



**Integración e Implementación de un Sistema Interfaz Hombre Máquina Para Pruebas  
de Variadores de Media Tensión en la Empresa WEG Colombia**

Elvis Jeisson Bernal Roldán

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C, Colombia

Año 2022

**Integración e Implementación de un Sistema Interfaz Hombre Máquina Para Pruebas  
de Variadores de Media Tensión en la Empresa WEG Colombia**

Elvis Jeisson Bernal Roldán

Director

Carlos Arturo García Gómez

Ingeniero Electrónico

(MSc.)

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C, Colombia

Año 2022

## Resumen

El siguiente proyecto, se basó en implementar e integrar un sistema de control interfaz hombre-máquina, para el proceso de inspección y pruebas finales de variadores de media tensión que permitió: la visualización, medición, control y análisis en la empresa WEG Colombia. Ya que en el proceso de revisión y pruebas de producto terminado en los variadores de media tensión, los datos de variables eléctricas como corriente, potencia, armónicos, temperaturas y voltajes; eran recopilados de forma manual y no automática, teniendo como consecuencia: influencia de errores sistemáticos, incrementos en tiempos de ejecución, descentralización de la información y seguridad para recolectar los datos.

Por lo cual, se consultaron diferentes referentes teóricos que permitieron documentar el proyecto como Interfaz Hombre Máquina (HMI), Control Lógico Programable, Redes de Comunicación y Protocolos de Comunicación. Referente al desarrollo metodológico, se ejecutó mediante seis fases: la primera fase se basó en caracterización de dispositivos y programación; la segunda fase consistió en la programación HMI; la tercera fase, implementación Protocolo Modbus; la cuarta fase, elaboración de diagramas de control; la quinta fase, es parametrización de variables; finalmente, la sexta fase, evaluación y diagnóstico. Finalmente, mediante el análisis de resultados se demostró que hay mejoría en los tiempos de recolección de datos al haberse migrado de la forma manual en formatos a la recopilación de la información de manera automática generada por la HMI.

**Palabras Claves:** Interfaz Hombre Máquina (HMI), Control Lógico Programable (PLC), Redes de Comunicación, Protocolos de Comunicación, Variadores de Media Tensión y Pruebas eléctricas.

## **Abstract**

The following project was based on implementing and integrating a human-machine interface control system for the inspection process and final tests of medium voltage drives that allowed: visualization, measurement, control and analysis in the company WEG Colombia. Since in the process of reviewing and testing the finished product in medium voltage drives, the data of electrical variables such as current, power, harmonics, temperatures and voltages, etc. They were not collected automatically but manually, having as a consequence: influence of systematic errors, increases in execution times, decentralization of information and security to collect data.

Therefore, different theoretical references were consulted that allowed documenting the project such as Human Machine Interface (HMI), Programmable Logic Control, Communication Networks and Communication Protocols. Regarding the methodological development, it was carried out through six phases: the first phase was based on device characterization and programming; the second phase consisted of HMI programming; the third phase, Modbus Protocol implementation; the fourth phase, elaboration of control diagrams; the fifth phase is parameterization of variables; finally, the sixth phase, evaluation and diagnosis. Finally, through the analysis of results, it was shown that there is an improvement in data collection times by having migrated from manual formats to the collection of information automatically generated by the HMI.

**Keywords:** Human Machine Interface (HMI), Programmable Logic Control (PLC), Communication Networks, Communication Protocols, Medium Voltage Drives and Electrical Tests.

## Contenido

Resumen.....	3
Abstract .....	4
Introducción .....	9
1. Planteamiento del Problema .....	11
2. Justificación.....	13
3. Objetivos.....	14
3.1 Objetivo General.....	14
3.2 Objetivos Específicos .....	14
4. Marco Referencial .....	15
4.1 Antecedentes.....	15
4.2 Marco Teórico .....	17
4.2.1 Interfaz Hombre Máquina (HMI).....	17
4.2.2 Controladores Lógicos Programables (PLC) .....	18
4.2.3 Redes de Comunicación .....	20
4.2.4 Modos de Trasmisión de Datos.....	22
4.2.5 Codificación de Señales .....	22
4.2.6 Protocolo de Comunicación .....	22
4.2.7 Tipología de Redes.....	23
4.2.8 Formas de Comunicación.....	26
4.2.9 Modos de Diálogo .....	27
4.2.10 Modos de comunicación.....	27
4.2.11 La Pirámide de la Automatización (CIM).....	27
4.2.12 Variadores de Velocidad de Corriente Alterna.....	28
4.2.13 Detector de Temperatura de Resistencia (RTD).....	31

5.	Desarrollo Metodológico.....	33
5.1	Fase 1: Caracterización de Dispositivos y Programación.....	33
5.1.1	Caracterización de las etapas del proceso de pruebas .....	33
5.1.2	Definición del estándar de transmisión de comunicación. ....	35
5.1.3	Dispositivos para la Implementación de Control y Medición.....	36
5.1.4	Programación del PLC 300 para la integración de los equipos con el protocolo Modbus RTU .....	41
5.2	Fase 2: Programación HMI.....	47
5.2.1	Programación de la Interfaz Hombre Maquina .....	47
5.3	Fase 3: Implementación Protocolo Modbus .....	52
5.3.1	Implementación del Protocolo.....	53
5.4	Fase 4: Elaboración de Diagramas de Control.....	59
5.5	Fase 5: Parametrización de Variables.....	59
5.5.1	Parametrización de variables de cada etapa del sistema de pruebas .....	60
5.6	Fase 6: Evaluación y Diagnóstico.....	63
6.	Análisis de Resultados .....	64
6.1.1	Análisis de resultados.....	64
6.1.2	Recolección de datos.....	65
7.	Conclusiones .....	67
8.	Referencias.....	68

## Lista de Figuras

<i>Figura 4-1. Interfaz Hombre Máquina.</i> .....	17
<i>Figura 4-2 Disposición Física PLC300 [3, p.3-1]</i> .....	19
<i>Figura 4-3 Conexión Diferencial [1, p.9]</i> .....	21
<i>Figura 4-4 RS485, Resistencia de Terminación [1, p.10]</i> .....	21
<i>Figura 4-5 Codificación Manchester [1, p.13]</i> .....	22
<i>Figura 4-6 Componentes de un Enlace de Datos [1, p.13]</i> .....	23
<i>Figura 4-7 Tipología en Anillo [1, p.15]</i> .....	24
<i>Figura 4-8 Tipología de Estrella [1, p.16]</i> .....	24
<i>Figura 4-9 Tipología de Bus [1, p.16]</i> .....	25
<i>Figura 4-10 Tipología de Bus [1, p.16]</i> .....	25
<i>Figura 4-11 Tipología de Red [1, p.17]</i> .....	26
<i>Figura 4-12 Protocolos y Comunicación [1, p.20]</i> .....	27
<i>Figura 4-13 Pirámide de la Automatización [1, p.36]</i> .....	28
<i>Figura 4-14 Esquema VSD Típico [16, p.116]</i> .....	30
<i>Figura 4-15 Puente de Wheatstone Incorporando un RTD [4, p.82]</i> .....	31
<i>Figura 5-1 Etapas de Proceso de Adquisición de Datos y control</i> .....	34
<i>Figura 5-2 Interruptor de Potencia</i> .....	39
<i>Figura 5-3 Placa de Características Transformador de Potencia</i> .....	40
<i>Figura 5-4 Configuración de Dispositivo Software WPS</i> .....	43
<i>Figura 5-5 Selección del Tipo de Comunicación</i> .....	44
<i>Figura 5-6 Parámetros de Configuración de Comunicación.</i> .....	44
<i>Figura 5-7 Programación de Registros Modbus Medidor</i> .....	45
<i>Figura 5-8 Control Interruptor</i> .....	45
<i>Figura 5-9 Programación Lectura de Canales de Temperaturas</i> .....	46
<i>Figura 5-10 Programación de Set Point de Alarma y Falla</i> .....	46
<i>Figura 5-11 Programación de Lectura de Registros para el Variador</i> .....	47
<i>Figura 5-12 Registro de Usuario en la Página del Fabricante</i> .....	48

<i>Figura 5-13 Configuración Según la Referencia de Pantalla .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 5-14 Configuración de la Estación del Protocolo de Comunicación .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 5-15 Interfaz Principal del Software EasybuilderPro .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5-16 Pantalla de Menú Principal.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5-17 Pantalla de Configuración de Parámetros del Variador .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 5-18 Pantalla de visualización de medidas red eléctrica del sistema.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 5-19 Pantalla Interfaz para Configuración y Visualización de Temperaturas.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 5-20 Arquitectura de comunicación.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5-21 Diagrama de configuración de puertos.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 5-22 Puerto A de comunicación RS485 .....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 5-23 Diagrama de conexión puerto RS485.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5-24 Conexión en el puerto RS485.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5-25 Diagrama de conexión del puerto de comunicación .....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5-26 Puntos de conexión de la comunicación relé de temperaturas.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5-27 Diagrama de conexión RS 485 PLC 300.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 5-28 Puntos físicos de conexión PLC 300.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 5-29 Configuración protocolo en el software EasyBuilderPro .....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 5-30 Equipo configurado directamente desde el panel frontal.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 5-31 Configuración por el software WPS.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 5-32 Pruebas de comunicación.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5-33 Lectura de variable de tensión desde PLC.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5-34 Montaje de medidor.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-35 Montaje relé de temperatura .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-36 Lecturas de variables eléctricas de red de entrada sistema de pruebas .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-37 Parametrización del variador desde HMI.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5-38 Ajuste de temperaturas desde la HMI.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5-39 Lectura de variables del variador .....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 6-1 Formato Análisis de Tiempos Operación Manual.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 6-2 Formato Análisis de Tiempos Operación Automática.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 6-3 Pantalla de la HMI para la recolección de datos .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 6-4 Descarga desde la HMI en archivo .csv.....</i>	<i>66</i>

## **Introducción**

En la industria de tableros eléctricos se deben hacer pruebas de fábrica de producto terminado, ya que son inspecciones y validaciones de rutina que garantizan las características técnicas y funcionalidad del producto. Por consiguiente el siguiente proyecto, busca implementar e integrar un sistema de control interfaz hombre-máquina, para el proceso de inspección y pruebas finales de variadores de media tensión que permita la visualización, medición, control y análisis de al menos 10 variables del proceso, como tensión de alimentación, potencia de entrada red, corriente entrada red, factor de potencia, armónicos de tensión de red, armónicos de corriente de red, temperaturas en los IGBT, corriente de motor, velocidad de motor, tensión de salida variador, tensión de bus CC, etc. en la empresa WEG Colombia.

Ya que actualmente en el proceso de revisión y pruebas de producto terminado para los variadores de media tensión que produce la empresa, se registran los datos de forma manual las inspecciones en los protocolos internos, mediante pruebas funcionales de control y monitoreo de variables eléctricas como: corriente, potencia, armónicos, temperaturas y voltajes etc. Sin embargo, en esta etapa del proceso se evidencia que hay una afectación porque los datos no pueden ser recopilados de forma automática sino manual, teniendo como consecuencia: influencia de errores sistemáticos, incrementos en tiempos de ejecución, descentralización de la información y seguridad para recolectar los datos.

Por lo cual, se consulta diferentes antecedentes que tienen puntos en común con el presente proyecto y a su vez de gran aporte como: diseño e implementación de un banco de pruebas para control industrial programable, mediante técnicas de mando y control de tipo local o remoto. Así mismo, integran PLC's, los cuales van dirigidos al arranque de motores

con variador de velocidad enfocando apertura y cierre de puerta automática y ventilación forzada con control de temperatura [1]; Diseño e implementación de un banco de pruebas de redes industriales de tipo Profinet, Profibus, mediante un sistema de comunicación Ethernet industrial y diseño e implementación de prácticas de redes industriales usando controladores lógicos programables [2].

Una vez se analizados los antecedentes, se procede a realizar la revisión teórica que permite documentar el proyecto como lo es Interfaz Hombre Máquina (HMI) que son pantallas que representan gráficamente todo tipo de procesos que requieran ser automatizados [3]; El PLC que permite realizar el control y la automatización de procesos de entornos industriales; Redes de Comunicación que comunican sistemas automatizados, transportando y controlando gran cantidad de datos, que beneficia el agrupamiento de máquinas, complejos sistemas de control que la industria requiere para optimizar los recursos y descentralizar procesos que esta controlados desde un solo punto del proceso [4]; por último, protocolo de comunicación que determina la forma donde se va a hacer el intercambio de información.

Posteriormente, la metodología del presente proyecto de investigación se ejecutó a partir de las siguientes fases. La primera fase, caracterización de dispositivos y programación; la segunda fase consiste en la programación HMI para visualizar las diferentes etapas del sistema y leer registros en tiempo real; la tercera fase es la implementación Protocolo Modbus donde se recopilan los datos que son direccionados a la HMI por medio de comunicación industrial Modbus RTU; en la cuarta fase se fundamenta en la elaboración de diagramas de control; la quinta fase es parametrización de variables; finalmente, la sexta fase se centra en la evaluación y diagnóstico donde se realizará la inspección y pruebas de los variadores de media tensión por medio del análisis de mejora en los tiempos de recolección de datos y análisis de la información recolectada en las pruebas de fábrica de los variadores en condiciones de operación bajo carga.

## 1. Planteamiento del Problema

Actualmente, en el proceso de inspección y pruebas de producto terminado para los variadores de media tensión que produce la empresa WEG Colombia, se registran los datos de las inspecciones en los protocolos internos de la empresa de la siguiente manera: Primero, se realiza una inspección visual de componentes del sistema en cuanto a su capacidad, disposición física, ajuste de componentes y verificación dimensional. Segundo, se realiza una inspección mecánica como apriete de componentes, inspección de pintura, etc. Tercero, se realiza pruebas de rigidez dieléctrica o verificación de aislamiento y fugas de corriente.

Finalmente, en la cuarta etapa del proceso se realiza las pruebas funcionales de control y monitoreo, recolectando manualmente los datos de las variables eléctricas como corriente, potencia, armónicos, temperaturas y voltajes etc. Sin embargo, en esta última etapa se evidencia que hay una afectación al proceso porque los datos no pueden ser recolectados de forma automática sino manual, teniendo como consecuencia los siguientes factores:

- **Influencia de errores sistemáticos:** Hay imprecisiones en el registro de los datos por apreciación de la medida según la persona que los toma.
- **Incrementos en tiempos de ejecución:** Se debe registrar datos cada dos minutos por cuatro horas y esto incrementa el tiempo de inspección y desplazamientos por el personal.
- **Descentralización de la información:** La recolección de los datos se debe tomar en cuatro diferentes equipos que están asociados a las pruebas de los variadores y esto dificulta su análisis de forma eficiente al utilizar más tiempo en filtrar, clasificar y exportar los datos.

- **Seguridad al recolectar los datos:** El personal técnico que realiza la recolección de los datos debe estar muy cerca de los equipos energizados, lo cual lo pone en riesgo al estar a una distancia mínima de los equipos energizados que está dentro de un nivel de operación de media tensión (4160 V hasta 13200 V).

## **2. Justificación**

Con la integración e implementación del sistema HMI se pretende ayudar al personal a mejorar su trabajo y contribuir en la mejora del proceso que como beneficio ofrece el acceso seguro a los datos recolectados, operación de bases de datos, control de datos y flexibilidad para conectar los equipos que conforman el sistema de pruebas e inspección a productos terminados. El sistema HMI asegurará el control y monitoreo por comunicación industrial Modbus RTU a través de un PLC esclavo asociado que recolectaría todas las señales externas de los equipos en prueba. Como resultado adicional el personal tendría la distancia de seguridad suficiente para trabajos en o partes energizadas de equipos de media tensión, según el artículo 13.4 del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas Colombiano.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Implementar e integrar un sistema de control interfaz hombre-máquina, para el proceso de inspección y pruebas finales de variadores de media tensión que permita la visualización, medición, control y análisis de al menos 10 variables del proceso, como tensión de alimentación, potencia de entrada red, corriente entrada red, factor de potencia, armónicos de tensión de red, armónicos de corriente de red, temperaturas en los IGBT, corriente de motor, velocidad de motor, tensión de salida variador, tensión de bus CC, etc.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar programación del PLC a nivel de campo para la seguridad del sistema y adquisición de parámetros de las diferentes etapas del proceso.
- Realizar programación de la interfaz hombre máquina del proceso.
- Implementar el protocolo de comunicación Modbus RTU para la recolección de parámetros del proceso hacia el PLC.
- Elaborar diagramas de control y comunicación de la implementación.
- Parametrizar las variables del proceso dentro de la interfaz gráfica.
- Evaluar el proceso de inspección a través de pruebas realizadas al sistema por medio de datos de diagnóstico recolectados, a través del sistema HMI.

## 4. Marco Referencial

### 4.1 Antecedentes

Diseño e implementación de un banco de pruebas para control industrial programable. Los autores Erick Wilson Alvarado Pérez, Richard Israel Proaño Andrade, Christopher Xavier Vera Suárez, de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, elaboraron una tesis de grado en varias etapas desde su construcción hasta su implementación, donde se podrán ejecutarse diez prácticas diferentes de arranques para motores eléctricos asíncronos, satisfaciendo la necesidad de complementar la teoría con la práctica y familiarizándose con equipos de tecnología actual, en donde implementan arranque de tipo directo hasta arranques de tipo electrónico como variador de frecuencia. Dentro de estas prácticas se aplica diferentes técnicas de mando y control como son de tipo local o remoto Así mismo, integran PLC's, los cuales van dirigidos al arranque de motores con variador de velocidad enfocando apertura y cierre de puerta automática y ventilación forzada con control de temperatura [1].

Diseño e implementación de un banco de pruebas de redes industriales de tipo Profinet, Profibus, mediante un sistema de comunicación Ethernet industrial. Los estudiantes Gonzales Quiñones Luis Adrián y Lema Balseca Alex Patricio de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, elaboran un banco de pruebas entre redes de comunicación con dispositivos **siemens**, que cuenta con una configuración de dos PLC S71200 maestro y esclavo, dotados cada uno con una tarjeta CM1243- 5 para comunicación Profibus DP y una pantalla HMI KTP 600 PNS [2].

Este banco proporciona a los estudiantes el manejo de equipos de última tecnología en cuanto a la industria, también la introducción a la programación y la eliminación de fallas presentes en procesos productivos; a través de un plan de mantenimiento, manual del usuario y guías de laboratorio para la correcta utilización del equipo. El estudio logró trabajar comunicación maestro esclavo de entre redes Profibus, Profinet y diferentes configuraciones para el envío de datos. También se establece comunicación con sensores de temperatura e inductivos para mostrar la comunicación entre módulos y redes de comunicación, a través de toma de datos y posterior

visualización por el sistema de interfaz hombre máquina, aplicando el software TIA PORTAL, el cual integra toda la familia de equipos de automatización de Siemens [2].

Diseño e implementación de prácticas de redes industriales usando controladores lógicos programables. Los autores Alexander Quintero Ruiz, Cesar Augusto Sánchez Pérez y Nayibe Chio Cho, de la Universidad Autónoma de Bucaramanga- Colombia, elaboraron una estrategia de enseñanza y aprendizaje para estructurar, desarrollar, validar y documentar prácticas de redes industriales, implementado un módulo de comunicaciones Profibus en un controlador lógico programable (PLC). La tesis en mención evidencia la necesidad de disponer de un material de práctica que reúna aplicaciones desde un grado básico de dificultad hasta uno de mayor complejidad, para estudiantes de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, implementado prácticas de redes de comunicación mediante PLC's, actuadores, sensores, botones, relés, etc. que se encuentran en los laboratorios de automatización industrial de la universidad, que les permita encontrar solución a problemas de comunicación industrial más comunes [5]

## 4.2 Marco Teórico

### 4.2.1 Interfaz Hombre Máquina (HMI)

Son pantallas o paneles que representan gráficamente todo tipo de procesos que requieran ser automatizados (máquinas y sistemas), visualizando de forma simplificada múltiples sectores de un proceso determinado en una sola interfaz. Esta interfaz puede representar variables, datos, alarmas, fallas y tendencias con ayuda de equipos como los PLC (Controladores lógicos programables), quienes pueden controlar un proceso de forma automática, integrando así con facilidad la supervisión y operación de los equipos por los operadores [3].



*Figura 4-1. Interfaz Hombre Máquina.*

La mayoría de los paneles vienen dotados de puertos y protocolos de comunicación para poder interactuar con uno o varios PLC, brindando a los operadores información del proceso y estos a su vez, poder ajustar variables ingresando datos al sistema por medio de la pantalla en forma táctil o touchscreen. La programación de las HMI en general se realiza por medio de computadora, interactuando un software propio de la marca del equipo, donde se configura direcciones, registros, vínculos y datos de los equipos periférico a integrar, con el fin de leer y controlar de forma fácil para las necesidades específicas de supervisión y operación [6].

**Interfaz Hombre Máquina MT8071iE.** La pantalla de visualización HMI de WEG, cuenta para su programación un software libre llamado Easy Builder Pro que puede descargar directamente de la página [www.weg.net](http://www.weg.net), y que administra el proyecto para su ejecución y pruebas online desde la computadora hacia la pantalla. En la HMI se puede crear y simular proyectos offline, los cuales al ejecutar en modo simulación pueden mostrar el funcionamiento y realizar las correcciones o mejoras necesarias ahorrando tiempo en la instalación y puesta en marcha de procesos [7].

#### **4.2.2 Controladores Lógicos Programables (PLC)**

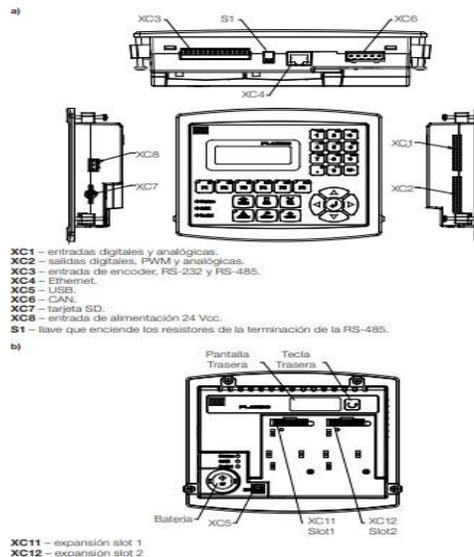
El PLC permite realizar el control y la automatización de procesos de entornos industriales por medio de técnicas de programación en lenguajes lógicos secuenciales, que relacionan las señales que entran en sus módulos interfaz de carácter analógica, digital o en forma de datos y las salidas que hacen una determinada función en consecuencia a los resultados programados.

Estos controladores en su hardware interno están compuestos básicamente por interfaz de entradas y salidas, CPU (procesador y memoria), interfaz de comunicaciones y fuente de alimentación. La CPU se encarga de procesar todas las señales provenientes del proceso y que llegan a las entradas o por las comunicaciones, ejecutando el programa creado por el usuario que se encuentra guardado en la memoria y actuando las salidas para comandar algún elemento actuador hacia el proceso.

Para realizar el programa de control que crea el usuario se necesita conocer algunas técnicas de programación y lenguajes de programación, tales como KOP, FUP, AWL, texto estructurado, etc. Estos lenguajes dependen de la marca del PLC, pero los más comunes son el lenguaje Ladder (KOP) y por funciones lógicas (FUP). El primero se caracteriza por ser una representación de contactos eléctricos abiertos o cerrados, bobinas y bloques de funciones especiales que sí se

relacionan entre sí, representarían el control del proceso, sistema o máquina. Lo mismo sucede con el lenguaje de compuertas lógicas, que representa operaciones lógicas booleanas [6].

**PLC 300.** Es un controlador lógico programable desarrollado por WEG para atender las necesidades de la industria incluyendo tableros y maquinas, con módulos de entradas y salidas expandibles, módulos de comunicación y permitiendo gestionar redes de comunicación como CAN open (red CAN) y/o Modbus RTU (red RS-485), además de Modbus TCP (red Ethernet) [4].



*Figura 4-2 Disposición Física PLC300 [3, p.3-1].*

Las características principales integradas del PLC es su alta capacidad de procesamiento de 32 bits a 120 MHz, con memoria RAM estática con capacidad de un Mbyte de almacenamiento., tiene reloj en tiempo real para registrar eventos y alarmas y función de auto recuperación de software, además el sistema de programación del PLC se realiza por medio del software WPS (Weg Programming Suit). [4]

Referente al hardware, cuenta con una tarjeta de memoria tipo SD expandible hasta 32 G byte de capacidad, posee salidas digitales aisladas galvánicamente de 24 Vcc / PNP a 500 mA de protección, salidas analógicas de 10 bits para corriente o tensión y salida rápida de 300 kHz con capacidad de 10 mA en 24 Vcc para programación en PWM (Modulación por ancho de pulso),

también posee entrada de encoder para tipo cuadrático y se puede realizar montaje de módulos de expansión opcionales para entradas digitales opto acopladas, entradas analógicas y entradas tipo PTC, PT100, KTY84. [4]

Para la gestión de redes de comunicación posee la interfase de comunicación RS 485 / RS 232 con protocolo Modbus RTU, CAN Open y Ethernet con protocolo Modbus TCP. Adicional puerto USB para comunicar con el ordenador y realizar la programación por medio del lenguaje LADDER que tiene el software WPS [4].

### **4.2.3 Redes de Comunicación**

Son redes que comunican sistemas automatizados, que transportan y controlan los datos, que beneficia el agrupamiento de máquinas, complejos sistemas de control que la industria requiere para optimizar los recursos y descentralizar procesos que esta controlados desdeun solo punto del proceso [3].

**4.2.3.1. Sistema de Transporte de Señal.** Cuando los equipos realizan un cambio de información, requieren de un medio que transporte la energía que lleva dicha información. Por lo cual, para el presente proyecto se utilizará el cable eléctrico Par que es un conjunto de hilos conductores, paralelos y separados por un aislante que cumple la función de soporte físico, como el Par apantallado que posibilita la transmisión de señales analógicas o digitales [8].

**4.2.3.2 Nivel de Tensión:RS-485.** En las industrias se realizan conexiones físicas a través de interfaces serie, establecidas por la Asociación de Industrias Electrónicas de los Estados Unidos (EIA). Estos estándares indican los parámetros del soporte de comunicación y la forma como debe funcionar la señal eléctrica. De este modo, el proyecto se basará en el estándar recomendado de transmisión RS-485 que es el más utilizado en las comunicaciones industriales. Este estándar se enfoca en la configuración del hardware (capa 1, la capa física de OSI) siendo la más amplia para

los buses de campo. Esta tiene la posibilidad de realizar la conexión de hasta 32 dispositivos en un solo tramo del cable, que cuenta con una medida de 50 metros por tramo, incluso puede aumentarse a 10.000m a través de repetidores de señal [8].

Se caracteriza por contener 32 estaciones, resistencia de adaptación en extremos, sus rangos de velocidades oscilan de 9.6 Bit/s a 12 Bit/s, cable par trenzado apantallado, tiene una velocidad de hasta 1200 m de distancia de trasmisión y buena resistencia respecto a las interferencias al ser señales de diferente tensión. Ahora bien, el RS485 se fundamenta en la trasmisión de señales como diferencia de potencial, sin referencia de tierra. Llegado el caso que exista interferencias afectará las dos señales [8].

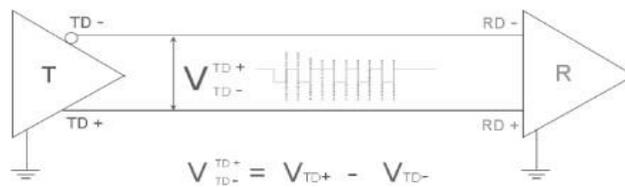


Figura 4-3 Conexión Diferencial [1, p.9]

Cuando se llega al destino, la señal definitiva se alcanza al restar las dos señales recibidas, con la cual la interferencia se anula; para equilibrar las diferencias de potencial que se presentan en las instalaciones con frecuencia se tiende un cable de igualación de potencial, con el fin de evitar corrientes que pasen por medio de la malla del cable de señal. Por lo tanto, en la trasmisión RS485 se utiliza un cable que no tiene obstáculos y tiene en sus extremos resistencias de adaptación de línea [8].



Figura 4-4 RS485, Resistencia de Terminación [1, p.10]

#### 4.2.4 Modos de Trasmisión de Datos

Paralelo es el medio de transmisión que moviliza el envío de la información a una rápida velocidad. El obstáculo se presenta debido a la cantidad de líneas de comunicación y la distancia máxima que se puede alcanzar. En la actualidad se destaca por ser la única la opción viable para los sistemas con microprocesadores como el Bus Local del PC. Los cuales se calculan en bits o en líneas de comunicación, entre ellos existen buses de sistemas domésticos como: ISA, PCI y AGP; del mismo modo sistemas industriales tales como Eurocard, VME y FutureBus [8].

#### 4.2.5 Codificación de Señales

Los bits que representan la información se envían a mayor velocidad posible sobre la línea de transmisión seleccionada. Uno de los modelos más amplios es la codificación ASCII, consiste en una transmisión sincrónica, que limita cada carácter a través de un bit de inicio y uno de final, y un determinado control de error por medio del llamado bit de paridad. Para que exista una mejoría y efectividad se recomienda la codificación Manchester, que moviliza la sincronización entre emisor y receptor. Esta tipología de código fragmenta cada bit en dos subintervalos, determinando el nivel lógico del bit mediante el sentido del flanco entre primer y segundo subintervalo [8].

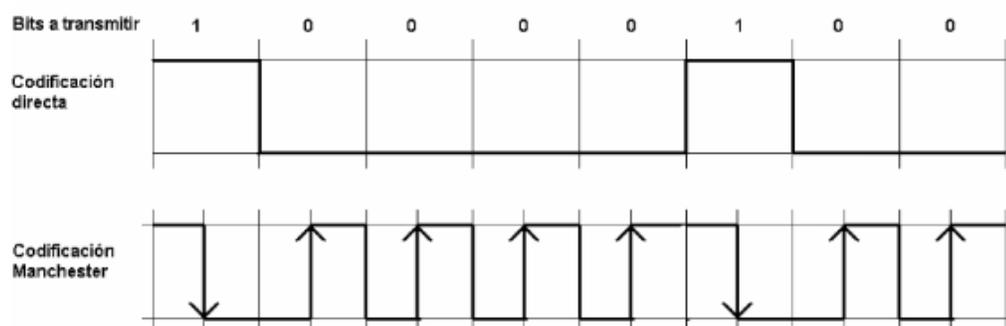
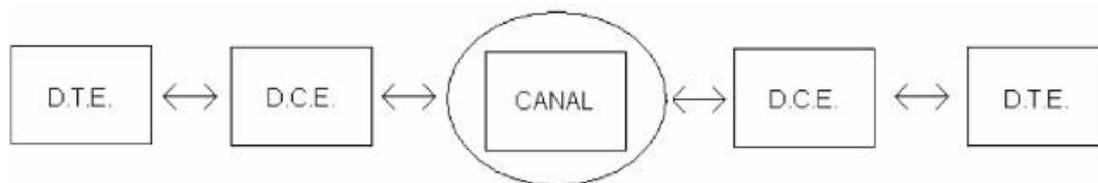


Figura 4-5 Codificación Manchester [1, p.13]

#### 4.2.6 Protocolo de Comunicación

Se debe determinar la forma donde se va a hacer el intercambio de información, es decir, sincronización entre los extremos de línea, detención y corrección de errores y gestión de enlaces

de comunicación. El protocolo abarca todas las reglas y convenciones que deben tener en cuenta dos equipos que intercambian información. Por consiguiente, todo tipo de enlace de comunicación se estructura de la siguiente forma:



DTE (*Data Terminal Equipment*): Equipo Terminal de Datos.

DCE (*Data Communication Equipment*): Equipo de Comunicación de Datos.

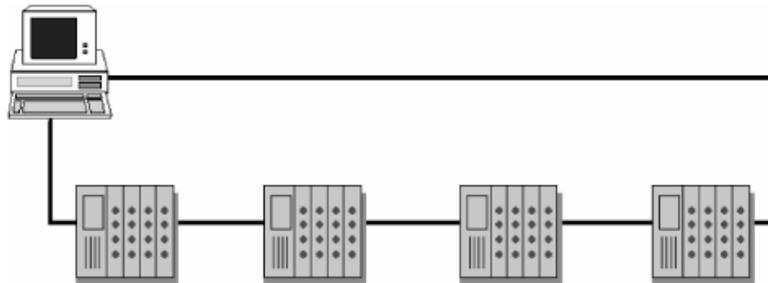
*Figura 4-6 Componentes de un Enlace de Datos [1, p.13]*

Visto de este modo los protocolos de comunicación tienen como objetivo conectar y mantener el diálogo entre dos Equipos Terminales de Datos (DTE), abriendo la posibilidad de que pueda existir un intercambio de información de manera confiable y sin fallas. Siendo así la estandarización el punto complejo entre los intereses técnicos y comerciales ya que es importante que los equipos cubran las necesidades de la industria, por lo tanto, existen soluciones tales como: Hart (Control de Procesos), Profibus (Control discretos y Control de Procesos), AS-i (Control Discreto) y Can (Control Discreto). Lo cual permite establecer que cualquier protocolo puede integrarse en cualquier nivel de la conocida Pirámide de Automatización, con el propósito de hallar una relación prestaciones/precio ideal y equilibrio entre los diferentes tipos de tecnologías que se complementan unas con otras. Sin embargo, debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos: coste por nodos de bus, coste de programación, tiempos de respuesta, fiabilidad, Robustez (tolerancia a fallos), Modos de funcionamiento, medios físicos, topologías permitidas, gestión, interfases de usuarios y normalización [8].

#### **4.2.7 Tipología de Redes**

Consiste en la capacidad de los diferentes equipos entorno al medio de transmisión de datos, mediado por unas estructuras de red características como:

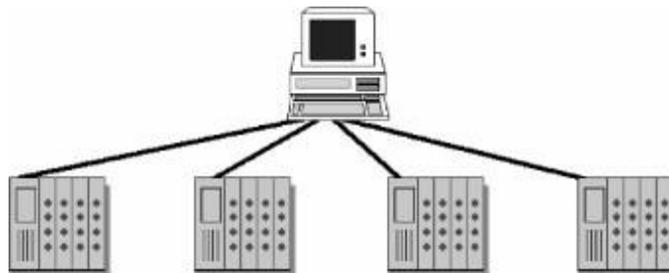
**Anillo.** El medio de transformación forma un circuito cerrado en el que se conectan los equipos y tiene como ventaja que el uso de cables es mínimo, se centra en una de serie de conexiones punto a punto de una estación con la siguiente, la transmisión se distribuye por turnos mediante un paso de testigo, el mensaje vuelve al emisor, el transporte de información va en un solo sentido a través del soporte de transmisión, la señal se recupera en cada nodo, no posibilita la ampliación en funcionamiento y es extendido el uso de la fibra óptica [8].



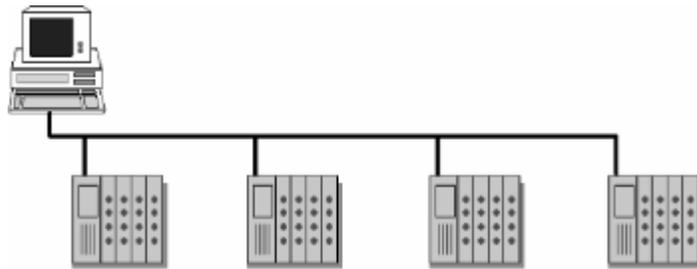
*Figura 4-7 Tipología en Anillo [1, p.15]*

**Estrella.** Es esta programación, los equipos se conectan a un equipo a un nodo central (HUB, Host Unit Broadcast) desarrolla las funciones de control y coordinación. Dentro de los beneficios son los siguientes: transferencia de información punto a punto, un facil diagnóstico de sus componentes y mantenimiento, el equipo principal y el HUB, controlan toda la red; la velocidad de la red depende del HUB, la falla de un equipo no afecta a los demás, se requiere más cable que otros tipos y la extensión del sistema está regulada por la capacidad del nodo central o HUB [8].

*Figura 4-8 Tipología de Estrella [1, p.16]*

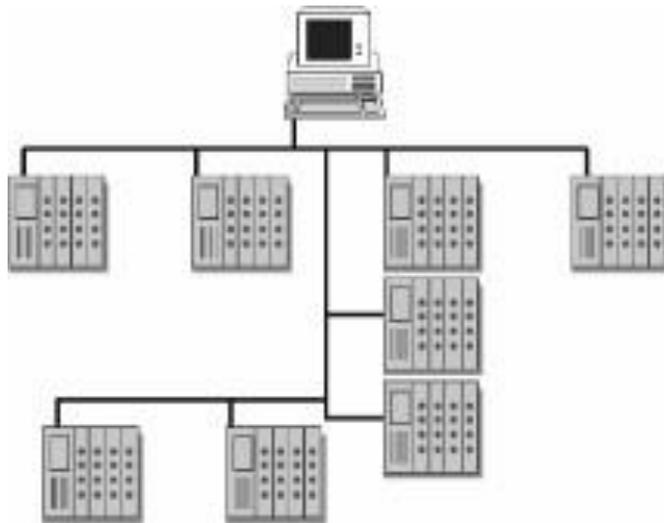


**Bus.** Este tipo de configuración y distribución se elabora de un tramo de cable al cual se conectan los equipos. La forma de transmisión es aleatoria, un equipo transmite cuando lo requiere. Se caracteriza por: utilizar menor cantidad de cable en relación con otras redes semejantes en longitud, las conexiones de alta resistencia dan la posibilidad de conectar y desconectar componentes fácilmente, alta velocidad de transmisión, comunicación multipunto, pocas conexiones, extensión sencilla y es la alternativa más amplia en buses de campo [8].



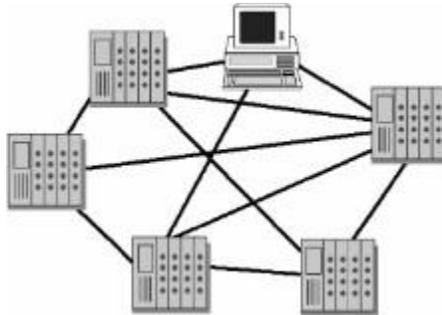
*Figura 4-9 Tipología de Bus [1, p.16]*

**Árbol.** Cumple con las características de las tres anteriores. Se halla en los sistemas de bus tipo sensor-actuador (AS-i).



*Figura 4-10 Tipología de Bus [1, p.16]*

**Red.** Permite la conexión entre dos estaciones mediante múltiples caminos. Se caracteriza por la confiabilidad y resistencia a las fallas, la caída de una línea de transmisión se equilibra redirigiendo el tráfico por otro camino, elevado costo de funcionalidad, no se utiliza buses de campo. A nivel industrial las tipologías más amplias son las de Bus y Anillo, ya que tiene mayor resistencia a fallas, velocidad de transmisión y facilidad de ampliación [8].



*Figura 4-11 Tipología de Red [1, p.17]*

#### **4.2.8 Formas de Comunicación**

Se concibe desde la perspectiva de la frecuencia con la que se intercambian los datos entre los equipos. Mediante dos formas:

**Cíclicas (Periódicas).** Al momento de transmitir vía Bus de Campo, el tiempo utilizado en enviar y recibir los datos sea en un tiempo mínimo, para que esto sea posible sin que haya pérdida de velocidad de transmisión es reduciendo la cantidad de datos a ejecutar por el sistema de transmisión. Cuando se realiza transferencia de gran cantidad de datos entre estaciones, se hace posible de forma cíclica [8].

**Acíclicas (Aperiódicas).** La lectura y escritura de datos en modo Acíclico se debe realizar mediante la puesta en marcha de instrucciones específicas de comunicación, además consta de una carga adicional a diferencia de la comunicación cíclica, que se pone en funcionamiento de forma automática. Por lo cual, un uso recurrente de este tipo de comunicación se verá reflejado en el tiempo total de procesamiento necesario para ejecutar las comunicaciones [8].

#### 4.2.9 Modos de Diálogo

Según el tipo de enlace se generan las posibilidades de diálogo. Por consiguiente, el proyecto tendrá en cuenta el modo de comunicación Half-Duplex, ya que las comunicaciones de esta tipología determinan el diálogo que se hace entre dos puntos, en las dos direcciones; sin embargo, no funciona de forma simultánea, sino por turnos. El cual aplica para el estándar RS-485, que solo permite un emisor cada vez, como el Profibus o Modbus [8].

#### 4.2.10 Modos de comunicación

Los diferentes modos de comunicación posibilitan estructurar las diversas estrategias de intercambio de información. Por lo cual, el proyecto investigativo utilizará la categoría de comunicación punto a punto que se basa en enviar la información las veces que se necesite con el propósito que llegue a todos los destinatarios [8].

Modo de comunicación	Protocolos
Punto a punto	Ethernet Profibus Modbus Interbus

Figura 4-12 Protocolos y Comunicación [1, p.20]

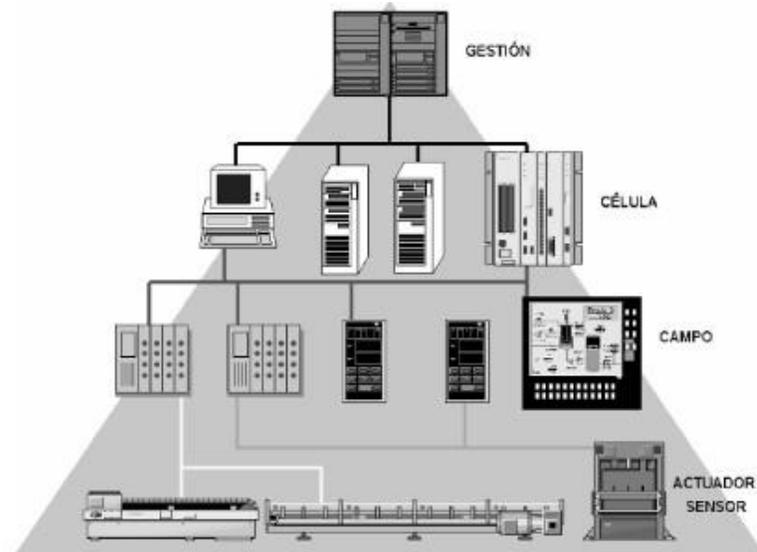
#### 4.2.11 La Pirámide de la Automatización (CIM)

Consiste en explicar la estructuración de los sistemas de comunicación en un contexto productivo. El cual, se divide en niveles que clasifican el tipo de tráfico e información que se intercambia entre cada uno, cabe resaltar que el presente proyecto se basará en el nivel de campo y en el nivel de actuador/sensor [8].

**Nivel de Campo.** Realiza la unión entre las instalaciones y los equipos que la controlan, ya que facilitan la comunicación entre los equipos de control de maquinaria y los equipos correspondientes al nivel de célula. La periferia repartida en plata, compuesta por módulos de entradas/salidas, medidores, sistemas de control de velocidad, válvulas o pantallas de operador,

mediante técnicas de transmisión de gran eficiencia, que a su vez operan de en tiempo real a través de comunicaciones cíclicas o acíclicas. Adicionalmente, las redes del bus de campo agregan la capa de aplicación, generando rutinas de control en el componente ubicado en la planta o en el controlador. Del mismo modo, ofrece seguridad implícitamente en los componentes utilizados en zonas peligrosas [8].

**Nivel Actuator Sensor.** Este nivel transfiere pocas cantidades de información (bits) a gran velocidad. Además, las interfaces usan técnicas de instalaciones simples y de bajo costo, siendo útil el mismo medio con el propósito de alimentar a los componentes del campo y para pasar la información a través de comunicaciones cíclicas [8].



*Figura 4-13 Pirámide de la Automatización [1, p.36]*

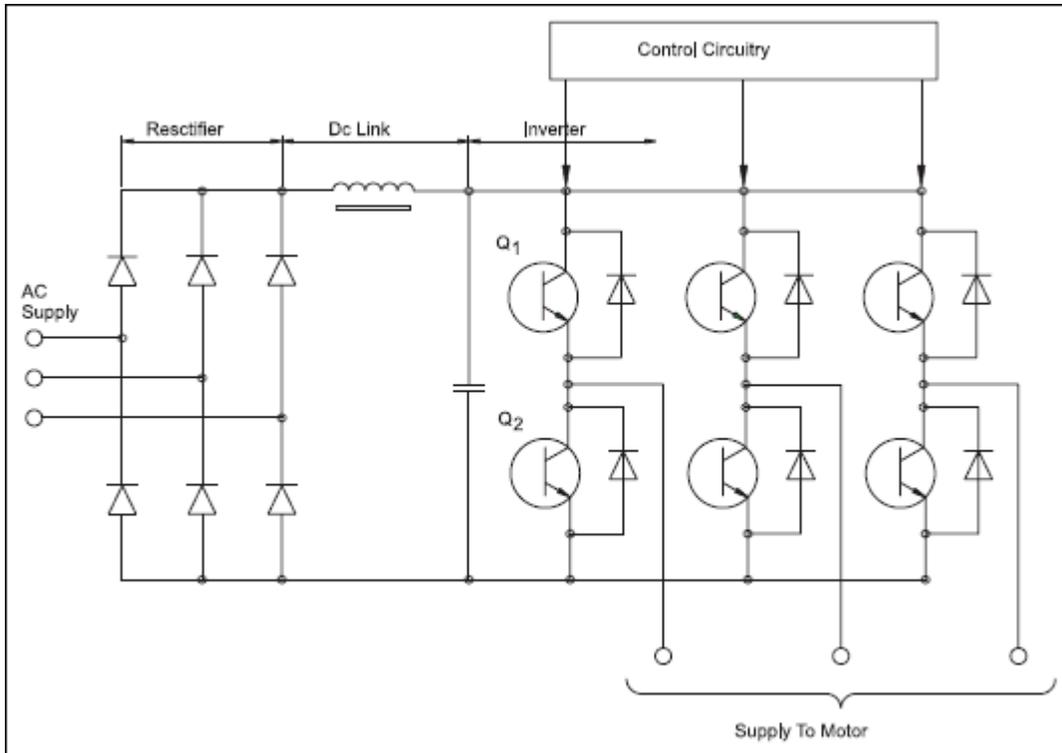
#### **4.2.12 Variadores de Velocidad de Corriente Alterna**

Este tipo de dispositivos se utilizan para contralar la velocidad, el par de toque, la potencia y dirección de los motores. Normalmente, son empleados en motores de inducción, síncronos y de corriente continua, de los cuales existen dos clases: el Variador de Corriente Continua, que son empleados para controlar motores de CC que son utilizados en sistemas industriales con el propósito de controlar el proceso o de producción; la segunda clase, son los Variadores de

Corriente Alterna que son utilizados para establecer control de inducción y síncronos, en procesos/producción, también en servicios/instalaciones externas, como en sistema de ventilación y de bombeo. [9]

**Principios de funcionamiento.** El aprovisionamiento de la entrada de Corriente Alterna se convierte a través de un rectificador de diodo no controlado en un suministro de CC. Después, el inversor transforma el suministro de CC en un suministro de CA, por lo cual un Variador de Corriente Alterna modifica un voltaje y una frecuencia fijos en un voltaje una frecuencia variable. Al existir una relación entre frecuencia y voltaje se alcanza el par máximo del motor. Dicha relación es conocida como tensión nominal del motor que se divide por la frecuencia nominal. Como se ejemplifica a continuación: para un motor de 415 V, 50 Hz, la relación es  $415/50$ , esto es, 8,3 V/Hz. Por consiguiente, si el voltaje aumenta en 8,3 V, la velocidad se incrementará en 1 Hz y si el voltaje decrece en 8,3 V, la velocidad disminuirá en 1 Hz.

Luego, de alcanzar la tensión nominal, además al aumentar la velocidad, el par disminuirá porque la tensión se mantendrá constante. Superior de la velocidad base, el par es inversamente proporcional al cuadrado de la velocidad. El rango de velocidad oscila entre 0 a 200 Hz. La regulación de velocidad es  $\pm 0,5\%$ . (ver figura 4-14). [9]



*Figura 4-14 Esquema VSD Típico [16, p.116]*

**Construcción.** Según la capacidad de kW, los variadores se activan en tipos autónomos e independientes. Por lo cual, el variador no independiente se adapta en una pared o dentro del centro de control de motores. Para mitigar las interferencias de radiofrecuencia (RFI) se utiliza una carcasa metálica, disponibles en gabinetes IP 20 e IP 54, que son resistentes a ambientes húmedos, corrosivos o polvorientos, es decir, que se debe implementar un gabinete especial para intemperie, además el variador al estar instalado en un gabinete se debe montar una ventilación adicional a la que trae el variador, ya que los componentes electrónicos de potencia interna del variador generan calor. A su vez, el inversor está constituido por transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) y su conmutación está clasificada entre 2 a 10 kHz. [9]

Por otro lado, el variador cuenta con varias protecciones según el fabricante, tanto protecciones de entrada de alimentación de la red eléctrica como las protecciones hacia el motor, entre ellas se

encuentran: pérdida de tensión de red, sobre corriente de motor, rotor bloqueado, pérdida de fase de salida hacia el motor, falla a tierra de salida, entre otras. [9]

#### 4.2.13 *Detector de Temperatura de Resistencia (RTD)*

Los diferentes metales cuentan con una constitución única y una resistencia distinta al paso de la corriente eléctrica, la cual se conoce como Constante de Resistividad para dicho metal. En los cuales, cuando se genera una transformación en la resistencia eléctrica es directamente proporcional al cambio en la temperatura y tiende a ser lineal sobre un nivel de temperaturas. Al ser un factor constante, se llama Coeficiente de Temperatura de la resistencia eléctrica, siendo pilar de los detectores de temperatura de resistencia [10].

De este modo, los RTD están en la capacidad de medir la temperatura de los metales por medio de una resistencia eléctrica, que varía según la temperatura del metal. Los cuales están elaborados de platino, níquel y cobre, además tiene una resistencia con una espiral de alambre metálico muy fino. Normalmente, se dispone de los RTD de platino; sin embargo, para identificar las variaciones de resistencia, se debe utilizar un transmisor de temperatura de puente de Wheatstone que está compuesto por: una RTD, tres resistores, un voltímetro, y una fuente de tensión (ver figura 4-15); donde compara el valor de este con otros resistores de alta precisión [10].

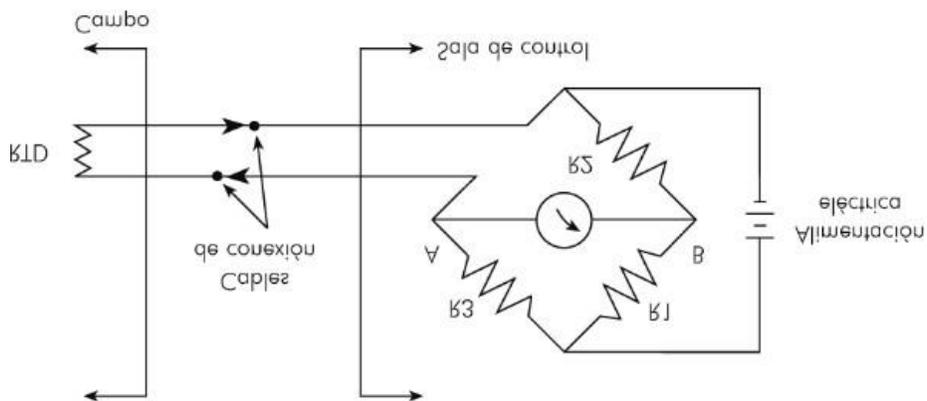


Figura 4-15 Puente de Wheatstone Incorporando un RTD [4, p.82]

Por otro lado, es importante destacar las ventajas con las cuales cuentan los RTD, como: es sensible, exacto y su tiempo de respuesta es rápido, en una fracción de segundo; no se autoalimenta lo cual hace que no tenga problemas de deriva; en un montaje que se requiere cables largos y no utiliza cables de prolongación; la prolongación eléctrica tiene poca afectación en los RTD, ya que su parámetro de medida es resistencia. [10]

## **5. Desarrollo Metodológico**

La metodología de implementación de un sistema interfaz hombre máquina para pruebas de variadores de media tensión, estará orientada por las siguientes fases:

### **5.1 Fase 1: Caracterización de Dispositivos y Programación**

Esta fase consta de dos partes, la primera consiste en seleccionar los aparatos de medición de las diferentes etapas del proceso de pruebas para variadores con el fin de obtener las variables eléctricas del sistema y definir el protocolo de comunicación.

La segunda parte consiste en la programación del PLC para la centralización, control y adquisición de los datos, por medio del software WPS.

#### ***5.1.1 Caracterización de las etapas del proceso de pruebas.***

El proceso con el cual cuenta la empresa para las pruebas de variadores de media tensión, está conformado por cinco etapas que se describen a continuación:

### **ETAPA 1: Fuente de Alimentación Eléctrica del Sistema de Pruebas**

- Es el suministro de energía eléctrica, dispuesto en un tablero existente de tipo de distribución que tiene las siguientes características: Tablero TGA 2, Potencia: 150 kVA, Sistema trifásico 3 fases + neutro + tierra, Tensión 208 VAC, Corriente de 500 A, Frecuencia 60 Hz.



### **ETAPA 2: Tablero de Protección**

- El tablero de protección es el encargado de proteger el sistema de prueba y cuenta con un interruptor de protección 3WT8, tensión de 208VAC, corriente nominal de 800A regulable, frecuencia 60 Hz, unidad de protección LSG.



### **ETAPA 3: Transformador de Potencia**

- El transformador de potencia es el encargado de elevar la tensión de 208 VAC / 277.6 A, hasta 4160 VAC/13.9, potencia de 100kVA, clase de aislamiento H, frecuencia 60 Hz.



### **ETAPA 4: Variador de Media Tensión (VSD)**

- En esta etapa se instala los variadores a probar como producto final. Las características de tensión de entrada de 13,2 KV y una potencia para motor entre 500 y 900 Hp y corriente de 70 hasta 120A.



### **ETAPA 5: Carga**

- Hay un inductor al final del proceso que simula la carga al variador con el fin de probar el sistema de potencia con carga.

*Figura 5-1 Etapas de Proceso de Adquisición de Datos y control*

### 5.1.2 Definición del estándar de transmisión de comunicación.

Se realiza la búsqueda de información con el fin de definir el estándar de transmisión de datos según las siguientes características del proceso:

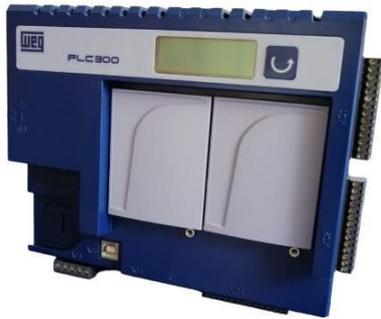
- **Se debe utilizar un protocolo común para todos los equipos:** En la búsqueda de equipos se observó que la mayoría de los equipos WEG; entre ellos los medidores, variadores y equipos complementarios como los relés de temperatura se requieren integrar para el desarrollo del proyecto, traen implementado el protocolo Modbus por medio de transmisión RS-485. La ventaja que trae el protocolo para implementación es su de bajo costo de instalación y bajo consumo de memoria en los equipos
- **Topología de la red comunicación:** Definido el protocolo y bajo el marco teórico se implementa una topología llamada Bus, que es la distribución de los equipos conectados entre sí en un cable principal de forma paralela que hace el número de conexiones muy reducido. Este tipo de red se adapta muy bien al proceso por la forma lineal como están dispuestos los equipos.
- **La longitud del cable para la comunicación en tres equipos es de 36 m:** Para la longitud del cable que se midió, queda dentro del rango máximo estándar de 1200m a una velocidad de 100Kb/s
- **Velocidad de transmisión de datos:** Como la velocidad del protocolo abarca desde 9.6Kb/s hasta 12Mb/s y la longitud definida de 36m, se puede programar en los equipos una velocidad de 19.2Kb/s.
- **Impedancia y ruido en la transmisión de señal:** Como la transmisión de señal del RS-485 se basa en la diferencia de potencial se debe buscar la impedancia del cable de 120 ohm con apantallamiento y tipo trenzado para evitar interferencias, ya que estos cables estarán cerca a niveles de media tensión. Se presenta tabla del cable que se va a utilizar y se anexa ficha técnica.

<b>Impedance:</b>	120 $\Omega$
<b>Max. DC Resistance :</b>	95.0 $\Omega$ /km@20°C
<b>Attenuation:</b>	21.3 dB/Km max. @ 1 MHz 72.2 dB/Km max. @ 10 MHz 102.0 dB/Km max. @ 20 MHz
<b>Mutual Capacitance - Core to Core:</b>	44 pF/m
<b>Capacitance Core to Shield:</b>	110 pF/m
<b>Inductance:</b>	1.4 $\mu$ H/m
<b>Velocity of Propagation:</b>	66 % nom.
<b>Dielectric Strength:</b>	700 V/minute
<b>Voltage Rating:</b>	230 V
<b>Min. Bend Radius:</b>	55 mm
<b>Max. Operating Temperature:</b>	+70 °C
<b>Min. Operating Temperature:</b>	-20 °C

### 5.1.3 Dispositivos para la Implementación de Control y Medición

A continuación, se enlistan los materiales que se utilizaron para la implementación de control y medición de cada una de las etapas del sistema.

DISPOSITIVO	DESCRIPCIÓN
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Medidor de energía multifuncional MMW03-22HCHB.</b></li></ul> 	<p><b>Principales características:</b></p> <p>Alimentación:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tensión: 85 a 300V CA/CC</li><li>• Frecuencia: 45 a 65 Hz</li></ul> <p>Entradas de Medición:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tensión: 1 a 300 V RMS (L-N)</li><li>• Corriente: 0,05 a 6 A RMS</li><li>• Frecuencia: 45 a 65 Hz</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Rele controlador de temperatura NT-538AD 16</b></li></ul> 	<p><b>Principales características:</b></p> <p>Alimentación:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tensión: 24 a 240V CA/CC</li></ul> <p>Entradas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 8 entradas RTD, pt100 3 hilos</li></ul> <p>Salidas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Dos salidas relé (alarma-trip)</li></ul> <p>Rango de medición de temperatura:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 0 – 240 °C</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Controlador logico programable PLC 300BP-H3</b></li></ul>	<p><b>Principales características:</b></p> <p>Alimentación:</p>



- Tensión: 24 CC /250 mA

Entradas

- 10 entradas digitales
- 1 entrada analógica
- 1 entrada de codificador
- 8 salidas digital al transistor PNP
- 1 salida analógica PWM
- Comunicación USB, RS232, RS485, CAN, Ethernet

- 
- **Interfaz Hombre Maquina HMI MT8102IE**



**Principales características:**

Alimentación:

- Tensión: 24 CC /250 mA

Pantalla:

- Táctil 10.1" TFT, 1024x600 px, 16,7

Memoria:

- 128 ROM/RAM

Procesador:

- 32 bits RISC Cortex-A8 600MHz

Puertos:

- A: COM2 RS-485 2W/4W, COM3 RS-485 2W;
- B: COM1 RS-232 / COM3 RS-232

- 
- **Interruptor MDWH C6 monopolar.**



**Principales características:**

Protección:

- In: 1 x 6 A, Termomagnética curva C
-

- 
- **Interruptor MDWH C6-2 bipolar.**



**Principales características:**

Protección:

- In: 2 x 6 A, Termomagnética curva C.

- 
- **Fuente WEG PSS24.**



**Principales características:**

Alimentación:

- 100-240 AC

Salida:

- 24 DC / 10 A

- 
- **Fusible ultra rápido 10 x 38**



**Principales características:**

Protección:

- In: 500mA / 1000V

- 
- **Fusible ultra rápido 10 x 38**



**Principales características:**

Protección:

- In: 2A / 500V

---

### **Medidor de Energía Multifuncional**

Se seleccionó el medidor multifuncional para la adquisición de datos en la fuente de alimentación de la red eléctrica con las siguientes características:

Para la primera etapa del proceso se define el medidor de energía multifunción MMW03-22CHB con la capacidad de realizar mediciones eléctricas del sistema trifásico y obtener datos a través del protocolo RS-485, con el fin de tomar valores para las siguientes magnitudes eléctricas.

- Realizar medición de tensión entre fases
- Realizar medición de corriente entre fases
- Realizar medición potencia activa
- Realizar medición de potencia aparente
- Realizar medición de potencia reactiva
- Medición del factor de potencia
- Realizar medición del TDH de corriente y tensión

Para leer las variables del medidor se tuvo en cuenta el manual del equipo, donde se encuentra los registros en el mapa Modbus, capítulo 4. (Ver anexo-1)

### **Interruptor de protección y alimentación del sistema.**

Para la tercera etapa, existe una celda de control donde se ubica el interruptor de potencia de alimentación del sistema que tiene como función energizar el sistema de prueba para variadores de forma manual. La integración del PLC controlará la apertura y cierre por medio de las bobinas del interruptor que vienen integradas como accesorio y que se debe tener en cuenta su conexión en el manual del equipo capítulo 13.3. (Ver anexo-3)



*Figura 5-2 Interruptor de Potencia*

## Relé Controlador de Temperatura

Se seleccionó el relé controlador **NT-538AD** para la adquisición de datos de temperatura de los tres devanados del transformador existente para la etapa 3 y los inductores para la etapa 5 del proceso. El transformador según su construcción es de clase de aislamiento térmico H, la cual su clasificación está determinada por la norma IEC 60085. La temperatura máxima de aislamiento es de 180 °C y temperatura de devanados promedio para la corriente asignada es de 125°C según la aplaca del transformador. (Ver figura 6-3). Para leer las variables del relé se tuvo en cuenta el manual del equipo, donde se encuentra los registros en el mapa Modbus, capítulo 8. (Ver anexo-2).



Figura 5-3 Placa de Características Transformador de Potencia

## Variador media tensión (VDS)

Para la programación del variador de media tensión se tiene en cuenta los parámetros que vienen definidos en el capítulo 1 del manual del equipo y se define los parámetros de lectura para ser integrados en la programación del PLC y registros según el mapa Modbus RTU capítulo 13.3. (Ver anexo-3)

- P001: Referencia de velocidad.
- P002: Velocidad del motor
- P003: Corriente del motor

- P004: Tensión de link CC
- P005: Frecuencia de motor
- P007: Tensión de salida
- P010: Potencia de salida
- P011: Corriente del variador
- P055: Temperatura fase U
- P057: Temperatura fase V
- P058: Temperatura fase W
- P067: Log de errores

#### ***5.1.4 Programación del PLC 300 para la integración de los equipos con el protocolo Modbus RTU***

Se realiza la integración del PLC para realizar el control y adquisición de datos del sistema de pruebas con la siguiente filosofía de operación:

- Etapa uno: Adquisición de datos de las variables leídas del medidor de energía multifuncional.
- Etapa dos: Control de cierre y apertura del interruptor de alimentación ubicado en el tablero.
- Etapa tres: Adquisición de los datos leídos por el relé de temperatura.
- Etapa cuatro: Mando, control y adquisición de datos del variador.
- Etapa cinco: Adquisición de los datos leídos por el relé de temperatura.

Se utilizó el Software de programación WPS que se descargó de la página de WEG y disponible en la dirección web: [WEG Programming Suite \(WPS\) | WEG Programming Suite \(WPS\) | Softwares | Drives | Automatización Industrial | WEG - Productos.](#)

Los requisitos del sistema para la instalación en la computadora son:

Plataforma	Windows 7 o superior
Procesador	Mínimo: Core i3
	Recomendado: Core i5
Memoria	Mínimo: 1 GB
	Recomendado: 4 GB
Resolución de la Pantalla	1024x768 o superior
Espacio em Disco	2 GB
Comunicación	USB, Ethernet TCP/IP y Puerto Serie

Después de la instalación se configura el tipo de dispositivo que se requiere programar, en este caso el PLC300. (Ver figura 6-4)

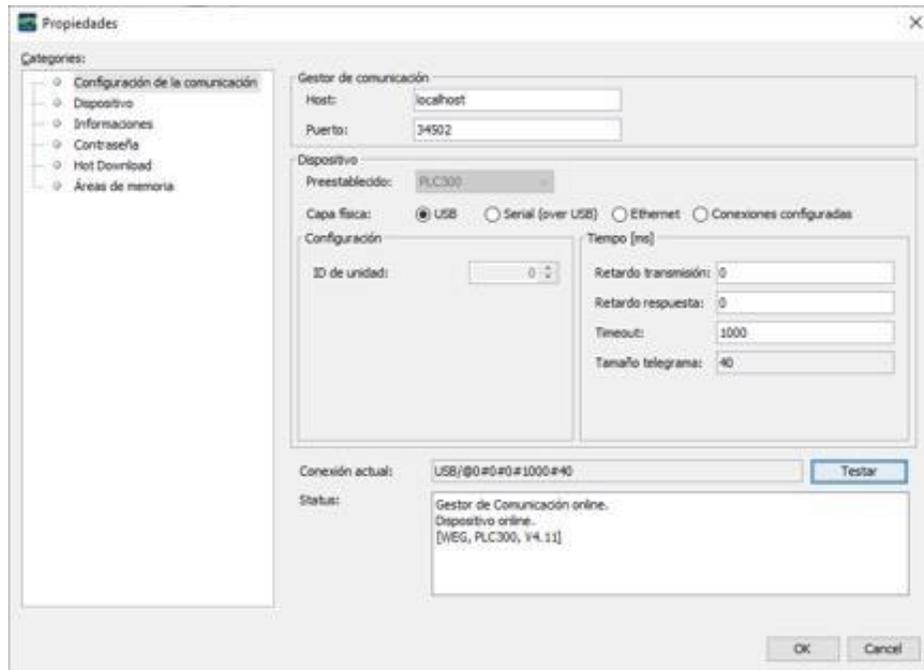
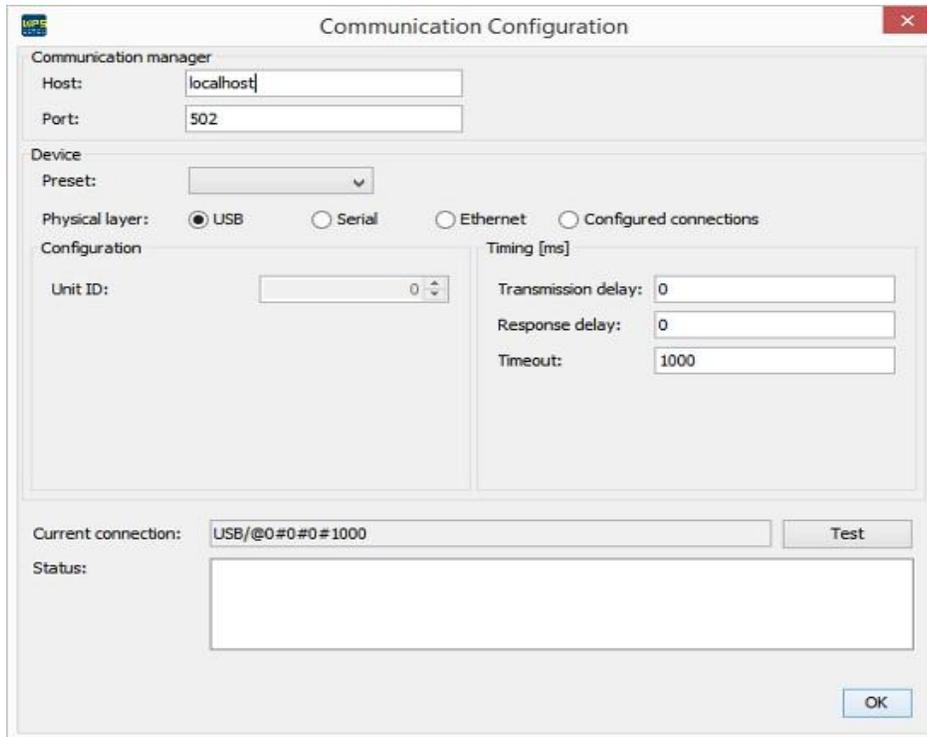


Figura 5-4 Configuración de Dispositivo Software WPS

Configuración del tipo de comunicación que se va a utilizar para la programación desde el software WPS instalado en la computadora hacia el PLC300. (Ver figura 6-5)

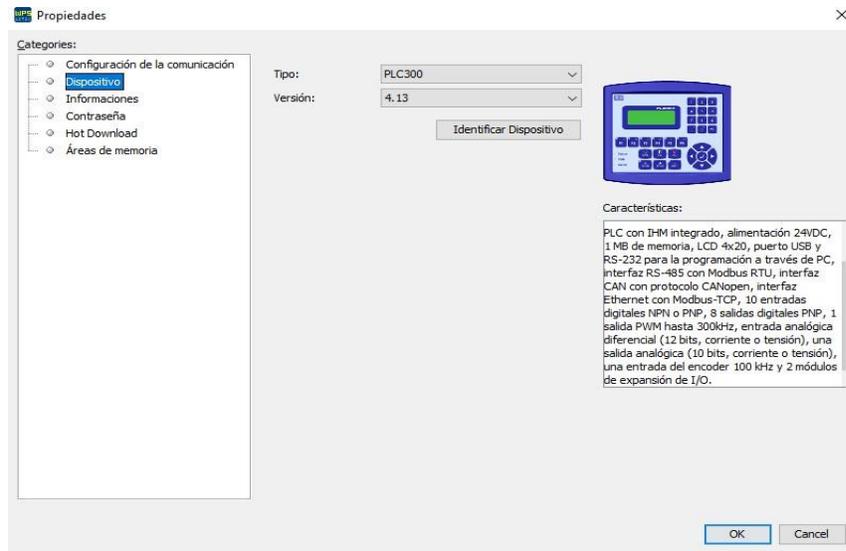


Figura 5-5 Selección del Tipo de Comunicación

Se realiza configuración del protocolo de comunicación Modbus RS485 en la sección del software configuración SETUP. Aquí se programó como función maestro, también la dirección 1 de red en el equipo, la velocidad de transición y la paridad. (Ver figura 6-6)

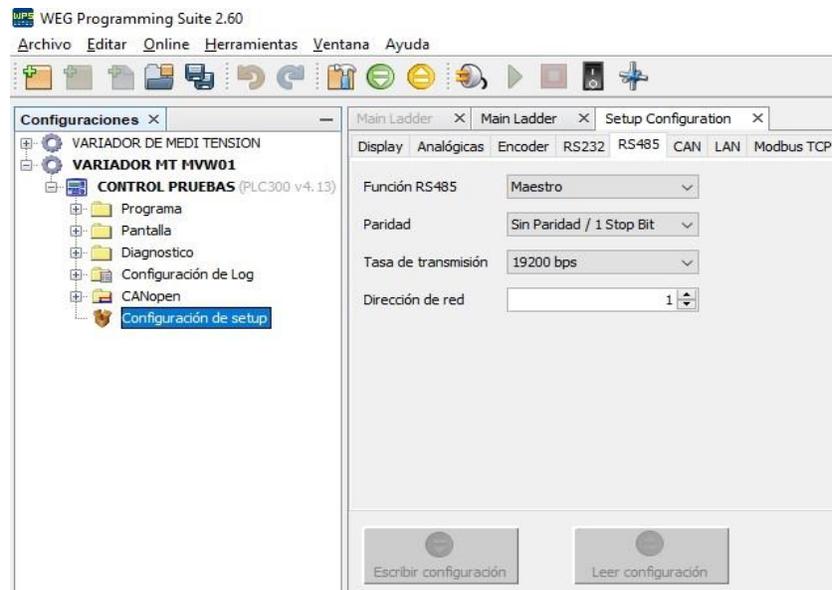


Figura 5-6 Parámetros de Configuración de Comunicación.

Para la primera etapa se programaron los registros Modbus para la comunicación del medidor multifuncional tomando las variables del sistema descritas en el capítulo 6.1.2. También se asignó la dirección de red Modbus número 2.

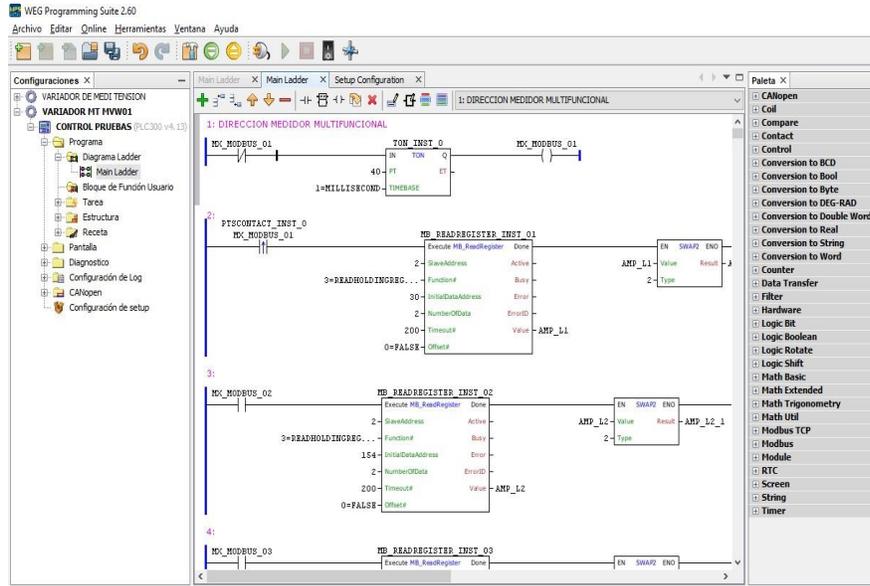


Figura 5-7 Programación de Registros Modbus Medidor

Se programaron las entradas y salidas del PLC para el control de la apertura, cierre y falla del interruptor en la etapa tres definida en el capítulo 6.1.

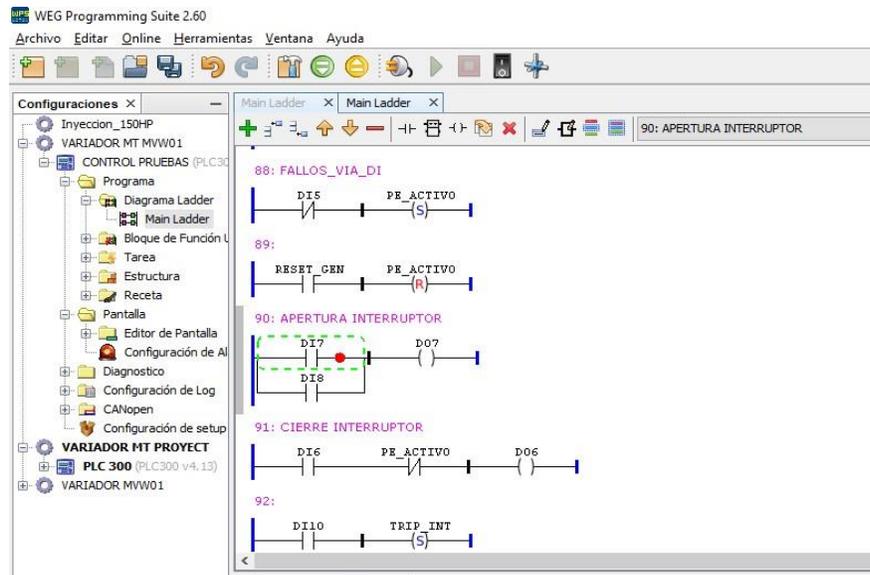


Figura 5-8 Control Interruptor

Se programaron los registros para lectura de temperaturas de los canales 1,2 y3 y los Set Point para ajustar los valores de alarma y falla de temperatura para el controlador. También se asignó la dirección de red Modbus número 3 para este equipo.

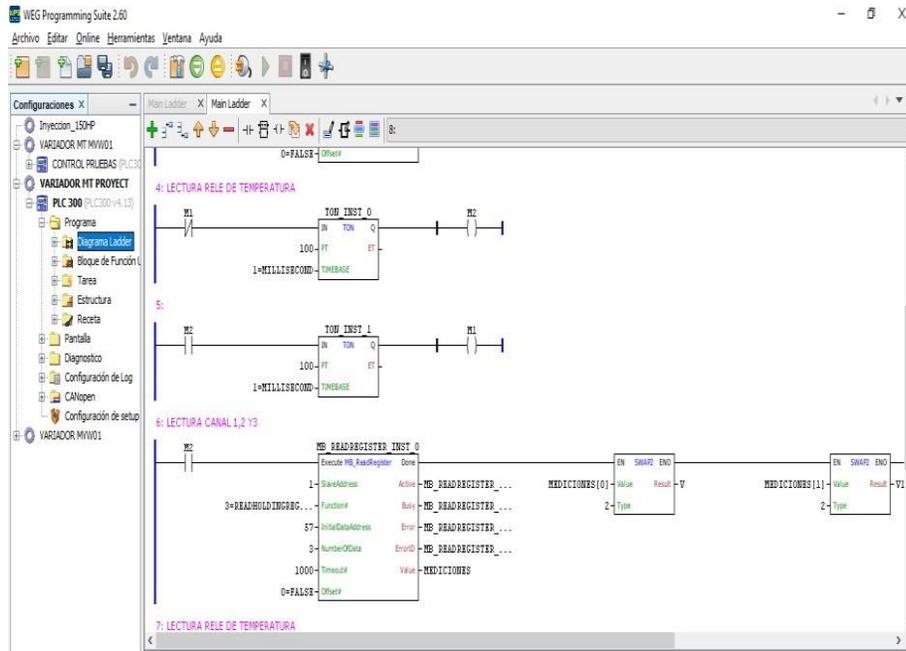


Figura 5-9 Programación Lectura de Canales de Temperaturas

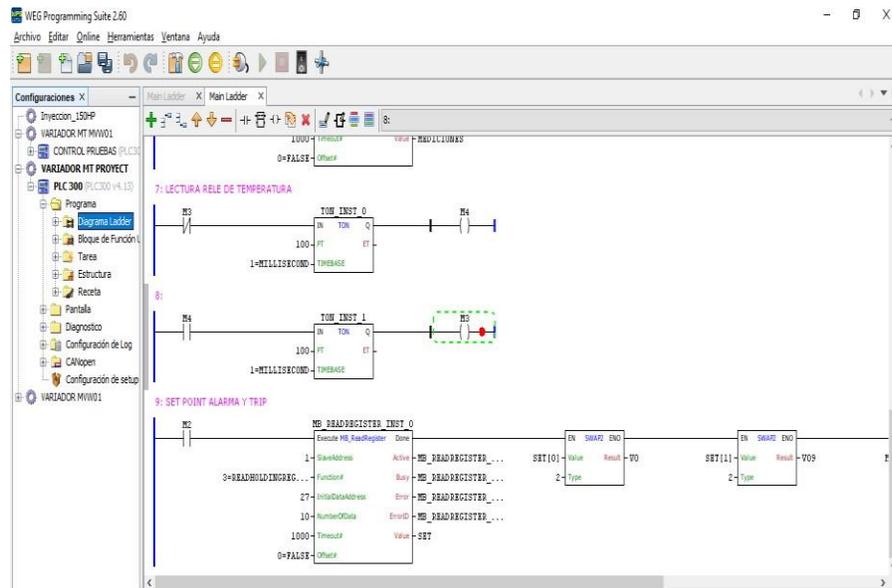


Figura 5-10 Programación de Set Point de Alarma y Falla

Para la adquisición de parámetros del variador se programaron los registros Modbus para los parámetros definidos en el capítulo 6.1.5

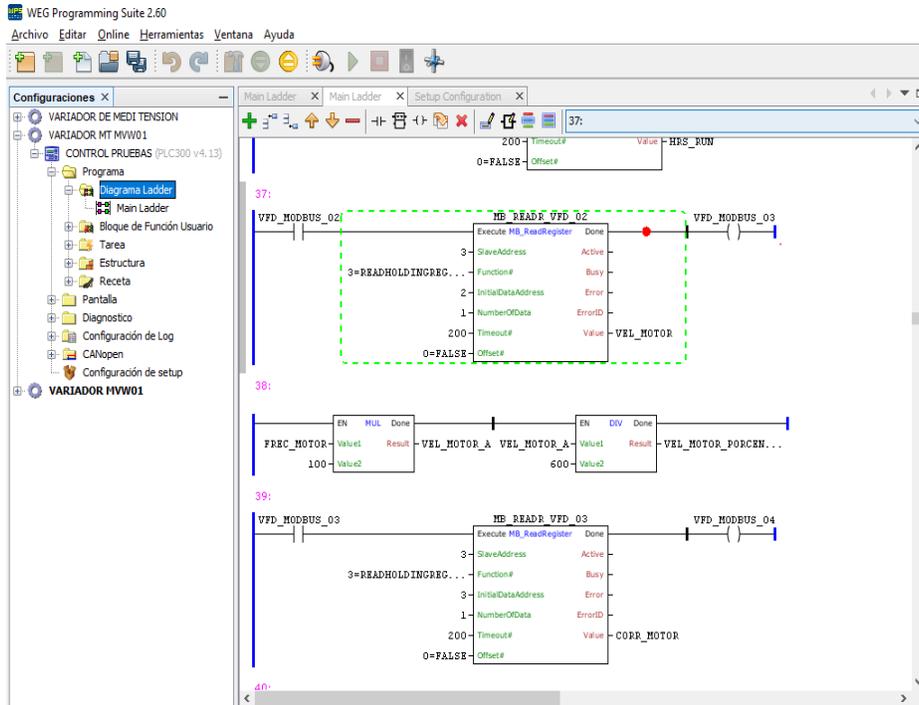


Figura 5-11 Programación de Lectura de Registros para el Variador

## 5.2 Fase 2: Programación HMI

Se requiere programar una pantalla de visualización donde muestre las diferentes etapas del sistema y leer registros en tiempo real desde los equipos periféricos o aparatos de medida para la adquisición de datos, gestión de control, mando local y remoto. Se programará la pantalla por medio del software Easy Builler.

### 5.2.1 Programación de la Interfaz Hombre Maquina

Para la programación de la HMI con referencia MT8102IE, se descargó el software EasyBuilderPro, versión V6.07.02.410, en el siguiente enlace: <https://www.weintek.com/globalw/Download/Download.aspx>, el cual se puede bajar registrándose en la página.

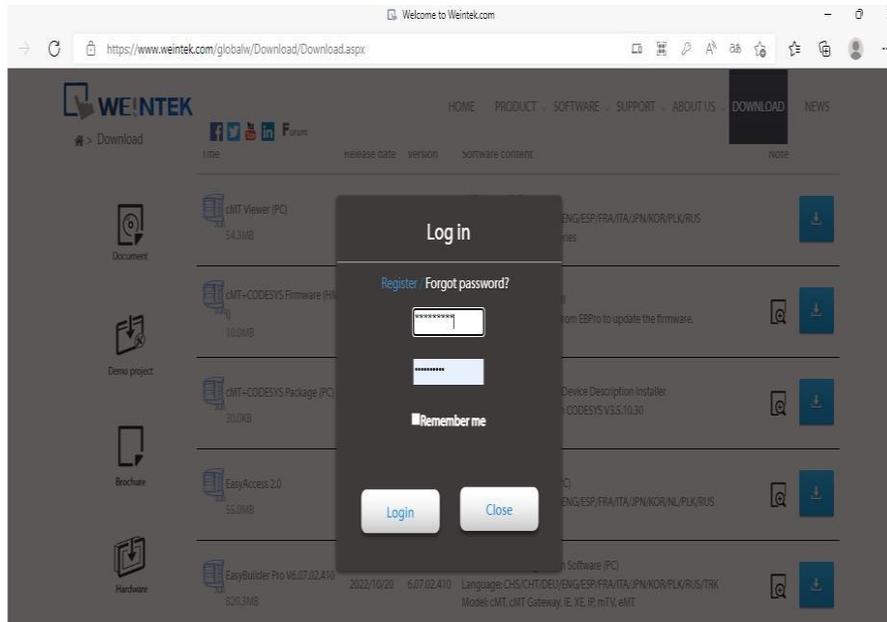


Figura 5-12 Registro de Usuario en la Página del Fabricante

Se inició un nuevo proyecto seleccionando el dispositivo que se va a programar, en este caso la pantalla con referencia MT8102IE.

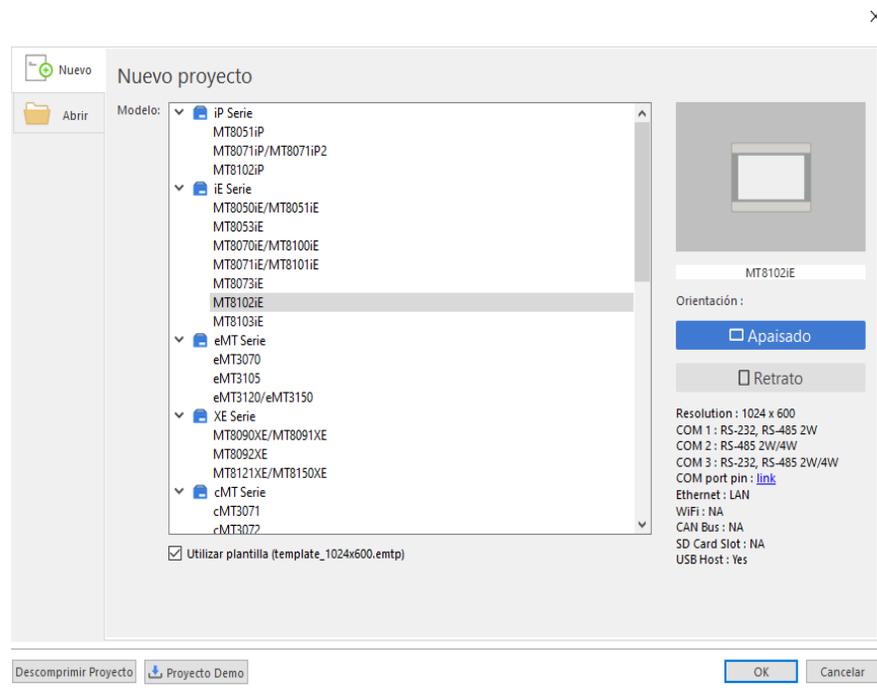


Figura 5-13 Configuración Según la Referencia de Pantalla

Se configuró un dispositivo o estación nueva en la ventana de configuración de parámetros del sistema y en la pestaña dispositivo-dispositivo nuevo, el cual irá a controlar de forma local la red de comunicación por los atributos que se programaron en función al Modbus RTU como: Dirección del dispositivo, la velocidad de transmisión y el puerto por donde se va a conectar el dispositivo en la HMI.

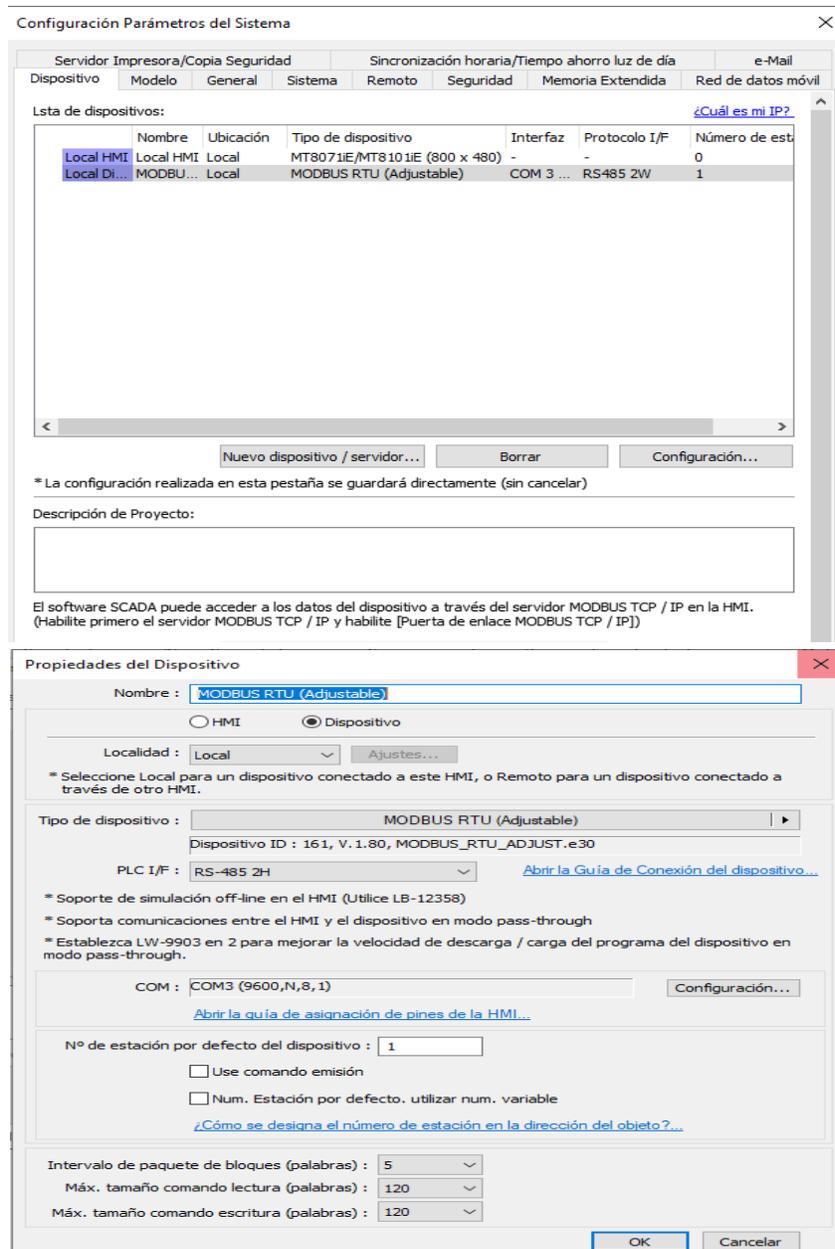
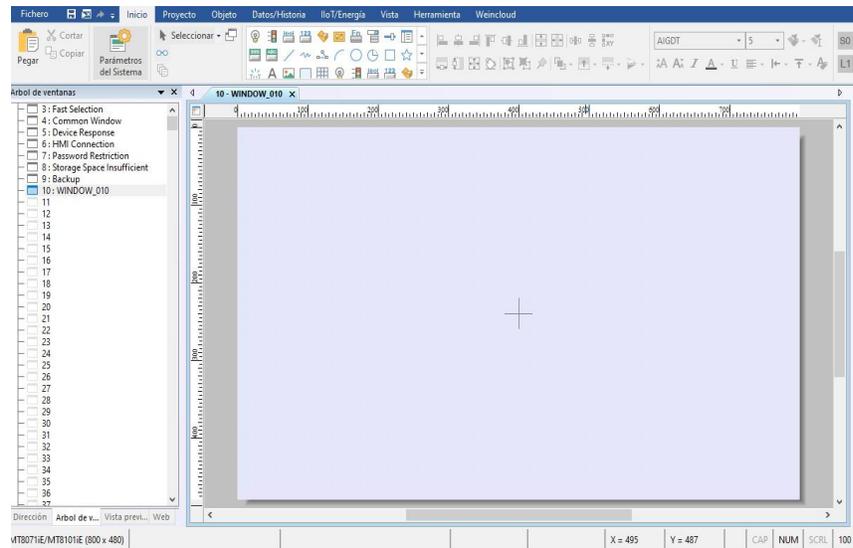


Figura 5-14 Configuración de la Estación del Protocolo de Comunicación

La interfaz principal del software, cuenta con varias ventanas donde se empezó a programar con base en el manual del usuario EasyBuilderPro, para la versión V60702. (Ver anexo-4)



*Figura 5-15 Interfaz Principal del Software EasybuilderPro*

Se programaron las interfaces del proyecto, donde se encuentra los vínculos en forma de botón que contienen la configuración del sistema. En la pantalla de menú que se programó, cuenta con tres vínculos que no permitieron la configuración del sistema.



*Figura 5-16 Pantalla de Menú Principal*

- Botón de configuración parámetros del variador: Este botón envía a la pantalla que se programó con el fin de configurar los datos de potencia del variador que ingresa al proceso de pruebas.

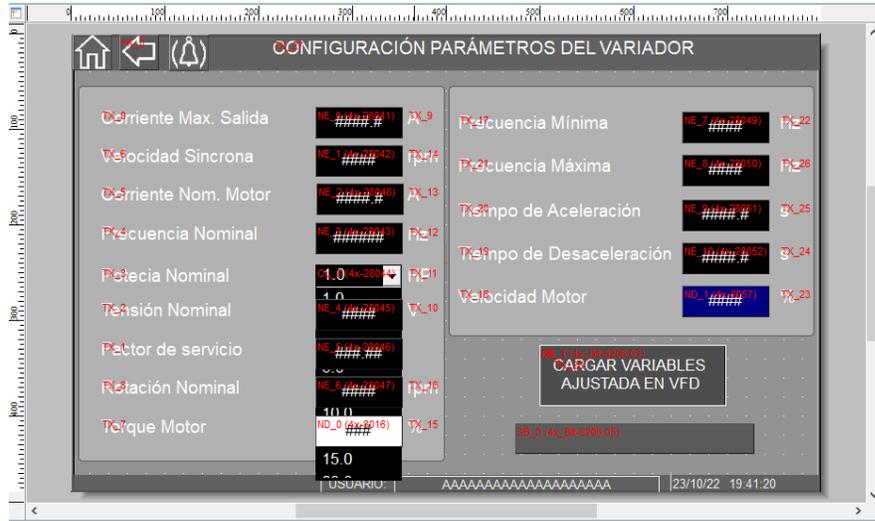


Figura 5-17 Pantalla de Configuración de Parámetros del Variador

- Botón de variables eléctricas medidor de energía: El botón lleva a la interfaz que se programó con el objetivo de visualizar las variables del medidor de energía de la red eléctrica de entrada.

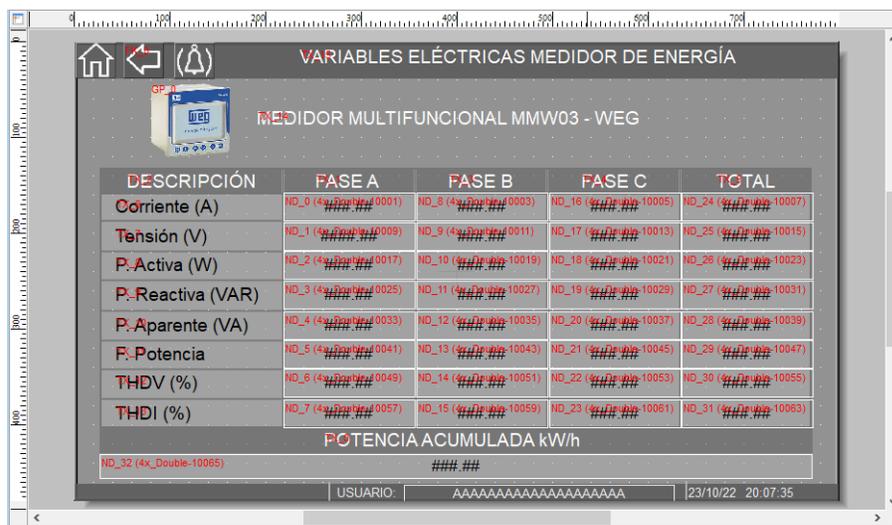


Figura 5-18 Pantalla de visualización de medidas red eléctrica del sistema

- Botón de Configuración de temperaturas RTD's: al accionar este botón se traslada a la pantalla de visualización y configuración de las temperaturas de los devanados del transformador e inductor según los canales asignados para las pruebas de los variadores de acuerdo al capítulo 6.1:

RTD1: Temperatura de devanado 1 (Transformador)

RTD2: Temperatura de devanado 2 (Transformador)

RTD3: Temperatura de devanado 3 (Transformador)

RTD4: Temperatura de devanado 1 (Inductor)

RTD5: Temperatura de devanado 2 (Inductor)

RTD6: Temperatura de devanado 3 (Inductor)

Config General	Escala Mínima	Escala Máxima	Alarma	Falla	Tiempo de Protección	Valor Actual	Habilitar Protección
TX_RT D1 Devanado 1 transformador	### # °C9	### # °C10	### # °C11	### # °C12	### #	g. 3 ### # °C17	<input type="checkbox"/>
TX_RT D2 Devanado 2 transformador	### # °C22	### # °C23	### # °C24	### # °C25	### #	g. 2 ### # °C28	<input type="checkbox"/>
TX_RT D3 Devanado 3 transformador	### # °C27	### # °C28	### # °C29	### # °C30	### #	g. 28 ### # °C39	<input type="checkbox"/>
TX_RT D4 Devanado 1 Inductor	### # °C32	### # °C33	### # °C34	### # °C35	### #	g. 3 ### # °C40	<input type="checkbox"/>
TX_RT D5 Devanado 2 Inductor	### # °C37	### # °C38	### # °C39	### # °C40	### #	g. 38 ### # °C41	<input type="checkbox"/>
TX_RT D6 Devanado 3 Inductor	### # °C42	### # °C43	### # °C44	### # °C45	### #	g. 4 ### # °C46	<input type="checkbox"/>
RTD7	### # °C52	### # °C53	### # °C54	### # °C55	### #	g. 5 ### # °C56	<input type="checkbox"/>
RTD8	### # °C47	### # °C48	### # °C49	### # °C50	### #	g. 49 ### # °C53	<input type="checkbox"/>

USUARIO: AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA 23/10/22 20:34:39

Figura 5-19 Pantalla Interfaz para Configuración y Visualización de Temperaturas

### 5.3 Fase 3: Implementación Protocolo Modbus

Los datos recolectados se deben llevar a la HMI por medio de comunicación industrial Modbus RTU según la especificación técnica del equipo. Para lograr la comunicación de los aparatos se

debe tener presente la arquitectura maestro esclavo, esto permite que la comunicación siempre se produzca en pares, un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta, en este caso los equipos de medida y el dispositivo de inicio será el maestro de la red (HMI), que se responsabiliza de iniciar cada interacción.

### 5.3.1 Implementación del Protocolo.

Para la implementación de la comunicación Modbus se inicia configurando una pantalla adicional en la HMI para indicar las direcciones de los equipos que están en la red de comunicación. Allí se indica los Tag de los equipos relacionados con cada dirección asignada, que va a hacer guía para la implementación y conexión de los dispositivos.

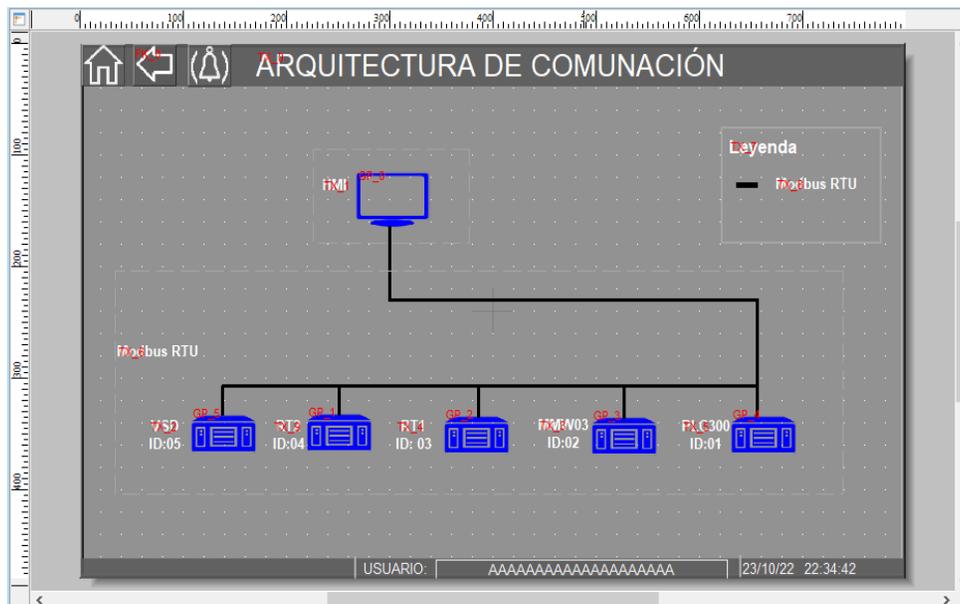
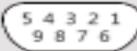


Figura 5-20 Arquitectura de comunicación

La configuración de la arquitectura es maestro esclavo, donde la HMI se encarga de iniciar la interacción de los dispositivos enlazados en la red y en espera una respuesta de los esclavos. Para lograr esta interacción se debe iniciar verificando los puertos de cada dispositivo según los manuales del fabricante e identificar el puerto para el estándar de Modbus RTU a dos hilos.

- Los puntos de conexión de la HMI para Modbus RTU a dos hilos se debe realizar en el puerto COM A, según el diagrama del manual del equipo.


**Con.A**

**COM1 / COM2 / COM3 [RS485] 9 Pin, Female, D-sub**

PIN#	COM1 [RS485] 2W	COM2 [RS485] 2W	COM2 [RS485] 4W	COM3 [RS485] 2W	COM3 [RS485] 4W
1		Data-	Rx-		
2		Data+	Rx+		
3			Tx-		
4			Tx+		
5			GND		
6				Data-	Rx-
7	Data-				Tx-
8	Data+				Tx+
9				Data+	Rx+

*Figura 5-21 Diagrama de configuración de puertos*

- Se verifica directamente la HMI el puerto A, qué se debe utilizar para la conexión que viene en formato de conector DB9.



*Figura 5-22 Puerto A de comunicación RS485*

- Puntos de conexión del medidor multifuncional: Se debe realizar conexión de los puntos +B, -A y GND para la comunicación Modbus RS485 a dos Hilos.

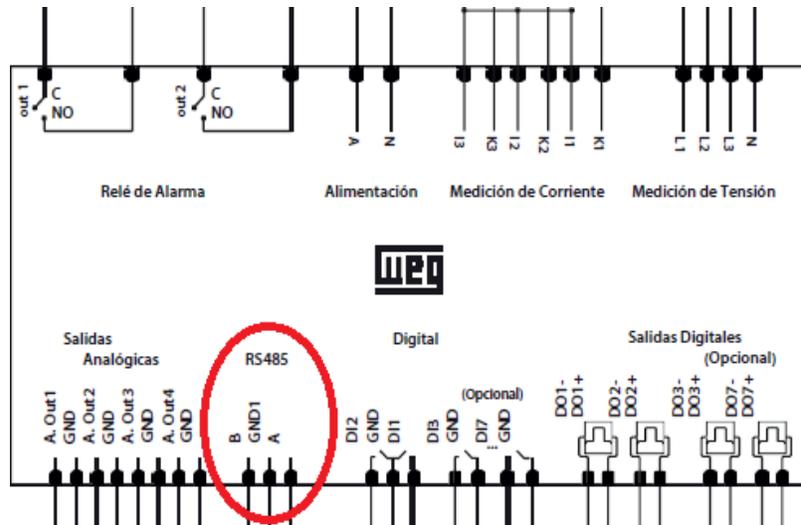


Figura 5-23 Diagrama de conexión puerto RS485

- El medidor también se verifica directamente en el equipo con el fin de tener la conexión punto a punto:

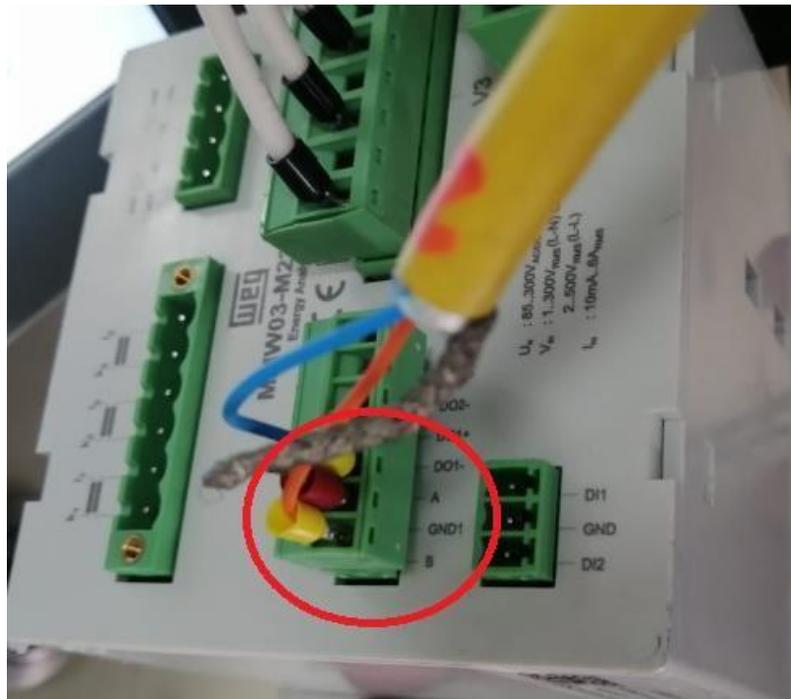


Figura 5-24 Conexión en el puerto RS485

- Puntos de conexión relé de temperaturas: Estos puntos debe ser conectados como se ve en el punto cinco de la imagen del manual del equipo.

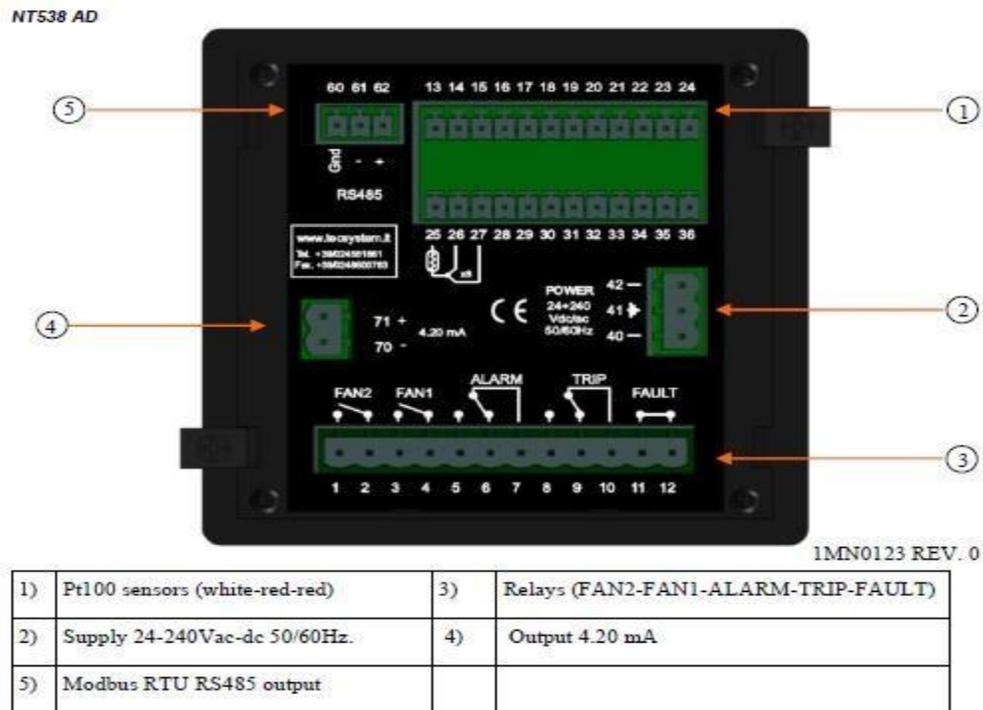


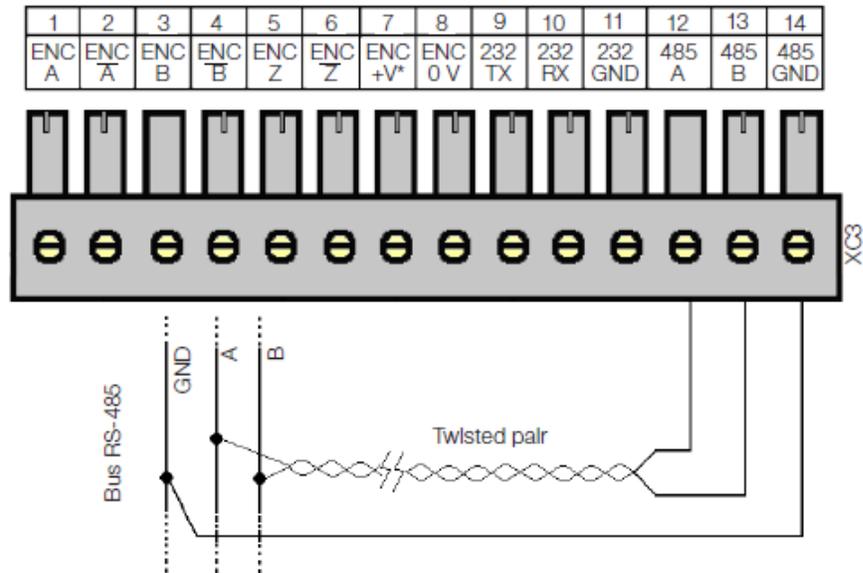
Figura 5-25 Diagrama de conexión del puerto de comunicación

- Se revisan los puntos físicos en el equipo: los puntos de conexión son +, - y GND para la comunicación Modbus RS485 a dos hilos.



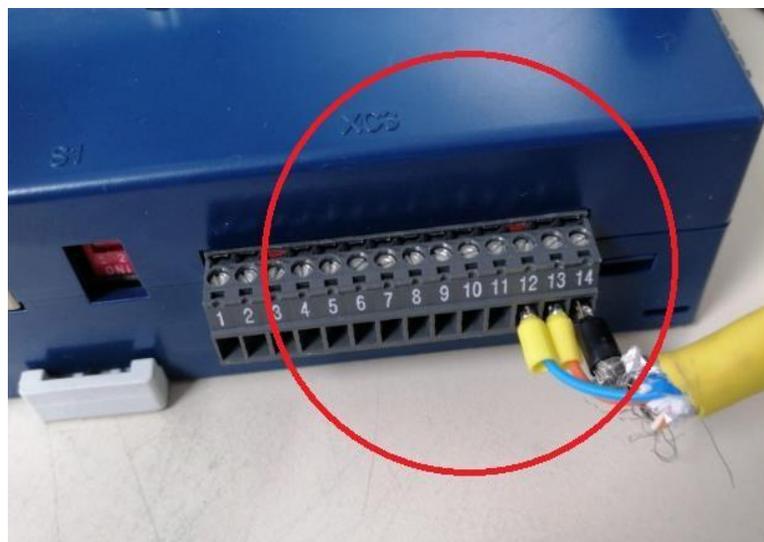
Figura 5-26 Puntos de conexión de la comunicación relé de temperaturas

- Puntos de conexión PLC 300: Se verifica los puntos de conexión en el manual del equipo.



*Figura 5-27 Diagrama de conexión RS 485 PLC 300*

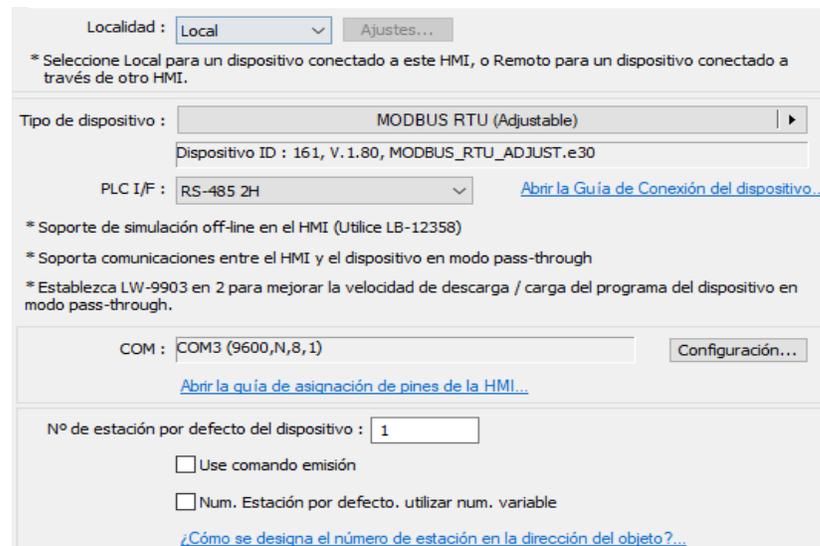
- Se observan los puntos de conexión directamente en el equipo donde se identifican los puntos: 12,13 y 14 físicamente en el equipo.



*Figura 5-28 Puntos físicos de conexión PLC 300*

Para lograr establecer la comunicación entre los dispositivos maestro/esclavo, es necesario configurar los parámetros de estructura de mensaje y velocidad en cada uno de los dispositivos que conforman la red, con la finalidad de que se sincronicen al momento de la transferencia de datos y/o información.

- Configuración de la HMI: la configuración se realiza por medio de software.



The screenshot shows the 'Configuración protocolo' (Protocol Configuration) window in EasyBuilderPro. The 'Localidad' (Location) is set to 'Local'. The 'Tipo de dispositivo' (Device Type) is 'MODBUS RTU (Adjustable)'. The 'Dispositivo ID' (Device ID) is '161, V. 1.80, MODBUS\_RTU\_ADJUST.e30'. The 'PLC I/F' (PLC I/F) is 'RS-485 2H'. The 'COM' (COM) port is 'COM3 (9600,N,8,1)'. The 'Nº de estación por defecto del dispositivo' (Default device station number) is '1'. There are checkboxes for 'Use comando emisión' (Use emission command) and 'Num. Estación por defecto. utilizar num. variable' (Default station number. use variable number). A link at the bottom says '¿Cómo se designa el número de estación en la dirección del objeto?...' (How is the station number designated in the object address?...). There are also buttons for 'Ajustes...' (Settings...), 'Configuración...' (Configuration...), and 'Abrir la Guía de Conexión del dispositivo...' (Open the Device Connection Guide...).

Figura 5-29 Configuración protocolo en el software EasyBuilderPro

- Configuración del medidor multifuncional: La configuración se realiza directamente en el equipo con los botones que se encuentran en el panel frontal.

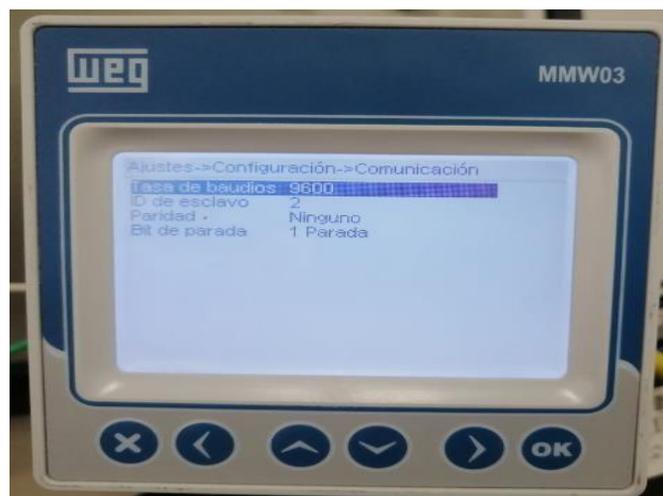


Figura 5-30 Equipo configurado directamente desde el panel frontal

- Configuración del PLC: La configuración se realiza por medio de software.



*Figura 5-31 Configuración por el software WPS*

#### **5.4 Fase 4: Elaboración de Diagramas de Control**

Los diagramas de control se realizarán con el objetivo de permitir la instalación y conexión entre equipos, así como el tipo de cable, calibre, e identificación del componente asociado. También permitirá establecer la topología de red de comunicación entre equipos para identificar la intercambiabilidad de datos.

Se elaboró plano unifilar, donde se muestra los componentes de potencia y medición que intervienen para realizar las pruebas de variadores de media tensión. (Ver anexo-5)

#### **5.5 Fase 5: Parametrización de Variables**

La parametrización de las variables asociadas a los equipos en el sistema, serán fundamentales para preservar la integridad de las etapas del proceso y del personal de pruebas que interviene en la recolección de datos. Esta parametrización y ajuste será realizada por medio de la interfaz gráfica según las características de funcionamiento de los equipos durante las pruebas de los variadores controlando parámetros del variador, del medidor multifuncional y el relé de temperaturas.

### 5.5.1 Parametrización de variables de cada etapa del sistema de pruebas.

Para la parametrización de los equipos fue necesario del siguiente proceso:

- Prueba de comunicación: Se realiza prueba de comunicación de los equipos desde el PLC.



Figura 5-32 Pruebas de comunicación

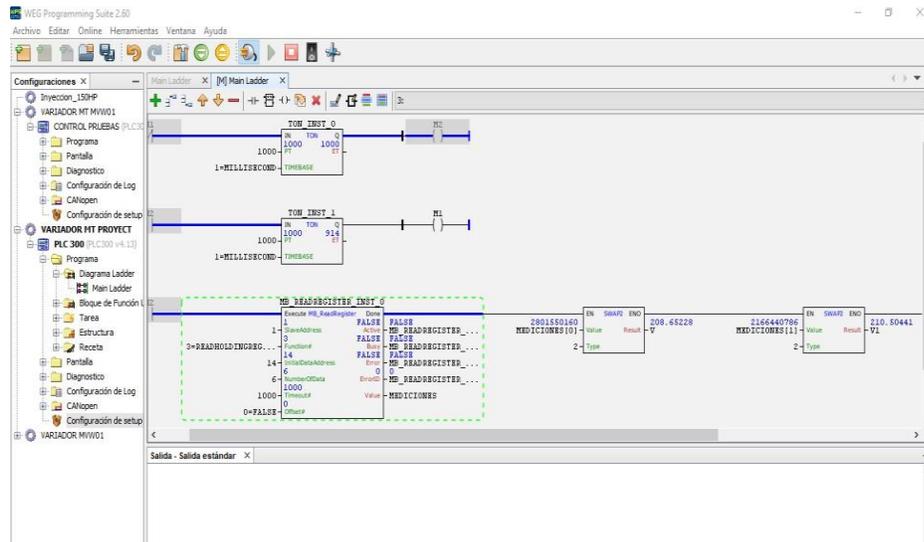


Figura 5-33 Lectura de variable de tensión desde PLC

- Se realiza montaje de equipos: se muestra el montaje de algunos equipos, este caso el medidor multifuncional.



Figura 5-34 Montaje de medidor

- Se realiza montaje de relé de temperatura.

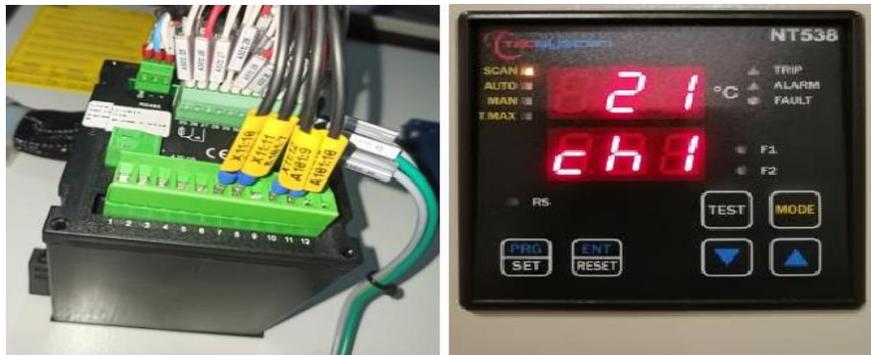


Figura 5-35 Montaje relé de temperatura

- Se realizó lectura de variables de red eléctrica de entrada en el equipo medidor multifuncional de energía desde la HMI.

DESCRIPCIÓN	FASE A	FASE B	FASE C	TOTAL
Corriente (A)	0.59	0.47	0.28	1.35
Tensión (V)	266.35	265.42	266.80	461.07
P. Activa (W)	123.19	95.79	25.47	244.45
P. Reactiva (VAR)	-51.64	36.76	-29.50	-44.38
P. Aparente (VA)	152.73	124.32	73.12	350.17
F. Potencia	0.78	0.76	0.33	0.96
THDV (%)	1.47	1.47	1.50	1.48
THDI (%)	56.53	62.10	134.92	85.30
POTENCIA ACUMULADA kWh				
3.87				

Copyright ASTEC - WEG COLOMBIA    USUARIO: WEG    13/05/22 20:45:50

Figura 5-36 Lecturas de variables eléctricas de red de entrada sistema de pruebas

- Se realizó la parametrización de las variables de prueba para el variador de frecuencia directamente en la HMI.

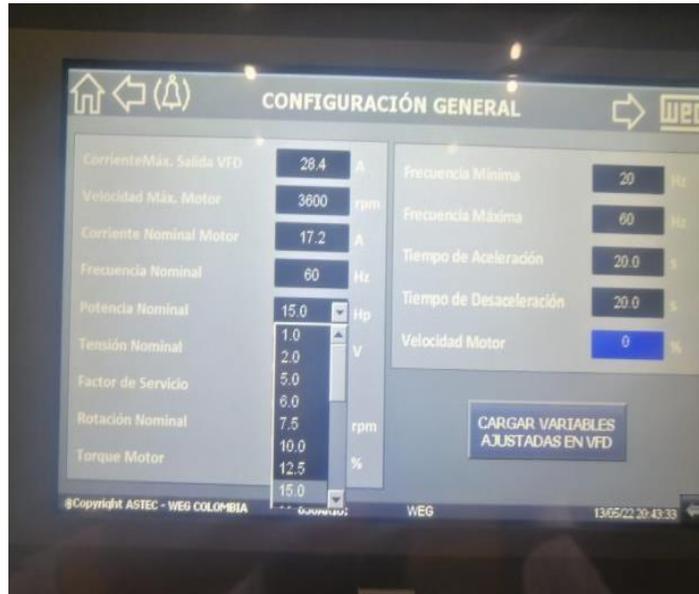


Figura 5-37 Parametrización del variador desde HMI

- Se realizó parametrización y lectura valor actual de las temperaturas, también ajuste de escala, límite de falla de temperatura y tiempo de falla.

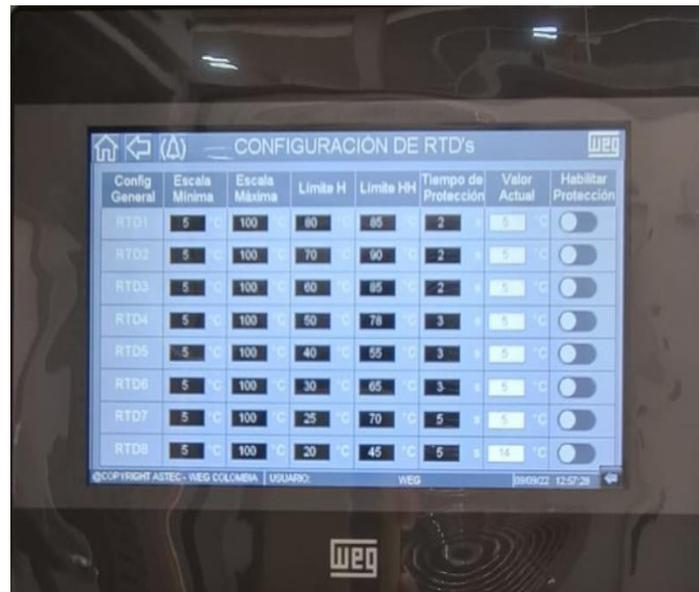


Figura 5-38 Ajuste de temperaturas desde la HMI

- Se realizó lectura de valores de prueba del variador.



*Figura 5-39 Lectura de variables del variador*

## **5.6 Fase 6: Evaluación y Diagnóstico**

Se debe evaluar el proceso de inspección y pruebas de los variadores de media tensión por medio del análisis de mejora en los tiempos de recolección de datos.

Se espera también mejorar en el análisis de la información recolectada en las pruebas de los variadores en condiciones de operación bajo carga. La información se debe extraer por medio de un accesorio USB Flash a través de la pantalla táctil HMI en archivo con extensión .CSV.

## 6. Análisis de Resultados

### 6.1.1 Análisis de resultados.

A continuación, se muestra el registro de tiempos que tardó el operador para recolectar los datos de las variables de forma manual, en cada una de las etapas que son implementadas durante el proceso de pruebas a los variadores de media tensión. Por consiguiente, se realizó la toma de tiempos en tres variadores diferentes, como se observa en el siguiente formato, con el fin de comparar la mejora que representó la implementación del sistema HMI en el proceso de pruebas.

ANÁLISIS DE TIEMPOS  
MUESTREO DE TIEMPOS POR PROCESO PARA EL ÁREA DE PRUEBAS TABLEROS LÍNEA OEM.

CÓDIGO: XXXXXXXX  
ACTUALIZACIÓN: XX  
FECHA: XXXXXXXX  
Página 1 de 1

INFORMACIÓN GENERAL											
Nombre del evaluador quien toma la muestra:		ELVIS BERNAL						Instrumento de medida:		Cronometro	
Nombre de la operación de muestreo:		PRUEBAS VARIADORES									
Orden de trabajo a la cual se toma la muestra:											
Nombre del inspector evaluado:		DANIEL C									
fecha:											
		obs 1	obs 2	obs 3	obs 4	obs 5	obs 6	obs 7	obs 8	obs 9	obs 10
Elemento 1	Nombre del elemento	Tiempo observado									
	Toma de temperaturas	6,2	5,3	5,1							
	Actividad inicial (según SIG-R-08-17)	Valoración									
	Temperaturas transformador										
Elemento 2	Actividad final (según SIG-R-08-17)	Total tiempo									
	Temperaturas transformador	6,2	5,3	5,3							
	Nombre del elemento	Tiempo observado									
	Toma de datos medidor	6,5	7,1	7,1							
Elemento 3	Actividad inicial (según SIG-R-08-17)	Valoración									
	Toma de datos medidor										
	Actividad final (según SIG-R-08-17)	Total tiempo									
	Toma de datos medidor	6,5	7	7							
Elemento 3	Nombre del elemento	Tiempo observado									
	Toma de datos variador	16,3	15,7	15,7							
	Actividad inicial (según SIG-R-08-17)	Valoración									
	variables eléctricas entrada										
Elemento 3	Actividad final (según SIG-R-08-17)	Total tiempo									
	variables eléctricas salida	16,3	15,7	15,7							
		SUMA	58	56,1	55,9						
Calificación de la valoración (%): 0,25,50,75,100,125,150.		TOTAL MINUTOS	170								
		TOTAL HORAS	2,833333								

Figura 6-1 Formato Análisis de Tiempos Operación Manual

Luego, se utilizó el formato anterior para la toma de tiempos en tres variadores diferentes; con fin de recolectar los datos de las variables de forma automática, a través de la utilización de la HMI en cada una de las etapas que son ejecutadas durante el proceso de pruebas a los variadores de media tensión.

INFORMACIÓN GENERAL													
Nombre del evaluador quien toma la muestra:			ELVIS BERNAL					Instrumento de medida:		Cronometro			
Nombre de la operación de muestreo:			PRUEBAS VARIADORES										
Orden de trabajo a la cual se toma la muestra:													
Nombre del inspector evaluado:			DANIEL C										
fecha:													
			obs 1	obs 2	obs 3	obs 4	obs 5	obs 6	obs 7	obs 8	obs 9	obs 10	
Elemento 1	Nombre del elemento		Tiempo observado										
	Toma de temperaturas		0,3	0,35	0,35								
	Actividad inicial (según SIG-R-08-17)		Valoración										
	Temperaturas transformador												
Elemento 2	Actividad final (según SIG-R-08-17)		Total tiempo										
	Temperaturas transformador		0,3	0,35	0,35								
	Nombre del elemento		Tiempo observado										
	Toma de datos medidor		0,32	0,3	0,3								
Elemento 3	Actividad inicial (según SIG-R-08-17)		Valoración										
	Toma de datos medidor												
	Actividad final (según SIG-R-08-17)		Total tiempo										
	Toma de datos medidor		0,32	0,3	0,3								
Elemento 3	Nombre del elemento		Tiempo observado										
	Toma de datos variador		0,35	0,35	0,3								
	Actividad inicial (según SIG-R-08-17)		Valoración										
	variables eléctricas entrada												
Elemento 3	Actividad final (según SIG-R-08-17)		Total tiempo										
	variables eléctricas salida		0,35	0,35	0,3								
SUMA			1,94	2	1,9								
Calificación de la valoración (%): 0,25,50,75,100,125,150.			TOTAL		5,84								
			TOTAL HORAS		0,09733								

Figura 6-2 Formato Análisis de Tiempos Operación Automática

Comparando los tiempos de muestreo según los formatos anteriores, se evidencia una mejora en los tiempos de recolección de los datos, ya que el tiempo total de forma manual fue de 170 minutos para la muestra de los tres variadores y el tiempo total de forma automática por medio de la implementación de la HMI fue de 5,84 minutos, es decir, que representó un ahorro de tiempo de 164,6 minutos en tiempo de recolección durante las pruebas a los variadores de media tensión.

### 6.1.2 Recolección de datos

La forma de recolección de datos se realiza por medio de USB y operando los botones disponibles en una de las pantallas de la HMI, de acuerdo a las etapas del proceso de pruebas. Lo cual, favorece la toma de datos forma digital y de forma centralizada, es decir, recolecta la información de los dispositivos del proceso en la Interfaz Hombre Maquina (HMI).

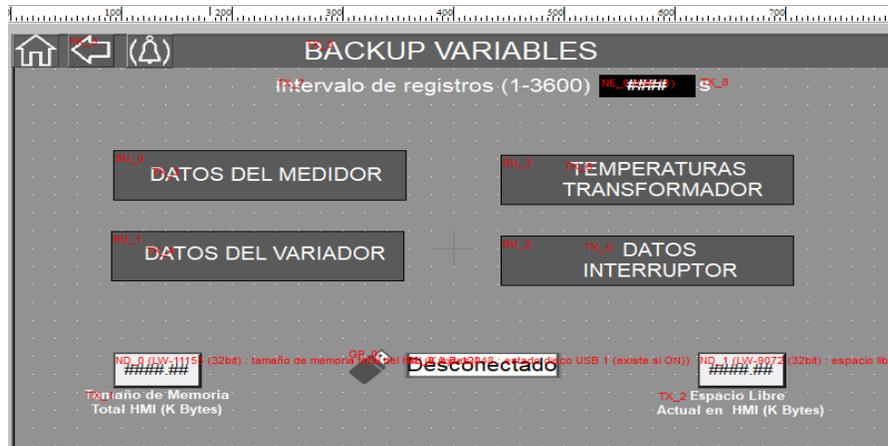


Figura 6-3 Pantalla de la HMI para la recolección de datos

Adicionalmente, la implantación del HMI permitió mostrar el espacio libre de la memoria que dispone durante la recolección de los datos del proceso, del cual se realizó un back up para analizar los datos que posteriormente fueron utilizados para elaborar los protocolos de prueba del proceso, además los datos que fueron exportados por la HMI se recopilaron en formato .CSV, el cual facilitó la separación por columnas con el propósito de realizar una base de datos del proceso.

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas							
G11							
A	B	C	D	E	F	G	H
1	PXXX	FUNCION	RANGO A.	AJUSTE D	AJUSTE D	UNIDAD	COMPARACION
2	P0000	Acceso P: 0 ... 999		0	5		
3		PARÁME	P001 a P099			Alterado	
4	P0001	Ref. Velocidad		1800 rpm			
5	P0002	Velocidad Motor		1800 rpm			
6	P0003	Corriente Motor		70 A			
7	P0004	Tensión CC		4160 V			
8	P0005	Frecuencia Motor		60 Hz			
9	P0006	Estado Co 0 = Booting		Motor Rdy			
10		1 = Sub					
11		2 = Ready					
12		3 = Motor Mag.					
13		4 = Motor Rdy.					
14		5 = Ramp Up					
15		6 = Ramp Down					
16		7 = In Flct.					
17		8 = DC Break					
18		9 = Coast					
19		10 = Ride Thro.					
20		11 = Flying St.					
21		12 = Test Mode					
22		13 = Inv. Test					
23		14 = Self-Comm.					
24		15 = Power Test					
25		16 = Fault					
26		17 = Alarm					
27		18 = Calibrat.					
28		19 = Hold					
29		20 = I Limit					
30		21 = I FastLim.					
31		22 = Ride Thr.2					
32		23 = Hold 2					
33		24 = Sync Run					
34		25 = Fast Disab					
35		26 = Sync OK					
36		27 = Safety					
37		28 = WaitComm S					
38		29 = WaitComm M					
39	P0007	Tensión Salida		4160 V			
40	P0009	Torque en Motor		100 %			
41	P0010	Potencia Salida		0,292 kW			
42	P0011	Corriente Conv.		20 A			

Archivo Inicio Insertar Disposición de página							
H72							
A	B	C	D	E	F		
49	P0016	Tercero Error				96	
50	P0017	Cuarto Error				96	
51	P0018	Valor de AI1		0,0		%	
52	P0019	Valor de AI2		100		%	
53	P0020	Valor de AI3		0,0		%	
54	P0021	Valor de AI4		0,0		%	
55	P0022	Temperatura MVC3		33,6		°C	
56	P0023	Versión Sw MVC4		3,50			
57	P0024	Valor de AI5				0	
58	P0025	Corriente Iu		0,0		A	
59	P0026	Corriente Iw		0,0		A	
60	P0027	Corriente Iu		0,0		A	
61	P0028	Valor de AI5		0,0		%	
62	P0029	TRC: Estar: 0 = Inactivo				0	
63		1 = Ejecutando					
64		2 = Trigado					
65		3 = Concluido					
66	P0030	Temp. Reg. CH1				245	°C
67	P0031	Temp. Reg. CH2				245	°C
68	P0032	Temp. Reg. CH3				245	°C
69	P0033	Temp. Reg. CH4				245	°C
70	P0034	Temp. Reg. CH5				245	°C
71	P0035	Temp. Reg. CH6				245	°C
72	P0036	Temp. Reg. CH7				245	°C
73	P0037	Temp. Reg. CH8				245	°C
74	P0038	Valor encoder				0	rpm
75	P0039	Contador de los pulsos del encodi					
76	P0040	Variable Proceso		0,0		%	
77	P0041	Active Ven 0 = Group A				0	
78		1 = Group B					
79		2 = GroupA xABx					
80		3 = GroupB xABx					
81		4 = Grp.A xABx					
82		5 = Grp.B xABx					
83		6 = Auto Tst.A					
84		7 = Auto Tst.B					
85	P0042	Horas Energizado				30	h
86	P0043	Horas Habilitado		7,6			
87	P0044	Contador de MWh				7	MWh
88	P0045	Ver. Soft. HMI2					
89	P0046	Temper. Jungão		25,4		°C	
90	P0047	Phase UAp Temp.		0,0		°C	
91	P0048	Phase VAp Temp.		0,0		°C	
92	P0049	Phase WAp Temp.		0,0		°C	
93	P0050	BRAP Phase Temp.		0,0		°C	
94	P0051	Rect. Ip Temp.		0,0		°C	

Figura 6-4 Descarga desde la HMI en archivo .csv

## **7. Conclusiones**

La implementación del proyecto deja grandes beneficios para la prueba de variadores de media tensión porque ayudo a mejorar la adquisición de datos en tiempo real de una forma precisa también contribuye al ahorro en tiempos de operación de y ejecución de los proyectos.

Otra importante contribución es que los encargados de la recolección de datos durante las pruebas eléctricas de los variadores, no estarán cerca de los equipos energizados ya que los datos se recogerán desde la pantalla HMI que se encuentra fuera del proceso.

Se evidenció que en la implementación de la comunicación Modbus RTU RS485 al realizar una buena instalación y conexión de acuerdo a la topología de red, problemas de pérdidas de datos al integrar equipos que no son del mismo fabricante.

Al elaborar los diagramas eléctricos permite obtener la trazabilidad del proyecto en caso de mejoras, fallos y mantenimiento.

La Parametrización de las variables del proceso dentro de la interfaz gráfica contribuye a la centralización de datos y monitoreo del proceso en un solo sector del campo de pruebas y además sirve para que el cliente final pueda visualizar su equipo cuando hay acompañamiento en fábrica de su producto.

## 8. Referencias

- [1] E. Alvarado, R. Proaño y C. Vera, Diseño e Implementación de un Banco de Pruebas Para Control Industrial Programable, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [2] L. González y A. Lema, Diseño e Implementación de un Banco de Prueba de Redes Industriales de Tipo PROFINET, PROFIBUS, Mediante un Sistema de Comunicación ETHERNET Industrial Para la Facultad de Mecánica, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016.
- [3] A. Rodríguez, Sietemas Scada, Barcelona: Marcombo, 2013.
- [4] WEG, *Controlador Lógico Programable*, 2017.
- [5] A. Quintero, C. Sánchez y N. Chio cho, «Diseño Implementación de Prácticas de Redes Industriales Usando Controladores Lógicos Programables,» de *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 1, Bucaramanga, 2006.
- [6] P. A. Daneri, PLC: Automatización y control industrial, Argentina: Hispano America Hasa, 2008.
- [7] WEG , Easy Builder Pro V.5.00.01 Installation, Configuration and Operation Guide, Brasil.
- [8] A. Rodriguez, Comunicaciones industriales, Barcelona: Marcombo, 2008.
- [9] J. Hemant, Sistemas Eléctricos Residenciales, Comerciales e Industriales: Equipo y Selección, vol. 1, McGraw Hill Education (India) Private Limited, 2008.
- [10] L. G. Gutierrez, Instrumentación Básica de Media y Control, Madrid: AENOR , 2014.