



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 HMI
UTILIZANDO UNA RED CONTROLNET PARA EL
MONITOREO Y CONTROL DE LA VARIABLE DE NIVEL DEL
LABORATORIO DE PLC DE LA UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATAACUNGA”**

AUTOR: HOLGUER VINICIO YUGLA LEMA

DIRECTOR: ING. EDWIN PRUNA

CODIRECTOR: ING. WASHINGTON FREIRE

LATAACUNGA

2015



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI UTILIZANDO UNA RED CONTROLNET PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LA VARIABLE DE NIVEL DEL LABORATORIO DE PLC DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” realizado por el señor **HOLGUER VINICIO YUGLA LEMA**, 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 al señor **HOLGUER VINICIO YUGLA LEMA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 18 de diciembre de 2015

.....
ING. EDWIN P. PRUNA P.
DIRECTOR

.....
ING. WASHINGTON R. FREIRE LL.
CODIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **HOLGUER VINICIO YUGLA LEMA**, con cédula de identidad N° **050307443-7**, declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI UTILIZANDO UNA RED CONTROLNET PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LA VARIABLE DE NIVEL DEL LABORATORIO DE PLC 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 declaro que este trabajo de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 18 de diciembre de 2015

A handwritten signature in blue ink, which appears to be 'H. Yugla Lema', is written over a horizontal dotted line.

HOLGUER VINICIO YUGLA LEMA

C.C.: 050307443-7



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **HOLGUER VINICIO YUGLA LEMA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI UTILIZANDO UNA RED CONTROLNET PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LA VARIABLE DE NIVEL DEL LABORATORIO DE PLC DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 18 de diciembre de 2015



.....
HOLGUER VINICIO YUGLA LEMA

C.C.: 050307443-7

DEDICATORIA

A DIOS por haberme guiado durante el desarrollo del presente proyecto.

A mis padres y hermanos; Bolívar y Paula por darme ese apoyo incondicional.

A mi amada esposa e hijas; Jessica, Daniela y Melissa por ser las personas maravillosas que brindan confianza e inspiran a seguir adelante, y también por el apoyo incondicional para superarme en mis estudios.

A los ingenieros Edwin Pruna y Washington Freire, que con sus amplios conocimientos, paciencia y apoyo me orientaron a la culminación de este proyecto.

Vinicio

AGRADECIMIENTO

A Dios todopoderoso, dador de la vida e inteligencia, que siempre es la luz en medio del camino, aun que pase por valles de sombra y muerte el me guía y me levanta con su grande misericordia, también agradezco a mi esposa e hijas apoyos incondicionales en mi vida presente y futura, amigos fieles que con su lucha han sabido formar y compartir sus experiencias.

A la ESPE, por formar parte de esta institución predilecta, maestros y compañeros de mi formación profesional, que en las aulas encontramos el saber mediante lo impartido de nuestros profesores, las cuales no sirven para el resto de nuestra vida profesional, sobre todo las experiencias que nos inspiran a superar, y tomarlas muy en cuenta.

Vinicio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|--------------|
| CARÁTULA | i |
| CERTIFICACIÓN | ii |
| AUTORIA DE RESPONSABILIDAD | iii |
| AUTORIZACIÓN | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xviii |
| RESUMEN | xviii |
| ABSTRACT | xx |

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

| | |
|--|---|
| 1.1 Antecedentes | 1 |
| 1.2 Planteamiento del Problema | 2 |
| 1.3 Descripción Resumida del Proyecto..... | 2 |
| 1.4. Justificación e Importancia | 3 |
| 1.5. Objetivos | 4 |
| 1.5.1 General..... | 4 |
| 1.5.2 Específicos | 4 |

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| 2.1 Comunicación de Redes Industriales | 6 |
| 2.1.1 Introducción..... | 6 |
| 2.1.2 Tendencia..... | 7 |
| 2.1.3 Redes de Información | 8 |
| 2.2 Protocolos de Comunicación..... | 9 |
| 2.2.1 Introducción..... | 9 |
| 2.2.2 Importantes Buses Utilizando Protocolos | 10 |
| 2.2.3 Arquitecturas de Comunicación Basadas en “CIM” | 11 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.2.4 | Tipos de Redes en Allen-Bradley | 12 |
| 2.3 | Buses de Campo | 13 |
| 2.3.1 | Introducción | 13 |
| 2.3.2 | Buses de Campo Estandarizados | 14 |
| 2.4 | Comunicación en Controlnet | 17 |
| 2.4.1 | Introducción | 17 |
| 2.4.2 | Características | 18 |
| 2.4.3 | Principio de Trabajo | 20 |
| 2.4.4 | Resumen Controlnet | 21 |
| 2.5 | PLC (Controlador Lógico Programable) | 22 |
| 2.5.1 | Definición | 22 |
| 2.5.2 | Funciones Importantes de un PLC | 23 |
| 2.6 | Módulo de Comunicación Controlnet | 24 |
| 2.6.1 | Módulos de Comunicación 1756-CNB y CNBR/E, para la red ControlNet. | 24 |
| 2.7 | Control PID | 25 |
| 2.7.1 | Introducción | 25 |
| 2.7.2 | Características | 26 |
| 2.8 | Software de Aplicación | 27 |
| 2.8.1 | Configuración con PLC Allen Bradley | 27 |
| 2.8.2 | Proyectos de Redes Allen Bradley | 27 |
| 2.9 | HMI (Interfaz Humano Máquina) | 28 |
| 2.9.1 | Definición | 28 |
| 2.9.2 | Tipos de HMI | 29 |
| 2.9.3 | Función del Software HMI | 29 |
| 2.10 | Proceso Industrial | 30 |
| 2.10.1 | Introducción | 30 |
| 2.10.2 | Variables de Procesos Industriales | 30 |

CAPÍTULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | Especificar los Requerimientos para el Sistema | 32 |
| 3.1.1 | Visión General Del Sistema | 32 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1.2 | Descripción General de las Redes Industriales Implementadas | |
| | Anteriormente..... | 33 |
| 3.2 | Componentes del Hardware..... | 34 |
| 3.2.1 | Topología Bus y el Cable Coaxial (Red Controlnet)..... | 35 |
| 3.2.2 | Componentes de una Red Topológica ControlNet..... | 35 |
| 3.2.3 | Selección de Materiales y Equipos..... | 36 |
| 3.2.4 | Cable Coaxial para Controlnet 1786-RG6..... | 37 |
| 3.2.5 | Conectores para Cable Coaxial CONTROLNET-BNC..... | 37 |
| 3.2.6 | Conectores tipo TAPs 1786-TPS..... | 38 |
| 3.2.7 | Terminal de Red Controlnet 1786-XT..... | 39 |
| 3.2.8 | Dispositivos de Comando..... | 39 |
| 3.2.9 | Panel View Plus 1000..... | 47 |
| 3.2.10 | Variador de Velocidad PowerFlex 700..... | 49 |
| 3.2.11 | Sensor de Nivel 873c-DDAV1000E2..... | 51 |
| 3.3 | Requerimientos de Hardware..... | 52 |
| 3.3.1 | Determinación de longitud y números de TAPS en ControlNet..... | 53 |
| 3.3.2 | Modos de conexión con ControlLogix y comunicación ControlNet..... | 54 |
| 3.3.3 | Acondicionamiento de señal del sensor de nivel..... | 55 |
| 3.4 | Componentes del Software..... | 55 |
| 3.4.1 | Software de Programación..... | 56 |
| 3.4.2 | Software de visualización..... | 58 |
| 3.4.3 | Software de configuración de red..... | 60 |
| 3.5 | Conexión de la Red de Comunicación..... | 62 |
| 3.5.1 | Establecer el diseño del sistema de automatización..... | 62 |
| 3.5.2 | Esquema de Diseño para la red de comunicación ControlNet y el sistema de proceso..... | 63 |
| 3.5.3 | Configuración General de las redes para la comunicación..... | 64 |
| 3.6 | Cables y Conectores para las Redes..... | 65 |
| 3.6.1 | Conexión y Construcción del cable Controlnet..... | 65 |
| 3.6.2 | Conexión del Sistema implementado..... | 67 |
| 3.7 | Implementación para la Comunicación Controlnet..... | 68 |
| 3.8 | Programación en los ControlLogix..... | 68 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.8.1 | Direccionamiento en los Equipos | 69 |
| 3.8.2 | Configuración de la IP en la PC | 70 |
| 3.8.3 | Asignación de la IP al PLC | 71 |
| 3.8.4 | Configuración del Panel View Plus 1000..... | 77 |
| 3.8.5 | Configuración del Variador de velocidad PowerFlex 700 | 79 |
| 3.8.6 | Configuración del Módulo de Análogas en Rslogix 5000 | 81 |
| 3.8.7 | Agregando el (VSD) PowerFlex 700 En Rslogix 5000 | 86 |
| 3.8.8 | Programación con Elementos para la Red ControlNet..... | 96 |
| 3.8.9 | Programación en el PLC mediante Rslogix 5000 | 115 |
| 3.9 | Desarrollo del HMI Factory Talk View ME | 121 |
| 3.9.1 | Factory Talk Machine Edition | 122 |
| 3.9.2 | Configuración en Factory Talk Site Edition..... | 144 |
| 3.10 | Configuración de Registros en Controladores..... | 153 |
| 3.11 | Generación de Respuestas-Históricos | 154 |

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADO

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1 | Detalle de la comunicación..... | 155 |
| 4.1.1 | Comunicación del PLC con la Computadora..... | 155 |
| 4.1.2 | Comunicación de los Módulos con el PLC | 156 |
| 4.1.3 | Comunicación Mediante Switch de Ethernet..... | 158 |
| 4.2 | Pruebas experimentales de las comunicaciones..... | 160 |
| 4.3 | Comunicación entre dispositivos ControlNet..... | 163 |
| 4.3.1 | Software | 163 |
| 4.3.2 | Monitoreo con el Panel Operador..... | 164 |
| 4.3.3 | Monitoreo con la PC Maestra | 167 |
| 4.4 | Análisis de resultado | 169 |
| 4.4.1 | Análisis del control PID..... | 169 |
| 4.5 | Alcances..... | 171 |
| 4.6 | Limitaciones. | 171 |

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|-------------------|-----|
| 5.1 | Conclusiones..... | 172 |
|-----|-------------------|-----|

| | | |
|-----|--|------------|
| 5.2 | Recomendaciones..... | 175 |
| | LINKOGRAFÍA..... | 176 |
| | ANEXOS..... | 180 |
| | ANEXO A: GLOSARIO DE TÉRMINOS. | |
| | ANEXO B: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PLC CONTROLLOGIX 1756-L61. | |
| | ANEXO C: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO 1756-CNB. | |
| | ANEXO D: CONECTORES Y CABLES PARA LA RED CONTROLNET. | |
| | ANEXO E: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PANEL VIEW PLUS 1000. | |
| | ANEXO F: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD POWERFLEX 700. | |
| | ANEXO G: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SENSOR ULTRASÓNICO. | |
| | ANEXO H: PROGRAMACIÓN PARA ESCALAR LA VARIABLE DE NIVEL. | |
| | ANEXO I: PROGRAMACIÓN DEL CONTROLLOGIX L61-CONTROL DE NIVEL. | |
| | ANEXO J: DIAGRAMA P&ID “SISTEMA CONTROL DE NIVEL”. | |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | (a) Modelo CIM, (b) Niveles de Comunicación | 6 |
| Figura 2 | Tendencia de control distribuido | 7 |
| Figura 3 | Medios Físicos-tipos | 8 |
| Figura 4 | Topologías de Red | 9 |
| Figura 5 | Señal analógica-digital Hart | 10 |
| Figura 6 | Arquitectura Sinec-Siemens | 11 |
| Figura 7 | Arquitectura Netlinx-Allen Bradley | 12 |
| Figura 8 | Bus de campo aplicado en modelo OSI..... | 14 |
| Figura 10 | Logo de controlnet | 17 |
| Figura 11 | Característica física ControlNet | 19 |
| Figura 12 | Ubicación de ControlNet..... | 20 |
| Figura 13 | Representación del servicio scheduled ControlNet | 21 |
| Figura 14 | Diagrama de bloques del autómeta programable | 24 |
| Figura 15 | Diagrama de bloques PID..... | 25 |
| Figura 16 | Modelo HMI | 29 |
| Figura 17 | Modulo de control de Nivel | 31 |
| Figura 18 | Pirámide de comunicación Industrial | 32 |
| Figura 19 | Configuración topológica, Bus | 35 |
| Figura 20 | Componentes para ControlNet | 36 |
| Figura 21 | Cable Coaxial RG-6 Controlnet | 37 |
| Figura 22 | Construcción de conectores Estándar-ControlNet..... | 37 |
| Figura 23 | Conector BNC..... | 38 |
| Figura 24 | Presentación del Taps 1786-TPS | 38 |
| Figura 25 | Resistencia de 75Ω-ControlNet | 39 |
| Figura 26 | Distribución del PAC ControlLogix L-61 | 40 |
| Figura 27 | Modulo 1756-CNB | 46 |
| Figura 28 | Dirección del 1756-CNB | 47 |
| Figura 29 | Dirección del 1756-CNB | 47 |
| Figura 30 | Panel View Plus 1000 | 48 |
| Figura 31 | VSD Variador Powerflex 700 | 50 |
| Figura 32 | Cable RJ-45 Patchcord..... | 50 |

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 33 | Voltaje de salida del sensor | 51 |
| Figura 34 | Conexión del Sensor..... | 52 |
| Figura 35 | Relación entre la longitud de segmento y numero de taps | 53 |
| Figura 36 | Transmisor ultrasónico de nivel | 55 |
| Figura 37 | Utilización del Rslinx..... | 56 |
| Figura 38 | Menú de dispositivos en la Red | 57 |
| Figura 39 | Pantalla e inicio de RSLogix 5000 | 58 |
| Figura 40 | Pantalla e inicio de FactoryTalk View-ME | 59 |
| Figura 41 | Pantalla e inicio de FactoryTalk View-Site Edition | 60 |
| Figura 42 | Acceso al RsNetworks | 61 |
| Figura 43 | Opciones para la configuración en ControlNet | 61 |
| Figura 44 | Diagrama de Flujo para la implementación del Diseño..... | 62 |
| Figura 45 | Diseño de la Red ControlNet | 63 |
| Figura 46 | Diagrama de configuraciones para la comunicación | 64 |
| Figura 47 | Icono de Red | 70 |
| Figura 48 | Asignación de IP en el Computador | 71 |
| Figura 49 | Cable serial RS-232..... | 72 |
| Figura 50 | Propiedades de Mi PC | 72 |
| Figura 51 | Visualizar el puerto Generado | 73 |
| Figura 52 | Ventana de RSLinx Classic | 73 |
| Figura 53 | Configuración del Driver | 74 |
| Figura 54 | Parámetros de configuración | 74 |
| Figura 55 | Visualización del PAC ControlLogix vía Serial..... | 75 |
| Figura 56 | Configuración IP en el módulo de Ethernet del L61..... | 76 |
| Figura 57 | Agregando dirección IP para la utilización Red Ethernet..... | 76 |
| Figura 58 | Visualización del PAC utilizando red Ethernet | 77 |
| Figura 59 | Configuración del Panel View Plus1000 | 78 |
| Figura 60 | Resetear para la nueva IP del Panel View Plus1000..... | 78 |
| Figura 61 | Configuración IP del VSD en BOOTP-DHCP server | 79 |
| Figura 62 | Dirección MAC del VSD..... | 79 |
| Figura 63 | Dirección IP y la deshabilitación del BOOTP | 80 |
| Figura 64 | Visualización del VSD en la red..... | 80 |
| Figura 65 | Inicio del Software RSLogix 5000 | 81 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figura 66 | Inicio del Software RSLogix 5000 | 81 |
| Figura 67 | Añadiendo nombre al controlador Slave | 82 |
| Figura 68 | Añadiendo nuevo Modulo | 82 |
| Figura 69 | Ventana para seleccionar módulos..... | 83 |
| Figura 70 | Modulo de Entrada y Salida Analógica | 83 |
| Figura 71 | Parámetros del módulo 1756-IF4FXOF2F..... | 84 |
| Figura 72 | Configuración del RPI | 84 |
| Figura 73 | Configuración del canal de Entrada | 85 |
| Figura 74 | Señal del sensor ultrasónico..... | 86 |
| Figura 75 | Ingresando nuevo módulo para el VSD | 87 |
| Figura 76 | Selección del VSD en la Lista..... | 87 |
| Figura 77 | Reconocimiento del VSD y la dirección IP | 88 |
| Figura 78 | Parámetros asignados en el VSD..... | 88 |
| Figura 79 | DataLink-Output Data (91-92)..... | 89 |
| Figura 80 | Configuración y visualización del VSD | 89 |
| Figura 81 | VSD en Rslogix 5000 mediante Ethernet..... | 90 |
| Figura 82 | Tags Generados del VSD 700 | 91 |
| Figura 83 | Seleccionar Propiedades en el módulo del VSD | 92 |
| Figura 84 | Pantalla de las propiedades del Driver del VSD | 92 |
| Figura 85 | Realizando el enlace del VSD | 93 |
| Figura 86 | Parámetros de lista en el VSD..... | 94 |
| Figura 87 | Descarga de los parámetros configurados en el VSD | 96 |
| Figura 88 | Configuración IP para el Master | 97 |
| Figura 89 | Visualización de la red Controlnet en RSlinx | 98 |
| Figura 90 | Parámetros del L61 | 99 |
| Figura 91 | Selección del Módulo de Ethernet | 100 |
| Figura 92 | Configuración del Módulo Ethernet..... | 101 |
| Figura 93 | Propiedades del Módulo CNB..... | 101 |
| Figura 94 | Nuevo Módulo CNB en Rslogix 5000 | 102 |
| Figura 95 | Nuevo Módulo ControlNet..... | 102 |
| Figura 96 | Configuración CNB del Master | 103 |
| Figura 97 | Configuración CNB Slave | 104 |
| Figura 98 | Módulos Configurados en el Master | 105 |
| Figura 99 | Configuración de Módulos MASTER-SLAVE..... | 106 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Figura 100 | Descarga del Proyecto a los procesadores MASTER-SLAVE | 107 |
| Figura 101 | Ventana de Dialogo para la descarga del Proyecto | 107 |
| Figura 102 | Abriendo el Software ControlNet | 108 |
| Figura 103 | Creando nuevo Archivo con Red CNB | 109 |
| Figura 104 | Árbol de Ubicación ControlNet..... | 110 |
| Figura 105 | Escáner de dispositivos previo a la configuración | 111 |
| Figura 106 | Habilitando edición de ControlNet | 111 |
| Figura 107 | Configuración de parámetros ControlNet..... | 112 |
| Figura 108 | Finalizar la configuración de Red..... | 113 |
| Figura 109 | Red Agendada ControlNet..... | 113 |
| Figura 110 | Opciones para Diagnostico de Red | 114 |
| Figura 111 | Inicializando Diagnostico de Red..... | 114 |
| Figura 112 | Verificación de la Red utilizando RSNetworkx..... | 115 |
| Figura 113 | Programación para el control de Nivel..... | 118 |
| Figura 114 | Propiedades del PID..... | 119 |
| Figura 115 | Propiedades del PID en la pestaña de Scaling..... | 120 |
| Figura 116 | Propiedades del PID en la pestaña de Configuración..... | 120 |
| Figura 117 | Propiedades del PID en la pestaña de Tuning..... | 121 |
| Figura 118 | Selección de Factory Talk ME | 122 |
| Figura 119 | Asignando nuevo proyecto | 123 |
| Figura 120 | Enlace usando RSLinx..... | 124 |
| Figura 121 | Ventana Emergente de Rslinx Enterprise | 125 |
| Figura 122 | Ventana de confirmación | 125 |
| Figura 123 | Ingresando tags del Slave | 126 |
| Figura 124 | Verificando el enlace..... | 126 |
| Figura 125 | Pasos para guardar el enlace | 127 |
| Figura 126 | Nuevo Display..... | 128 |
| Figura 127 | Display Creado para HMI..... | 129 |
| Figura 128 | Ingresando Button | 130 |
| Figura 129 | Barra de herramientas con acceso rápido | 130 |
| Figura 130 | Ventana de Manejo con Tags | 131 |
| Figura 131 | Subventana de Tags..... | 132 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Figura 132 | Ventana de Búsqueda | 132 |
| Figura 133 | Alojamiento de Tags | 133 |
| Figura 134 | Inicio de la Pantalla HMI | 134 |
| Figura 135 | Pantalla-Control de Nivel | 135 |
| Figura 136 | Programando Momnetary button- HMI..... | 136 |
| Figura 137 | Programando Pantalla Numérica..... | 137 |
| Figura 138 | Configuración de Animación-Rango | 138 |
| Figura 139 | Configuración de Animación-Color | 138 |
| Figura 140 | Configuración de Animación-Visibilidad..... | 139 |
| Figura 141 | Pantalla final HMI..... | 140 |
| Figura 142 | Pantalla de Históricos-Trend..... | 141 |
| Figura 143 | Configuración del Trend..... | 141 |
| Figura 144 | Pantalla de Diagnósticos | 142 |
| Figura 145 | Pantallas de Alarmas | 143 |
| Figura 146 | Descargando el Proyecto HMI al Panel View Plus | 144 |
| Figura 147 | Selección del S.E..... | 145 |
| Figura 148 | Nuevo Proyecto del Site Edition | 145 |
| Figura 149 | Árbol de Proyecto- Selección RSLinx | 146 |
| Figura 150 | Configuración de RSLinx Enterprise..... | 147 |
| Figura 151 | Pasos para Importar Tags | 148 |
| Figura 152 | Parámetros de selección para importación..... | 148 |
| Figura 153 | Asistentes para importar Tags..... | 149 |
| Figura 154 | Nueva pantalla en SE | 150 |
| Figura 155 | Herramientas y figuras de la Librería | 150 |
| Figura 156 | Asistente en navegación de Tags..... | 151 |
| Figura 157 | Pantalla final del HMI Master | 152 |
| Figura 158 | Configuración de la Pantalla del Trend..... | 152 |
| Figura 159 | Respuesta del sistema Gráficamente | 154 |
| Figura 160 | Comunicación correcta entre el PLC y la PC..... | 156 |
| Figura 161 | Estado de los Módulos del PAC L61 | 157 |
| Figura 162 | Verificación del módulo analógico | 157 |
| Figura 163 | Verificación del Switch industrial..... | 158 |
| Figura 164 | Verificación del Panel View con RSLinx | 159 |
| Figura 165 | VSD correctamente agregado al proyecto | 160 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Figura 166 | Verificación mediante el símbolo del Sistema..... | 161 |
| Figura 167 | Fallas al mapear los dispositivos | 161 |
| Figura 168 | Diagnósticos mediante RSNetworkx | 162 |
| Figura 169 | Estados de Fallas en el VSD y Controlnet..... | 162 |
| Figura 170 | Pantalla principal de Inicio HMI..... | 163 |
| Figura 171 | Accediendo a los privilegios..... | 164 |
| Figura 172 | Verificación manual para el llenado del Tanque | 165 |
| Figura 173 | Solicitando acceso al medio Mediante Controlnet | 166 |
| Figura 174 | Monitoreo en el Panel view plus 1000 | 166 |
| Figura 175 | Monitoreo en la PC Maestra utilizando controlnet | 167 |
| Figura 176 | Perdida de la red ControlNet en la PC..... | 168 |
| Figura 177 | Representación Gráfica del Control PID sintonizado | 171 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 1 | Resumen ControlNet | 22 |
| Tabla 2 | Especificaciones técnicas la fuente de alimentación | 41 |
| Tabla 3 | Especificaciones técnicas del CPU L61 | 42 |
| Tabla 4 | Especificaciones técnicas del módulo Ethernet | 43 |
| Tabla 5 | Especificaciones técnicas del módulo de análogas | 44 |
| Tabla 6 | Especificaciones técnicas del módulo 1756 Controlnet | 45 |
| Tabla 7 | Tabla característica del Panel View Plus 1000 | 48 |
| Tabla 8 | Proceso del Ensamblaje del cable ControlNet..... | 65 |
| Tabla 9 | Conexión de la Red ControlNet en el sistema | 67 |
| Tabla 10 | Direcciones IP con su respectiva mascara de red | 69 |
| Tabla 11 | Direcciones del módulo 1756-CNB..... | 70 |
| Tabla 12 | Parámetros y valores modificados en el VSD | 95 |
| Tabla 13 | Direccionamiento de Entradas y Salidas | 116 |
| Tabla 14 | Datos obtenidos al realizar el Scheduled..... | 169 |
| Tabla 15 | Valores obtenidos de la sintonización..... | 170 |

RESUMEN

El presente trabajo de titulación cumple el objetivo de controlar y monitorear un sistema de control de nivel del tanque, interactuando dos procesadores industriales independientemente e interconectados con red ControlNet, y así logra poseer una mayor capacidad y confiabilidad con el sistema, sin embargo se encuentra conformado mediante una interfaz amigable con indicadores visuales y mandos de control desde una PC Maestra y un Panel industrial táctil denominado Slave, es decir un HMI diseñado en FactoryTalk View Machine Edition y Site Edition. Para el proyecto se utiliza en la parte principal el cerebro del PLC (ControlLogix PAC 1756-L61), el cual sirve para gestionar tareas de manejo mediante funciones lógicas programables, y además haciendo que sea la parte primordial del control el PID, mientras que para la comunicación ControlNet con su Scheduled, es ineludible los módulos 1756-CNB y los cables eléctricamente pasivos de Allen Bradley, consecuentemente se realiza la conexión hacia la PC y Panel View Plus 1000, obteniendo la opción de control y monitoreo indistintamente a través de la conformación del sistema HMI. Estos sistemas de comunicaciones se integran por medio de la configuración con la arquitectura NetLinx de un sistema de control distribuido, donde se utilizan dispositivos y protocolos (ControlNet y Ethernet/IP) totalmente estandarizada para este tipo de red industrial. Además estos módulos y las dichas redes son configurados por medio de hardware y software especializados, ya que son necesarios para llevar a cabo una correcta comunicación entre los dispositivos y poder realizar el trabajo con éxito.

PALABRAS CLAVE:

- **REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL**
- **CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL Y DERIVATIVO**
- **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**
- **ARQUITECTURA NETLINX**

ABSTRACT

This degree research meets the objective of controlling and monitoring a control system of tank level, interacting two industrial processors independently and interconnected with ControlNet, and so does possess a greater capacity and reliability to the system, however it is made through a friendly interface with visual indicators and controls from a master control PC and Industrial Touch Panel called Slave, that is an HMI designed FactoryTalk View Machine Edition and Site Edition. For this project research in the main part of the brain PLC (1756-L61 ControlLogix PAC) is used, which is used to manage driving tasks using programmable logic functions, and also making it the major part of the PID control, while for ControlNet communication with their Scheduled is inescapable 1756-CNB and cables electrically passive Allen Bradley, consequently the connection to the PC and View Plus 1000 Panel is made, obtaining the option of controlling and monitoring either dare to conformation HMI system. These communications systems are integrated by means of the configuration with the NetLinx architecture of a distributed control system, where devices and protocols (ControlNet and Ethernet / IP) fully standardized for this type of industrial network are used. Besides these modules and these networks they are configured through specialized hardware and software, as they are required to perform a successful communication between devices and to perform the job successfully.

KEYWORDS:

- **INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS**
- **PROPORTIONAL INTEGRAL AND DERIVATIVE CONTROL**
- **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER**
- **NETLINX- ARCHITECTURE**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En la actualidad el laboratorio de Controladores lógicos programables PLC's esta equipados por equipos de última generación para los estudiantes, donde realizan diversas aplicaciones prácticas para el control de procesos industriales. Además la comunicación entre los equipos es lo más relevante para lograr el monitoreo y el control automático de la variable, los cuales pueden llegar a centralizarse conformando un sistema HMI de diferente proceso.

En un inicio se ha realizado la compra de sistemas de automatización Compactlogix L32E, ControlLogix L5561, micrologix, SLC 500, en la marca Allen-Bradley, entre otros. Estos controladores son muy útiles en el campo industrial, mediante estos equipos se realiza la comunicación de protocolos de red industrial Ethernet que es un estándar para la interconexión en redes abiertas, además se implementó la red DeviceNet que es una red abierta de bajo nivel que proporciona conexiones entre dispositivos industriales simples.

Cabe señalar que no se consideró estos equipos para la red de comunicación ControlNet que es una red de control abierta y determinista para aplicaciones de alto rendimiento y efectivo en tiempo real, con un rendimiento de alta velocidad cumpliendo las exigencias de un control avanzado, por su aplicación el costo es muy elevado, de esta manera se cumpliría con la pirámide de comunicación de la red industrial requerida para tener un laboratorio óptimo para las futuras generaciones en la parte aplicativo práctico de redes de comunicaciones industriales.

1.2 Planteamiento del Problema

Las prácticas que se vienen dando con los estudiantes en el laboratorio de PLC's, conllevan a conocer el manejo de los equipos adquiridos, tales como la configuración de los ControlLogix, CompactLogix y módulos de PLC SLC, Micrologix, creación de los tags, descarga de la programación, enlaces mediante la programación de los RSlogix, direccionamiento de las entradas y salidas digitales, análogas y entre otras prácticas, en tal virtud es limitante de acuerdo a la especialización.

Además se considera el incremento de estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica los cuales poseen conocimientos más actualizados que exigen prácticas de acuerdo a la necesidad moderna. Problema que se vuelve más evidente a la hora de realizar las prácticas de redes de comunicaciones industriales, ya que son más utilizadas en los campos Petroleros.

Sin embargo en algunos módulos didácticos del laboratorio de PLC's se desconoce las diferentes aplicaciones que se podrían implementar al proceso de red de control de comunicación, razón por la cual, ciertas prestaciones de los mismos se hallan limitadas, impidiendo o retrasando el desarrollo de nuevos conocimientos, haciendo evidente la Implementación de nueva red de comunicación (controlnet) que posean nuevas tecnologías que vayan a la par con el avance y requerimientos del ámbito industrial.

1.3 Descripción Resumida del Proyecto

El proyecto tiene como finalidad realizar la implementación de una red industrial de comunicación ControlNet para el manejo de diferentes procesos, con indicadores visuales y mandos de control desde un computador, la cual brinda una interfaz amigable con el usuario, es decir, una HMI (Interfaz Humano Máquina), para el laboratorio de PLC's de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.

En el sistema a implementarse se utiliza como cerebro un PLC (Controlador lógico Programable), para gestionar las tareas de manejo, así como también controlará la comunicación con distintos componentes, como por ejemplo el módulo ControlNet para ControlLogix de Allen Bradley 1756 CNB, o también una conexión hacia una PC o alguna red de tipo industrial en diferente proceso, para tener la opción de control local y remoto a través de la conformación de un sistema HMI.

1.4. Justificación e Importancia

El uso de nuevas tecnologías permite dar solución a ciertos tipos de procesos industriales de tal forma optimizar el tiempo de respuesta entre ellos, es así que son automatizadas muchas de las industrias por lo que disminuye la intervención de la mano de obra. Por tal motivo es necesario conocer la parte práctica en los laboratorios de las especialidades técnicas, por lo cual se pone énfasis en la implementación de un HMI utilizando ControlNet para el manejo de variables de procesos con redes industriales.

Es por eso que se realizó un análisis previo, con la finalidad de conocer el sistema de red industrial para la comunicación utilizando controlnet, donde implica el análisis e investigación de ciertos campos de la ingeniería, en primera instancia el estudio de los principales componentes que requiere un sistema de monitoreo y control de proceso industrial, cuyos componentes de hardware incluyen: PLC, Modulo de Entradas y Salidas Analógicas, módulos de comunicaciones, cables, etc. Además es muy importante el módulo de comunicación de controlnet para acoplarse con el PLC ControlLogix, que serán seleccionados cuidadosamente de acuerdo a sus características y prestaciones; y los componentes de software dependerán de los equipos de hardware que se hallan seleccionados, los que permitirán la programación del PLC (Controlador lógico Programable), Laptops, etc; puesto que todo ello logrará una comunicación adecuada del proceso, ya que cada uno de ellos emplean un protocolo diferente de comunicaciones.

También se requiere de investigación para configurar y establecer la comunicación entre el PLC (Controlador lógico Programable) y sus distintos periféricos, sensor y su actuador, de tal modo sincronizar su visualización en el computador u otro elemento.

Haciendo referencia a las ventajas que la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE extensión Latacunga recibiría con la implementación del sistema de la red de comunicación controlnet mediante HMI, tendrá como resultado poder interactuar los estudiantes con las prácticas de la pirámide de red de comunicación industrial, enfatizando con su capacitación en el manejo de distintas variables de procesos, como también relacionándolos con los procesos e instrumentos utilizados por las industrias.

1.5. Objetivos

1.5.1 General

- Diseñar e implementar un HMI utilizando una red ControlNet para el monitoreo y control de la variable de nivel del laboratorio de PLC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

1.5.2 Específicos

- Diseñar una red de comunicación industrial ControlNet utilizando ControlLogix.
- Implementar la comunicación industrial controlNet en base al programa desarrollado y HMI, con plataformas de enlaces e instrumentos seleccionados.
- Desarrollar el HMI utilizando un software de aplicación industrial.
- Desarrollar la programación para el control de la variable.

- Desarrollar la guía de procedimiento para la utilización de la red controlNet.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Comunicación de Redes Industriales

2.1.1 Introducción

Un sistema automatizado se define como una secuencia programada de procesos. Los primeros sistemas automatizados eran simples dispositivos mecánicos, posteriormente estos sistemas se convirtieron en sistemas electromagnéticos con el empleo de relés, era el origen de la tecnología de la automatización, en las últimas décadas se ha ido substituyendo los elementos electromagnéticos por una tecnología programada, y especialmente, por autómatas programables, también llamados PLC. Actualmente únicamente se definen tres niveles de comunicación. Nivel de información, control y dispositivos, (ver figura 1), (Alonso, 2013).

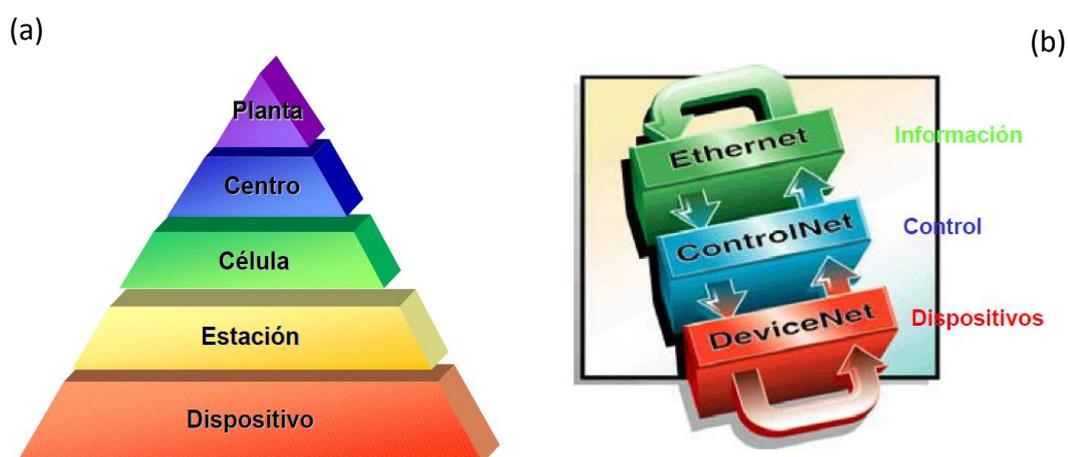


Figura 1 (a) Modelo CIM, (b) Niveles de Comunicación

Fuente: (Alonso, 2013)

2.1.2 Tendencia

La tendencia más importante en la automatización industrial durante los últimos años ha sido la introducción de redes abiertas de comunicación para enlazar dispositivos de diferentes fabricantes. Otra tendencia es el reducir el cableado y el coste de la conexión a la red de cualquier dispositivo, es decir hacia una clara conexión de los dispositivos directamente a la red, ya que estos incorporan cada vez más inteligencia, ofreciendo más diagnósticos y reduciendo considerablemente los costes de automatización, (ver figura 2).

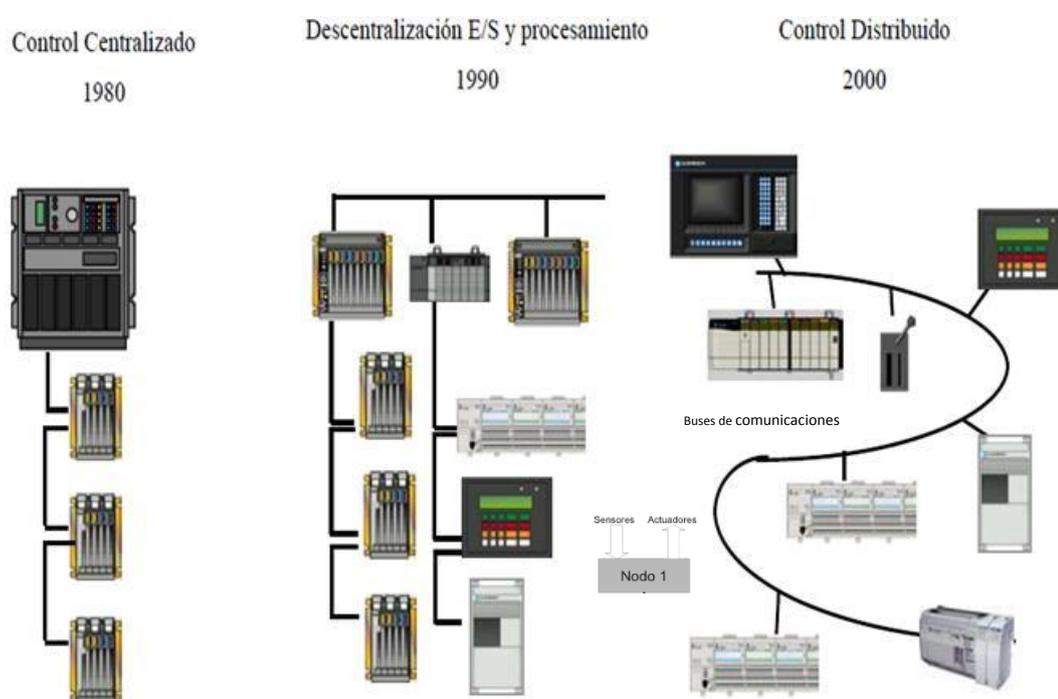


Figura 2 Tendencia de control distribuido

Fuente: (Alonso, 2013)

- a. **Control Centralizado.-** En un sistema de control centralizado existe un único controlador donde confluyen todas las señales de entrada a muestrear, se procesan realizando todos los algoritmos necesarios de control y se generan todas las señales necesarias de salidas por medio del reloj del sistema.

- b. Control Descentralizado.-** Se denomina así a la conexión directa en módulos I/O, de las señales de entradas y salidas cerca del proceso o máquinas a controlar. Las estaciones I/O son conectadas vía el bus de campo al sistema de control central.
- c. Control Distribuido.-** Se denomina control distribuido a la asignación de tareas a varios controladores (ejemplo PLC) más pequeños instalados en ubicaciones estratégicas en la planta. En vez de instalar un controlador central de gran capacidad, los pequeños controladores son interconectados vía un sistema de bus de campo.

2.1.3 Redes de Información

Actualmente está ampliamente aceptado que el estándar para una red de información sea Ethernet. En el nivel de información, las necesidades que se tiene que cubrir son: Interoperabilidad, tecnología abierta, gran número de nodos, enlace de redes de planta con sistemas de información (MRP) (Planificación de requerimientos de materiales).

- a. Medio Físico de Comunicación.-** De los medios físicos se diferencia: la capacidad de transmisión, la máxima distancia permisiva de comunicación entre un punto, el principio de transmisión, el costo del medio físico, etc. A continuación muestra en la (figura 3) algunos tipos de medios físicos: Par trenzado (a), cable coaxial (b), fibra óptica multimodo y monomodo (c) (Autunning, 2011).

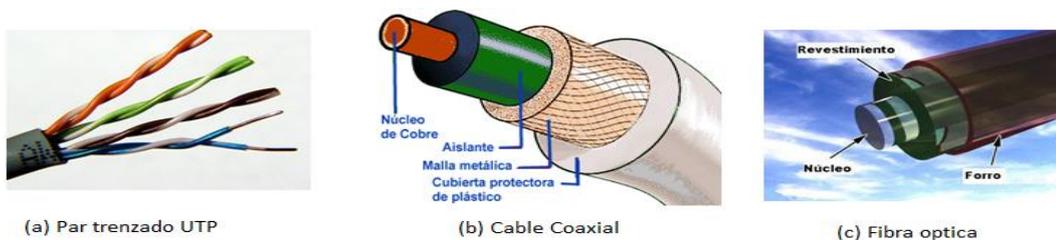


Figura 3 Medios Físicos-tipos

Fuente: (Curso Autunning,2011)

b. Topología de Redes Industriales.- Es la disposición física de los distintos terminales que componen la red y la forma en que se encuentran enlazados por el medio físico. Las topologías básicas en redes locales son tres: punto a punto, estrella, anillo y bus. Existen, sin embargo, algunas estructuras híbridas, generalmente en forma de árbol, cuyas ramificaciones parten de los nodos principales de una red con una de las estructuras básicas, (ver figura 4) **(Lik-unad, 2012)**.

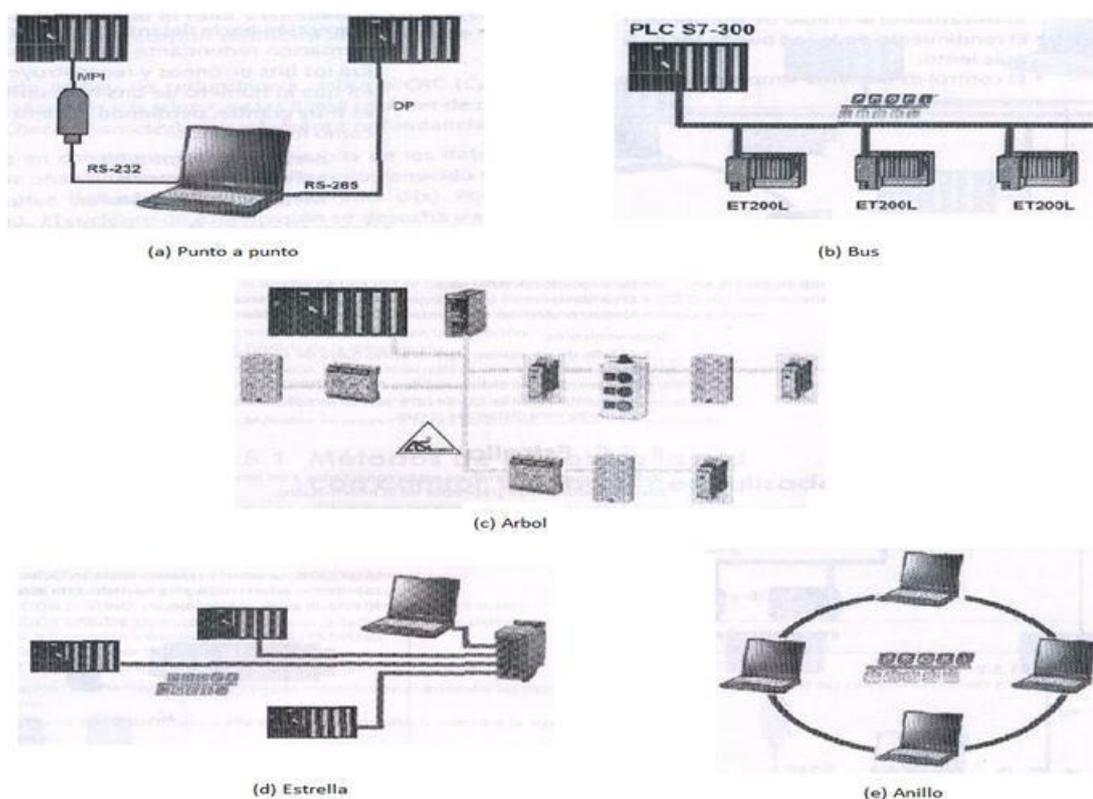


Figura 4 Topologías de Red

Fuente: (Topologia Industrial, 2012)

2.2 Protocolos de Comunicación

2.2.1 Introducción

En principio un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Actualmente, tres son las redes que lo han implementado, a saber, DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP. Los buses

de campo con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son: HART, Profibus, Foundation Fieldbus (**Protocolo de Comunicaciones, 2013**).

2.2.2 Importantes Buses Utilizando Protocolos

- a. **Hart.**- Hart (Highway-Addressable-Remote-Transducer); este protocolo proporciona comunicación digital bidireccional y familiaridad de los tradicionales sistemas 4-20 mA. Su protocolo utiliza la norma Bell 200 que permite la superposición simultánea a niveles bajos de una señal de comunicaciones digital (el "1" lógico es representado por 1.200 Hz, mientras el "0" lógico corresponde a 2.200 Hz), (ver figura 5).

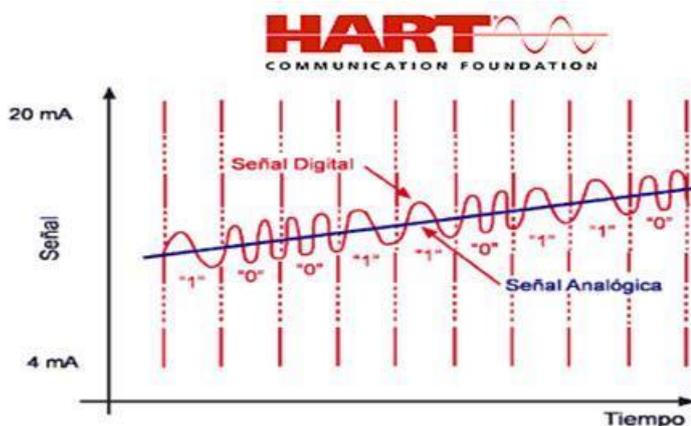


Figura 5 Señal analógica-digital Hart

Fuente: (Protocolo de Comunicaciones, 2013)

- b. **Profibus.**- Profibus ofrece protocolos de comunicaciones según la aplicación tanto para alta velocidad como para grandes cantidades de direccionamiento, caso de los sensores y actuadores, los tres perfiles compatibles que ofrece Profibus son: DP, PA, FMS y TCP/IP.
- c. **Foundation Fieldbus (FF).**- Su principal objetivo es la sustitución del cableado asociado a los elementos aislados tales como aquellos dispositivos funcionando con tecnología 4-20 mA, otros protocolos ampliamente usados aunque de menor alcance son: Modbus, DeviceNet

2.2.3 Arquitecturas de Comunicación Basadas en “CIM”

Diferentes arquitecturas de comunicación para la industria se han desarrollado de acuerdo con el concepto de CIM, siguiendo un modelo de jerarquización de redes, estas distinguen generalmente 3 niveles de comunicación que son: **Nivel de información, nivel de control, y nivel de dispositivo**. Entre las arquitecturas que actualmente se han desarrollado, se pueden mencionar las siguientes dos: **NetLinx** y **SINEC, (Bradley, Arquitecturas, 2014)**.

a. **Arquitectura Sinec.-** Siemens creó en 1989 el protocolo Profibus con el fin de poder interconectar equipos de diferentes fabricantes, la arquitectura de comunicación integrada SINEC, se compone de tres niveles jerárquicos que son: Información, Control y Dispositivo, (ver figura 6), para cada nivel tiene asignada el tipo de red que son:

- FDDI (Nivel de Información, de Empresa)
- EtherNet (Nivel de Información, de Planta)
- Profibus (Nivel de Control)
- AS-I/Fieldbus Foundation (Nivel de Dispositivo)

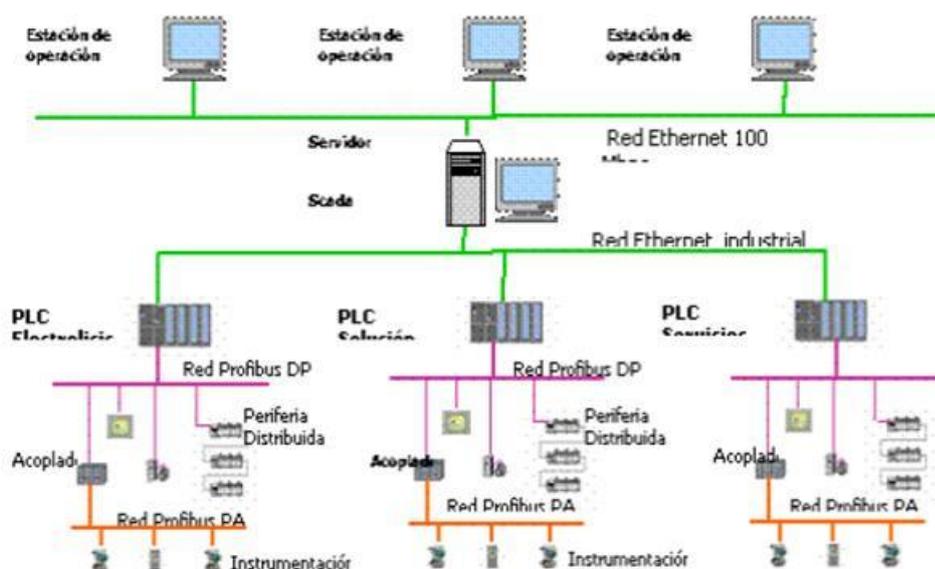


Figura 6 Arquitectura Sinec-Siemens

Fuente: (Siemens, 2010)

b. **Arquitectura Netlinx.-** La arquitectura de comunicación integrada NetLinx, es desarrollada por la empresa Rockwell-Automation e impulsada por las asociaciones ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) y ControlNet International, a continuación muestra la composición de la arquitectura NetLinx, (ver figura 7).

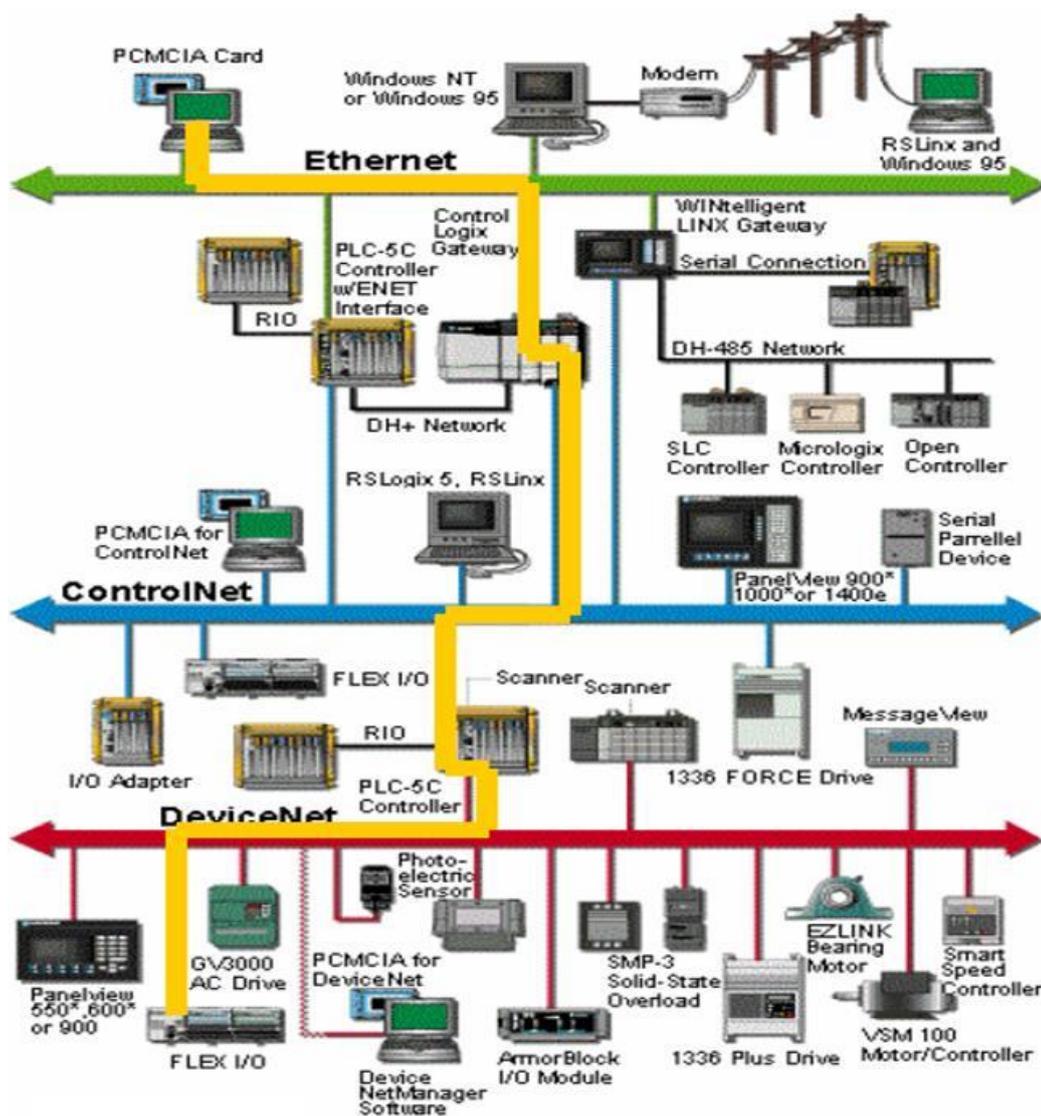


Figura 7 Arquitectura Netlinx-Allen Bradley

Fuente: (Bradley, 2015)

2.2.4 Tipos de Redes en Allen-Bradley

Los protocolos de red que proporciona el fabricante Allen-Bradley son:

a. Red a nivel de dispositivos:

- DEVICE NET

b. Red de automatización y control:

- RED DH485
- RED DH+
- RED RIO
- CONTROLNET

c. Red de información:

- ETHERNET

2.3 Buses de Campo

2.3.1 Introducción

Un poco de historia En 1984 las organizaciones IEC e ISA se unieron para trabajar en un estándar, en 1987 emitieron el primer borrador, que finalmente en 1996 dio origen a la especificación H1. Basado en el estándar H2 que fue abandonado en 1998, finalmente el estándar HSE vio la luz en el año 2000, las comunicaciones mediante buses de campo simplifican enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales, los buses de campo sólo incluyen 3 capas (Física, Enlace y Aplicación), (ver figura 8), **(Buses de Campo, 2015)**.

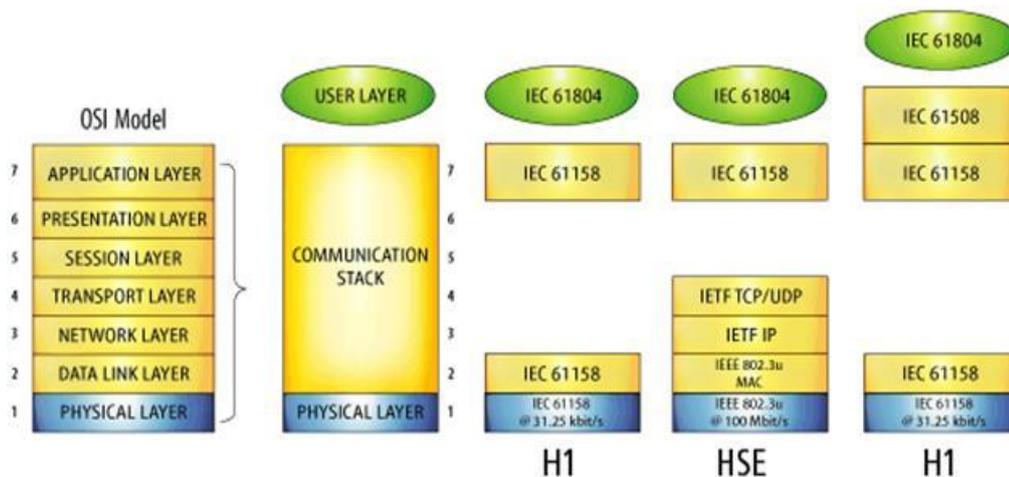


Figura 8 Bus de campo aplicado en modelo OSI

Fuente: (Buses de Campo, 2015)

Buses de campo existentes, muestra (figura 9) una carta de posicionamiento de varias redes, en donde se las clasifica por funcionalidad, complejidad, tamaño de datos, costo y nivel jerárquico de operación.

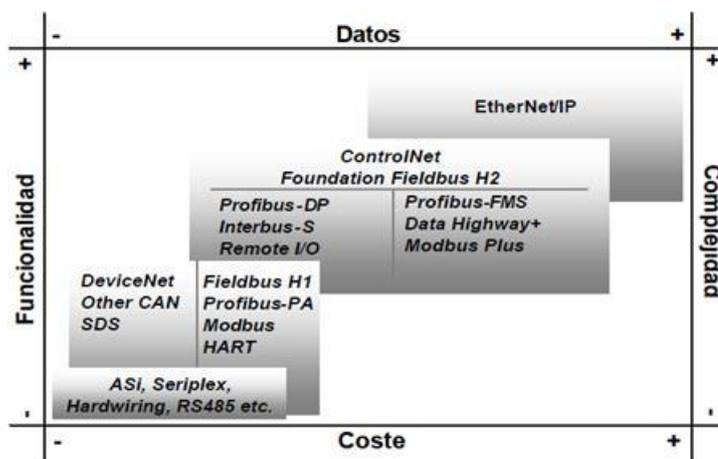


Figura 9 Clasificación de diversos buses de campo

Fuente: (Wikipedia, 2015)

2.3.2 Buses de Campo Estandarizados

- a. **ASi (Actuator-Sensor Interface).**- ASi es un bus muy simple para conectar sensores y actuadores binarios con un PLC de manera económica. Típicamente se habla de un ahorro de entre el 15 y 40 % respecto al cableado tradicional.

- b. ModBus (Modicon Bus).**- Es un protocolo desarrollado por Modicon en 1979, utilizado para establecer comunicaciones Maestro-Esclavo y Cliente-Servidor entre dispositivos inteligentes y con dispositivos de campo. Es ideal para la monitorización remota vía radio de elementos de campo (RTU, Remote, Terminal Unit), tales como los utilizados en estaciones de tratamiento de agua, gas o instalaciones petrolíferas.
- c. HART (Highway Adresable Remote Transducer).**-Es desarrollado por Rosemount en los años 80, como protocolo abierto, formando un grupo de usuarios en 1990. Se trata de un protocolo muy difundido en la industria de procesos en donde se reemplaza el clásico captador de 4-20mA.
- d. FF (Foundation Fieldbus).**-El Foundation Fieldbus es una arquitectura abierta para la integración total de la información, se trata de un sistema de comunicaciones completamente digital, serie y bidireccional, actualmente están definidas dos versiones.
- e. Can (Controller Area Network).**- Este sistema fue diseñado originariamente por Bosch (1986) para su uso dentro de los automóviles reduciendo la cantidad de hilos conductores, actualmente se usa como bus multi-maestro para conectar dispositivos inteligentes de todo tipo (robots, ascensores, equipamiento médico)
- f. DeviceNet.**- Impulsado por Allen Bradley en 1994 se implementa un protocolo de la capa (aplicación) orientada a la conexión, sobre un protocolo CAN. Se trata de un link de comunicaciones de bajo coste que conecta dispositivos industriales.
- g. CANOpen.**- Se originó en el 1993 para el mudo de la automoción. Es un concepto de red basado en un sistema de bus serie CAN y la capa de aplicación. Sus ventajas principales son su simplicidad, alta fiabilidad de transmisión y tiempos de reacción extremadamente cortos.

- h. Data Highway.-** Los sistemas DH y DH+ son redes de área local (LAN). Mediante estas redes se conectan controladores programables, ordenadores y otros dispositivos para que puedan comunicarse e intercambiar datos entre ellos.
- i. Comunicación en DH.-** Una red DH usa comunicación entre dispositivos semejantes a través de un esquema de paso del testigo llamado maestro flotante. El maestro controla el acceso a la red y puede iniciar mensajes en cualquier momento.
- j. Comunicación en DH+.-** La red DH+ usa el protocolo de paso del testigo para permitir que los nodos en la red transmitan mensajes por el cable. Con el protocolo de paso del testigo, sólo el nodo que posee el testigo puede transmitir mensajes. Un nodo es el maestro durante todo el tiempo que posee el testigo. Así es como rotan los nodos para tener la maestría de la red.
- k. Profibus (Process Field Bus).-** Es un estándar abierto, independiente de un vendedor en concreto. Se ha estandarizado en las normas europeas EN 50170 y EN 50254. Fue desarrollado en 1989 por el gobierno alemán junto con empresas del sector de la automatización.
- l. Interbus.-** Se originó en Phoenix Contact en 1984. Usa una estructura maestro-esclavo para acceder al medio, más un sistema de "suma de tramas" que envía todas las respuestas en un solo telegrama.
- m. ControlNet.-** Bus de alta velocidad (5 Mbps) y distancia (hasta 5 Km), muy seguro y robusto promovido por Allen-Bradley. Utiliza cable RG6/U (utilizado en televisión por cable) y se basa en un controlador ASIC de Rockwell. No es soportado por muchos fabricantes y resulta de elevado precio por nodo. Se ha utilizado para interconexión de redes de PLCs y computadores industriales en aplicaciones de alta velocidad y ambientes muy críticos.

n. **Ethernet IP.-** La red Ethernet se originó por Digital Equipment Corporation, Intel y Xerox en 1976, se basa en el estándar IEEE 802.3. La principal ventaja de este sistema es su universalidad, donde se encuentra elementos de interconexión en cualquier parte y debido a que cualquier ordenador viene provisto de un punto de conexión a red local Ethernet. Existen diferentes versiones de Ethernet según la velocidad de transmisión: 10Base-T(10 Mbit/s.), Fast Ethernet (100 Mbit/s.), Gigabit Ethernet (1000 Mbit/s., aún en pruebas).

2.4 Comunicación en Controlnet

2.4.1 Introducción

ControlNet es una red abierta de control en tiempo real, determinista, repetible y de alta velocidad que integra PLC, E/S, variadores, etc. Apareció de la mano de Allen-Bradley en 1995, apropiada para aplicaciones discretas y control de procesos, (ver figura 10).



Figura 10 Logo de controlnet

Fuente: (Productos Logo, 2015)

Dado que ControlNet se basa en una arquitectura productor/consumidor, permite que múltiples controladores trabajen en el mismo sistema. Esto significa que varios PLC u otros controladores pueden controlar sus propias E/S y comunicarse entre ellos mediante la red, ahorrando costes y eliminando las necesidades de mantener redes individuales para realizar la misma función (**ControlNet Fieldbus, 2015**).

2.4.2 Características

- a. Características Principales.-** Es una red que cumple las dos premisas básicas requeridas para que un sistema cumpla las exigencias de control en tiempo real: **determinismo** y **repetibilidad**. Es determinista, porque sabemos cuándo llegarán los datos a su destino, y repetible, porque asegura que los tiempos de transmisión son fijos, sin importar si se añaden o retiran nodos de la red.
- Comunicación con opciones intrínsecamente seguras.
 - Ofrece una alta velocidad, el ancho de banda permite conectar al mismo medio todas las señales necesarias para el control en tiempo real a señales analógicas y digitales.
 - Utiliza un máximo de 99 nodos, sin distancia mínima entre ellos.
 - Multidifusión (Multicast) con ambas entradas y entre iguales (peer to peer) para información reducida.
 - Posibilidad de montar fibra óptica para conseguir aislamiento y distancias de hasta 20 Km.
 - Incorpora diagnósticos del sistema, que hacen más fácil configurar y mantener la red.
 - Proporciona funciones compatibles con redes Data Highway Plus (Allen Bradley) y universal Remote I/O (5 Mb/s).
 - Permite seleccionar el tiempo de actualización del procesador PLC y de las E/S.
 - Permite la comunicación con múltiples dispositivos en la misma comunicación.
 - Determinismo, exacta determinación del tiempo de actualización, por ejemplo, se puede determinar que el tiempo de actualización de las E/S digitales sea cada 3 mseg.

- Programación desde cualquier punto de la red.

b. Características Físicas.- Se utiliza fibra óptica o cable coaxial RG6, standard usado en industria TV, alta inmunidad al ruido, con topologías Bus, estrella, árbol mediante repetidores o combinaciones, (ver figura 11).

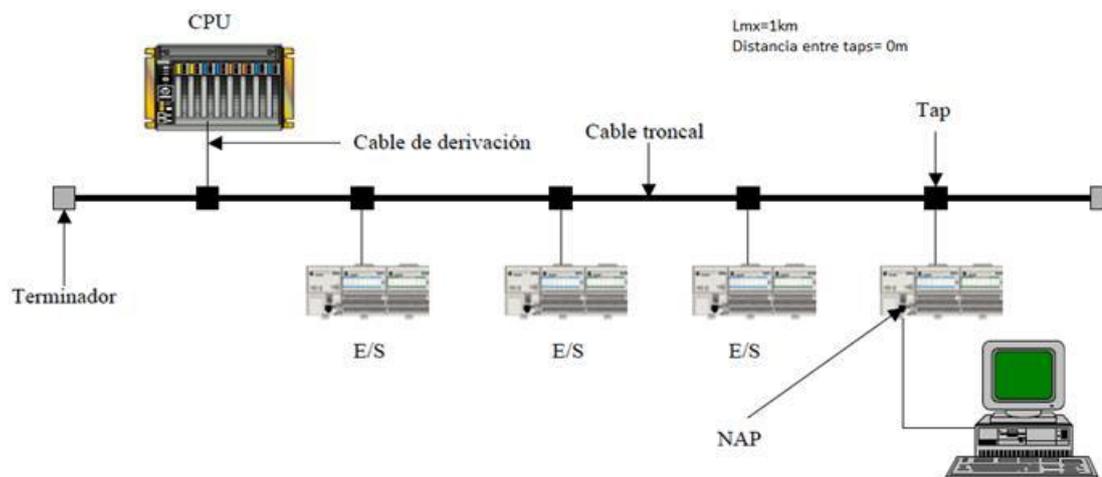


Figura 11 Característica física ControlNet

Fuente: (ControlNet Fieldbus, 2015)

c. Ubicación de la Controlnet.- La red ControlNet se ubica en el nivel de Control dentro del modelo jerárquico CIM. En forma paralela, como parte de la Arquitectura NetLinx de comunicación de 3 niveles, desarrollada en conformidad al modelo CIM, impulsada por la empresa Rockwell-Automation y otras asociadas a ODVA y CI, también se ubica en su nivel de control, que corresponde a su nivel 2, (ver figura 12).

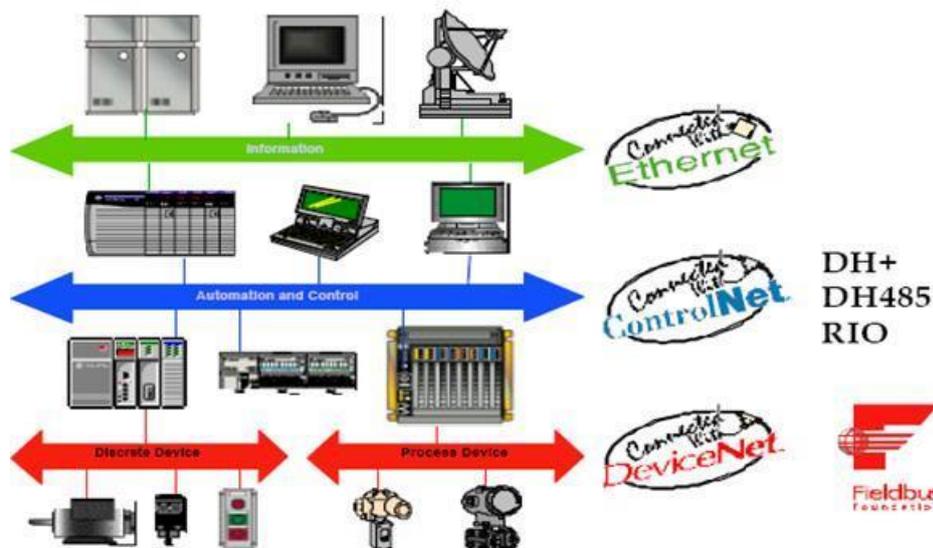


Figura 12 Ubicación de ControlNet

Fuente: (Imágenes Escala ubicación, 2015)

2.4.3 Principio de Trabajo

La forma de trabajo de este protocolo es, básicamente, la siguiente: El acceso a la red es determinado por medio del tiempo. Un algoritmo denominado **CTDMA**, sigla de Concurrent Time Domain Multiple Access, y que en español se puede traducir como Acceso Múltiple por Dominio de Tiempo Concurrente (o concursado), regula la oportunidad de transmitir.

El NUT está dividido en tres partes: **Scheduled, Unscheduled, GuardBand.**

- a. **Servicio SCHEDULED.-** Por la banda Scheduled o banda programada pueden transmitir unos nodos determinados, definición SMAX de nodos y Slot Time de espera, (ver figura 13).

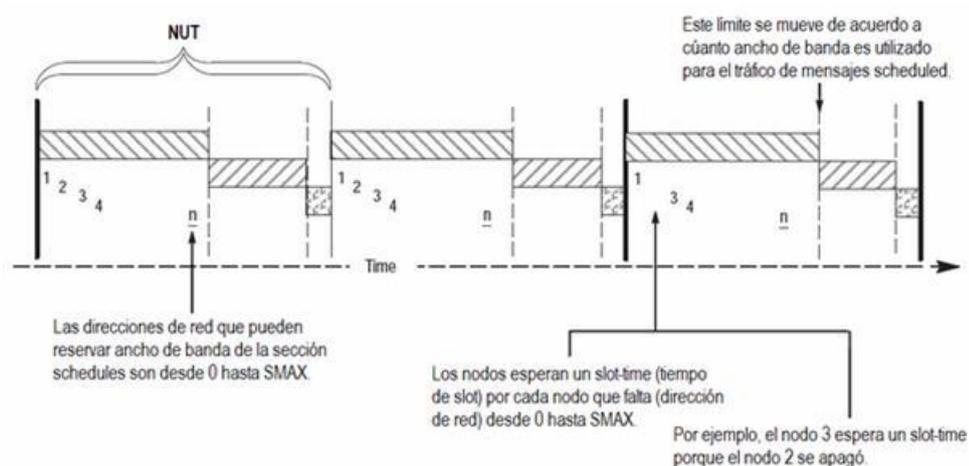


Figura 13 Representación del servicio scheduled ControlNet

Fuente: (ControlNEt rangos, 2015)

- b. Servicio UNSCHEDULED.-** La banda no programada o Unscheduled entre el servicio programado o Scheduled y el servicio de mantenimiento de la red o Guardband. Establecimiento de conexiones punto a punto, UMAX con mayor número de nodos
- c. Servicio GUARDBAND.-** El Guardband, traducido al español como la Banda Guarda, es la parte final del NUT y está reservado para el mantenimiento de la red.

2.4.4 Resumen ControlNet.- Dentro de las características que reportan la implantación de una red ControlNet, a continuación se detalla en el siguiente cuadro característico, (tabla 2.1).

Tabla 1

Resumen ControlNet

| | |
|--------------------------|---|
| Denominación | ControlNet, basado en CIP (Common Industrial Protocol) |
| Soporte | ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) y ControlNet International (CI) |
| Cuentas | 3.5 millones de nodos (redes CIP) |
| Topología | Bus, árbol, estrella, mixto |
| Medio | Coaxial (tipo BNC) o fibra |
| Elementos | 99 nodos máximos, 48 nodos sin repetidor |
| Longitud segmento | Cable coaxial (1 segmento): 1000m. con 2 nodos 500m. con 32 nodos 250m. con 48 nodos Fibra óptica (1 segmento): 3000m. con 99 nodos. |
| Distancias | Con repetidores Coaxial: 5000m. a 5Mbit/s Fibra:>30Km. |
| Repetidores | Hasta 5 en serie (6 segmentos) Hasta 48 segmentos en paralelo |
| Comunicación | Multimaestro Punto a punto Maestro/Esclavo |
| Velocidad | 5Mb/s |
| Datos/Paquete | 0 a 510 bytes, variable |
| Tiempo de ciclo | 2 a 100 ms. Configurable |

2.5 PLC (Controlador Lógico Programable)

2.5.1 Definición

Un PLC o “autómata” es un dispositivo electrónico de estado sólido, programable por el usuario que se utiliza para controlar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos y/o secuenciales en tiempo real.

Sin embargo, la definición más apropiada sería: Sistema Industrial de Control Automático que trabaja bajo una secuencia almacenada en memoria, de instrucciones lógicas (**PLC, 2015**).

2.5.2 Funciones Importantes de un PLC

Los PLC se distinguen de otros controladores automáticos, en que pueden ser programados para controlar cualquier tipo de máquina, a diferencia de otros controladores (como por ejemplo un programador o control de la llama de una caldera) que, solamente, pueden controlar un tipo específico de aparato. Un PLC realiza, entre otras, las siguientes funciones:

- Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- Tomar decisiones en base a criterios preprogramados.
- Almacenar datos en la memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realizar cálculos matemáticos.
- Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- Comunicarse con otros sistemas externos.

a. Campos de aplicación.- El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo, a continuación se menciona las más importantes:

- Control secuencial.
- Control de movimiento.
- Control de procesos.
- Monitoreo y supervisión de procesos.
- Administración de datos.
- Comunicaciones.

- b. **Estructura de un PLC.**- La arquitectura típica de un PLC, el cual a nivel lógico, tiene sus **entradas** (sensores), su análisis ocurre dentro de la CPU, es decir en ella está almacenado el programa, específicamente en la **memoria** y luego del procesar el estado de las entradas, entrega una respuesta, es decir una **lógica de salida**. Todo lo anteriormente expuesto es cíclico y se denomina ciclo Scan, (ver figura 14).

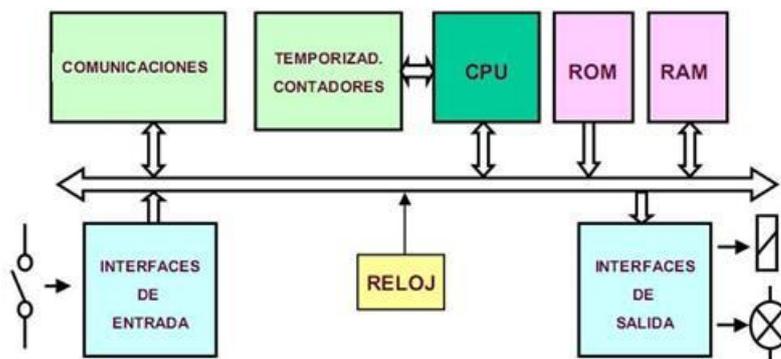


Figura 14 Diagrama de bloques del autómata programable

Fuente: (Slider PLC, 2015)

Además está estructurada externamente por: integración de los elementos en única pieza que se denomina **compacto**, y la otra que es **modular**, en las que el CPU, fuente de alimentación, entrada, salida y otros periféricos son cada una un módulo.

2.6 Módulo de Comunicación ControlNet

2.6.1 Módulos de Comunicación 1756-CNB y CNBR/E, para la red ControlNet.

Los módulos de comunicaciones ControlLogix pueden usarse en comunicaciones entre dispositivos ControlLogix y también de otras familias de Allen Bradley. Estos módulos de comunicaciones también pueden usarse para la expansión de E/S a un chasis de E/S remoto ControlLogix adicional.

Los módulos de comunicación 1756-CNB y CNBR/E son los que proporcionan la redundancia de la red y enclavamiento de seguridad entre los controladores de ControlLogix en una red ControlNet y están ubicados en cualquier punto del slot en el chasis. Con una velocidad de 5 Mbps soportan hasta 64 conexiones por módulo. Estos módulos tienen dos puertos ControlNet BNC (para la redundancia en red) y un puerto ControlNet RJ45 (Automation, Allen Bradley).

2.7 Control PID

2.7.1 Introducción

Un controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) es un sistema de control que, mediante un elemento final de control (actuador), es capaz de mantener una variable o proceso en un punto deseado dentro del rango de medición del sensor que la mide. Es uno de los métodos de control más frecuentes y precisos dentro de la regulación automática. Las tres componentes de un controlador PID son: acción proporcional, acción integral y acción derivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo (ver figura 15), respectivamente (**Monografía PID, 2015**).

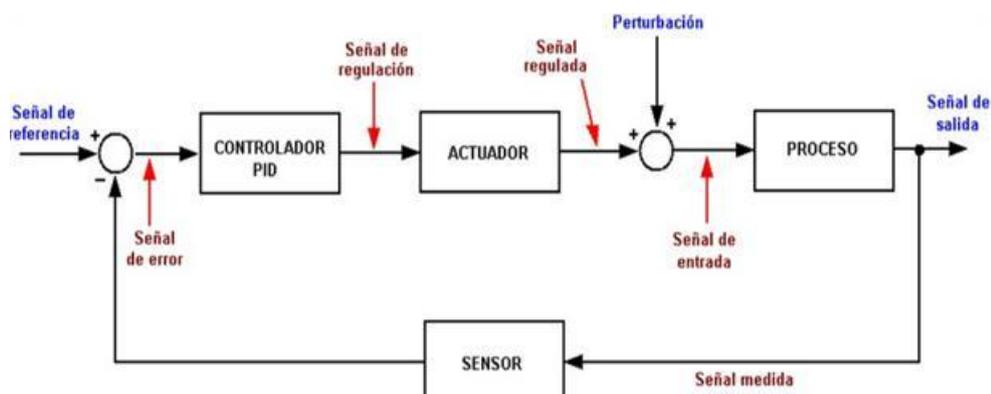


Figura 15 Diagrama de bloques PID

Fuente: (PID Teoría, 2015)

Un controlador PID se caracteriza por combinar tres acciones, mediante el siguiente algoritmo de control, a continuación se muestra bajo la ecuación 1.0.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} = P + I + D \quad \text{Ec. 1.0}$$

Este algoritmo está considerado como el PID estándar por la ISA (Instrument Society of America). A continuación se resumen los términos básicos:

Descubrimientos empíricos demuestran que la estructura del PID por lo general tiene la suficiente flexibilidad como para alcanzar excelentes resultados en muchas aplicaciones.

2.7.2 Características

- a. **Proporcional (P)**: es la acción que produce una señal proporcional a la desviación de la salida del proceso respecto al punto de consigna.
- b. **Integral (I)**: es la acción que produce una señal de control proporcional al tiempo que la salida del proceso ha sido diferente del punto de consigna.
- c. **Derivativa (D)**: es la acción que produce una señal de control proporcional a la velocidad con que la salida del proceso está cambiando respecto del punto de consigna.
- d. **Constante de tiempo integral (Ti)**: es el tiempo, generalmente expresado en minutos, que debe transcurrir para que la acción integral alcance (iguale o repita) a la acción proporcional.
- e. **Constante de tiempo derivativa (Td)**: es el intervalo de tiempo, generalmente expresado en minutos, en el que la acción derivativa adelanta a la acción proporcional.

Los diferentes métodos de sintonización de los parámetros de un controlador PID, van de acuerdo a la estructura que se utilice del mismo.

2.8 Software de Aplicación

2.8.1 Configuración con PLC Allen Bradley

- a. **Rslinx Classic.** RSLinx Classic para redes y dispositivos de Rockwell Automation es una solución completa para comunicaciones industriales que puede utilizarse con los siguientes sistemas operativos: Microsoft Windows XP, XP SP1 o XP SP2, Microsoft Windows Server 2003 SP1 o R2, Microsoft Windows 2000 SP4, etc.
- b. **RSLinx Classic Lite.** RSLinx Classic Lite ofrece las funciones mínimas necesarias para que sea compatible con RSLogix y RSNetWorx. Esta versión no admite OPC, DDE, ni la interfaz de programación de aplicaciones C (API) publicada de RSLinx Classic.
- c. **RSLinx Classic Gateway.** RSLinx Classic Gateway conecta a los clientes en redes TCP/IP haciendo que las comunicaciones basadas en RSLinx Classic lleguen a cada rincón de la empresa.

2.8.2 Proyectos de Redes Allen Bradley

- a. **RSNetWorx.** RSNetWorx permite obtener la máxima productividad de las redes **ControlNet** y **DeviceNet** de planta. Se pueden definir y configurar los dispositivos de la red de una forma rápida y simple a través de una interface sencilla.
- b. **Plataforma FactoryTalk View.** Es el diseñador de Interfaces de usuario HMI's que nos ayuda a desarrollar, probar e implementar todo lo necesario para que la interacción entre la máquina y los operadores sea lo más sencilla posible, se presenta para el HMI y PC, lo siguiente; FactoryTalk View Site Edition, FactoryTalk View Machine Edition.

- b.1 FactoryTalk View Site Edition (SE).** FactoryTalk View Site Edition es el software supervisor de HMIs para soluciones empresariales, Debido a su arquitectura distribuida y escalable, nos ofrece soporte para aplicaciones de distribución de servicios y multiusuario, ofreciendo máximo control sobre la información que se requiere visualizar.
- b.2 FactoryTalk View Machine Edition.** FactoryTalk View Machine Edition (FTVME) es el software que nos permite desarrollar aplicaciones a nivel de máquina y para pequeños procesos. Es una solución tradicional independiente la cual conjunta un servidor y un cliente PARA usarlo en panel view Plus, PanelView Plus CE, computadoras Industriales Rockwell o alguna otra computadora **(Rockwell Automation, 2015).**

2.9 HMI (Interfaz Humano Máquina)

2.9.1 Definición

Los sistemas HMI se pueden pensar como en una “ventana” de procesos. Esta ventana puede estar en un dispositivo especial como paneles de operador o un una computadora implementado bajo un determinado software, (ver figura 16). Es así que el HMI destinadas a la automatización industrial se pueden clasificar en dos grupos: de supervisión de procesos (basadas en SCADA *Supervisory Control and Data Acquisition*) y las de manejo y visualización a nivel de máquina (basadas en paneles), **(Monografía, 2014).**



Figura 16 Modelo HMI

Fuente: (Conceptos Basicos, 2015)

2.9.2 Tipos de HMI

- Desarrollo de entorno de Programación graficas tales como visual basic, C++, etc.
- Paquetes de software exclusivos para HMI, contemplando así una función de los sistemas SCADA, Factory, WinCC, etc.

2.9.3 Función del Software HMI

- **Monitoreo.**- significa obtener y mostrara datos de la planta en tiempo real de tal forma que permite mostrar como números, textos o gráficos que permitan interpretar al usuario
- **Supervisión.**- esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trajo directamente desde una PC.
- **Alarmas.**- es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlo estos eventos, basados en límites de control preestablecidos.

- **Control.-** significa aplicar algoritmos que ajusten los valores de procesos para mantener dentro de ciertos límites, va más lejos que la supervisión conociendo así que es necesario la intervención humana, sin embargo de esto se puede tener una confiabilidad del proceso en el mismo instante de que se esté ejecutando en una PC.
- **Históricos.-** Es la capacidad de mostrar y almacenar archivos, datos de una determinado tiempo, de esta forma se puede lograr para la optimización y corrección de procesos.

2.10 Proceso Industrial

2.10.1 Introducción

En la actualidad la industria posee cada vez procesos productivos más automatizados, complejos y en los que coexisten una gran diversidad de elementos: PLCs, Computadores, accionamientos neumáticos o eléctricos, etc; Dando lugar a la aparición de los sistemas de producción flexibles que proporcionan respuestas rápidas (**Librería procesos industriales, 2015**).

2.10.2 Variables de Procesos Industriales

En todo proceso tenemos diversas variables, las cuales afectan las entradas o salidas del proceso.

Las cuales son de ciertos tipos de: **Temperatura, nivel, flujo, presión, Humedad** son las variables más comunes en los procesos industriales, las cuales son monitoreadas y controladas por medio de la instrumentación del proceso.

- a. **Variable de Nivel.-** El Módulo de Control de Nivel de Líquidos es equipo que permite realizar acciones de control sobre la variable nivel de líquido de un tanque a través de un sistema de control cuyo elemento principal es un PLC, que comanda la activación de una bomba que suministra

líquido a este tanque desde un tanque de almacenamiento. Un sensor es el que realiza una medición indirecta la cual determina el nivel de líquido en el tanque, (ver figura 17).



Figura 17 Modulo de control de Nivel

CAPÍTULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL

3.1 Especificar los Requerimientos para el Sistema

Para la implementación de la red industrial, con los dispositivos de Allen Bradley es una solución muy amplia, recopilando toda la información necesaria para el diseño de la pirámide de comunicación industrial. Además en el presente capítulo justifica la utilidad describiendo el sistema de control y el HMI mediante la utilización de los PACs; permitiendo crear un esquema general del sistema de automatización, válido para la construcción de la arquitectura y el software del proyecto. La red de comunicación ControlNet industrial y los componentes del sistema de control estarán diseñados para un resultado óptimo, mejorando el tiempo de respuesta sobre la acción a controlar, como también obteniendo el monitoreo y el control en tiempo real de la variable a controlar, de tal manera que permita reconocer y visualizar las acciones a tomar en cuenta.

3.1.1 Visión General Del Sistema

El proyecto consiste en implementar una nueva red en automatización industrial utilizando los PACs ControlLogix L5561 de Allen Bradley, donde se utiliza la tarjeta de comunicación dedicada para ControlNet 1756-CNB, ver figura 18, donde se ilustra la pirámide con las redes de comunicaciones.



Figura 18 Pirámide de comunicación Industrial

La implementación de un sistema HMI se diseñara mediante una interface gráfica de usuario que correrá en el Panel View Plus 1000, el cual a nivel de control se requiere alcanzar a una velocidad de comunicación adecuada para obtenerlo en tiempo real los parámetros necesarios de la variable física, donde esto se logra mediante la eliminación de los ruidos o interferencias electromagnéticas provocadas por distintos factores, para el cual es necesario utilizar cables blindados que corresponden a la red ControlNet, mediante esta interface el operador podrá monitorear la variable de nivel, cumpliendo de esta forma con los requerimientos respectivos.

3.1.2 Descripción General de las Redes Industriales Implementadas Anteriormente

El Laboratorio de PLC está equipado con instrumentos de última tecnología de la marca Allen Bradley, dedicados para las prácticas aplicativas de las áreas industriales, y con un conjunto de sistemas de procesos que son utilizadas para el control, donde se tiene implementadas redes de comunicaciones industriales, Ethernet y Devicenet.

a. Diseño de la Red Ethernet

La red Ethernet fue diseñada y configurada para conectar ciertos dispositivos que son apropiadas para la utilización de la red, tales como el variador de Velocidad PowerFlex 700 con su respectiva tarjeta de red 20-COMM-E, Laptop, Panel view plus 1000. Es donde se obtuvo comunicarse a nivel de información con la dicha red.

a.1 Direcciones Ethernet

Todos los dispositivos de red tienen que poder identificarse con sus direcciones exactas, para ello se deben utilizar dos tipos de direcciones:

- **Dirección MAC;** 00:00: BC: XX: XX: XX.
- **Dirección IP.**

b. Diseño de la Red Devicenet

La red industrial DeviceNet se encuentra configurada mediante la arquitectura NetLinx para los variadores de velocidad powerflex 700, SMC FLEX con su respectiva tarjeta apropiada para esta red, donde el objetivo fue controlar la planta de nivel y el módulo de carga.

b.1 Cableado de la Red Devicenet

- Par trenzado (rojo y negro) para alimentación de la corriente continua de 24 V, un par trenzado (azul y blanco) para señal y un cable de tierra (sin forro).
- Caja para conectar la alimentación de 24V de C.C. para la red.
- Conectores de tipo lineal, mini sellados y de tipo T.
- La línea troncal tiene resistencias de terminación de 121 Ohmios, 1%, 1/4W en cada extremo.

3.2 Componentes del Hardware

Para el desarrollo de este sistema tanto de control y red de comunicación industrial con red ControlNet implica el uso de equipos electrónicos de alta gama de Allen Bradley. El dispositivo principal del proyecto es el PAC Controllogix L5561, el cual se encarga de controlar el dispositivo conectado a la salida de acuerdo a las señales que proporcionan el dispositivo conectado en su entrada, además el sistema se conforma por: Panel View Plus 1000, Sensor de nivel, fuentes de alimentación, módulos de comunicación, variador de frecuencia, conmutador Ethernet y módulos de E/S, en lo que a equipo electrónico se refiere.

3.2.1 Topología Bus y el Cable Coaxial (Red ControlNet)

Se emplean en este proyecto la topología tipo bus y el cable de tipo coaxial, ya que son los que recomienda y utiliza el fabricante Rockwell Automation en su equipo para la red ControlNet (nivel de control) estandarizada; además una de las particularidades es de ser resistente a interferencias electromagnéticas, a diferencia de otros tipos de cables en comunicaciones, también se describe la utilidad en zonas explosivas gracias a que no maneja alimentación eléctrica.

3.2.2 Componentes de una Red Topológica ControlNet

La red ControlNet se configura especialmente como una red para el nivel de control de alta velocidad en tiempo real, el cual permite cualquier topología de red, siendo la topología más utilizada una línea troncal construida con un cable coaxial de tipo RG6 exclusivo en controlnet. En la figura 19, muestra una típica configuración y componentes de una red ControlNet.

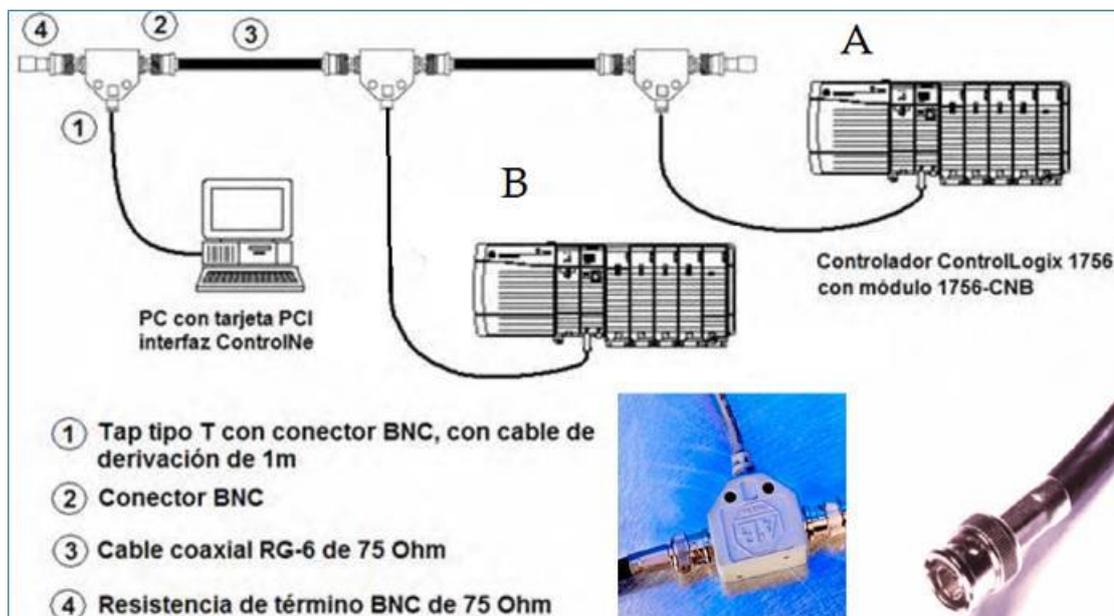


Figura 19 Configuración topológica, Bus

Fuente: (Noelia, Monografía, 2014)

- **Accesorios del componente ControlNet**

El módulo de comunicación industrial ya sea para sistemas redundantes o no redundantes, necesita los siguientes componentes del sistema, tal como se ilustra en la siguiente figura 20.

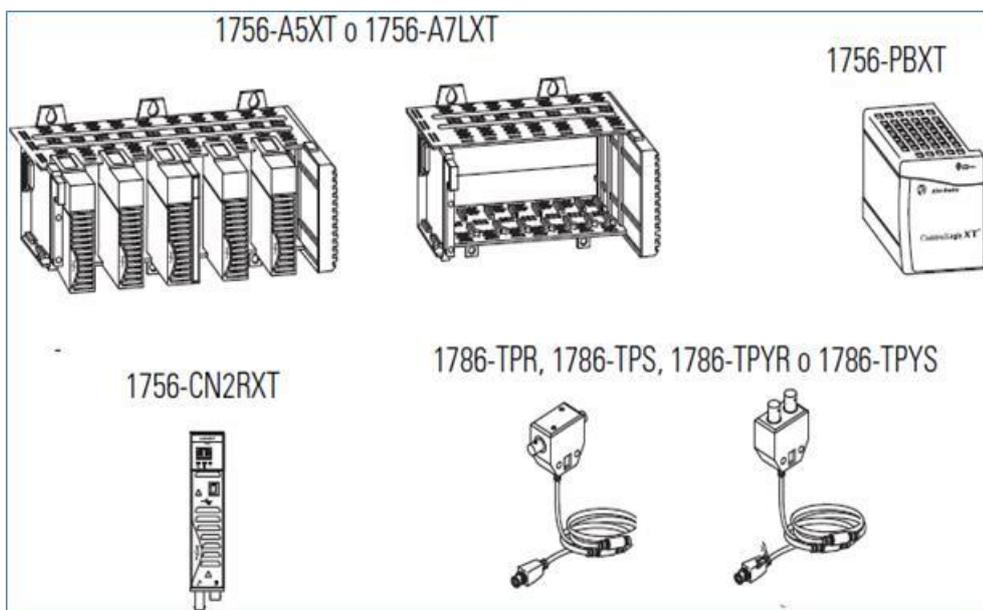


Figura 20 Componentes para ControlNet

Fuente: (Monografía, 2013)

3.2.3 Selección de Materiales y Equipos

Para la selección de equipos y materiales que se utilizan en el desarrollo del proyecto se seleccionaron de acuerdo a la disponibilidad, utilidades y prestaciones que se dispuso para la red ControlNet, considerando estos parámetros se puede detallar los componentes para esta red;

1. PLC-PAC ControlLogix 1756-L61 Serie B
2. Módulo de comunicación ControlNet 1756-CNB/E
3. Variador de velocidad PowerFlex 700
4. Panel View Plus 1000
5. Cable RJ45 Path Cord para conexión de Red
6. Cable coaxial para ControlNet 1786- RG6
7. Conectores Tipo Taps 1786-TPS

8. Conectores para cable coaxial ControlNet 1786-BNC
9. Terminales de red ControlNet 1786-XT
10. Sensor de nivel 873C-DDAV1000E2 análoga-Allen Bradley.

3.2.4 Cable Coaxial para Controlnet 1786-RG6

El cable coaxial muestra en la figura 21, el cual es utilizado para este tipo de red industrial, RG-6 sirve para la línea Troncal o principal, su característica principal es que tiene una impedancia de 75 Ohmios, además está compuesto por varias capas para la inmunidad de ruidos electromagnéticos.

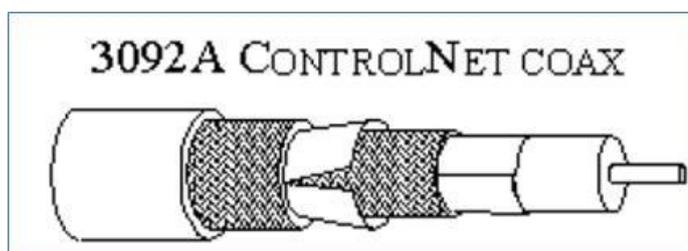


Figura 21 Cable Coaxial RG-6 Controlnet

Fuente: (Monografía, 2013)

3.2.5 Conectores para Cable Coaxial CONTROLNET-BNC

El componente principal de conectores específicos para controlnet se presenta de tipo BNC y el RJ-45, que son de aplicaciones industriales áridos para vibraciones y agua entre otros, a continuación en la figura 22 se observa el panel de conexionado estándar.

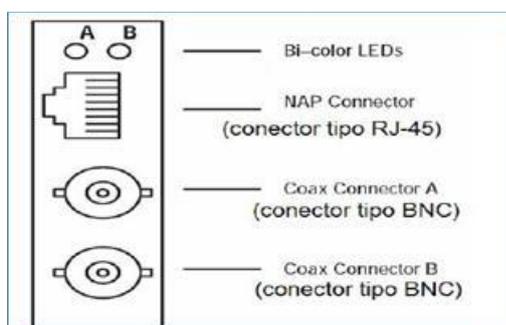


Figura 22 Construcción de conectores Estándar-ControlNet

Fuente: (Monografía, 2013)

- **Conector tipo Barril BNC.-** Este conector es el definido por la especificación ControlNet, diseñados para la conexión (Trunk Line) o los dispositivos a la red Troncal, ver figura 23.

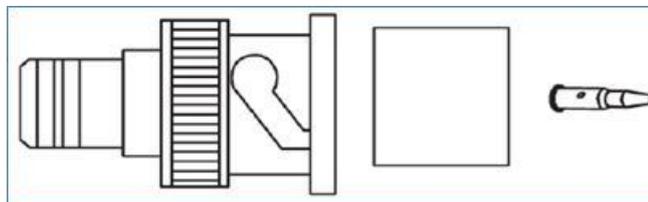


Figura 23 Conector BNC

Fuente: (Monografía, 2013)

3.2.6 Conectores tipo TAPs 1786-TPS

Los Taps ControlNet son componentes eléctricamente pasivos, en este caso es de tipo TNC para ser acoplados con la line troncal de otros nodos, en el extremo superior posee una toma de tipo BNC para conectarse al módulo, a continuación se ilustra en la siguiente figura 24.

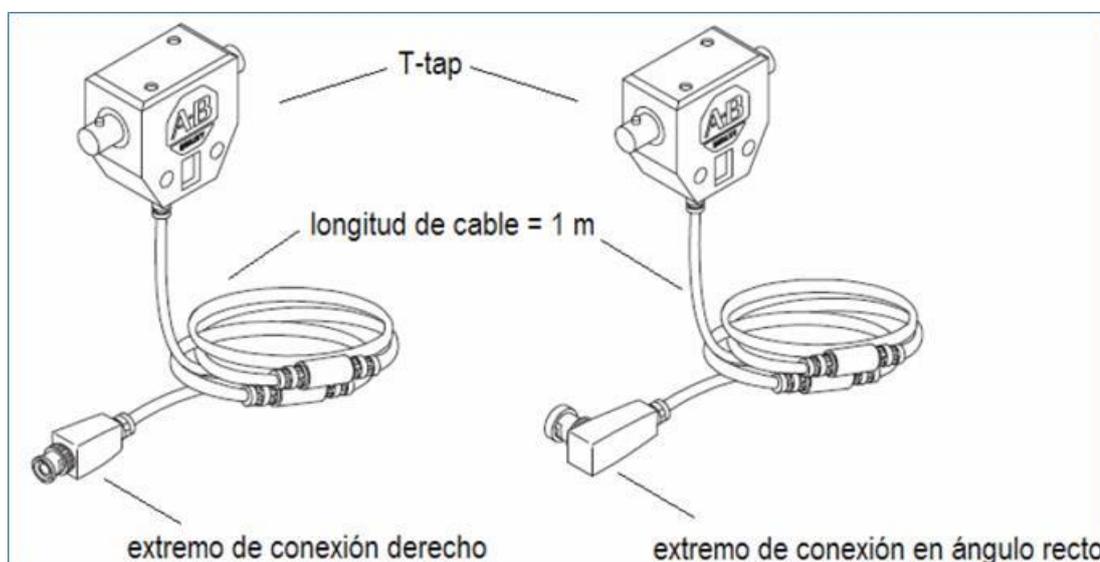


Figura 24 Presentación del Taps 1786-TPS

Fuente: (Monografía, 2013)

3.2.7 Terminal de Red ControlNet 1786-XT

Es el elemento que cierra al nodo de la red ControlNet, además se define como una resistencia de 75 Ohmios, a continuación se ilustra en la siguiente figura 25 la parte física.

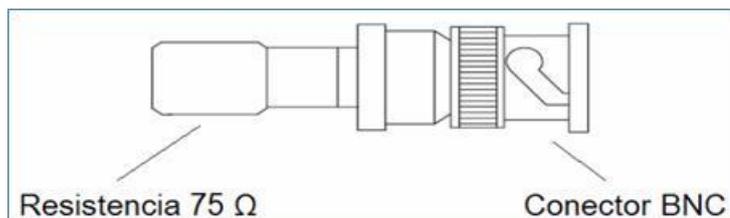


Figura 25 Resistencia de 75Ω-ControlNet

Fuente: (Monografía, 2013)

3.2.8 Dispositivos de Comando

Teniendo como referencias una investigación profunda acerca de la red industrial ControlNet, hace posible la interconexión entre los módulos de Allen Bradley denominado PAC L61, lo cual es motivo para detallar los componentes y soportes del dicho dispositivo.

➤ PLC Allen Bradley Controllogix PAC 1756-L61

Es un controlador automático programable central para todo este proceso de comunicación y monitoreo de la variable de nivel, siendo capaz de ejecutar múltiples procesos simultáneos, alcanzando una alta velocidad de procesamiento, además brinda una interfaz amigable de comunicación industrial, conectividad remota con I/O, etc.

a. Descripción de los Componentes del PAC ControlLogix

Se describe como la familia "LOGIX" lo cual son: rendimiento, capacidad de escalado, Multiprocesamiento, Redundancia, Conexión en puente de red, Integración de Movimiento/Variador/Proceso/Seguridad, comunicaciones Ethernet/IP, ControlNet, DeviceNet múltiples y otras redes. En la figura 26,

se observa el PAC ControlLogix, el cual es el principal dispositivo de comunicación y de control, además se describe los módulos que componen este dispositivo y su distribución.

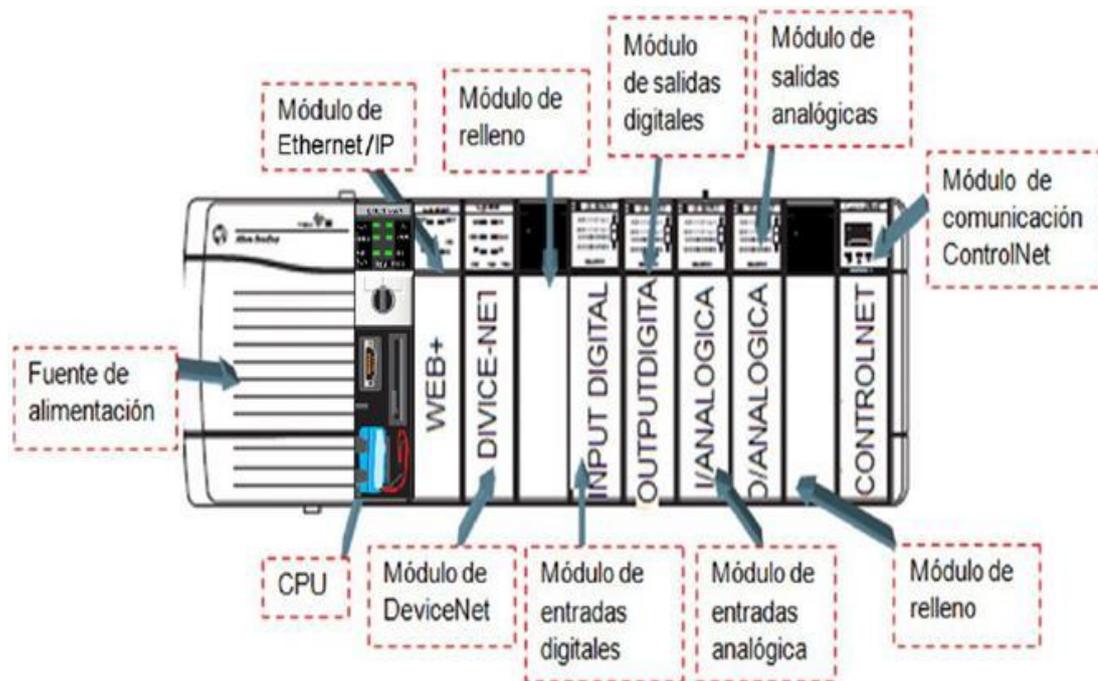


Figura 26 Distribución del PAC ControlLogix L-61

Fuente: (Automation, 2013)

b. Principales Características del Controlador L-61

Este tipo de controlador ControlLogix maneja una solución de controlador escalable capaz de direccionar una gran cantidad de puntos de E/S (128,000 digitales máximos / 4000 analógicos máximos), sin embargo puede colocarse en cualquier ranura de un chasis de E/S ControlLogix y pueden instalarse múltiples controladores en el mismo chasis que se comunican entre sí mediante el backplane, pero funcionan independientemente, además pueden comunicarse con una PC u otros procesadores a través de RS-232 (protocolo DF1/DH-485) y las redes DeviceNet, DH+, ControlNet y EtherNet/IP, en consecuencia el controlador L61 es apto para implementar el proyecto del HMI utilizando red ControlNet.

b.1. Fuente de Alimentación 1756-PB72/C

El tipo de fuente está diseñado de acuerdo a las necesidades que requiera la industria, de esta depende para la alimentación en los backplane con sus respectivas tarjetas, por lo tanto en la tabla 2, detalla las características de la fuente alimentación utilizada.

Tabla 2

Especificaciones técnicas la fuente de alimentación

| Atributo | 1756-PA72/C |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Rango de voltaje de entrada | 85.....265V AC |
| Voltaje Nominal de entrada | 120V/240V AC |
| Potencia máxima de entrada | 100W |
| Corriente máxima de entrada | 20 A |
| Capacidad de corriente a 1.2V | 1.5 A |
| Capacidad de corriente a 3.3V | 4.0 A |
| Capacidad de corriente a 5.1V | 10.0 A |
| Capacidad de corriente a 24V | 2.8 A |
| Temperatura de operación | 0.....60°C(32.....140 °F) |

Es importante identificar las fuentes de alimentación para distintas aplicaciones prácticas y distintos módulos de CPU en la gama más alta de los controladores lógicos programables, no obstante este tipo de fuente es apto para el módulo de CPU 1756-L61 con sus respectivos módulos de comunicación y tarjetas de recolección y manejo de datos, más adelante se indica la disposición de las tarjetas adjuntas que contiene este tipo de controlador de Allen Bradley.

Sin embargo este tipo de fuente es analizado para la implementación de la red industrial ControlNet, ya que las características descritas tanto del controlador L61 y la tarjeta de comunicación son apropiadas para la implementación de este tipo de red industrial, además se consideró la utilización de la única entrada analógica, el cual se trata de un transmisor de

nivel y un solo nodo en ControlNet, por lo tanto si el sistema requiere de cambios como redundancia y más señales de tipo analógico, digitales es necesario el cambio, tanto de la fuente de alimentación y el tipo del procesador.

b.2. Módulo de CPU LOGIX 5561 o 1756-L61

En la siguiente tabla 3, presentan las especificaciones del módulo del CPU LOGIX 5561, el cual funcionara como el cerebro principal para la implementación del HMI con red ControlNet.

Tabla 3

Especificaciones técnicas del CPU L61

| Atributo | 1756-L61 |
|---|---|
| Tareas del controlador | 32 tareas 100 programas/tareas |
| Puertos de comunicación | 1 Puerto serial RS-232 |
| Opciones de comunicación | Ethernet/IP ControlNet DeviceNet Data Highway Plus I/O remotas |
| Máximo de conexiones | 250 |
| Conexiones de red por módulos de comunicación | 100 ControlNet (1756-CN2/A) 40 ControlNet(1756-CNB) 256 Ethernet/IP; 128 TCP (1756-EN2X) 128 Ethernet/IP; 64 TCP (1756-ENBT) |
| Lenguajes de programación | Escalera (Relevador) Texto estructurado Bloque de función SFC |
| Memoria de usuario | 2 MB |
| I/O digitales, máx. | 128,000 |
| I/O analógicas máx. | 4,000 |
| Números de slots | 1 |

b.3. Módulo de Comunicación Ethernet ENBT/A

En la siguiente tabla 4, muestra las características técnicas del módulo de comunicación Ethernet que es importante para este proyecto, mediante el cual se descarga el proyecto para controlar al Variador de frecuencia PoweFlex 700 y el panel View.

Tabla 4

Especificaciones técnicas del módulo Ethernet

| Atributos | 1756-ENBT/A |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Ubicación del modulo | En uno de los slots del ControlLogix |
| Conector Ethernet | RJ45 CAT5 |
| Conductor | Pathcord |

b.4. Módulo de Comunicación DeviceNet 1756-DNB

El modulo es uno de los que se utiliza específicamente para el PAC-L61, donde es amplio su estudio y configuraciones de parámetros en comunicación por lo que se utiliza más para redes de campos donde están los sensores y actuadores.

b.5. Módulo de Entradas Digitales 1756-IB16D

El módulo de entradas digitales es exclusivo para este PAC por lo que permite entradas de voltajes de 24V cc, además en el mismo modulo podemos verificar mediante los leds de estado incorporados en la misma tarjeta mediante la utilización del software exclusivo de Rockwell Automatización.

b.6. Módulo de Entradas para RTD 1756-IR6I

Exclusivos para las entradas de las termocuplas y RTD's, llegando a medir la temperatura mediante el principio de variación de la resistencia,

donde es importante considerar las configuraciones en el software de Allen Bradley.

b.7. Módulo de salidas digitales 1756-OX8I

El módulo de salida digitales se caracteriza por ser de tipo relé, por lo tanto pose sus contactos normalmente abiertos y normalmente cerrado comúnmente de esta forma manejan los relés, no obstante este tipo de relé posee canales de 8 salidas digitales normalmente aisladas entre ellos.

b.8 Módulo de Entradas y Salidas Análogas 1756-IF4FXOF2F

Este tipo de tarjeta tiene prestaciones altas en sus configuraciones de acuerdo al fabricante Allen Bradley, también se describe que posee 4 canales de entrada de voltajes y corrientes, con dos salidas de voltajes y corrientes, comúnmente con sus respectivos pines utilizables, a continuación nos muestra las características técnicas del módulo mostrado en la tabla 5, el cual es apto para la señal de voltaje del sensor ultrasónico.

Tabla 5

Especificaciones técnicas del módulo de análogas

| Atributos | 1756-IF4FXOF2F |
|-----------------------------------|--|
| Cantidad de entradas V/I | 4 entradas de alta velocidad |
| Cantidad de salidas de V/I | 2 de voltajes y corrientes de alta velocidad |
| Corrientes del Backplane | 375 mA a 5V, 100mA a 24V |
| Rango de entrada | $\pm 10.5V$, 0-10.5V, 0-5.25V, 0-21 mA |
| Resolución de voltaje: | |
| (-10.5.....10.5)V | 1.3 mV/bit - 14 bit efectivo |
| (0-10.5)V | 1.3 mV/bit - 13 bit efectivo |
| (0-5.5)V | 12 bit efectivo |
| Resolución de corriente | 5uA/bit - 12 bits alrededor de 21 mA |
| Rango de Salida | $\pm 10.5V$; 0-21 mA |

CONTINÚA 

| | |
|----------------------------|---|
| Rango de Resolución | 2.8 μ A-13 bits alrededor de 21 mA 1.3 mV/bit - 14 bits alrededor de 20.8V |
|----------------------------|---|

b.9. Módulo de Comunicación ControlNet 1756-CNB

En base de la especificación técnica del módulo de comunicación ControlNet se puede hacer la referencia para la implementación del sistema no redundante, en este módulo se realiza la configuración y el direccionamiento, mediante la utilización del software RsNetwork for ControlNet, en la siguiente tabla 6 muestra las características técnicas principales de este módulo tipo puente.

Tabla 6

Especificaciones técnicas del módulo 1756 Controlnet

| Atributo | 1756-CNB/E |
|---|-------------------|
| Configuración | Estándar |
| Velocidad de Comunicación ControlNet | 5 Mbps |
| Conexiones lógicas de Comunicación | 40.....48 |
| Soporte de conexiones máximas | 64 |
| Numero de nodos máximos | 99 |
| Consumo de corriente a 5.1V DC | 970 mA |
| Consumo de corriente a 24V DC | 1.7mA |
| Potencia de Disipación | 5.1 W |
| Disipación térmica | 17.4 BTU/h |

El módulo de comunicación industrial CNB contienen su manual del fabricante en este caso Rockwell Automatización, lo cual se conecta en el chasis para ControlLogix, tal como los demás módulos del PAC, en la siguiente figura 27, indica el modelo del dispositivo.



Figura 27 Modulo 1756-CNB

Fuente: (Rockwell, Automation, 2015)

- **Aplicaciones y características con el ControlLogix**

Respecto al módulo de comunicación se utiliza únicamente para la dicha red, además entrega soporte para la comunicación entre el PLC y los dispositivos de la red Controlnet, también puede operar como escáner para la colección de datos, a continuación se observa en la parte frontal el puerto NAP (RJ45) que sirve para la programación manual a través de un dispositivo de programación portátil, a continuación se lista otra de las características:

- Capacidades de Entrada/Salida
- Mensajería Punto a Punto
- Comunicación Scheduled
- Comunicación Unscheduled

- **Asignando Dirección IP física**

Para el direccionamiento se utiliza un destornillador pequeño para establecer la dirección del módulo controlnet, donde se selecciona una dirección del 01 al 99 en forma física, no es válida la dirección 00, a continuación en la siguiente figura 28, indica el modo de configuración.

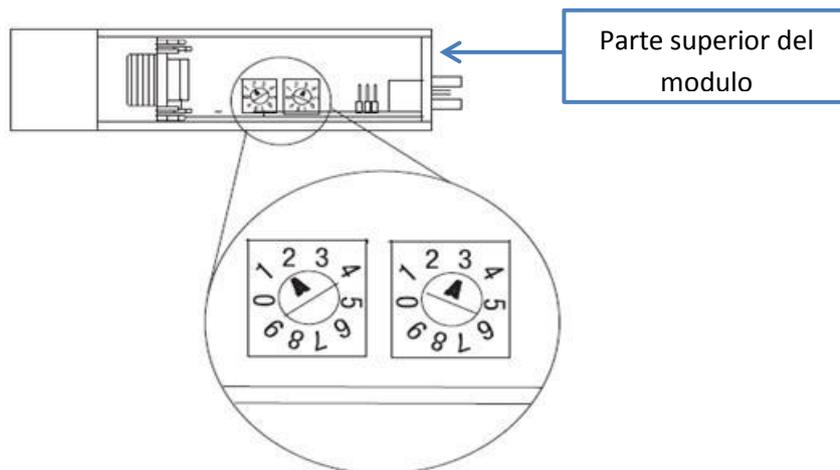


Figura 28 Dirección del 1756-CNB

Fuente: (Rockwell, Dataseheet, 2015)

- **Indicadores de estado**

El módulo tiene indicadores de estado donde se puede observar la dirección, conexión del cable, y en funcionamiento, Figura 29.



Figura 29 Dirección del 1756-CNB

3.2.9 Panel View Plus 1000

Los sistemas para HMI siguen evolucionando en el Mercado, donde podemos encontrar desde la gama baja hasta la alta de acuerdo a los fabricantes, ver figura 30, en este caso la característica principal es de un panel operador Panel View Plus 1000 de Allen Bradley, que sirve como interfaz entre el operador y el sistema de proceso que se requiera visualizar

y trabajar, además tiene la comunicación por medio de Ethernet/IP, entre otras interfaz como RS-232 y USB. A continuación podemos detallar las características de este panel operador, tabla 7.



Figura 30 Panel View Plus 1000

Fuente: (Rockwell, 2015)

Tabla 7

Tabla característica del Panel View Plus 1000

| Atributo | Panel View plus 1000 |
|-----------------------------|---|
| Voltaje de entrada | AC (85...264 VAC) DC (18...32 VDC) |
| Comunicación | Ethernet y comunicación serial |
| Expansión de memoria | 256 MB RAM y 512 MB Compact Flash |
| Puertos USB | 3 (teclado, ratón e imprimir) |
| Dimensiones | Pantalla 10.4plg. Alto 248mm. (9.77plg.) Ancho 399mm. (15.72plg.) |
| Voltaje de entrada | DC (18...32V) AC input (85...264V) |
| Memorias | SDRAM, Flash (además un slot para memoria Compact Flash) |
| Puertos | - Puerto 10/100 Base T Ethernet. - Puerto serial RS-232 para transferencia de archivos, imprimir, y comunicaciones del controlador lógico. - Dos puertos USB para ratón, teclado o imprimir |
| Comunicaciones | - DH+/DH-485 - ControlNet |

- Se programa mediante el software de Allen Bradley Factory Talk Machine Edition.

- Manejo mediante configuraciones dentro de paneles gráficos.

3.2.10 Variador de Velocidad PowerFlex 700

El variador de CA PowerFlex 700S de Allen-Bradley, es una versión de la plataforma de potencia PowerFlex700, mejora la integración de las aplicaciones más exigentes en control y sistemas de variadores, tanto autónomas como coordinadas. El PowerFlex 700S con la opción DriveLogix combina la potencia y flexibilidad de control de los variadores de CA PowerFlex con una máquina Logix de alto rendimiento para brindar una solución de variador y control de alta funcionalidad y muy rentable.

Además es uno de los elementos en la marca Allen Bradley, con una versión de la plataforma en potencia PowerFlex 700 que mejorando las aplicaciones de la exigencia en control de sistemas en variadores de frecuencia (vfd), El Powerflex 700 tiene la opción de drivelogix que combina la potencia y la flexibilidad a los controles de corriente alterna Powerflex con una maquina logix, en este caso un controlador de la familia logix de altas prestaciones y rentabilidad, cumpliendo así con las exigencias en las industrias.

- **Características en comunicaciones**

La familia de variadores PowerFlex de Allen-Bradley utiliza la arquitectura de redes abiertas NetLinx de Rockwell Automation, esto significa el servicio de la configuración de la arquitectura para redes, ver figura 31.

- DeviceNet,
- ControlNet
- EtherNet/IP



Figura 31 VSD Variador Powerflex 700

Los variadores PowerFlex ofrecen opciones de comunicación interna que ayudan al usuario a gestionar de forma rentable las aplicaciones incluidas en los mismos. Estas opciones son: DeviceNet, ControlNet, Universal Remote I/O y otras comunicaciones abiertas, los indicadores de estado para todas las opciones de comunicación interna se pueden ver en la cubierta a fin de facilitar la configuración y el monitoreo de las comunicaciones del variador.

a. Cable RJ45 Path Cord para conexión de Red

El cable RJ45 es muy importante para la industria de la red de comunicación ya sea industrial o de tipo computacional trasmite una cierta velocidad de comunicación tanto desde la transmisión hasta el receptor desde velocidades en Kbps a Mbps, a continuación muestra en la figura 32, Para la utilización de los ControlLogix L61 se considera cable directo o cruzado, el controlador tiene la capacidad de conectarse mediante las dos alternativas, de esa forma conectarse a la red Ethernet.



Figura 32 Cable RJ-45 Patchcord

3.2.11 Sensor de Nivel 873c-DDAV1000E2

Es uno de los sensores ultrasónicos que tiene la capacidad de detectar sólidos y líquidos desde una distancia de hasta 1m., además emite pulsos en 8 grados cónicos debiendo lograr captar la respuesta de eco de la superficie, posee dos versiones de modelo **digital** y **analógico** donde proporciona una salida de voltaje que varía linealmente con la distancia al objetivo, como una de las aplicaciones de vigilancia del nivel de agua en un tanque, en la figura 33, muestra el comportamiento lineal del sensor.

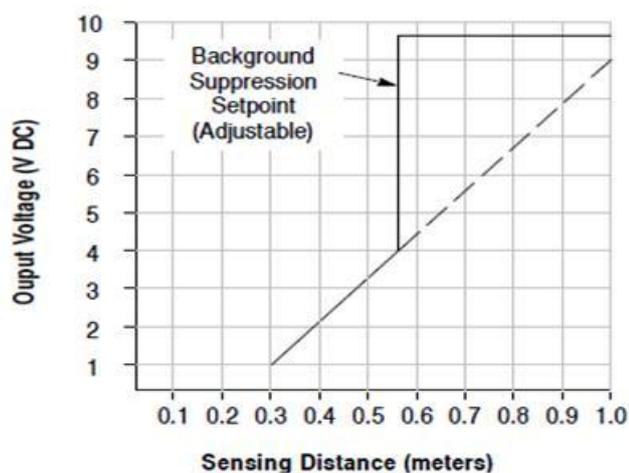


Figura 33 Voltaje de salida del sensor

Fuente: (Bradley, 2014)

- **Configuración y manejo**

Sin embargo se considera la configuración a 3 hilos y de tipo PNP para realizar la conexión de la señal analógica que nos interesa para introducir la dicha señal en el módulo analógico **1756-IF4FXOF2F**, a continuación en la figura 34, presenta el diagrama de conexión.

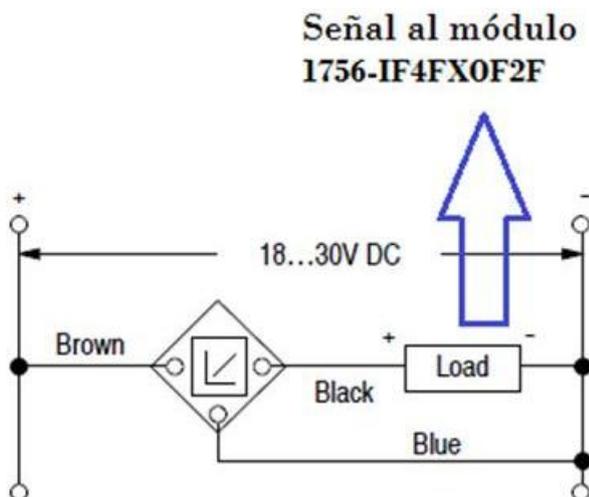


Figura 34 Conexión del Sensor

Fuente: (Rockwell, 2015)

3.3 Requerimientos de Hardware

El Laboratorio de PLC's con sus equipos de alta gama en controladores denominado PAC ControlLogix L61, requiere incorporar el módulo de comunicación industrial ControlNet 1756-CNB, para que permita realizar diferentes practicas aplicativas en el laboratorio de PLC en el área de comunicación industrial, necesidad cumplida con la pirámide de automatización, donde conlleva al estudiante a conocer tanto como las redes y su programación en Ethernet, DeviceNet y ControlNet, curiosamente se debe conocer la potencialidad con el software del fabricante Rockwell Automation, no obstante por medio del software podemos lograr la interconexión con equipos de la marca Allen Bradley.

En lo que respecta al campo académico es importante poseer módulos didácticos, ya que entrelazan entre sí para obtener un control preciso a nivel de campo, información y gerencial en el mundo de la automatización industrial, a continuación podemos detallar los posibles lineamientos:

- Monitoreo
- Control
- Configuraciones

- Manejos de módulos
- Interconexiones local y remoto

3.3.1 Determinación de longitud y números de TAPS en ControlNet

En la especificación ControlNet **no indica una distancia mínima entre Taps**, desde luego ese es el punto de referencia para el diseño, sin embargo se conoce que cada tap introduce en la red una atenuación de señal que provoca una disminución de longitud de la red, por este motivo y estudio de cada Tap disminuye una longitud máxima de la red en un **16,3 metros**.

La red ControlNet si especifica un segmento máximo de la red que está definido por:

$$\text{Seg. Máximo de red Permitido} = 1000 - 16,3 \text{ m} * (\#de Taps - 2m)$$

Por lo tanto significa que si en un segmento de red posee 2 taps, la longitud máxima permitida entre los taps sería de **1000** metros, o **1** Kilometro. Entonces el número máximo de taps permitido por segmento es de 48, por lo tanto la longitud máxima de un segmento de red con estos números de tapa sería de 250 metros, a continuación en la figura 35, indica la ecuación de la relación de longitudes, con respecto a la pendiente.

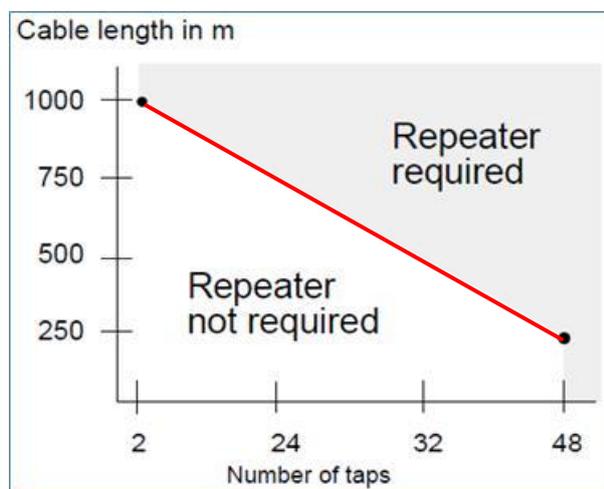


Figura 35 Relación entre la longitud de segmento y numero de taps

Fuente: (ABB, 2015)

3.3.2 Modos de conexión con ControlLogix y comunicación ControlNet

Se debe terminar indirectamente el número de conexiones que utiliza el controlador al configurar para que se comuniquen con otros dispositivos en el sistema , se conoce que los sistemas Logix admiten tres métodos:

- **Conexión Programada.**- Nivel de determinismo exclusivo en ControlNet, además permite enviar y recibir datos.
- **Conexión No Programada.**- es una transferencia de mensajes entre controladores activada por los paquetes solicitados (RPI) o le programa.
- **Mensajes no conectado.**- es cuando no requiere recursos de conexión, se envía como solicitud, una respuesta simple.

a. Conexiones para Tags Producidos y Consumidos

El controlador permite producir y consumir tags compartidos por el sistema mediante las redes ControlNet, los tags producidos y consumidos son conexiones programadas.

b. Un tag producido Requiere estas conexiones:

Se experimentó el permitir que otros controladores consuman el tag, lo cual significa que un controlador puede recibir los datos del tag desde otro controlador.

c. Un tag consumido requiere estas conexiones:

También se analiza que cada tag consumido requiere una conexión para el controlador que está consumiendo el tag. El dispositivo de comunicación del controlador usa una conexión para cada consumidor.

3.3.3 Acondicionamiento de señal del sensor de nivel

En el caso de nivel de fluidos, el elemento sensor se seleccionó como un transmisor ultrasónico cuya señal de salida es un voltaje normalizado entre nivel de 0 a 5,8 Vcc, en verdad existe un parámetro importante a considerar al momento de implementar este dispositivo, que describe su vinculación con la variable física de nivel, y con la salida del transmisor voltaje, en este caso la relación es inversamente proporcional, es decir que en el nivel mínimo se tiene un voltaje de 5,8 Vcc, mientras que en el nivel máximo desciende el voltaje a 0 Vcc.

Tanto los niveles máximo y mínimo pueden ser calibrados de acuerdo a la necesidad que se requiera, regulando el tornillo dispuesto en la parte superior del sensor, la conexión se considera como un transmisor de análogas, siendo sencillo su conexión a 3 Hilos, a continuación muestra en la siguiente figura 36.

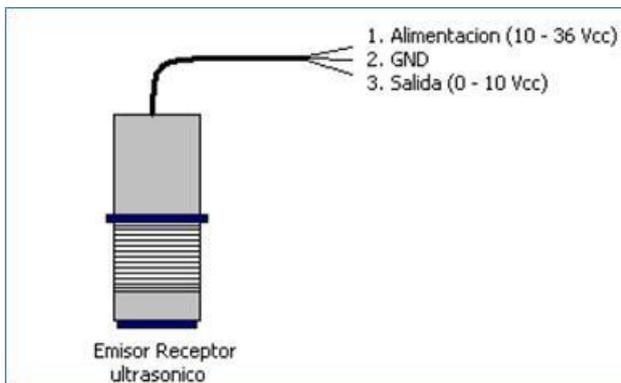


Figura 36 Transmisor ultrasónico de nivel

Fuente: (Espe, 2008)

3.4 Componentes del Software

Es importante considerar los paquetes de software computacional para dicho manejo de control automatizado, debido a que sin ellos no se pueden mover ningún tipo de elemento a controlar, en este caso para la programación tanto la parte de control y enlace es primordial la utilización de

diversos software como son RsLogix Gateway, RsLogix 5000, RsNetwork, Faktory Talk Machine Edition y Factory Talk Site Edition.

3.4.1 Software de Programación

a. Software RSlinx

Es un completo servidor de comunicación que proporciona conectividad con diversos dispositivos de control en la marca Allen Bradley, Entre estas aplicaciones se incluyen desde aplicaciones de configuración y programación tales como RSLogix y RSNetWorx hasta aplicaciones HMI (interfaz operador-máquina) como RSView32, puede utilizarse con los siguientes sistemas operativos, en la siguiente figura 37 indica los pasos para iniciar el dicho software.

- Microsoft Windows XP, XP SP1 o XP SP2
- Microsoft Windows Server 2003 SP1 o R2
- Microsoft Windows 2000 SP4
- Microsoft Windows Vista Business (32 bits) y Vista Home Basic (32 bits)
- Microsoft Windows 7 (64 bits).

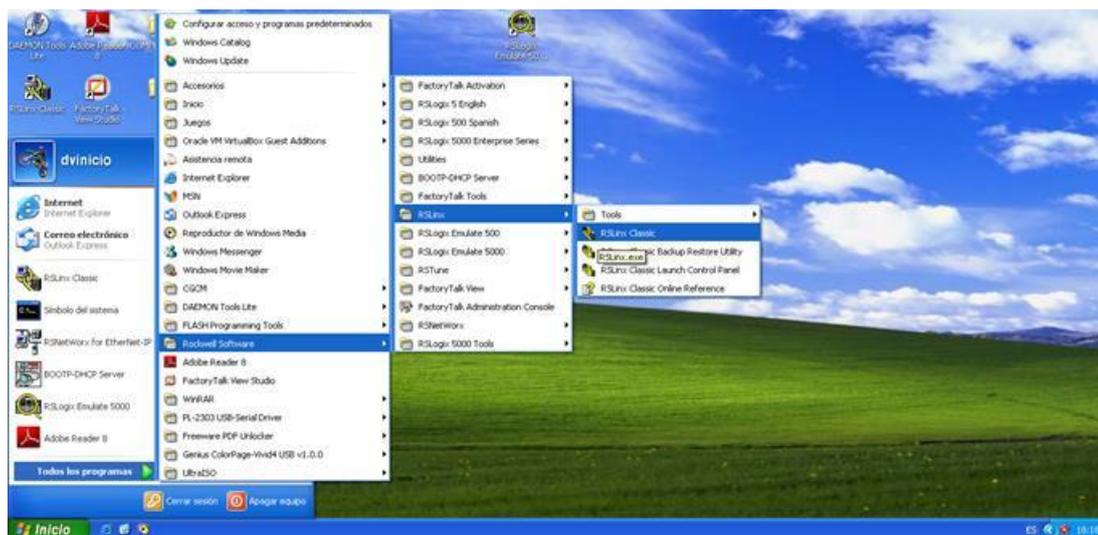


Figura 37 Utilización del Rslinx

- **Uso de RSWho .-** RSWho es la ventana principal de RSLinx Classic que muestra las redes y dispositivo en un estilo similar al de inicio de Windows, figura 38.

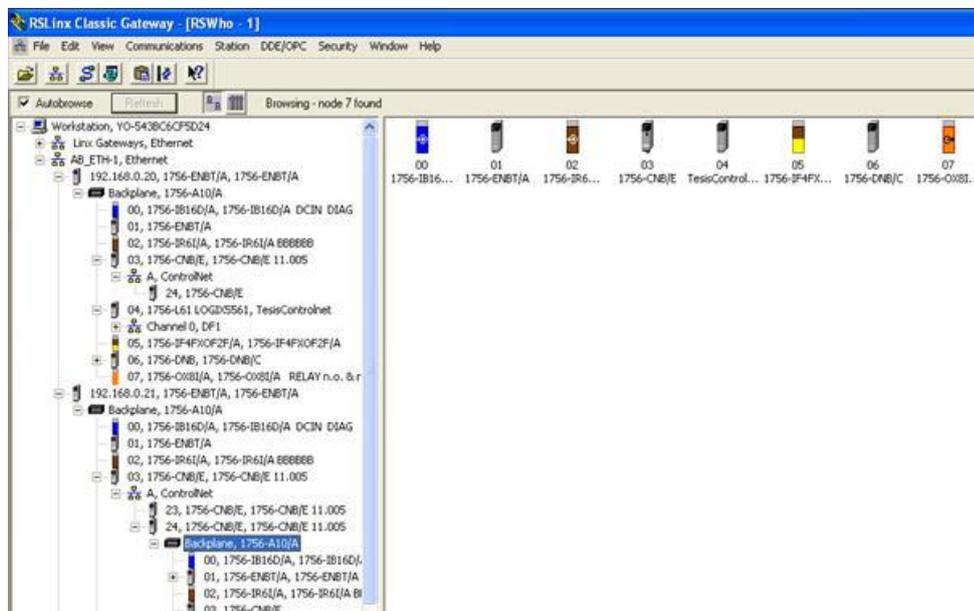


Figura 38 Menú de dispositivos en la Red

b. RSLogix 5000

Este software ha sido diseñado para funcionar con las plataformas de Rockwell que cumple con diversas normativas, donde ofrece editores de lógica escalera con relés, textos estructurados, diagrama de bloques y para el desarrollo de aplicaciones informáticas, también admite configuración y programación de eje para el control de movimiento. No obstante se recomienda utilizar un SO de capacidad moderada, admite Windows XP, SP2, SP3, Windows Vista y Windows 7. Figura 39.

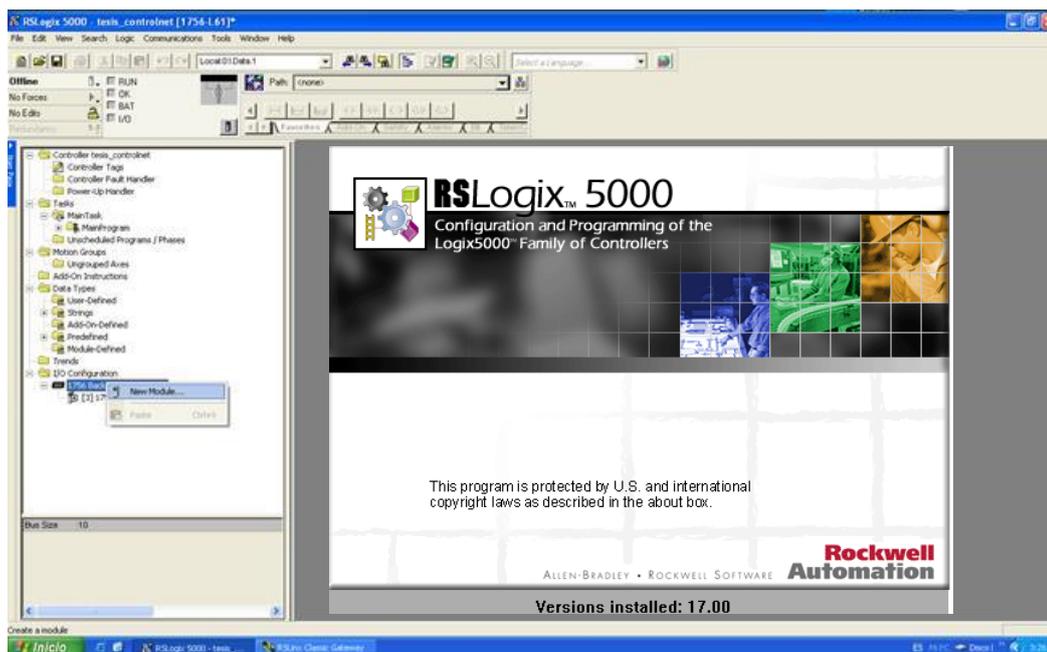


Figura 39 Pantalla e inicio de RSLogix 5000

3.4.2 Software de visualización

a. FactoryTalk View Machine Edition

Este software nos permite realizar la programación grafica del HMI en el Panel View plus 1000, dando la facilidad de direccionar la comunicación al panel gráfico, se debe conocer claramente los pasos para configurar y direccionar los tags adecuadamente para que al simular funcione correctamente, además este software de ingeniería permite animar, modificar el sistema de proceso de la planta de nivel dando a conocer su estado de funcionamiento y las magnitudes, cabe señalar que es el único para la programación de las pantallas táctiles en cuanto de lo que es en Allen Bradley, a continuación muestra la pantalla de inicio y su presentación como software, figura 40.

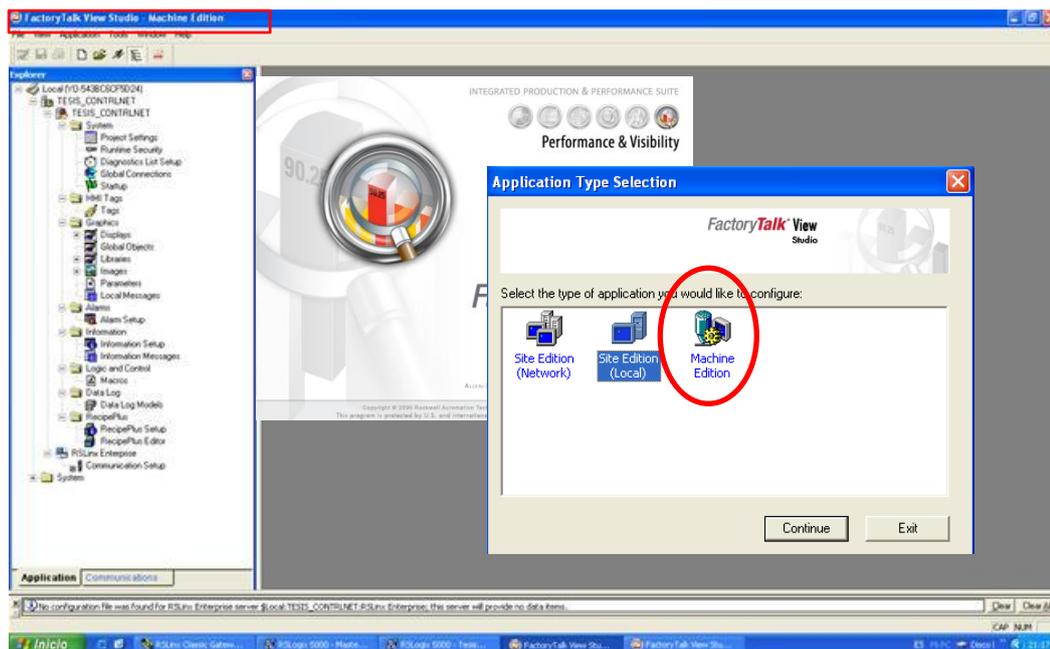


Figura 40 Pantalla e inicio de FactoryTalk View-ME

b. FactoryTalk View Site Edition

El software de Factory Talk View Site Edition es una de las ediciones de Rockwell Automation que sirve para la visualización del HMI en un computador de escritorio o a su vez una portátil, sin embargo sirve como un software de ingeniería para la programación grafica del sistema de control de nivel del tanque, de igual forma con los tags generado en el Rslorigx 5000 para este proyecto se utilizó la lógica escalera con relés. Además se debe conocer funciones del propio software, con la ayuda del manual se conoce diferentes funciones de la aplicación que se coloca para su funcionamiento y animación especial, como se requiera en el “control Rom” o su vez el nivel de gerencia. Figura 41, indica el inicio del SE.

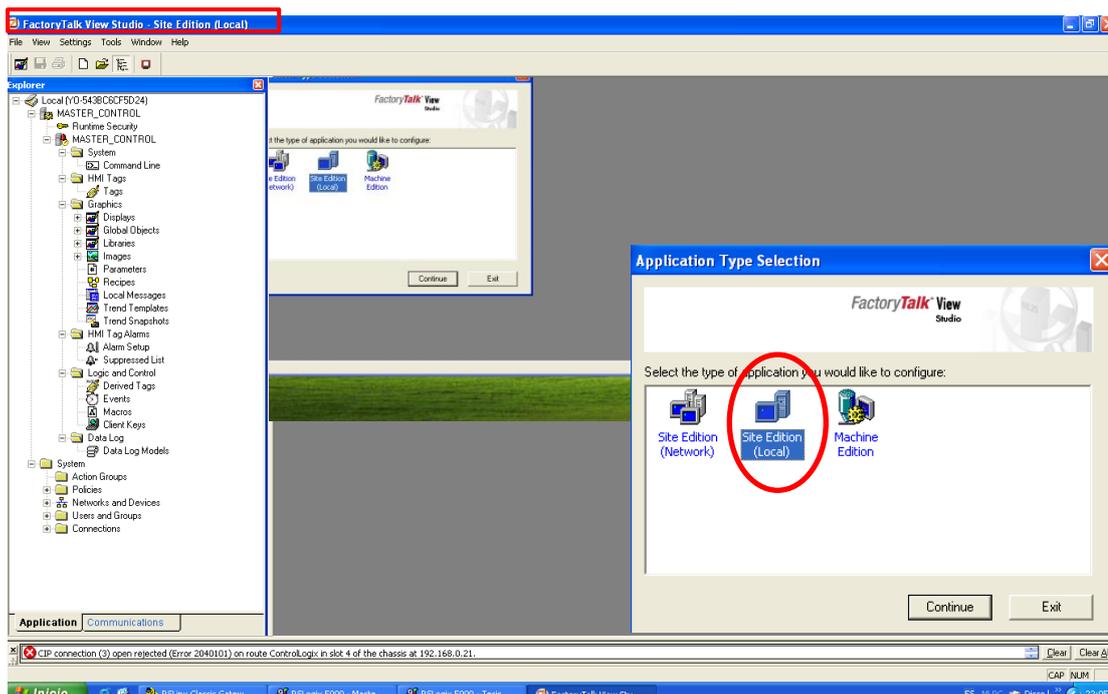


Figura 41 Pantalla e inicio de FactoryTalk View-Site Edition

3.4.3 Software de configuración de red

a. Software RSNetworx

Este software es una de las herramientas para la configuración de la red de control, que además de prestar configuración también permite crear una presentación grafica de la configuración de la red y configurara los parámetros que la definen para las redes industriales, en este capítulo se trata de ControlNet, donde se puede programar componentes de la red, el software calcula automáticamente el ancho de banda de toda la red, además del ancho de banda usado por cada componente de la red, se debe disponer de software RSNetWorx para configurar y guardar los programas del controlnet, no obstante la red Ethernet/IP, se puede configurar dispositivos como el panel view, VSD conectados a Ethernet mediante direcciones IP o nombres de computadoras principales, a continuación en la figura 42, muestra el acceso al dicho software.

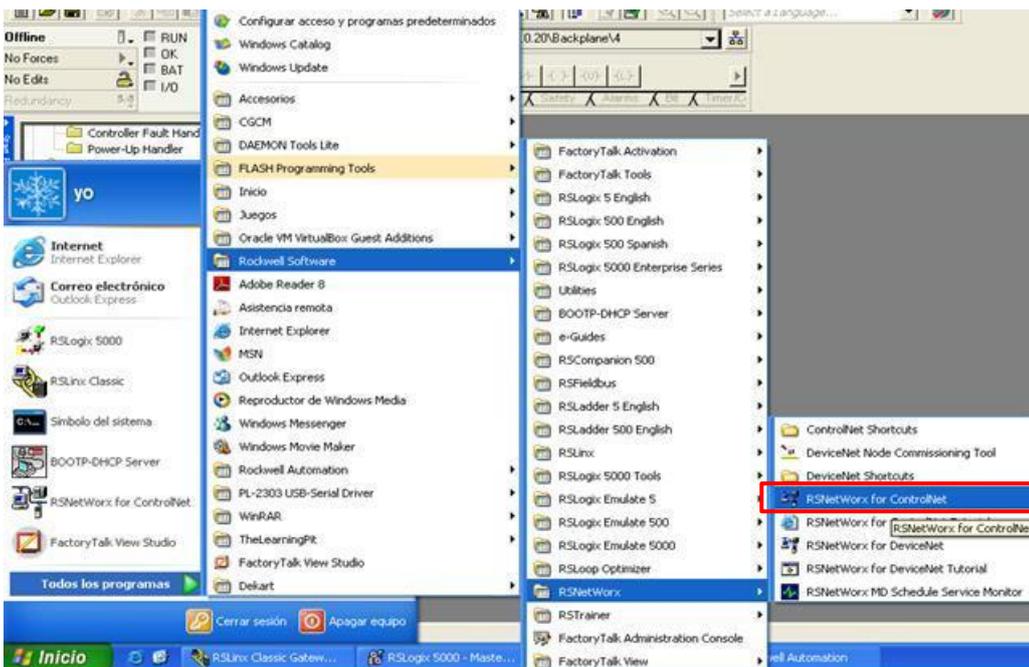


Figura 42 Acceso al RsNetworks

En este capítulo se describe todo acerca del software requerido para la implementación de la red ControlNet, a continuación en la figura 43, indica la siguiente ventana, donde en verdad podemos configurar de forma manual y automática respectivamente para la programación.

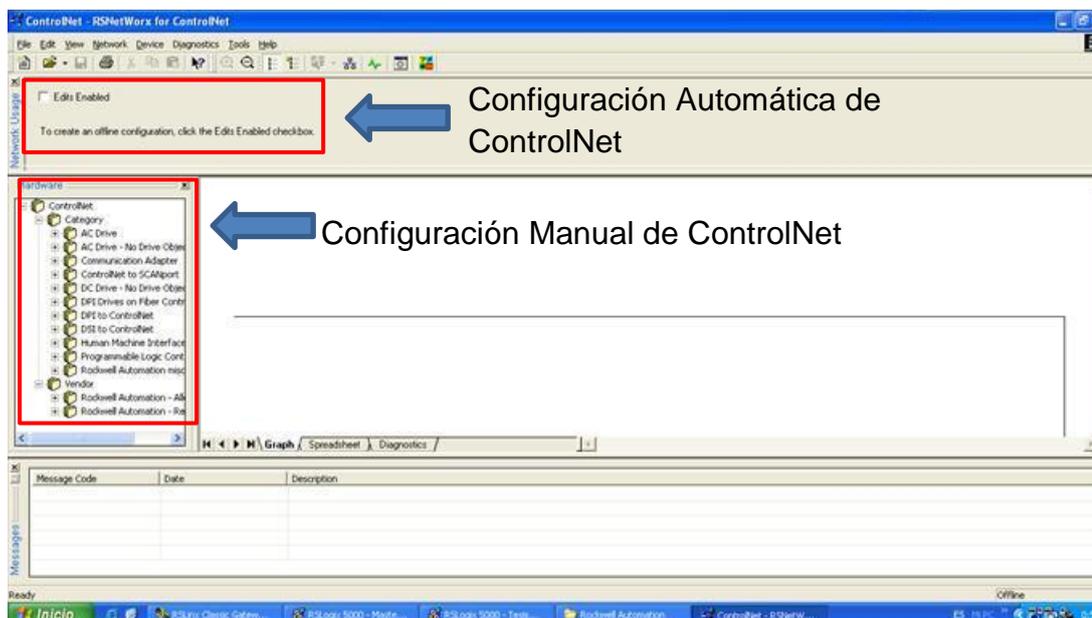


Figura 43 Opciones para la configuración en ControlNet

3.5 Conexión de la Red de Comunicación

Para la conexión de la red es relevante considerar los dispositivos mencionados anteriormente, conjuntamente el desarrollo de la plataforma de la arquitectura de Rockwell- Automation, Netlinx.

3.5.1 Establecer el diseño del sistema de automatización.

Se considera los equipamientos o sistemas montados en los módulos del Laboratorio de PLC, como también se encuentran en las industrias, la parte principal es la automatización para el control y monitoreo de la variable física de nivel, dando un enfoque primordial a la red de comunicación industrial Controlnet entre dos Controladores, de forma que se planteó un esquema a modo general de los pasos a seguir para este diseño de automatización, a continuación podemos observar el diagrama de flujo. Figura 44.



Figura 44 Diagrama de Flujo para la implementación del Diseño

3.5.2 Esquema de Diseño para la red de comunicación ControlNet y el sistema de proceso

Para la planificación del sistema de control y monitoreo se utiliza la red controlnet entre los dos controladores L61, con sus respectivos conectores exclusivos para esta red, elemento de control para el motor el variador de velocidad Powerflex 700, para logra el HMI fue impotente el dispositivo panel view Plus 1000, todos de marca Allen Bradley, por ultimo otros dispositivos como, cables de Ethernet, switch fuentes de alimentación, entre otros. Figura 45.

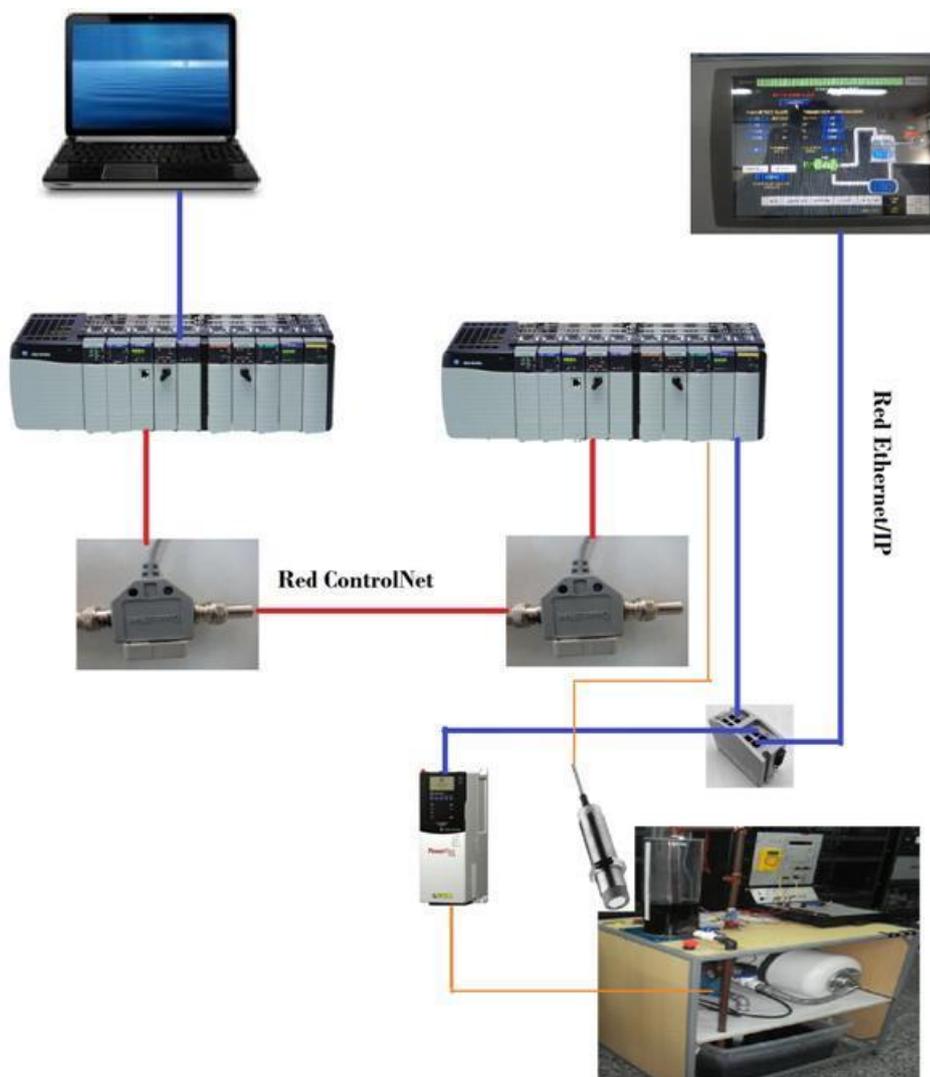


Figura 45 Diseño de la Red ControlNet

3.5.3 Configuración General de las redes para la comunicación

No obstante para este subtema se muestra un esquema de flujograma general para la configuración de cada uno de los dispositivos involucrados en las dos redes de comunicación propuestas, para el desarrollo del sistema de comunicación del proyecto dicho, tanto de información (Ethernet I/P) y la de control (ControlNet), de hecho la configuración conlleva a la integración de cada uno de los dispositivos correspondientes, en la siguiente figura 46, muestra la forma de secuencia.

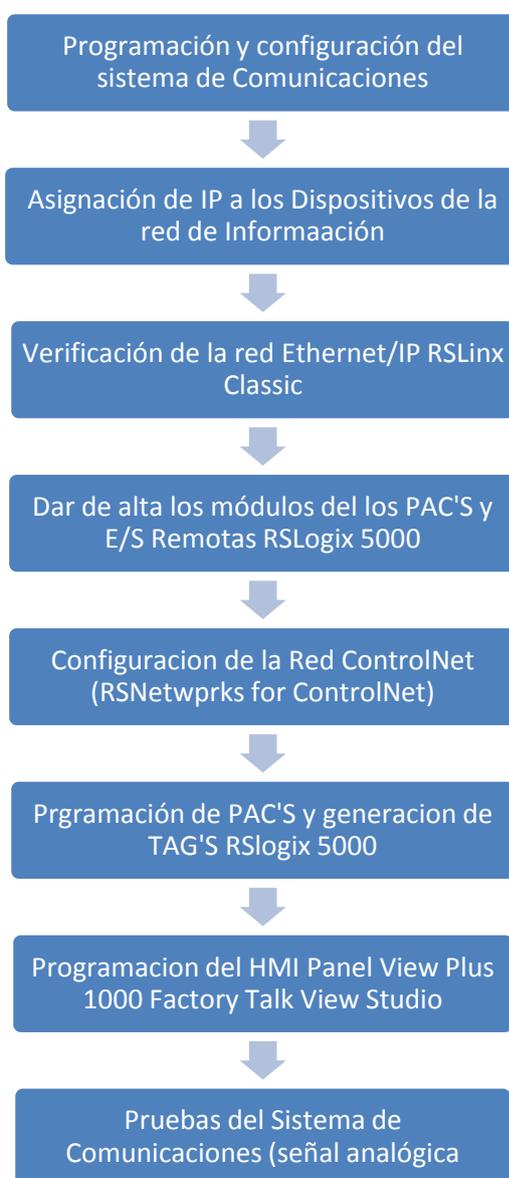


Figura 46 Diagrama de configuraciones para la comunicación

3.6 Cables y Conectores para las Redes

Para utilizar la conexión del módulo de Ethernet 1756-ENBT/A con el ControlLogix L5561, en la dicha red necesita de los siguientes elementos por lo que solamente se tiene una sola entrada en el módulo Ethernet;

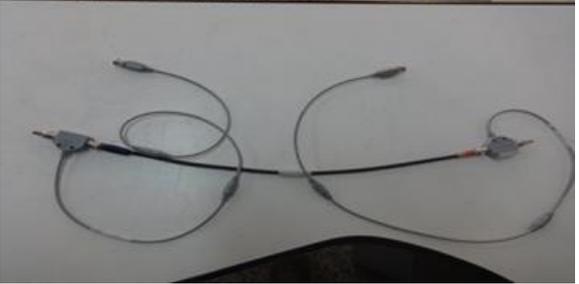
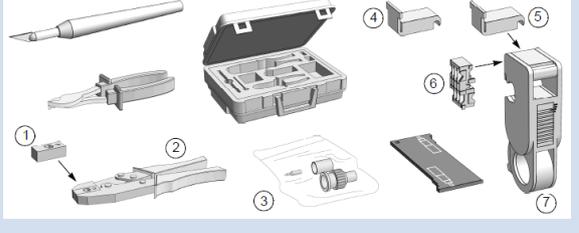
- Cable de red RJ45, categoría 5E UTP.
- Fuente de Alimentación propia para el switch
- Switch Industrial
- Fuente de 24 Vcc para el Sensor Ultrasónico

3.6.1 Conexión y Construcción del cable Controlnet

Para la conexión de la red ControlNet se debe considerar las características principales de cable para la red, en el tratado anterior de selección de materiales indica el cable y el conector adecuado, por lo tanto se procede al ensamblaje del cable en la siguiente tabla 8, donde indica el proceso de construcción y ensamblaje del cable.

Tabla 8

Proceso del Ensamblaje del cable ControlNet

| Detalle de la Conexión | Imagen |
|---|--|
| <p>Cable de red ControlNet estructurado para su utilización</p> |  |
| <p>Herramientas especiales para ensamblar los conectores ControlNet</p> |  |

CONTINÚA 

Cortar el cable ControlNet RG-6



Tomar las medidas indicadas en las instrucciones de los conectores ControlNet de Allen Bradley, Para realizar el corte



Colocar los conectores 1786-BNC en los cables ControlNet



Unir el terminal Trunk line y la resistencia de 75Ω 1786-XT a la derivación TPS

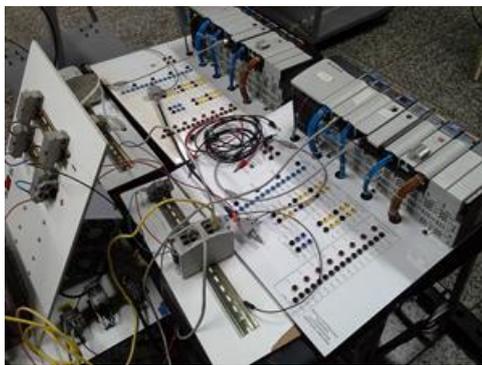


3.6.2 Conexión del Sistema implementado

Para el conexionado de la implementación requiere estructurar la arquitectura partiendo de la investigación con redes industriales, por lo tanto en la siguiente tabla 9, muestra el sistema implementado con la red ControlNet y la subred Ethernet.

Tabla 9

Conexión de la Red ControlNet en el sistema



Conexión mediante el cable RJ45



Switch industrial para Ethernet



Conexión ControlNet entre L61



Panel View Plus 1000, conexión en el switch



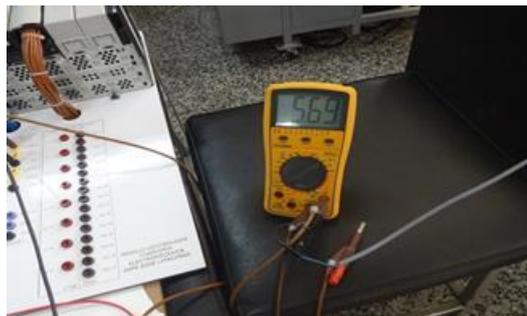
VSD variador PowerFlex 700 en el switch



Conexión implementada para ControlNet

CONTINÚA





Conexión del sensor y medición utilizando el Multímetro



Sistema-control de Nivel



3.7 Implementación para la Comunicación Controlnet

Para poner en marcha este proyecto se considera los elementos que componen para la red industrial ControlNet/Ethernet se debe seguir paso a paso para el desarrollo de la programación en diferentes software que proporcionen correctamente la funcionalidad del sistema, por lo tanto se realiza una subdivisión de configuraciones por etapas;

- Programación en el ControlLogix L61
- Configuración de red Controlnet y Ethernet
- Control PID del sistema de control de nivel
- Diseño del HMI

3.8 Programación en los ControlLogix

El fabricante Rockwell Automation proporciona el software y su firmware de programación, el cual es ineludible para los dispositivos de Allen Bradley, en primera instancia el reconocimiento con la red es primordial para luego terminar programando, se empieza por Rslinx y RSlogix 5000.

3.8.1 Direccionamiento en los Equipos

Se trata de nombrar a los dispositivos con las direcciones IP, ya que cada uno de los elementos son determinados indistintamente, no pueden tener la misma dirección, por lo que provoca conflictos en la red, para este casos se asigna diferentes direcciones a cada uno de los dispositivos, donde los primeros bytes representa la red, mientras que los dos últimos representa la estación de trabajo del dispositivo, ver tabla 10.

Tabla 10

Direcciones IP con su respectiva mascara de red

| COMPONENTES | DIRECCION IP | MASCARA DE RED |
|--------------------------------|---------------|----------------|
| PC-Escritorio | 192.168.0.100 | 255.255.255.0 |
| PLC ControlLogix Master | 192.168.0.20 | 255.255.255.0 |
| PLC ControlLogix Slave | 192.168.0.21 | 255.255.255.0 |
| VSD PowerFlex 700 | 192.168.0.22 | 255.255.255.0 |
| Panel View 1000 | 192.168.0.40 | 255.255.255.0 |

Para la asignación de las IP se lo puede realizar de tres modos diferentes, las cuales son; mediante el puerto serial **RS-232**, para el otro medio el propio fabricante posee un software de Rockwell **BOOTP-DHCP** server, se utiliza para verificar la dirección **MAC** del **VSD**, por último la red Ethernet una vez que este asignado se lo verifica mediante **PING** con el **CMD** del sistema, dar clic en el menú de inicio de Windows, luego dar clic en ejecutar, enseguida digitar **cmd>enter**, por ultimo dentro del comando realizar ping, por ejemplo: **ping 192.168.0.100**,

Además es importante asignar la dirección físicas de 00-99 de las tarjetas ControlNet, para ello se debe manipular con un destornillador, a continuación en la siguiente tabla 11 muestra la dirección introducida.

Tabla 11**Direcciones del módulo 1756-CNB**

| TARJETAS CONTROLNET | DIRECCIÓN FISICA |
|-------------------------|------------------|
| ControlNet 1756-CNB Uno | 23 |
| ControlNet 1756-CNB Dos | 24 |

3.8.2 Configuración de la IP en la PC

Para configurar la dirección IP de la computadora se debe conocer el estado y el nombre de la tarjeta de red de la computadora, a continuación en la siguiente figura 47 indica el parámetro a considerar, luego dar clic derecho para verificar las propiedades de la tarjeta de red en TCP/IP4.

**Figura 47 Icono de Red**

Luego de verificar las propiedades de la tarjeta de red, se procede a enfocar en los protocolos para asignar la dirección IP 192.168.0.100 y la máscara de red 255.255.255.0 de la computadora, donde el protocolo es importante en todas las unidades de central de proceso equivalente a la computadora, para guardar los cambios se debe dar clic en aceptar, ver figura 48.

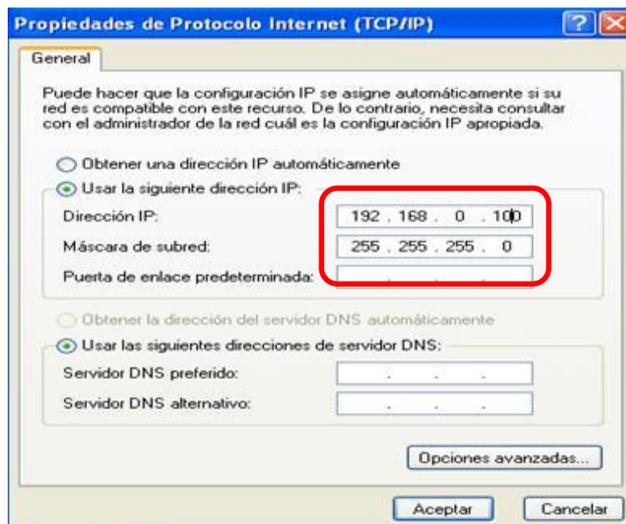


Figura 48 Asignación de IP en el Computador

3.8.3 Asignación de la IP al PLC

Para la asignación de la dirección **IP** al **PLC** se lo realiza mediante el uso del cable serial RS-232 a USB, este se instala mediante el software del cable, para ser conectado en el controlador a la computadora, una vez instalada automáticamente reconoce como un puerto **COM 1** de selección, independiente a otros controladores **COM** existentes, ya sean dispositivos de impresoras u otros, a continuación en la figura 49 indica el cable para este propósito.

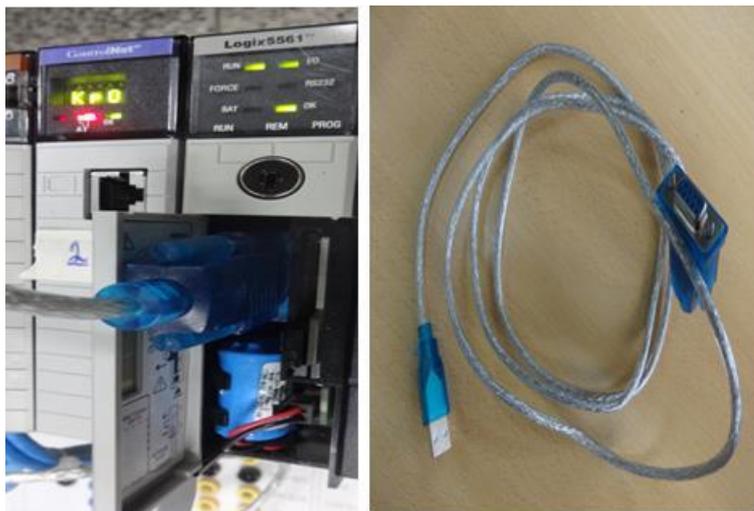


Figura 49 Cable serial RS-232

Luego de realizar la conexión entre el PLC y Pc, en la PC se debe dar clic en inicio, enseguida clic derecho sobre propiedades, a continuación en la figura 50 muestra el paso para llegar a las propiedades.



Figura 50 Propiedades de Mi PC

Ahora clic derecho en las propiedades del sistema, luego clic en administrador de dispositivos, en el administrador de dispositivos se revisa el puerto (COM & LPT), esto es necesario para direccionar en la configuración del PLC, ver figura 51.

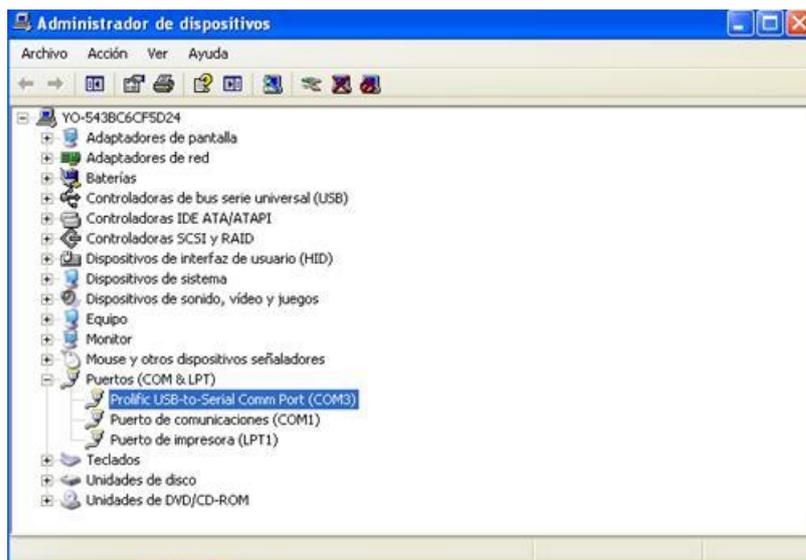


Figura 51 Visualizar el puerto Generado

Por ultimo para visualizar los módulos del L61 en el software nos dirigimos a inicio donde se procede abrir el software de Rockwell, una vez abierto la ventana de **Rslinx Classic** se debe dirigir al submenú **communication, Configure drivers**, ver figura 52.

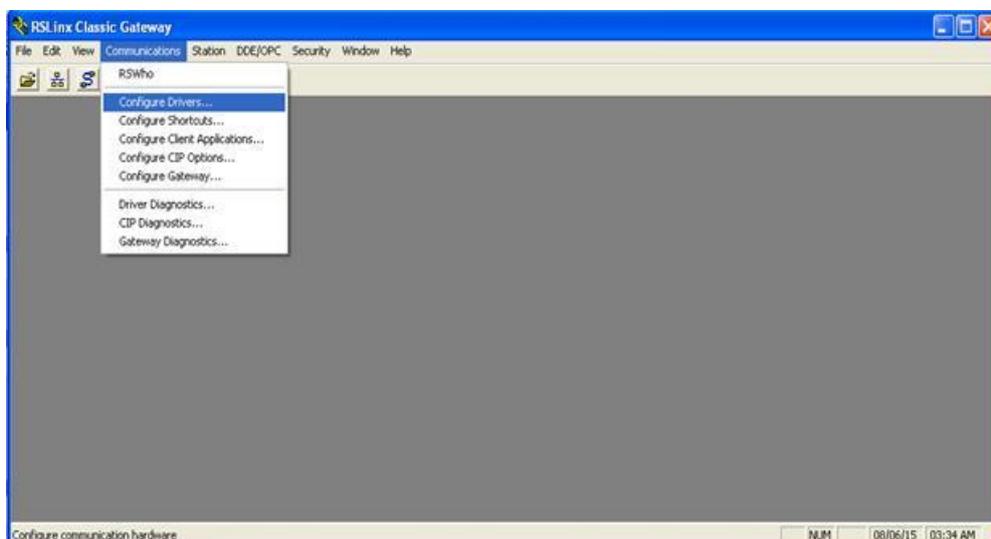


Figura 52 Ventana de RSLinx Classic

Al seguir configurando aparece algunos menús colgantes, la cual debe ser seleccionada apropiadamente ante el requerimiento, ver figura 53, por lo tanto se debe seleccionar el tipo de drivers mediante **RS-232 DF1 Devices**, poner **Add New**, por último en **OK**.

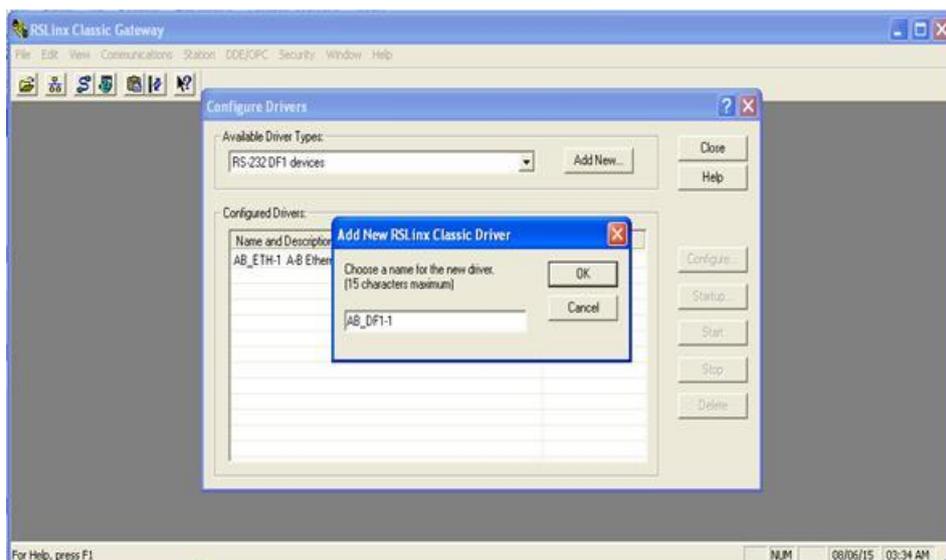


Figura 53 Configuración del Driver

A continuación aparece una ventana de Configuración del RS-232 DF1 Divices, donde se debe ingresa los siguientes parámetros; **COM3, Logix 5550/CompactLogix, 19200, 00, None, BCC, 1, Full Dúplex**, para terminar la configuración hacer clic en **AUTO-CONFIGURE**, donde nos muestra si es con éxito o fallo, en la figura 54 se puede apreciar los iconos configurados, para guardar los cambios hay que seleccionar OK.

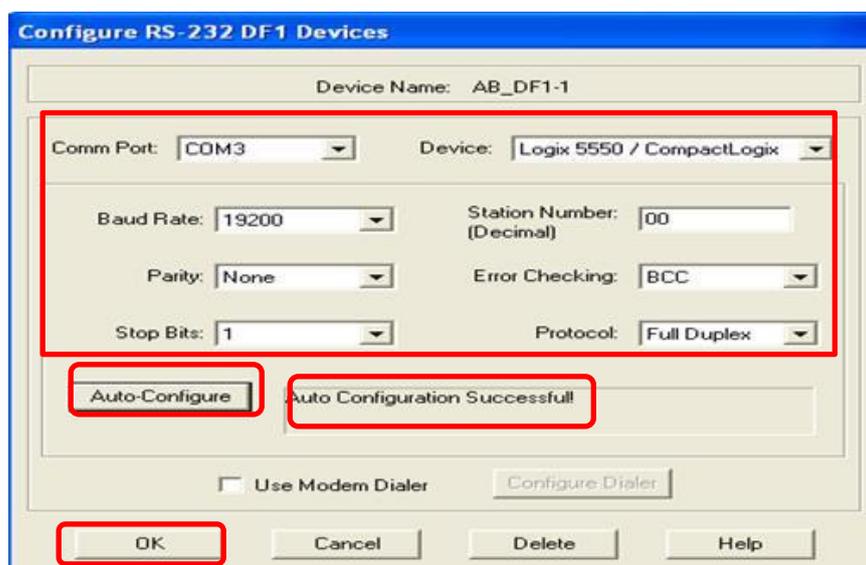


Figura 54 Parámetros de configuración

Si siguiendo los pasos adecuadamente, se puede comprobar dirigiéndose a **RSlinx Classic>Rswwho-1**, mediante el cual aparece el árbol de módulos del PAC ControlLogix, ver figura 55.

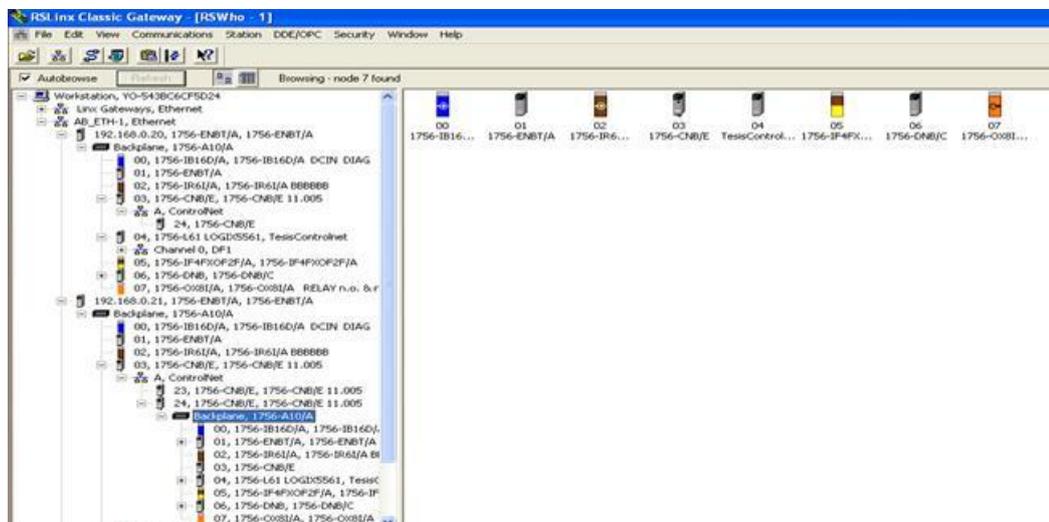


Figura 55 Visualización del PAC ControlLogix vía Serial

Para verificar las propiedades del módulo Ethernet se dirige sobre el icono de la tarjeta **1756-ENBT/A**, luego dar clic derecho sobre la misma para dirigir al parámetro denominado “Module Configuration” lo cual sirve para digitar la dirección, en este caso la dirección IP es **192.168.0.20** y su máscara de red es **255.255.255.0** el cual es dedicada para el L61 Master, mientras que para el Slave es el mismo procedimiento para llegar al objetivo deseado con la dirección IP de **192.168.0.21** y la máscara de red con **255.255.255.0**, todo este procedimiento se lo realiza mediante el cable serial, en la figura 56 indica el modo de configuración en el módulo, además se debe considerar la opción estática para que se mantenga fija la dirección IP.

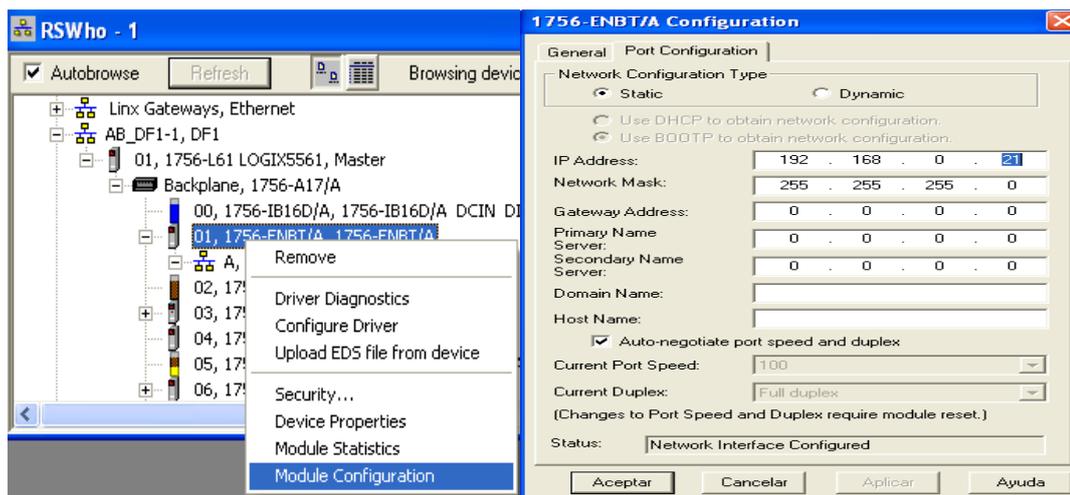


Figura 56 Configuración IP en el módulo de Ethernet del L61

Finalmente se debe guardar los cambios realizados en los menús colgantes dando clic en **aceptar**. Es recomendable dejar de utilizar el puerto serial RS-232 ya que la comunicación es lenta, por lo tanto se debe configurar para que se comuniquen mediante Ethernet, esta red es mucho más rápida para el manejo de proyectos en el software y también agrega los módulos al Rslogix 5000. En figura 57 se indica el software **RSLinx Classic** y las configuraciones con las direcciones IP correspondientes de la red Ethernet.

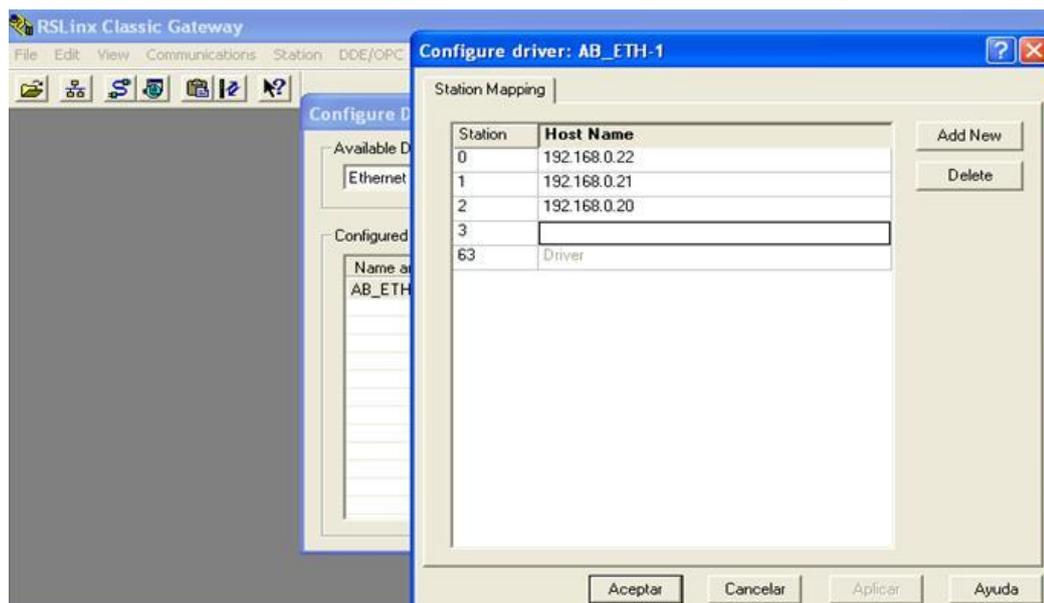


Figura 57 Agregando dirección IP para la utilización Red Ethernet

En consecuencia de la misma forma que mostro anteriormente la conexión vía **Serial RS-232**, en la figura 58 indica el árbol de comunicación del PAC ControlLogix utilizando la red Ethernet con la conexión del cable RJ45.

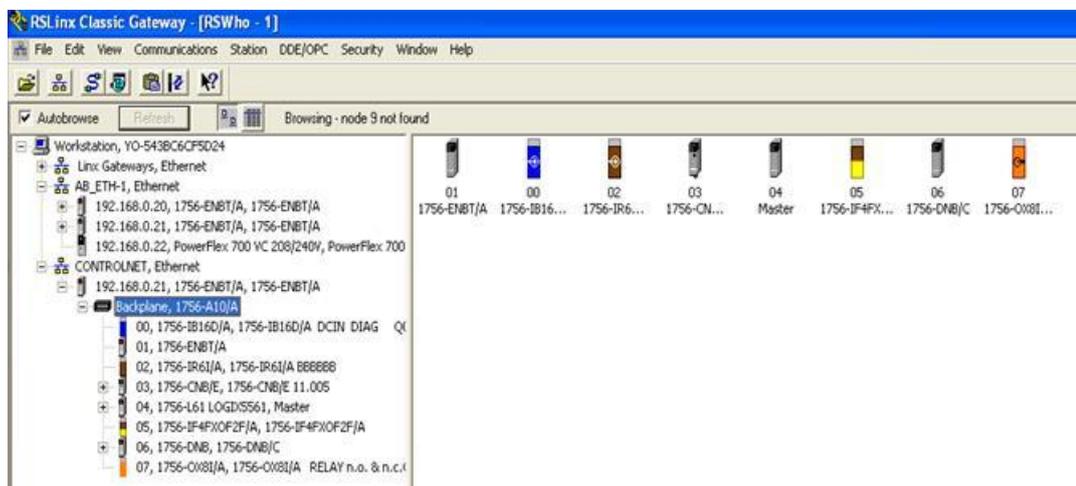


Figura 58 Visualización del PAC utilizando red Ethernet

3.8.4 Configuración del Panel View Plus 1000

Para configurar la dirección IP del Panel táctil de visualización de gráficos HMI, se realiza mediante el software de Rockwell, denominado **BOOTP-DHCP server** o de otra manera en el **propio panel operador**, para el siguiente caso se configura en la propia pantalla del panel view plus 1000, a continuación en la figura 59 indica los pasos a desarrollar la configuración. La configuración del panel View Plus 1000 requiere colocar en la pantalla principal, luego seleccionar la aplicación del **Terminal Setting [F4]> Networks and Communications**, con las flechas que indican realizar el desplazamiento, **> Network Conections> Network Adaptor> IP Address [F2]**, por Ultimo ingresar la dirección IP del Panel View Plus 1000, **192.168.0.40**, y su respectiva submascara de red **255.255.255**.

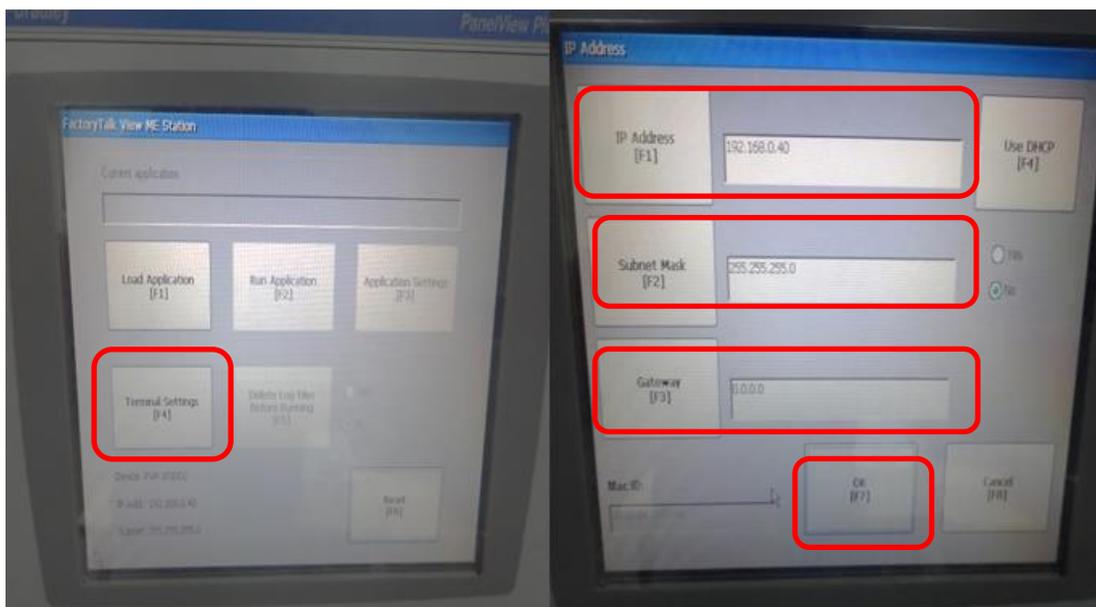


Figura 59 Configuración del Panel View Plus1000

Para guardar los cambios de la dirección IP se debe seleccionar la aplicación **OK [F7]**, luego se procede a resetear el terminal, para que se guarde la nueva dirección **IP** del Panel View Plus 1000, ver la figura 60 donde muestra la pantalla final de configuración.

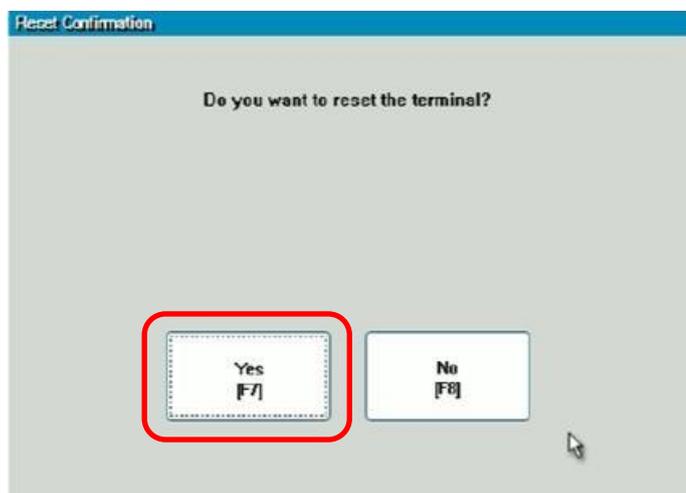


Figura 60 Resetear para la nueva IP del Panel View Plus1000

3.8.5 Configuración del Variador de velocidad PowerFlex 700

Es uno de los dispositivos que utiliza configuración compleja ya que en primera instancia se lo hace mediante el BOOTP-DHCP server, siendo necesario para el reconocimiento de la dirección MAC del variador de velocidad, una vez reconocida se asigna la dirección IP al dispositivo, luego se empieza paso a paso a configurar en el software, en la siguiente figura 61, indica el terminal a configurar, luego hacer clic en **Tools>Network Settings> Agregar** la submascara de red **255.255.255.0**

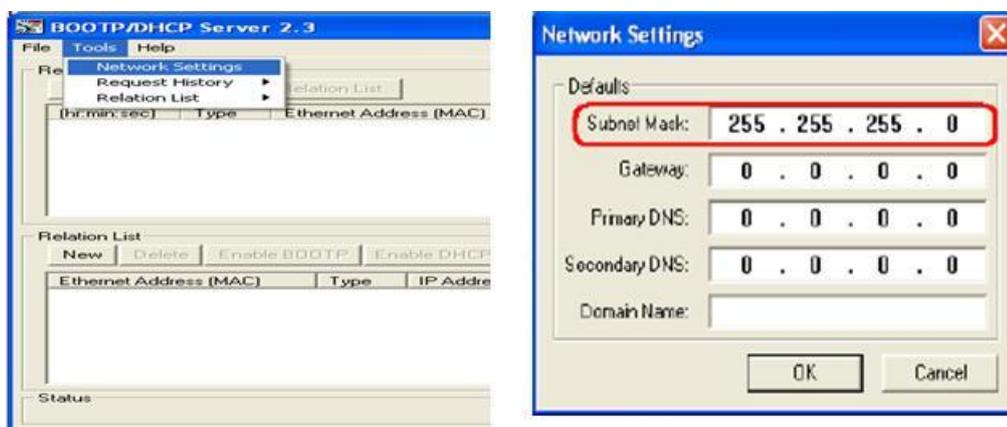


Figura 61 Configuración IP del VSD en BOOTP-DHCP server

Luego para guardar los cambios de la red hacer clic en **OK**, seguido conectar mediante el cable de red Ethernet al variador powerflex 700 con la PC, la función servidor BOOTP-DHCP es hacer que reconozca la dirección MAC del VSD, ver figura 62.

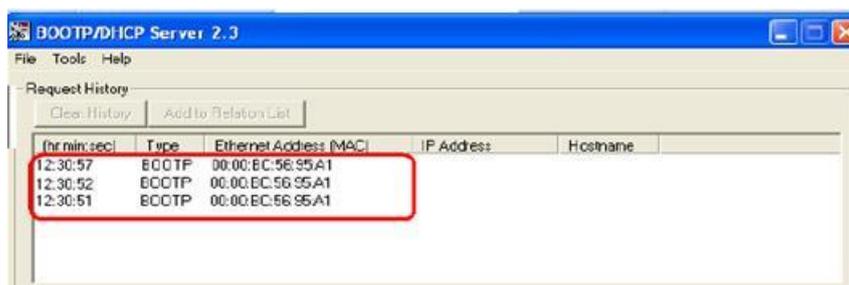


Figura 62 Dirección MAC del VSD

Luego hacer doble clic en las direcciones MAC donde aparece una ventana emergente lo cual sirve para direccionar al VSD con **192.168.0.22**, seguido dar doble clic en **OK** para guardar la dirección signada correctamente, finalmente es importante **deshabilitar** el servidor **BOOTP-DHCP** para que la dirección se guarde, de lo contrario tiende a variar, ver figura 63.

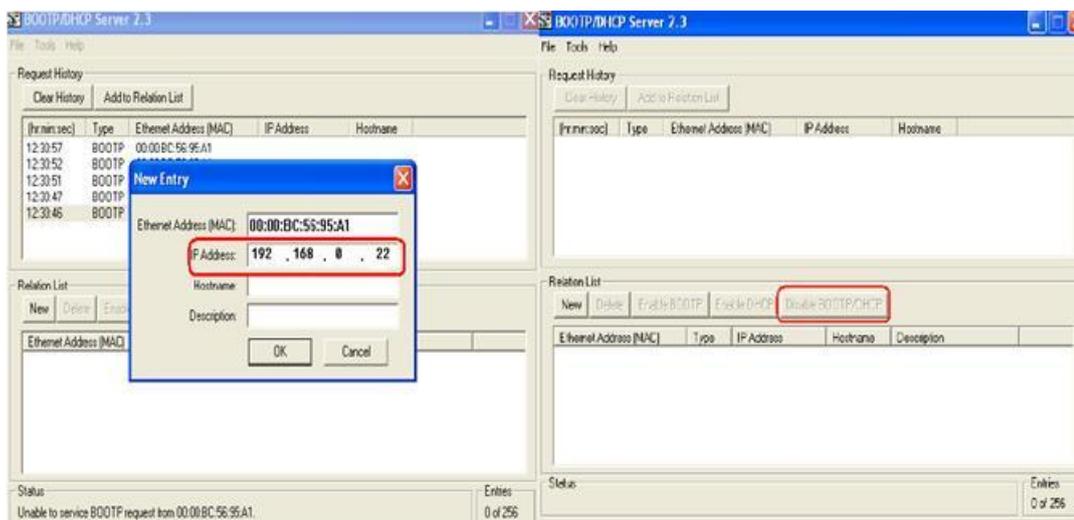


Figura 63 Dirección IP y la deshabilitación del BOOTP

Por ultimo resta revisar con el software **RSLinx Classic** la comunicación realizada con el VSD y la PC, a continuación en la figura 64 se observa al variador de velocidad PowerFlex 700 asignado con la dirección IP.

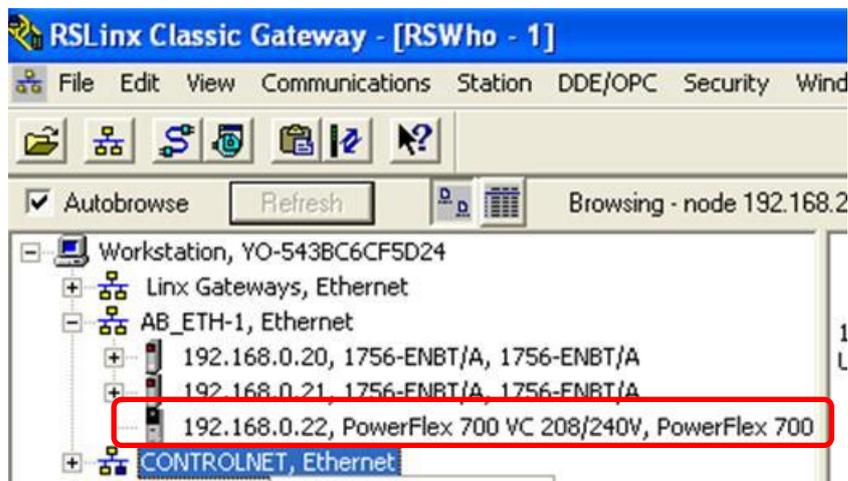


Figura 64 Visualización del VSD en la red

3.8.6 Configuración del Módulo de Análogas en Rsllogix 5000

Para la configuración del módulo de entradas y salidas analógicas 1756-IF4FXOF2F se debe dirigir a la tecla de inicio de **Windows>Todos los Programas> Software Rockwell> RSLogix 5000**, tal como se ilustra en la figura 65 iniciando el software.

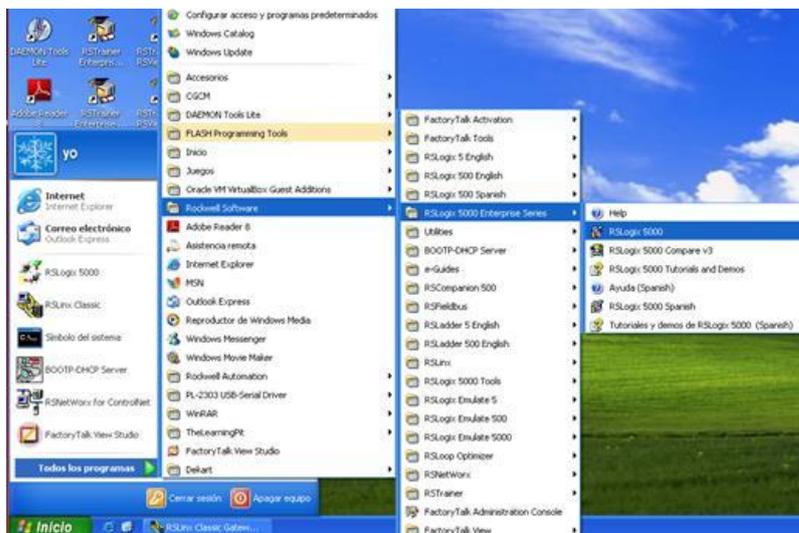


Figura 65 Inicio del Software RSLogix 5000

Después de haber iniciado el software de programación lógica, se procede a configura el módulo, para este caso nos interesa el módulo de entradas y salidas analógicas, a continuación **iniciamos el nuevo proyecto** tal como se ilustra en la siguiente figura 66.

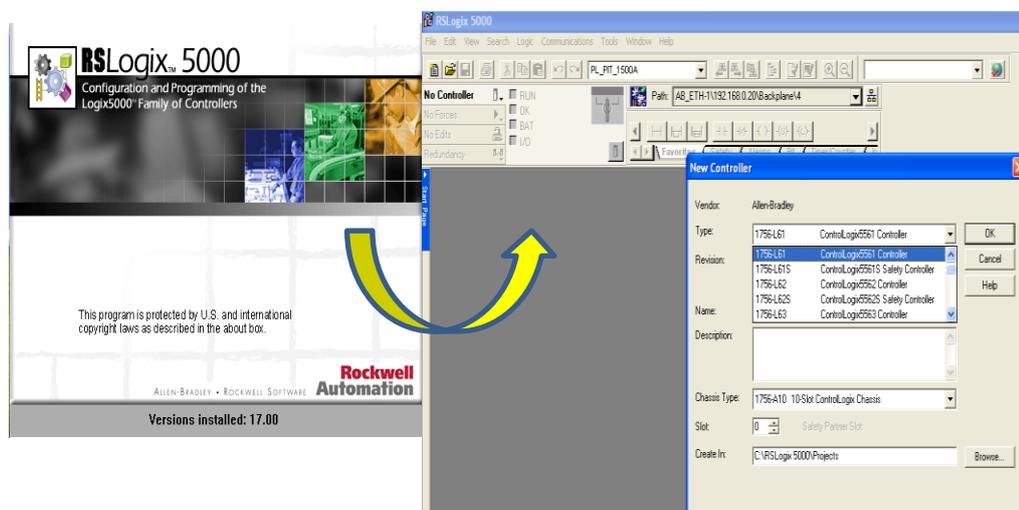


Figura 66 Inicio del Software RSLogix 5000

Luego se coloca el nombre al controlador para hacer referencia la programación y también añadir más módulos del L61, en la siguiente figura 67 indica las siguientes ventanas.

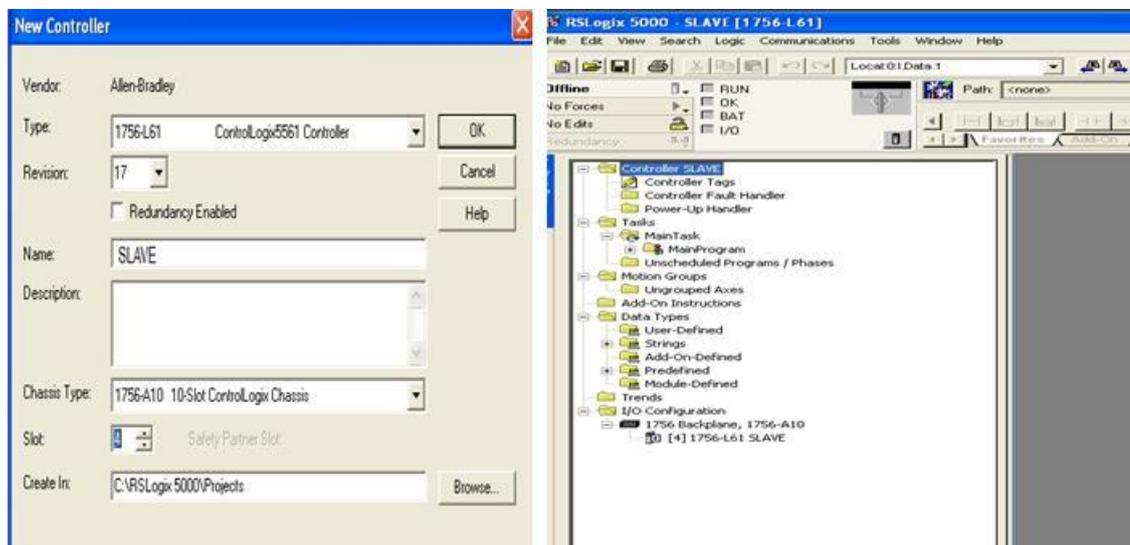


Figura 67 Añadiendo nombre al controlador Slave

Ahora dar clic derecho en **I/O Configuration** añadir nuevo módulo, a continuación en la siguiente figura 68 indica el modelo en la ventana.

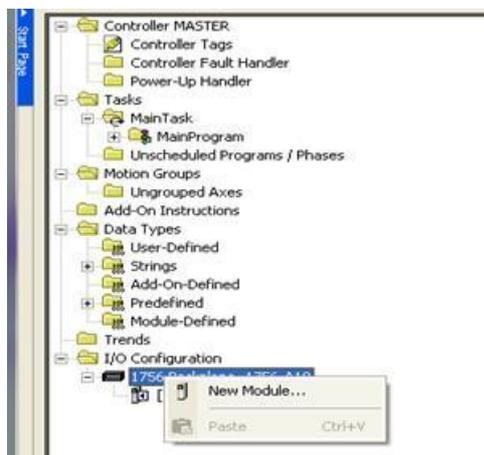


Figura 68 Añadiendo nuevo Modulo

Seguidamente en la figura 69 indica un listado de parámetros de selección con los módulos ya sean de comunicación, entradas-salidas digitales y analógicas, y por último el controlador Allen Bradley.

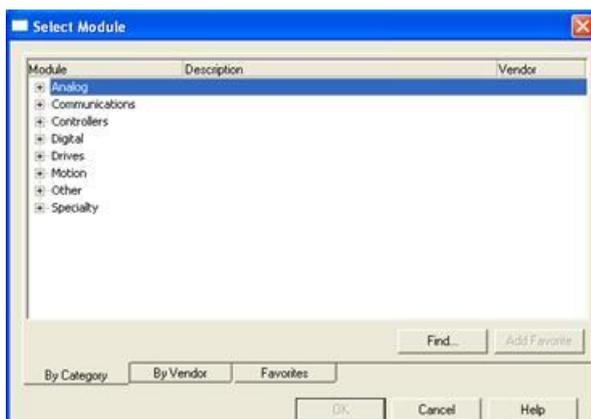


Figura 69 Ventana para seleccionar módulos

Por lo tanto se debe seleccionar el tipo de módulo > **análogas 1756-IF4FXOF2F/A**, dar doble clic para seleccionar el dicho modulo, en consecuencia de haber seleccionado dar clic en **OK** para guardar los cambios, a continuación en la figura 70 se ilustra la ventana de listado de **analog**.

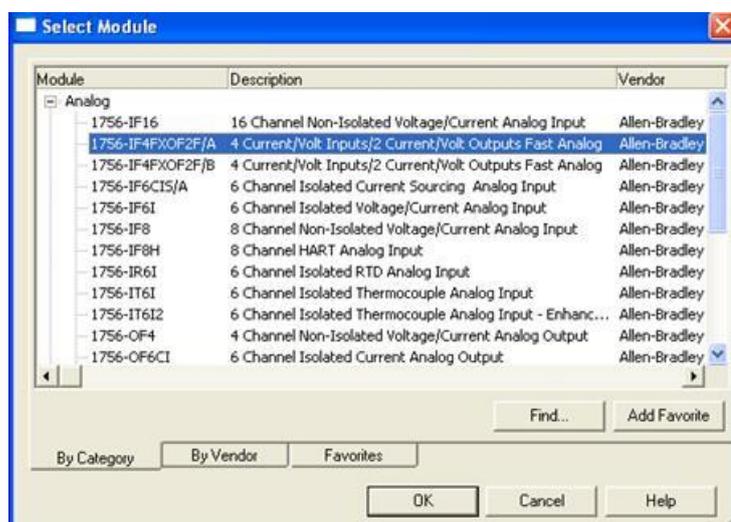


Figura 70 Modulo de Entrada y Salida Analógica

En el módulo analógico se asigna el nombre de **IN_OUT_ANALOGI**, luego seleccionar los parámetros del **slot 5 > Float Date**, además se debe considerar la revisión del módulo utilizando el Rslinx Classic, **Compatible Keying**, para finalizar dar clic en **OK**, en la siguiente figura 71 muestra tanto los parámetros y valores seleccionados.

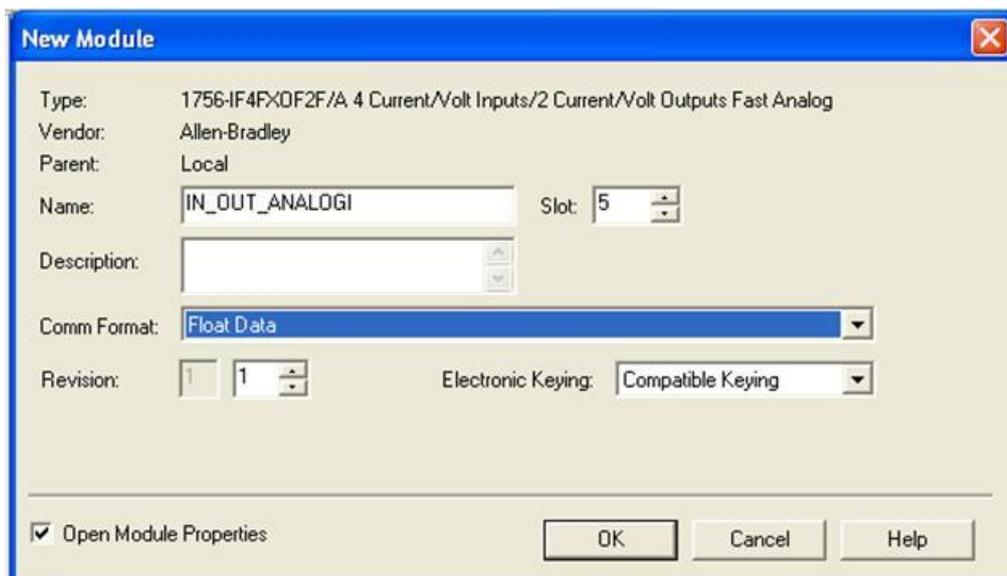


Figura 71 Parámetros del módulo 1756-IF4FXOF2F

Una vez ingresado en el módulo se debe seleccionar **Connection**, en el RPI, que significa intervalo de respuesta de paquete, luego se escribe el valor de **160 ms**, a continuación en la siguiente figura 72 indica la parte del módulo.

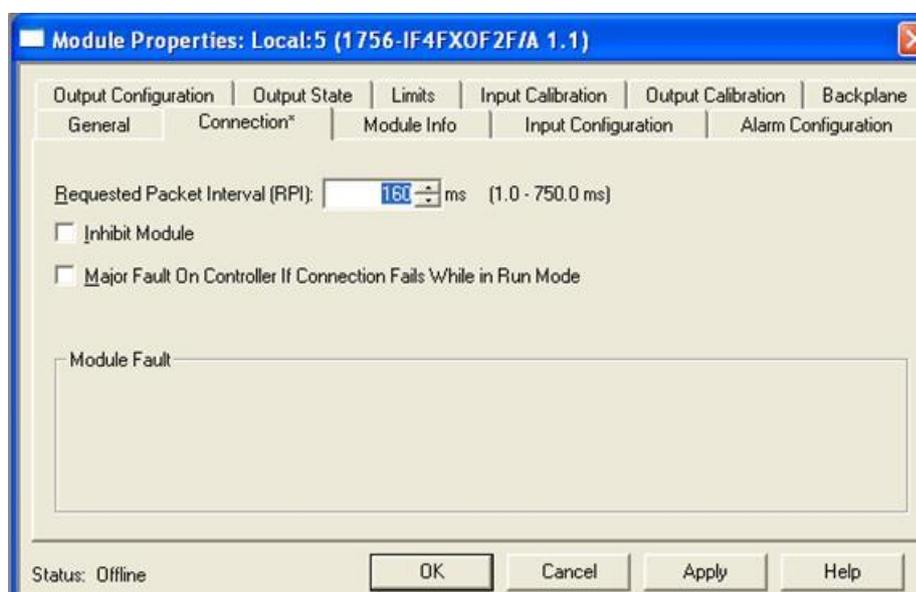


Figura 72 Configuración del RPI

Para finalizar la configuración del módulo de entrada analógica, seleccionar el canal donde va conectado el sensor ultrasónico, para ello es

necesario **acondicionar** la **señal** de **voltaje** del sensor, el cual entrega una señal de **0** a **5.8 Vcc** , dicha señal se coloca en el parámetro de **Scaling** , mientras que en **High Engineering** se coloca el valor de **0** y en **Low Engineering** el valor de **100** , el tiempo de muestreo se dispuso el valor de cada **10 ms** , el rango de voltaje de entrada para el canal es de **0 V a 10 V** , todas la configuraciones importantes se muestra en la siguiente figura 73.

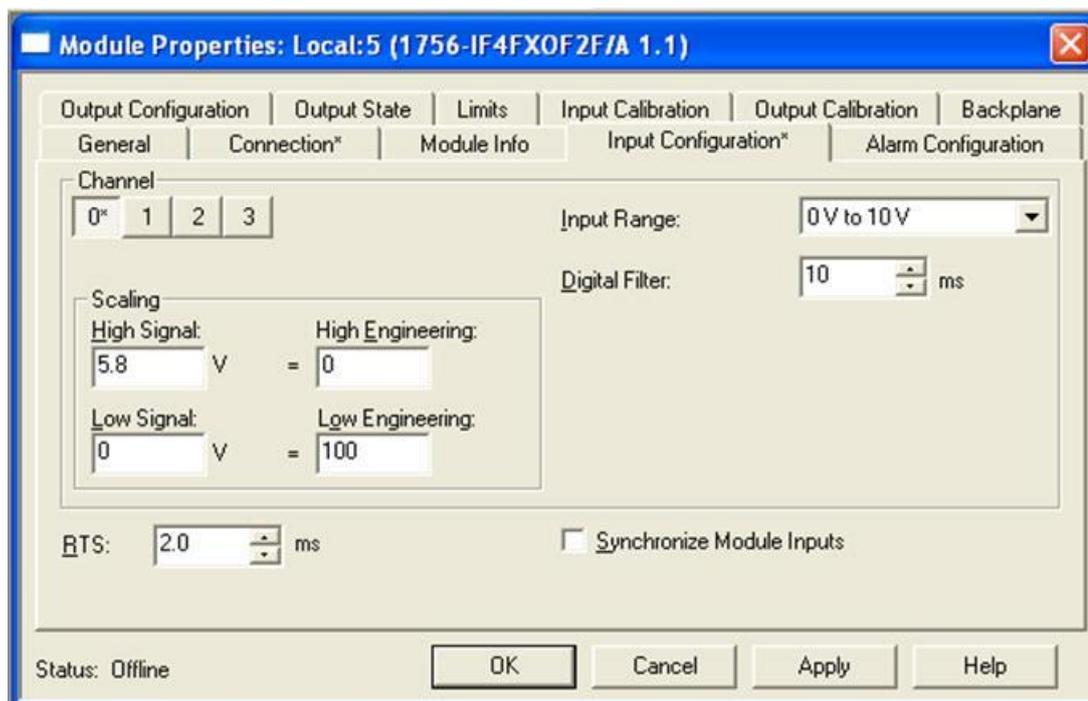


Figura 73 Configuración del canal de Entrada

Luego revisar el data sheet del módulo de entrada y salida analógica **1756-IF4XOF2F**, para realizar las conexión necesaria de la señal de sensor no hace falta filtros porque la tarjeta está diseñada para aplicaciones rápidas, por ser un equipo industrial, a continuación en la siguiente figura 74 muestra la conexión típica de una señal analógica de voltaje.

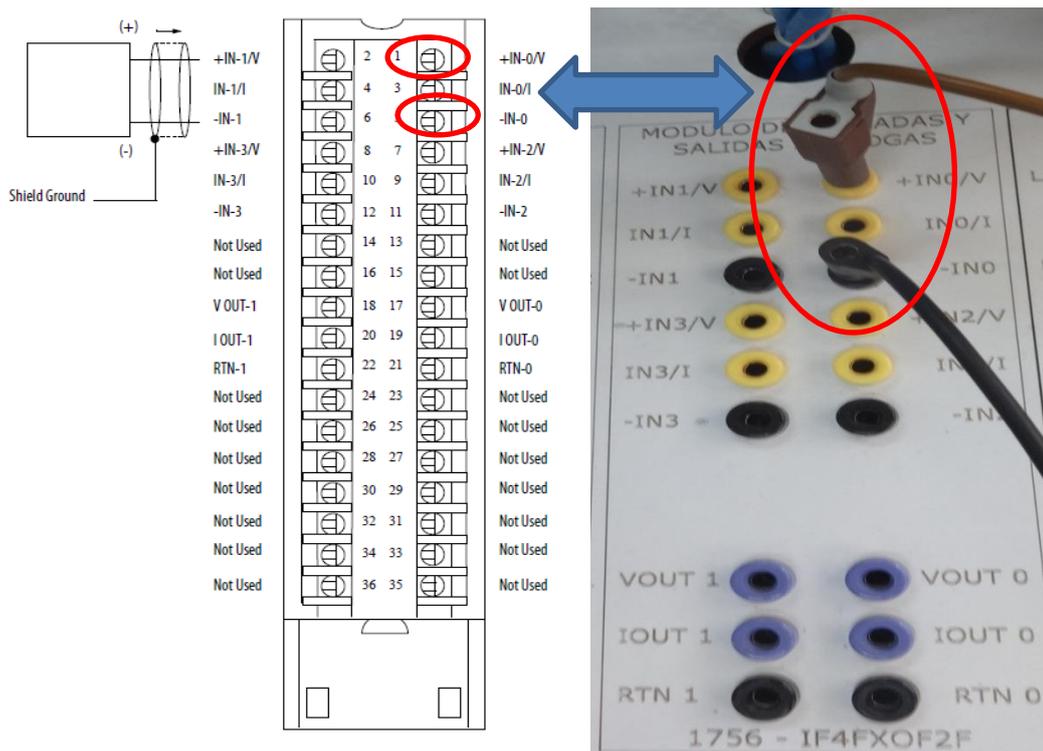


Figura 74 Señal del sensor ultrasónico

3.8.7 Agregando el (VSD) PowerFlex 700 En Rslogix 5000

Uno de los puntos a considerar con este software es su configuración por lo tanto la interface de comunicación mediante el módulo **20-COM-E** incorporado en el **VSD** hace posible para conectarse dentro del software RSLogix 5000, para finalmente realizar la programación necesaria en el sistema.

a. Configuración del variador (VSD) en el software Rslogix 5000

La configuración se realiza utilizando la tarjeta de red Ethernet **1756-ENBT/A** el cual sirve para acceder al programa, entonces se procede a añadir nuevo módulo haciendo clic derecho sobre el chasis del controlador para ingresar en el nuevo módulo, en la siguiente figura 75 se ilustra la siguiente ventana.

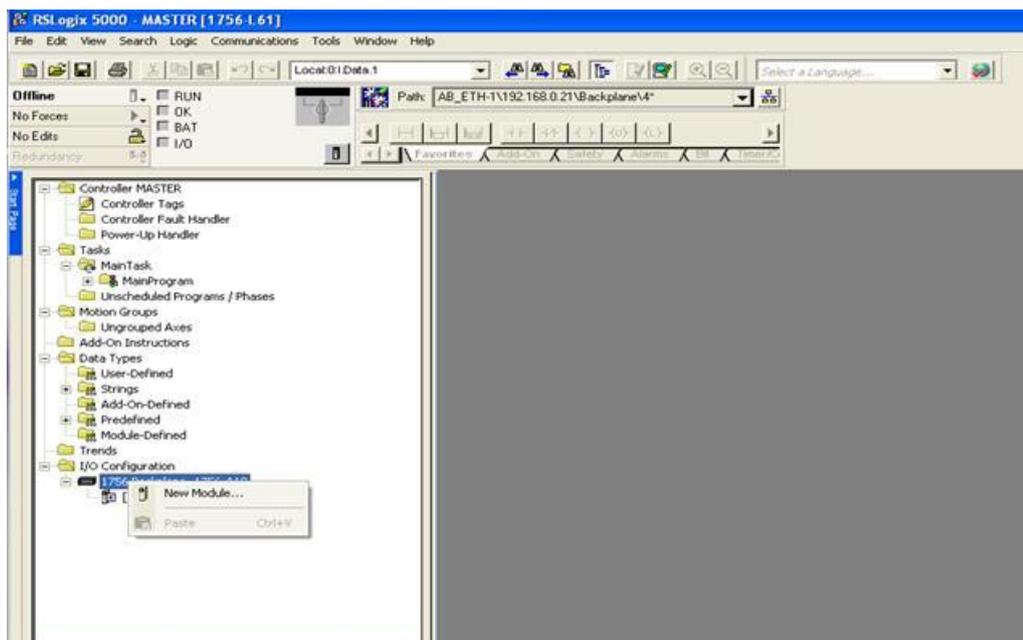


Figura 75 Ingresando nuevo módulo para el VSD

Seguido aparece un listado de módulos, donde se busca el elemento PowerFlex de serie 700-200V-E, a continuación en la figura 76 se ilustra el listado de variadores con características apropiadas.

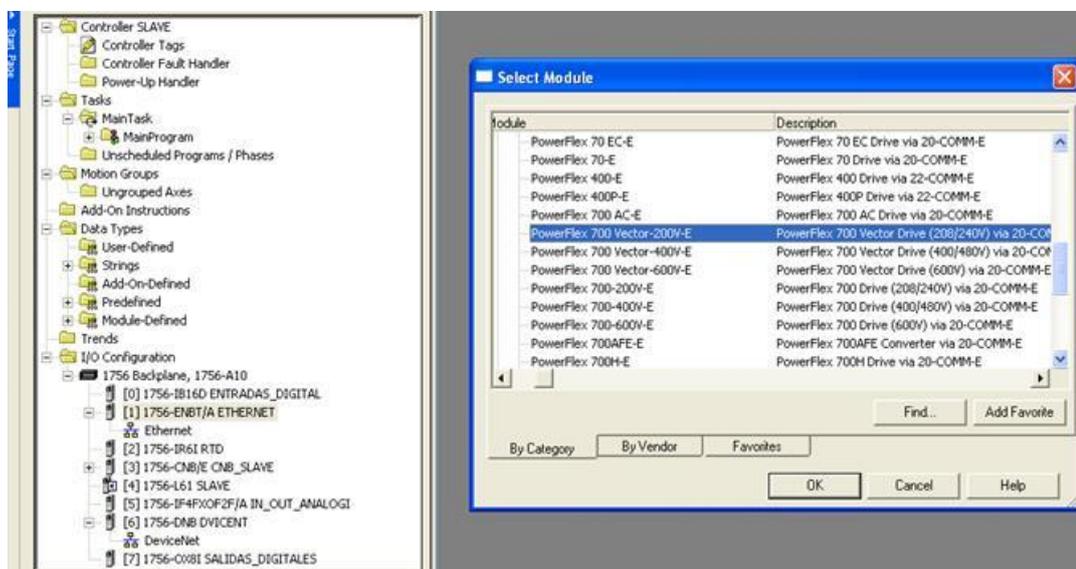


Figura 76 Selección del VSD en la Lista

Una vez seleccionado se procede a dar clic en **Ok**, luego se asigna un nombre para el variador **VSD**, además en la ventana se tiene la opción para

digitar la dirección **IP** del dispositivo en este caso es **192.168.0.22**, ver figura 77.

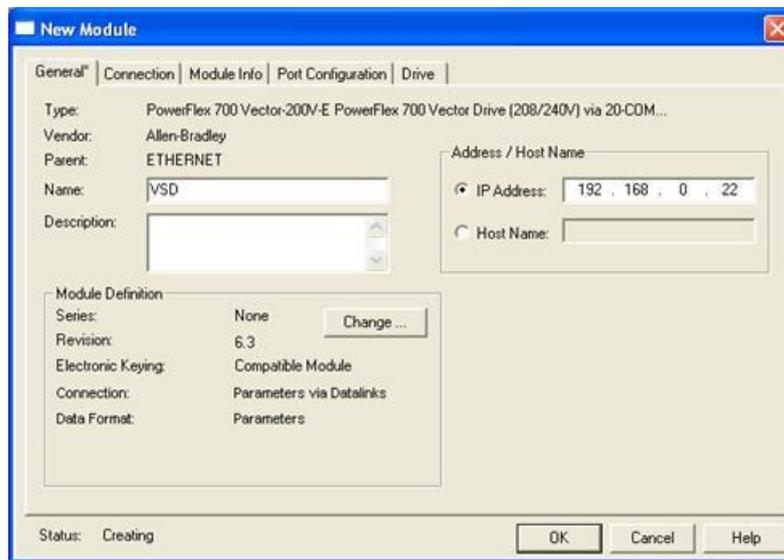


Figura 77 Reconocimiento del VSD y la dirección IP

Para modificar los parámetros del módulo se debe tener conocimiento de las características del VSD de acuerdo al modelo, en este caso es de **7,5 KW** a **15.3 A**, además se debe setear para la velocidad o frecuencia baja y alta en **DataLink** donde se debe habilitar, a continuación en la siguiente figura 78 muestra la configuración.

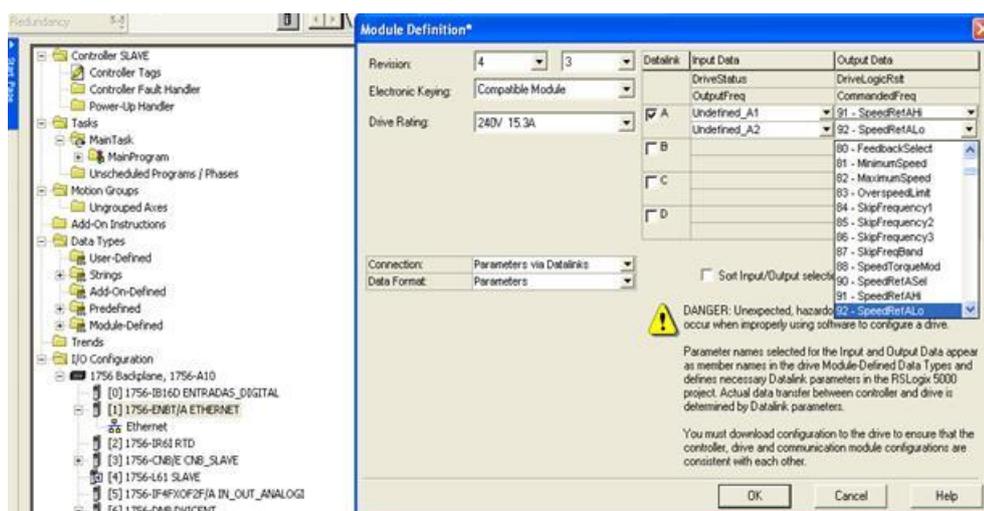


Figura 78 Parámetros asignados en el VSD

Sin embargo es importante revisar el parámetro de velocidad máxima y mínima del VSD en la configuración está reflejada como (**91 SpeedRefAHi** y **92 SpeedRefALo**), ver figura 79.

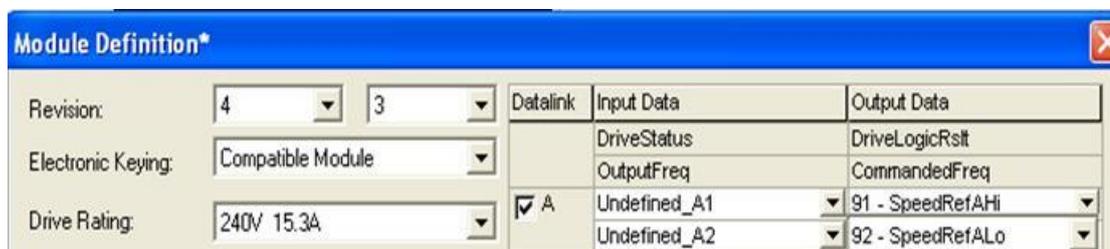


Figura 79 DataLink-Output Data (91-92)

Seguido aparece otra de las ventanas donde indica digitar **RPI** (intervalo del tiempo de respuesta) el valor de **160 ms**, posteriormente se debe colocar en el siguiente parámetro la dirección de la submascara de red **255.255.255.0**, luego habilitar el **BOOTP**, finalmente se observa en la siguiente figura 80 las características del variador y la revisión actual del dispositivo implementado.

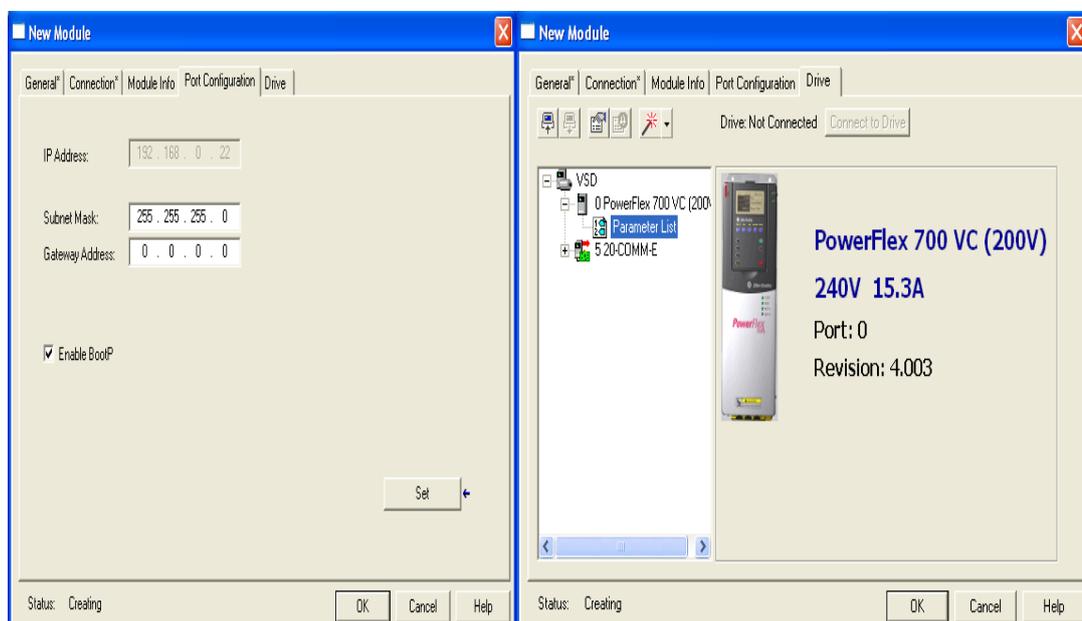


Figura 80 Configuración y visualización del VSD

Por ultimo en la figura 81 se ilustra en el árbol de configuración el VSD agregado correctamente mediante el uso de la tarjeta Ethernet **1756-ENBT/A** y la tarjeta de red **20-COMM-E** propio del VSD.

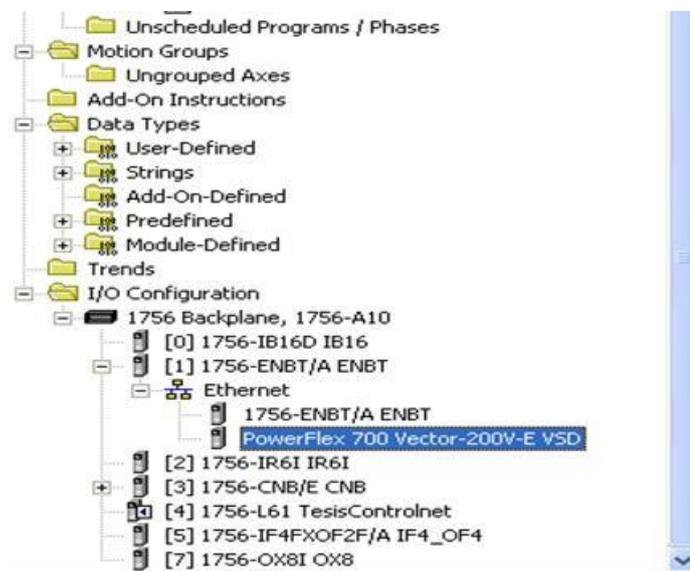


Figura 81 VSD en Rslogix 5000 mediante Ethernet

Finalmente realizadas las configuraciones necesarias en el variador de velocidad PowerFlex 700 y el uso de RSLogix 5000 se obtiene como resultado los tags generados por el propio variador, lo cual resta programar con la lógica escalera del PLC, a continuación en la siguiente figura 82 indica el listado de tags de entrada en el VSD, también los tag de Salida.

| Name | Value | Force Mask | Style | Data Type |
|--|--------------|------------|---------|------------------------|
| Scope: TesisControlnet Shgw... AnaVal02a, BOMBA, VSD, STRING, ALARM, ALARM_ANALOG, ALA | | | | |
| - VSD:I | {...} | {...} | | AB:PowerFlex700VC_1... |
| + VSD:I.DriveStatus | 2#0000_11... | | Binary | INT |
| - VSD:I.DriveStatus_Ready | 1 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Active | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Com... | 1 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Act... | 1 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Acc... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Dec... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Alarm | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Faul... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_AtS... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Loc... | 1 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Loc... | 1 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Loc... | 1 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Spd... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Spd... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Spd... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:I.DriveStatus_Spd... | 0 | | Decimal | BOOL |
| + VSD:I.OutputFreq | 0 | | Decimal | INT |
| - VSD:O | {...} | {...} | | AB:PowerFlex700VC_1.. |
| + VSD:O.DriveLogicRslt | 2#0000_00... | | Binary | INT |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| - VSD:O.DriveLogicRslt_... | 0 | | Decimal | BOOL |
| + VSD:O.CommandedFreq | 0 | | Decimal | INT |
| + VSD:O.SpeedRefAHi | 700 | | Decimal | DINT |

Figura 82 Tags Generados del VSD 700

Luego para ingresar los datos del motor dentro del variador de velocidad powerflex 700 se debe hacer clic derecho en el módulo del powerflex 700 agregado en el rslogix 5000, de modo que despliega un submenú colgante donde indica las propiedades del VSD, ver figura 83.

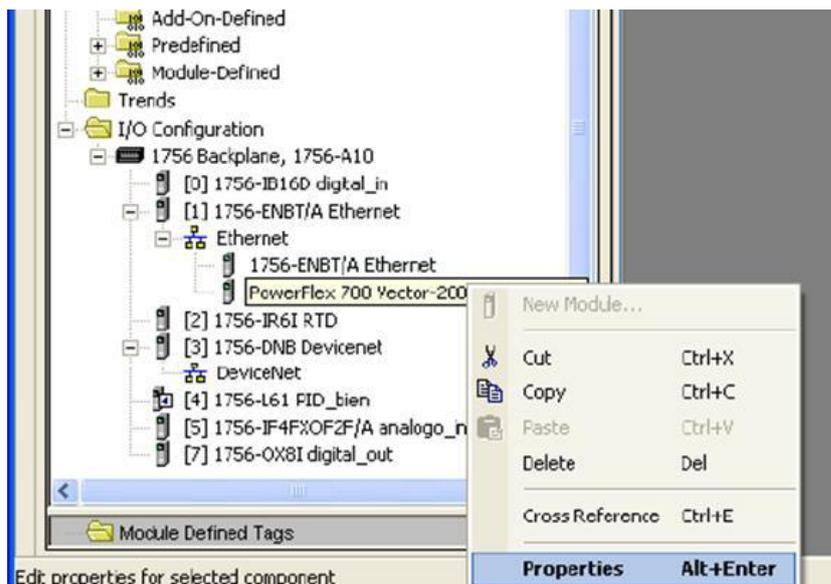


Figura 83 Seleccionar Propiedades en el módulo del VSD

Una vez aparecido la pantalla de las **propiedades** del **VSD** se debe dirigir al icono de Driver donde indica las características de la conexión con sus respectivos parámetros, a continuación en la siguiente figura 84 indica la pantalla con el cual se accede a demás configuraciones.

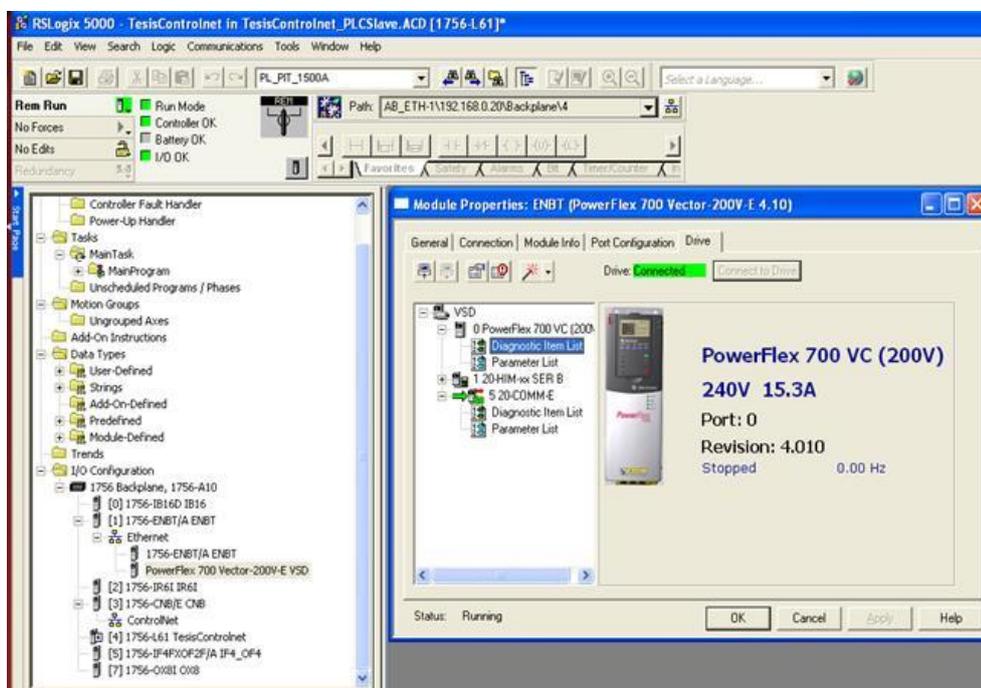


Figura 84 Pantalla de las propiedades del Driver del VSD

Luego se dirige al **parámetro de la lista** en la misma pantalla anterior para acceder y cargar los parámetros de la bomba, dar doble clic sobre el **parámetro**, ante todo es importante realizar un **upload** de los datos cargados anteriormente, para que reconozca el dispositivo, a continuación en la siguiente figura 85 se tiene la siguiente ventana.

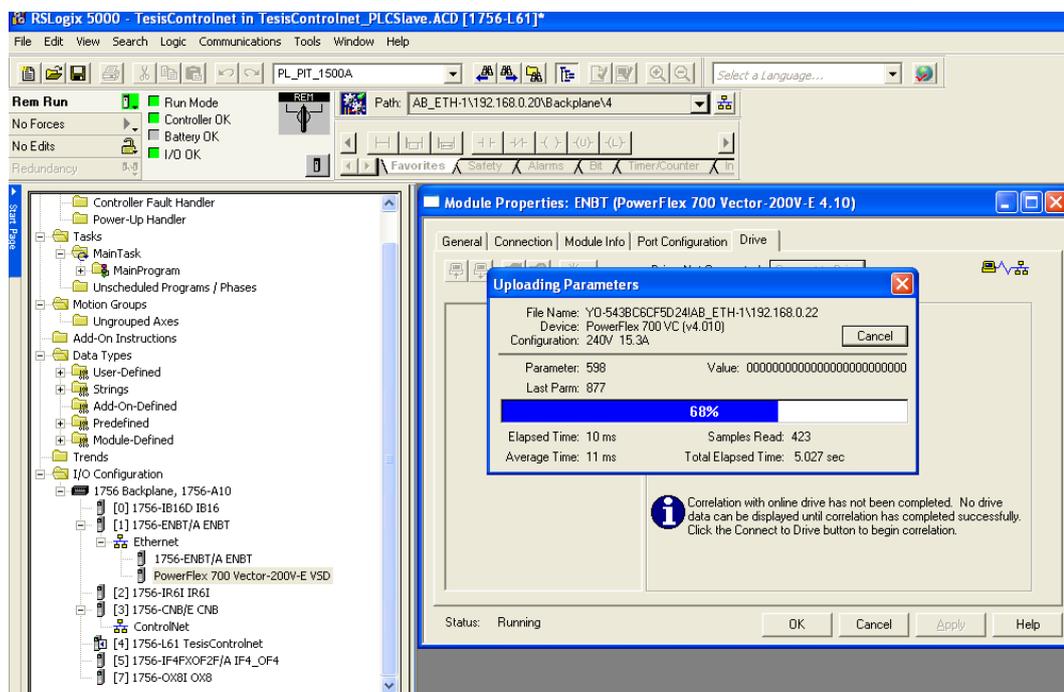


Figura 85 Realizando el enlace del VSD

Luego se debe dirigir al **parámetro** de la lista donde el cual se realiza los cambios respectivos tales como los datos de la bomba, a continuación muestras en la siguiente figura 86 la captura de la pantalla con los parámetros a cambian de acuerdo a las características de la bomba.

Parameter Group: All Parameters

| ID | Name | Value | Units | Inter... | Min | Max | Source |
|----|------------------|--------------------------------|--------------|----------|--------------|------------|--------|
| 27 | Rated Volts | 0.0 | VAC | 0 | 0.0 | 65535.0 | 0 |
| 28 | Rated Amps | 0.0 | Amps | 0 | 0.0 | 65535.0 | 0 |
| 29 | Control SW Ver | 1001.000 | | 1001000 | 0.000 | 65535.0 | 0 |
| 40 | Motor Type | | Induction | 0 | Induction | Synchr... | 0 |
| 41 | Motor NP Volts | 220.0 | VAC | 2200 | 0.0 | 690.0 | 0 |
| 42 | Motor NP FLA | 3.0 | Amps | 30 | 0.0 | 3200.0 | 0 |
| 43 | Motor NP Hertz | 60.0 | Hz | 600 | 5.0 | 24000.0 | 0 |
| 44 | Motor NP RPM | 1800.0 | RPM | 18000 | 60.0 | 25200.0 | 0 |
| 45 | Motor NP Power | 0.75 | | 75 | 0.00 | 1000.00 | 0 |
| 46 | Mtr NP Pwr Units | | Horsepower | 0 | Horsepower | Conve... | 0 |
| 47 | Motor OL Hertz | 20.0 | Hz | 200 | 0.0 | 24000.0 | 0 |
| 48 | Motor OL Factor | 1.00 | | 100 | 0.20 | 2.00 | 0 |
| 49 | Motor Poles | 4 | | 4 | 2 | 40 | 0 |
| 53 | Motor Cntl Sel | | Sensrls Vect | 0 | Sensrls Vect | Adj Vol... | 0 |
| 54 | Maximum Voltage | 230.0 | VAC | 2300 | 60.0 | 690.0 | 0 |
| 55 | Maximum Freq | 130.0 | Hz | 1300 | 5.0 | 420.0 | 0 |
| 56 | Compensation | 000000000000000000000000011011 | | 27 | 000000000... | 00000... | 0 |
| 57 | Flux Up Mode | | Manual | 0 | Manual | Autom... | 0 |
| 58 | Flux Up Time | 0.000 | Secs | 0 | 0.000 | 5.000 | 0 |
| 59 | SV Boost Filter | 500 | | 500 | 0 | 32767 | 0 |
| 61 | Autotune | | Calculate | 3 | Ready | Calculate | 0 |
| 62 | IR Voltage Drop | 17.5 | VAC | 175 | 0.0 | 690.0 | 0 |
| 63 | Flux Current Ref | 1.50 | Amps | 150 | 0.10 | 32000.00 | 0 |
| 64 | Ixo Voltage Drop | 0.0 | VAC | 0 | 0.0 | 690.0 | 0 |
| 66 | Autotune Torque | 50.0 | % | 500 | 0.0 | 150.0 | 0 |
| 67 | Inertia Autotune | | Ready | 0 | Ready | Inertia... | 0 |
| 69 | Start/Acc Boost | 2.6 | VAC | 26 | 0.0 | 115.0 | 0 |
| 70 | Run Boost | 2.6 | VAC | 26 | 0.0 | 115.0 | 0 |
| 71 | Break Voltage | 57.5 | VAC | 575 | 0.0 | 690.0 | 0 |
| 72 | Break Frequency | 15.0 | Hz | 150 | 0.0 | 24000.0 | 0 |
| 79 | Speed Units | | Hz | 0 | Hz | Conve... | 0 |
| 80 | Feedback Select | | Open Loop | 0 | Open Loop | Simulator | 0 |
| 81 | Minimum Speed | 0.0 | | 0 | 0.0 | 24000.0 | 0 |
| 82 | Maximum Speed | 70.0 | | 700 | 5.0 | 24000.0 | 0 |
| 83 | Overspeed Limit | 10.0 | | 100 | 0.0 | 1200.0 | 0 |
| 84 | Skip Frequency 1 | 0.0 | | 0 | -24000.0 | 24000.0 | 0 |
| 85 | Skip Frequency 2 | 0.0 | | 0 | -24000.0 | 24000.0 | 0 |
| 86 | Skip Frequency 3 | 0.0 | | 0 | -24000.0 | 24000.0 | 0 |
| 87 | Skip Freq Band | 0.0 | | 0 | 0.0 | 1800.0 | 0 |
| 88 | Speed/Torque Mod | | Speed Reg | 1 | Zero Torque | Pos/Sp... | 0 |
| 90 | Speed Ref A Sel | | Analog In 2 | 2 | Analog In 1 | Scale B... | 0 |

Figura 86 Parámetros de lista en el VSD

A continuación en la siguiente tabla 12 se detalla específicamente los parámetros de la bomba adquiridos mediante la visualización de la placa del motor y la utilización de un multímetro para medir la resistencia y demás parámetros, además se considera las velocidades máximas y mínimas de la bomba para que sirve para plasmar en las entradas analógicas y digitales.

Tabla 12

Parámetros y valores modificados en el VSD

| Numero ID | Nombres | Valor | Unidades |
|-----------|------------------|-------|--------------------|
| 40 | Motor Type | | Induction |
| 41 | Motor NP Volts | 220 | VAC |
| 42 | Motor NP FLA | 3 | A |
| 43 | Motor NP Hertz | 60 | Hz |
| 44 | Motor NP RPM | 1800 | RPM |
| 45 | Motor NP Power | | 0.75 |
| 46 | Motor NP Units | | Horsepower |
| 81 | Minimum Speed | 0.0 | Hz |
| 82 | Maximum Speed | 70.00 | Hz |
| 90 | Speed Ref A Sel | | Anolog In 2 |
| 91 | Speed Ref A Hi | 70.00 | Hz |
| 92 | Speed Ref A Lo | 30.00 | Hz |
| 140 | Accel Time 1 | 10.00 | Seg |
| 142 | Decel Time1 | 5.00 | Seg |
| 300 | Data In A1 | | 91(Speed Ref A Hi) |
| 301 | Data In A2 | | 92(Speed Ref A Lo) |
| 325 | Analogo In 2 Hi | | 10.00 |
| 326 | Analogo In 2 Lo | | 0.00 |
| 345 | Analog Out2 Sel | | Output Frec |
| 361 | Digital In 1 Sel | | Stop - CF |
| 362 | Digital In 2 Sel | | Start |
| 345 | Analog Out2 Sel | | Output Frec |

Cabe señalar todos los cambios que se realicen dentro del variador, tanto para la tarjeta de comunicación y los parámetros de la lista, se procede a realizar la descarga dando clic en (Download), el siguiente procedimiento es dar clic en **Driver>** en el icono tipo PC, realizar **Download**, a continuación en la figura 87 se ilustra la siguiente ventana.

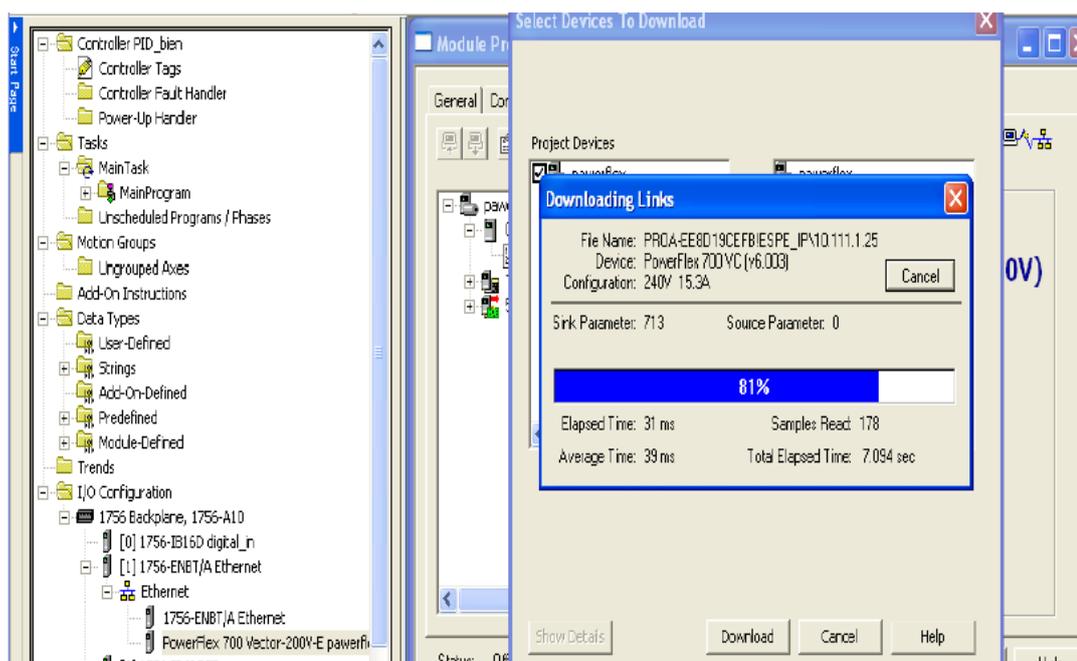


Figura 87 Descarga de los parámetros configurados en el VSD

3.8.8 Programación con Elementos para la Red ControlNet

a. Configuración general con la Red ControlNet en RSLinx

Anteriormente se realizó las configuraciones necesarias para poner las direcciones adecuadas con los IP a cada uno de los dispositivos, a fin de no tener conflictos con la red, en consecuencia se va utilizar la **red ControlNet** para realizar los cambios pertinentes tales como la programación del PID en el **Slave**, descarga al Panel View Plus 1000, programación del **master** en la PC, y otros cambios necesarios, además la importancia de comunicación ControlNet es su programación (**Scheduled**).

Para continuar colocar la dirección IP Principal del Master, ver figura 88, el parámetro de configuración principal con la dirección **IP** asignado con el número **192.168.0.21**, sin embargo se puede colocar otros dispositivos a manera de visualización únicamente, pero la principal es del master y el resto aparece dentro del módulo controlnet **1756-CNB**, a continuación iniciamos con el icono de **Windows> todos los programas> Software Rockwell>RSLinx Classic** y por último se introduce la IP.

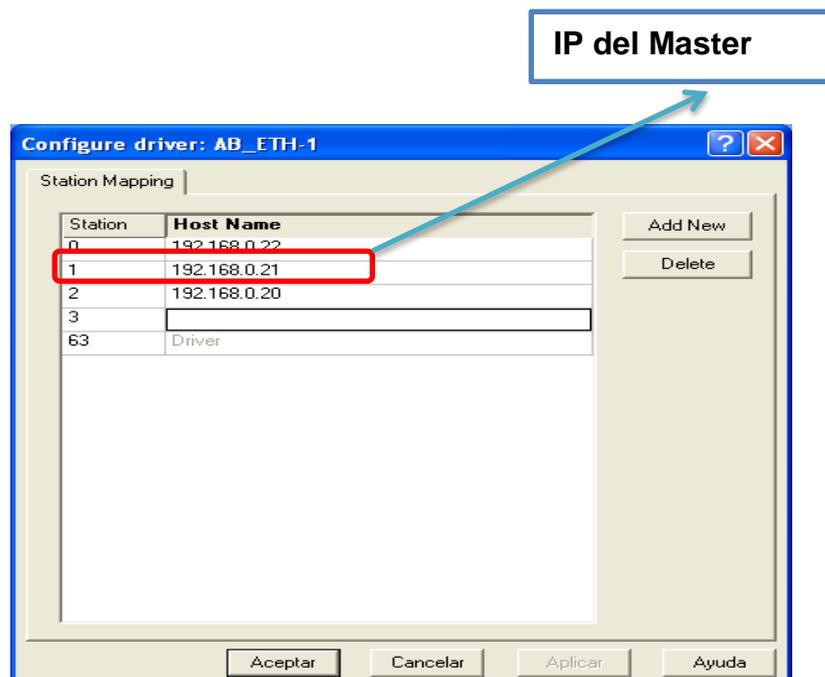


Figura 88 Configuración IP para el Master

Luego en la siguiente figura 89 indica automáticamente la subdivisión de dos controladores, con obvia razones el controlador master le contiene al Slave, independientemente en cada controlador posee sus respectivos módulos, de echo para el caso siguiente de implementación con la red controlnet se realiza por medio de la tarjeta 1756-CNB, por lo tanto en el controlnet se realiza por medio de la tarjeta 1756-CNB, por lo tanto en el CNB direccionado con el valor de 23 es el Master, de modo que lo contiene al CNB Slave direccionado con el valor de 24, dentro de esta tarjeta se encuentra el L61 Slave con su modulación correspondiente. En consecuencia esto nos sirve para la visualización de tarjeterías del PAC configurados desde el maestro, el cual se aloja en el Slave al momento de desplegar la tarjeta CNB del Slave.

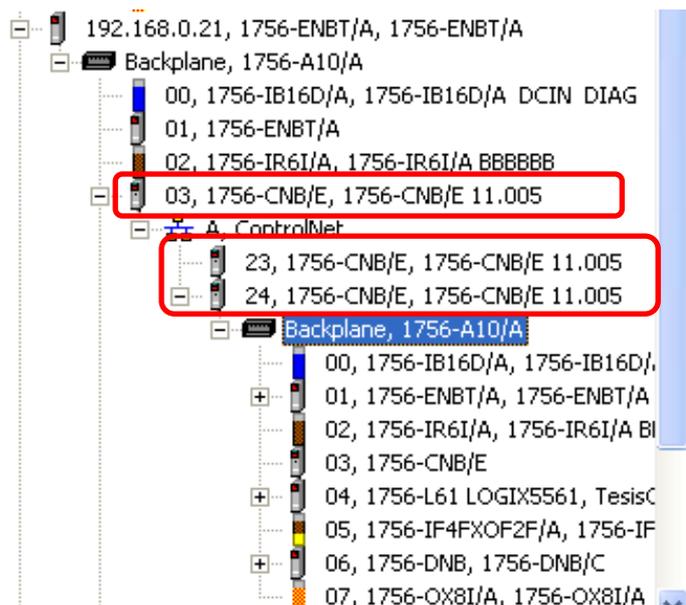


Figura 89 Visualización de la red ControlNet en RSlinx

b. Configuración del Controlador en RsLogix 5000

Para utilizar la red ControlNet hace posible la configuración de los módulos correspondientes a la red ControlNet con la respectiva tarjeta 1756-CNB, no obstante esto es posible con el complemento del software de configuración y programación del Rockwell equivalente al Rslogix 5000.

A continuación en la siguiente figura 90 indica la ventana del primer PAC ControlLogix5561 correspondiente al master, para ello es ineludible configurar los parámetros fundamentales con este tipo de red; en el menú **File**, seleccionamos **New**, seguido en **type>1756-L61 ControlLogix5561 Controller**, luego se asigna el nombre al Master, tipo de chasis de **10 Slot** y por último el CPU del controlador donde se ubica en el **cuarto** Slot.

Figura 90 Parámetros del L61

Sin embargo una vez creado el nuevo controlador en el RSLogix 5000, es necesario agregar los módulos del PAC que se encuentran conectados en el chasis, a continuación se describe la cantidad de 8 módulos siguientes; **entradas digitales, tarjeta Ethernet, RTD, tarjeta ControlNet, CPU Logix5561, analoga I/O, Tarjeta Devicenet y Relay opuput**, respectivamente con el número de series y su revisión, cabe mencionar los pasos a seguir se dispuso en los párrafos anteriores tanto del módulo de análogas y el VSD.

b.1 Configuración en módulos de Interface

- Modulo Ethernet 1756-ENBTA/E

Se efectúa el siguiente procedimiento para agrega el módulo Ethernet, dar clic derecho sobre el **I/O configuración del Rsllogix 5000**, en la ventana de proyectos seleccionar **New Module**, seguidamente dentro de la ventana, seleccionar el modulo, luego realizar el despliegue en el ítem de **communications**, por ultimo buscar el módulo **1756-ENBT/A**, ver figura 91 donde se ilustra la siguiente ventana.

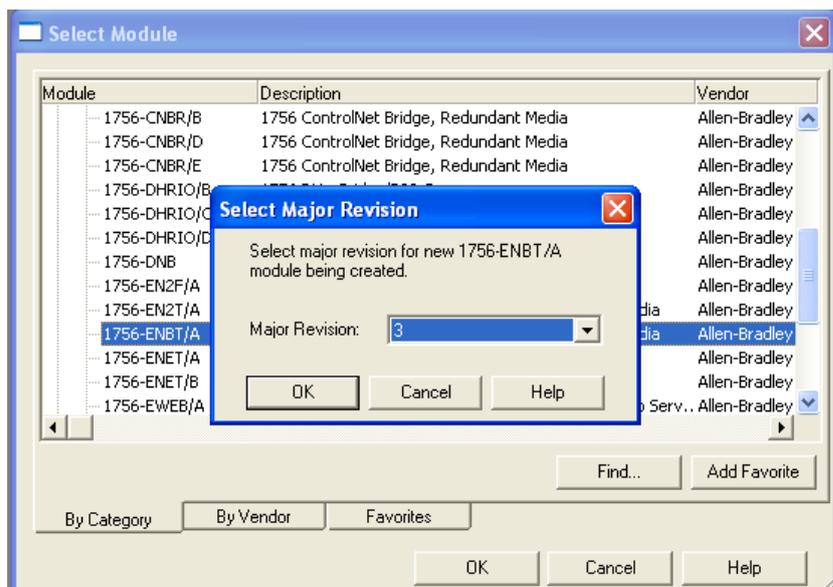


Figura 91 Selección del Módulo de Ethernet

Al final de agregar se ingresa los siguientes datos: nombre del módulo, la dirección IP, revisión luego de haber comparado con Rslinx, el Numero de Slot, y la compatibilidad, por lo general **Compatible Keying**, por ultimo dar clic en **OK** para guardar los cambios efectuados.

Sin embargo se debe considerar **Electronic Keying**, a modo general para los módulos de comunicación compatibles con el procesador L61 del dicho proyecto a fin de que el procesador realice una revisión electrónica para que sea consistente con la configuración del software, es así que se asegura seleccionar versiones incorrectas del módulo, a continuación seleccionar uno de los tres niveles existentes la de **Compatible Keying**, esta opción hace posible que el modulo deba tener el mismo número de serie, equivalente en cada selección del módulo, ver figura 92.

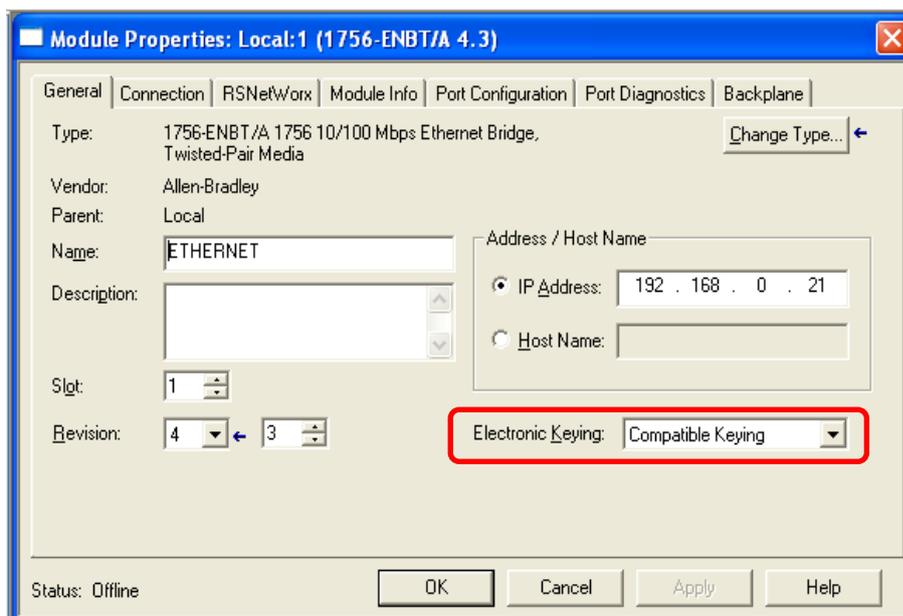


Figura 92 Configuración del Módulo Ethernet

- Modulo ControlNet 1756-CNB/E

Realizar el siguiente procedimiento para configura el módulo ControlNet, la cual se dirige al **Rslinx Classic** para verificar las propiedades del módulo controlnet, tales como la revisión y el modelo, en la figura 93 indica la siguiente ventana.

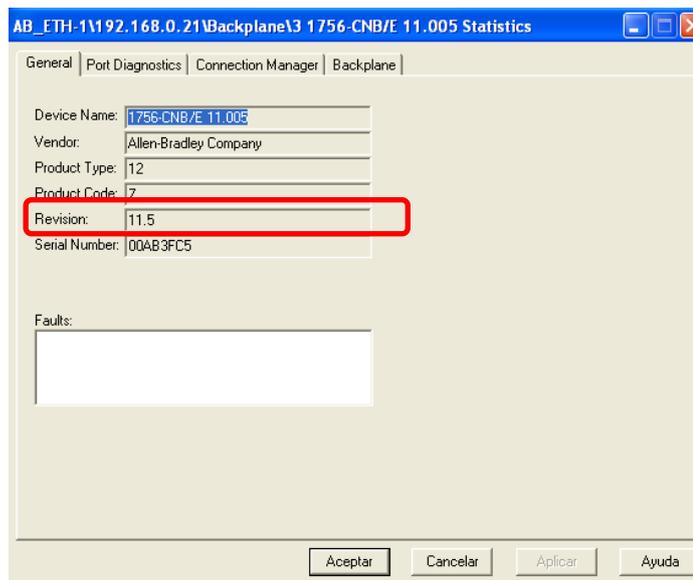


Figura 93 Propiedades del Módulo CNB

Una vez revisado en el Rslinx las propiedades del módulo controlnet, a continuación abrir el **proyecto Rslogix 5000** en fuera de línea, hacer clic con el botón derecho del mouse en **I/O Configuration** y seleccionar **New Module**, tal como se indica en la siguiente figura 94.

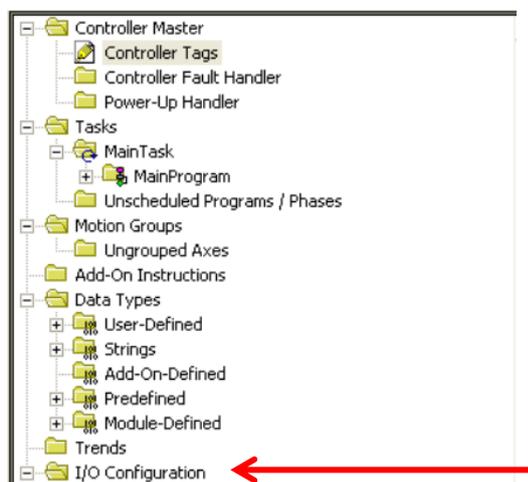


Figura 94 Nuevo Módulo CNB en Rslogix 5000

Seguidamente aparece la ventana de seleccionar módulo, dirigirse a la pestaña de **Communications**, buscar la tarjeta denominada puente Controlnet **1756-CNB/E ControlNet Bridge**, luego seleccionar de acuerdo a la revisión, ver figura 95.

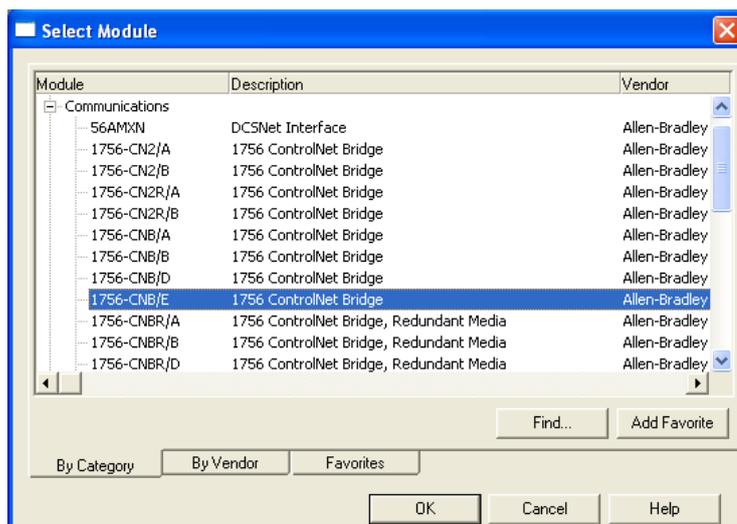


Figura 95 Nuevo Módulo ControlNet

Consecutivamente se debe configurar los parámetros del módulo ControlNet, asignado con el nombre de **CNB** para la programación en el **Master**, con su respectivo nodo equivalente a la dirección física 23 del módulo ControlNet, el chasis está comprendido de **10** Slot, y además se encuentra ubicado en el **Slot 3**.

Una vez ingresado el módulo ControlNet, a continuación hacer clic con el botón derecho del mouse sobre el módulo **CNB** ya ingresado anteriormente y seleccionar **New Modulo**, en **Communications**, buscar nuevamente el módulo **1756-CNB/E ControlNet**, seguido aparece la ventana del módulo donde se realiza la configuración de los parámetros, luego asignar con el nombre **CNB**, colocar la dirección física en el **Nodo 23**, **Slot 3**, revisión **11.5**, **Compatible Keying**, a continuación muestra en la siguiente figura 96.

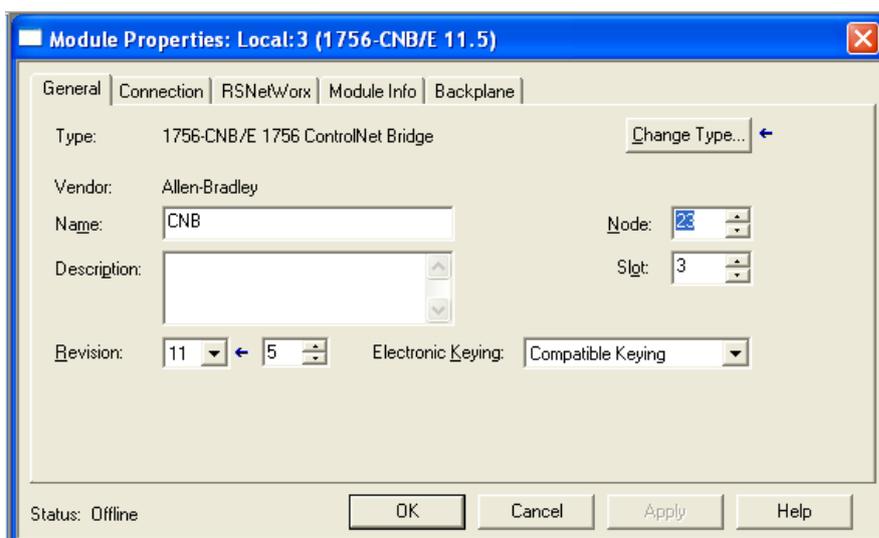


Figura 96 Configuración CNB del Master

Para terminar la configuración en el **Master** se debe agregar nuevamente el módulo controlnet, hacer clic con el botón derecho del mouse sobre el módulo **CNB Rslogix 5000 Master> New Modulo>Communications**, buscar nuevamente el módulo **1756-CNB/E ControlNet**, a continuación en la siguiente figura 97 muestra los siguientes datos del SLAVE contenidos por el Master; asignar el nombre **CNB_SLAVE**, dirección física **24**, tamaño de chasis **10**, ubicado en el Slot **3**, **compatible**

Keying, formato común **Rack Optimization** y revisión **11.5**, mientras que en la pestaña de conexión del módulo resta asignar el valor **de 20 ms** para el (RPI) Paquetes de respuesta.

Cabe señalar que el **Comm Format** se refiere al tipo de conexión que se establece entre el procesador L61 y el 1756-CNB, uno de los formatos seleccionados es el **Rack Optimization**, el cual significa que existe una conexión en la que solo este dispositivo controla y escucha entradas y salidas, actuando como escáner.

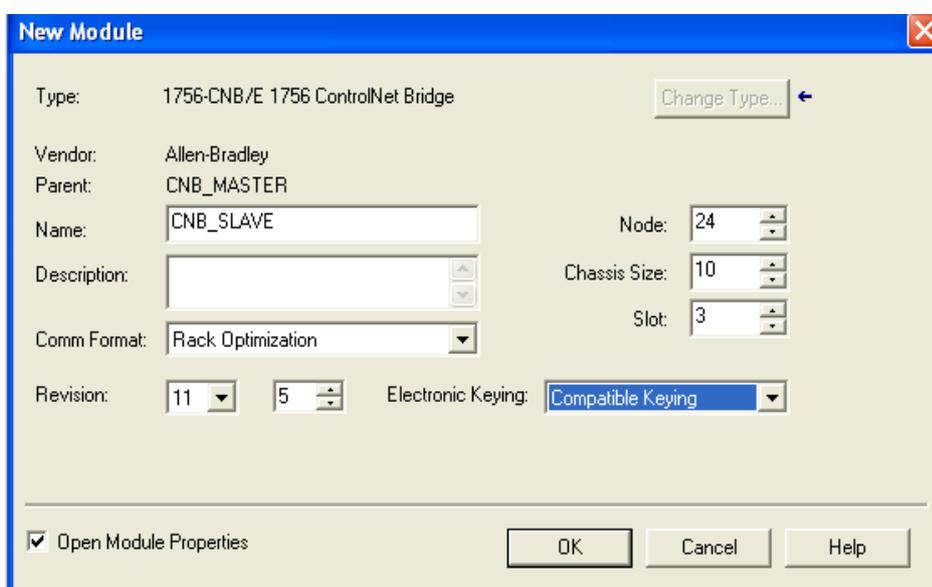


Figura 97 Configuración CNB Slave

Al final para guardar todos los cambios realizados se debe guardar haciendo clic en **OK**, consecuentemente de haber ingresado los modulo anteriores con sus respectivos parámetros de configuración del SLAVE, se procede en el mismo Slave haciendo clic derecho para agregar nuevos módulos; a continuación en la siguiente figura 98 muestra los siguientes módulos ingresados tanto como el CPU Controllogix **L61**, asignado respectivamente con el nombre de **PLC_SLAVE**, ubicado en el **Slot 4** del Slave, y por último el mismo 1756-CNB_Slave con la misma dirección física asignada anteriormente.

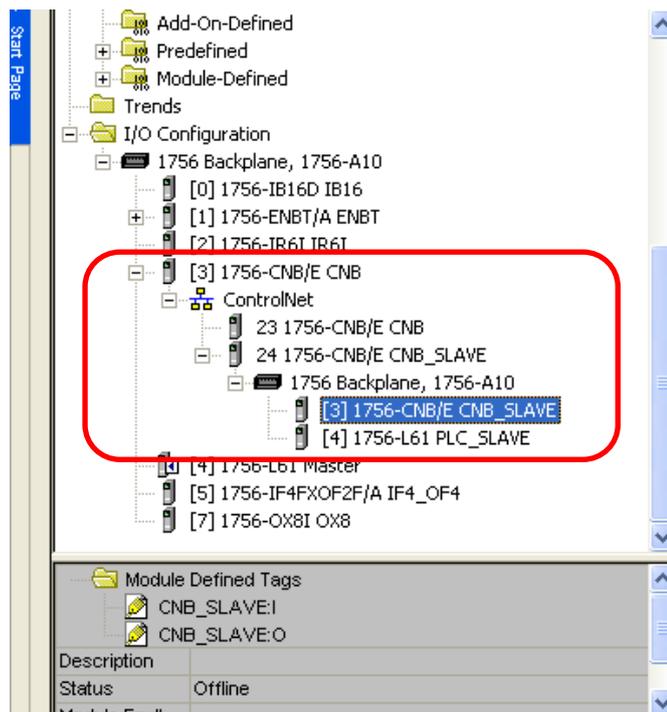


Figura 98 Módulos Configurados en el Master

La conformación de cada parámetro y su configuración para este tipo de red Controlnet, se lleva a cabo de acuerdo a su fabricante Rockwell Automation, de modo que Rslogix 5000 me sirve para la configuración de módulos y programación de las mismas, la configuración del módulo **1756-CNB** y el ControlLogix **L5561** son principales para el **Master**.

Por último se considera paso a paso las configuraciones de cada uno de los módulos conformados con el PAC ControlLogix L61 del proyecto asignado con el nombre de SLAVE en el software RsLogix 5000, a continuación en la siguiente figura 99 indica los módulos ya configurados dentro de la carpeta **I/O Configuratiois** tanto para el **MASTER** y el **SLAVE**.

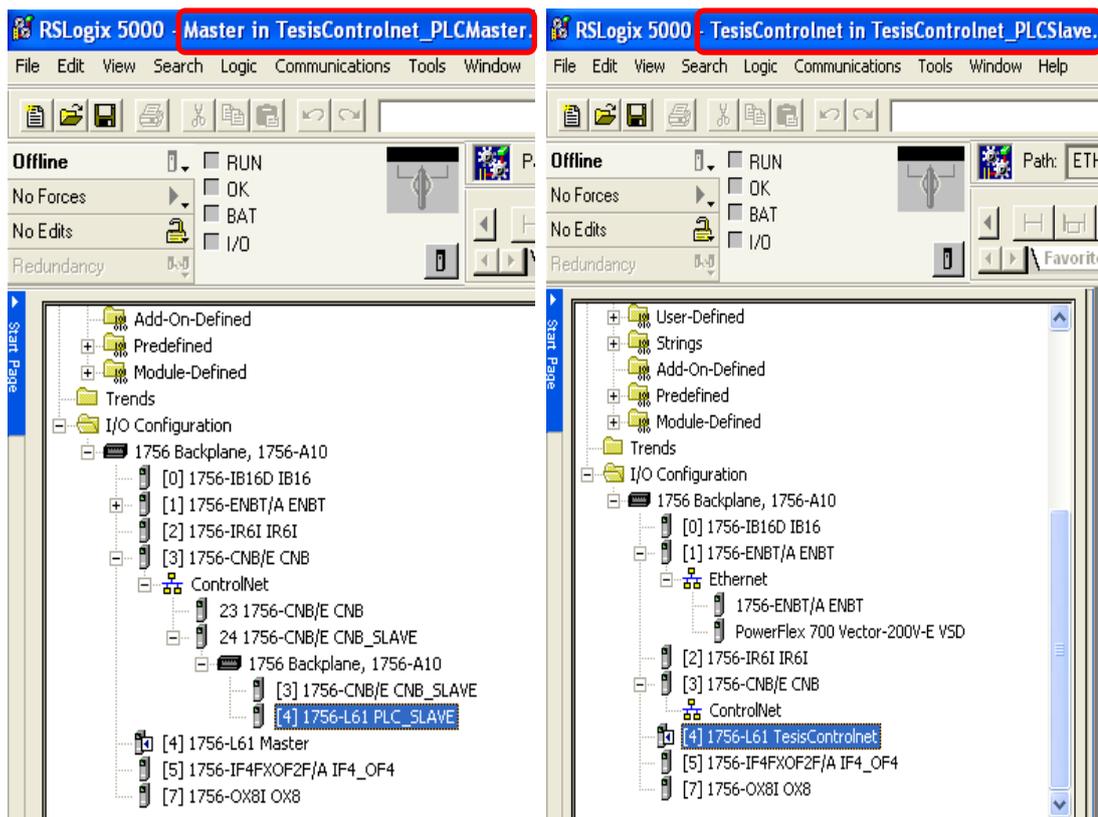


Figura 99 Configuración de Módulos MASTER-SLAVE

El proceso de agregar los dispositivos en la carpeta de configuraciones **I/O Configurations** finaliza una vez de que se indique en el árbol de proyectos con ninguna señal amarilla de prevención, y además se considera una lista de configuración de escaneo para los dispositivos ControlNet que es equivalente a la conexión **scheduled**.

Ahora para bajar el programa al controlador se debe dirigir a la pestaña de **Communication>Who Active>**, dentro de la ventana se debe revisar que este activado el **Autobrowse**, a continuación desplegar el árbol del proyecto en la búsqueda del procesador asignado con los nombres tanto para el Master y el Slave, por último dar clic en **Download** para descargar la configuración de las tarjeterías del PAC, en la siguiente figura 100 indica la siguiente ventana.

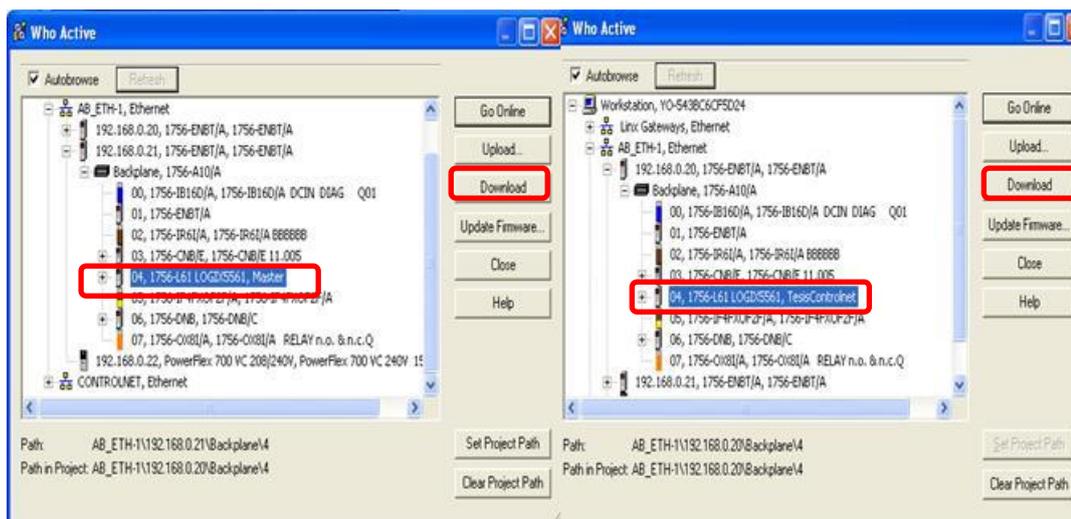


Figura 100 Descarga del Proyecto a los procesadores MASTER-SLAVE

Una vez de haber dado clic sobre la pestaña de descargar aparece una advertencia en una ventana de dialogo, nuevamente dar clic en la tecla virtual Download, similar a la siguiente figura 101.

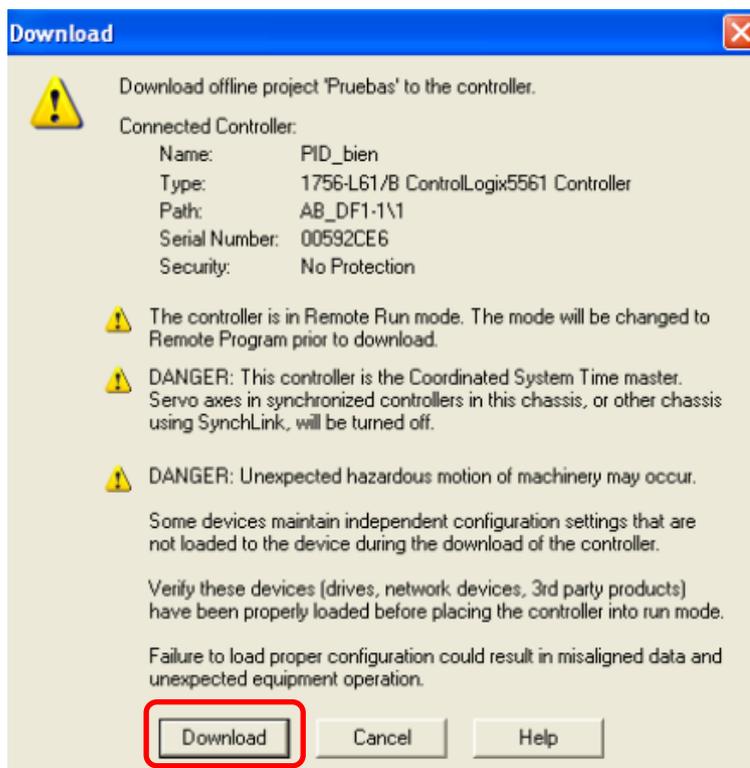


Figura 101 Ventana de Dialogo para la descarga del Proyecto

Finalmente se debe cambiar de nuevo al procesador en modo Run, y guardar los cambios efectuados para en el futuro hacer doble clic en Main Routine donde hace emerger los escalones de la programación.

c. Configuración RSNetworx para ControlNet

Para agendar la red ControlNet se debe seguir los siguientes pasos a desarrollar, dirigimos a la barra de windows hacer clic en el icono de **Inicio de Windows>Todos los Programas**, seguidamente buscamos la carpeta **Rockwell Software**, una vez seleccionado se despliega las subcarpetas instalados con anterioridad, luego seleccionar la carpeta **RSNetWorx**, finalmente colocar el puntero del mouse sobre la carpeta seleccionado, automáticamente al frente aparece el icono **RSNetWorx for ControlNet**, hacer doble clic para abrir el dicho programa, a continuación en la siguiente figura 102 indica el acceso a la pantalla.

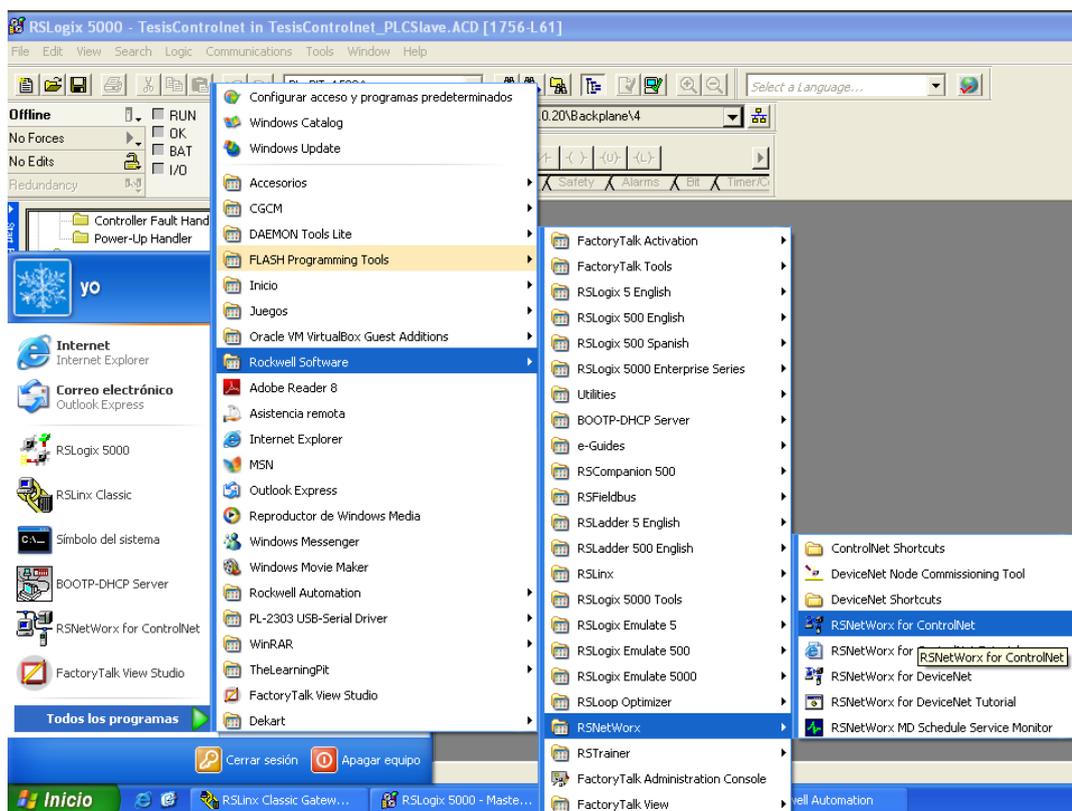


Figura 102 Abriendo el Software ControlNet

Una vez cargado el programa, se dirige al icono **File**, hacer clic para seleccionar **New**, donde aparece una pequeña ventana para seleccionar el tipo de Red con su respectiva extensión, para realizar el (Scheduled) y posteriormente guardarlo ante alguna eventualidad de (Unscheduled), a continuación en la siguiente figura 103 muestra el siguiente procedimiento seleccionado.

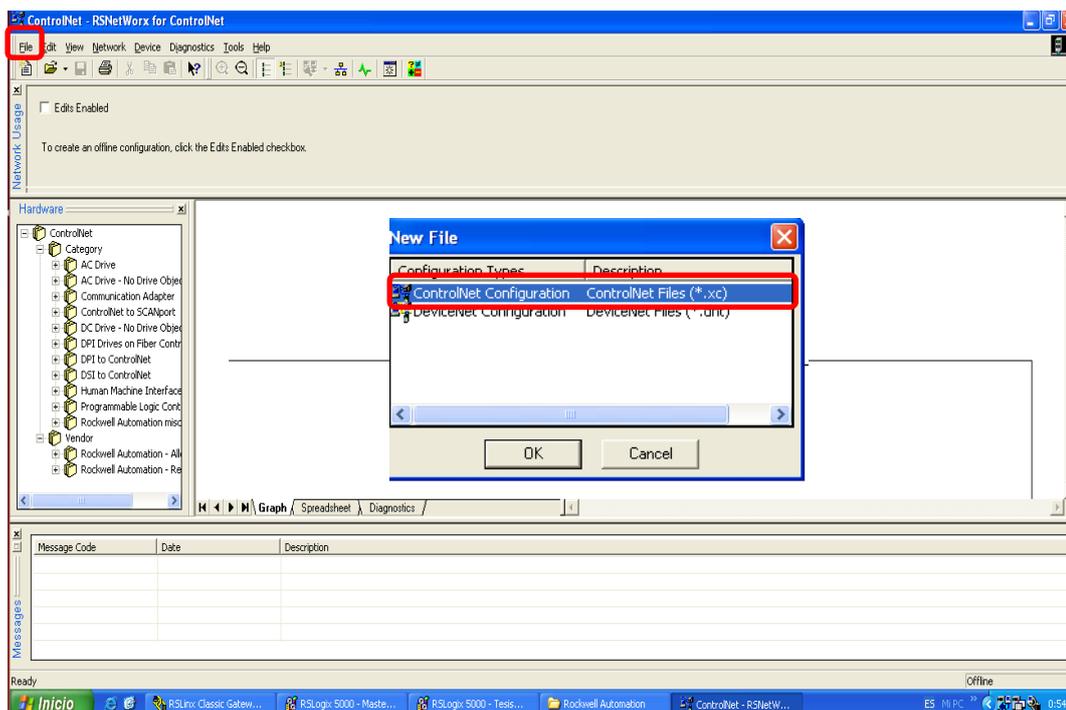


Figura 103 Creando nuevo Archivo con Red CNB

Posteriormente en la misma pantalla seleccionar el icono típico del árbol de comunicación **“en línea”**, ahora necesitamos explorar nuestra red controlnet. Hacer esto seleccionando el símbolo **“+”** para desplegar más dispositivos conectados en la red ya sea Ethernet y ControlNet, para el scheduled que es necesario seleccionar o resaltar la red ControlNet, damos **OK** donde este se volverá activa en este punto, en la siguiente figura 104 indica la ubicación.



Figura 104 Árbol de Ubicación ControlNet

Luego de haber realizado doble clic sobre la dicha red, se tiene el resultado de una ventana de suceso mencionado **Browsing network** donde realiza el escáner de cada dispositivo conectados en cada slot, consecuentemente aparece una pantalla de puesta en línea de la red ControlNet donde se podrá visualizar todos los dispositivos conectados a ella de forma desprogramada, a continuación muestra en la figura 105 la siguiente ventana.

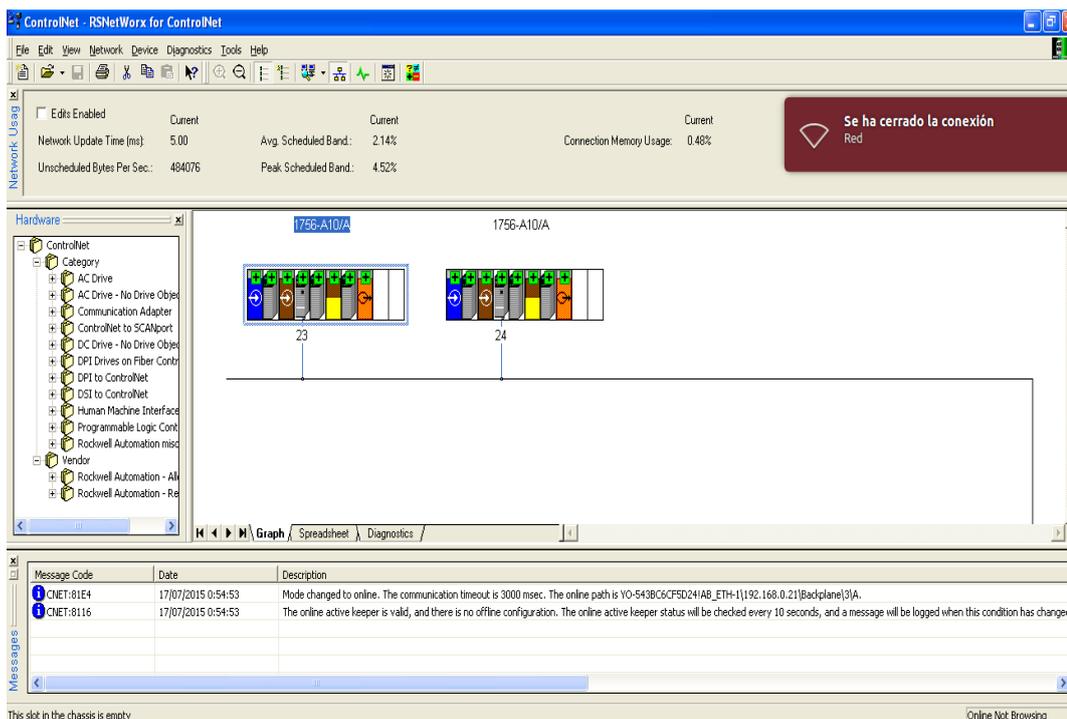


Figura 105 Escáner de dispositivos previo a la configuración

En la ventana anterior al realizar el procedimiento apareció un mensaje mostrado que la edición no está activada para la configuración, por lo tanto para configurar la red marque en la esquina superior izquierda de la ventana para habilitar ediciones denominado (**Edits Enabled**), a continuación en la siguiente figura 106 indica la ventana de habilitación.

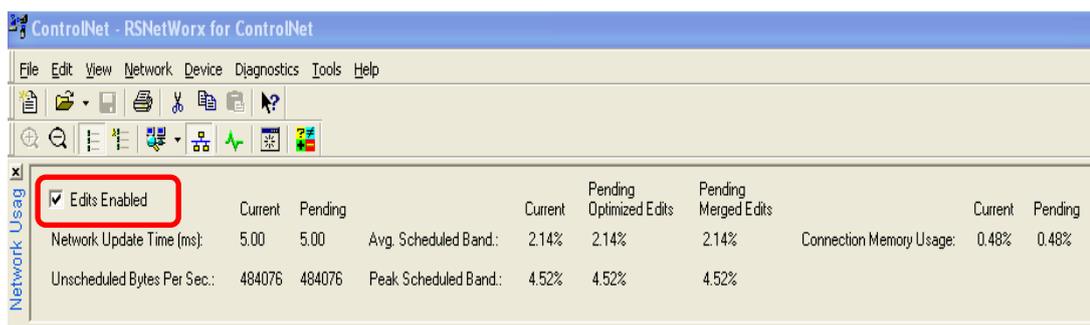


Figura 106: Habilitando edición de ControlNet

Sin embargo al entrar en línea con RSNetWorx y habilitar las ediciones es lo que ocasiona para que el software reconozca la lista de conexiones de cada escáner, a continuación se dirige a la barra de menú **Network>Properties**, en consecuencia esto hará emerger una ventana de

dialogo de ControlNet, donde se debe seleccionar únicamente **Network Parameters** , aquí se determina el nombre que se quiera dar a la red, ciclo de escaneo o **NUT**, el número máximo de nodos a escanear, el número del nodo más alto para la red, y los canales utilizables para esta red en este caso únicamente **A** porque el modulo no soporta sistemas redundantes, a continuación se observa subrayado los parámetros para esta red de implementación ControlNet, ver figura 107.

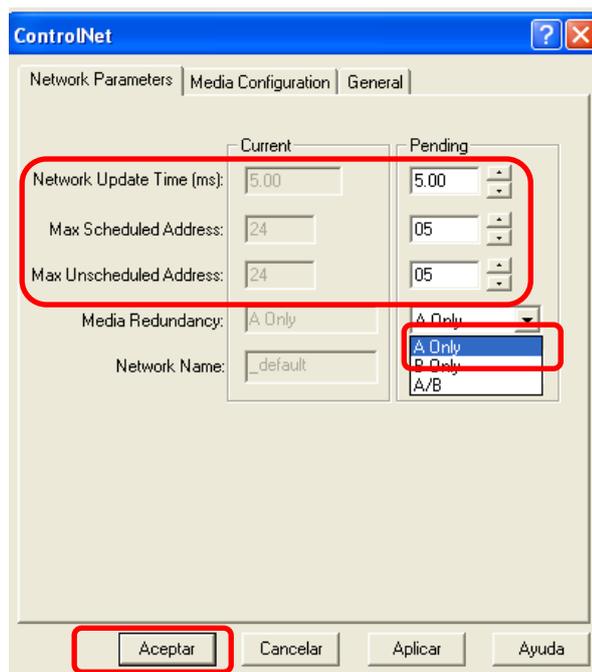


Figura 107 Configuración de parámetros ControlNet

Luego de haber parametrizado ControlNet procedemos a escanear nuevamente la red, pero con los cambios realizados en las propiedades de la red, para finalizar se dirige a la barra de menú donde se debe seleccionar **Network>Download to Network**, luego aparece una ventana de dialogo descrito como **Save configuration**, el cual seleccionar la primera opción para poder guardar el proceso de scheduled, y además se debe asignar el nombre que se quiera nuevamente a la red y con su extensión asignada, en la figura 108 muestra la siguiente ventana de dialogo.

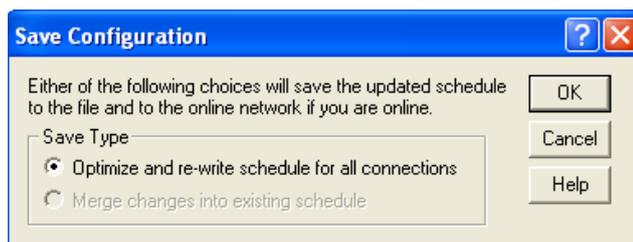


Figura 108 Finalizar la configuración de Red

Por ultimo para terminar es importante seleccionar las pestañas tanto de **OK** y **Save**, por otra parte esperar a que el software haga el escaneo el cual permite escribir a la agenda, también en la parte física del módulo se presenta visualmente el led indicador intermitente el cual me indica que se encuentra modificando. A continuación se muestra la formación de la red controlnet entre ambos controladores de procesador L61 y los módulos conectados en su respectivo slot, y además correctamente direccionado el 1756-CNB, en la siguiente figura 109 muestra de forma física por el software.

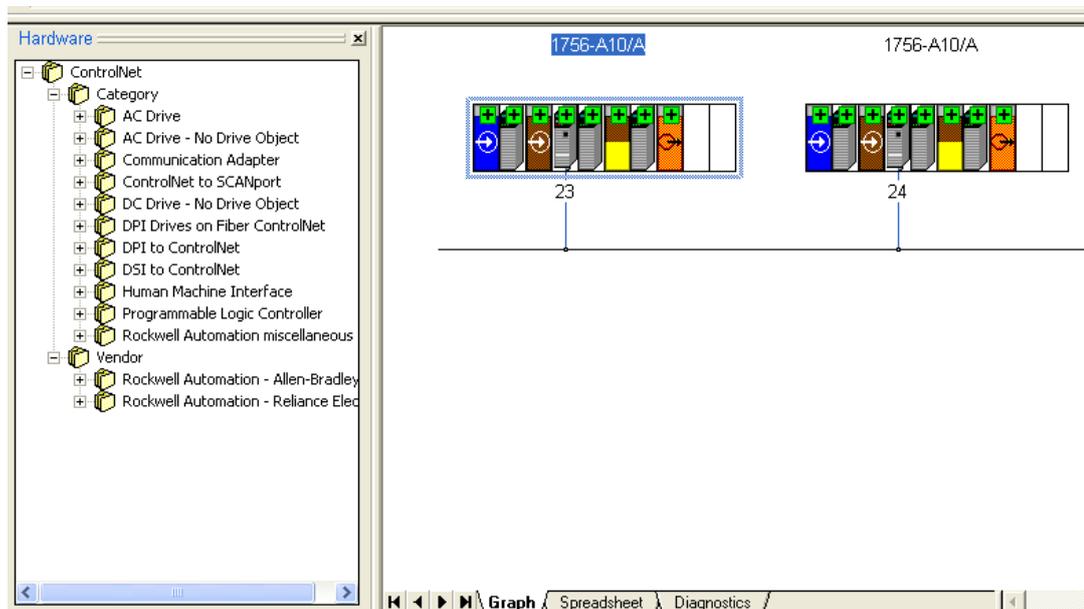


Figura 109 Red Agendada ControlNet

Ahora dentro de RSNetwork también se puede visualizar el diagnóstico de la red, donde se debe dirigir a la pestaña de **graph**, seguido hacer clic en la cejilla de **Diagnostics** ubicada en la esquina inferior derecha, o también

ubicado en la barra de herramientas, en la siguiente figura 110 indica seleccionado las dos opciones.



Figura 110 Opciones para Diagnostico de Red

A continuación seleccione la red Controlnet con el monitor de salud de la red denominado (**Network Health Monitor**) y haga clic con el botón derecho del mouse y si no, seleccione agregar todos los dispositivos al escaneo de diagnóstico (**Add all Devices to Diagnostic Scan**), seguidamente para comenzar los diagnósticos, haga clic en **Star**, donde apareceré en la siguiente figura 111 la ventana de dialogo donde indica los campos y descripción a realizarse, para avanzar se revisa las opciones de diagnóstico y luego damos clic en la pestaña de (**Continue**), para lo cual el proceso se inicia.

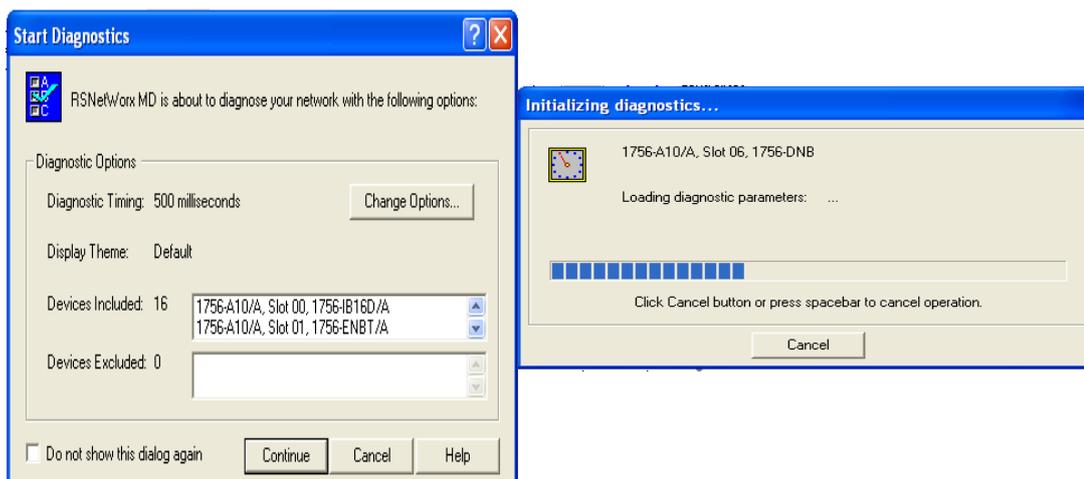


Figura 111 Inicializando Diagnostico de Red

Este procedimiento se realiza para la verificación de la red, el cual permite realizar el mantenimiento y su conexión correcta con los cables y terminales de controlnet, además se puede visualizar el proceso de diagnóstico para cada dispositivo al inicializar el proceso mediante el cual se presenta en tiempo real, símbolos y la cantidad de dispositivos, si llega a presentar algún tipo de error se puede corregir mediante las instrucciones que indican en la misma pantalla y las acciones a preceder, en la siguiente figura 112 muestra los controladores y dispositivos conectados correctamente a la red.

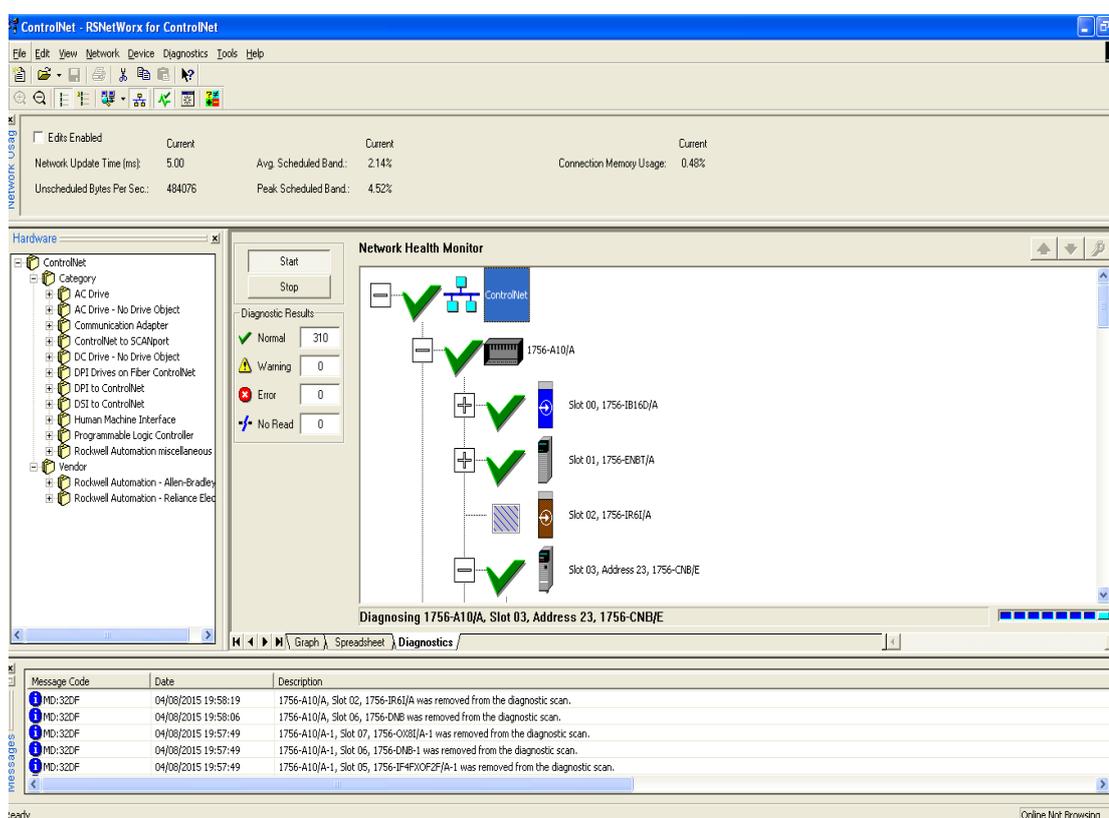


Figura 112 Verificación de la Red utilizando RSNetworx

3.8.9 Programación en el PLC mediante Rslogix 5000

La programación es la parte fundamental del sistema donde conlleva conocimientos adquirido durante la etapa de estudio, en tal virtud se considera la señal del sensor que arroja un señal análoga de **0 a 5.8 Vcc**, luego direccionar correctamente los tags y conocer la lógica escalera de relés con sus distintas funciones que sirve para poner en movimiento el

monitoreo y el control de la variable de nivel, en todo caso los tag de las entradas y salidas digitales de los pulsadores son reemplazados en el HMI con las respectivas botoneras, además se detallan los parámetros de tags utilizados mediante la lógica de programación; alarmas, control manual y automático, lógica y control de PID, entre otros parámetros adquiridos para el sistema de monitoreo y control de nivel, en la siguiente tabla 13 indica las característica de programación con los tags propios y modificados.

Tabla 13**Direccionamiento de Entradas y Salidas**

| TIPO | DIRECCIONAMIENTO-NOMBRE | DESCRIPCIÓN | TIPO DE DATO | SPECIFIER |
|------|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| TAG | Local:0:C | | AB:1756_DI_DC_Diag:C: 0 | |
| TAG | Local:0:I | | AB:1756_DI_DC_Diag:I: 0 | |
| TAG | Local:2:C | | AB:1756_AI6_Integer:C: 0 | |
| TAG | Local:2:I | | AB:1756_AI6_Integer:I:0 | |
| TAG | Local:5:C | | AB:1756_IF4FXOF2F:C: 0 | |
| TAG | Local:5:I | | AB:1756_IF4FXOF2F:I:0 | |
| TAG | Local:5:I | ENTRADA ANALOGICA LT_001 | | Local:5:I.IN [0].DATA |
| TAG | Local:5:O | | AB:1756_IF4FXOF2F:O: 0 | |
| TAG | Local:7:C | | AB:1756_DO:C:0 | |
| TAG | Local:7:I | | AB:1756_DO:I:0 | |
| TAG | Local:7:O | | AB:1756_DO:O:0 | |
| TAG | VSD:I | | AB:PowerFlex700VC_11 1E7E2A:I:0 | |
| TAG | VSD:O | | AB:PowerFlex700VC_19 3ADE2A:O:0 | |
| TAG | Acceso_contraseña | INGRESAR CONTRASEÑA | STRING | |
| TAG | Acceso_usuario | INGRESE AL USUARIO | STRING | |
| TAG | BOMBA_001 | BOMBA | BOMBA | |
| TAG | CMD_ARRANQUE | | TIMER | |
| TAG | CMD_ARRANQUE_HMI | COMANDO DE ARRANQUE DESDE HMI | BOOL | |
| TAG | CMD_PARADA | | TIMER | |
| TAG | CMD_PARADA_HMI | COMANDO DE PARADA | BOOL | |

CONTINÚA 

| DESDE HMI | | | | |
|-----------|----------------------|---|--|----------|
| TAG | CONFIG_desde_master | PARAMETROS DESDE EL MASTER | REAL[10] | |
| TAG | FRECUENCIA_MASTER | | REAL | |
| TAG | FRECUENCIA_SLAVE | | REAL | |
| TAG | GLOBAL_Ack | | BOOL | |
| TAG | LC_001 | | PID | |
| TAG | Lectura_hacia_master | | REAL[10] | |
| TAG | LT_001 | | AnaVal02a | |
| TAG | Max_Raw_AI | | INT | |
| TAG | Min_Raw_AI | | INT | |
| TAG | PB_ARRANQUE_001 | COMANDO DE ARRANQUE DESDE MASTER | BOOL | |
| TAG | PB_PARADA_002 | COMANDO DE PARADA DESDE SLAVE | BOOL | |
| TAG | PL_FO | | BOOL | |
| TAG | SELCOR_MASTER_SLAVE | | BOOL | |
| TAG | SETPOINT_MASTER | | REAL | |
| TAG | SETPOINT_SLAVE | | REAL | |
| TAG | test | | BOOL | |
| TAG | usuario | | STRING | |
| TAG | VSD_001 | | VSD | |
| TYPE | ROUTINE | COMMENT | OWNING_ELEMENT | LOCATION |
| RCOMMENT | NivelTanque | Nivel de Tanque\$NLT-001 | OTE(LT_001.Ack) | 0 |
| RCOMMENT | NivelTanque | Control PID (Proporcional, Integrador, Derivativo) para nivel de tanque | PID(LC_001,LT_001.PV, LC_001.TIE,LC_001.SO, 0,0,0) | 41 |
| RCOMMENT | NivelTanque | COMANDO DE ARRANQUE | OTE(VSD:O.DriveLogicRslt_Start) | 43 |
| RCOMMENT | NivelTanque | COMANDO DE PARADA | OTE(VSD:O.DriveLogicRslt_Stop) | 48 |

A continuación en la siguiente figura 113 muestra la programación realizada, tomando en cuenta las **entradas** y **salidas** de los **tags** del control de nivel, y también mediante la combinación con la lógica de escalera. Para

consolidar la programación, en primera instancia se considera el control de forma manual a fin de poder calibrar el sistema de control de nivel, posterior a la dicha programación se realiza la configuración en el control **PID** para que esto funcione de forma automática.

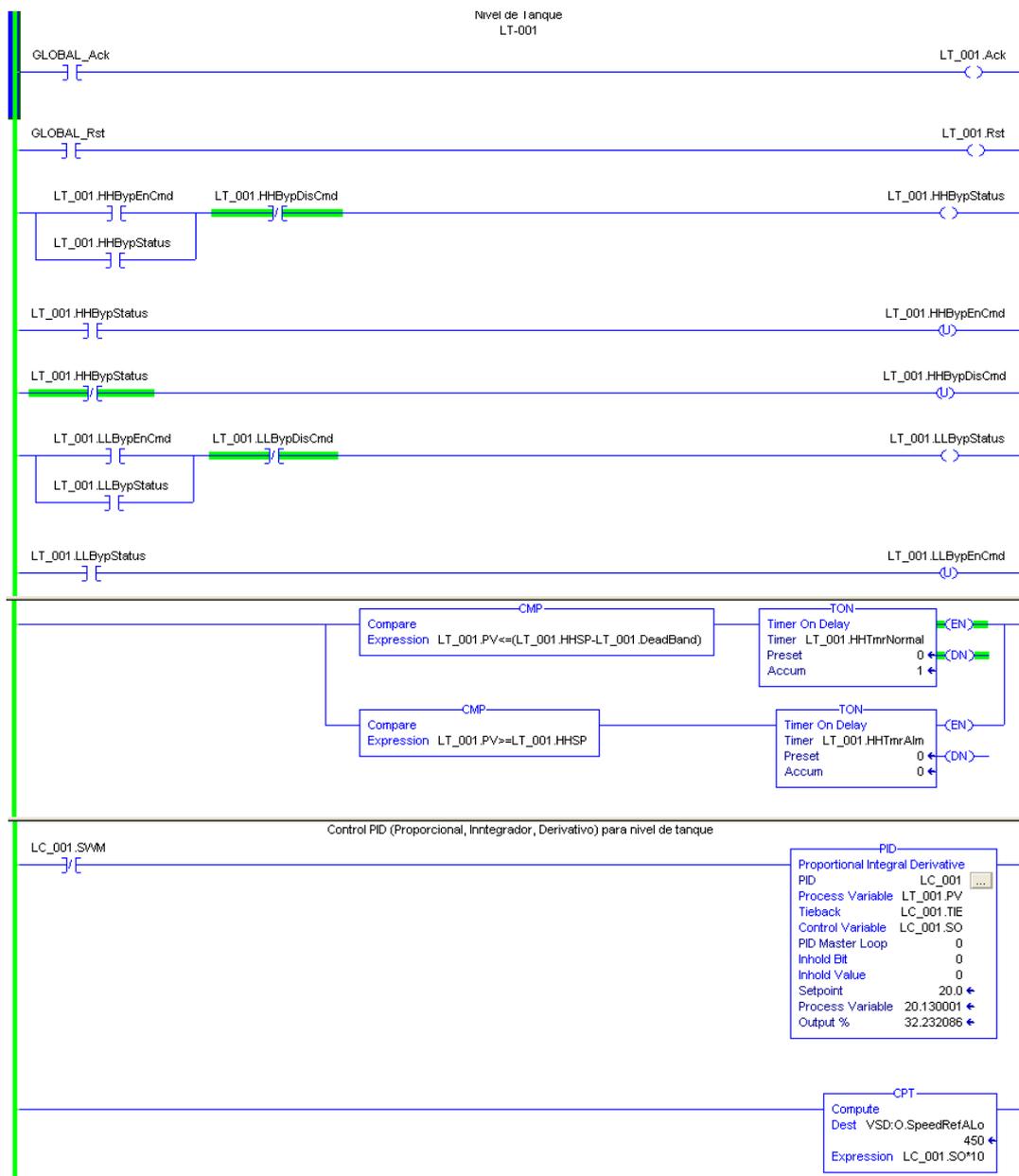


Figura 113 Programación para el control de Nivel

a. Detalles de la Estructura PID

Para detallar la estructura del PID se requiere ingresar en las funciones lógicas de la escalera, donde se debe seleccionar la pestaña **especial** para

encontrar la estructura del PID, una vez ingresado se accede a las propiedades. A continuación en la siguiente figura 114 muestra el modo de ingresar a la estructura y donde se coloca el nombre al PID, **LC_001**.

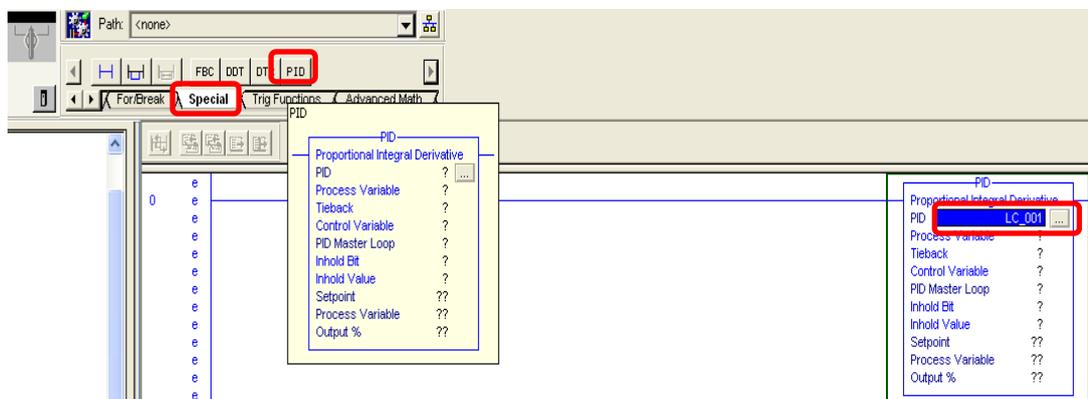


Figura 114 Propiedades del PID

El tipo de control utilizado para controlar el proceso es de tipo proporcional integral y derivativo, para ingresar la señal a controlar se hace referencia al módulo de entradas y salida analógicas **1756-IF4FXOF2F**, con su respectiva calibración dispuesto con anterioridad, cabe señal que se configura cuidadosamente los parámetros del PID tanto el tipo de **ecuación** a **resolver** la acción a controlar y la **salida máxima y mínima**.

En la siguiente figura 115 se puede observar los datos y valores asignados para el cuadro de dialogo correspondiente a la función del PID que se encuentra en la programación de la lógica escalera, mientras tanto la ecuación del PID se asigna como **Independiente** del proceso, dado que la acción a controlar es de tipo **(SP-PV)** setpoint menos la Variable del Proceso, es decir mediante esta ecuación se determinan el valor del **Error**, además para el tiempo de actualización de lazo para esta implementación se dispuso de **(0,1 a 0,5 segundos)**, mientras que el rango de la variable de control está estipulado del **0 al 100%** nada mas como escala.

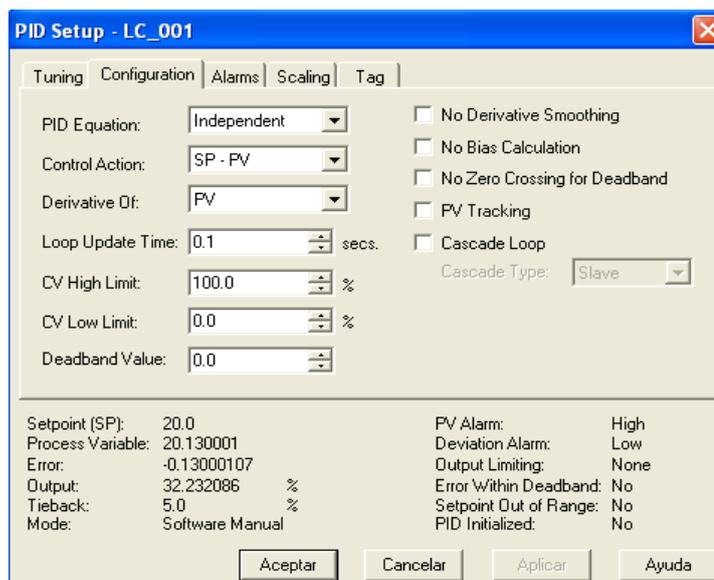


Figura 115 Propiedades del PID en la pestaña de Scaling

Para la siguiente figura 116 se describe en el parámetro **Scaling** los siguientes valores; para la variable del proceso **PV** se tiene la velocidad máxima y mínima del proceso donde el máximo es de **100** y mínimo **0**, mientras que las **unidades de ingeniería** de diseño para el proceso está reflejada la máxima de **100** y la mínima de **0**, no obstante los límites de la variable de control en porcentajes reflejan los valores máximo de **60** y mínimo de **30**, por último el **Tieback** donde se escala la señal del CV al máximo es de **100** y el mínimo de **0**.

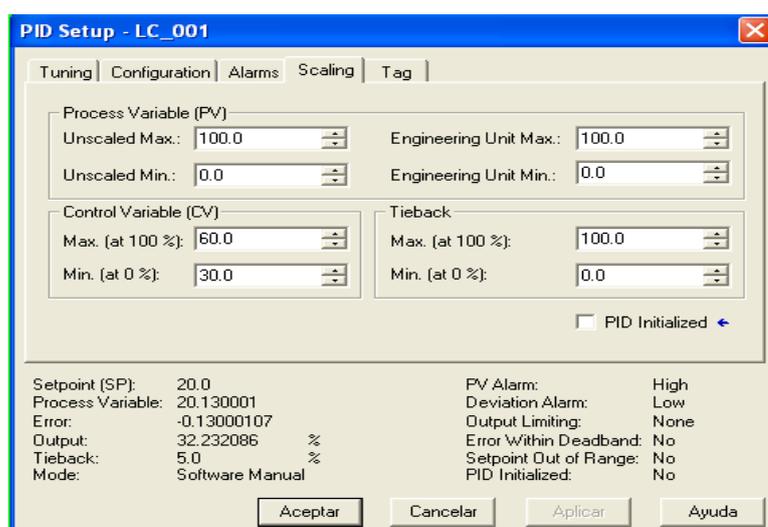


Figura 116 Propiedades del PID en la pestaña de Configuración

Al final en la pestaña de sintonización (tuning), se debe variar el Set Output en porcentaje de salida ajustada (**SO**) con la activación en el modo manual del software, con un valor del **45%** que significa el porcentaje para el valor de la salida analógica, sin embargo se coloca el valor al **30%** en la salida del Output Bias (**.BIAS**). A continuación en la siguiente 117 indica los valores correspondientes al PID.

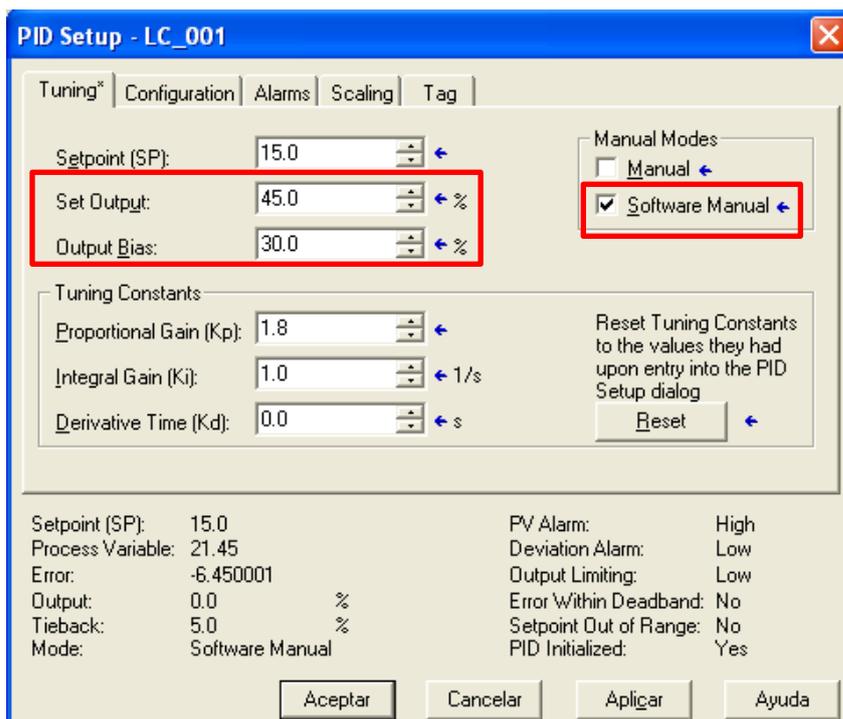


Figura 117 Propiedades del PID en la pestaña de Tunnig

Para finalizar la configuración de los parámetros del PID dar clic en **Aplicar** y enseguida **Aceptar**, automáticamente se guardan los valores ingresados de acuerdo al análisis requerido.

3.9 Desarrollo del HMI Factory Talk View ME

Para desarrollar el HMI es indispensable el software de programación del Panel View Plus 1000, que se comunica entre el controlador L61 Slave y el panel operador mediante la red de comunicación Ethernet, por otra parte es necesario interactuar mediante una interface gráfico de programación en el Controlador L61 Master, para todo esta programación Rockwell Automations

diseño el software **Factory Talk View Studio**, esta plataforma es única en configuración grafica ya que para el panel View Plus 1000 se utiliza el Factory Talk Machine Edition, mientras que el Monitoreo y control en la estación master se utiliza una computadora donde se realiza la configuración en el Factory Talk Site Edition.

Ahora para empezar Factory Talk View Studio, se debe dirigir a la pestaña en inicio de Windows, enseguida hacer el despliegue en **Todos los programas> Rockwell Software>FactoryTalk View>FactoryTalk View Studio**, una vez cargado el Software seleccionar cualquiera de la dos opciones que se amerite Machine Edition y Site Edition, luego hacer doble clic sobre las dichas opciones o seleccionar la tecla de **Continue**, ver figura 118.

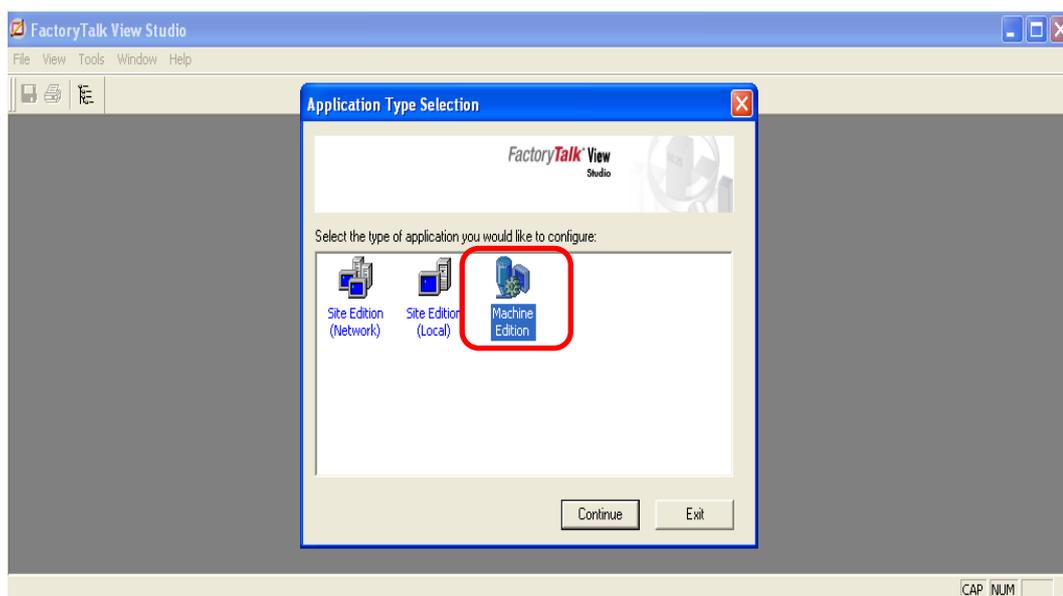


Figura 118 Selección de Factory Talk ME

3.9.1 Factory Talk Machine Edition

a. Configuración para el Panel View

Para la configuración del Panel Operador se procede a cargar el icono de Machine Edition, seguido hacer clic sobre la pestaña de **Continue**, luego seleccionar **New** en el cuadro de dialogo de la Nueva aplicación, donde se asigna con el nombre de **SLAVE**, finalmente dar clic sobre la pestaña de

Create para crear el nuevo proyecto, en la figura 119 se muestra la siguiente ventana.

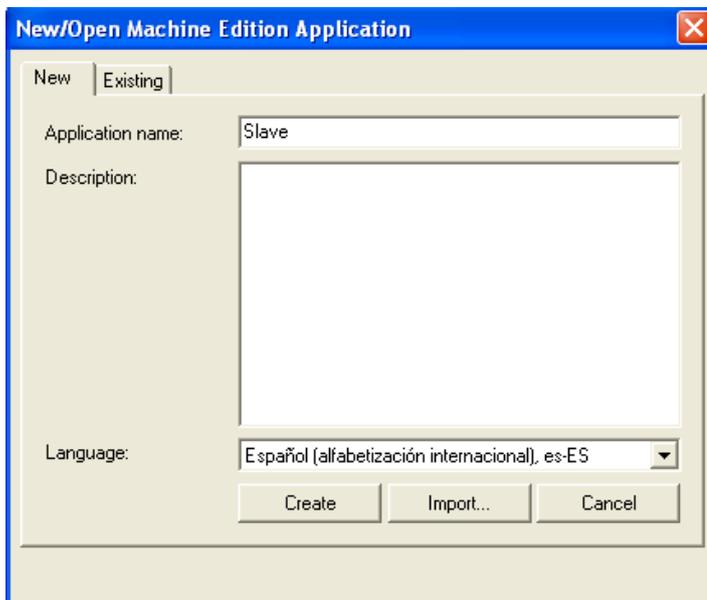


Figura 119 Asignando nuevo proyecto

Una vez creado el proyecto, aparece en el lado izquierdo el árbol de configuraciones el cual sirve para explorar, luego se debe seleccionar **RsLinx Enterprise**, y finalmente hacer doble clic sobre **Communication Setup** para su enlace, a continuación se visualiza en la siguiente figura 120.

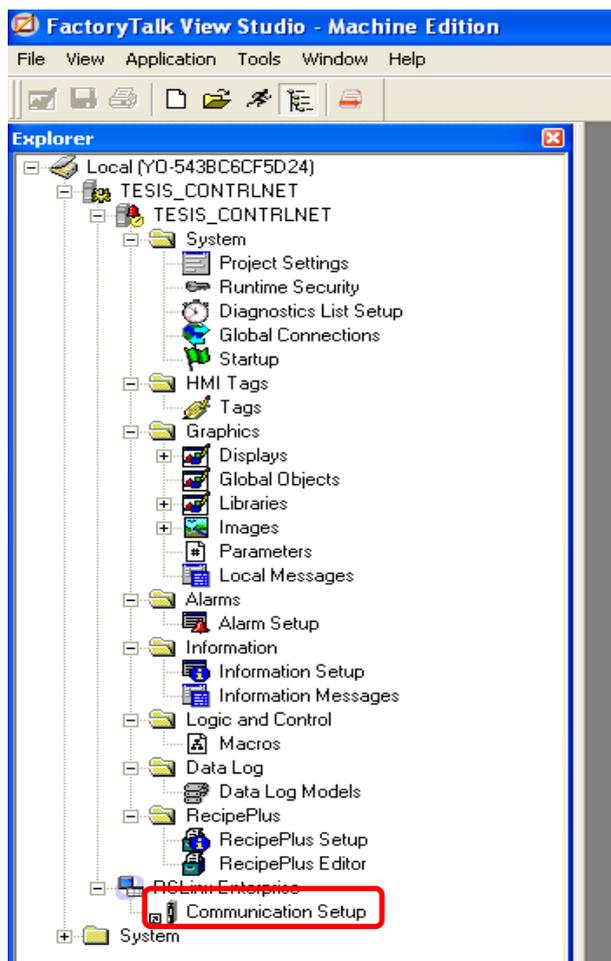


Figura 120 Enlace usando RSLinx

En el siguiente paso aparece una ventana emergente denominado **RSLinx Enterprise Configuration Wizard**, el cual se debe seleccionar la opción **Create a new configuration**, luego dar clic en la pestaña **Finalizar**. En consecuencia aparece una pantalla con el árbol del proyecto donde se debe seleccionar el controlador del Slave 4, **1756-L61>TesisControlnet** para cargar sus respectivos Tags creados en el PLC e igual forma en el Factory, finalmente se debe hacer clic en **Apply** para realizar cambios, es por lo mismo que se debe seleccionar la pestaña **SI**, a continuación en la 121 muestra la siguiente pantalla con el árbol de comunicaciones.

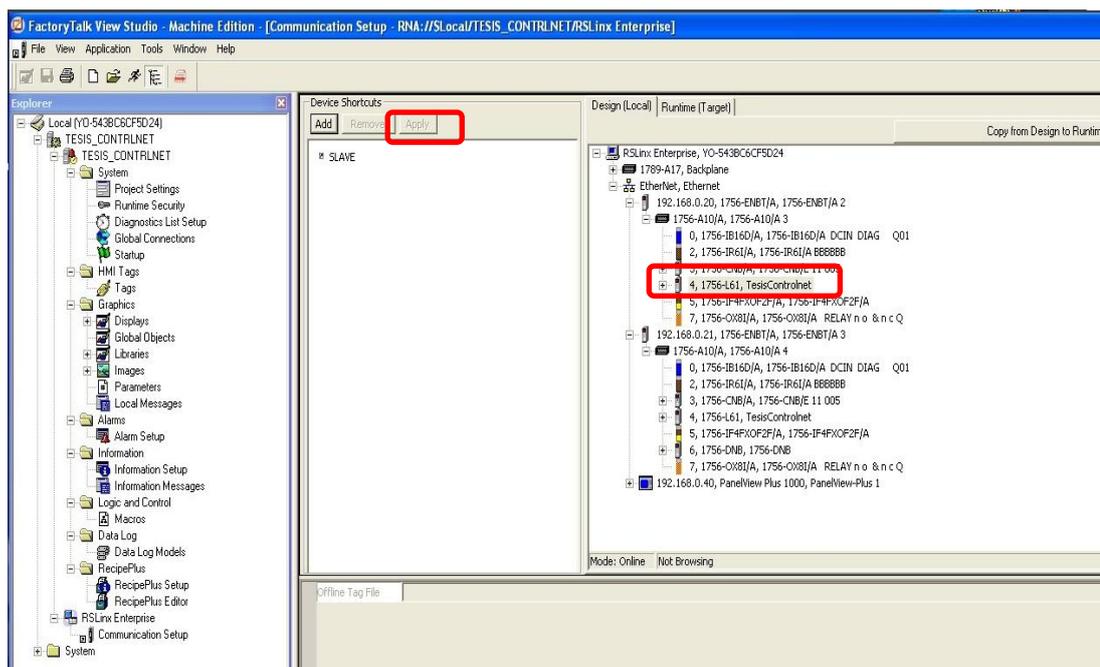


Figura 121 Ventana Emergente de Rslinx Enterprise

Luego de haber realizado el enlace correctamente con el controlador del Slave, se procede en la misma pantalla a seleccionar la pestaña denominado **Copy from Desing to Runtime** que se encuentra en la ventana de **Desing (Local)**, finalmente haga clic en **SI** en el cuadro de dialogo que aparece en la siguiente figura 122, para que se ejecute de forma correcta el enlace realizado con anterioridad

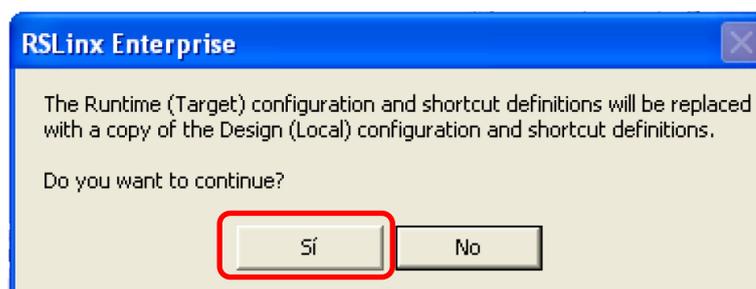


Figura 122 Ventana de confirmación

Ahora dirigir a la pestaña de **Browse** donde se debe dar doble clic para ingresar los tags creados en el RSlogix 5000 que se encuentran cargados en el controlador L61 Slave, en consecuencia se enlaza con el Factory

haciendo clic en la barra de tareas denominado **Offline Tag File**, ver figura 123, lo cual representa en la siguiente ventana.

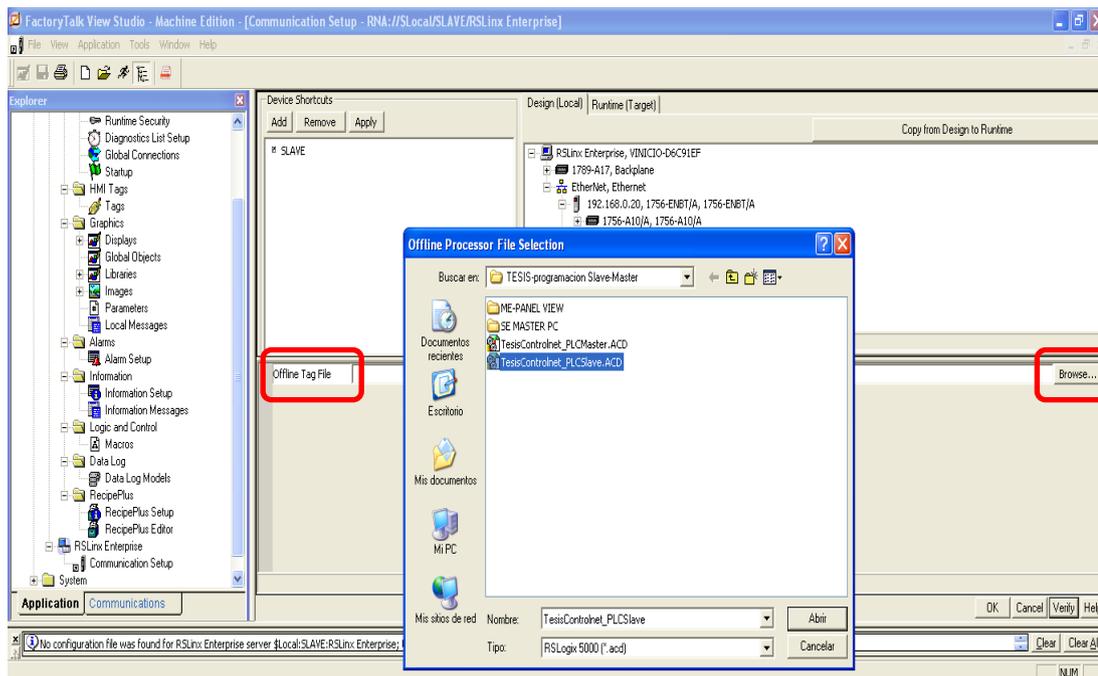


Figura 123 Ingresando tags del Slave

Finalmente se comprueba, tanto el direccionamiento entre el controlador y el Factory, donde se debe dirigir a la pestaña de **Verify** que se encuentra en la parte inferior derecha de la pantalla principal en Machine Edition, a continuación aparece un cuadro de dialogo denominado **Shortcut Verifier**, el cual me indica si es correcto el procedimiento realizado o el error de comunicación y asignación de dispositivos (Logix Device), el procedimiento tiene como finalidad de tomar acciones correctivas, a continuación indica en la figura 124 la siguiente ventana.



Figura 124 Verificando el enlace

Se concluye con la configuración y habilitación de los parámetros del HMI, haciendo clic sobre la pestaña **OK** que se encuentra en la parte inferior derecho en la pantalla principal de Factory, no obstante aparece una ventana de dialogo denominado RSLinx Enterprise, donde indica si requiere realizar los cambios de la configuración o simplemente denegar, finalmente hacer clic sobre la pestaña de **SI** para el enlace el Rslogix y el Factory, y definitivamente se puede acceder a cada una de los parámetros que se agreguen a las pantallas con los tags generados, ver figura 125.

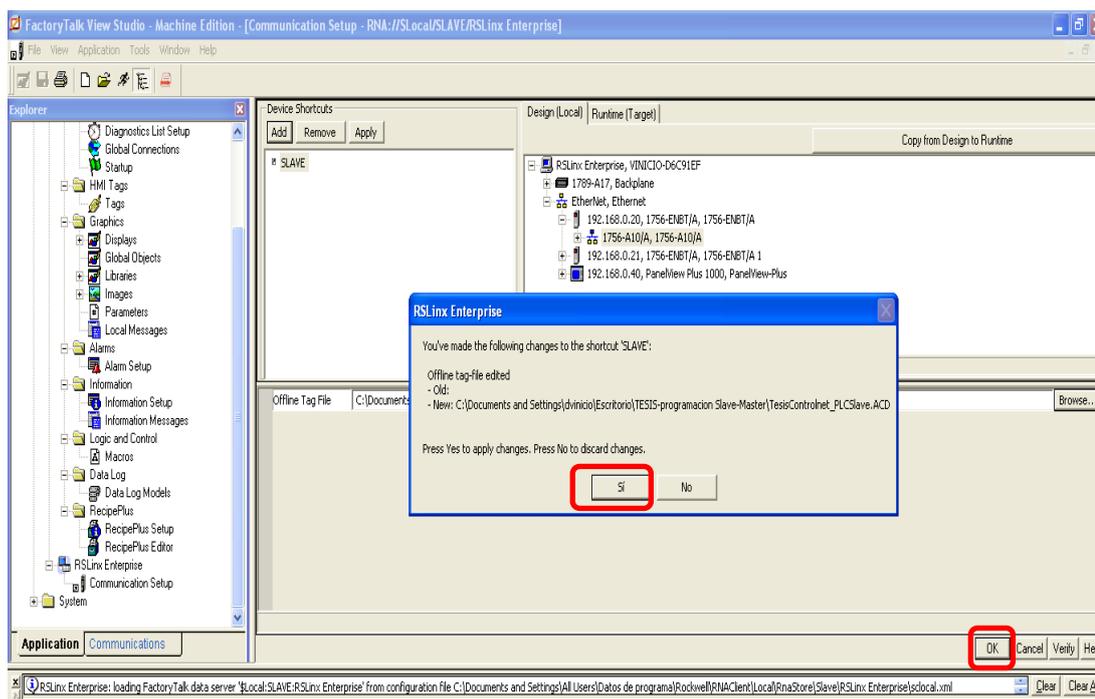


Figura 125 Pasos para guardar el enlace

b. Programación en el Factory Machine Edition

b.1 Creando Display HMI

Para crear una nueva pantalla de los HMI se debe hacer clic sobre el icono del **Display** ubicado en la carpeta de **Graphics**, luego comenzar con la programación del interfaz gráfico ya predefinidos en el programa, los mismos que se encuentran asociados a los tags, a continuación en la siguiente figura 126 me indica la siguiente ventana.

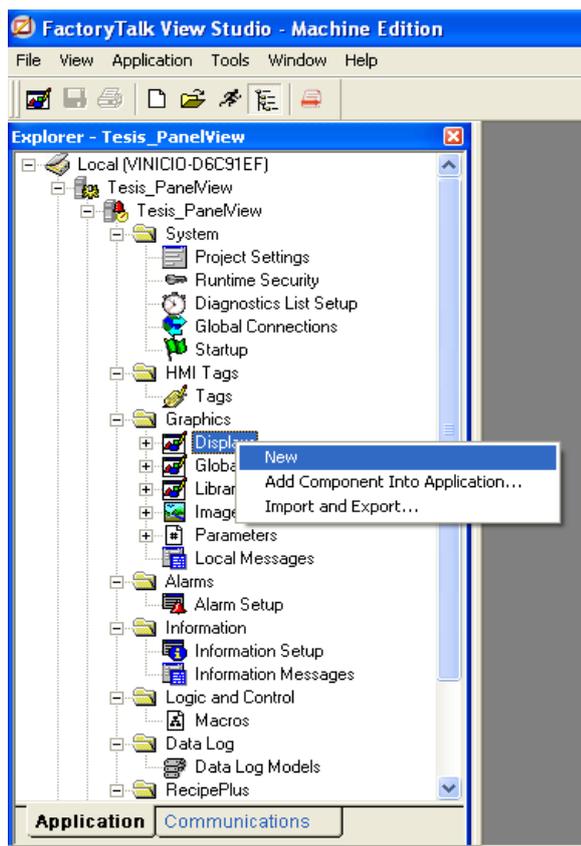


Figura 126 Nuevo Display

Factory Talk Machine Edition permite desarrollar las diferentes interfaces y servicios que permiten monitorear el proceso, además permite crear ventanas que sirven para navegar dentro del HMI, el cual contiene animaciones que sirven para visualizar e interactuar en el proceso, ingresar datos y colocar seguridades para el dicho proceso, cabe mencionar que posee un gran número de displays que están prediseñadas y se encuentran alojadas dentro de **Libraries**, donde se despliega con el signo (+) que sirve para navegar en la búsqueda de dispositivos.

Ahora tenemos dentro del carpeta **Graphics** en la pestaña de **Displays** las pantallas diseñadas para el proyecto, las cuales proporcionan displays que sirven para interactuar mediante el HMI tales como Inicio, Control de Nivel (T_001), alarmas, Diagnósticos, Históricos. No obstante restan animarlos y asignarlo con Tags, a continuación en la siguiente figura 127 indica la lista de pantallas creadas en el árbol del HMI.

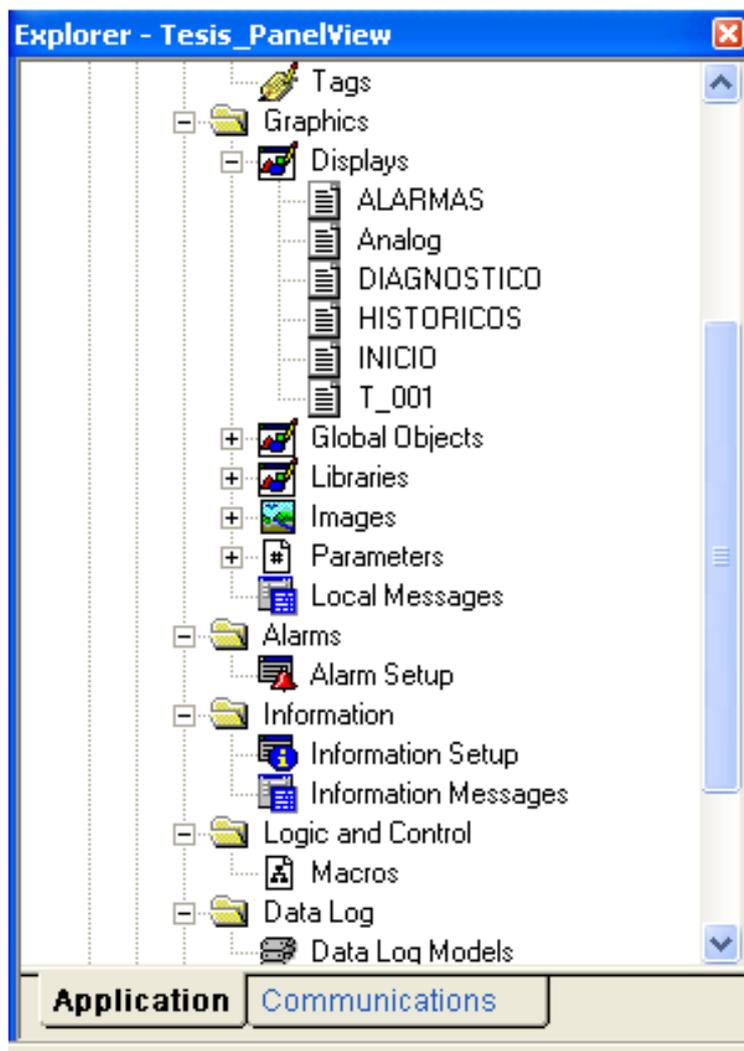


Figura 127 Display Creado para HMI

Además para lograr ingresar dispositivos y elementos que sirven de complemento para la animación dentro de las pantallas lo hace posible en **Libraries** tan solo despliegue en la carpeta **Graphics**. Finalmente de haber conocido elementos para decorar se debe establecer la pantalla principal y dirigirse a **Startup** donde se parametriza para obtener la pantalla de **INICIO** y entre otros, luego colocar pestañas (Botones) que sirve para dirigirse a cada una de las pantallas, luego hacer clic en **Objects>Display>Navigation>Goto** enseguida aparece en el puntero para colocar dentro de la pantalla, luego hacer clic derecho sobre la pestaña para ingresar a las propiedades de la pestaña donde aparece una ventana emergente **Go to Display Button** pre configurados que conllevan a

establecer las pantalla establecidas en el HMI, a continuación en la siguiente figura 128 muestra la siguiente ventana.

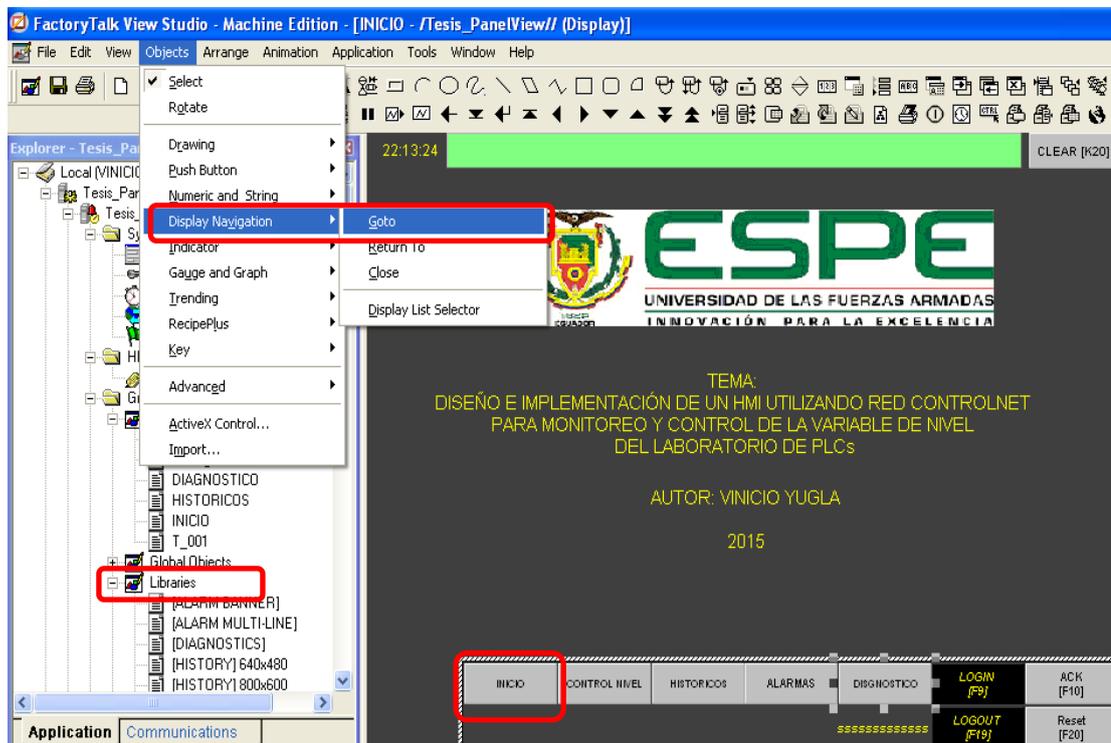


Figura 128 Ingresando Button

Para cada una de los botones principales se realiza el mismo procedimiento antes indicado el cual conlleva a decorar las dichas pantalla de Machine Edition, además otras de las opciones es utilizar la barra de acceso rápido con opciones ilimitadas, e incluso una vez establecido los botones se presiona la tecla **Ctrl** y el puntero del mouse para seleccionar a cada uno y posteriormente juntarlo con la opción **Group**, en la siguiente figura 129 muestra la siguiente barra de herramientas con acceso rápido.

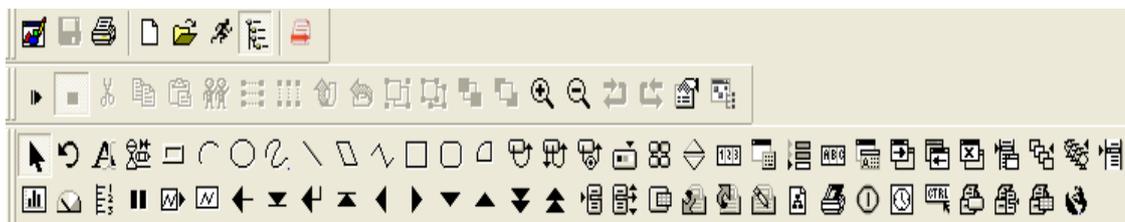


Figura 129 Barra de herramientas con acceso rápido

b.2 Creación de los Tags

Sin embargo para crear los tags se dirige al árbol del proyecto, en la carpeta HMI tags donde se despliega y luego dar clic sobre el icono del **Tags**, por lo tanto aparece una ventana de tags el cual sirve para la configuración. De la misma manera que se crea tags en el PLC se lo hace en el HMI, lo ideal es de crear tal cual como se encuentra en el PLC. A continuación se encuentra los tags en **Search For** en la esquina inferior izquierdo del árbol ubicado en la carpeta del SLAVE lo cual contiene el **LT_001** donde se encuentra los mismos parámetros del PLC, en definitiva se debe llamarle de igual forma en el HMI para que no haya confusión alguna considerando el nombre, tipo y descripción, a continuación en la figura 130 se ilustra la siguiente ventana de tags.

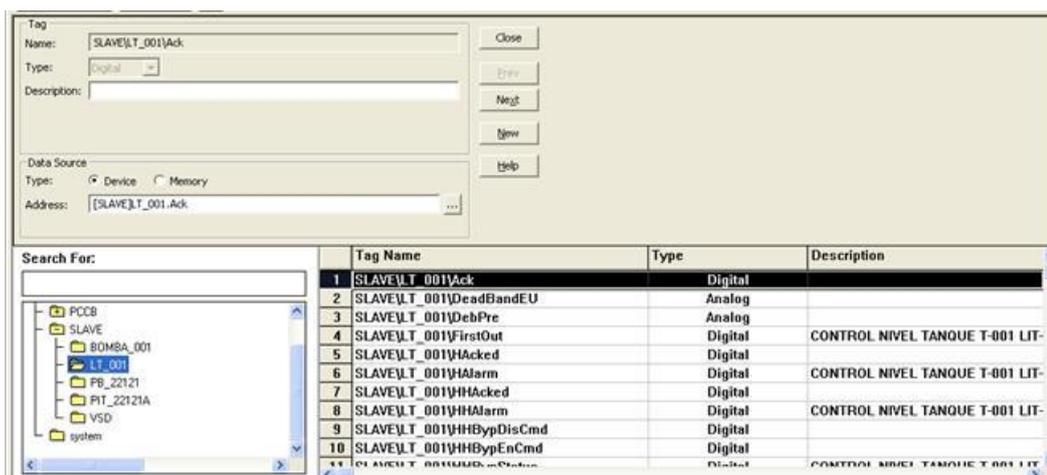


Figura 130 Ventana de Manejo con Tags

Luego para cargar los tags correspondientes del PLC al HMI se debe poner en línea mediante RSlinx Online tal cual como se indicó al principio de la programación en el HMI, por lo tanto en line encontramos el resto de tags, en la opción **Data Source** sirve para seleccionar la fuente de extracción y luego cargar al PLC, en la siguiente figura 131 muestra la siguiente ventana, así también la selección del tipo de dato.



Figura 131 Subventana de Tags

En consecuencia de haber seleccionado la pestaña de navegación aparece una ventana de configuración denominado **Tag Browser** donde se observa la necesidad de actualizar todos los folders de las unidades de control y HMI. Este método sirve para obtener los Tags de la unidad de control, ver figura 132 donde indica en detalle la carpeta.

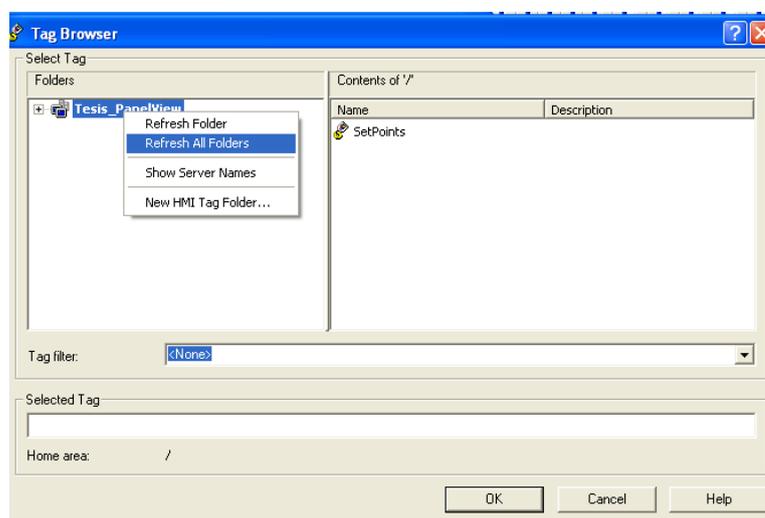


Figura 132 Ventana de Búsqueda

Luego de actualizar todas las carpetas, a continuación en línea aparecen los tags que se descargaron en las unidades de control. En la ventana de la siguiente figura 133 indica tanto las carpetas del lado izquierdo y los **tags** del **LT_001** en el lado derecho.

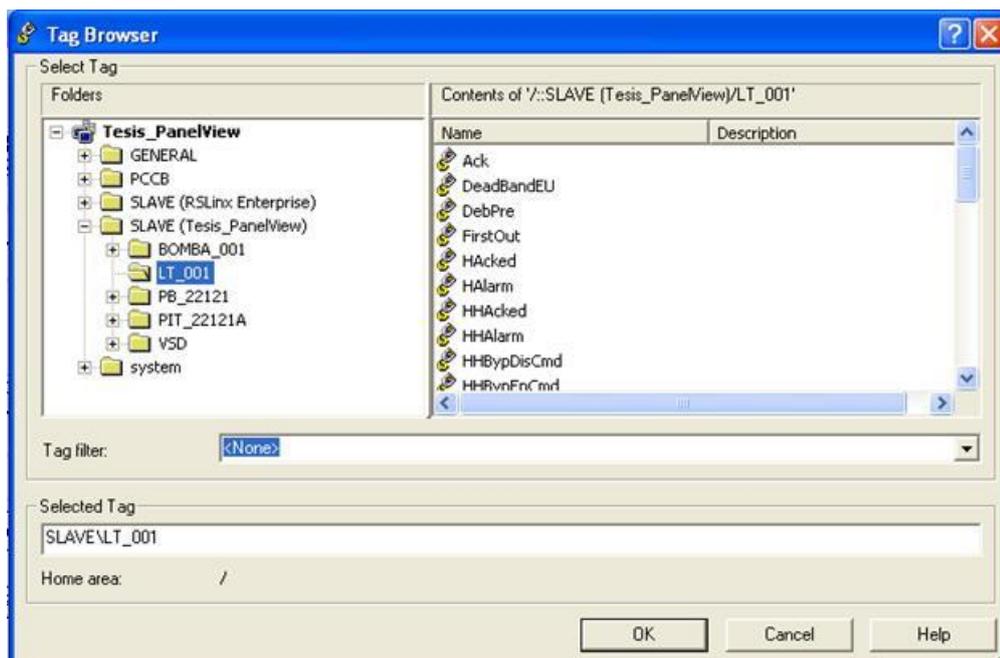


Figura 133 Alojamiento de Tags

Una vez seguido el procedimiento de descarga de los tags, ahora se debe colocar en cada botonera asignado a cada pantalla el cual sirve para animar el proceso. En la botonera que se encuentra en la barra de herramientas denominado **Goto Display Button** asignado con el nombre **INICIO** se coloca una breve introducción de texto, además esta ventana contiene un menú estético que utiliza las siguientes opciones de programación : **Login Button**, **Logout Button**, **String Display**, **Push Button (Ack, Reset)**, **texto**, **Alarma**, **Time Date Display**, **Alarman Button**, e **Imagen**, cada una de los paneles se debe hacer clic derecho y seleccionar propiedades para asignar el nombre, colores y tamaño, en la figura 134 muestra la conformación de la pantalla.

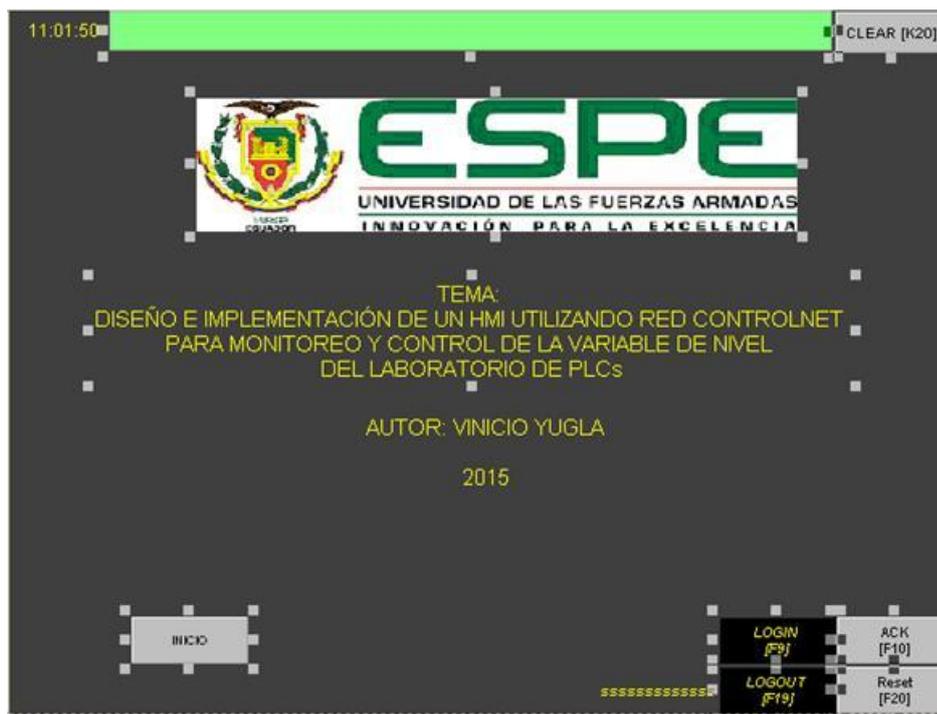


Figura 134 Inicio de la Pantalla HMI

Seguidamente se coloca la segunda botonera para el cual se revisó en los procedimientos anteriores de como ingresar el Button, Alarmas, Display, textos, y asignar el nombre en las propiedades. El software facilita la barra de acceso rápido y las librerías propias del dicho software, cabe señalar que la estética del programador se logra de acuerdo a la necesidad del Interfaz Humano Maquina. A continuación en la siguiente figura 135 muestra el control de nivel asignado con el nombre del Display T-001.

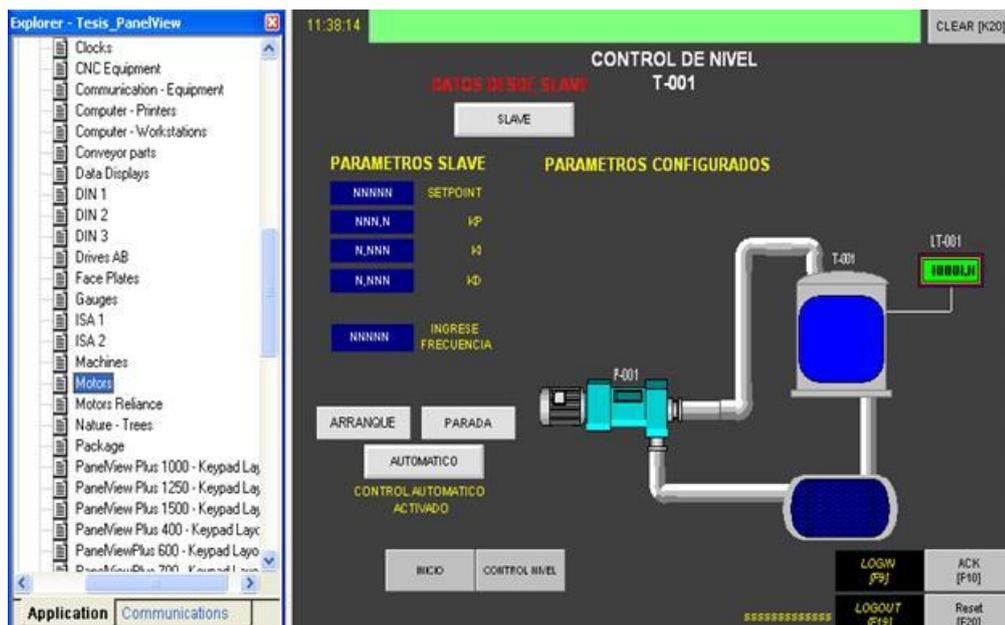


Figura 135 Pantalla-Control de Nivel

En la misma botonera de control de nivel se considera otra de las opciones principales que posee el software, donde el arranque del proceso comandado por el VSD es necesario agregar el botón de encendido y paro el cual se utiliza el **Momentary Push Button**, asignado mediante el nombre de **encendido** y respectivamente el **Apagado**, luego hacer clic derecho sobre el botón para acceder en las propiedades y seguido dirigirse a **Connections**. No obstante en la ventana de propiedades push button aparece el tag que se denomina [SLAVE\BOMBA_001\PB_ARRANQUE], de mismo modo se enlaza respectivamente para la parada, además tenemos un selector de mando para el control **Manual/Automático** que se encuentra enlazado con el tag denominado [SLAVE]LC_001.SWM, ver figura 136 con tres pasos en la siguiente ventana.

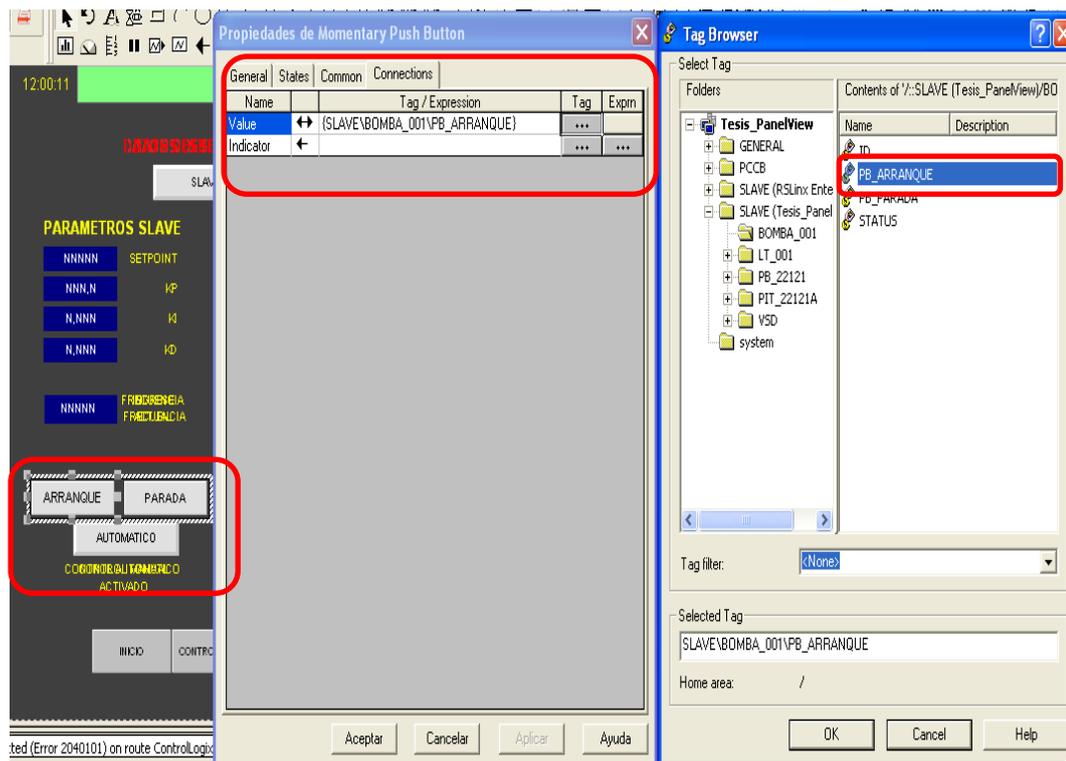


Figura 136 Programando Momentary button- HMI

Otro de los parámetros importantes en el HMI es la calibración utilizando el panel operador panel View Plus 1000 táctil, el cual se ingresa valores para la calibración del dicho lazo donde se necesita enlazar los distintitos parámetros como son las siguientes variables **SetPoint (SP)**, Ganancia Proporcional (**KP**), ganancia Integral (**KI**) y ganancia derivativa (**KD**), digitar el valor de la frecuencia (**VSD**) para el modo manual, por lo tanto se necesita ingresar el **Numeric Display** que se encuentra en la barra de herramientas graficas del Machine Edition, una vez ingresado hacer clic derecho sobre el panel numérico para dirigir a las **propiedades>connections**, a continuación en la siguiente figura 137 indica las propiedades y los tags.

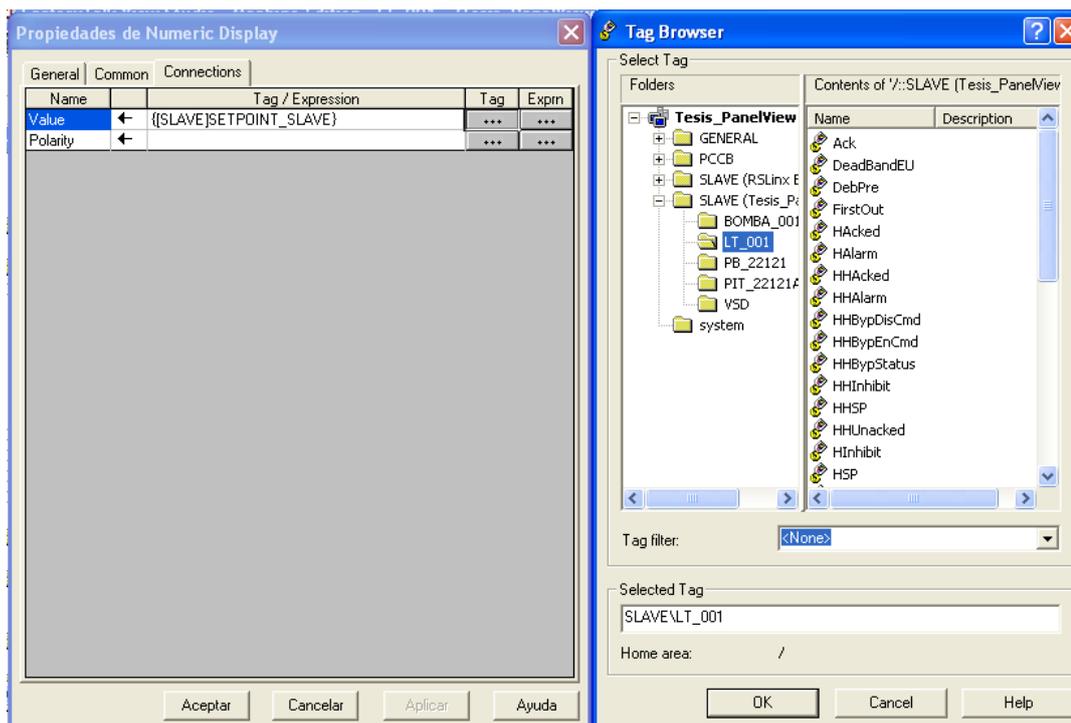


Figura 137 Programando Pantalla Numérica

Sin embargo la simulación para el llenado del tanque es importante con una interfaz gráfica donde se utiliza un **Bar Graph** que se encuentra enlazado directamente con el tag de la variable del proceso, para el cual hacer clic derecho sobre el tanque y dirigirse a **animation>color>fill** donde se debe seleccionar el rango en mínimo y máximo asociado con el tag (**SLAVE\LT_001\PV**), a continuación en la siguiente figura 138 indica la siguiente ventana para la configuración del llenado de tanque.

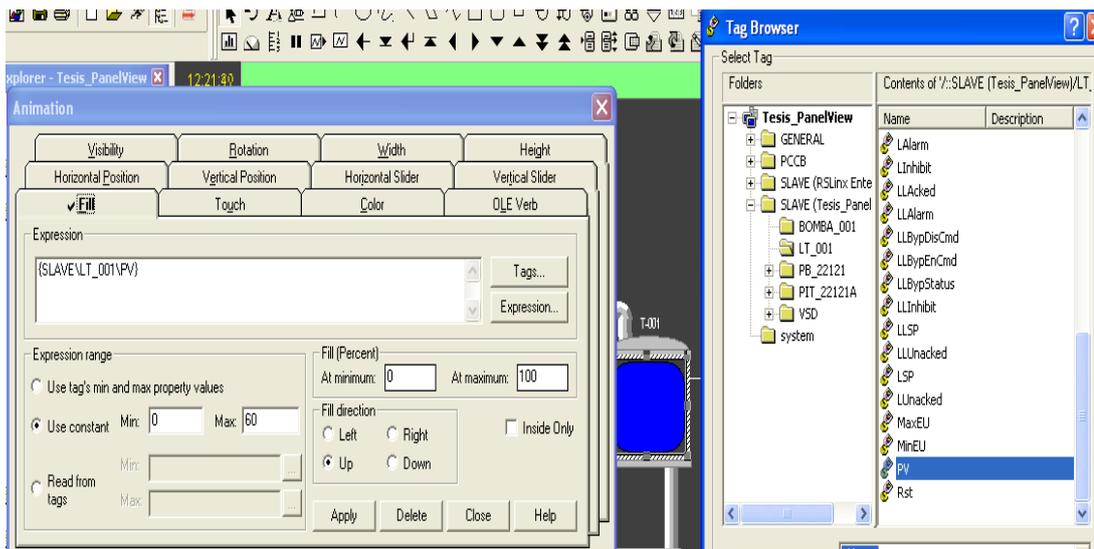


Figura 138 Configuración de Animación-Rango

También se configura el **status** de la bomba, cuando arranca se pone de color verde, mientras que cuando apaga se pone de color rojo, esto se logra mediante la configuración. Hacer clic derecho sobre el panel de la bomba seleccionar **Animation>Color>Tags**, denominado **(SLAVE\BOMBA_001\STATUS)**, en las condiciones se encuentran asignados los colores tal cual como me indica en la siguiente figura 139.

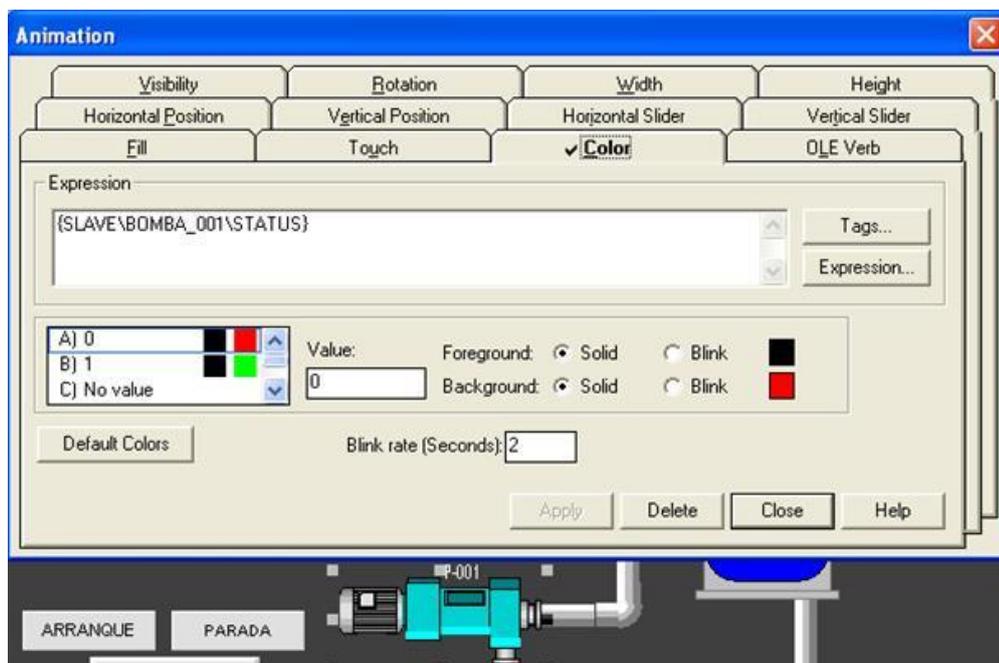


Figura 139 Configuración de Animación-Color

Otra de las opciones que se utiliza para la animación, es el comando de texto solicitando acceso para el HMI comandado por el Master, lo cual dirigimos al texto donde se debe hacer clic derecho sobre el texto de **SOLICITUD DE ACCESO**, luego dirigir a **Animation>Visibility**, para el enlace del tag denominado **(SLAVE) usuario_permitido**, con la expresión de estado Invisible, a continuación se muestra la en la siguiente figura 140.

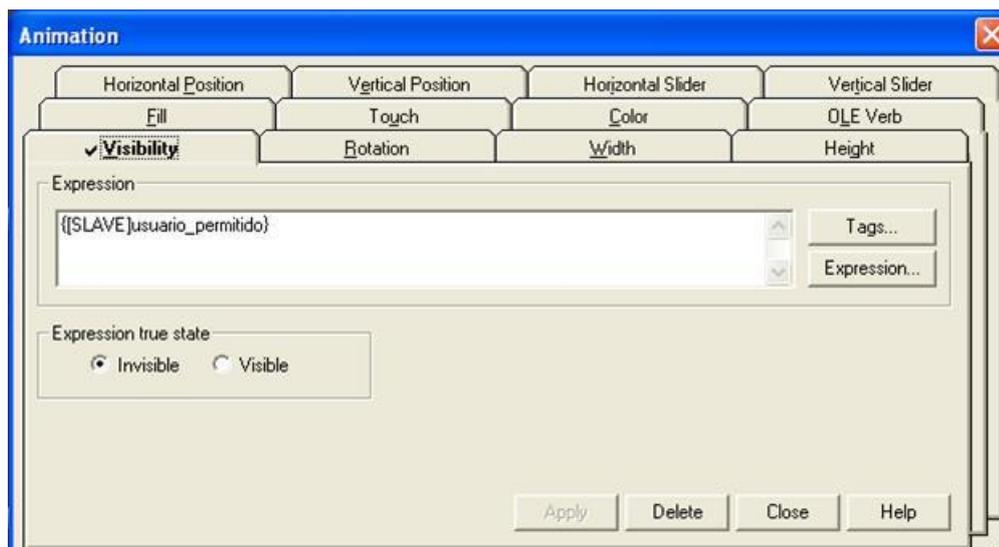


Figura 140 Configuración de Animación-Visibilidad

Finalmente para la configuración de la pantalla de control de nivel es necesario agregar demás accesorios tales como tuberías, tanques, reservorio, bomba y sus derivaciones en sus correctas posiciones y alineaciones respectivas proporcionada por la barra de acceso rápido, a continuación en la siguiente figura 141 indica finalizada la pantalla.

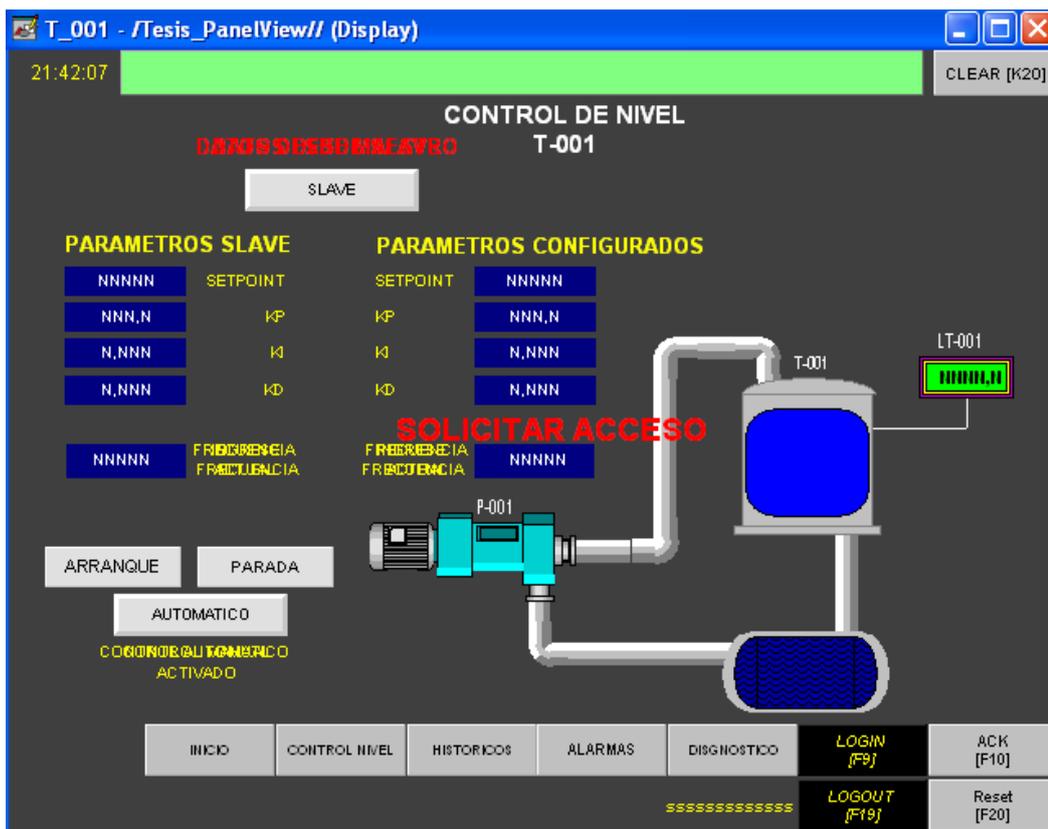


Figura 141 Pantalla final HMI

b.3 Pantalla de Históricos

La finalidad de crear y configurar la tercera botonera denominado “Históricos” es para comprobar el funcionamiento del control y el monitoreo de la variable de nivel en forma visual de acuerdo al control PID totalmente sintonizados, donde se tiene una opción para visualizar las tendencias del proceso mediante una pantalla gráfica, además se visualiza cada uno de los valores de las variables de proceso, control y setpoint. La pantalla preconfigurada se encuentra en la carpeta **Libraries>Trends** donde se debe hacer clic para ingresar, ver figura 142.

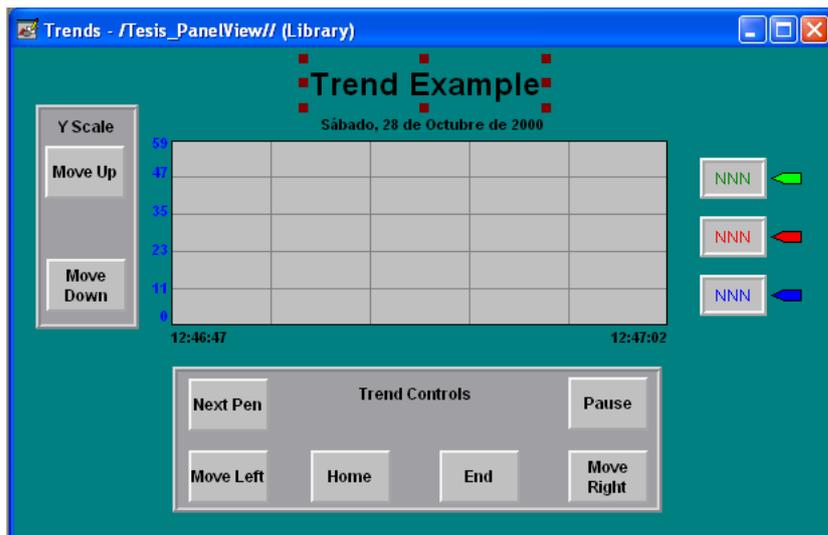


Figura 142 Pantalla de Históricos-Trend

Consecuentemente de hacer cambios en el **Trend**, se obtiene tal cual como se indica en la siguiente figura 143 (ventana derecha), luego para acceder a la configuración hacer doble clic sobre la pantalla del **Trend**, donde aparecen las propiedades de la dicha pantalla. Finalmente se dirige a la pestaña de **PENS** donde se encuentra la dirección de los tags (ventana izquierda), donde se debe agregar las siguientes variables (Variable del Proceso **PV**, Status de la bomba, Setpoint y la frecuencia), dando colores a cada uno de los procesos.

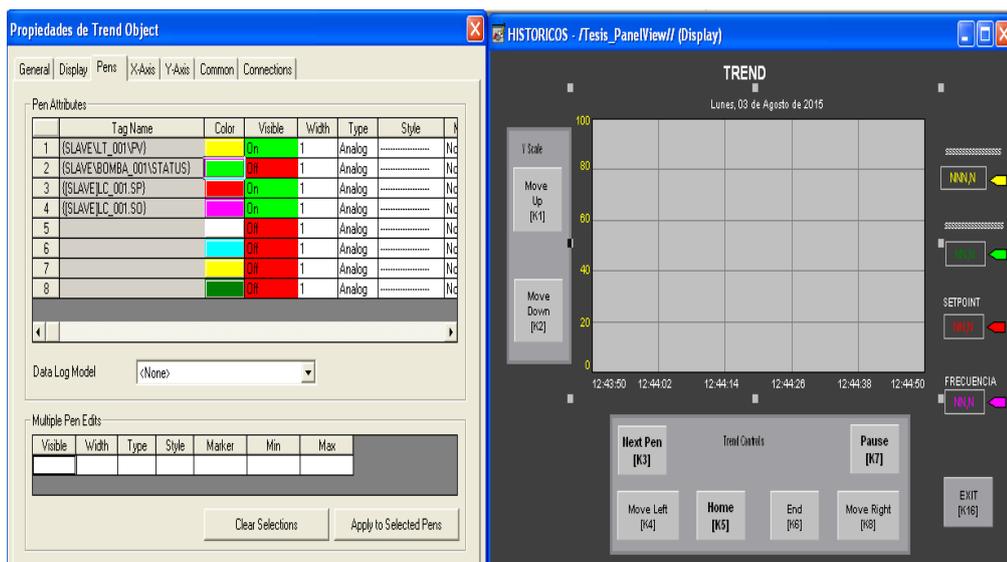


Figura 143 Configuración del Trend

Para finalizar la configuración del **Trend** se revisa cada uno de los parámetros se encuentren correctamente ajustados, debido a que el proceso se representa mediante el empleo habitual de las variables magnitud-tiempo, siendo el intervalo de tiempo configurable desde segundos hasta horas, y el intervalo de escaneado desde milisegundos hasta minutos, lo cual presenta una curva característica que grafica en tiempo real la señal del sensor acondicionado mediante el Software , el estado de la bomba, frecuencia y el valor deseado en el nivel del tanque.

b.4 Pantalla de Diagnósticos

La pantalla de diagnóstico sirve para revisar todo lo que ocurre cuando se ejecute o deje de ejecutar las maniobras realizadas, tales como acceso permitido al usuario sea o no la correcta, así también si tiene el suficiente privilegio para acceder en una pantalla específica, en definitiva se diseñó para visualizar siempre que ocurra alguna clase de evento. A continuación en la siguiente figura 144 indica una ventana modificada del **Display** el cual se encuentra en **Libraries** de Rockwell Automation.

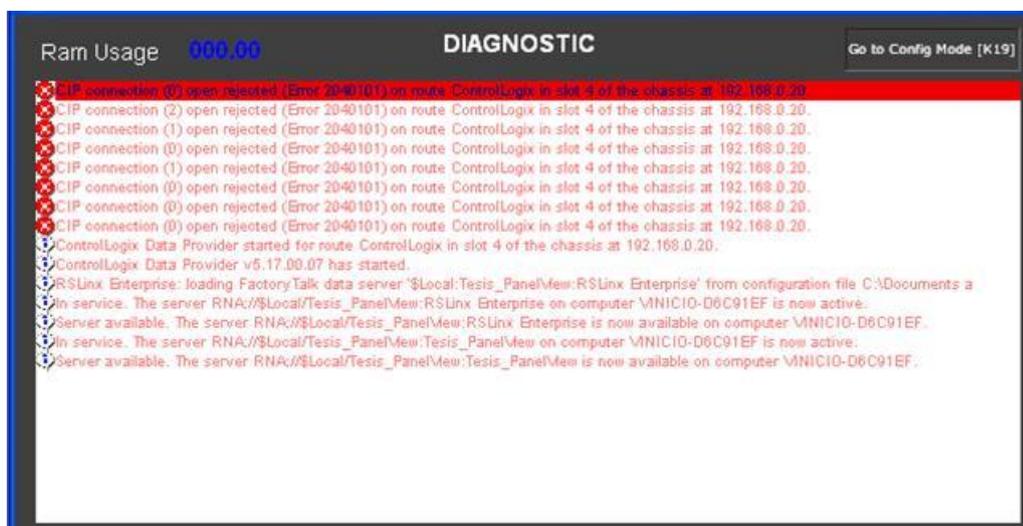
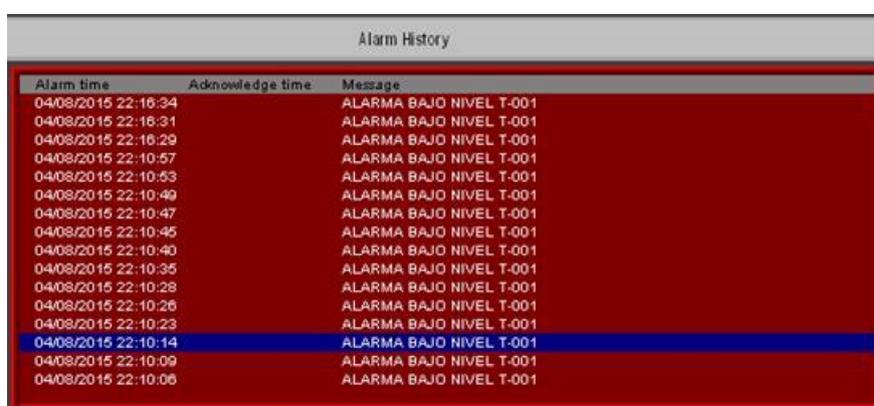


Figura 144 Pantalla de Diagnósticos

b.5 Pantalla de Alarmas

La pantalla de Alarmas se encuentra haciendo el despliegue en **Libraries** de Rockwell, lo cual se realiza unas modificaciones para ajustar a nuestra necesidad y conocimientos adquiridos para este software, en esta pantalla se puede observar cuando la alarma esté ocurriendo en tiempo real para que el usuario sepa en que el proceso está sucediendo alguna clase de alarmas ya sea el nivel del tanque, nivel bajo o alto, ver figura 145 la pantalla de alarmas.



| Alarm time | Acknowledge time | Message |
|---------------------|------------------|-------------------------|
| 04/08/2015 22:16:34 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:16:31 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:16:29 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:57 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:53 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:49 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:47 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:45 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:40 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:35 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:28 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:26 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:23 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:14 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:09 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |
| 04/08/2015 22:10:06 | | ALARMA BAJO NIVEL T-001 |

Figura 145 Pantallas de Alarmas

b.6 Descargar el Proyecto en Panel View

Cuando todos los Display fueron verificados satisfactoriamente, se procede a descargar el programa en el HMI, teniendo cuidado de que la versión sea compatible con la del HMI, no obstante se crear una aplicación para realizar la descarga al panel operador, para el cual dirigir a la barra de herramientas en **Application>Create Runtime Application**, luego asignar el nombre y finalmente direccionar.

Sin embargo para descargar el proyecto al Panel View plus 1000 se debe seguir el procedimiento a partir de la aplicación creada, lo cual se dirige a la barra de herramientas **Tools>Transfer Utility**, donde aparece una ventana para cargar la aplicación. A continuación seleccionar en RSLinx Enterprise el panel View Plus 1000, y marcar unas de las opciones

mostradas en la siguiente figura 146, para que automáticamente remplace y arranque el proyecto.

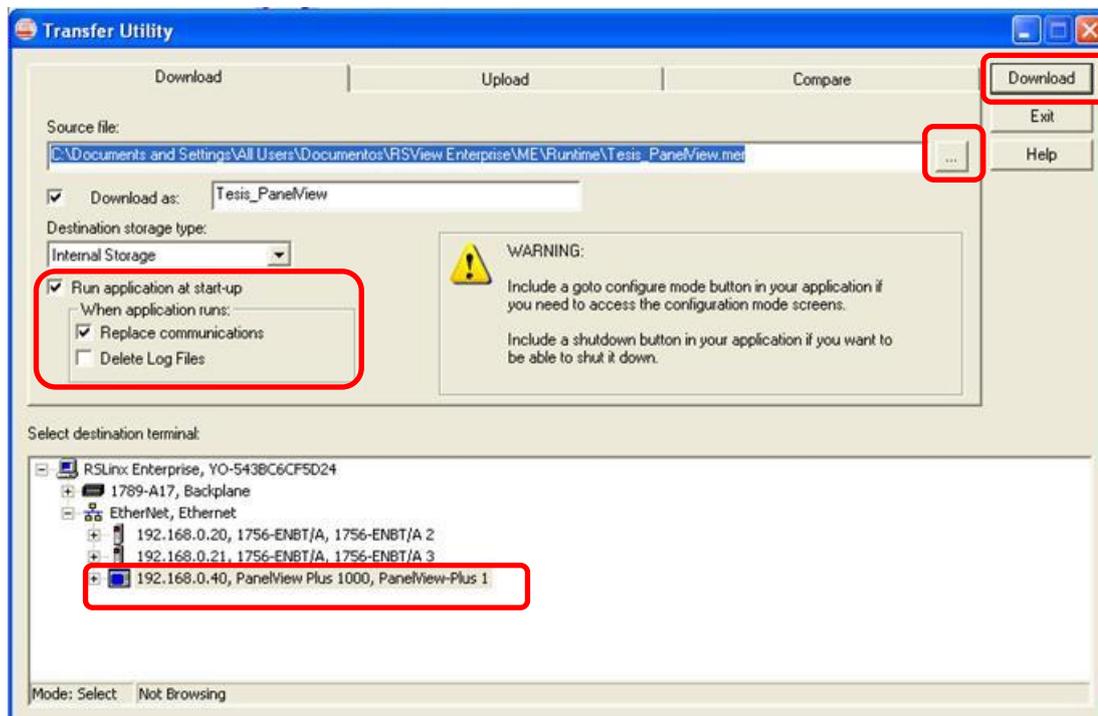


Figura 146 Descargando el Proyecto HMI al Panel View Plus

Para finalizar hacer clic en Download donde enseguida indica el proceso de descargar al panel view plus 1000, además de haber seleccionado se demora un tiempo prolongado de procesamiento, y por ultimo aparece una ventana de dialogo denominado (**The download has completed successfully**), que significa que la descarga fue exitosa.

3.9.2 Configuración en Factory Talk Site Edition

El software de Rockwell Automation Factory Talk View Studio contiene aplicaciones de acuerdo a la necesidad del programador en este caso (**Site Edition**) viene a ser parte de la familia de Factory Talk View Enterprise Series, productos que suministran una solución del HMI común para aplicaciones a nivel de equipos y supervisión, a continuación en la siguiente figura 147 se muestra la ventana para seleccionar el software.

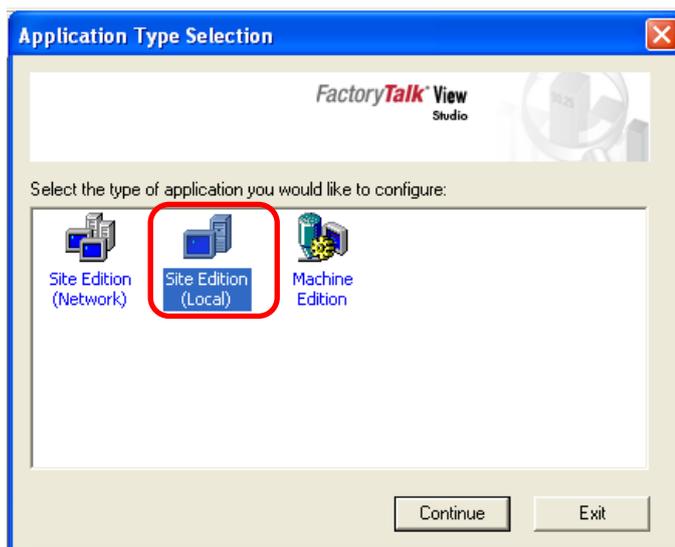


Figura 147 Selección del S.E.

a. Configuración en el Software

Ahora para la configuración del Master, hace posible el **Site Edition** donde la selección se lo hace mediante el tipo de aplicación del FactoryTalk View Studio, una vez seleccionado a continuación se debe hacer clic en **Continue**, seguido aparece una ventana donde se asigna el nombre y el idioma, para continuar hacer clic en **Create**, ver figura 148 la siguiente ventana.

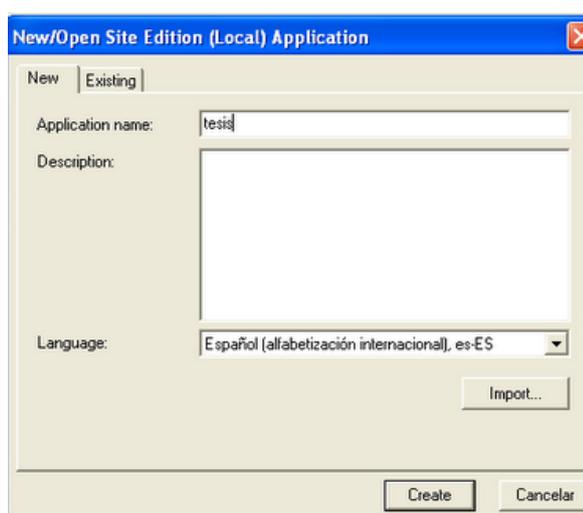


Figura 148 Nuevo Proyecto del Site Edition

En consecuencia de crear nuevo proyecto aparece la pantalla de configuración de Site Edition, donde se desarrolla lo mencionado para el Controlador L61 Master, a continuación en la pantalla del lado izquierdo del explorador se debe seleccionar **RsLinx Enterprise**, y luego hacer doble clic sobre **Communication Setup** para su enlace, en la siguiente figura 149 muestra los siguientes pasos.

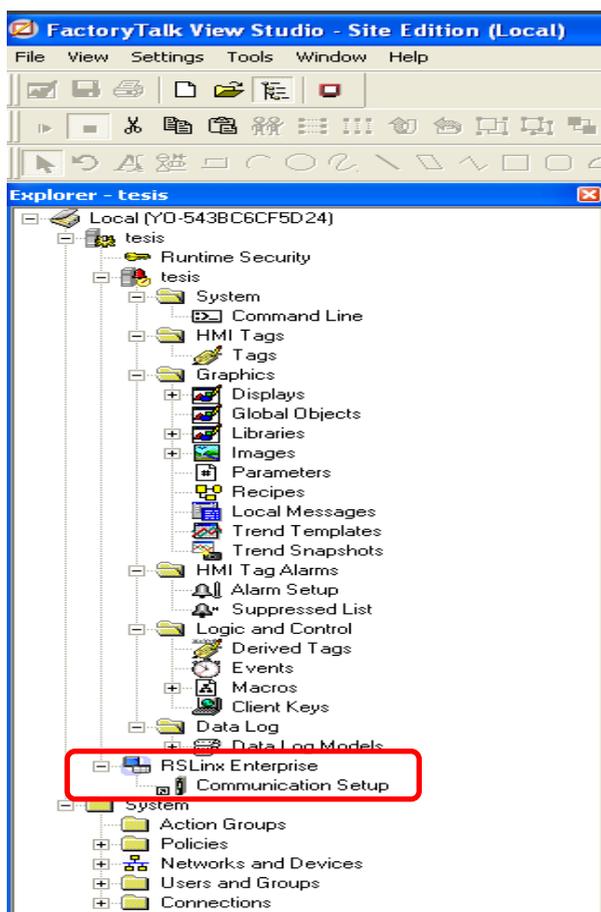


Figura 149 Árbol de Proyecto- Selección RSLinx

Luego aparece una ventana de **RSlinx Enterprise Configuration Wizard**, el cual se debe seleccionar la opción **Create a new configuration**, luego dar clic en la pestaña **Finalizar**, en consecuencia se presenta las asociaciones de los links que se asignaron para cada PAC y la configuración de comunicaciones de diseño, además al seguir con el procedimiento de la comunicación es donde se añade **Devices Shorcuts- MASTER**, mientras que en **Primary** se debe seleccionar el controlador **4, 1756-L61 Master**, ver figura 150, los rectángulos seleccionados en la siguiente ventana.

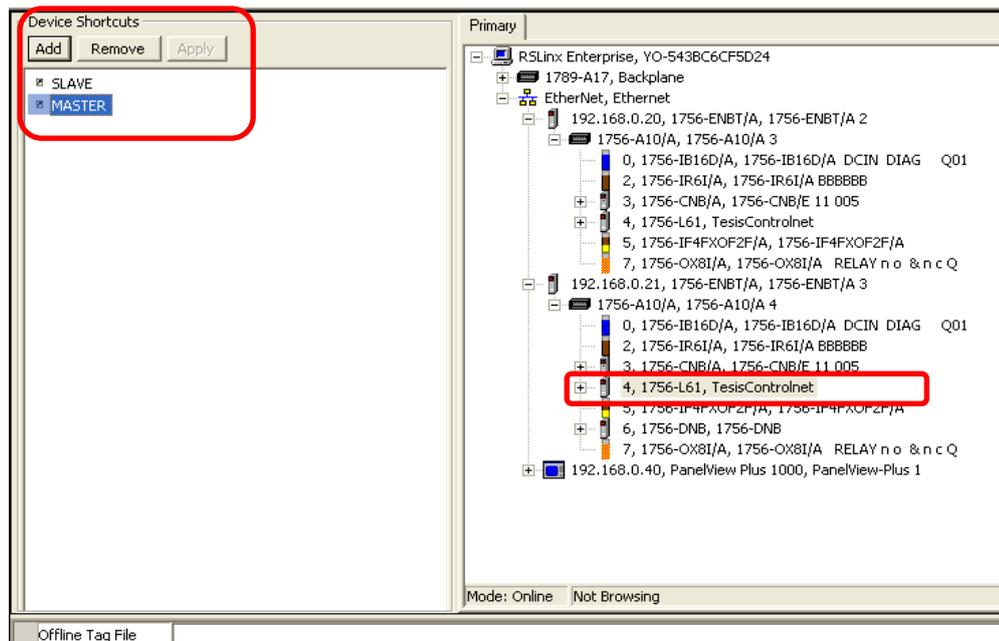


Figura 150 Configuración de RSLinx Enterprise

Para finalizar la comunicación se debe hacer clic en el botón **Verify**, seguidamente aparece una ventana de dialogo denominado **Shortcut Verifier** la cual me indica si está o no correcto, de haber verificado dar en **OK** para establecer la comunicación.

Al establecer la comunicación entre los PLC's a través de la red controlNet previamente instalada, configurada, verificada y sea satisfactorio la velocidad con la dicha comunicación, ya que de esta manera se puede extraer los tags de la unidad de control **Master** y así ejecutar la secuencia de control programado en la PC.

b. Programación en Site Edition

b.1 Ingresando Tags para el HMI

Sin embargo para la programación es necesario generar los tags de Archivos con la extensión de tipo CSV, para la cual se dirige a la opción de exportar tags wizard realizado en **Machine Edition**, de modo que se nos haría más fácil y amena la programación en **Site Edition**.

A continuación para proceder a la descarga se dirige a la barra de herramientas en la pestaña de **Tools** y luego a **Tag Import and Export Wizard**, similar a la siguiente figura 151.

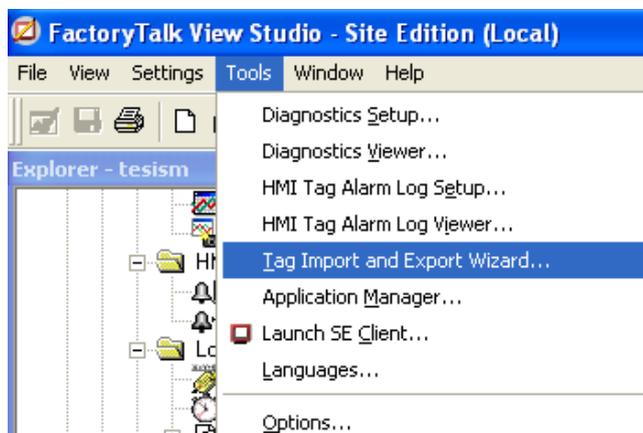


Figura 151 Pasos para Importar Tags

Cabe señal que al utilizar Tags del Hmi de una aplicación antes creada para su manipulación se debe ir a la ventana de **Tag Import and Export Wizard**, la cual dentro de **Operation** se elige **Import FactoryTalk View tags CSV files**, para luego seleccionar **Next**, a continuación se observa en la siguiente figura 152.

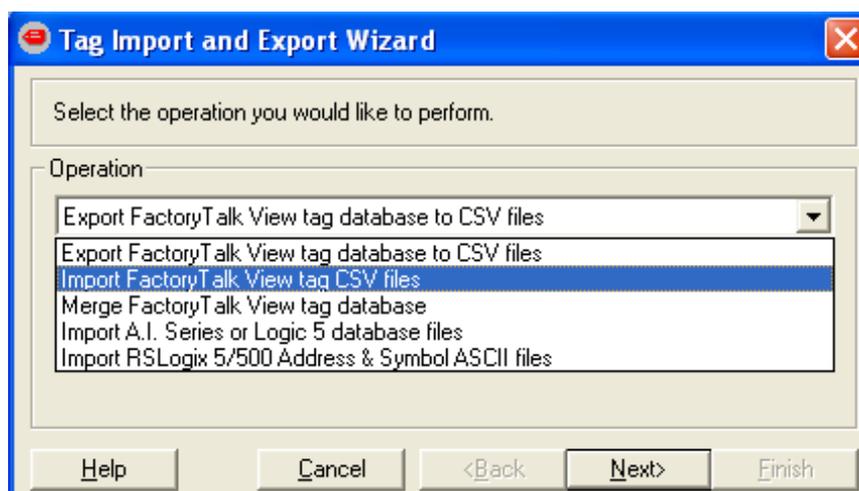


Figura 152 Parámetros de selección para importación

Además es importante usar el asistente para importar y exportar tags para las siguientes tareas como base de datos de tags HMI, para luego

importar direcciones y archivos de Rslogix, luego con los tags importados se debe dirigir a la carpeta del HMI tags y luego para buscar se debe hacer el despliegue de cada carpeta o hacer clic derecho sobre el icono de tags, para dirigir a la ventana de la siguiente figura 153.

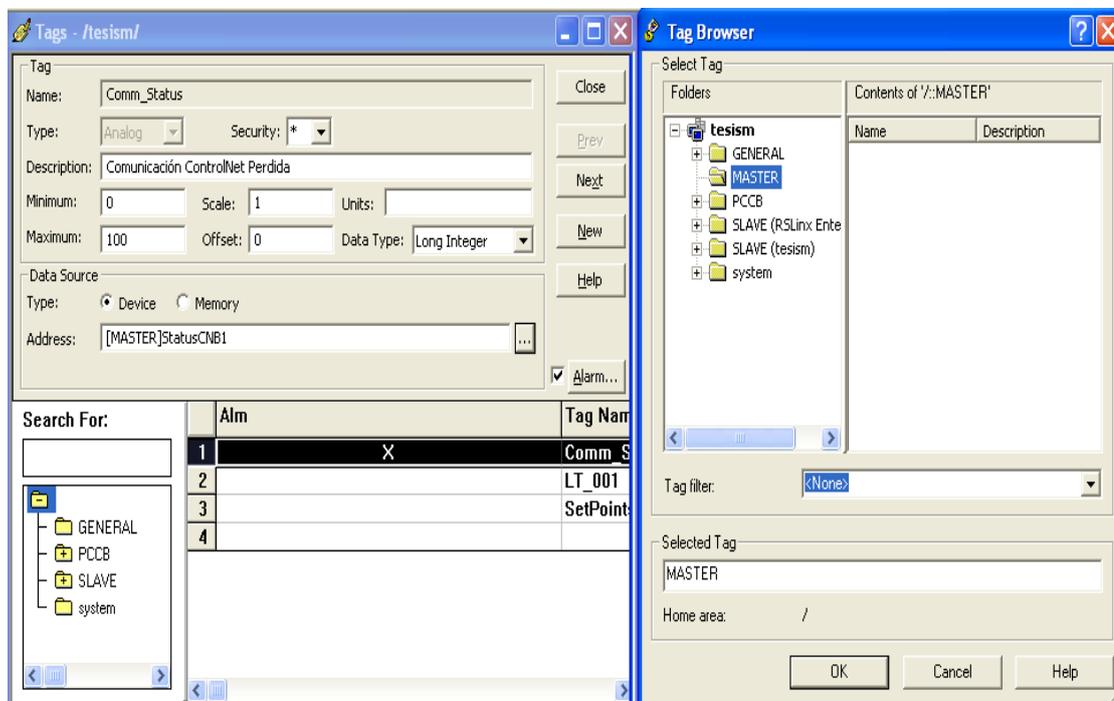


Figura 153 Asistentes para importar Tags

b.2 Pantallas del HMI en S.E.

Para crear una pantalla grafica en la aplicación de FactoryTalk Site Edition, se dirige al explorador de la aplicación, donde se puede acceder a la carpeta de gráficos, el cual contiene una gran variedad de editores usados para crear y desarrollar visualizaciones gráficas, una vez que se tiene la aplicación dar clic derecho en el display para generar una pantalla donde se procede a realizar el proyecto, a continuación en la siguiente figura 154 muestra la ventana de procedimientos.

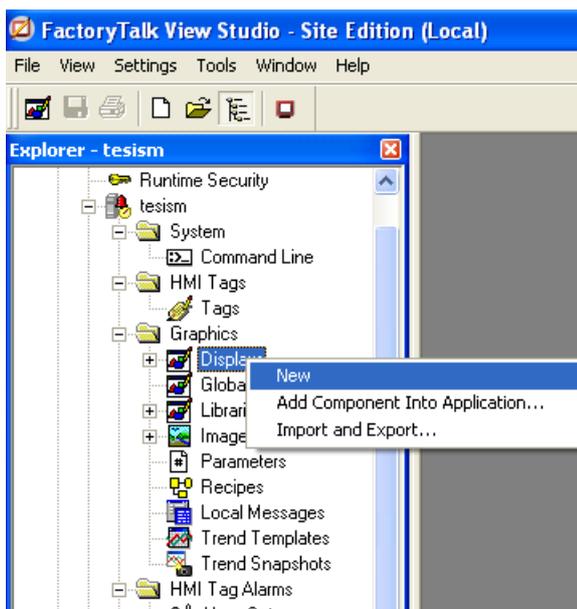


Figura 154 Nueva pantalla en SE

Luego de haber creado la pantalla se procede a configurarlo, para realizar el proyecto se escoge de las librerías del programa, donde se encuentra una gran colección de archivos que contiene objetos prediseñados que puedan ser incorporados a modo de visualizaciones gráficas, además se dirige a la barra de menú o a la barra de herramientas de objetos la cual es usada para crear un sin número de textos, figura 155.

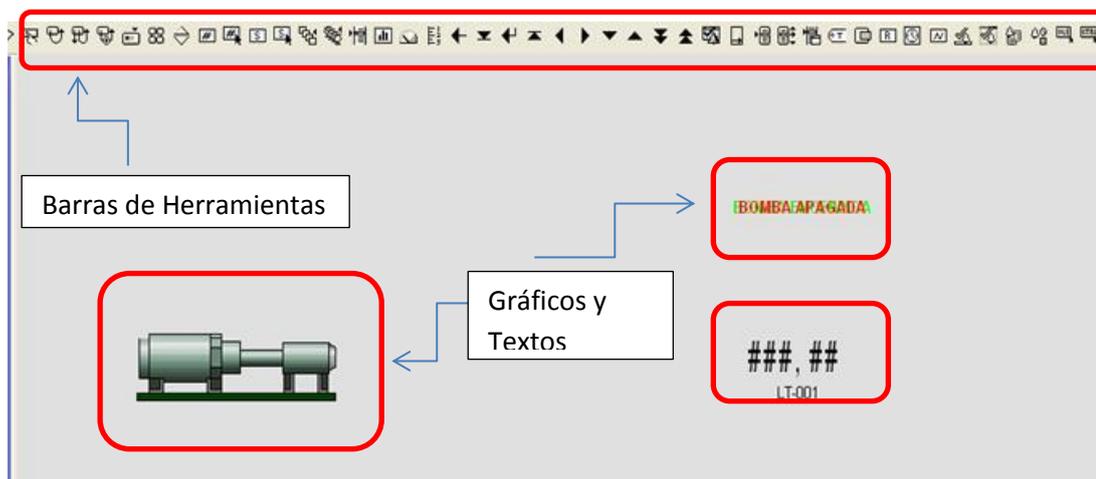


Figura 155 Herramientas y figuras de la Librería

Ahora se procede a direccionar los tags cargados anteriormente al Site Edition, para lo cual se debe dar clic derecho sobre la pestaña de cada una de las pantallas, textos, Strings, Alarmas, Button etc., para este caso el **Numeric Display** se utiliza para la visualización del proceso, una vez dentro de la ventana se puede navegar con el fin de direccionar correctamente el tag del Controlador L61, donde el tag es **(MASTER)LT_001.PV**, a continuación se muestra en la siguiente figura 156 el procedimiento.

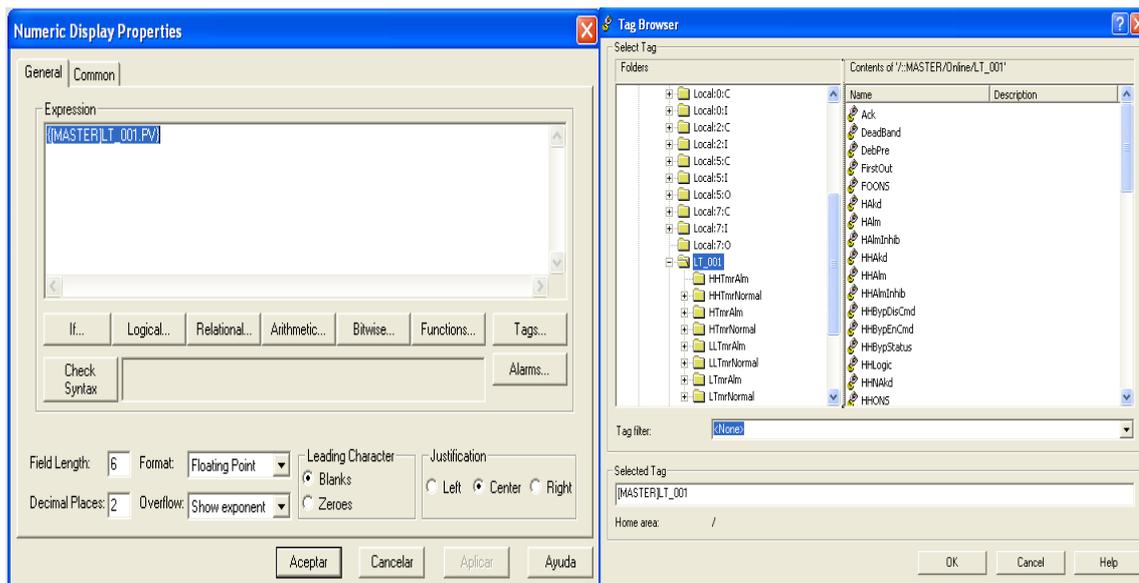


Figura 156 Asistente en navegación de Tags

Finalmente se tiene diseñado y configurado con los tags, en lo que respecta a la parte gráfica del HMI comandado todo por el Master, de modo que se muestra en la siguiente figura 157 el **estatus- bomba (1)**, **Estatus de la red ControlNet (2)**, **parámetros de escritura en el PID (3)**, el **Trend (4)** con su respectiva señal del proceso diferenciados por el color, y por ultimo un **botón (5)** que **bloquea el acceso al Panel View Plus 1000 (Operador)**.

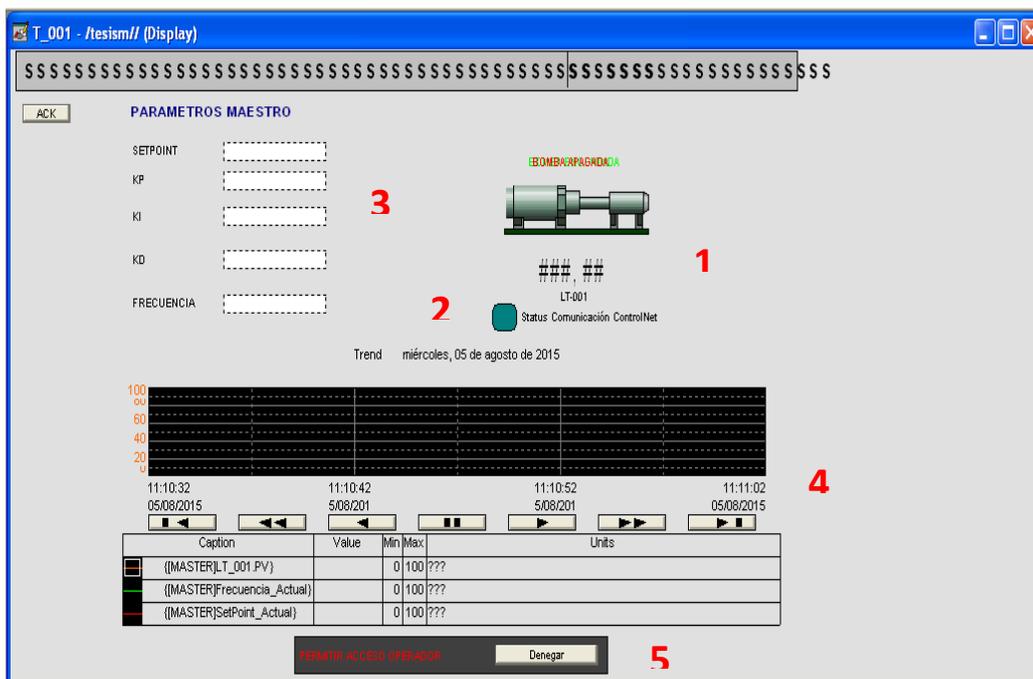


Figura 157 Pantalla final del HMI Master

El **Trend** se encuentra en el **Árbol de proyecto** en la carpeta de **Libraries**, la cual se configura haciendo clic derecho sobre la ventana del Trend-propiedades, seguido se dirige a la pestaña de **Pens**, para direccionar los siguientes tags; (MASTER)LT_001.PV, (MASTER) Frecuencia_Actual, (MAster)SetPoint_Actual, cada uno colocado con diferentes colores, en la siguiente figura 158 se muestra las propiedades de la ventana.

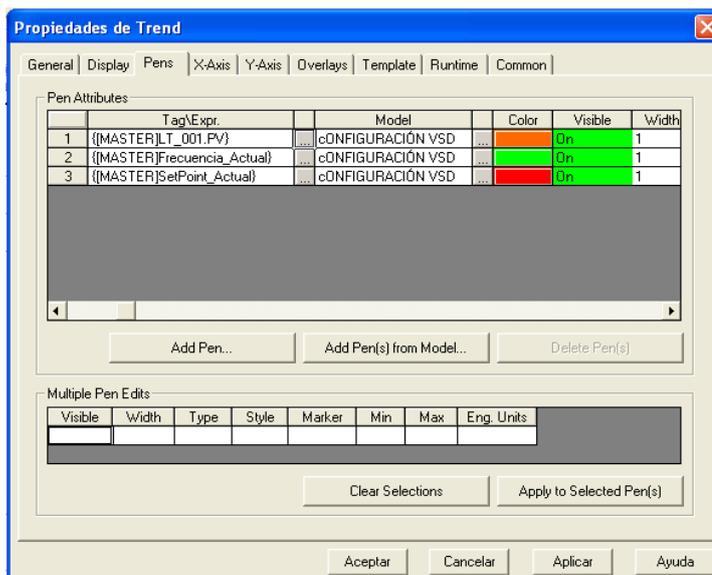


Figura 158 Configuración de la Pantalla del Trend

Sin embargo el botón en 3D del Master es configurado mediante la ventana de propiedades, en la pestaña de **Action** donde el cual resta seleccionar la opción de **Run command**, mientras que en Release action **&Set(MASTER) usuario_permitido 0**.

Para guardar el proyecto realizado en **Site Edition** se dirige a la barra de menú donde se debe seleccionar **Tools>Application Manager**, consecutivamente realizar un **Backup** de la aplicación, luego de haber guardado se manda a ejecutar en línea en el dicho Tools donde se debe seleccionar **Launch SE Cliente**.

3.10 Configuración de Registros en Controladores

Para utilizar la comunicación controlnet, hace posible la configuración con las tarjetas 1756-CNB insertados en cada uno de los ControlLogix L61 y comandados mediante la PC y el Panel View plus 1000, donde cada uno se realiza independientemente la programación, lo cual se asignó a la PC como Master, mientras que para el panel view se lo denomina como Slave, ahora para la configuración en los controladores se encuentra algunos ejemplos cargados automáticamente al instalar el software Rslogix 5000, el cual se dirige a la carpeta de proyecto de Rockwell Automation, donde se alojan algunas soluciones para que los PLC se comuniquen entre sí mediante controlnet, no obstante se utilizó la comunicación de mensajería explícita logrando transferir datos a otros controladores, cada mensaje utiliza una conexión independientemente al número de módulos que están en la ruta de mensajes, entonces para conservar las conexiones, pueden configurar un mensaje a leer o escribir en varios módulos, además se puede configurar varios mensajes para el mismo camino y utilizan sólo una conexión si sólo un mensaje está activo a la vez, sin embargo, esto requiere que escriba su lógica de escalera correctamente para asegurarse de que solamente un mensaje está activo en cualquier momento. Estos mensajes conectados pueden dejar la conexión abierta o cerrar la conexión cuando el mensaje ha terminado de transmitir.

3.11 Generación de Respuestas-Históricos

Para la generación de respuestas en la gráfica, no es más que una sintonización correcta con el control PID, esto se da desde la señal acondicionada por software, el cual se denomina escalamiento, no obstante se puede realizar mediante una subrutina de tipo FBD o aplicando normalmente en el la lógica escalera o Ladder una expresión matemática con la función de **Compute**, además es necesario visualizar la señal en el Trend para posteriormente sintonizarlo moviendo los valores de ganancia proporcional, integral y derivativo, sin embargo la sintonización se realiza en forma empírica aplicado mediante el método de tanteo, a continuación tenemos la siguiente grafica descrita en la siguiente figura 159.

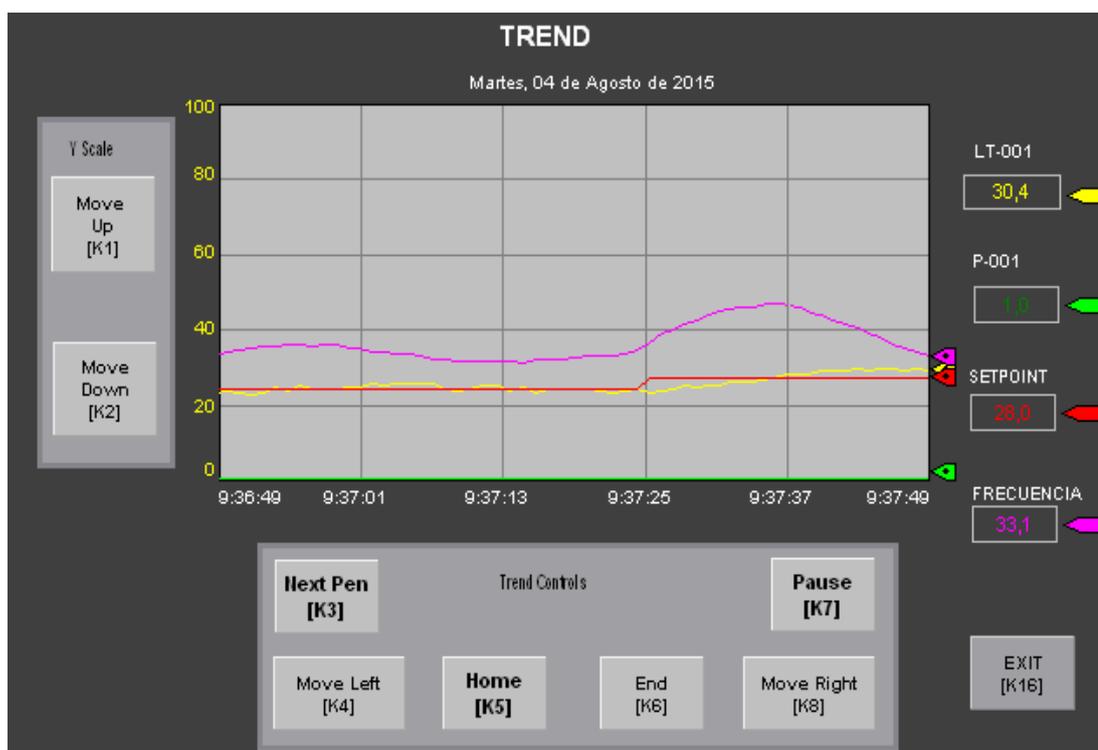


Figura 159 Respuesta del sistema Gráficamente

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADO

En este capítulo se puede describir rápidamente los resultados obtenidos con la implementación del proyecto, donde se establece pruebas de todo índole para cada parte del proceso y módulos, finalmente obtener el objetivo de implementar el sistema, cabe señalar que cada sistema de proceso se verifica mediante la construcción, comunicación, calibración, programación (activación de relés), envío de datos, medición, etc., y así obtener el correcto funcionamiento de cada elemento del sistema, lo que es más relevante y nuevo la comunicación ControlNet, se verifico mediante el sistema de activación de una alarma cuando se desconecta la dicha comunicación.

4.1 Detalle de la comunicación

Para el detalle de la comunicación se estructura por partes cada uno de los dispositivos conectados entre sí, desde la fuente de alimentación y los componentes de conexionado (switch, cables), correctamente seleccionados, además verificar que todos los dispositivos del PAC ControlLogix L61 con sus respectivos módulos se encuentren instalados adecuadamente.

4.1.1 Comunicación del PLC con la Computadora

Para la comunicación entre la computadora y el ControlLogix se utilizó únicamente el Software RSlinx Classic en primera instancia, y también el medio físico de red Ethernet cable RJ45, el cual puede ser de configuración directa o cruzada, no obstante el PLC es uno de los controladores que detecta cualquier configuración de cable. Además se consideró tanto los drivers, Firmware y la ruta de comunicación adecuada para su respectivo

funcionamiento, a continuación en la siguiente figura 160 se describe la comunicación.

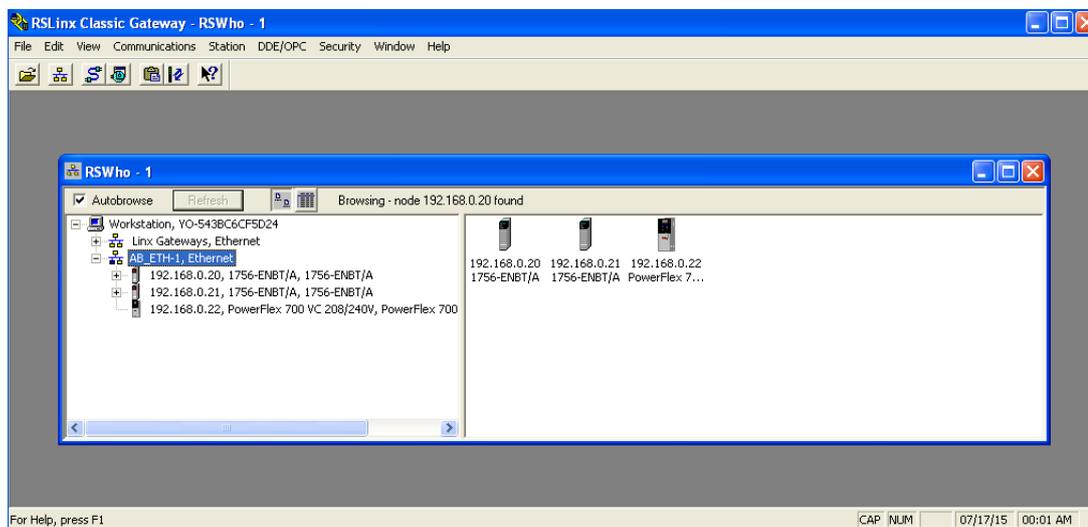


Figura 160 Comunicación correcta entre el PLC y la PC

4.1.2 Comunicación de los Módulos con el PLC

El Controlador ControlLogix tiene la comunicación interna mediante el chasis, y su fuente de alimentación, donde los componentes de cada uno de los módulos tiene características distintas y modos de aplicaciones, pero en común son instalados e insertados en su respectivo backplane, indistintamente del lugar, lo cual maneja la misma corriente de alimentación asignadas al backplane, sin embargo se pudo verificar visualmente en primera instancia tanto los módulos de comunicación, procesador, entradas y salidas analógicas que indican el **LED** de encendido de color verde y permanente inscrito con **OK** de cada módulo, el cual indica que se encuentra en funcionamiento, luego se procede a verificar con el RSLogix cada módulo, en el caso de que no se muestre la dicha ventana se procede a reinsertar nuevamente el modulo para su correcto funcionamiento, a continuación en la siguiente figura 161 se ilustra el estado del PAC.



Figura 161 Estado de los Módulos del PAC L61

Además no basta con hacerlos reconocer los modulo, si no que agregarlos en el software RSLogix 5000 de Allen Bradley, de acuerdo al uso y la aplicación que se lo haga, para esta implementación fue necesario el módulo de comunicación ControlNet y Ethernet, también el módulo de entradas y salidas analógicas, no obstante se tiene el privilegio de manejar el PLC industrial de la gama más alta, el cual posee todos los módulos en las librerías de Rockwell Automation, donde no fue necesario agregar módulos genéricos, tan solo configurarlos. Finalmente en la siguiente figura 162 se muestra los archivos de datos en bits configurados anteriormente por el fabricante para el módulo de I/O analógico.

| Name | Value | Force Mask | Style | Data Type |
|----------------------------|-----------------------|------------|---------|-------------------------------|
| Local:5:1.Calibrating | | 0 | Decimal | BOOL |
| Local:5:1.CalFault | | 1 | Decimal | BOOL |
| Local:5:1.In | {...} | {...} | {...} | AB:1756_IF4PXD2F_Struct_In:0 |
| Local:5:1.In[0] | {...} | {...} | {...} | AB:1756_IF4PXD2F_Struct_In:0 |
| Local:5:1.In[0].Status | 2#0000_0000_1000_0101 | | | |
| Local:5:1.In[0].ChanFault | | | | |
| Local:5:1.In[0].CalFault | | | | |
| Local:5:1.In[0].Underrange | | | | |
| Local:5:1.In[0].Overrange | | | | |
| Local:5:1.In[0].RateAlarm | | | | |
| Local:5:1.In[0].LAlarm | | | Decimal | BOOL |
| Local:5:1.In[0].HAlarm | | | Decimal | BOOL |
| Local:5:1.In[0].LLAlarm | | | Decimal | BOOL |
| Local:5:1.In[0].HHAlarm | | | Decimal | BOOL |
| Local:5:1.In[0].Data | 24.347313 | | Float | REAL |
| Local:5:1.In[1] | {...} | {...} | {...} | AB:1756_IF4PXD2F_Struct_In:0 |
| Local:5:1.In[2] | {...} | {...} | {...} | AB:1756_IF4PXD2F_Struct_In:0 |
| Local:5:1.In[3] | {...} | {...} | {...} | AB:1756_IF4PXD2F_Struct_In:0 |
| Local:5:1.Out | {...} | {...} | {...} | AB:1756_IF4PXD2F_Struct_Out:0 |
| Local:5:1.RollingTimestamp | 11874 | | Decimal | INT |

Configuración
Calibrado
inicialmente

Figura 162 Verificación del módulo analógico

4.1.3 Comunicación Mediante Switch de Ethernet

Para la conexión de varios dispositivos con puerto Ethernet fue importante la utilización de un Switch Industrial dedicado para el dicho uso, de modo que para la verificación del proyecto inicialmente se realiza la comunicación entre el PLC y la PC para ratificar el estado del Switch y los cables adquiridos, el cual el LED indicador de estado (verde-tomate) me indican si en verdad se encuentran conectados físicamente, en la figura 163 se muestra la conexión de cables Ethernet con switch industrial.



Figura 163 Verificación del Switch industrial

Luego de observar que se encuentren correctamente conectados se puede describir que el PLC y la PC se encuentran comunicados, por lo tanto se puede agregar otros dispositivos como el Panel View Plus 1000, VSD, mediante el cual se enlaza con el cable RJ45.

a. Comunicación del Panel View Plus

Para la comunicación del panel View plus 1000, en primera instancia se verifico los terminales de entrada se encuentren correctamente funcionando, ósea los puertos, luego se asigna una dirección IP diferente a otros dispositivos, de modo que los dos elementos se encuentren dentro de la misma red ingresando por el mismo switch, y finalmente con el RSLinx Classic se puede verificar si el terminal es reconocido satisfactoriamente por

el computador, además se comprueba por el otro método de comunicación realizado en Factory Talk el cual establece comunicación con métodos físicos, a continuación en la siguiente figura 164 muestra el panel View plus 1000 en el árbol de RSLinx Enterprise.

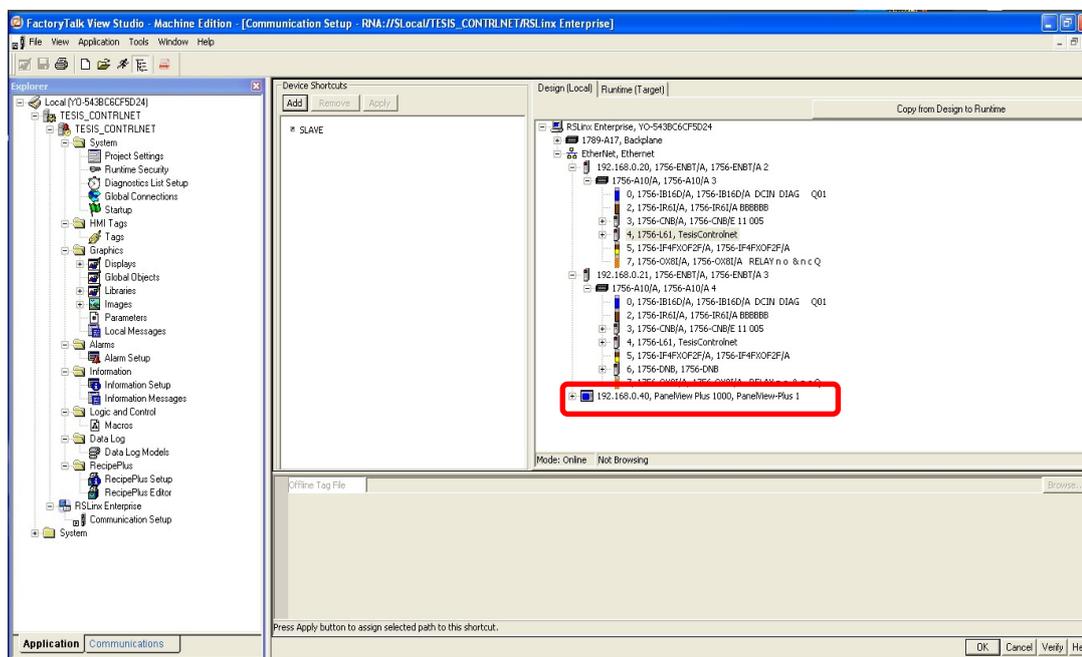


Figura 164 Verificación del Panel View con RSLinx

b. Comunicación del Variador de frecuencia VSD

El variador de velocidad Powerflex 700 de Allen Bradley es uno de los dispositivos que pueden ser configurados para diferentes tipos de redes industriales, para el caso siguiente de la implementación se empieza con la asignación de la dirección IP, diferente a otros dispositivos para que no exista conflictos con la red, esto se logra únicamente con el BOOTP DHCP de Rockwell Automation, mientras que para el ensamble se debe instalar cuidadosamente y asegurar el módulo de la pantalla HMI, tarjeta de red, y la selección del cable de red patch cord RJ45 estándar, todo esto hace posible para evitar una pérdida repentina de comunicación con el elemento final de control, consecuentemente se tiene en la siguiente figura 165 tanto el árbol del proyecto, las pantallas con las revisiones acopladas correctamente funcionando.



Figura 165 VSD correctamente agregado al proyecto

Cabe mencionar que las configuraciones en el variador se realiza minuciosamente para no alterar los bits en los parámetros, ya que provocaría un paro forzado en el VSD imposibilitando la comunicación normal, además uno de los problemas que se encontró fue los cambios en los parámetros normales de arranque para el dicho variador, así también la realización del acoplamiento con el firmware, y por ultimo para que reconozca el icono del VSD con su respectiva dirección IP en RSLinx Classic, se recurrió a la página de Rockwell para ejecutar la aplicación correspondiente de los EDS, y finalmente resetear al variador.

4.2 Pruebas experimentales de las comunicaciones

Para las pruebas experimentales del sistema de comunicación en primera instancia se revisó que los drivers estén correctamente instalados, luego para el caso del proyecto fue necesario la descarga del firmware y el EDS que significa registro en el sistema, y por último la instalación, luego su verificación en RSLinx Classic. También se realizó la verificación utilizando el símbolo del sistema nada más que haciendo ping dentro del comando del sistema, a continuación en la siguiente figura 166 muestra la pantalla de comando mediante el tiempo de respuesta, donde me indica al final el estadísticos de lectura.

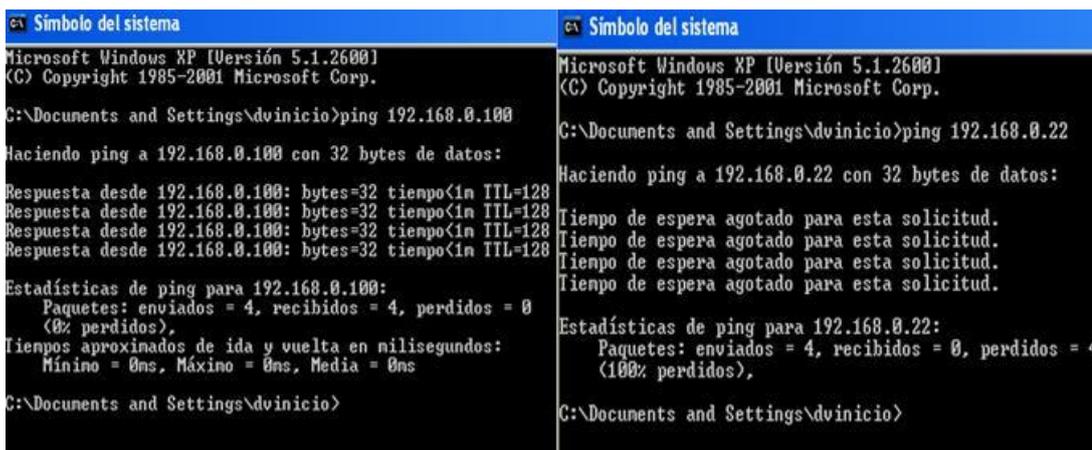


Figura 166 Verificación mediante el símbolo del Sistema

En consecuencia se verifica todo por el software, empezando a realizar el mapeo de los dispositivos, de modo que si se encuentra marcado con una “X” de color rojo significa que los dispositivos tiene falla en la comunicación, puede ser que el conector o el cable no estén cumpliendo con la función de una buena transmisión y conexión, o sucede cuando ocasiona la perdida de la fuente de energía en el dispositivo. Existe otra de las fallas cuando el dispositivo reconoce al mapear pero en el icono aparece como una “Incógnita” de color amarillo, la cual significa que debemos instalar el registro del dispositivo proporcionado por Rockwell, a continuación en la siguiente figura 167 muestra las fallas de dispositivos al mapear con las dos opciones de falla, indicadas anteriormente.

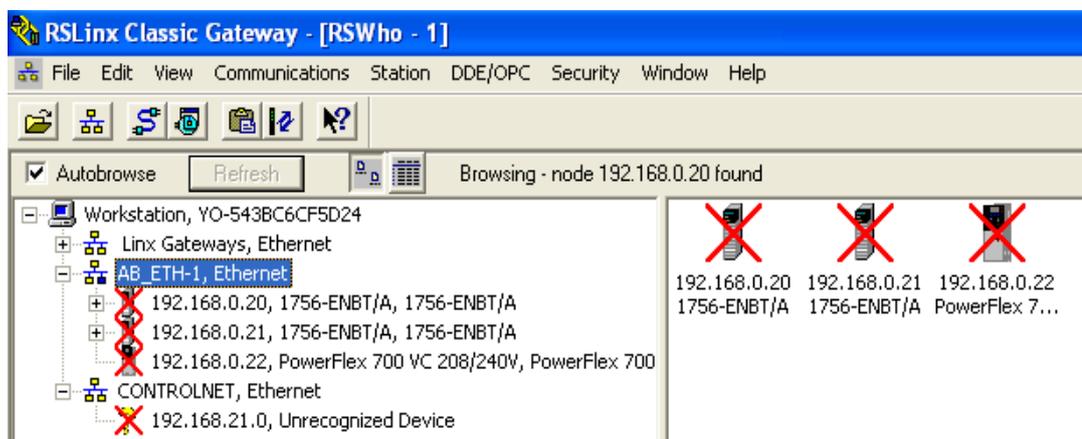


Figura 167 Fallas al mapear los dispositivos

Ahora en otras de las pruebas experimentales en comunicación, se realizó con el RSNetWorkx para ControlNet y Ethernet, cada uno de los dispositivos cumpliendo con sus respectivas funciones en comunicación, donde el dicho software posee una herramienta denominada RSNETWorx Health Monitor que diagnostica el estado de los componentes, mostrando alguna falla existente, o contrariamente determinar el óptimo funcionamiento de los equipos conectados en red, a continuación en la figura 168 indica la siguiente visualización de ventanas (ControlNet-Ethernet).

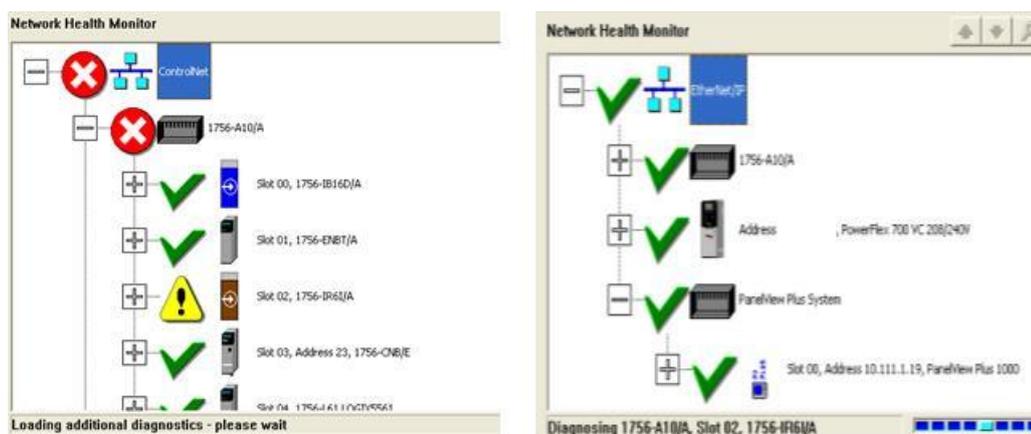


Figura 168 Diagnósticos mediante RSNetworx

Finalmente en la siguiente figura 169 se observa fallas en los dispositivos implementados, tales como el VSD y el módulo controlNet debido a la mala conexión con el ensamblaje, configuraciones incorrectas, falta de instalación de los drivers y pérdida de comunicación.

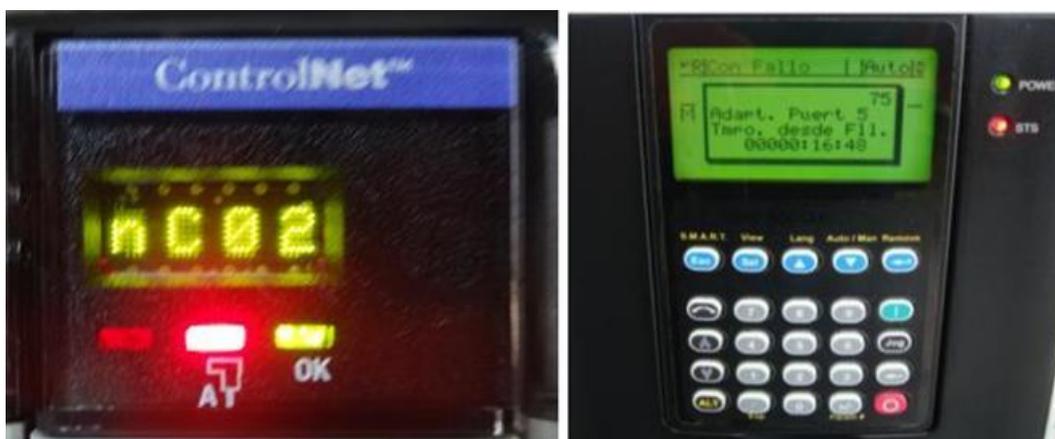


Figura 169 Estados de Fallas en el VSD y Controlnet

4.3 Comunicación entre dispositivos ControlNet

La comunicación entre dispositivos ControlNet se logra insertando los módulos en el PLC, lo cual adoptan características de soporte al módulo, para el caso de implementación hace posible el análisis para la selección de dos módulos 1756-CNB apto para el ControLogix L61, luego de la implementación se realiza la programación y su respectivas configuraciones, más adelante se describe las pruebas de funcionamiento.

4.3.1 Software

Para las pruebas del software se considera una vez estructurado la parte estética de la misma, donde se realizaron todas las pruebas en las pantallas del HMI diseñados en FactoryTalk y todos los elementos adicionados en la interfaces llegando a utilizar la pantalla principal que contiene el siguiente menú; **INICIO, CONTROL DE NIVEL, HISTÓRICOS, ALARMAS, DIAGNÓSTICOS, LOGIN, LOGOUT, ACK** y **RESET**, todos para monitorear la planta de nivel, a continuación en la siguiente figura 170 muestra los botones listados para el monitoreo.



Figura 170 Pantalla principal de Inicio HMI

4.3.2 Monitoreo con el Panel Operador

Para el monitoreo en el panel operador se ha propuesto diseñar tratando de dar mayor comodidad y practico posible a los usuarios que utilizan el HMI en este proyecto, cabe señalar que no se requiere la invasión de botones o llenar pantallas innecesarias, lo primero fue colocar restricciones a los parámetros del Slave, comúnmente denominado privilegios, donde no permite manipular constantes, por lo que se configuro en el comando del botón de **Login (F9)**, mediante una contraseña impidiendo algunos de los privilegios, en la siguiente figura 171 me indica una pantalla similar de acceso.



Figura 171 Accediendo a los privilegios

Posteriormente de haber realizado el diseño de cada uno de las pantallas que contienen lo siguiente; button, display, alarmas, etc., del HMI se procede a la verificación de las dichas funciones utilizando la opción de TEST DISPLAY del propio software, controlado por el PLC Slave, finalmente se procede a la verificación **manual** desde el panel operador, donde se pone en marcha al variador de frecuencia provocando accionamiento a la bomba con una determinada velocidad, lo cual se determinó que a partir de los **49 HZ** empieza a tener un flujo turbulento dentro del tanque, el cual se utilizó para tomar los datos del **LT-001** en valores de voltaje con respecto a la

altura de nivel del tanque, donde fue ineludible el escalamiento o acondicionamiento por software para tener un control real, a continuación en la siguiente figura 172 muestra el control manual y el llenado desde el panel operador.



Figura 172 Verificación manual para el llenado del Tanque

También otra de las funciones principales fue poner en marcha el modo **Automático**, posteriormente ingresar valores en los “**parámetros Slave**” el cual sirve para sintonizar el control, además se pudo visualizar en la pantalla de históricos las señales de control gráficamente que ayuda a verificar el estados del control de nivel, no obstante las alarmas se encuentran monitoreadas al momento de la variación del **LT-001**, donde implico una programación exhaustiva para lograr dicho monitoreo, sin embargo las **Alarmas** tanto (LHH, LH, LM, LL, LLL) a modo de visualización se dispuso en la parte superior del control de nivel, en la pantalla de alarmas y por último en el **String** del **LT-001** de forma intermitente cambiando de color su estado. Para la última opción del botón se propuso un informe cuando ocurra la ejecución del sistema donde se presenta en una pantalla llamada **Diagnostico**, es donde informa si el usuario que ingresa es correcto o no lo es, también parámetros incorrectos y cuando se desconecta la comunicación.

Ahora dentro del panel operador se tiene una restricción en el comando de **control de nivel**, para lo cual el acceso al medio bloquea o desbloquea el PLC master, donde la programación y configuración se encuentran comandados por el ControlLogix L61 utilizando la comunicación ControlNet y por medio de una PC, a continuación en la siguiente figura 173 se muestra en el panel operador

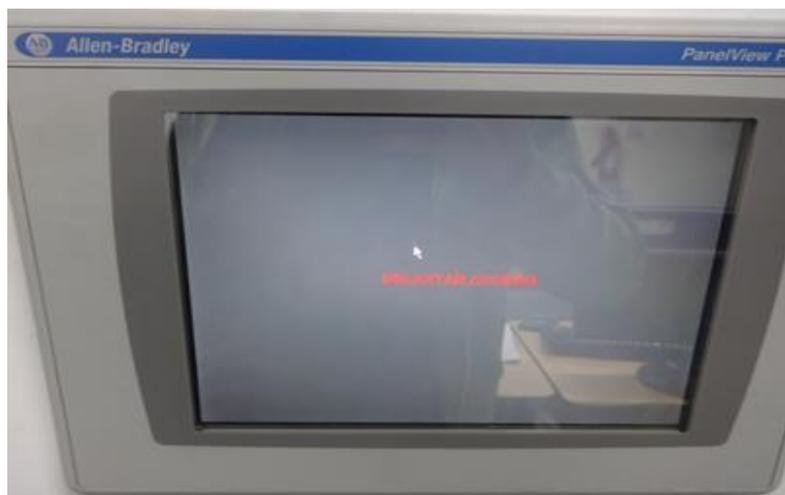


Figura 173 Solicitando acceso al medio Mediante Controlnet

Finalmente en el panel operador se puede observar la tendencia del proceso, es decir la gráfica en forma continua como está actuando el proceso en tiempo real; Set Point, LT-001, CV, ver figura 174 la siguiente ventana.



Figura 174 Monitoreo en el Panel view plus 1000

4.3.3 Monitoreo con la PC Maestra

Para la implementación de la red Controlnet entre los ControlLogix en primera instancia se realizó el **scheduled** para tener dispositivos conectados en red controlnet, luego se verifico mediante una programación pequeña en el ladder, para verificar desde el Master si en verdad activa una lámpara en Slave, lo cual se obtuvo resultados positivos, enseguida se procedió a realizar la programación del HMI en Site Edition para monitorear mediante la PC, sin embargo la pantalla se encuentra estructurada con los siguientes comandos; **Permitir acceso operador (1)**, **Trend (2)**, **Parámetros Maestro (3)**, **Bomba encendida (4)**, **Status Comunicación ControlNet (5)**. Figura 175.

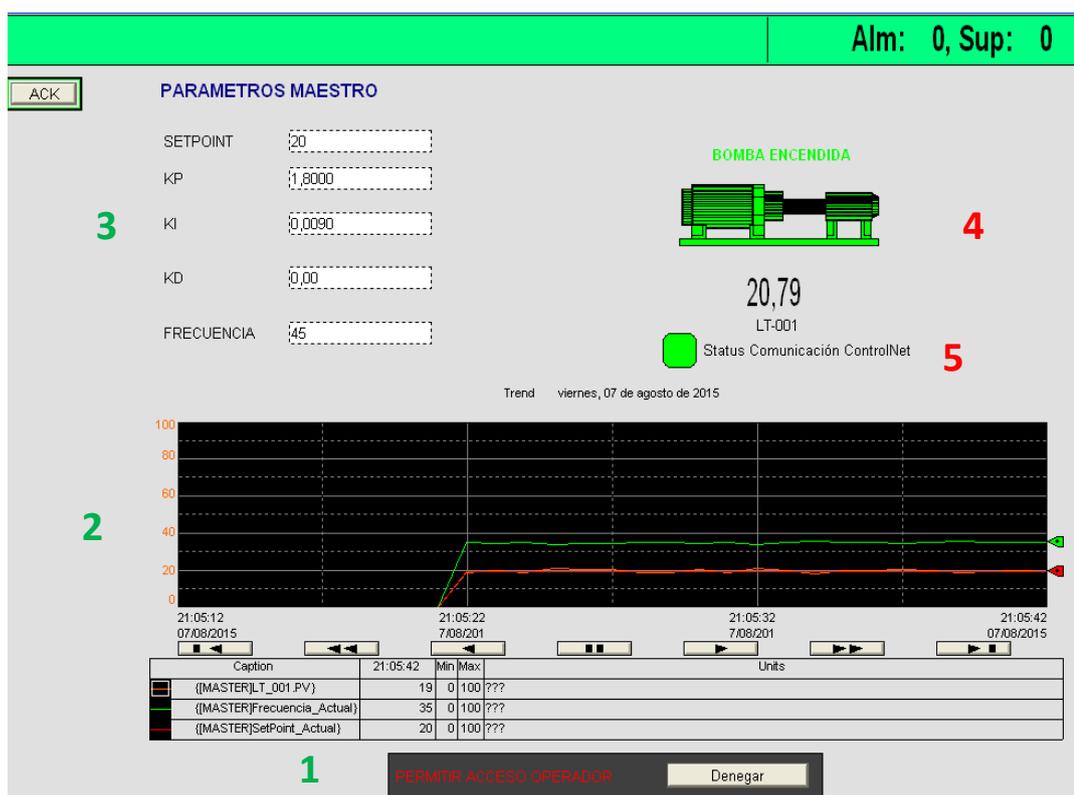


Figura 175 Monitoreo en la PC Maestra utilizando controlnet

De la anterior figura 4.14 mostrada con el texto "permitir acceso operador" se **permitir** o a su vez **denegar** al panel view plus, no obstante se utiliza netamente la red controlnet para lograr la interface, a continuación se

describe como se dispuso anteriormente para observar tanto en el Master y el Slave el comportamiento de la gráfica en tiempo real, así también modificar parámetros para el control automático.

Finalmente con las pruebas experimentales de la red controlnet se logró obtener una coordinación perfecta del HMI, donde el tiempo de respuesta se obtuvo en tiempo real a través de la red controlnet en la PC master. Sin embargo al momento de la desconexión del Drop Line, uno de los lados del módulo CNB, automáticamente tenemos la respuesta con pérdida de señal en controlnet y con demás componentes, a continuación en la siguiente figura 176 se muestra la pérdida de red ControlNet.

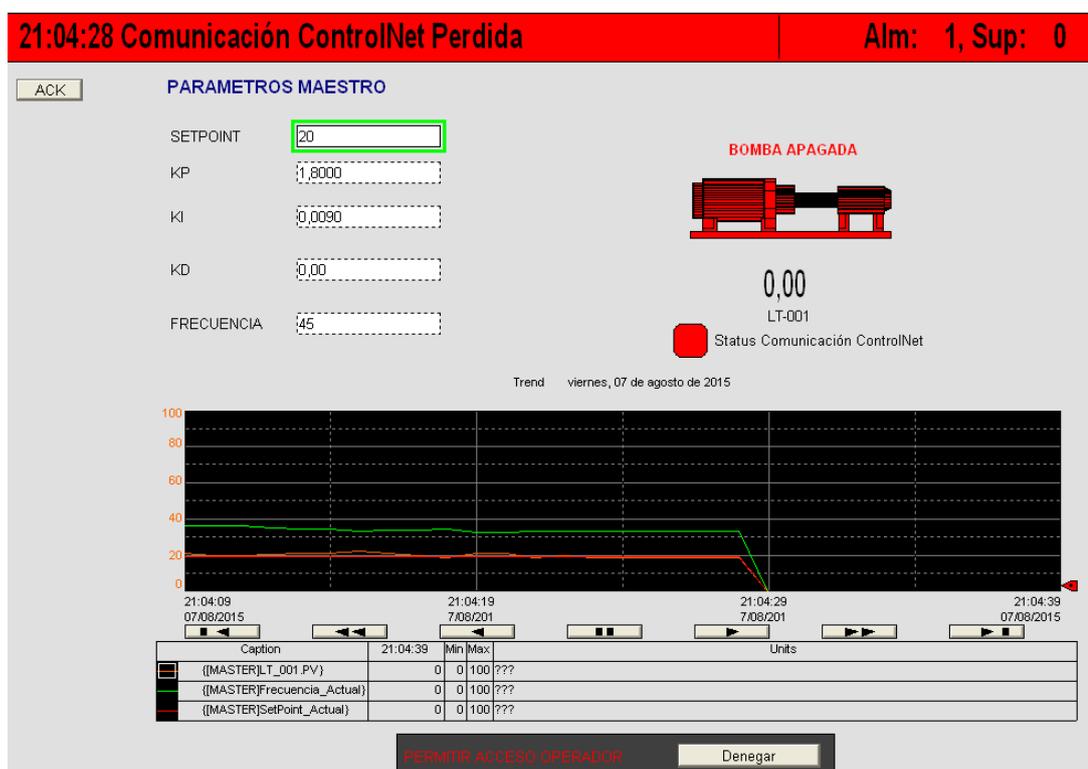


Figura 176 Perdida de la red ControlNet en la PC

Para que se reestablezca la red, simplemente hay que conectarlos el cable **Drop line** correspondiente en su conector BNC al módulo, automáticamente se vuelve a la normalidad tal cual como se mostró en la figura 175 y 176.

4.4 Análisis de resultado

Para el análisis de resultado con la red ControlNet se obtuvo las características al momento de realizar el “scheduled” de la red, arrojando valores tanto en porcentaje y características de velocidad de memoria y el tiempo de actualización de respuesta, a continuación en la siguiente tabla 14 detalla lo siguiente.

Tabla 14

Datos obtenidos al realizar el Scheduled

| SIN EDITAR | | | |
|----------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| | Current | Pending | |
| Network Update Time (ms): | 5.00 | 5.00 | |
| Uncheduled Bytes Per Sec.: | 484076 | 484076 | |
| EDITADO | | | |
| | Current | Pending Optimized Edits | Pending Merged Edits |
| Avg. Scheduled Band: | 2.14% | 2.14% | 2.14% |
| Peak Scheduled Band: | 4.52 % | 4.52 % | 4.52 % |
| USO DEL RAM | | | |
| | Current | Pending | |
| Connection Memory Usage: | 0.48% | 0.48% | |
| USO CPU Statistics | | | |
| CPU Utilization: | 38.6% | | |

4.4.1 Análisis del control PID

En uno de los varios controles existentes se utiliza el control PID por lo que es muy aplicado para la industria, el cual mediante la RED CONTROLNET se comunica entre el PLC Slave y el Master, donde se encuentran operadas mediante el panel operador y la PC, sin embargo en el PLC slave se ejecuta el control PID del sistema de control de nivel.

Cabe mencionar al ejecutar todo proceso inicialmente se encuentra sin calibración, motivo por el cual se recurre a la sintonización mediante el método empírico, conocido como ganancia limite, lo que significa que debemos iniciar con los valores en cero e ir incrementando en forma secuencial las constantes de KP, KI y KD, a continuación se detalla los métodos característicos; en primera instancia se incrementa la constante de la **ganancia proporcional** hasta que la respuesta del proceso se haga oscilatoria, el cual se mantenga con oscilación sostenidas por debajo del Setpoint, después se incrementa la **ganancia integral** de manera cuidadosa compensando el valor del error hasta eliminar el error en estado estable, aproximando o llegando al valor del Setpoint, mientras que el **derivativo** anticipa al error, por lo que se pone un tiempo muy bajo y debido a que provoca mucha perturbación, a continuación en la siguiente tabla me indica los valores óptimos obtenidos para el control de nivel, (tabla 15).

Tabla 15

Valores obtenidos de la sintonización

| Control con la Variable de nivel | |
|---|-------|
| Ganancia Proporcional (KP) | 1.800 |
| Ganancia Integral (KI) | 0.009 |
| Ganancia Derivativo (KD) | 0.001 |

Producto de variar las constantes se tiene los resultados óptimos con respecto a la gráfica, el cual significa que el control es automático y preciso, tanto por la interfaz y físicamente en el tanque, en la siguiente figura 177 se tiene la siguiente gráfica en tiempo real utilizando red ControlNet.

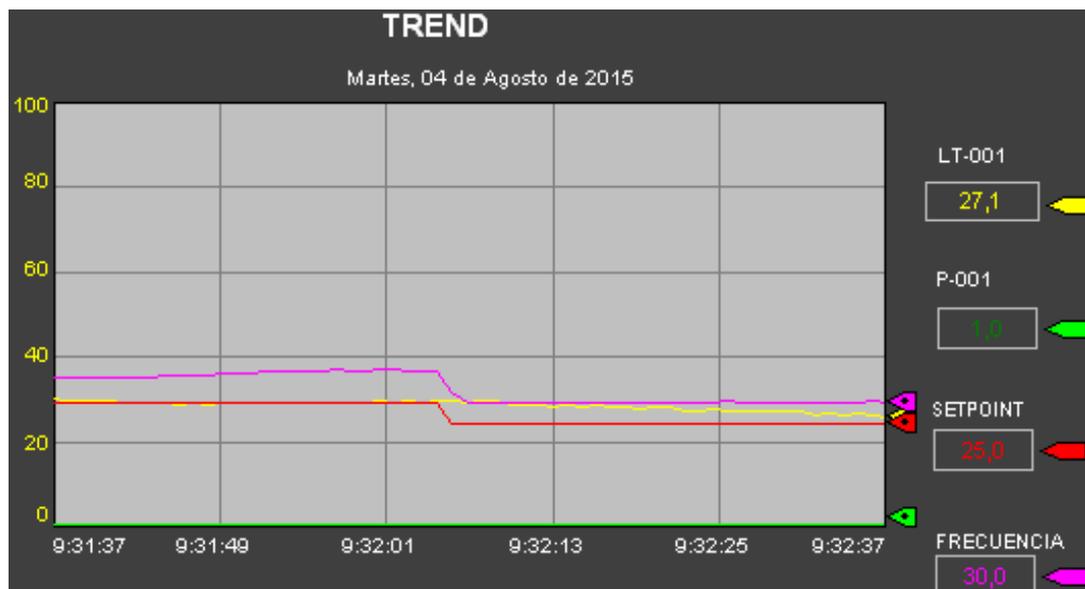


Figura 177 Representación Gráfica del Control PID sintonizado

4.5 Alcances

Con la implementación de la nueva red industrial se logra realizar una comunicación ControlNet No redundante, el cual significa que se puede realizar una red más compleja con sistema redundante, donde implican más dispositivos, cables para mayor distancia, implementación de varios nodos, topología abierta y mayor conocimiento acerca del dicho sistema. Además la comunicación ControlNet con arquitectura más completa se puede utilizar elementos existentes y con implementaciones realizadas en el Laboratorio de PLC.

4.6 Limitaciones.

Uno de los factores a considerar para todo tipo de proyectos e implementación es el análisis económico, el cual para este proyecto la mayor parte de elementos referente a la comunicación ControlNet se utilizó del propio Laboratorio de PLC, logrando así el HMI y la dicha comunicación, mientras que los módulos exclusivos en ControlNet limitan a ser control No redundante, pero considerando demás elementos importantes facultados por el laboratorio.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que la implementación de un sistema HMI opera en óptimas condiciones ya que realiza la transmisión y recepción de datos por medio de una red ControlNet en tiempo real, con características de monitoreo y control de la variable de Nivel en el laboratorio de PLC's de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.
- Se comprobó que la comunicación Ethernet vinculado el panel View Plus 1000 y el Variador de Frecuencia PowerFlex 700 con respecto al procesador realiza la transmisión de datos a un 99% punto a punto, en lo que concierna en datos o información, mientras que la comunicación serial RS-232 trabaja a un 40% con respecto a la red Ethernet.
- Se comprobó que la comunicación Industrial ControlNet maneja datos en tiempo real y determinista a mayores distancias, e indudablemente mucho mejor en una menor distancia resultando así una tendencia de control distribuido, nada más que utilizando un solo cable de tipo coaxial para envío y recepción de datos.
- Se verificó que la implementación alcanzada con los módulos ControlNet 1756-CNB es suficiente para realizar una configuración segura y amplia en el área de control, además con dos módulos de características idénticas son completadas en cada PAC ControlLogix L61 para realizar control independiente con un solo elemento a controlar de tipo Allen Bradley, y también utilizando demás componentes existentes en el laboratorio de PLC's apto para diseñar redes de comunicación EtherNet, ControlNet y DeviceNet.

- Se diseñó las pantallas de los HMI analizando detenidamente para el uso versátil con el operador, procurando no invadir excesivamente las botoneras y demás elementos que componen en cada interfaz, en definitiva una programación clara y concisa en programación y visualización gráfica.
- Se conoció que Rslogix 5000 es un software de programación de alta potencialidad, lo cual utiliza lógica escalera simplificada, partiendo de las funciones básicas hasta complejas encapsuladas con todas las aplicaciones, no obstante se revisó que posee otros tipos de programación de Routine tales como FBO, SFC, ST, y entre otros.
- Se comprobó que para realizar programaciones y restauraciones vinculadas mediante una interfaz con otros dispositivos se puede crear una base de datos de Tags de tipo (.csv), en el caso del variado de velocidad al momento de mover un bit equívocamente provoca un paro forzado en el VSD, difícil de reparar no hasta encontrar el cambio y restaurarlo.
- Se comprobó la facilidad de vincular los tags del PLC en las pantallas del HMI mediante la utilización del Rslinx Enterprise que es necesario para la comunicación de las variables del PLC, posteriormente utilizar con sus respectivas animaciones diseñadas en Factory.
- Se pudo verificar las señales de voltaje que arroja el sensor, luego maniobrarlos en el módulo de entradas y salidas analógicas del PLC y por último escalarlo o acondicionamiento por software, en definitiva con la integración de otros módulos se puede manipular distintas variables, llevando así a la programación y control requerido.
- Se comprobó que la sintonización de forma manual, conlleva a conocer de manera práctica y real un control perfecto de la variable, ya que ayuda a mejorar la calibración y visualización del control PID.

- La unión de dos nodos mediante la comunicación Controlnet hizo posible el HMI manteniendo una línea de comunicación entre la variable del proceso y el operador, donde el PLC denominado Master escribía valores y recolectaba información del proceso, además bloqueaba la pantalla del Panel View, mientras que en el PLC denominado Slave se encontraba el proceso a través de una red Ethernet.

5.2 RECOMENDACIONES

- Investigar y estudiar previamente el uso de los componentes y dispositivos que se utilizó en la red de comunicación para evitar errores por manipulación y fallas en los equipos, pese a la robustez.
- Verificar las conexiones eléctricas tanto en PLC, Panel View, PC, VSD, sean las apropiadas y con ajustes moderados en las borneras para que no existan cortocircuito provocando daños en los equipos.
- Se recomienda utilizar fuentes independientes externas puras para alimentar dispositivos tales como el sensor, switch ya que son elementos sensibles de consumo.
- Se recomienda al sensor fijar correctamente apuntando al líquido, además aislarlo de vibraciones ya que el control de nivel del tanque se encuentra una bomba con muchas vibraciones.
- Se recomienda tener cuidado de la polaridad de conexión con la señal en los módulos de entrada y salida analógicos para no provocar fallos en el dicho modulo.
- Se recomienda utilizar el Kit apropiado para el ponchado del cable controlNet denominado TrunkLine de acuerdo al catálogo del fabricante, finalmente medir con un multímetro Fluke el aislamiento.
- Se recomienda revisar el cable de comunicación Ethernet se encuentre en buen estado para evitar fallos con la comunicación y al momento de visualizar en RSlinx Classic.

LINKOGRAFÍA

- *Topología Industrial*. (2012). Recuperado el 03 de ENERO de 2015, de <https://www.google.com.ec/#q=libro%20de%20protocolos%20de%20comunicacion%20industrial>
- *Protocolo de Comunicaciones*. (2013). Recuperado el 14 de ENERO de 2015, de <http://www.electromatica.cl/protocolos.html>
- *Monografía*. (2014). Recuperado el 05 de ENERO de 2015, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S079840652010000100004&script=sci_arttext
- *Buses de Campo*. (2015). Recuperado el 02 de ENERO de 2015, de <http://es.scribd.com/doc/24317718/Buses-de-Campo-Completo>
- *Conceptos Basicos*. (2015). Recuperado el 01 de JUNIO de 2015, de <http://www.proface.es/product/hmi/lt4000m/features/easy.html>
- *ControlNet Fieldbus*. (2015). Recuperado el 12 de MARZO de 2015, de <http://elj0na.files.wordpress.com/2011/10/curso-redes-control-device-net.pdf>
- *ControlNEt rangos*. (2015). Recuperado el 25 de FEBRERO de 2015, de <http://www.google.com/imgres?imgurl=xrawimage:///2406dca938674f42f87c8aaad3cf9e10e200035b19273c1afb11b9ef895e0032&imgrefurl=http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim971e/doc/parte/iv.pdf&h=580&w=756&tbnid=Qk9nOKncBiSLjM:&docid=FKpyRKzRLT3mAM&hl=e>
- *Ejemplo tipicode un PID*. (2015). Recuperado el 12 de MAYO de 2015, de <http://blog.bricogeek.com/noticias/programacion/programa-de-ejemplo-de-control-pid-en-vb6/>
- *Imágenes Escala ubicacion*. (2015). Recuperado el 01 de ABRIL de 2015, de <http://www.google.com/imgres?imgurl=x-rawimage:///be0b6ff063710e4c9a>

- 5ad9b5b23a594d2cf24b1fb45437ec530f5040f327d7de&imgrefurl=http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmficim971e/doc/parte/ii.pdf&h=494&w=572&tbnid=TA5xY_BvC77HvM:&docid=DXUNUsMGgG1CTM&hl=e
- *Libreria procesos industriales.* (2015). Recuperado el 01 de JUNIO de 2015, de <http://html.rincondelvago.com/procesos-industriales.html>
- *Monografia PID.* (2015). Recuperado el 12 de MAYO de 2015, de <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pf>
- *PLC.* (2015). Recuperado el 04 de MAYO de 2015, de <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/es/component/content/article/502monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>
- *Productos Logo.* (2015). Recuperado el 16 de ENERO de 2015, de <http://www.darner.co.za/joomla2/index.php/systems/products>
- *Slider PLC.* (2015). Recuperado el 10 de MAYO de 2015, de <http://es.slideshare.net/aucega/plc-basico-1>
- *Wikipedia.* (2015). Recuperado el 24 de ENERO de 2015, de Redes: http://es.wikipedia.org/wiki/Red_industrial
- ABB, P. (2015). Recuperado el 20 de 05 de 2015, de <http://www.abb.com.ec/ProductGuide/>
- Alonso, N. O. (2013). *Redes de Comunicacion Industrial.* Recuperado el 25 de MARZO de 2015, de <http://books.google.com.ec/books?id=4TKJ9lpMSJEC&pg=PA426&dq=control+centralizado+en+redes+industriales&hl=es&sa=X&ei=eqjaU93bJMPesASu1YKoAg&ved=0CCQQ6AEwAA#v=onepage&q=control%20centralizado%20en%20redes%20industriales&f=false>
- Automation, R. (s.f.). *Allen Bradley.* Recuperado el 12 de MAYO de 2015, de <http://ab.rockwellautomation.com/es/ProgrammableControllers/ControlLogix-Communications#selection>

- Automation, R. (s.f.). *Firex fox*. Recuperado el 28 de 12 de 2014, de <http://ab.rockwellautomation.com/es/ProgrammableControllers/ControlLgx>
- Autunning. (2011). *Curso*. Recuperado el 5 de enero de 2015, de <http://elj0na.files.wordpress.com/2011/10/curso-redes-control-device>
- Bradley, A. (2014). Recuperado el 07 de 05 de 2015, de <http://www.rockwellautomation.com/>
- Bradley, A. (2014). *Arquitecturas*. Recuperado el 23 de DICIEMBRE de 2014, de <http://dc366.4shared.com/doc/tusKFTzr/preview.html>
- Bradley, A. (2015). Recuperado el 18 de FEBRERO de 2015, de <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.monografias.com/trabajos106/arquitecturaintegradaaccion/img4.png&imgrefurl=http://www.monografias.com/trabajos106/arquitectura-integrada-accion/arquitectura-integrada-accion.shtml&h=480&w=640&tbid=2NAp8-jD>
- *Dataseheet*. (s.f.). Recuperado el 04 de JUNIO de 2015, de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1756-in634_-en-p.pdf
- ESPE. (2008). Recuperado el 12 de 01 de 2015, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4015/1/T-ESPEL-0405.pdf>
- Fisicos, T. d. (s.f.). Recuperado el 05 de ENERO de 2015, de https://www.google.com/search?hl=es419&site=imghp&tbn=isch&source=hp&biw=1366&bih=643&q=medios+fisico+de+comunicacion&oq=medios+fisico+de+comunicacion&gs_l=img.3...11102.25991.0.26363.48.18.8.2.25.0.183.1905.0j12.12.0....0...1ac.1.64.img..25.23.1795.1RO
- Lik-unad. (2012). Recuperado el 10 de ENERO de 2015, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/2150513/Contenidolinea/lecci_10_topologas_de_rdes__industriales.html

- *Monografía.* (s.f.). Recuperado el 23 de FEBRERO de 2015, de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/reategui_gh/ca4.pdf
- *Monografía.* (s.f.). Recuperado el 03 de JUNIO de 2015, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim971e/doc/parte/iv.pdf>
- Noelia. (s.f.). *Monografía.* Recuperado el 31 de ENERO de 2015, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim971e/doc/parte/iv.pdf>
- Rockwell. (s.f.). Recuperado el 05 de FEBRERO de 2015, de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Graphic-Terminals/2711P-PanelView-Plus-6-1000-Terminals>
- Rockwell. (2015). Recuperado el 28 de FEBRERO de 2014, de <http://www.cbtcompany.com/itemdetail/873CDDAV1000E2%20AB>
- Rockwell Automation. (2015). *Investigación.* Recuperado el 17 de FEBRERO de 2015, de http://es.slideshare.net/chrisvit/plataforma-formatory-talk-16452379?utm_campaign=ss_search&utm_medium=default&utm_source=2&qid=bd3699a51a80-403b-b49a91c8cb3c47ca&v=default&from_search=2
- Rockwell, Automation. (s.f.). *Imágenes.* Recuperado el 03 de JUNIO de 2015, de <http://www.qualitrol.com/shop/popup.aspx?src=images/Product/large/1756-CNBd.jpg>
- Siemens. (2010). *Arquitectura Sinec.* Recuperado el 12 de FEBRERO de 2015, de <http://es.slideshare.net/carlos46/a-introduccion-a-las-comunicaciones-industriales>

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor o señorita;
YUGLA LEMA HOLGUER VINICIO.

En la ciudad de Latacunga, a los 18 días del mes de diciembre del 2015

Ing. Edwin P. Pruna P.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Wáshington R. Freire LL.
CODIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Katya Torres V.
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca C.
SECRETARIO ACADÉMICO