticas/12--dispositivos-de-red-e-interconexin-de-redes>

Interfaces de Comunicación Industrial. (Febrero de 2015). Recuperado el 12 de Enero de 2017, Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/2/PARTE%202.pdf>

Protocolo abierto Modbus RTU. (Mayo de 2015). Recuperado el 23 de Noviembre de 2016, Obtenido de <http://www.anybus.fr/technologies/modbusrtu.shtml>

Repetidor WIFI. (15 de Marzo de 2015). Recuperado el 23 de Noviembre de 2016, Obtenido de <http://www.compartirwifi.com/blog/repetidor-wifi-de-gran-potencia-especial-para-exteriores-jardines-terrazas-campos-o-patios-tp-link-cpe-210/>

Modbus. (Marzo de 2016). Recuperado el 22 de Abril de 2017, Obtenido de Curso Arduino Teinnova 2016: <http://teinnova.aprendiendoarduino.com/2016/07/24/modbus/>

Suministro y calibracion industrial. (15 de Abril de 2016). Recuperado el 5 de Junio de 2017, Obtenido de Conexion de termoresistencias de 2, 3 y 4 hilos: <http://www.sciempresa.com/informacion-tecnica/News/show/conexion-de-termorr-1110>

AIE, A. d. (Agosto de 2012). *AIE.* Recuperado el 18 de Julio de 2016, Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf>

ANSYS. (2017). *ANSYS.* Recuperado el 15 de Julio de 2017, Obtenido de <http://www.ansys.com/>

Aristeguieta, F. (2015). *Larraioz.* Recuperado el 23 de Abril de 2017, Obtenido de <http://larraioz.com/articulos/000004-OPC,-desde-el-clasico-al-nuevo-OPC-UA.php>

Bartolomé, J. (2016). *Tolaemon.* Recuperado el 12 de Enero de 2017, Obtenido de <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm>

Cassiolato, C. (16 de 3 de 2016). *SMAR.* Recuperado el 14 de Diciembre de 2016, Obtenido de <http://www.smar.com/espanol/articulo-tecnico/redes-industriales-parte-1>

CEAACES. (2015). *MODELO GENÉRICO DE EVALUACIÓN DEL ENTORNO DE APRENDIZAJE DE CARRERAS PRESENCIALES Y*

SEMIPRESENCIALES DE LAS UNIVERSIDADES Y ESCUELAS POLITÉCNICAS DEL ECUADOR. Quito.

- DELTA. (2017). *Delta AC drives*. Recuperado el 13 de Enero de 2017, Obtenido de <http://www.deltaacdrives.com/delta-ethernet-ip-communication-device-ifd9507/>
- DELTA. (2017). *Delta AC Drives*. Recuperado el 22 de Enero de 2017, Obtenido de <http://www.deltaacdrives.com/delta-vfd007e23a-23c-23t/>
- Delta. (2017). *Delta Electronics*. Recuperado el 12 de Julio de 2017, Obtenido de <http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=331&hl=en-US&Name=DOP-B03E211>
- Delta. (2017). *Delta Services*. Recuperado el 24 de Febrero de 2017, Obtenido de <http://www.deltaww.com/services/DownloadCenter2.aspx?secID=8&pid=2&tid=0&itemID=&typeID=1&downloadID=&title=&dataType=&check=0&hl=en-US&CID=06>
- Delta Automation. (2010). *Delta Automation*. Recuperado el 24 de Febrero Obtenido de 2017, de <http://www.deltaotomasyon.com/viewtopic.php?f=47&t=118>
- Delta Electronics. (Abril de 2015). *Delta Temperature Controller DTB Series Manual*. Recuperado el 8 de Mayo de 2017, Obtenido de <http://www.bb-elec.com/Products/Manuals/DTB48-TempController-Manual1-3-06.pdf>
- Electrocables. (Agosto de 2012). *Electrocables*. Recuperado el 5 de Junio de 2017, Obtenido de Cables de cobre TC: <http://electrocable.com/productos/cobre/TC.html>
- Erazo, P. (2013). *Diseño e Implementación del SCADA y Tablero de Control de Comando Manual/Automático para la Elaboración de Concentrado SKF para NEFROCONTROL S.A.* Quito.

- FESTO. (2016). *Festo Electronics*. Recuperado el 22 de Abril de 2017, Obtenido de <https://www.festo.com/hq/en/cms/festo.htm>
- Guerrero, V. (2010). *Comunicaciones Industriales*. México: Alfaomega.
- Lauren. (2012). *Curso Vijeo Citec*.
- Martí, X. (4 de Noviembre de 2015). *Codigos de error Modbus*. Recuperado el 6 de Abril de 2017, Obtenido de <http://www.xmcarne.com/blog-tecnico/errores-modbus/>
- Microsoft. (2017). *Visualstudio*. Recuperado el 18 de Marzo de 2017, Obtenido de <https://www.visualstudio.com/es/?rr=https%3A%2F%2Fwww.google.com.ec%2F>
- Modbus.org. (2015). *Diseño de sistemas SCADA para monitoreo de procesos*. Recuperado el 27 de Julio de 2017, Obtenido de <http://www.modbus.org/>
- Modbus.org. (Mayo de 2015). *Modbus TCP Internet TCP IP*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2016, Obtenido de <http://www.anybus.fr/technologies/modbustcp.shtml>
- Modbus.org. (Marzo de 2015). *Protocolo Modbus - National Instruments*. Recuperado el 18 de Marzo de 2017, Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>
- Rábago, F. (Enero de 2015). *Ecured*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2016, Obtenido de https://www.ecured.cu/Red_en_malla
- Rockwell Automation. (2010). *Allen Bradley PLC*. Recuperado el 18 de Enero de 2017, Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/2080-pp003_-en-p.pdf
- Rockwell Automation. (Septiembre de 2010). *Rockwell documents*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, Obtenido de

http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wd/2080-wd003_-es-p.pdf

Rockwell Automation. (Septiembre de 2010). *Rockwell documents*. Recuperado el 12 de Enero de 2017, Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wd/2080-wd004_-es-p.pdf

Rockwell Automation. (Noviembre de 2013). *Rockwell Documents*. Recuperado el 18 de Enero de 2017, Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/2080-pp003_-en-p.pdf

Rockwell Automation. (2017). *Rockwellautomation*. Recuperado el 15 de Abril de 2017, Obtenido de <http://www.rockwellautomation.com/global/support/connected-components/workbench.page>

Rodríguez, A. (2013). *Sistemas SCADA*. México: Alfaomega.

Rodríguez, O. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA*.

Sailema, W. G. (2010). *Integración de Procesos Industriales Mediante una Red Ethernet Dedicada para PLC's de Diferentes Fabricantes Aplicada en CECATTEC (Mecatrónicos)*. Riobamba.

ScadaSoftware. (Abril de 2014). *Scada Software*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2016, Obtenido de <http://www.scadasoftware.net/Spanish.htm>

Schneider Electric. (2012). *Guía de Hardware Modicon M221*. Recuperado el 11 de Enero de 2017, Obtenido de <http://www.schneider-electric.com/ww/en/download/document/EIO0000001387?showAsIframe=true>

Schneider Electric. (20 de Marzo de 2013). Recuperado el 8 de Mayo de 2017, de ATV12 Modbus Communication parameters address: <http://www.schneider-electric.us/en/download/document/BBV51917/>

- Schneider Electric. (2016). *Schneider Electric*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, Obtenido de <http://www.schneider-electric.com/en/product-range/62128-logic-controller---modicon-m221/>
- Schneider Electric. (2016). *Schneider Electric*. Recuperado el 13 de Enero de 2017, Obtenido de <http://www.schneider-electric.com/en/product-range/2253-altivar-12/>
- Schneider Electric. (2016). *Schneider-Electric*. Recuperado el 18 de Enero de 2017, Obtenido de <http://www.schneider-electric.com/en/download/document/SOMBASAP15SOFT/>
- Siemens. (2017). *Siemens Industry Online Support*. Recuperado el 17 de Mayo de 2017, Obtenido de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/26504150/manual-sentron-power-monitoring-device-pac3200?dti=0&lc=en-WW>
- Smar. (2017). *Smar*. Recuperado el 21 de Febrero de 2017, Obtenido de <http://www.smar.com/espanol/profibus>
- SMC. (2016). *SMC Training Center*. Recuperado el 19 de Julio de 2016, Obtenido de <http://www.smctraining.com/webpage/indexpage/311/>
- SOLIDWORKS. (2017). *SolidWorks*. Recuperado el 19 de Febrero de 2017, Obtenido de <http://www.solidworks.com/>
- Techdesign. (Marzo de 2011). *Techdesign*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2016, Obtenido de <http://docplayer.es/2716282-Vijeo-citect-sistema-de-supervision-scada.html>
- Tipantuña, J. A. (2013). *Implementación de una HMI en LABVIEW de las Variables Físicas de la Estación de nivel del laboratorio de Instrumentación Virtual empleando un PLC TWIDO y un módulo TWIDO ETHERNET*. Latacunga.
- Tubón, J. (2009). *AUTOMATIZACIÓN DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN*. Sangolqui.

Uniovi. (2015). *Resumen de Grafcet*. Recuperado el 12 de Marzo de 2017, Obtenido de http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/grafcet_resumen.pdf

Valerio, E. (Mayo de 2012). *Electricosiateb*. Recuperado el 17 de Mayo de 2017, Obtenido de <http://electricosiateb.blogspot.com/2016/04/scada-intouch-wonderware-intouch-100.html>

www.aie.cl. (Agosto de 2015). Recuperado el 23 de Noviembre de 2016, Obtenido de http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Buses_Campo.pdf

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:
ROBERTO CARLOS LÓPEZ SALAZAR y ERIK ANTHONY MORA LEDESMA

En la ciudad de Latacunga, a los **23 días del mes de agosto del 2017.**

Ing. Wilson Sánchez

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Katya Torres

DIRECTOR DE CARRERA

SECRETARIO ACADÉMICO