



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**TEMA:**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL  
MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE PRESIÓN Y  
TEMPERATURA DE AGUA.**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.**

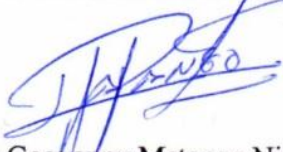
**AUTORES:** Matango Nicaragua Darwin Geovanny  
Portilla Morales Fausto Danilo

**DIRECTOR:** Ing. Pablo Danilo Méndez

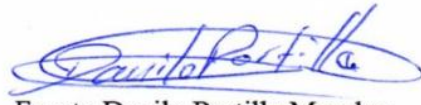
Ibarra 2015

## AUTORÍA

Nosotros, Matango Nicaragua Darwin Geovanny cc 1003837661 y Portilla Morales Fausto Danilo, cc 1002974259, declaramos bajo juramento que el trabajo de grado aquí escrito y desarrollado es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ninguna materia, trabajo, ni calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Darwin Geovanny Matango Nicaragua  
cc 1003837661

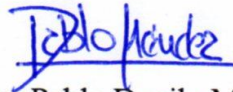


Fausto Danilo Portilla Morales  
cc 1002974259

## INFORME DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

En mi calidad de Director del Trabajo de Grado, presentado por los egresados Matango Nicaragua Darwin Geovanny y Portilla Morales Fausto Danilo, para optar por el Título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, cuyo tema es: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE AGUA**. Considero que el presente trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 15 días del mes de enero 2016.



Ing. Pablo Danilo Méndez



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE**  
**LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

**AUTOR:**

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	1003837661	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Matango Nicaragua Darwin Geovanny		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Santa Rosa del Tejar		
<b>EMAIL:</b>	darwinmatango@hotmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062650411	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0994211372
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	1002974259	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Portilla Morales Fausto Danilo		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Jorge Dávila Meza y Salvador Dalí		
<b>EMAIL:</b>	faporilla@yahoo.es		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062951125	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0989841256
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO:</b>	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE AGUA		
<b>AUTOR</b>	Matango Nicaragua Darwin Geovanny y Portilla Morales Fausto Danilo		
<b>FECHA:</b>	2015-12-__		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>		
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO ELÉCTRICO	EN	MANTENIMIENTO
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Pablo Danilo Méndez		

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Nosotros, MATANGO NICARAGUA DARWIN GEOVANNY cc 1003837661 y PORTILLA MORALES FAUSTO DANILO, cc 1002974259 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hace entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autoriza a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de febrero de 2016

### LOS AUTORES:

(Firma)

  
Darwin Geovanny Matango Nicaragua

Sc 1003837661

(Firma)

  
Fausto Danilo Portilla Morales

cc 1002974259



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Nosotros, MATANGO NICARAGUA DARWIN GEOVANNY cc 1003837661 y PORTILLA MORALES FAUSTO DANILO, cc 1002974259, manifestamos nuestra voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE AGUA, que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 22 días del mes de febrero de 2016

Darwin Geovanny Matango Nicaragua

Sc 1003837661

Fausto Danilo Portilla Morales

cc 1002974259

## **DEDICATORIA**

En mi memoria, todos los momentos de mi vida, y en la mente tengo los recuerdos y presencia de mi madre, ser maravilloso que Dios me regalara para que en su vientre acunara los inicios de mi vida.

Cómo no dedicar a mí, este trabajo, que representa mucho esfuerzo y dedicación, pero insignificante frente a las oraciones, apoyo, dedicación, consejos, ejemplo y orientaciones que me ha brindado.

Con mucho amor su hijo:

Fausto Danilo

## **DEDICATORIA**

A Dios porque en su fe aprendí a reconocer todo lo bello que pasa en mi vida; de manera especial por haber entregado mi existencia a mis padres.

Al culminar mi carrera profesional, mi esfuerzo y alegría la dedico a mis padres, por todo su cariño, abnegación y porque en el momento oportuno siempre estuvieron guiando mis pasos; papitos para ustedes una meta más que he cumplido, gracias por confiar en mí, y por abrigar aquellas ilusiones para mi vida profesional, Dios siempre les bendiga y no les aparte de mi lado.

Con mucho amor de su hijo:

Darwin Geovanny



## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro especial reconocimiento a la Universidad Técnica del Norte, por cumplir con su misión formativa de profesionales de alto nivel.

A la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la UTN, por abrirnos sus puertas, para que en sus aulas seamos partícipes de excelentes experiencias de crecimiento intelectual y formación en nuestra carrera profesional.

Nuestra gratitud imperecedera al Ing. Pablo Danilo Méndez, por su amistad, sabias enseñanzas y acertada dirección en el presente trabajo de grado, gracias a su aporte hemos culminado con éxito en esta nueva meta.

Fausto Danilo

y

Darwin Geovanny

## ÍNDICE

AUTORÍA.....	i
CESIÓN DE DERECHOS.....	v
DEDICATORIA .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
ÍNDICE .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema .....	3
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Delimitación .....	3
1.4.1 Temporal.....	3
1.4.2 Espacial.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos .....	5
1.6 Justificación .....	5
CAPITULO II .....	6
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Automatización industrial .....	7
2.1.1 Ventajas y desventajas de la automatización.....	7
2.2 Variables e instrumentos .....	8
2.2.1 Variables.....	8
2.2.1.1 Nivel .....	8
2.2.1.2 Presión .....	9
2.2.1.3 Temperatura.....	10

2.2.2	Instrumentos .....	11
2.2.2.1	Transductores.....	11
2.2.2.2	Transmisores.....	12
2.2.2.3	Sensores .....	12
2.2.2.4	Elementos finales de control .....	13
2.2.2.5	Electrobomba.....	15
2.2.2.6	Variador de frecuencia.....	16
2.2.2.7	Controlador lógico programable.....	17
2.3	Sistemas de control.....	18
2.3.1	Sistema de control lazo abierto.....	18
2.3.2	Sistema de control lazo cerrado.....	18
2.3.3	Sistema de control implementado en el módulo.....	19
2.4	Sistema de protección .....	19
2.4.1	Transformador de aislamiento .....	19
2.4.2	Breakers .....	20
2.4.3	Portafusibles .....	20
2.5	Interfaz hombre maquina HMI.....	21
2.6	Redes Industriales.....	21
2.6.1	Ethernet.....	21
2.6.2	Modbus RS-485.....	22
2.7	Plataforma de programación.....	22
2.7.1	Tia Portal .....	22
2.7.1	Step 7 .....	22
2.7.2	WinCC .....	23
CAPITULO III.....		23
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		23
3.1	Tipo de Investigación .....	24
3.2	Métodos .....	24
3.2.1	Método Deductivo .....	24
3.2.2	Método Inductivo .....	24
3.2.3	Método Analítico .....	24
3.2.4	Método Sintético .....	25
3.2.5	Método Experimental .....	25
3.3	Técnicas e Instrumentos .....	25

CAPITULO IV .....	26
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	26
4.1 Propuesta .....	26
4.2 Propósito.....	26
4.3 Introducción.....	26
4.4 Diseño del módulo didáctico .....	27
4.4.1 Arquitectura eléctrica del módulo .....	27
4.4.2 Arquitectura mecánica del módulo.....	28
4.5 Elementos principales del módulo.....	30
4.5.1 Instrumentación .....	30
4.5.1.1 Sensor de presión.....	30
4.5.1.2 Sensor de temperatura .....	31
4.5.1.3 Alambre niquelina .....	31
4.5.2 Elementos de control .....	32
4.5.2.1 PLC S7-1200 .....	32
4.5.2.2 Módulo de comunicación RS-485 RTU .....	33
4.5.2.3 Variador Altivar312.....	34
4.5.2.3.1 Parámetros de configuración .....	35
4.6 Diagramas del sistema.....	37
4.6.1 Diagrama de alimentación principal.....	37
4.6.2 Diagrama de control .....	38
4.6.2.1 Circuito de control master .....	39
4.6.2.2 Circuito de control niquelina .....	39
4.6.2.3 Circuito de control de variador.....	40
4.6.2.4 Circuito de control de solenoide 1 .....	40
4.6.2.5 Circuito de control de solenoide 2.....	41
4.6.2.6 Circuito de control de solenoide 3.....	42
4.7 Diagrama P&ID del módulo didáctico .....	42
4.8 Modos de control .....	44
4.8.1 En modo manual.....	44
4.8.2 En modo automático.....	45
4.17 Desarrollo del software.....	46
4.17.1 Diagramas de flujo.....	46
4.17.2 Controlador lógico programable.....	51

4.17.2.1	Creación de un proyecto en el software Tia Portal.....	51
4.17.3	Interfaz HMI.....	54
CAPITULO V .....		56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		56
5.1	Conclusiones.....	56
5.2	Recomendaciones .....	57
CAPITULO VI.....		59
BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS .....		59
6.1	BIBLIOGRAFÍA .....	59
6.2	LINKOGRAFÍA.....	59
6.3	ANEXOS .....	61
6.2.1	ANEXO 1: Comunicación modbus entre el PLC siemens S7-1200 y el variador de frecuencia altivar 312 de Schneider. ....	62
6.2.2	ANEXO 2: Adquisición de datos analógicos con el PLC S7-1200, sensor de temperatura y sensor de presión. ....	67
6.2.3	ANEXO 3: Elaboración de una interfaz HMI con la plataforma WinCC .	70
6.2.4	ANEXO 4: Programa del PLC S7-1200 del módulo didáctico .....	73
6.2.5	ANEXO 5: Datasheet SIEMENS S7-1200.....	78
6.2.6	ANEXO 6: Módulo de comunicación RS-485 .....	85
6.2.7	ANEXO 7: Variador de frecuencia Altivar 312 .....	87
6.2.8	ANEXO 8: Fotografías del módulo.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Unidades de presión .....	10
Tabla 2 Tabla de unidades de temperatura.....	11
Tabla 3 Características técnicas del sensor de presión.....	30
Tabla 4 Características técnicas del sensor de temperatura .....	31
Tabla 5 Características técnicas del controlador lógico programable.....	32
Tabla 6 Características técnicas del controlador lógico programable.....	34
Tabla 7 características técnicas del variador de frecuencia .....	35
Tabla 8 Parámetros del motor .....	36
Tabla 9 Parámetros básicos del motor .....	36
Tabla 10 Parámetros de control.....	36
Tabla 11 Parámetros de comunicación Modbus RS-485 .....	37
Tabla 12 Equipos asociados del módulo didáctico. ....	43
Tabla 13 Instrumentación asociada del módulo didáctico. ....	44
Tabla 14 Parámetros de la instrucción “MB_COMM_LOAD” .....	65
Tabla 15 Parámetros de la instrucción “MB_MASTER” .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica .....	4
Figura 2 Presión sobre el fluido .....	9
Figura 3 Dirección de la presión de fluido sobre las fronteras .....	10
Figura 4 Electroválvula .....	14
Figura 5 Electrobomba .....	16
Figura 6 Diagrama de un proceso controlado por un PLC.....	17
Figura 7 Sistema de control lazo abierto.....	18
Figura 8 Sistema de control en lazo cerrado .....	19
Figura 9 Transformador de aislamiento .....	20
Figura 10 Breaker.....	20
Figura 11 Portafusibles .....	21
Figura 12 Arquitectura de sistema .....	28
Figura 13 Módulo didáctico, vista lateral .....	29
Figura 14 Módulo didáctico, vista frontal.....	29
Figura 15 Sensor de presión.....	31
Figura 16 Alambre niquelina .....	32
Figura 17 Controlador lógico programable.....	33
Figura 18 Módulo de comunicación .....	34
Figura 19 Variador de frecuencia.....	35
Figura 20 Diagrama principal .....	38
Figura 21 Diagrama de conexión del PLC .....	38
Figura 22 Circuito de control master .....	39
Figura 23 Circuito de control de niquelina .....	40
Figura 24 Circuito de variador .....	40
Figura 25 Circuito de control de solenoide 1 .....	41
Figura 26 Circuito de control de solenoide 2 .....	41
Figura 27 Circuito de control de solenoide 3 .....	42
Figura 28 P&ID del módulo didáctico, proceso de control y símbolos de señales....	43
Figura 29 Diagrama general de programación.....	47
Figura 30 Parámetros de comunicación Modbus RS-485.....	48
Figura 31 Diagrama de flujo de la adquisición de los valores analógicos del PLC...	49
Figura 32 Diagrama de flujo del control automático de temperatura .....	50

Figura 33 Diagrama de flujo del control automático de presión.....	51
Figura 34 Creación de un proyecto nuevo .....	52
Figura 35 Comunicación PC y PLC.....	52
Figura 36 Agregar dispositivo.....	53
Figura 37 Añadir módulo de comunicación RS-485.....	53
Figura 38 Configuración dirección IP entre el PLC.....	54
Figura 39 Interfaz HMI principal, modo manual .....	55
Figura 40 Interfaz HMI, modo automático .....	55
Figura 41 Módulo de comunicación CM 1241 .....	63
Figura 42 Parámetros establecidos en el protocolo Modbus RS-485 .....	63
Figura 43 Librería de comunicación modbus.....	64
Figura 44 Parámetros del bloque COMM_LOAD.....	64
Figura 45 Parámetros del bloque MASTER .....	66
Figura 46 Lectura de un valor analógico en un PLC .....	68
Figura 47 Canales analógicos del PLC .....	68
Figura 48 Instrucción de normalización.....	69
Figura 49 Instrucción de escalamiento.....	69
Figura 50 Creación de la interfaz en WinCC RT Advanced.....	70
Figura 51 Dispositivos en la red “PN/IE 1” .....	71
Figura 52 Área de trabajo de la plataforma WinCC .....	71
Figura 53 Conexión entre el PLC y HMI.....	72
Figura 54 Lista de variables del HMI .....	72
Figura 55 Elaboración de la parte mecánica del módulo didáctico .....	90
Figura 56 Estructura mecánica del módulo didáctico .....	90
Figura 57 Colocación del tanque principal, taque de reserva y la electrobomba.....	91
Figura 58 Elaboración de la parte eléctrica del módulo didáctico .....	91
Figura 59 Montaje del tablero eléctrico de fuerza y control .....	92
Figura 60 Montaje del PLC, variador de frecuencia y elementos de mando .....	92
Figura 61 Panel de control principal del módulo .....	93
Figura 62 Pruebas funcionales en el laboratorio de la carrera de Ing. Mantenimiento eléctrico.....	93
Figura 63 Módulo final .....	94



## **RESUMEN**

El presente trabajo sobre el diseño e implementación de un módulo didáctico para el control y monitoreo automático de presión y temperatura de agua, tiene la finalidad de simular un proceso industrial a menor escala, mediante sensores y actuadores manejados por un PLC (Controlador Lógico Programable) dentro de un proceso e integrar algunos conceptos relacionados a la instrumentación y automatización de proceso; con lo cual se aporta a la implementación de material didáctico que permita generar experiencias significativas en la actividad académica de estudiantes en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico. La investigación se estructura en seis capítulos que se describen a continuación: **CAPÍTULO I**, en el que se presenta la formulación y delimitación del problema, incluye además los objetivos u justificación que se plantearon para la investigación. El **CAPÍTULO II**, se estructura con los fundamentos teóricos y científicos sobre la automatización industrial, variables e instrumentos, y otros referentes teóricos que constituyeron de base para la investigación y desarrollo de la propuesta. El **CAPÍTULO III**, trata sobre la metodología de la investigación, en el que se describió el tipo de investigación, los métodos y técnicas aplicados, así como los instrumentos que se diseñaron para la recopilación de datos. El **CAPÍTULO IV**, presenta la propuesta: Diseño e implementación de un módulo para el monitoreo y control automático de presión y temperatura de agua; en el que se describieron los elementos básicos e introductorios, así como el diseño del módulo, los elementos principales del módulo, instrumentación, elementos de control, elementos de control, además contiene los diagramas del sistema; se complementa con el P&ID del módulo didáctico; para ser utilizado en el proceso de enseñanza aprendizaje en el laboratorio. El **CAPÍTULO V**, contiene las conclusiones a las que se llegó en la investigación y que dieron lugar a las recomendaciones a tomarse en cuenta para la ejecución de la propuesta. El informe contiene los anexos, apartado en el que se incluyó la información con la que se complementan los enunciados emitidos en el estudio; además se presenta un listado de fuentes escritas que fueron utilizadas en la investigación.

### **Palabras claves:**

- **AUTOMATIZACIÓN**
- **PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN**
- **INTERFAZ HOMBRE MAQUINA**

## **ABSTRACT**

This work on the design and implementation of the UN educational module for the control and automatic monitoring of water pressure and temperature, is intended to UN Industrial Process simulate a smaller scale, using sensors and actuators managed by a PLC (Programmable Logic Controller ) Within the UN process and integrate some related to Process Automation Instrumentation and concepts; thus it does provide for the Implementation of educational materials that will generate significant experiences in the academic activity of students in the career of Electrical Maintenance Engineering. Research was structured in six chapters described below: CHAPTER I, in which the formulation and definition of the problem arose INCLUDES: Besides the goals or justification which were raised for research. CHAPTER II, was structured with the theoretical and scientific foundations on Industrial Automation, variables and Instruments and Other theoretical framework that formed the basis for research and development of the proposal. CHAPTER III discussed the research methodology, in which the type of Research Methods and Techniques Applied described, and the instruments that were designed for data collection. CHAPTER IV, presented the proposal: Design and Implementation of UN module for monitoring and automatic control of pressure and water temperature; Described in which basic and introductory elements, such as module design Thus, the main elements of the module, instrumentation, control elements Control elements Contains: Besides system diagrams; I will add to the P & D training module; To be used in the teaching-learning process in the laboratory. Chapter V contains the conclusions reached in the research and that led to the recommendations to be taken into account when implementing the proposal. The report contains annexes, Apartado where the information on which the statements issued in the study are complemented included: Further UN List of written sources was presented Were used in Research.

### **Key Words:**

- **AUTOMATION**
- **COMMUNICATION PROTOCOL**
- **HUMAN MACHINE INTERFACE**

## INTRODUCCIÓN

La automatización industrial en el presente de la industria mundial es una herramienta muy importante para mejorar procesos de fabricación y mantener bajo control los parámetros de funcionamiento.

El ser humano siempre ha buscado la creación de herramientas y máquinas que le faciliten la realización de tareas peligrosas, pesadas y repetitivas. En los últimos tiempos, la aparición de máquinas altamente sofisticadas ha dado lugar a un gran desarrollo del campo de la automatización y el control de las tareas, aplicado ya en muchas máquinas que se manejan diariamente.

Todas estas acciones que se realizan en el proceso de producción industrial requieren un conjunto de operaciones en el que la presencia del operador humano es constante. Como es la puesta en marcha y el paro de procesos. La vigilancia de equipos la manipulación de productos, la gestión de alarmas y el mantenimiento, entre otras. Todo ello debe llevarse a cabo con el menor coste posible, dentro de las mejores condiciones de seguridad humana y medioambiental.

En el siguiente trabajo de grado se ha diseñado y montado un módulo didáctico, para simular un proceso de control automático de presión y temperatura de agua, por medio de un PLC que controlara actuadores eléctricos.

Con la implantación de este módulo didáctico el estudiante tendrá la facilidad de realizar prácticas, con sistemas automáticos y así obtener mayor conocimiento en procesos del medio industrial.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Antecedentes

Desde el principio de los tiempos los humanos hemos creado mecanismos y herramientas, para que ayuden a realizar tareas sencillas, como por ejemplo palancas, poleas para alzar grandes pesos o la rueda para facilitar mover objetos, mas luego en la edad media ya se crearon máquinas y herramientas más complejas, que controlaban procesos industriales mejorando el tiempo y el costo de producción, pero siempre con la necesidad de la supervisión de personas, dando paso a errores humanos por descuido o mala apreciación de señales.

Después con la creación de los controladores lógicos programables (PLC), la automatización fue mayor ya que estos sistemas casi no necesitan supervisión, disminuyendo aún más el costo y el tiempo de producción, por la reducción de la intervención humana y de posibles errores humanos.

En la actualidad los sistemas industriales automáticos se implementan en todas las fábricas, ya que estos sistemas facilitan el control de los procesos de producción y ayudan al mejoramiento del producto final, adicional las maquinas son buenas para realizar tareas repetitivas realizando con más exactitud que las personas.

Estos sistemas automáticos no necesitan mucho mantenimiento, cuando están bien instalados e implementados por profesionales con buenos conocimientos en el manejo de la instrumentación industrial y los PLCs.

En el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, existen pocos recursos didácticos donde el estudiante pueda adquirir de una forma práctica los conocimientos, sobre el control y el manejo de PLCs y sensores industriales tan importantes en la industria de nuestro país.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En la actualidad en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, existen pocas herramientas didácticas con las cuales los alumnos puedan aplicar de forma práctica los conocimientos adquiridos, sobre instrumentación industrial y programación de PLCs, por esta razón se planteó realizar el diseño, construcción e implementación de un módulo para el control y monitoreo automático de presión y temperatura de agua.

Con el cual el estudiante de la carrera podrá aprender cómo se realiza la comunicación de un PLC, con un variador de frecuencia y observar los parámetros que se deben tomar en cuenta para la comunicación, también podrá aprender cómo se obtiene la señal de los sensores de temperatura, presión y nivel que se encuentran en el módulo, y todo esto poderlo representar en una interfaz HMI.

El módulo está dirigido hacia el reforzamiento de los conocimientos adquiridos por los estudiantes en temas de automatización industrial y manejo de PLCs.

## **1.3 Formulación del problema**

¿Cómo realizar el diseño de un módulo didáctico para el control y monitoreo automático de presión y temperatura de agua?

## **1.4 Delimitación**

### **1.4.1 Temporal**

El diseño y montaje del monóculo didáctico tuvo la duración de dieciocho meses entre los años de 2014 y 2015, tiempo en el cual se creó la estructura metálica, los tanques de cristal, se montó los equipos y elementos electrónicos y se realizó las conexiones necesarias para el funcionamiento correcto del módulo.

## 1.4.2 Espacial

En la Figura 1 se observa la delimitación espacial del proyecto, el cual se encuentra en la Universidad técnica del Norte ubicada en la ciudad de Ibarra, en la zona Norte del Ecuador.



**Figura 1 Ubicación geográfica**

Fuente:(Google Earth, 2015)

La creación del módulo tuvo lugar en los talleres de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, de la Universidad Técnica del Norte en la Provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Diseñar un módulo didáctico para el control y monitoreo automático de presión y temperatura de agua mediante sensores y actuadores manejados por un controlador lógico programable PLC, dentro de un proceso e integrar algunos conceptos relacionados a la instrumentación y automatización de procesos.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los procesos automáticos industriales y la instrumentación asociada a fin de definir un módulo didáctico.
- Realizar el diseño del módulo didáctico para el control y monitorización de presión y temperatura.
- Elaborar el diagrama de proceso e instrumentación P&ID del sistema.
- Diseñar e implementar las pantallas de interfaz hombre máquina, que permita el control y monitoreo automático de temperatura y presión.
- Elaborar un manual de prácticas del módulo didáctico.

### **1.6 Justificación**

En la actualidad los sistemas de control automáticos son herramientas importantes en muchas industrias, ya que esta ayuda a mejorar el control y adquisición de datos de un proceso industrial, así como también mejorar su eficiencia al operar el proceso, haciendo que sus productos sean más económicos y asequibles a las personas. Con una mayor aplicación de estas tecnologías en la industria ecuatoriana se podrá competir contra productos extranjeros con lo que se apoyaría a la producción nacional.

Pero para esto es necesario tener profesionales que puedan aportar con sus conocimientos a la industria ecuatoriana automatizando procesos industriales, mejorando los ya existentes y creando nuevas industrias aplicando los conocimientos adquiridos en las aulas.

Por esa razón es necesario que los estudiantes en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico conozcan y se familiaricen con sistemas automáticos como también la forma de adquirir datos de sensores como temperatura, presión y el control de actuadores, mediante un PLC (Controlador Lógico Programable), así como su

programación y también de poder realizar prácticas en un módulo didáctico, que contenga varios instrumentos de medición aplicados al control de temperatura y presión.

Este módulo didáctico permitirá a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico complementar los conocimientos en instrumentación y sistemas automáticos y una vez graduados, poder aportar a la industria ecuatoriana.

## **CAPITULO II**



## **MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Automatización industrial**

La automatización industrial es la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, maquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana.

Lo que se busca con la automatización industrial es generar la mayor cantidad de producto, en el menor tiempo posible, con el fin de reducir los costos y garantizar una uniformidad en la calidad.

La automatización industrial se desarrolla con un enfoque interdisciplinario, es decir que se unen distintas tecnologías, por ejemplo la instrumentación que permite medir variables de la materia en sus diferentes estados, gases, sólidos y líquidos, eso quiere decir que medimos cosas como el volumen, el peso, la presión etc. (Campos & Velasco, 2014).

#### **2.1.1 Ventajas y desventajas de la automatización**

La automatización y la instrumentación industrial tienen grandes ventajas, pero también tiene sus desventajas.

Las ventajas que se tienen son:

- Reduce los costos.
- Aumenta la productividad.
- Mayor calidad en los productos.
- Optimización de recursos.
- Mayor organización.

- Seguridad para el personal e instalaciones

Las desventajas que se tiene son:

- Genera desempleo.
- La inversión es muy alta.
- El servicio y operación requiere de personal especializado.
- El mantenimiento es caro.
- Complejidad del proceso.

## **2.2 Variables e instrumentos**

### **2.2.1 Variables**

Toda industria que maneja procesos que requieren cuantificar las cantidades de productos que entran o salen de un recipiente o tuberías, las variables en plantas de procesos por lo general son temperatura, presión, masa, densidad, etc.

La medición de las variables involucradas permite controlar el proceso, agregando otro componente a la mezcla, reduciendo o incrementando la temperatura, aumentando o disminuyendo la presión, a fin de lograr la lógica de control deseada para el proceso.

#### **2.2.1.1 Nivel**

Son puntos de referencia que se toman para indicar la ubicación de una magnitud con respecto al punto mínimo o máximo que se esté midiendo.

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos (Creus, 2009).

### 2.2.1.2 Presión

La presión se define como la cantidad de fuerza ejercida sobre un área unitaria de una sustancia esto se puede establecer con la ecuación:

$$P = \frac{F}{A}$$

Dónde:

P= Presión, F= Fuerza, A= Área

Según (Mott, 2011) “Blaise Pascal, un científico del siglo XVII descubrió dos importantes principios acerca de la presión”.

- La presión actúa en forma uniforme en todas direcciones, acción que realiza sobre un pequeño volumen de fluido.
- Según (Mott, 2011) “en un fluido confinado entre fronteras sólidas, la presión actúa perpendicularmente a la frontera”.

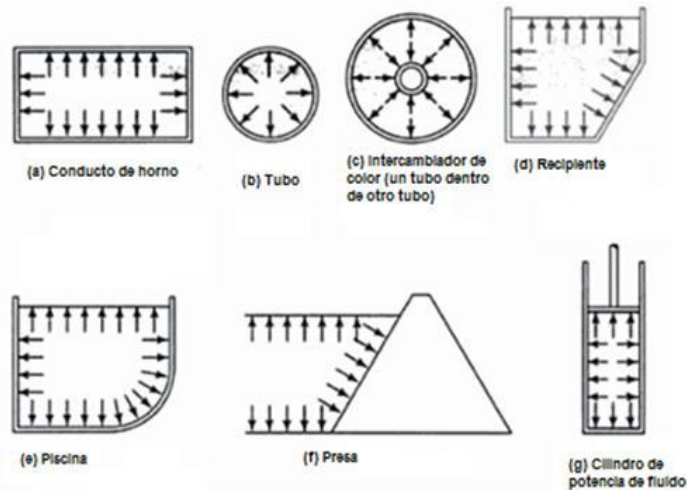
En la Figura 2 se puede observar la presión que se ejerce en un fluido es uniforme en toda la superficie.



**Figura 2 Presión sobre el fluido**

Fuente: (Creus, 2009)

En la Figura 3 se muestra cómo la presión actúa de manera uniforme en todas las direcciones sobre un pequeño volumen de fluido.



**Figura 3 Dirección de la presión de fluido sobre las fronteras**  
Fuente: (Creus, 2009)

En la Tabla 1 Unidades de presión y las equivalencias, además se puede observar las diferentes clases de presión absoluta o diferencial que los instrumentos miden comúnmente en la industria.

**Tabla 1 Unidades de presión**

	<i>Psi</i>	<i>Pulgada c de agua</i>	<i>Pulgada c de Hg</i>	<i>Atmósfera</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>cm c de a</i>	<i>mm c de Hg</i>	<i>Bar</i>	<i>Pa</i>
<b>Psi</b>	1	27,68	2,036	0,068	0,0703	70,31	51,72	0,0689	6894,76
<b>Pulgada c de agua</b>	0,0361	1	0,0735	0,0024	0,0025	2,54	1,868	0,0024	249
<b>Pulgada c de Hg</b>	0,4912	13,6	1	0,0334	0,0345	34,53	25,4	0,0338	3 386,39
<b>Atmósfera</b>	14,7	406,79	29,92	1	1,033	1033	760	1,0132	1,0133x10 <sup>5</sup>
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	14,22	393,7	28,96	0,9378	1	1000	735,6	0,98	98066
<b>cm c de a</b>	0,0142	0,3937	0,0289	0,00096	0,001	1	0,7355	0,0009	98,06
<b>mm c de Hg</b>	0,0193	0,5353	0,0393	0,0013	0,0013	1,359	1	0,00133	133,322
<b>Bar</b>	14,5	401	29,53	0,987	1,02	1020	750	1	10 <sup>5</sup>
<b>Pa</b>	0,00014	0,004	0,00029	0,987x10 <sup>-5</sup>	0,102x10 <sup>-4</sup>	0,01	0,0075	10 <sup>-5</sup>	1

Fuente: (Creus, 2009)

### 2.2.1.3 Temperatura

La medición de la temperatura es una de las más comunes y de las más importantes que se presentan en los procesos industriales. La mayor parte de los fenómenos físicos están afectados por ella. La temperatura se utiliza, frecuentemente, para inferir el valor de otras variables del proceso (Creus, 2009).

Existen diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y que son utilizados para medirla:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- La f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

**Tabla 2 Tabla de unidades de temperatura**

	<b>Celsius</b>	<b>Fahrenheit</b>	<b>Kelvin</b>
<b>Celsius(1)</b>	1	33.8	274.15
<b>Fahrenheit(1)</b>	-17.22	1	255.92
<b>Kelvin(1)</b>	-272.15	-457.87	1

### 2.2.2 Instrumentos

La cuantificación de las cantidades se realiza a través de dispositivos que emiten señales dependientes por lo general del cambio en la cantidad involucrada, definiéndose entonces la señal como un estímulo externo o interno que ayuda al sistema a adquirir las señales para el sistema.

#### 2.2.2.1 Transductores

De manera general podemos decir que es un elemento o dispositivo que tiene la misión de traducir o adaptar un tipo de energía en otro más adecuado para el sistema,

es decir convierte una magnitud física, no interpretable por el sistema, en otra variable interpretable por dicho sistema. El transductor transforma la señal que entrega el sensor en otra normalmente de tipo eléctrico (Ortega, 2009).

#### **2.2.2.2 Transmisores**

Los transmisores captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancias en forma de señal neumática, electrónica o digital. La señal electrónica normalizada es de 4 a 20 mA de corriente continua.

La señal digital consiste en una serie de impulsos en forma de bits. Cada bit consiste en dos signos, el 0 y el 1 (código binario) y representa el paso (1) o no (0) de una señal a través de un conductor. Si la señal se digita que se maneja el microprocesador del transmisor es de 32 bits, entonces puede enviar 32 señales binarias (0 y 1) simultáneamente (Creus, 2009)

#### **2.2.2.3 Sensores**

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases: - Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física. - La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje. - El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta (De la Fuente, 2011).

Los tipos de sensores que vamos a utilizar en el módulo son:

- **Sensor de presión:** Es un sensor que percibe el valor de presión o la variación de la misma y lo transforma de manera precisa en una señal eléctrica.
- **Sensor de nivel:** Los sensores de nivel de líquidos trabajan midiendo, directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, así como la

presión hidrostática y el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o también aprovechando características eléctricas del líquido (Creus, 2009)

- **Sensor de temperatura:** Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico.

Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares.

El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico (Flores, 2014)

#### **2.2.2.4 Elementos finales de control**

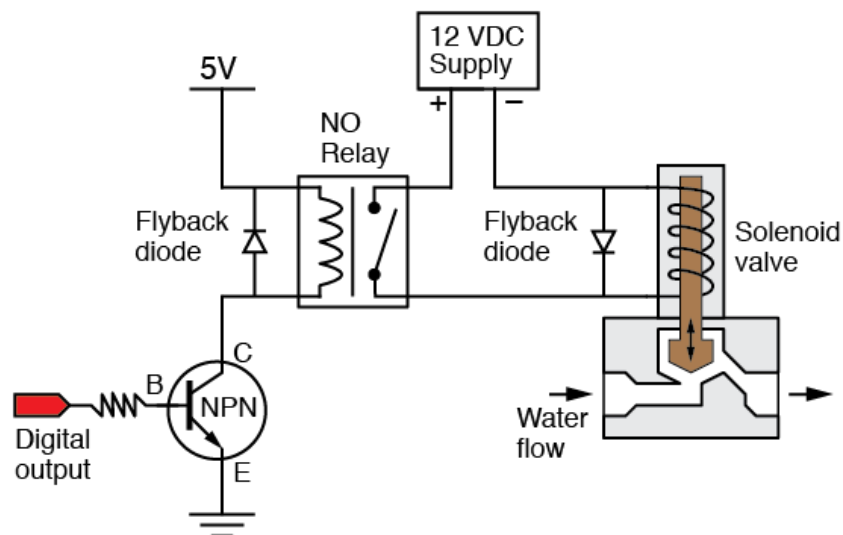
Un elemento final de control es un mecanismo que altera el valor de la variable manipulada en respuesta a una señal de salida desde el dispositivo de control automático; típicamente recibe una señal del controlador y manipula un flujo de material o energía para el proceso. El elemento final de control puede ser una válvula de control, variadores de frecuencia y motores eléctricos, un servo válvula, un relé, elementos calefactores de carácter eléctrico o un amortiguador (Creus, 2009).

El elemento final de control consta generalmente de dos partes, un actuador que convierte la señal del controlador en un comando para el dispositivo manipulador y un mecanismo para ajustar la variable manipulada.

Los tipos de elementos finales de control que se utiliza en el módulo son:

- **Válvulas de control:** La válvula de control es básicamente un orificio variable por efecto de un actuador. Constituye el elemento final de control en más del 90 % de las aplicaciones industriales.
- **Electroválvula:** Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada. Las electroválvulas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos.

En la Figura 4 se puede observar las partes principales que conforman una electroválvula.



**Figura 4 Electroválvula**

Fuente: (Portland State, 2014)

- **Niquelina:** La niquelina están diseñadas para el calentamiento en contacto directo con el fluido (agua) son elementos que se fabrican a base de níquel, donde la energía eléctrica se transforma en calor. Esta cantidad de calor dependerá de la intensidad de tiempo que esté conectada. De acuerdo a la ley de joule decimos que la cantidad de calor desprendido de una resistencia es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente y directamente proporcional al valor de la resistencia y al tiempo.



Dado que todo el calor se genera dentro del líquido, se alcanza un rendimiento energético máximo.

$$P = V \times A$$

Donde:

P= Potencia

V= Voltios

A= Amperios

#### **2.2.2.5 Electrobomba**

Es una máquina que tiene como función impulsar el agua a través de tuberías, a distancias o niveles diferentes. Su mecanismo es sencillo, dentro de ella, se produce un vacío que permite succionar el agua de una fuente o suministro para luego impulsarla. Debido a sus múltiples aplicaciones, las bombas se han construido en gran variedad de diseños y tamaños (Aquality, 2015).

Las más conocidas son las siguientes:

- **Bombas centrífugas (cinéticas)**

Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente rodete (Direde, 2015).

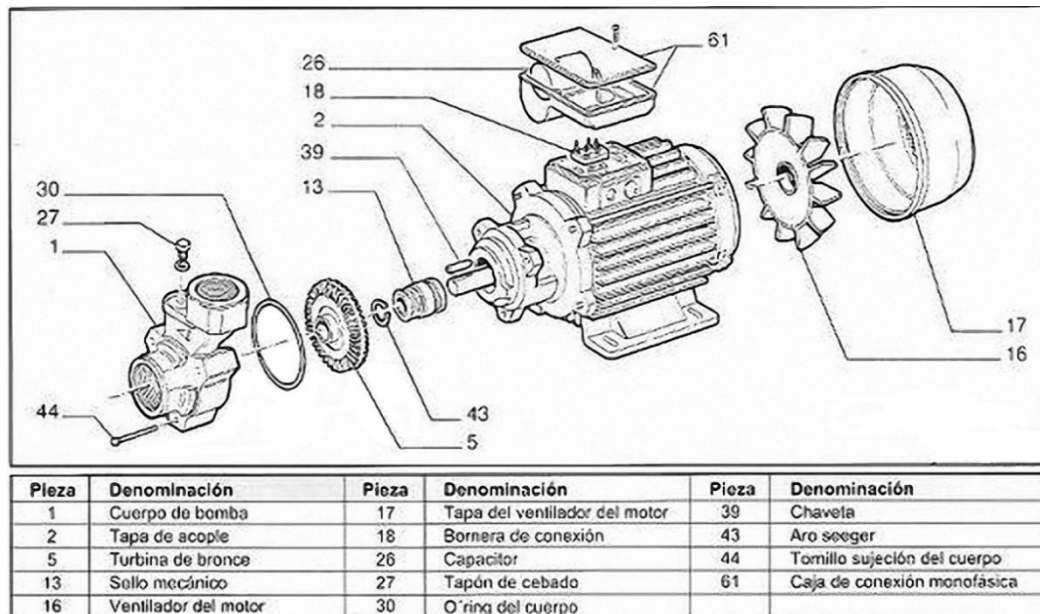
- **Bombas periféricas (tipo turbina)**

Bombas periféricas también llamadas volumétricas, capaces de entregar gran presión de descarga con motores de baja potencia. Adecuadas para uso doméstico,

aumento de presión de la red de agua potable, las bombas periféricas son excelentes para incrementar la presión del agua y bombearla a grandes alturas, como en el caso de edificios.

Para el módulo didáctico se necesita una bomba que aumente la presión de agua y tenga bajo consumo energético y por estas razones se escogió una bomba de tipo periférico por sus características.

En la Figura 5 se muestra las principales partes que conforman una electrobomba, en donde se puede apreciar partes como: eje, caja de rodamientos, impulsor, etc.



**Figura 5 Electro bomba**  
Fuente: (Yubasolar, 2015)

### 2.2.2.6 Variador de frecuencia

El variador electrónico de velocidad por variación de frecuencia es un equipo compuesto de elementos electrónicos de potencia, que acciona un motor jaula de ardilla y realiza su arranque y su parada de manera suave. Adicionalmente, varía de manera controlada la velocidad del motor manteniendo el torque constante hasta la velocidad nominal (Weg, 2015).

Mediante la variación de la frecuencia aplicada al motor se varía la velocidad del motor con base en la siguiente relación:

$$ns = 120 * \frac{f}{p}$$

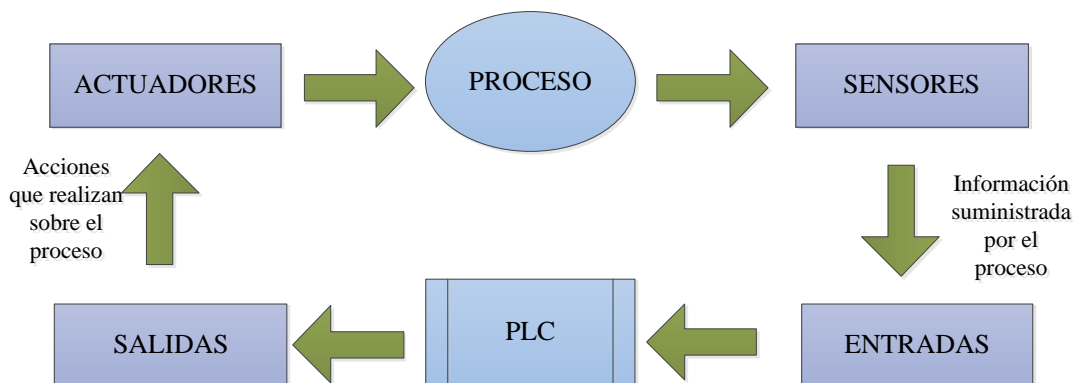
Dónde:

ns= es la velocidad sincrónica

f= es la frecuencia aplicada

p= es el número de polos

### 2.2.2.7 Controlador lógico programable



**Figura 6 Diagrama de un proceso controlado por un PLC**

Fuente: (Martínez, 2014)

Un controlador lógico programable es una máquina electrónica, que maneja una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones dirigidas para controlar un proceso, para establecer soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuenciales, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de intervenir mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos como se puede observar en la Figura 6.

### Funciones del PLC

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 reprogramados.
- 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.

## 2.3 Sistemas de control

### 2.3.1 Sistema de control lazo abierto

Aquellos en los que la variable de salida (variable controlada) no tiene efecto sobre la acción de control (variable de control), es decir no se compara la salida del sistema con el valor deseado de la salida del sistema (García, 2012).

En la Figura 7 se muestra el diagrama de las partes que conforman el sistema de control en lazo abierto.



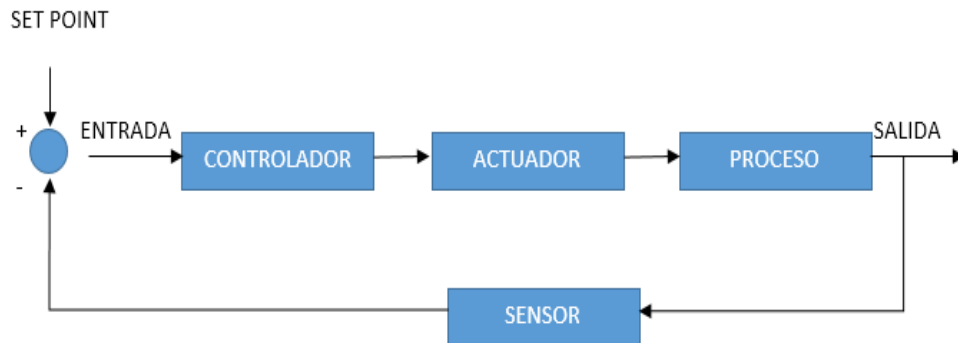
**Figura 7 Sistema de control lazo abierto**

Fuente: (Ogata, 2003)

### 2.3.2 Sistema de control lazo cerrado

Sistema de control en lazo cerrado aquellos en los que la señal de salida del sistema (variable controlada) tiene efecto directo sobre la acción de control (variable de control (García, 2012)

En la Figura 8 se muestra el diagrama de las partes que conforman el sistema de control en lazo cerrado.



**Figura 8 Sistema de control en lazo cerrado**  
Fuente: (Ogata, 2003)

### 2.3.3 Sistema de control implementado en el módulo

El sistema de control implementado en el módulo didáctico es de lazo cerrado, ya que se tiene la instrumentación para retroalimentar al controlador, acorde a las variables del sistema a controlar se determina el tipo de controlador en lazo cerrado tanto para la temperatura y la presión.

## 2.4 Sistema de protección

### 2.4.1 Transformador de aislamiento

Este dispositivo se usa como medida de seguridad, ya que cuando se requiere energizar un aparato (eléctrico o electrónico) desde la red eléctrica, pero sin que exista conexión directa con ella, este aparato aísla para proteger la integridad física de quienes trabajan en el módulo y de la misma forma protegemos al sistema eléctrico del módulo.

En la Figura 9 se muestra el transformador de aislamiento que sirve para la protección de los circuitos de control del sistema.

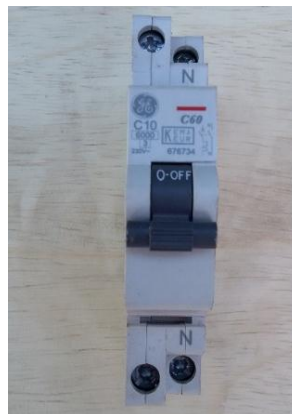


**Figura 9 Transformador de aislamiento**

## 2.4.2 Breakers

Son dispositivos termomagnéticos de protección, los cuales abren un circuito eléctrico al momento que por ellos pasa una corriente mayor a la que están diseñados a soportar.

En la Figura 10 se muestra el breaker que se usa en el proyecto, el cual nos ayuda a la protección termo magnético.



**Figura 10 Breaker**

## 2.4.3 Portafusibles

Son dispositivos de protección que funde el conductor eléctrico que tiene en su interior cuando por el circula una corriente mayor a la que está diseñado con el objetivo de proteger a los dispositivos del circuito.

En la Figura 11 se muestra los dispositivos de protección de los equipos de control del sistema.



**Figura 11 Portafusibles**

## **2.5 Interfaz hombre maquina HMI**

Una interfaz hombre-máquina (HMI), forma parte del programa informático que se comunica con el usuario, el término interfaz de usuario se define como "todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea de forma interactiva. La interfaz de usuario / interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina (Copadata, 2013).

## **2.6 Redes Industriales**

Las redes industriales tienen el objetivo principal de transmitir la información ya sea desde el nivel de campo, nivel de control o supervisión, las redes industriales se manejan bajo diferentes tipos de protocolos de comunicación.

### **2.6.1 Ethernet**

Es un estándar en las redes, posee las características de nivel físico en cuanto a cableado y señalización y nivel de enlace de datos en cuanto a los formatos de tramas de datos teniendo como base el modelo OSI.

El estándar internacional IEEE 802.3 define las características de redes basadas en Ethernet, las especificaciones más relevantes de este protocolo es el sistema de acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones.

### **2.6.2 Modbus RS-485**

Es un protocolo estándar, muy usado dentro de la industria que tiene mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos industriales.

Entre los dispositivos que lo utilizan podemos mencionar:

- Controladores lógicos programables PLC
- Interfaces Hombre Maquina
- Drivers
- Sensores y actuadores remotos

## **2.7 Plataforma de programación**

### **2.7.1 Tia Portal**

Tia portal es un innovador software para todas las tareas de automatización, en su condición el Tia portal no solo permite la programación del controlador, sino que también la configuración de los sistemas y parametrización de los accionamientos de las comunicaciones internamente del programa.

En el sistema del Tia Portal se puede realizar simulaciones de aplicaciones de proyectos desde la PC sin necesidad de colocar en línea un PLC, (SIEMENS, 2014).

### **2.7.1 Step 7**

STEP 7 Professional es una herramienta de ingeniería moderna para la configuración y parametrización de todos los controladores SIMATIC:



STEP 7 permite:

- Realizar la configuración gráfica
- Localizar errores de programación a través del diagnóstico del sistema integrado, mayor seguimiento en tiempo real y las funciones en línea.
- Configurar los sistemas siemens gracias a las librerías y la compatibilidad de comunicación

STEP 7 nos ayuda a solucionar las tareas de ingeniería de forma intuitiva y eficiente. Las opciones como arrastrar y soltar, copiar y pegar, agilizan y facilitan el trabajo de forma decisiva. (SIEMENS, 2014).

### **2.7.2 WinCC**

Con WinCC se puede visualizar el manejo de procesos, líneas de fabricación, máquinas e instalaciones. Con las elevadas funciones de este moderno sistema incluye la facilidad de avisos de eventos en una forma adecuada para la aplicación industrial, el archivo de valores de medida, recetas y el listado de los mismos.

Con su potente acoplamiento al proceso, especialmente con SIMATIC, y su seguro archivo de datos, WinCC hace posible unas soluciones de alto nivel para la técnica de conducción de procesos. (SIEMENS, 2014)

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo de Investigación**

El tipo de investigación que se utilizó fue tipo bibliográfico ya que esta permitió recolectar información de diferentes fuentes escritas, obtenidas de documentos, bibliografías y publicaciones de internet.

La información receptada en la investigación bibliográfica, permitió realizar el estudio sobre los fundamentos sobre el funcionamiento de procesos industriales, sustentos teóricos y tecnológicos que fueron aplicados en el diseño del manual didáctico.

### **3.2 Métodos**

En la investigación se utilizaron los métodos deductivo, inductivo, analítico, sintético, experimental.

#### **3.2.1 Método Deductivo**

El proceso del método deductivo se aplicó en la investigación para la construcción del marco teórico, mediante la elaboración de resúmenes y publicación de criterios de autores destacados, de quienes se realizan oportunamente las citas bibliográficas correspondientes.

#### **3.2.2 Método Inductivo**

El método inductivo se aplicó a partir de observaciones particulares del problema de investigación, para luego realizar comparaciones con los fundamentos teóricos que permitieron llegar a conclusiones generales sobre el problema de investigación.

#### **3.2.3 Método Analítico**

El método analítico se aplicó con la finalidad de realizar un estudio minucioso de la información receptada en las diferentes fases de la investigación, lo que permitió

caracterizar la problemática y determinar las necesidades metodológicas para el diseño y construcción del módulo didáctico.

#### **3.2.4 Método Sintético**

Este método se aplicó con la finalidad de procesar la información obtenida en la aplicación de la investigación, especialmente con aplicación del método analítico, resultados que se presentan mediante resúmenes, cuadros y gráficos.

#### **3.2.5 Método Experimental**

El método experimental se aplicó en el diseño, elaboración y pruebas de verificación del módulo, proceso en el que se realizaron diferentes modificaciones y utilización de variables para la adaptación de diferentes elementos que permitieron lograr un eficiente funcionamiento.

### **3.3 Técnicas e Instrumentos**

Las técnicas utilizadas en la investigación fueron la observación de campo.

La técnica de observación se aplicó para realizar la verificación de las necesidades y de los procesos a ser aplicados en la construcción del módulo.

Las observaciones realizadas se registraron en un registro anecdótico y diario de campo, información que se analizó en el reforzamiento, verificación y adaptación en la fase experimental especialmente.

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

#### **4.1 Propuesta**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE AGUA.

#### **4.2 Propósito**

Diseñar e implementar un módulo didáctico para el monitoreo y control automático de presión y temperatura de agua, controlado por medio de un PLC siemens S7 -1200, en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la universidad técnica del norte

#### **4.3 Introducción**

La construcción de este módulo didáctico está dirigido hacia el reforzamiento de los conocimientos en automatización e instrumentación industrial de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, proporcionándoles una herramienta en donde tienen la posibilidad de manipular una simulación de un proceso industrial

El módulo cuenta con un PLC para la adquisición, supervisión y control de los parámetros del sistema tal como lo haría en un proceso industrial, permitiéndole al estudiante poner en práctica los conocimientos adquiridos en la materia de instrumentación.

## **4.4 Diseño del módulo didáctico**

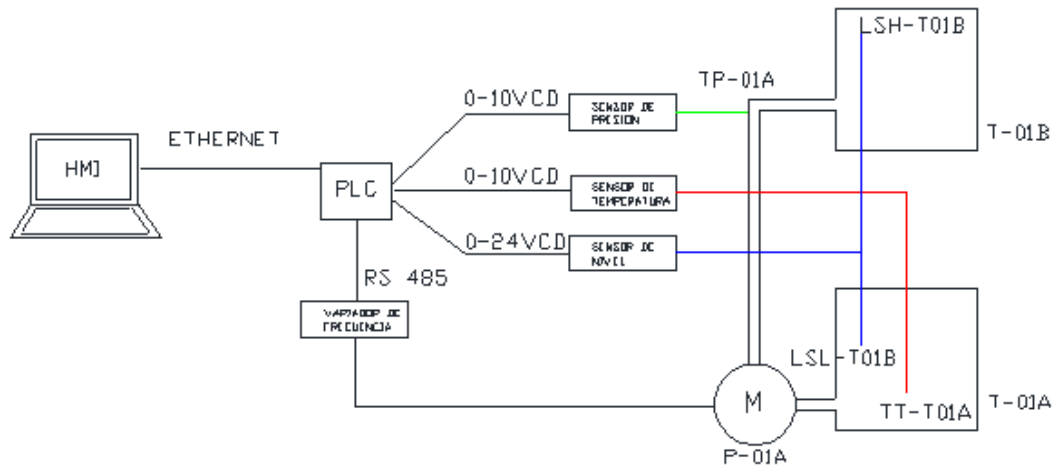
El equipamiento a usar se diseña con tecnología moderna que garantice la protección de las personas y equipos relacionados para que los estudiantes se familiaricen de métodos de control y automatización industrial.

### **4.4.1 Arquitectura eléctrica del módulo**

La arquitectura eléctrica del sistema se conforma de varios subsistemas que se muestran a continuación:

- Subsistema de control: está conformado principalmente por el controlador lógico programable el cual adquiere la información de los sensores y realiza el control del sistema, en el subsistema de control también está conformado por el variador de frecuencia.
- Subsistema de instrumentación: realiza las mediciones de presión, temperatura las cuales entregan al PLC señales analógicas de 0-10V, también se realiza la mediación del nivel de los tanques que entregan al PLC señales digitales.
- Subsistema de monitorización: el sistema se encuentra monitorizado por una Interfaz Hombre Maquina.

En la Figura 12 se muestra la arquitectura del sistema en donde se encuentra los diferentes subsistemas.



**Figura 12 Arquitectura de sistema**

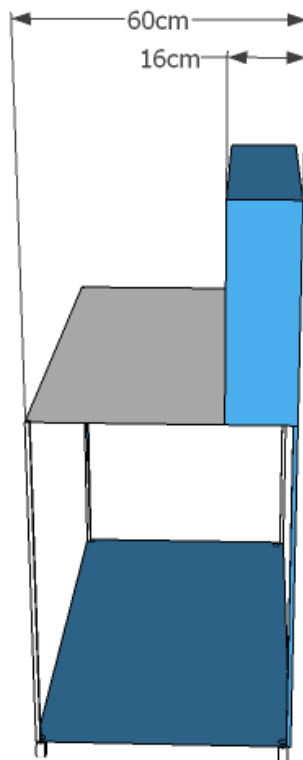
#### 4.4.2 Arquitectura mecánica del módulo

La estructura del módulo está elaborada con acero para soportar el peso de los dispositivos e instrumentos utilizados, también tiene en su parte inferior unas llantas para su fácil traslado.

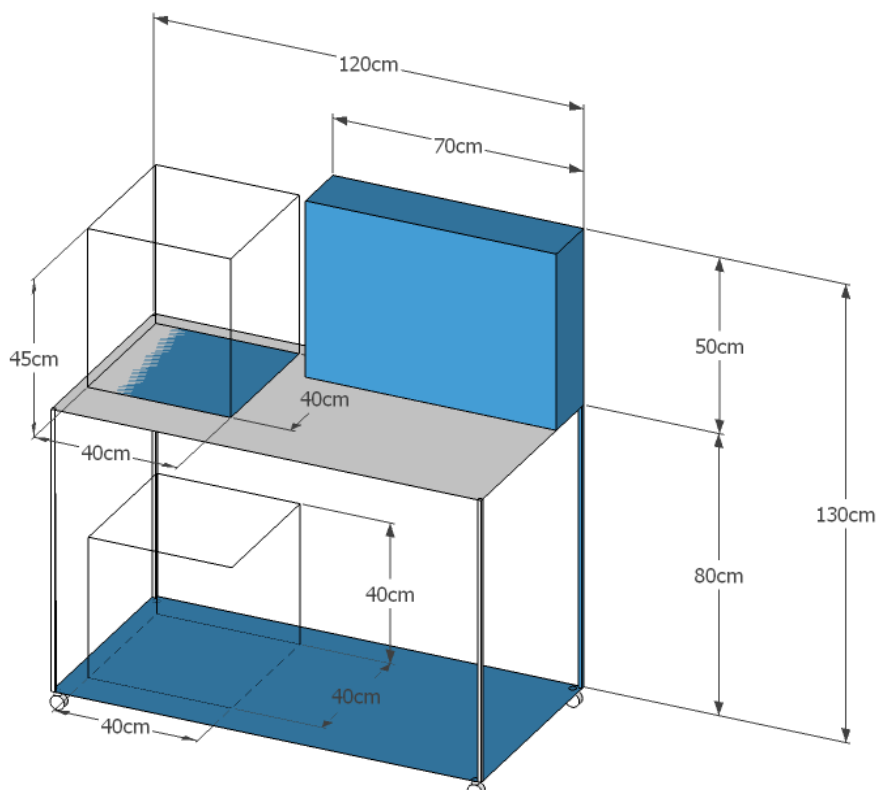
Tomando en cuenta todos los equipos e instrumentos de mando y control que se va montar en el módulo y las conexiones necesarias para su funcionamiento se diseñó el módulo.

En la Figura 13 y la Figura 14 y la se muestra la descripción mecánica y las medidas del módulo didáctico.

El módulo está conformado por un tanque principal 45x40x40cm y un tanque de reserva de 40x40x40cm, y un panel de 70x50x26cm en el cual se encuentra en la parte delantera el panel de control y por la parte posterior las conexiones eléctricas del sistema.



**Figura 13 Módulo didáctico, vista lateral**



**Figura 14 Módulo didáctico, vista frontal**

El módulo cuenta con dos tanques de cristal, uno de 64 litros en donde se calienta el agua y también sirve de reservorio y otro de 72 litros en donde se recolecta el agua después del proceso.

## 4.5 Elementos principales del módulo

### 4.5.1 Instrumentación

Se detalla toda la instrumentación a utilizar en el proyecto, como sensores, transductores y actuadores. En el sistema de instrumentación se detalla el sensor de presión, sensor de temperatura y la niquelina.

#### 4.5.1.1 Sensor de presión

Este dispositivo censa la presión del fluido y lo transforma en una señal eléctrica que es captada por el PLC.

El sensor de presión que se usa en el proyecto es de la marca Rosemount, en la Tabla 3 se muestra las características técnicas del sensor de presión.

**Tabla 3 Características técnicas del sensor de presión**

Característica	Descripción
Modelo	3051S2TG2A2B11A1AK5M5Q4
Serial	0655793
Protocolo de comunicación	HART PRESSURE
Alimentación	10.5 – 42.4 VDC
Salida	4-20 mA
Rango	150 psi / 10.3 bar



En la Figura 15 se muestra el sensor indicador de presión que se utiliza para la adquisición de esta variable importante del sistema.



**Figura 15 Sensor de presión**  
Fuente: (EMERSON, 2014)

#### 4.5.1.2 Sensor de temperatura

Este dispositivo censa la temperatura y la transforma en una señal eléctrica que es captada por el PLC.

En la Tabla 4 se muestra las características técnicas del sensor de temperatura

**Tabla 4 Características técnicas del sensor de temperatura**

Característica	Descripción
Alimentación	10.5 – 42.4 VDC
Salida	Corriente de 4-20 mA
Rango	0-100 grados centígrados

#### 4.5.1.3 Alambre niquelina

Es un alambre que al ser conectado a un voltaje cambia su temperatura y calienta el agua, el voltaje de funcionamiento es de 120VAC.

En la Figura 16 se muestra la niquelina, la cual es la encargada de la transmisión de calor.



**Figura 16 Alambre niquelina**

## 4.5.2 Elementos de control

### 4.5.2.1 PLC S7-1200

Este dispositivo es el encargado de recibir e emitir señales con las cuales se controla el proceso.

**Tabla 5 Características técnicas del controlador lógico programable**

		<b>S7-1200</b>
	<b>Modelo</b>	<b>CPU 1212C AC/DC RELAY</b>
<b>Descripción Eléctrica</b>	<b>Voltaje Alimentación</b>	85 min. a 264 máx. VAC
	<b>Comunicación</b>	Ethernet
	<b>Entradas/Salidas</b>	DI 24 Vdc 5 DO Relay 2AI 4-20mA

Se seleccionó el PLC siemens S7-1200 por su tamaño compacto y sus altas prestaciones ya que tienen varias entradas y salidas digitales como también entradas

análogas las cuales se ajustan a nuestras necesidades para el control del módulo didáctico, además tiene algunos protocolos de comunicación industrial y adicional este tipo de PLC tiene la opción de expandir su capacidad con módulos dependiendo lo que se requiera.

En la Tabla 5 se muestra las características técnicas del controlador lógico programable S7-1200.

En la Figura 17 se muestra el controlador lógico programable PLC siemens S7-1200 que se usa en el proyecto.



**Figura 17 Controlador lógico programable**

En el Anexo 5: Datasheet Siemens S7-1200 se muestra las características técnicas del controlador lógico programable del módulo didáctico.

#### **4.5.2.2 Módulo de comunicación RS-485 RTU**

Este módulo hace posible la comunicación del PLC con el variador de frecuencia y otros equipos, usando los protocolos de comunicación punto a punto más habituales que existen en el entorno industrial.

En la Tabla 6 se muestra las características técnicas del módulo de comunicación RS 422, RS-485

**Tabla 6 Características técnicas del controlador lógico programable**

		Modelo	CM 1241
Descripción	Eléctrica	Conector	9 PIN SUB D (male)
		Comunicación	RS-422
			RS-485

En la Figura 18 se muestra el módulo de comunicación del PLC siemens S7-1200 que se usa en el proyecto, este módulo soporta dos protocolos de comunicación RS-422 y RS-485.



**Figura 18 Módulo de comunicación**

En el Anexo 6: Módulo de comunicación RS-485 se muestra en detalle las características técnicas del módulo de comunicación RS-485 y la programación del controlador lógico programable.

#### **4.5.2.3 Variador Altivar312**

Este variador de velocidad para motores asíncronos trifásicos funciona desde 0.18KW hasta 15 kW y 240 V como tensión de alimentación máxima. El variador lo utilizamos para controlar la velocidad de la electrobomba y a su vez poder controlar la presión del agua en el sistema.

Ya que la bomba que se implementara en el módulo es de 0.75 hp se determinó que el variador tenga un valor de 1.5 hp para que el variador pueda trabajar sin dificultad.



**Figura 19 Variador de frecuencia**

En la Tabla 7 se muestra los datos de placa del variador altivar312

**Tabla 7 características técnicas del variador de frecuencia**

Características	Descripción	F(HZ)	I(A)
Modelo	ATV312HU11M2		
Potencia	1,1 KW-1,5 KW		
Voltaje de entrada	200-240 VA	50/60 Hz	12,1 Max
Voltaje de salida	200-240 VA	0,5/500 Hz	6,9

#### 4.5.2.3.1 Parámetros de configuración

Los parámetros principales de configuración son los de la placa del motor como la frecuencia del motor, voltaje del motor, la corriente del motor, la velocidad del motor y el factor de potencia.

**Tabla 8 Parámetros del motor**

Menú	Código	Descripción	Configuración
<b>drc</b>	bfr	Frecuencia del motor	60 HZ
	Uns	Voltaje del motor	220 V
	Frs	Frecuencia nominal del motor	60 HZ
	nCr	Corriente del motor	3 A
	nsP	Velocidad del motor	3400 rpm
	COS	Factor de potencia	0.86

Los parámetros básicos del motor establecen la forma de trabajo que se le da al motor como el tiempo de aceleración, tiempo de desaceleración, frecuencia mínima y máxima del motor y la corriente nominal.

**Tabla 9 Parámetros básicos del motor**

Menú	Código	Descripción	Configuración
<b>Set</b>	ACC	Tiempo de aceleración	10 s
	deC	Tiempo de desaceleración	2 s
	LSP	Frecuencia mínima	0 s
	HSP	Frecuencia máxima	72 Hz
	Ith	Corriente nominal	3 A

Para el control remoto del variador de frecuencia se configuran los siguientes parámetros que se observan en la Tabla 10.

**Tabla 10 Parámetros de control**

Menú	Código	Configuración remota
<b>CTL</b>	FrI	AII
<b>I - O -</b>	tCC	2C

Para la comunicación Modbus RS-485 se configuran los parámetros que se observan en la Tabla 11 así como la dirección Modbus, velocidad de transmisión y el formato Modbus.

**Tabla 11 Parámetros de comunicación Modbus RS-485**

Menú	Código	Descripción	Configuración
Com	Add	Dirección Modbus del variador	6
	tbr	Velocidad de transmisión Modbus	19200
	tF0	Formato modbus	8e1

En el Anexo 7: Variador de frecuencia Altivar 312 se muestra en detalle las características técnicas del variador de frecuencia Altivar.

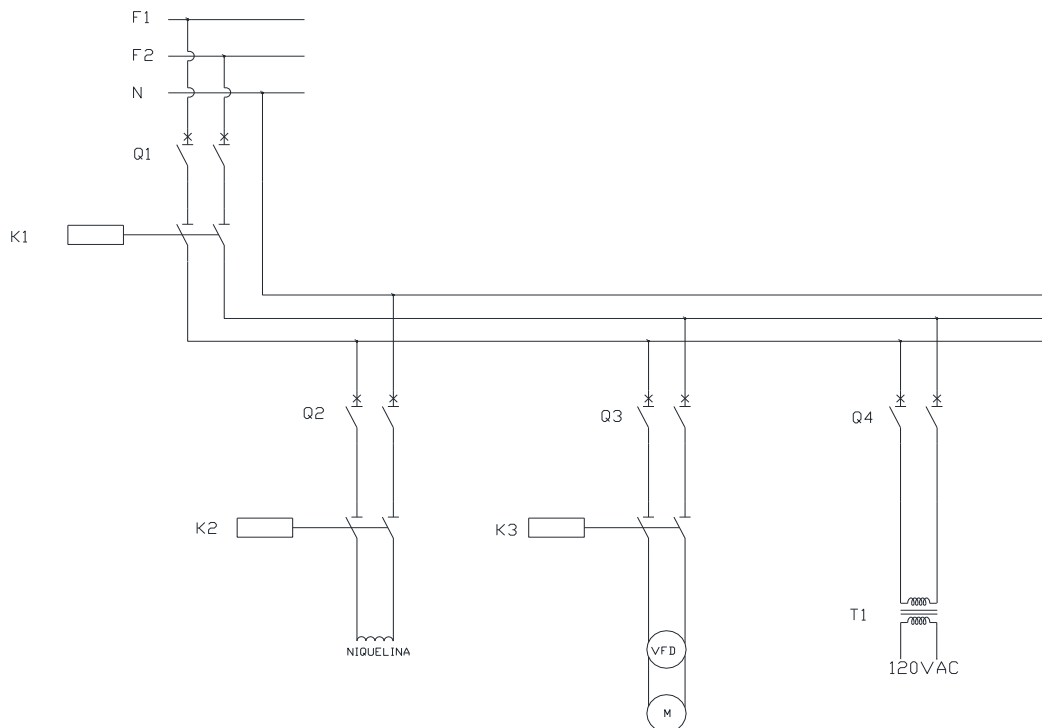
## 4.6 Diagramas del sistema

En los diagramas unifilares eléctricos se detalla la conexión de los diferentes elementos que conforman el módulo didáctico, se visualiza las conexiones de alimentación, señales de entrada, señales de salida, activación y estados de cada equipo que conforman el sistema.

### 4.6.1 Diagrama de alimentación principal

El circuito principal del sistema energiza los circuitos de fuerza de los actuadores que conforman el sistema como la niquelina, el variador de frecuencia y la alimentación de la parte de control en donde se incluye el transformador de aislamiento y la fuente de poder 110VAC a 24 VDC que alimenta los sensores de presión, temperatura y nivel.

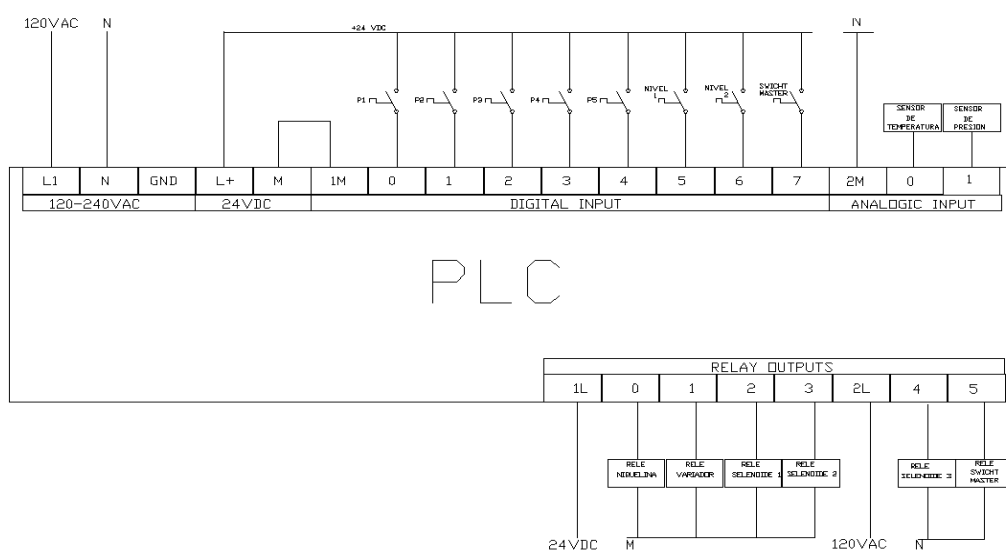
En la Figura 20 se muestra el circuito principal con una alimentación bifásica más neutro, la cual energiza tanto la parte de Fuerza del sistema como la parte de control.



**Figura 20 Diagrama principal**

#### 4.6.2 Diagrama de control

Se detalla todos los esquemas eléctricos de los circuitos de control que posee el sistema, así como la conexión de los pulsadores, actuadores y sensor de presión, temperatura y nivel al controlador lógico programable.



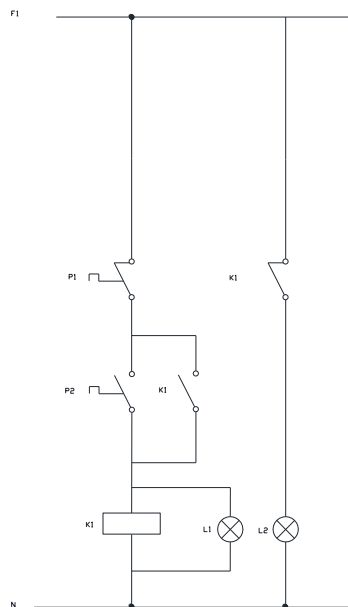
**Figura 21 Diagrama de conexión del PLC**



#### 4.6.2.1 Circuito de control master

En la Figura 22 se muestra el circuito para el mando del control master del sistema, el circuito master se encarga de energizar todo el tablero de los circuitos eléctricos tanto de fuera como de control.

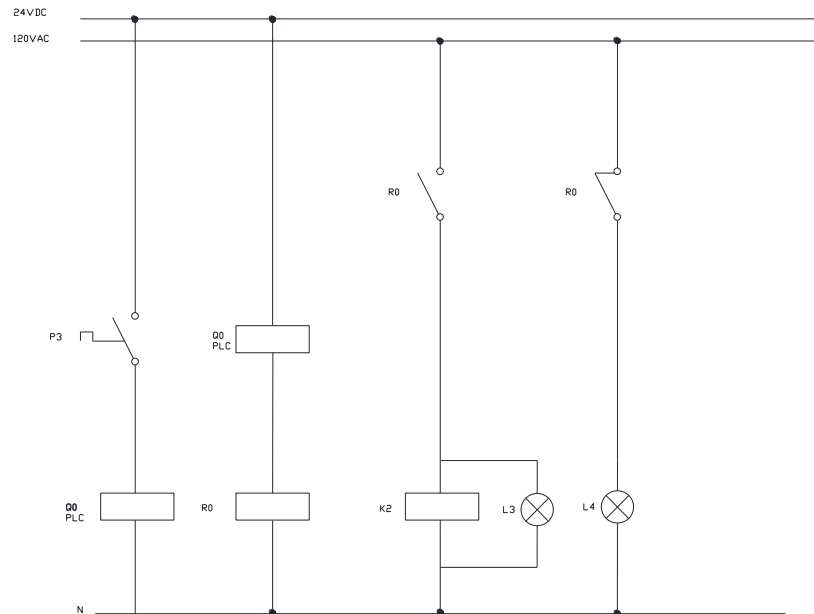
El circuito posee un breaker bifásico de 60 A para la protección de todo el sistema, está controlado por un pulsador de encendido y otro pulsador de Apagado del sistema, además de las respectivas luces indicadoras.



**Figura 22 Circuito de control master**

#### 4.6.2.2 Circuito de control niquelina

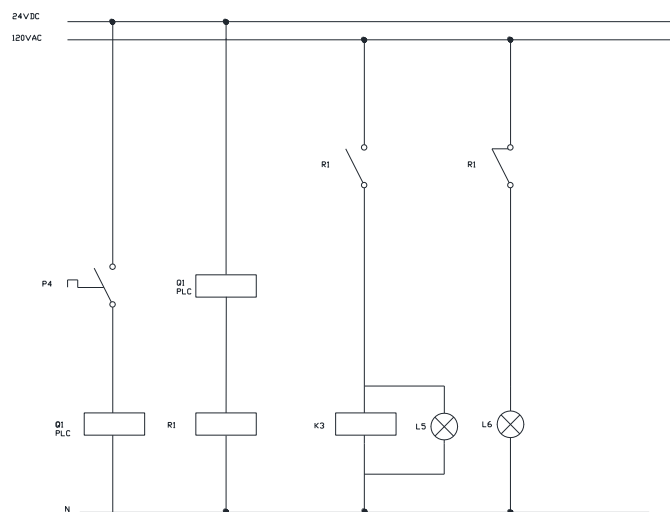
En el circuito tenemos la alimentación de 120VAC para el encendido de la niquelina, así como también el circuito del control Figura 23.



**Figura 23 Circuito de control de niquelina**

#### 4.6.2.3 Circuito de control de variador

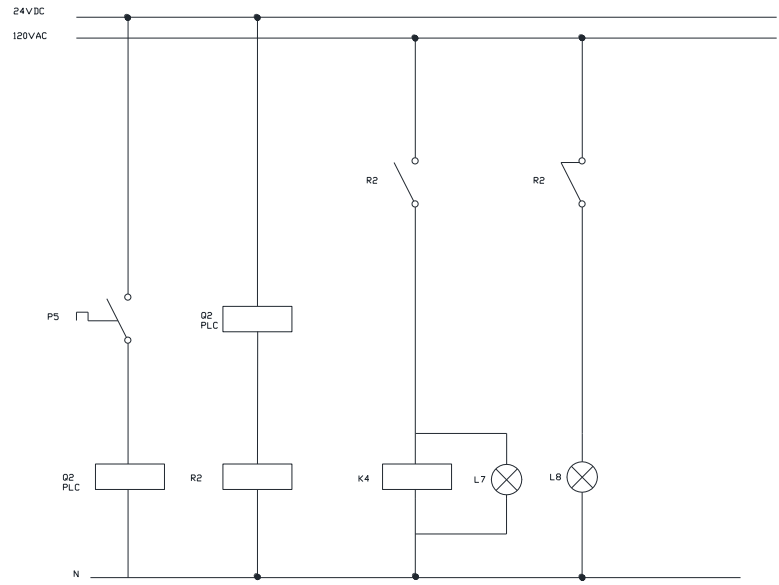
En la Figura 24 tenemos el circuito del control del variador así como también para la comunicación con el PLC.



**Figura 24 Circuito de variador**

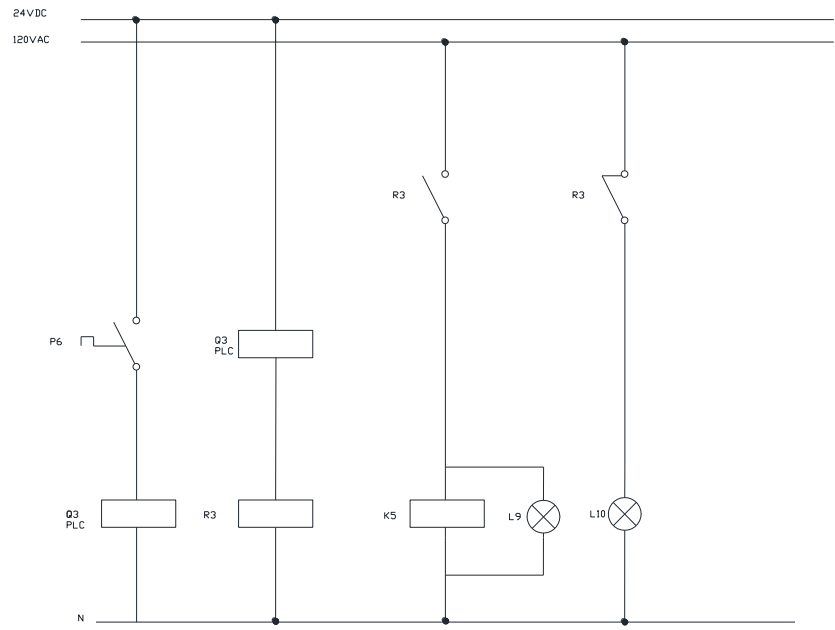
#### 4.6.2.4 Circuito de control de solenoide 1

En la figura 25, 26, 27 tenemos lo que es el circuito de alimentación y control de los solenoides del sistema, y la señal para el control del PLC.



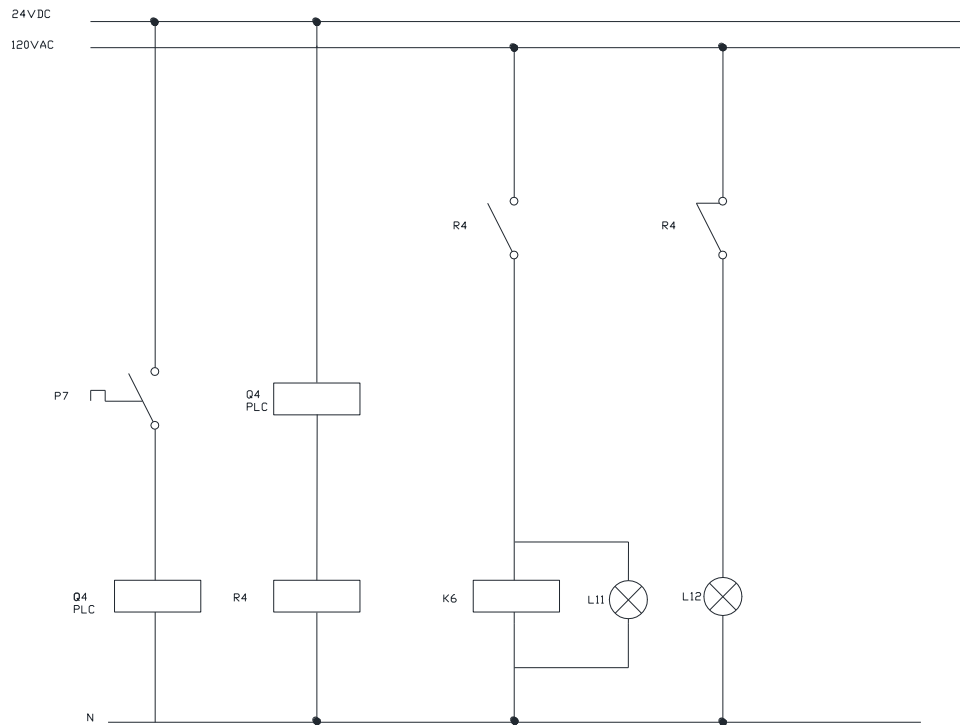
**Figura 25 Circuito de control de solenoide 1**

**4.6.2.5 Circuito de control de solenoide 2**



**Figura 26 Circuito de control de solenoide 2**

#### 4.6.2.6 Circuito de control de solenoide 3

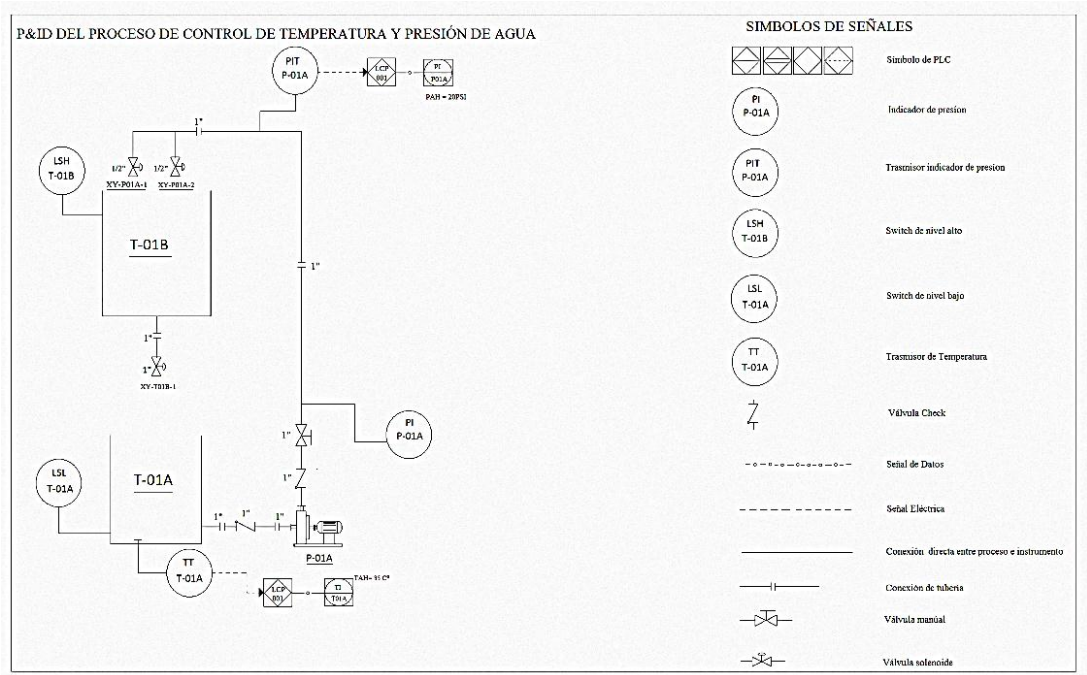


**Figura 27 Circuito de control de solenoide 3**

#### 4.7 Diagrama P&ID del módulo didáctico

El diagrama P&ID muestra la instrumentación necesaria para el diseño del sistema de control y monitorización, la instrumentación utilizada en el diagrama es usada para medir variables de interés en el proceso como nivel, temperatura y presión además del control de las electro válvulas que se usa como un actuador en el sistema.

En la Figura 28 se muestra el diagrama P&ID del sistema en donde consta la instrumentación y tuberías que forman parte del sistema.



**Figura 28 P&ID del módulo didáctico, proceso de control y símbolos de señales**

En la Tabla 12 y Tabla 13, se describe las etiquetas de los respectivos equipos e instrumentación instalada en el sistema, para la adecuada identificación y comprensión del módulo al momento de manipular.

**Tabla 12 Equipos asociados del módulo didáctico.**

TAG	DESCRIPCIÓN
T-01A	Tanque de agua
T-01B	Tanque de agua
P-01A	Bomba elevadora de presión-2HP

Fuente: (Autores, 2015)

**Tabla 13 Instrumentación asociada del módulo didáctico.**

<b>TAG</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>TT-T01A</b>	Trasmisor de temperatura
<b>TP-01A</b>	Trasmisor de presión
<b>PI-P01A</b>	Indicador de presión
<b>LSH-T01B</b>	Switch de alto nivel
<b>LSL-T01A</b>	Switch de bajo nivel
<b>XY-P01A-1</b>	Válvula solenoide de ½”
<b>XY-P01A-2</b>	Válvula solenoide de ½”
<b>XY-T01B-1</b>	Válvula solenoide de ½”

#### **4.8 Modos de control**

El sistema de control cuenta con un PLC SIEMENS S7-1200 AD/DC/RELAY para el control y monitoreo del trasmisor de presión, trasmisor de temperatura, de las electro-válvulas, switch de nivel, variador de velocidad.

El sistema cuenta con dos modos de funcionamiento, el modo manual en donde se puede manipular toda la instrumentación del módulo y el modo automático en el cual se establecen Set point de temperatura y presión a fin de que el módulo trabaje para cumplir ese objetivo.

##### **4.8.1 En modo manual**

El estudiante podrá encender la bomba, abrir los solenoides accionando los pulsadores correspondientes de cada dispositivo. Así como también para aumentar la presión en la en la descarga de la bomba se podrá realizar con el variador de velocidad.

El funcionamiento en modo manual del módulo didáctico del control de presión y temperatura se la realiza de dos maneras.

- **Local:** el usuario debe prender desde el panel y realizar las acciones respectivas si tienen las condiciones operativas caso contrario no realizara función alguna.
- **Remoto:** el control de los diferentes instrumentos y actuadores se lo realiza por parte del HMI, en donde el usuario podrá accionar las solenoides, variador de frecuencia, niquelina y visualizar los estados de los sensores de nivel, temperatura y presión.

Para un normal funcionamiento del módulo didáctico se requiere que el T-01A de almacenamiento de agua este lleno y que se encuentren alineadas las válvulas manuales y los selectores del panel en la posición correcta para el encendido de la bomba.

#### **4.8.2 En modo automático**

Condiciones para el funcionamiento del proceso del control de temperatura y presión de agua:

El PLC iniciará su proceso siempre y cuando no reciba la señal de nivel mínimo de agua del T-01A dado por el LSL-T01A, una vez cumplido este paso la niquelina empezará a calentar el agua hasta llegar a la temperatura establecida por el usuario, que será censada por el TT-T01A. Una vez cumplido estos pasos la bomba P-01A encenderá siempre y cuando se le dé un setpoint para presurizar la línea hasta llegar a la presión establecida por el usuario que será censada por el TP-01A.

En el T-01B tenemos un LSH-T01B para controlar el nivel de agua máximo al que puede llenarse, enviando una señal al PLC y este mandara a parar el sistema de bombeo

y a accionar el XY-T01B-1 para recircular el agua al T-01A y poder empezar un nuevo proceso.

#### **4.17 Desarrollo del software**

El software para el control del módulo fue elaborado en el programa Tia Portal V11 de la empresa Siemens, este software configura los parámetros internos del PLC necesarios para comunicarse con los diferentes elementos e instrumentos colocados en el módulo, también permite realizar toda la programación necesaria para el funcionamiento del módulo.

Es por esta razón que hemos visto importante realizar una breve descripción de los programas utilizados y detallar los pasos que seguimos para crear la programación del módulo.

##### **4.17.1 Diagramas de flujo**

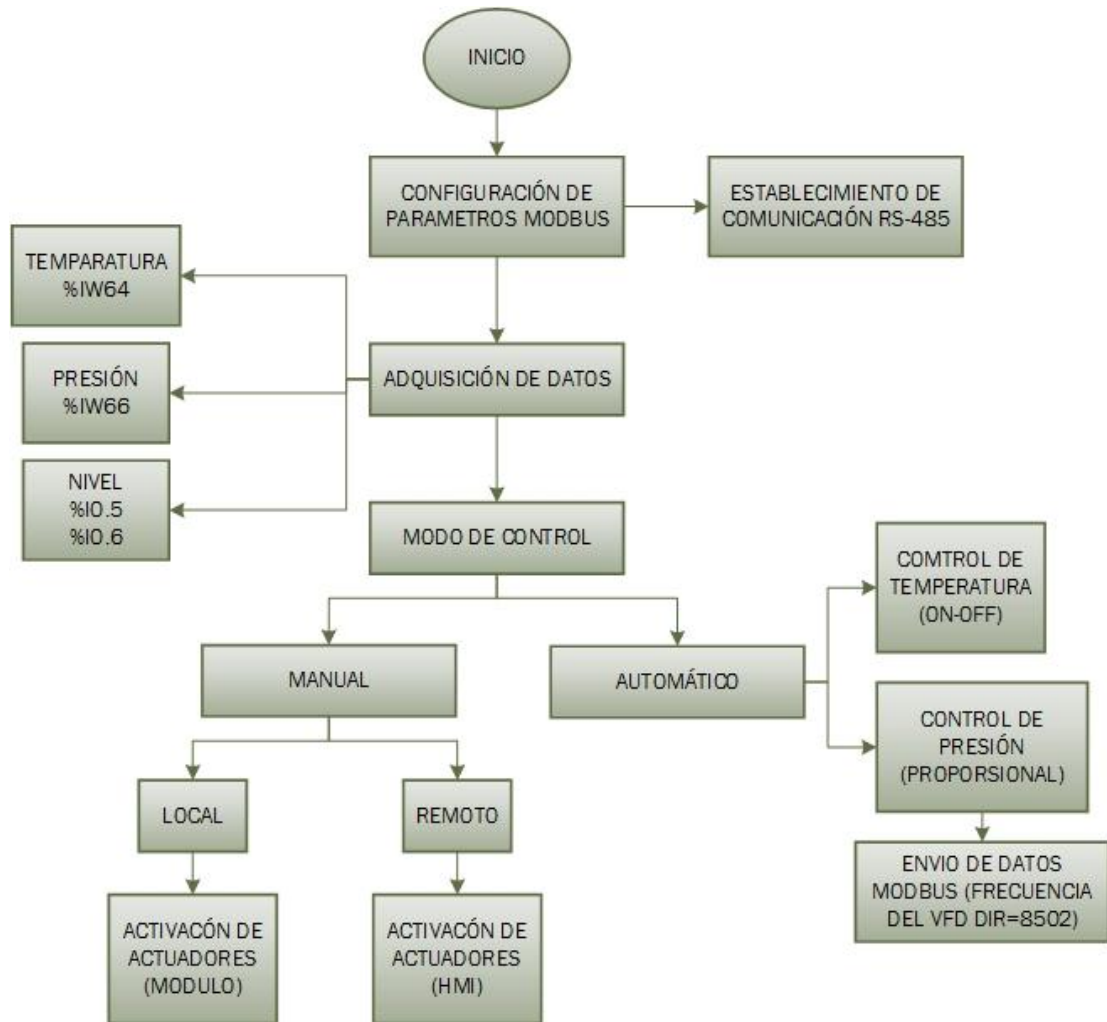
La lógica de programación empieza configurando los parámetros de la comunicación modbus, la cual me permite escribir la frecuencia desde el HMI hacia el variador de frecuencia, luego se adquiere el estado de las entradas conectadas al PLC tanto digitales, como analógicas por ejemplo; el nivel del tanque principal, el nivel del tanque de reserva, el valor del sensor de temperatura, el valor del sensor de presión.

El modo de control puede ser manual en donde se elige una activación de los actuadores en modo local por medio del módulo didáctico o remoto por medio de la interfaz HMI.

El modo automático empezara un proceso, el usuario establece un set point de temperatura en donde el módulo una vez alcanzado ese set point se podrá establecer un set point de presión para que el módulo empiece a circular el agua del tanque de reserva hacia el tanque principal con una temperatura y presión establecidas desde el HMI.

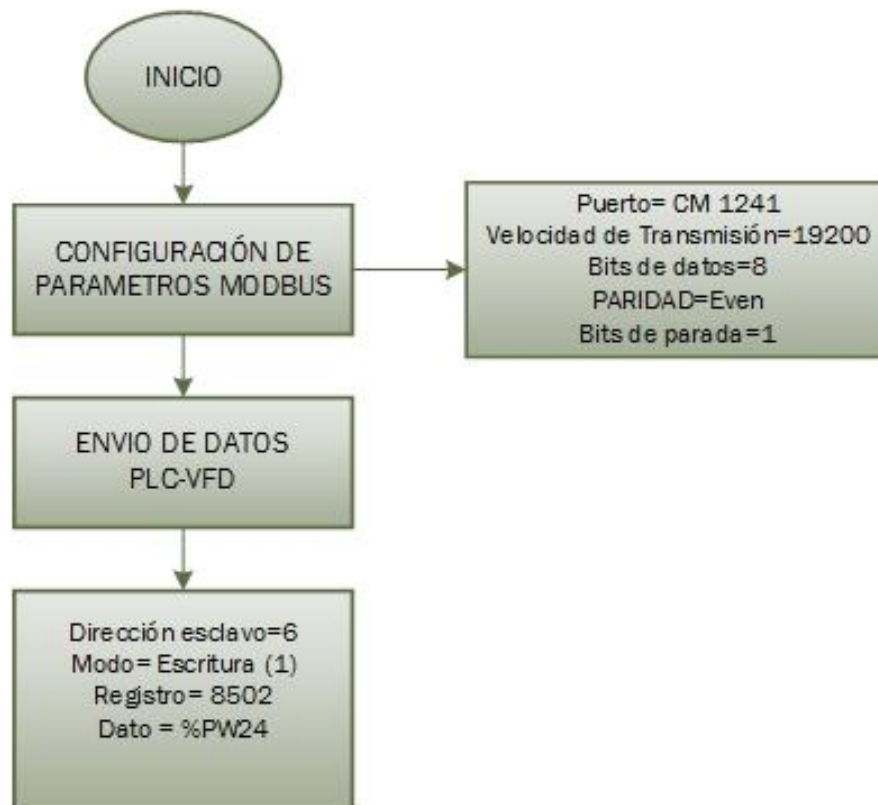


En la Figura 29 se puede observar los principales bloques de programación que forman parte del diagrama de flujo general del proceso de programación del módulo didáctico.



**Figura 29 Diagrama general de programación**

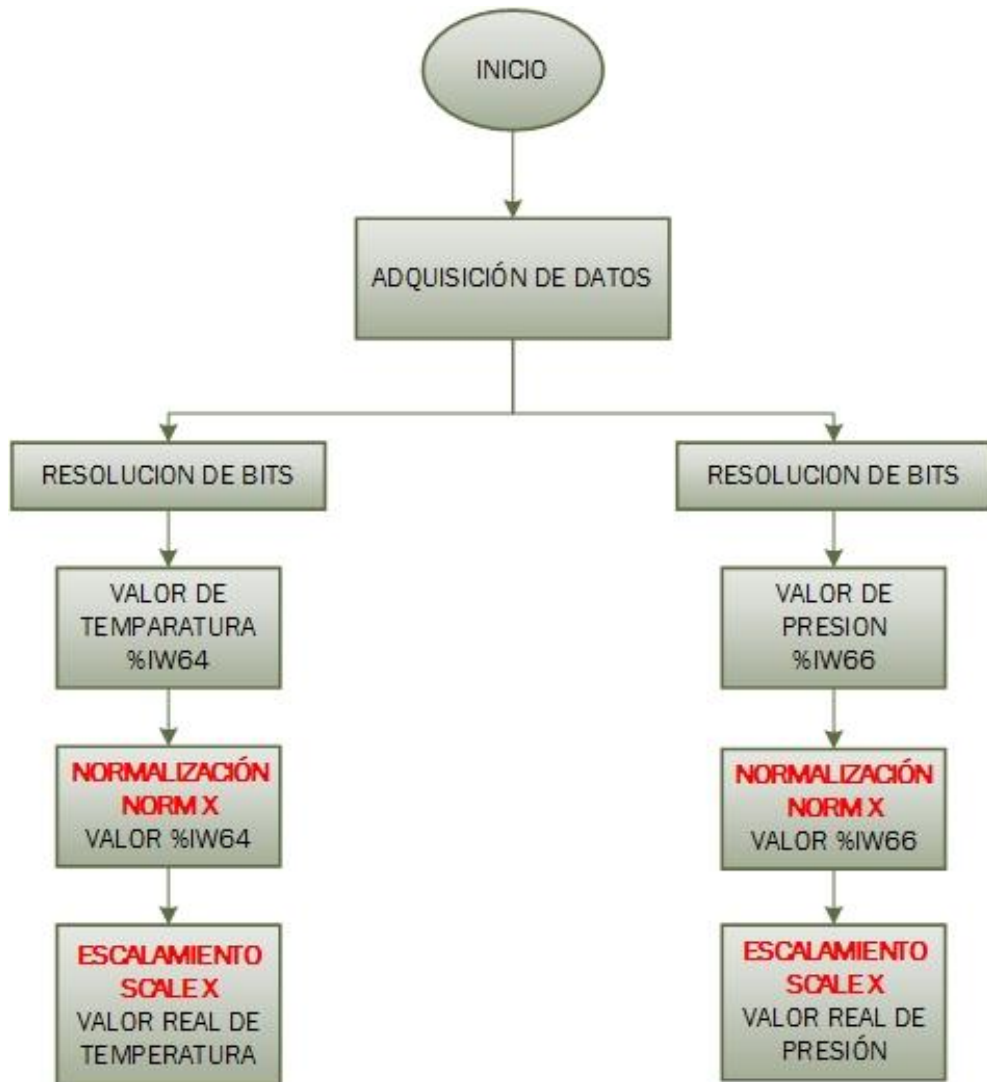
En la figura 30 se puede observar el diagrama de flujo de la configuración de parámetros modbus en donde se establece la velocidad de transmisión, bits de datos, paridad y bits de parada.



**Figura 30 Parámetros de comunicación Modbus RS-485**

La adquisición de datos se realiza por medio de dos canales, en el canal 0 está conectado el sensor de temperatura y se adquiere la señal de voltaje de 0-10V por medio de la dirección IW64, el sensor de presión está conectado en el canal 1 y se adquiere la señal de voltaje de 0-10V por medio de la dirección IW66, una vez que se adquiere el valor en bits se normaliza y escala los datos para tener una lectura real de los sensores.

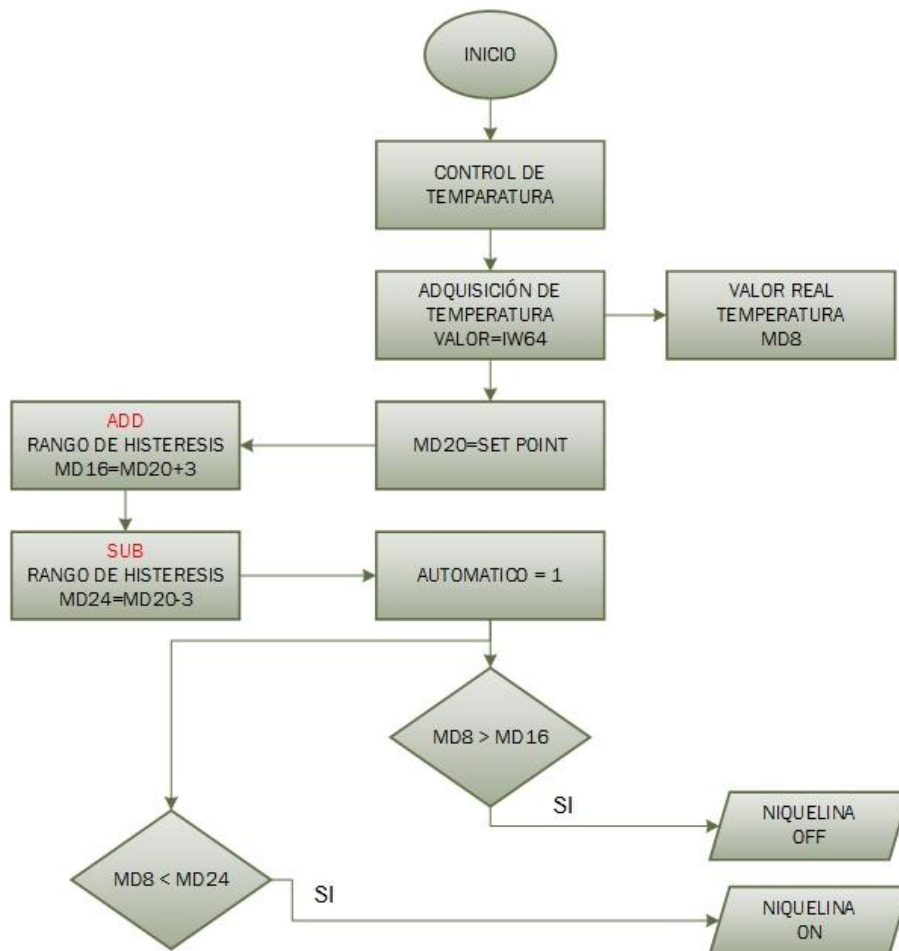
En la Figura 31 se muestra las principales partes del diagrama de flujo para la adquisición de datos analógicos del sensor de temperatura y presión.



**Figura 31 Diagrama de flujo de la adquisición de los valores analógicos del PLC**

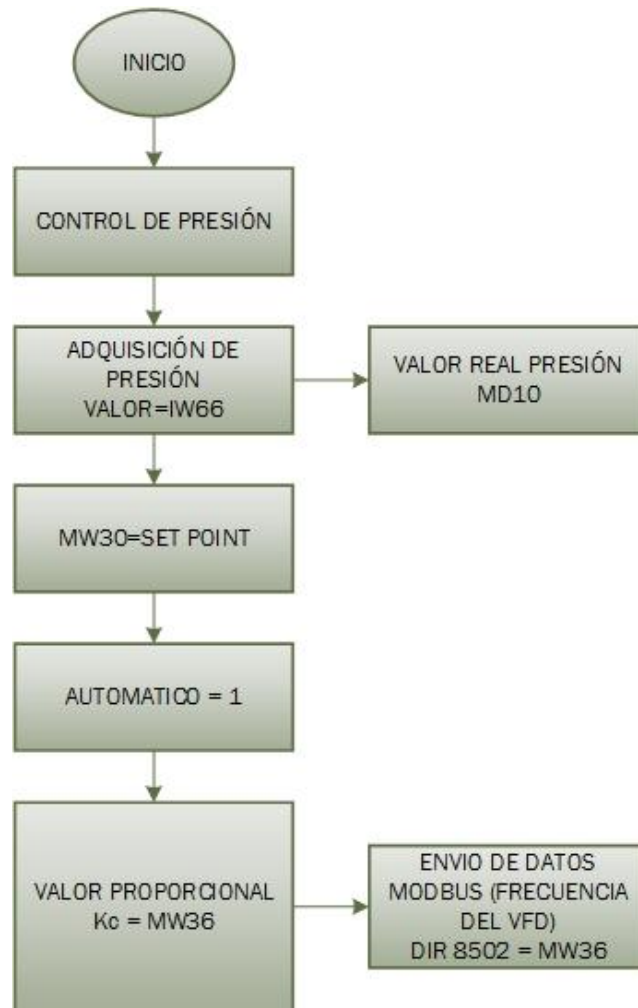
En el modo automático se realiza el control de temperatura y presión, en donde para la temperatura se realiza un control ON-OFF con histéresis.

Se adquiere el valor real del sensor en grados centígrados, luego al valor del Set Point se suma y resta un rango de histéresis de 3 para realizar la comparación de los dos valores y desarrollar para lógica de control como se muestra en la Figura 32.



**Figura 32 Diagrama de flujo del control automático de temperatura**

En la Figura 33 se muestra el diagrama de flujo del control automático de presión que se realiza por medio de un control proporcional, dependiendo del valor del Set Point y el valor del sensor de presión se establece un valor Kc que es proporcional al valor de la frecuencia escrita en la dirección modbus del variador de frecuencia.



**Figura 33 Diagrama de flujo del control automático de presión**

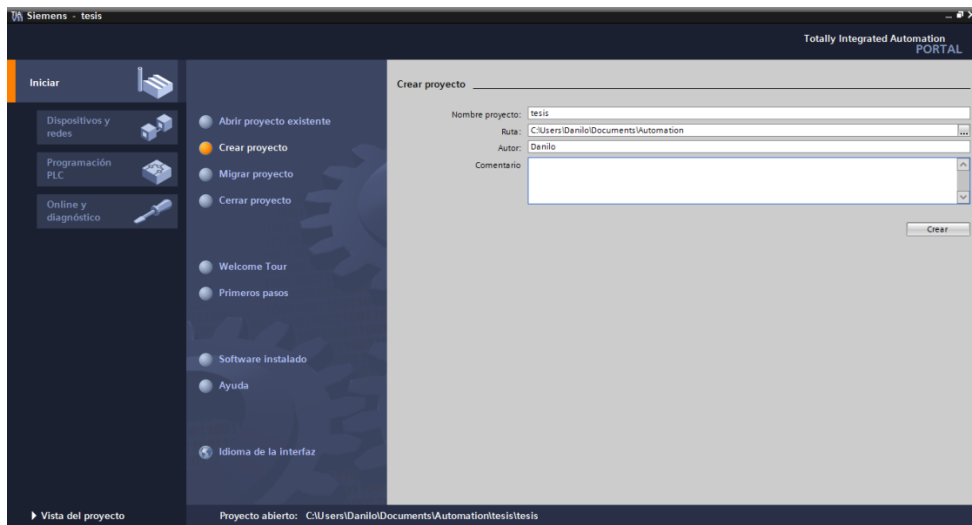
#### **4.17.2 Controlador lógico programable**

La programación se realiza en la plataforma Tia Portal, se adquieren todas las señales del sistema así como entradas digitales, entradas analógicas de los sensores de presión y temperatura, se realiza la lógica de control del sistema a fin de cumplir los objetivos del proyecto.

##### **4.17.2.1 Creación de un proyecto en el software Tia Portal**

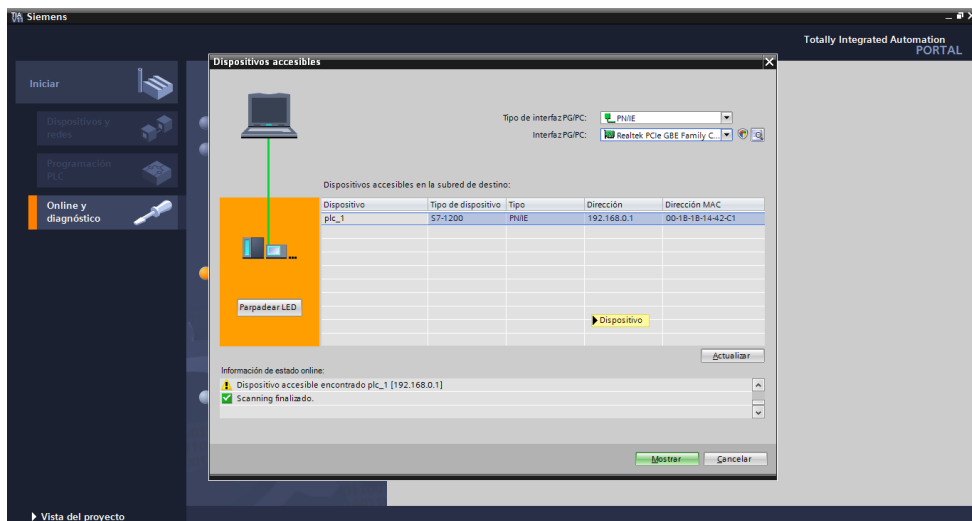
Para la creación de un nuevo proyecto ingresamos en la opción de crear proyecto y damos un nombre al proyecto.

En la figura 34 se muestra la creación de un nuevo proyecto en software Tía portal V11.



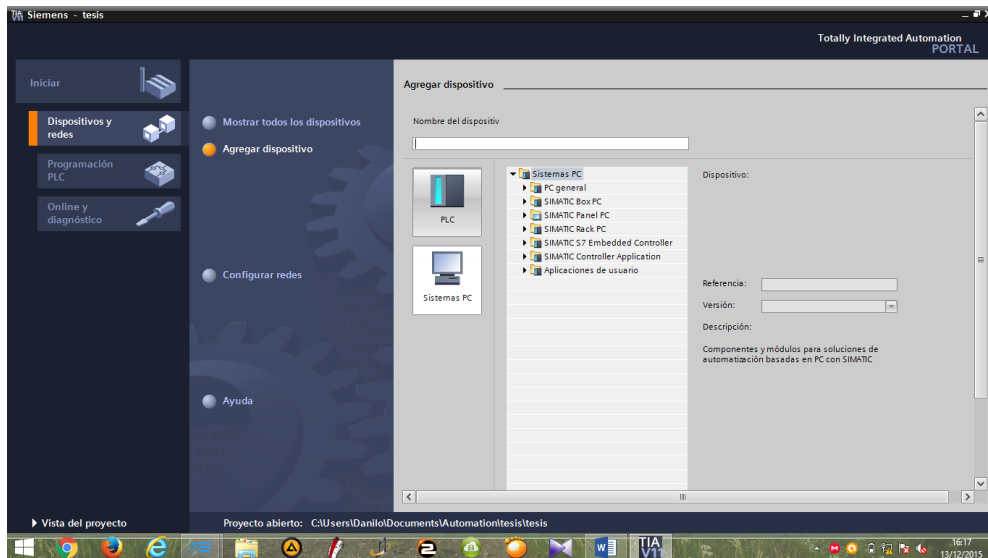
**Figura 34 Creación de un proyecto nuevo**

En la Figura 35 describimos la comunicación entre la PC y el PLC que vamos a programar, esta se lo realiza por medio de un cable de comunicación Ethernet.



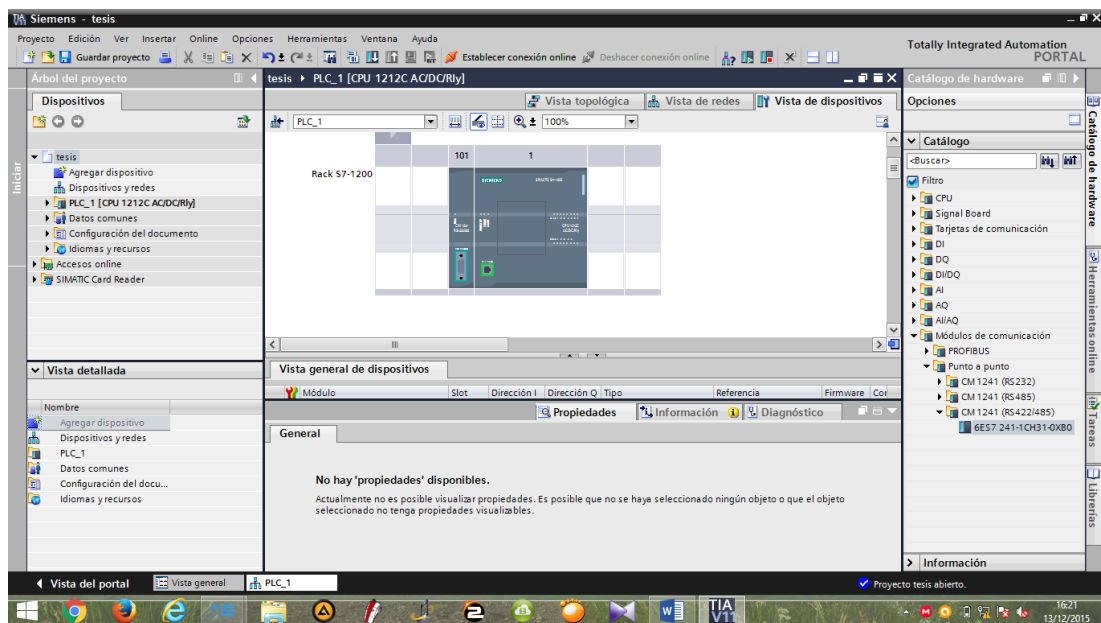
**Figura 35 Comunicación PC y PLC**

En la Figura 36 escogemos el modelo de cpu del PLC que vamos a utilizar para empezar la programación el CPU 1212AC/DC RELAY.



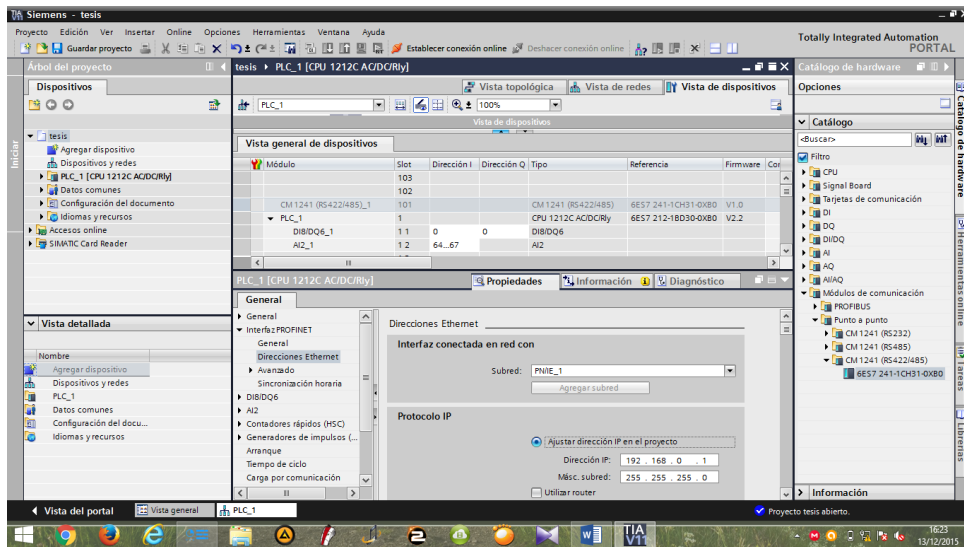
**Figura 36 Agregar dispositivo**

Una vez seleccionad el modelo de PLC escogemos el módulo de comunicación RS-485 como se muestra en la Figura 37.



**Figura 37 Añadir módulo de comunicación RS-485**

En la Figura 38 se muestra la configuración de la dirección IP entre el PLC y la computadora.



**Figura 38 Configuración dirección IP entre el PLC**

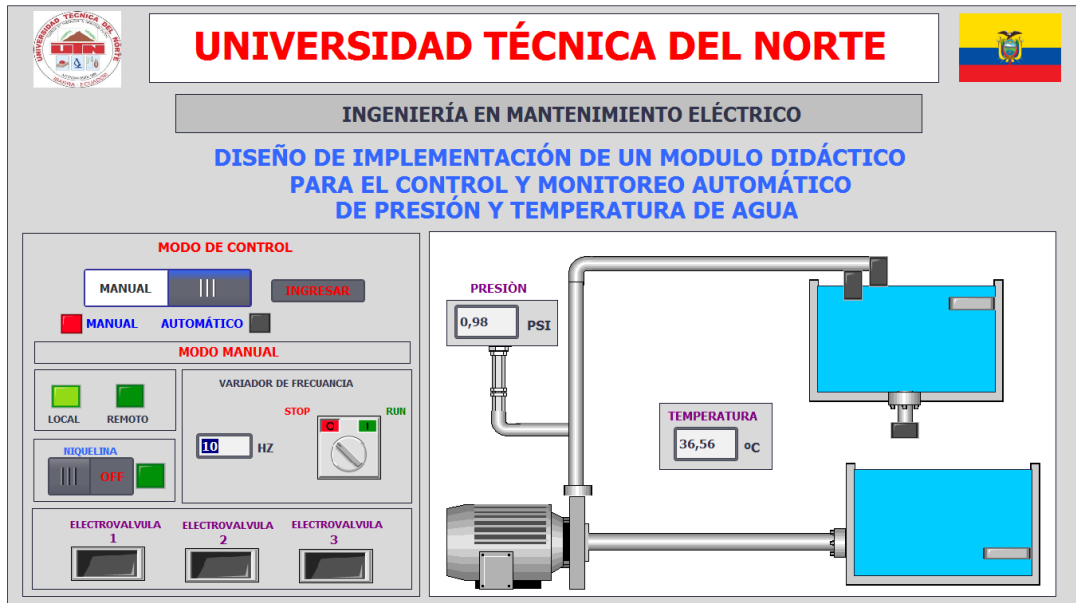
En el Anexo 4: Programa del PLC S7-1200 del módulo didáctico se muestra en detalle los segmentos de programación del controlador lógico programable del módulo didáctico.

#### 4.17.3 Interfaz HMI

La interfaz HMI se desarrolla en la plataforma WinCC del software Tia Portal, en la Figura 39 se muestra la interfaz de usuario en la cual se escoge el modo de control MANUAL o AUTOMATICO, en el modo manual del sistema se puede accionar los diferentes elementos que conforman el sistema de dos maneras localmente o remotamente.

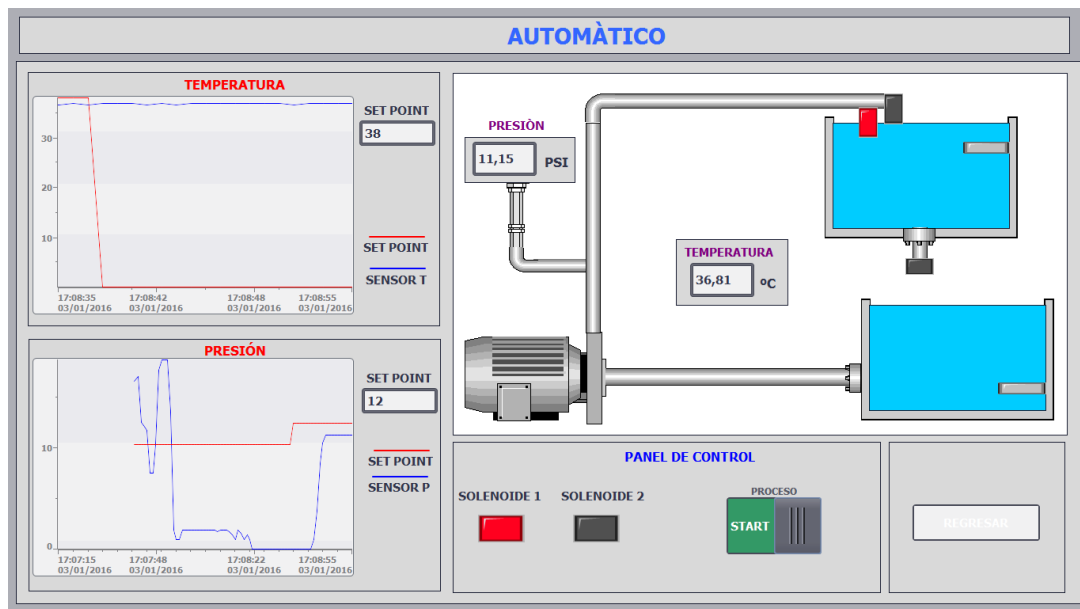
Además se puede apreciar un mímico de todo el sistema, el cual consta de un tanque de almacenamiento y un tanque principal, los sensores y actuadores del sistema.





**Figura 39 Interfaz HMI principal, modo manual**

En la Figura 40 se muestra el modo automático en el cual se puede establecer al Set Point de la temperatura y la presión a fin de que el PLC realice la lógica de control para el desarrollo del proceso en modo automático.



**Figura 40 Interfaz HMI, modo automático**

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Una vez finalizó el diseño y la implementación del módulo didáctico para el monitoreo y control automático de presión y temperatura de agua, así como también la culminación total de lo establecido en la propuesta al inicio del trabajo de grado, se tiene las siguientes conclusiones:

- Resulta importante la elaboración de un módulo didáctico con equipos reales utilizados en el área industrial ya que permite a los estudiantes afianzar los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas y así poder manipularlos sin ningún inconveniente.
- Para tener mejor exactitud de los sensores es necesario utilizar señales de corriente, pero para el módulo didáctico es suficiente la utilización de señales de voltaje, ya que no es considerable la distancia entre el PLC y los sensores, por lo cual, no existen caídas de voltaje ni interferencias en las señales.
- Para la comunicación entre el variador de frecuencia y el PLC se escogió el módulo de comunicación CM-1241, que tiene protocolo de comunicación Modbus RTU vía RS-485, porque con este tipo de comunicación no se tiene problemas con ruidos y perturbaciones eléctricas generadas al momento de operar el módulo.
- El módulo didáctico cuenta con un control automático de presión y temperatura, y adicionalmente durante las pruebas se determinó la necesidad de agregar un control manual para comprobar el funcionamiento de cada uno de los dispositivos y así poder detectar cualquier anomalía que podría presentarse en el proceso.

- El software TIA Portal es un programa elaborado por Siemens para la programación del PLC S7-1200 y por medio de este módulo didáctico se ayudará al estudiante a comprender el lenguaje con el cual se programa en el mismo.
- Se optó en una bomba periférica para el proceso de presión del módulo, ya que la característica técnica se acopla a los equipos de control, además la bomba tiene un buen rendimiento al momento de trabajar con presiones altas y su precio es económico y a la vez posee un bajo consumo eléctrico.

## **5.2 Recomendaciones**

Para el buen funcionamiento del módulo y para prevenir accidentes por causa de un mal manejo del módulo se recomienda:

- Antes de empezar a manipular el módulo didáctico se debe leer y entender la información de las prácticas, con el objetivo de conocer todos los recursos que posee, evitando así la mala manipulación, operación y daños en el mismo.
- En base a pruebas realizadas y tomando en cuenta las características técnicas de la bomba de presión de agua, se hace énfasis de no elevar la frecuencia más allá de los 60 Hz, para no causar desgastes de las partes internas de la misma.
- Al momento de realizar pruebas funcionales en modo manual, así como también cuando se opere la temperatura en el modo automático, tener cuidado de no sobre pasar los 50 °C, para prevenir daños en las partes internas de la bomba y posibles lesiones por quemadura a las personas que operan el módulo.

- En lo referente a la programación tener cuidado al momento de realizar cambios, en el PLC, se debe tener en cuenta que las variables creadas corresponden a los enlaces creados en el HMI, por lo que se puede crear errores en la operación del módulo.
- Realizar mantenimiento de los instrumentos y partes eléctricas de acuerdo con los planes que recomienda el fabricante.

## CAPITULO VI

### BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

#### 6.1 BIBLIOGRAFÍA

- Creus, A. (2009). *Instrumentación industrial* (octava ed.). Cataluña, España: Alfaomega.
- Gassmann, E., & Gries, A. (2011). *Extracto de Elektronische Druckmesstechnik*. Madrid, España: Verlag Moderne Industrie.
- Mengual, P. (2009). *Una manera fácil de programar PLC de Siemens*. Barcelona, España: Marcombo.
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*. México D. F.: Prentice Hall.
- Oliva, A. N., & Alonso, C. G. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*. Barcelona, España: UNED.
- Rodríguez, P. A. (2007). *Sistemas SCADA*. México, D. F.: Alfaomega.

#### 6.2 LINKOGRAFÍA

- Acim, J. (2009). *Calentadores de inmersión antideflagrantes*. Recuperado el 15 de enero de 2015, de [http://www.acim-jouanin.fr/espagnol/calentadores\\_inmersion\\_atex.html](http://www.acim-jouanin.fr/espagnol/calentadores_inmersion_atex.html)
- Aquality. (2015). *Electrobombas - Aquality H2O - Tecnología y Calidad en Aguas*. Recuperado el 05 de octubre de 2015, de <http://www.aqualityperu.com/electrobombas.html>
- Campos, D., & Velasco, H. (octubre de 2014). Recuperado el 05 de enero de 2015, de *Hacia un concepto moderno de la automatización industria*: <http://issuu.com/doriannys/docs/tema10-scada-unidad>
- Congo P., J. (2010). *Principios de funcionamiento de la instrumentación de presión electrónica*. Recuperado el 15 de junio de 2015, de <http://www.bloginstrumentacion.com/blog/2010/06/28/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>
- Copadata. (2013). Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de *Interfaz Hombre-máquina (IHM) - Human-Machine Interface (HMI) - COPA-DATA*:

<http://www.copadata.com/es/productos/product-features/interfaz-hombre-maquina-hmi.html>

- De la Fuente, M. J. (2011). *Ingeniería de Sistemas y Automática*. (U. d. Valladolid, Editor) Recuperado el 20 de julio de 2015, de <http://www.fim.umich.mx/teach/ifranco/notas/C6-Detectores%20sensores%20y%20transductores%20E.pdf>
- Direde. (2015). *Bombas Centrifugas Horizontales y Verticales*. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de [www.suministrosindustrialesrede.com/node/5](http://www.suministrosindustrialesrede.com/node/5)
- Electricfor. (2009). *Resistencias para inmersión - Electricfor - Resistencias electricas*. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de <http://www.electricfor.es/es/16523/Resistencias-para-inmersion.htm>
- EMERSON. (2014). *Trasmisor*. Recuperado el 10 de agosto de 2015, de <http://www2.emersonprocess.com/en-us/brands/rosemount/pages/index.aspx>
- Flores, O. (2014). *Sensor de temperatura*. Recuperado el 15 de diciembre de 2015, de [https://prezi.com/21\\_rga5-oihu/sensor-de-temperatura/](https://prezi.com/21_rga5-oihu/sensor-de-temperatura/)
- García, J. (2012). *Sistemas de control - lazo abierto -lazo cerrado*. Recuperado el 10 de octubre de 2015, de [http://www.academia.edu/7885227/Sistemas\\_de\\_control\\_-\\_lazo\\_abierto\\_-\\_lazo\\_cerrado](http://www.academia.edu/7885227/Sistemas_de_control_-_lazo_abierto_-_lazo_cerrado)
- Hernández, J. (2013). *Transductores eléctricos*. Recuperado el 18 de mayo de 2015, de <http://josehernandez11.blogspot.com/2013/07/tipos-de-transductores-electricos.html>
- Javier, T. C. (2015). *Sistemas de Control - lazo abierto -lazo cerrado | javier garcia - Academia.edu*. Obtenido de [http://www.academia.edu/7885227/Sistemas\\_de\\_control\\_-\\_lazo\\_abierto\\_-\\_lazo\\_cerrado](http://www.academia.edu/7885227/Sistemas_de_control_-_lazo_abierto_-_lazo_cerrado)
- Martínez, S. (27 de agosto de 2014). *Instrumentación y Comunicaciones Industriales - Historia de los PLC*. Recuperado el 20 de enero de 2015, de [https://prezi.com/xlnbaw8zafq\\_/plcs/](https://prezi.com/xlnbaw8zafq_/plcs/)
- Medirtemperatura. (2015). *Sensor de Temperatura*. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de <http://medirtemperatura.com/sensor-temperatura.php#>
- Monogas, M. (2009). *Teoría de la Automatización*. Recuperado el 10 de julio de 2015, de <http://sergio527-tgs.blogspot.com/2010/05/tipos-de-automatizacion.html>

- Mott, R. L. (2011). *Mecánica de ruidos aplicada*. México, D. F.: Pearson Ltada. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=xUavR0u66PEC&pg=PA9&lpg=PA9&dq=%22La+presi%C3%B3n+act%C3%BAa+uniformemente+en+todas+direcciones+sobre+un+peque%C3%B1o+%22&source=bl&ots=wPCquIOuKP&sig=tn8Z2agJDtDa87jLDImua8RAVLQ&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjQjLaS2ovLAhV>
- Ortega, D. (noviembre de 2009). *Soluciones Técnicas: Transductores y sensores*. Recuperado el 15 de octubre de 2015, de <http://ortegaprecisiones.blogspot.com/2009/11/transductores-y-sensores.html>
- Ponsa A., P., & Arbós V., R. (2009). *Automatización de procesos emdiante guía gemma*. (UPC, Editor) Recuperado el 10 de enero de 2015, de [http://www.e-buc.com/portades/9788498800227\\_L33\\_23.pdf](http://www.e-buc.com/portades/9788498800227_L33_23.pdf)
- Portland State. (2014). *Lecture:solenoid\_valves*. Obtenido de [http://web.cecs.pdx.edu/~me121/doku.php?id=lecture:solenoid\\_valves](http://web.cecs.pdx.edu/~me121/doku.php?id=lecture:solenoid_valves)
- Rodríguez, P. A. (2007). *Sistemas SCADA*. México, D. F.: Alfaomega.
- Saca R., R. (2012). *Sensores y transductores*. Recuperado el 30 de mayo de 2015, de <http://www.uhu.es/diego.lopez/ICI/Transductores%20de%20velocidad.pdf>
- SIEMENS. (2014). *Tia portal*. Recuperado el 12 de agosto de 2015, de <http://www.industry.siemens.com/topics/global/es/tia-portal/pages/default.aspx>
- Weg. (2015). *Selección y aplicación de variadores de velocidad*. Recuperado el 16 de diciembre de 2015, de <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-seleccion-y-aplicacion-de-variadores-de-velocidad-articulo-tecnico-espanol.pdf>
- Yubasolar. (2015). *Bombas de agua*. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de <http://www.yubasolar.net/2015/04/bombas-de-agua.html>

### 6.3 ANEXOS

### **6.2.1 ANEXO 1: Comunicación modbus entre el PLC siemens S7-1200 y el variador de frecuencia altivar 312 de Schneider.**

#### **PRACTICA 1**

Comunicación modbus entre el PLC siemens S7-1200 y el variador de frecuencia altivar 312 de Schneider.

#### **OBJETIVO**

- Establecer la comunicación mediante el protocolo de comunicación modbus RS-485 entre el PLC S7-1200 y el variador de frecuencia altivar 312.
- Establecer los parámetros principales del protocolo de comunicación modbus RTU, tanto en el PLC como en el variador de frecuencia.

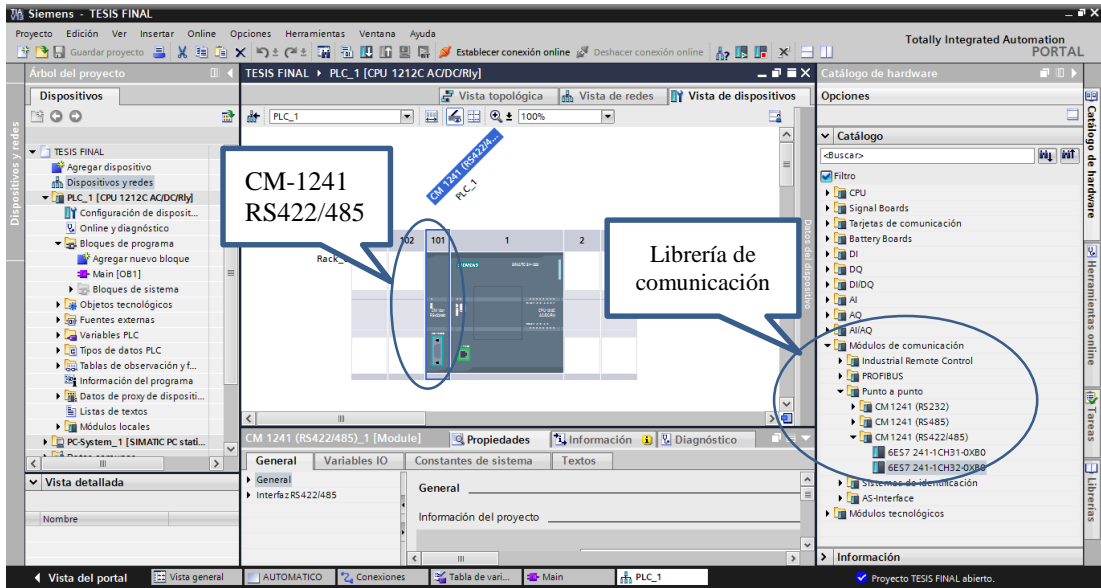
#### **DESARROLLO**

Una vez establecida la comunicación entre el PLC y la plataforma Tia portal en el ordenador como se muestra en el capítulo IV en el punto creación de un proyecto en el software Tia Portal, se procede a añadir el módulo que nos permite la comunicación Modbus RTU, para luego realizar la configuración de los parámetros propios del protocolo y finalmente la programación de los bloques de comunicación en el PLC.

El primer paso para realizar la comunicación modbus RS-485 entre el PLC S7-1200 y el variador de frecuencia 312 es añadir el módulo de comunicación CM 1241.

En la Figura 41 se muestra como se añade el CM 1241 de la librería de módulos de comunicación del Tía portal.





**Figura 41 Módulo de comunicación CM 1241**

La comunicación modbus necesita de la configuración de varios parámetros propios de la comunicación, estos parámetros son compartidos por todos los dispositivos que se van a enlazar.

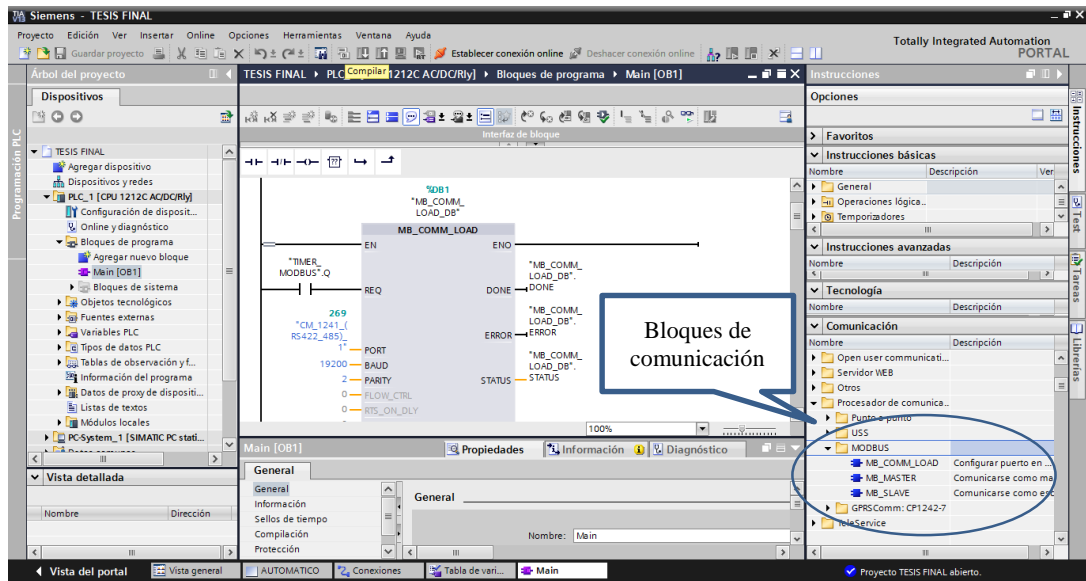
En la Figura 42 se muestra los diferentes parámetros como la dirección modbus, la velocidad de transmisión y el formato modbus.



**Figura 42 Parámetros establecidos en el protocolo Modbus RS-485**

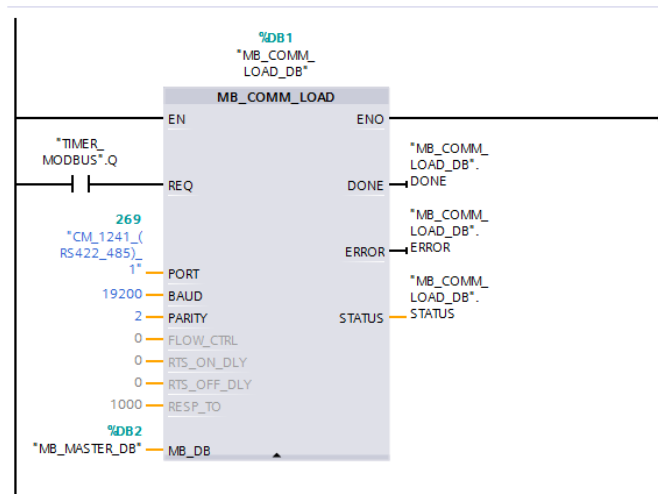
Una vez establecidos los parámetros de comunicación, se procede a realizar la programación en el PLC, para ello la plataforma Tia portal posee una librería de comunicación en donde se encuentra el protocolo MODBUS.

En la Figura 43 se muestra la librería de comunicación, donde se encuentra los bloques de programación a utilizar.



**Figura 43 Librería de comunicación modbus**

El bloque "MB\_COMM\_LOAD" configura un puerto para la comunicación mediante el protocolo Modbus RTU, después de configurar el puerto la comunicación se realiza a través de Modbus ejecutando la instrucción "MB\_SLAVE" o "MB\_MASTER".



**Figura 44 Parámetros del bloque COMM\_LOAD**

La instrucción "MB\_COMM\_LOAD" debe ser llamado una vez para configurar el puerto para el protocolo Modbus-RTU. Tras terminar la configuración, el puerto puede ser utilizado por las instrucciones "MB\_MASTER" y "MB\_SLAVE".

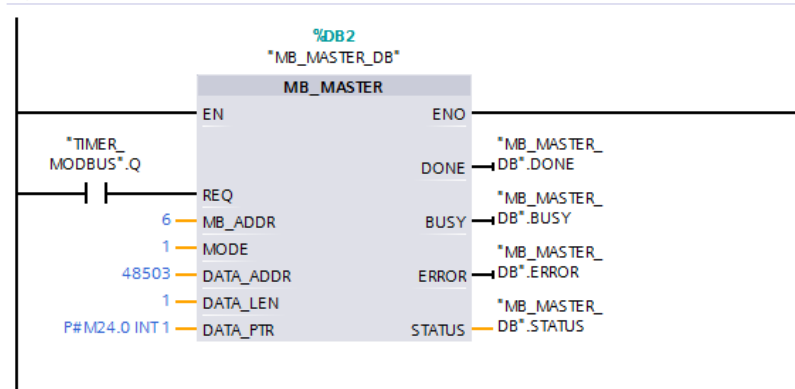
En la Tabla 14 se muestra los parámetros de la instrucción "MB\_COMM\_LOAD".

**Tabla 14 Parámetros de la instrucción “MB\_COMM\_LOAD”**

Parámetro	Tipo de dato	Descripción
<b>REQ</b>	BOOL	Ejecución de la instrucción con flanco ascendente.
<b>PORT</b>	UINT	Identificación del puerto de comunicación:  Tras haber insertado el módulo de comunicación en la configuración de dispositivos, la identificación de puerto aparece en la lista desplegable de la conexión del cuadro PORT. Esta constante también se puede referenciar en la tabla de variables de la ficha "Constantes".
<b>BAUD</b>	UDINT	Selección de la velocidad de transferencia:  300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 76800, 115200  Todos los demás valores no son válidos.
<b>PARITY</b>	UINT	Selección de la paridad:  0 – Ninguna 1 – Impar 2 – Par

La instrucción "MB\_MASTER" permite al programa comunicarse como maestro modbus a través del puerto de un módulo punto a punto CM 1241. Es posible acceder a los datos de uno o varios dispositivos esclavo Modbus.

Para que la instrucción "MB\_MASTER" pueda comunicarse con un puerto, se debe ejecutar previamente "MB\_COMM\_LOAD", cuando se inserta la instrucción "MB\_MASTER" en el programa, se crea un DB de instancia.



**Figura 45 Parámetros del bloque MASTER**

En la Tabla 15 se muestra los parámetros de la instrucción "MB\_MASTER":

**Tabla 15 Parámetros de la instrucción "MB\_MASTER"**

Parámetro	Tipo de dato	Descripción
<b>REQ</b>	BOOL	Entrada de solicitud:  0 – Ninguna solicitud  1 – Solicitud de enviar datos a esclavo(s) Modbus
<b>MB_ADDR</b>	UINT	Dirección de estación Modbus RTU:  Área de direccionamiento estándar: 0 a 247  Área de direccionamiento ampliada: 0 a 65535
<b>MODE</b>	USINT	Modo de selección: Indica el tipo de solicitud: lectura, escritura o diagnóstico.
<b>DATA_ADDR</b>	UDINT	Dirección inicial en el esclavo: indica la dirección inicial de los datos a los que se debe acceder en el esclavo Modbus.
<b>DATA_LEG</b>	UINT	Longitud de datos: indica el número de bits o palabras a los que debe acceder esta solicitud.

La dirección 8503 es el registro del variador de frecuencia donde se puede leer o escribir el valor de la frecuencia.

## **6.2.2 ANEXO 2: Adquisición de datos analógicos con el PLC S7-1200, sensor de temperatura y sensor de presión.**

### **PRACTICA 2**

Adquisición de datos analógicos con el PLC S7-1200, sensor de temperatura y sensor de presión.

#### **OBJETIVO**

- Realizar la adquisición de los valores analógicos del sensor de temperatura y sensor de presión por medio de los canales analógicos del PLC siemens S7-1200.
- Normalizar y escalar los datos de los canales analógicos del PLC y convertirlos en valores reales.

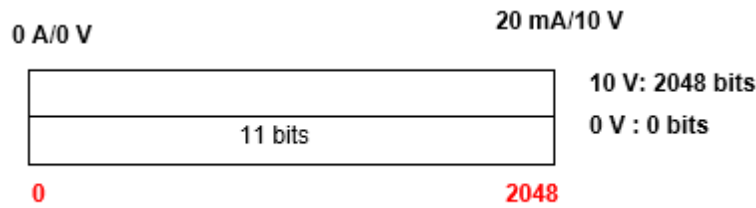
#### **DESARROLLO**

Las señales analógicas pueden adoptar cualquier valor dentro de un rango determinado, un ejemplo de magnitudes analógicas utilizadas en el módulo didáctico son:

- Temperatura De 0 a 100 °C
- Presión De 0 a 50 Psi

Si se procesan magnitudes analógicas con un PLC, el valor de tensión, intensidad o resistencia leído debe convertirse en información digital. Esta transformación se denomina conversión analógica-digital (conversión A/D), cuantas más posiciones binarias se utilicen para la representación digital, más fina será la resolución. Los convertidores A/D habituales en la tecnología de control trabajan con 8 o con 11 bits.

En la Figura 46 se muestra una lectura analógica-digital de 11 bits, 2048 áreas individuales.



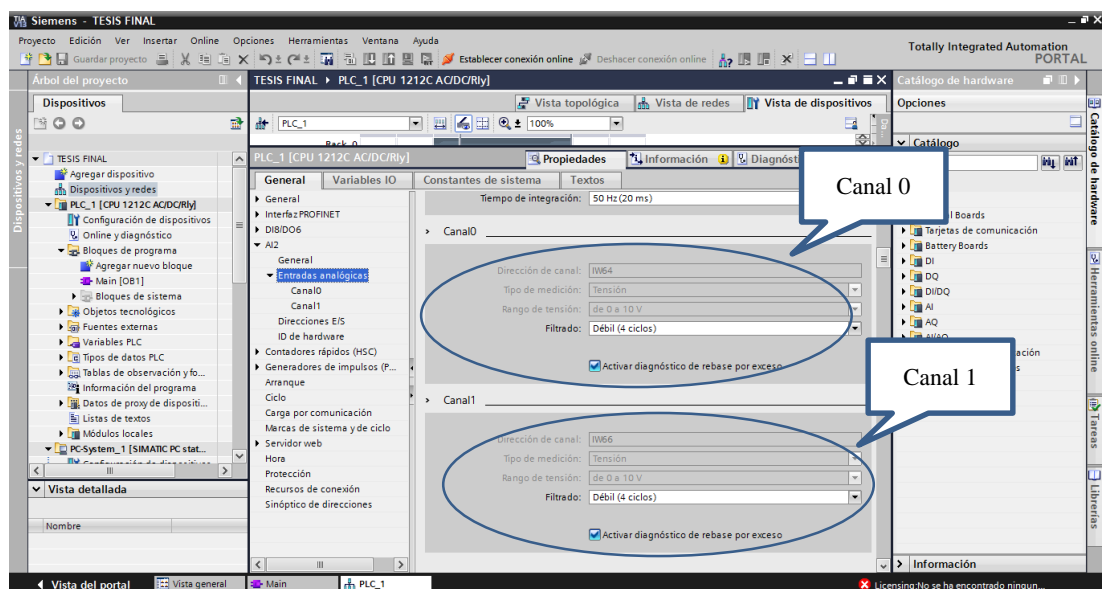
**Figura 46 Lectura de un valor analógico en un PLC**

Los valores analógicos se leen o se emiten como palabras en el PLC. El acceso a esas palabras se realiza por medio de los dos canales que dispone el PLC

- Canal 0, dirección %EW 64
- Canal 1, dirección %AW 80

La dirección de la primera entrada analógica sería %EW 64, la de la segunda entrada analógica, %EW 66. La transformación del valor analógico para su posterior procesamiento en el PLC es el mismo en las entradas y en las salidas analógicas.

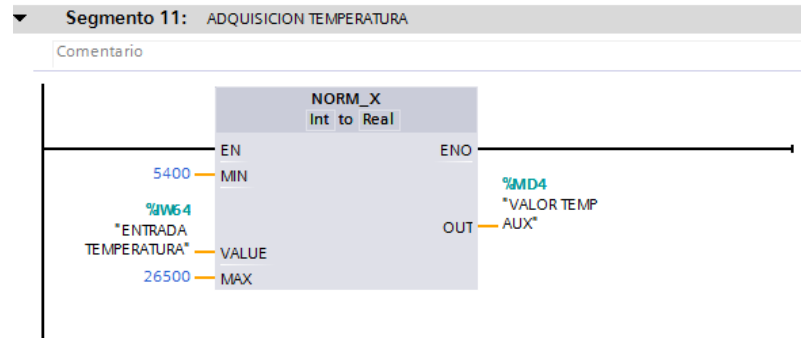
En la Figura 47 se muestra los canales que se usan para la lectura de las variables analógicas.



**Figura 47 Canales analógicos del PLC**

Si se dispone de un valor de entrada analógico en forma digitalizada, este debe además normalizarse por regla general para que los valores numéricos coincidan con las magnitudes físicas en el proceso.

En el programa STEP 7, para la normalización se recurre al bloque como se muestra en la Figura 48.

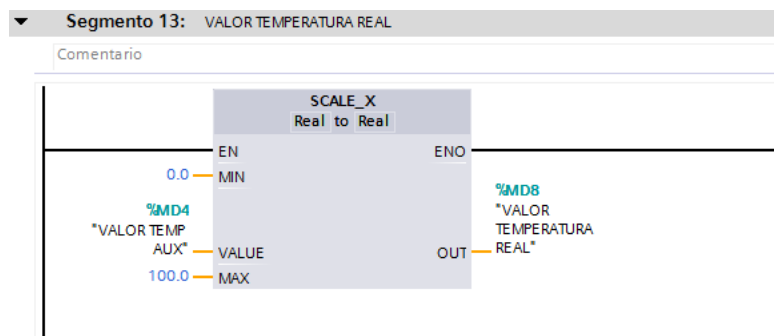


**Figura 48 Instrucción de normalización**

Si se requiere que el valor leído esté dentro de un rango específico se debe realizar un proceso de escalado, La instrucción para escalar en S7-1200 es SCALE\_X, que escala el valor de la entrada VALUE mapeándolo en un determinado rango de valores.

Al ejecutar la instrucción "Escalar", el número en coma flotante de la entrada VALUE se escala al rango de valores definido por los parámetros MIN y MAX. El resultado de la escala es un número entero que se deposita en la salida OUT.

En el programa STEP 7, para el escalamiento se recurre al bloque como se muestra en la Figura 49.



**Figura 49 Instrucción de escalamiento**

## 6.2.3 ANEXO 3: Elaboración de una interfaz HMI con la plataforma WinCC

### PRACTICA 3

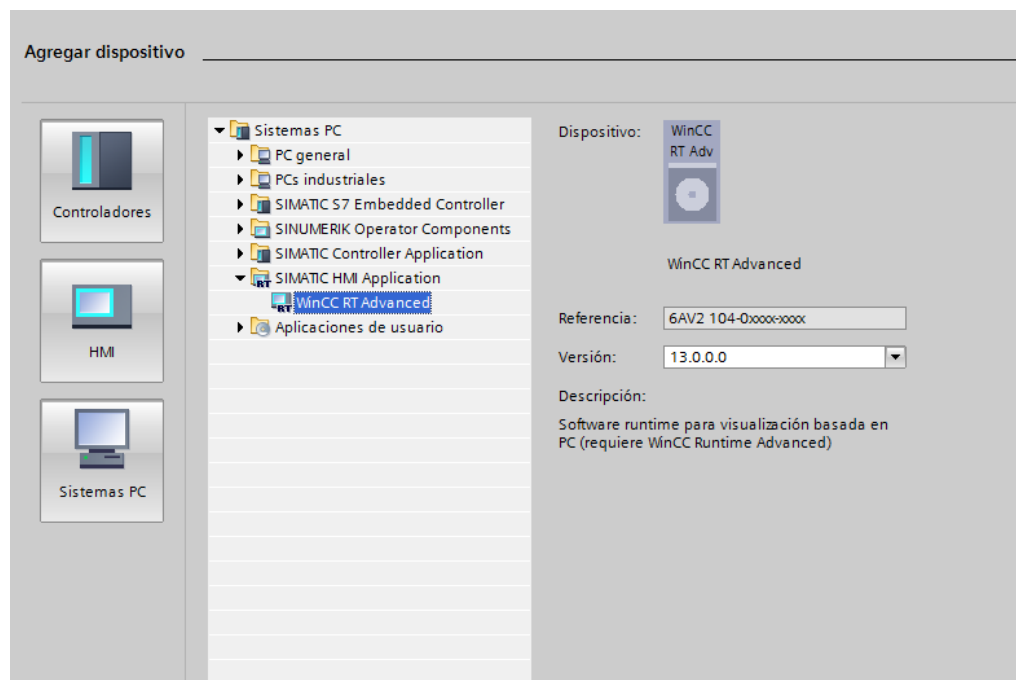
Elaboración de una interfaz HMI con la plataforma WinCC V13.

#### OBJETIVO

- Elaborar una interfaz de usuario para poder visualizar las variables de interés y el proceso del módulo didáctico.
- Enlazar la información que adquiere el controlador lógico programable y pasarlo a la interfaz HMI

#### DESARROLLO

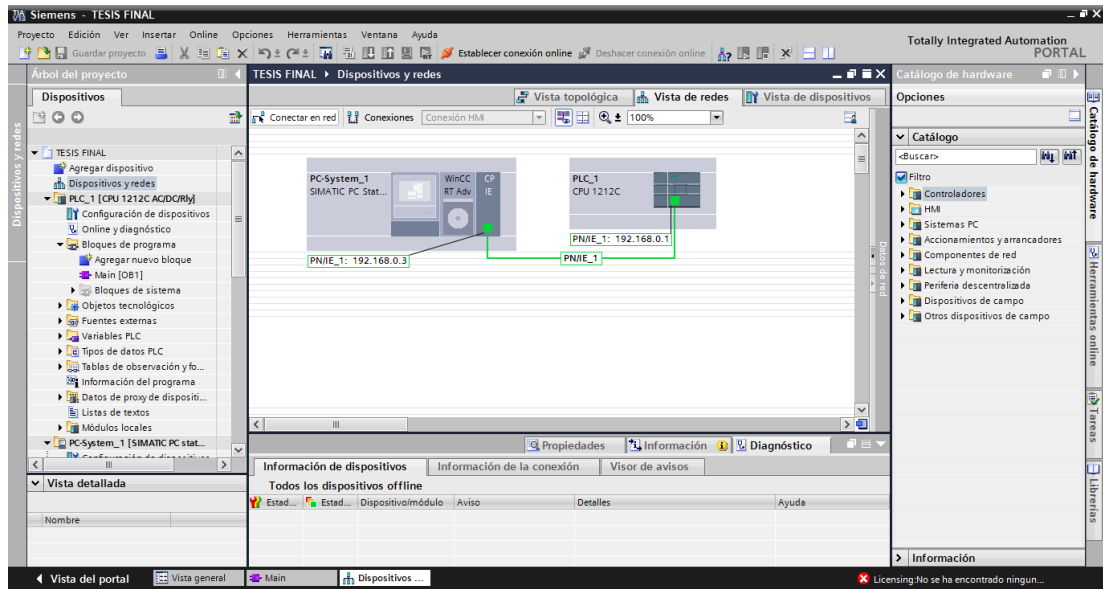
Una vez añadido el PLC se crea un nuevo dispositivo, en este caso WinCC RT Advanced, como se muestra en la Figura 50.



**Figura 50 Creación de la interfaz en WinCC RT Advanced**

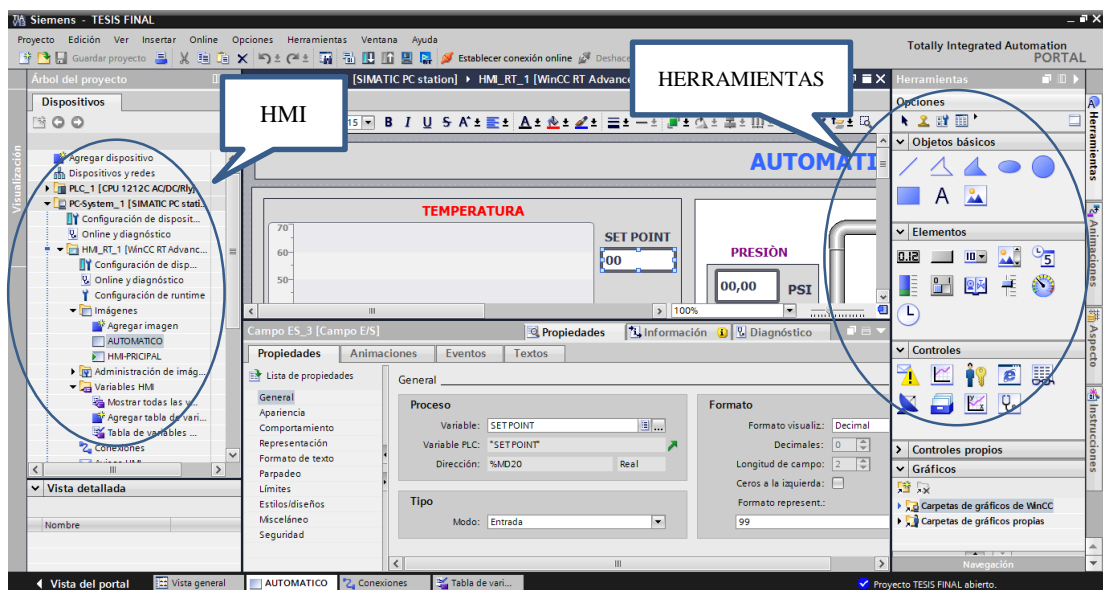


Para enlazar el controlador lógico programable con la interfaz HMI se coloca los dos dispositivos en la misma red “PN/IE 1”, en donde el PLC tiene una dirección IP “192.168.0.1” y el HMI una dirección IP “192.168.0.2”, como se muestra en la Figura 51.



**Figura 51 Dispositivos en la red “PN/IE 1”**

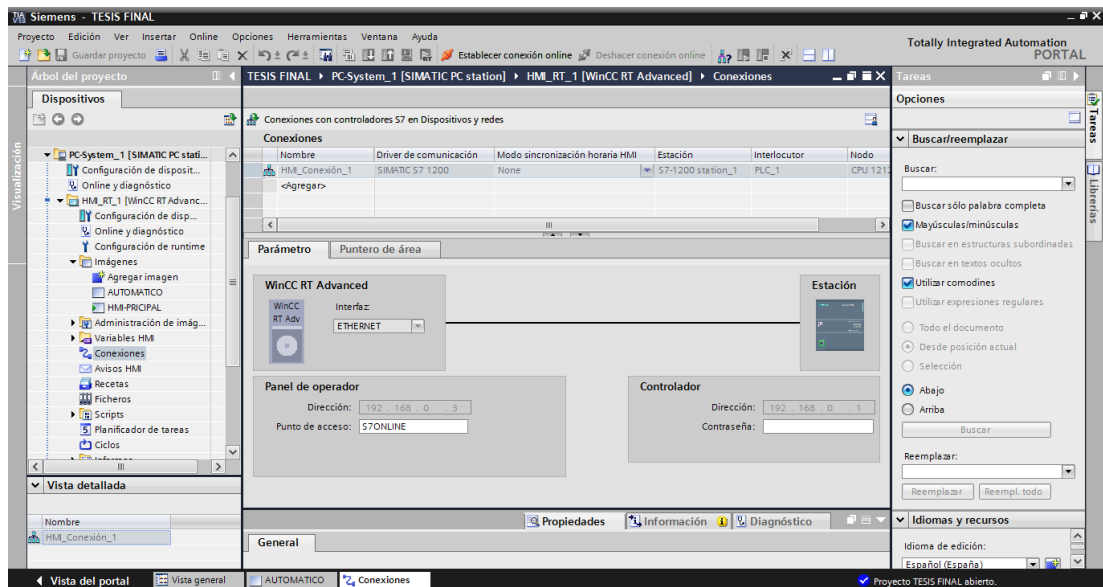
En la parte izquierda del navegador se encuentra los diferentes menús para la configuración y programación del HMI, y en la parte derecha se encuentran las diferentes herramientas y librerías para la creación de las pantallas HMI, como se muestra en la Figura 52.



**Figura 52 Área de trabajo de la plataforma WinCC**

En la Figura 52 se muestra también la asignación de las variables del PLC hacia el HMI.

Una vez realizada la asignación de variables se crea automáticamente una conexión como se muestra en la Figura 53.



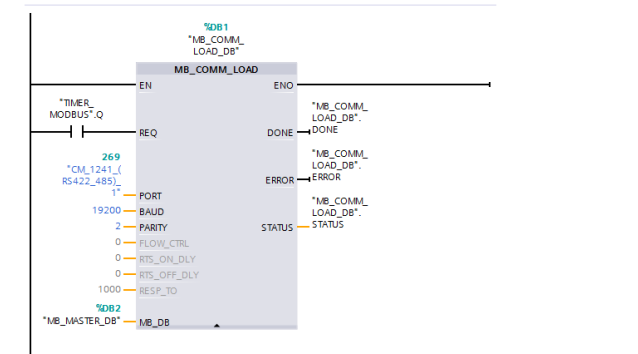
**Figura 53 Conexión entre el PLC y HMI**

En la opción lista de variables HMI se encuentra las diferentes variables usadas en las pantallas HMI.

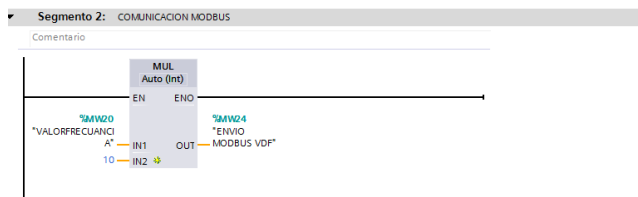
Nombre	Tipo de datos	Contenido	Nombre PLC	Variable PLC	Dirección
AUX_AUTO	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	AUX_AUTO	NAD.4
AUX_MANUAL	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	AUX_MANUAL	NAD.3
EV1	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	EV1	NAD.2
LOCAL	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	LOCAL	NAD.5
MANUAL	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	MANUAL	NAD.2
MANUAL_EV2	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"MANUAL EV2"	NAD.3
MANUAL_EV3	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"MANUAL EV3"	NAD.4
MANUAL_VFD	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"MANUAL VFD"	NAD.1
MODO MANUAL EV1	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"MODO MANUAL EV1"	NAD.2
NI	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	NI	NAD.6
NI2	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	NI2	NAD.7
PULSADOR PROCESO	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"PULSADOR PROCESO"	NAD.6
REMOY	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	REMOY	NAD.5
SALIDA EV1	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"SALIDA EV1"	NAD.2
SALIDA EV2	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"SALIDA EV2"	NAD.3
SALIDA EV3	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"SALIDA EV3"	NAD.4
SALIDA MQUELUNA	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"SALIDA MQUELUNA"	NAD.0
SET POINT	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	"SET POINT"	NAD.20
SET POINT PRESION	Int	HMI_Conexión_1	PLC_1	"SET POINT PRESION"	NAD.20
Tag_2	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	"MANUAL MQUELUNA"	NAD.5
TEMPO EV1	Time	HMI_Conexión_1	PLC_1	"TEMPO EV1"	NAD.4
TEMPO EV2	Time	HMI_Conexión_1	PLC_1	"TEMPO EV2"	NAD.4
VALOR PRESION REAL	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	"VALOR PRESION REAL"	NAD.10
VALOR TEMPERATURA V...	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	"VALOR TEMPERATURA R...	NAD.8
VALOR PUNJANGUA	Int	HMI_Conexión_1	PLC_1	VALOR PUNJANGUA	NAD.9

**Figura 54 Lista de variables del HMI**

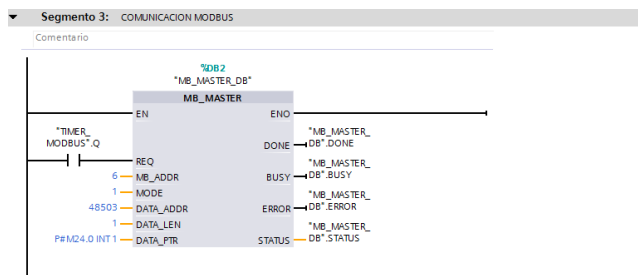
## 6.2.4 ANEXO 4: Programa del PLC S7-1200 del módulo didáctico



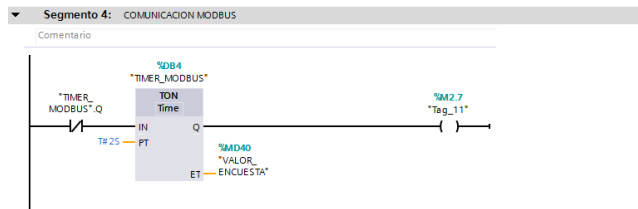
El bloque MB\_COMM\_LOAD abre la comunicación modbus RS-485



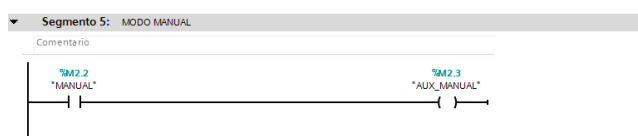
Conversión de datos antes del envío al VFD



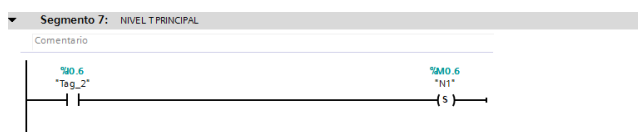
Configuración del bloque MB\_MASTER, para la comunicación modbus



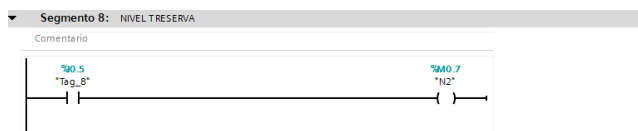
Temporizador para las encuestas modbus

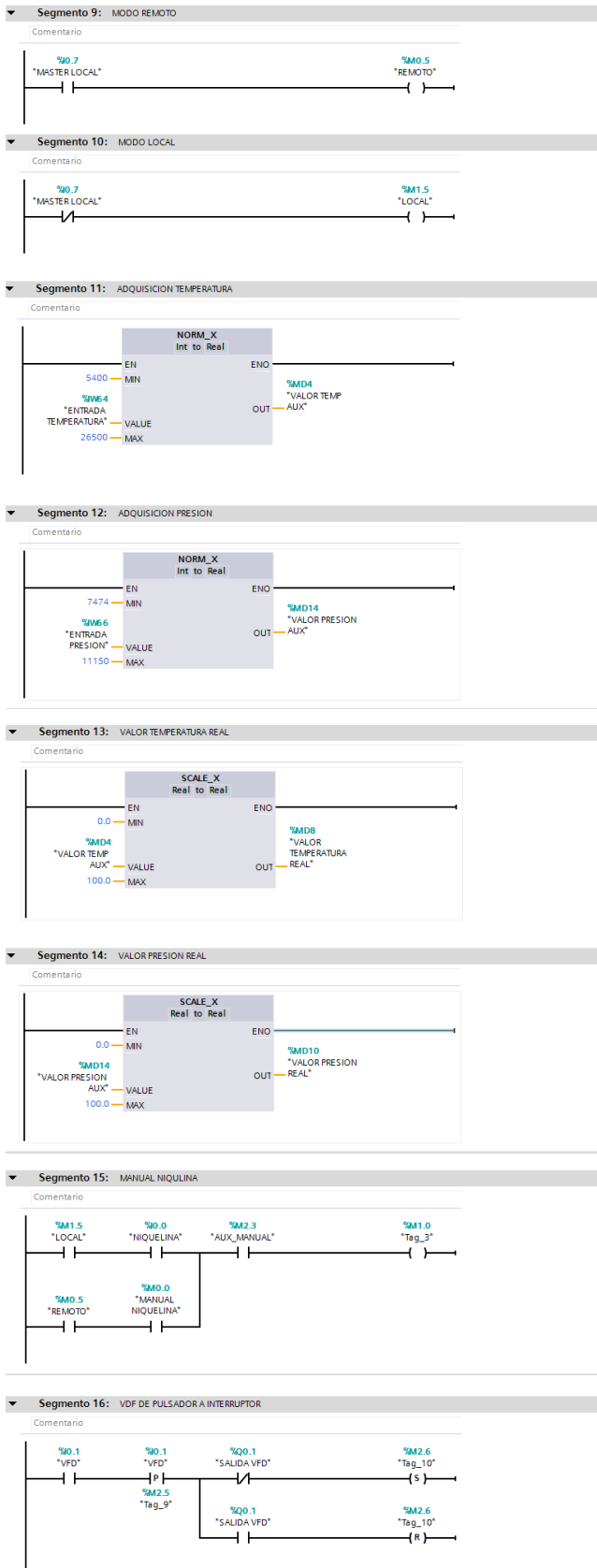


Programación del modo manual y automático del sistema



Lectura de los sensores de nivel N1 y N2





Programación del modo local y remoto del sistema

Lectura y normalización del sensor de temperatura

Lectura y normalización del sensor de presión

Escalamiento y obtención del valor real del sensor de temperatura

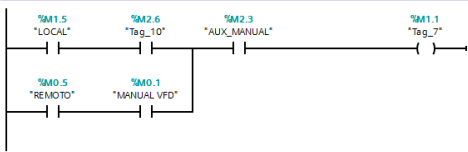
Escalamiento y obtención del valor real del sensor de presión

Condiciones de activación en modo manual de la niquelina

Conversión del pulsador a interruptor para el RUN y STOP del variador de frecuencia

Segmento 17: MANUAL VFD

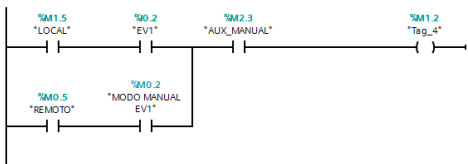
Comentario



Condiciones de activación en modo manual de la electro válvula EV1

Segmento 18: MANUAL EV1

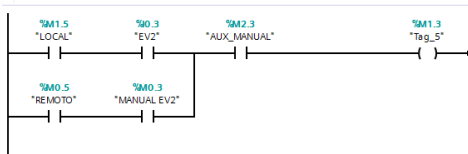
Comentario



Condiciones de activación en modo manual de la electro válvula EV2

Segmento 19: MANUAL EV2

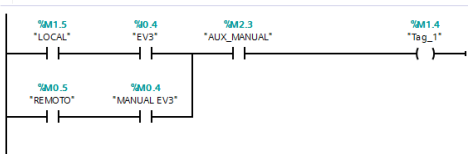
Comentario



Condiciones de activación en modo manual de la electro válvula EV3

Segmento 20: MANUAL EV3

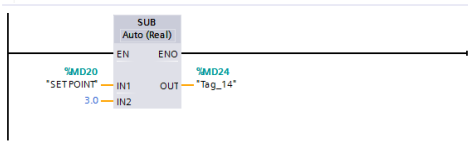
Comentario



Rango de histéresis de  $\pm 3$  para el control ON-OFF de temperatura

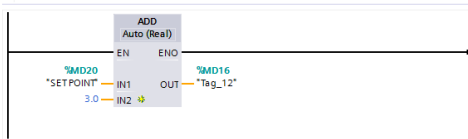
Segmento 21: AUTOMATICO TEMPERATURA - HISTERESIS

Comentario



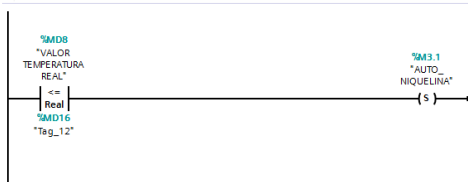
Segmento 22: AUTOMATICO TEMPERATURA - HISTERESIS

Comentario



Segmento 23: AUTOMATICO TEMPERATURA ON-OFF

Comentario



Control de temperatura ON-OFF con histéresis

Segmento 24: AUTOMATICO TEMPERATURA ON-OFF

Comentario

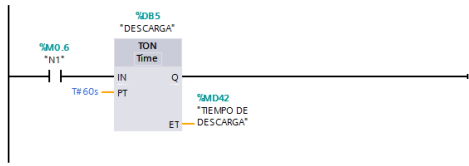


modo manual del variador de frecuencia

Condición para la descarga de Agua del tanque principal

**Segmento 25: AUTOMATICO DESCARGA DEL AGUA**

Comentario



Condición para la descarga de Agua del tanque principal

**Segmento 26: AUTOMATICO DESCARGA DEL AGUA**

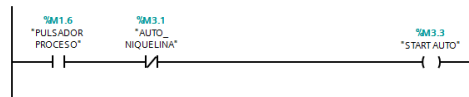
Comentario



Inicio del proceso en modo automático

**Segmento 27: AUTOMATICO PROCESO**

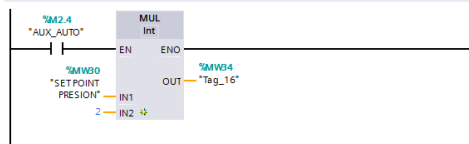
Comentario



Control proporcional de presión

**Segmento 28: CONTROL DE PRESION**

Comentario



Valor proporcional "Kc" para el control de presión

**Segmento 29: CONTROL PRESION**

Comentario



Salida de la Niquelina

**Segmento 30: AUTOMATICO EV1**

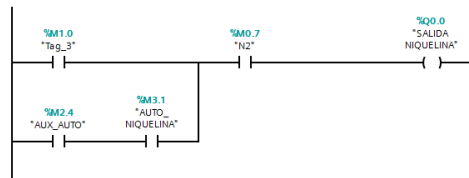
Comentario



Salida del Variador de frecuencia

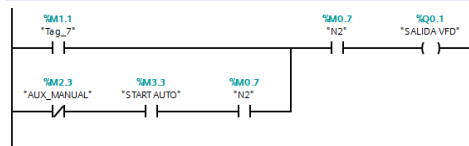
**Segmento 31: SALIDA NIQUELINA**

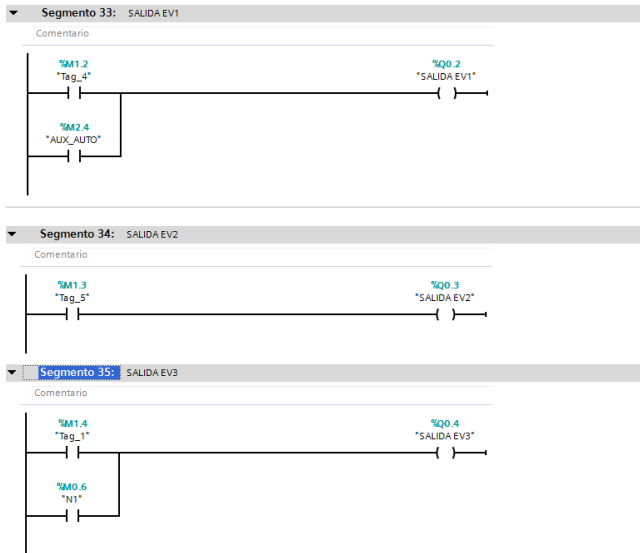
Comentario



**Segmento 32: SALIDA VDF**

Comentario





Salida de la Electro Válvula EV1

Salida de la Electro Válvula EV2

Salida de la Electro Válvula EV3

## 6.2.5 ANEXO 5: Datasheet SIEMENS S7-1200

# SIEMENS

Datasheet

6ES7212-1BE31-0XB0

SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, COMPACT CPU, AC/DC/RLY,  
ONBOARD I/O: 8 DI 24V DC; 6 DO RELAY 2A; 2 AI 0 - 10V DC,  
POWER SUPPLY: AC 85 - 264 V AC AT 47 - 63 HZ,  
PROGRAMDATA MEMORY: 50 KB



General information	
Engineering with	
• Programming package	STEP 7 V11 SP2 or higher
Display	
with display	No
Supply voltage	
120 V AC	Yes
230 V AC	Yes
permissible range, lower limit (AC)	85 V
permissible range, upper limit (AC)	264 V
Line frequency	
• permissible frequency range, lower limit	47 Hz
• permissible frequency range, upper limit	63 Hz
Input current	
Current consumption (rated value)	80 mA at 120 V AC; 40 mA at 240 V AC
Inrush current, max.	20 A; at 264 V
Encoder supply	
24 V encoder supply	



• 24 V	Permissible range: 20.4V to 28.8V
<b>Output current</b>	
Current output to backplane bus (DC 5 V), max.	1 000 mA; Max: 5 V DC for SM and CM
<b>Power losses</b>	
Power loss, typ.	11 W
<b>Memory</b>	
Type of memory	EEPROM
Usable memory for user data	50 kbyte
<b>Work memory</b>	
• Integrated	50 kbyte
• expandable	No
<b>Load memory</b>	
• Integrated	1 Mbyte
<b>Backup</b>	
• present	Yes; maintenance-free
• without battery	Yes
<b>CPU processing times</b>	
for bit operations, typ.	0.085 µs; / instruction
for word operations, typ.	1.7 µs; / instruction
for floating point arithmetic, typ.	2.5 µs; / instruction
<b>CPU-blocks</b>	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
<b>OB</b>	
• Number, max.	Limited only by RAM for code
<b>Data areas and their retentivity</b>	
retentive data area in total (incl. times, counters, flags), max.	10 kbyte
<b>Flag</b>	
• Number, max.	4 kbyte; Size of bit memory address area
<b>Address area</b>	
<b>I/O address area</b>	
• Inputs	1 024 byte
• Outputs	1 024 byte
<b>Process image</b>	
• Inputs, adjustable	1 kbyte
• Outputs, adjustable	1 kbyte
<b>Hardware configuration</b>	
Number of modules per system, max.	3 comm. modules, 1 signal board, 2 signal modules
<b>Time of day</b>	

<b>Clock</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hardware clock (real-time clock)</li> <li>• Deviation per day, max.</li> <li>• Backup time</li> </ul>	Yes 60 s/month at 25 °C 480 h; Typical
<b>Digital inputs</b>	
Number of digital inputs	8; Integrated
<ul style="list-style-type: none"> <li>• of which, inputs usable for technological functions</li> </ul>	4; HSC (High Speed Counting)
integrated channels (DI)	8
m/p-reading	Yes
<b>Number of simultaneously controllable inputs</b>	
all mounting positions	
— up to 40 °C, max.	8
<b>Input voltage</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rated value (DC)</li> <li>• for signal "0"</li> <li>• for signal "1"</li> </ul>	24 V 5 V DC at 1 mA 15 VDC at 2.5 mA
<b>Input current</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• for signal "1", typ.</li> </ul>	1 mA
<b>Input delay (for rated value of input voltage)</b>	
for standard inputs	
— Parameterizable	0.2 ms, 0.4 ms, 0.8 ms, 1.6 ms, 3.2 ms, 6.4 ms and 12.8 ms, selectable in groups of four
— at "0" to "1", min.	0.2 ms
— at "0" to "1", max.	12.8 ms
for interrupt inputs	
— Parameterizable	Yes
for counter/technological functions	
— Parameterizable	Yes; Single phase : 3 at 100 kHz & 3 at 30 kHz, differential: 3 at 80 kHz & 3 at 30 kHz
<b>Cable length</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cable length, shielded, max.</li> <li>• Cable length unshielded, max.</li> </ul>	500 m; 50 m for technological functions 300 m; For technological functions: No
<b>Digital outputs</b>	
Number of digital outputs	6; Relays
integrated channels (DO)	6
short-circuit protection	No; to be provided externally
<b>Switching capacity of the outputs</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• with resistive load, max.</li> <li>• on lamp load, max.</li> </ul>	2 A 30 W with DC, 200 W with AC
<b>Output delay with resistive load</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• "0" to "1", max.</li> <li>• "1" to "0", max.</li> </ul>	10 ms; max. 10 ms; max.
<b>Switching frequency</b>	

• of the pulse outputs, with resistive load, max.	1 Hz
<b>Relay outputs</b>	
• Max. number of relay outputs, integrated	6
• Number of relay outputs	6
• Number of operating cycles, max.	mechanically 10 million, at rated load voltage 100,000
<b>Cable length</b>	
• Cable length, shielded, max.	500 m
• Cable length unshielded, max.	150 m
<b>Analog inputs</b>	
Number of analog inputs	2
Integrated channels (AI)	2; 0 to 10 V
<b>Input ranges</b>	
• Voltage	Yes
<b>Input ranges (rated values), voltages</b>	
• 0 to +10 V	Yes
• Input resistance (0 to 10 V)	≥100k ohms
<b>Cable length</b>	
• Cable length, shielded, max.	100 m; twisted and shielded
<b>Analog outputs</b>	
Number of analog outputs	0
<b>Analog value creation</b>	
<b>Integration and conversion time/resolution per channel</b>	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 μs
<b>Encoder</b>	
<b>Connectable encoders</b>	
• 2-wire sensor	Yes
<b>1st interface</b>	
Interface type	PROFINET
Physics	Ethernet
Isolated	Yes
Automatic detection of transmission speed	Yes
Autonegotiation	Yes
Autocrossing	Yes
<b>Functionality</b>	
• PROFINET IO Controller	Yes
<b>Communication functions</b>	
<b>S7 communication</b>	
• supported	Yes
• as server	Yes

• As client	Yes
<b>Open IE communication</b>	
• TCP/IP	Yes
• ISO-on-TCP (RFC1006)	Yes
• UDP	Yes
<b>Web server</b>	
• supported	Yes
• User-defined websites	Yes
<b>Test commissioning functions</b>	
<b>Status/control</b>	
• Status/control variable	Yes
• Variables	Inputs/outputs, memory bits, DBs, distributed I/Os, timers, counters
<b>Forcing</b>	
• Forcing	Yes
<b>Diagnostic buffer</b>	
• present	Yes
<b>Integrated Functions</b>	
Number of counters	4
Counter frequency (counter) max.	100 kHz
Frequency meter	Yes
controlled positioning	Yes
PID controller	Yes
Number of alarm inputs	4
<b>Galvanic isolation</b>	
<b>Galvanic isolation digital inputs</b>	
• Galvanic isolation digital inputs	500V AC for 1 minute
• between the channels, in groups of	1
<b>Galvanic isolation digital outputs</b>	
• Galvanic isolation digital outputs	Relays
• between the channels	No
• between the channels, in groups of	2
<b>Permissible potential difference</b>	
between different circuits	500 V DC between 24 V DC and 5 V DC
<b>EMC</b>	
<b>Interference immunity against discharge of static electricity</b>	
• Interference immunity against discharge of static electricity acc. to IEC 61000-4-2	Yes
— Test voltage at air discharge	8 kV
— Test voltage at contact discharge	6 kV
<b>Interference immunity to cable-borne interference</b>	

• Interference immunity on supply lines acc. to IEC 61000-4-4	Yes
• Interference immunity on signal lines acc. to IEC 61000-4-4	Yes
<b>Surge immunity</b>	
• on the supply lines acc. to IEC 61000-4-5	Yes
<b>Immunity against conducted interference induced by high-frequency fields</b>	
• Interference immunity against high-frequency radiation acc. to IEC 61000-4-6	Yes
<b>Emission of radio interference acc. to EN 55 011</b>	
• Limit class A, for use in industrial areas	Yes; Group 1
• Limit class B, for use in residential areas	Yes; When appropriate measures are used to ensure compliance with the limits for Class B according to EN 55011
<b>Degree and class of protection</b>	
Degree of protection to EN 60529	
• IP20	Yes
<b>Standards, approvals, certificates</b>	
CE mark	Yes
CSA approval	Yes
UL approval	Yes
cULus	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
FM approval	Yes
<b>Marine approval</b>	
• Marine approval	Yes
<b>Ambient conditions</b>	
<b>Operating temperature</b>	
• Min.	-20 °C
• max.	60 °C
• horizontal installation, min.	-20 °C
• horizontal installation, max.	60 °C
• vertical installation, min.	-20 °C
• vertical installation, max.	50 °C
<b>Storage/transport temperature</b>	
• Min.	-40 °C
• max.	70 °C
<b>Air pressure</b>	
• Operation, min.	795 hPa
• Operation, max.	1 080 hPa
• Storage/transport, min.	660 hPa
• Storage/transport, max.	1 080 hPa
<b>Relative humidity</b>	
• Operation, max.	95 %; no condensation

<b>Vibrations</b>	
• Vibrations	2G wall mounting, 1G DIN rail
• Operation, checked according to IEC 60068-2-6	Yes
<b>Shock test</b>	
• checked according to IEC 60068-2-27	Yes; IEC 68, Part 2-27 half-sine: strength of the shock 15 g (peak value), duration 11 ms
<b>Climatic and mechanical conditions for storage and transport</b>	
<b>Climatic conditions for storage and transport</b>	
<b>Free fall</b>	
— Drop height, max. (in packaging)	0.3 m; five times, in dispatch package
<b>Temperature</b>	
— Permissible temperature range	-40 °C to +70 °C
<b>Relative humidity</b>	
— Permissible range (without condensation) at 25 °C	95 %
<b>Mechanical and climatic conditions during operation</b>	
<b>Climatic conditions in operation</b>	
<b>Temperature</b>	
— Min.	-20 °C
— max.	60 °C
<b>Air pressure acc. to IEC 60068-2-13</b>	
— Permissible air pressure	1080 to 795 hPa
— Permissible operating height	-1000 to 2000 m
<b>Pollutant concentrations</b>	
— SO <sub>2</sub> at RH < 60% without condensation	SO <sub>2</sub> : < 0.5 ppm; H <sub>2</sub> S: < 0.1 ppm; RH < 60% condensation-free
<b>Configuration</b>	
<b>programming</b>	
<b>Programming language</b>	
— LAD	Yes
— FBD	Yes
— SCL	Yes
<b>Cycle time monitoring</b>	
• can be set	Yes
<b>Dimensions</b>	
Width	90 mm
Height	100 mm
Depth	75 mm
<b>Weights</b>	
Weight, approx.	425 g
<b>last modified:</b>	14.10.2014

## 6.2.6 ANEXO 6: Módulo de comunicación RS-485

# SIEMENS

Product data sheet

6ES7241-1CH32-0XB0



SIMATIC S7-1200,  
COMMUNICATION MODULE CM 1241,  
RS422/485, 9 PIN SUB D (MALE),  
SUPPORTS MESSAGE BASED FREEPORT

<b>Supply voltage</b>	
<b>24 V DC</b>	Yes
<b>permissible range, lower limit (DC)</b>	20.4 V
<b>permissible range, upper limit (DC)</b>	28.8 V
<b>Power losses</b>	
<b>Power loss, typ.</b>	1.2 W
<b>Interfaces</b>	
<b>Number of interfaces</b>	1
<b>Interface physics, RS 422/RS 485 (X.27)</b>	Yes
<b>Point-to-point</b>	
<b>Cable length, max.</b>	1000 m
<b>Integrated protocol driver</b>	
<b>ASCII</b>	Yes ; Available as library function
<b>USS</b>	Yes ; Available as library function
<b>Climatic and mechanical conditions for storage and transport</b>	
<b>Climatic conditions for storage and transport</b>	
<b>Free fall</b>	
<b>Drop height, max. (in packaging)</b>	0.3 m ; five times, in dispatch package

<b>Temperature</b>	
<b>Permissible temperature range</b>	-40 °C to +70 °C
<b>Air pressure acc. to IEC 60068-2-13</b>	
<b>Permissible air pressure</b>	1080 to 660 hPa
<b>Relative humidity</b>	
<b>Permissible range (without condensation) at 25 °C</b>	95 %
<b>Mechanical and climatic conditions during operation</b>	
<b>Climatic conditions in operation</b>	
<b>Temperature</b>	
<b>Permissible temperature change</b>	5°C to 55°C, 3°C / minute
<b>Air pressure acc. to IEC 60068-2-13</b>	
<b>Permissible air pressure</b>	1080 to 795 hPa
<b>Software</b>	
<b>Runtime software</b>	
<b>Target system</b>	
<b>S7-1200</b>	Yes
<b>Dimensions</b>	
<b>Width</b>	30 mm
<b>Height</b>	100 mm
<b>Depth</b>	75 mm
<b>Weights</b>	
<b>Weight, approx.</b>	155 g
<b>Status</b>	Apr 25, 2014



## 6.2.7 ANEXO 7: Variador de frecuencia Altivar 312

### Product data sheet Characteristics

## ATV312HU11M2

variable speed drive ATV312 - 1.1kW - 2.4kVA  
- 74W - 200..240 V- 1-phase supply



### Main

Range of product	Altivar 312
Product or component type	Variable speed drive
Product destination	Asynchronous motors
Product specific application	Simple machine
Assembly style	With heat sink
Component name	ATV312
Motor power kW	1.1 kW
Motor power hp	1.5 hp
[Us] rated supply voltage	200..240 V (- 15...10 %)
Supply frequency	50...60 Hz (- 5...5 %)
Network number of phases	Single phase
Line current	12.1 A for 200 V, 1 kA 10.2 A for 240 V
EMC filter	Integrated
Apparent power	2.4 kVA
Maximum transient current	10.4 A for 60 s
Power dissipation in W	74 W at nominal load
Speed range	1...50
Asynchronous motor control profile	Factory set : constant torque Sensorless flux vector control with PWM type motor control signal
Electrical connection	L1, L2, L3, U, V, W, PA, PB, PA+/, PC/- terminal 5 mm <sup>2</sup> AWG 10 AI1, AI2, AI3, AOV, AOC, R1A, R1B, R1C, R2A, R2B, LI1...LI8 terminal 2.5 mm <sup>2</sup> AWG 14
Supply	Internal supply for reference potentiometer (2.2 to 10 kOhm) at 10...10.8 V <= 10 mA for overload and short-circuit protection Internal supply for logic inputs at 19...30 V <= 100 mA for overload and short-circuit protection
Communication port protocol	CANopen Modbus
IP degree of protection	IP41 on upper part IP31 on upper part IP21 on connection terminals IP20 on upper part without cover plate
Option card	Profibus DP communication card Modbus TCP communication card Fipio communication card DeviceNet communication card CANopen daisy chain communication card

## Complementary

Supply voltage limits	170...264 V
Network frequency limits	47.5...63 Hz
Prospective line Isc	1 kA
Continuous output current	6.9 A at 4 kHz
Speed drive output frequency	0.5...500 Hz
Nominal switching frequency	4 kHz
Switching frequency	2...16 kHz adjustable
Transient overtorque	170...200 % of nominal motor torque
Braking torque	50 % without braking resistor 150 % with braking resistor for 60 s 100 % with braking resistor continuously
Regulation loop	Frequency PI regulator
Motor slip compensation	Adjustable Automatic whatever the load Suppressable
Output voltage	<= power supply voltage
Tightening torque	1.2 N.m L1, L2, L3, U, V, W, PA, PB, PA+/, PC/- 0.6 N.m AI1, AI2, AI3, AOV, AOC, R1A, R1B, R1C, R2A, R2B, LI1...LI6
Insulation	Electrical between power and control
Analogue input number	3
Analogue input type	AI3 configurable current 0...20 mA, impedance 250 Ohm AI2 configurable voltage +/- 10 V, input voltage 30 V max, impedance 30000 Ohm AI1 configurable voltage 0...10 V, input voltage 30 V max, impedance 30000 Ohm
Sampling duration	LI1...LI6 4 ms for discrete AI1, AI2, AI3 8 ms for analog
Response time	R1A, R1B, R1C, R2A, R2B 8 ms for discrete AOV, AOC 8 ms for analog
Linearity error	+/- 0.2 % for output
Analogue output number	2
Analogue output type	AOV configurable voltage 0...10 V, impedance 470 Ohm, resolution 8 bits AOC configurable current 0...20 mA, impedance 800 Ohm, resolution 8 bits
Discrete input logic	(LI1...LI6)Positive logic (source) state 0 < 5 V state 1 > 11 V (LI1...LI6)Negative logic (source) state 0 > 19 V (LI1...LI4)Logic input not wired state 1 < 13 V
Discrete output number	2
Discrete output type	(R2A, R2B) configurable relay logic NC, electrical durability 100000 cycles (R1A, R1B, R1C) configurable relay logic 1 NO + 1 NC, electrical durability 100000 cycles
Minimum switching current	R1-R2 10 mA at 5 V DC
Maximum switching current	R1-R2 on resistive load, 5 A at 30 V DC, cos phi = 1, L/R = 0 ms R1-R2 on resistive load, 5 A at 250 V AC, cos phi = 1, L/R = 0 ms R1-R2 on inductive load, 2 A at 30 V DC, cos phi = 0.4, L/R = 7 ms R1-R2 on inductive load, 2 A at 250 V AC, cos phi = 0.4, L/R = 7 ms
Discrete input number	6
Discrete input type	(LI1...LI6) programmable, 24 V 0...100 mA with PLC, impedance 3500 Ohm
Acceleration and deceleration ramps	Linear adjustable separately from 0.1 to 999.9 s S, U or customized
Braking to standstill	By DC injection
Protection type	Thermal protection motor Short-circuit between motor phases drive Overheating protection drive Overcurrent between output phases and earth (on power up only) drive Motor phase breaks drive Line supply phase loss safety function, for three phases supply drive Line supply overvoltage and undervoltage safety circuits drive Input phase breaks drive
Insulation resistance	>= 500 mOhm at 500 V DC for 1 minute
Local signalling	Four 7-segment display units for CANopen bus status 1 LED red for drive voltage
Time constant	5 ms for reference change

Frequency resolution	Display unit 0.1 Hz Analog input 0.1...100 Hz
Type of connector	1 RJ45 Modbus/CANopen
Physical interface	RS485 multidrop serial link
Transmission frame	RTU
Transmission rate	4800, 9600 or 19200 bps Modbus 10, 20, 50, 125, 250, 500 kbps or 1 Mbps CANopen
Number of addresses	1...247 Modbus 1...127 CANopen
Number of drive	31 Modbus 127 CANopen
Marking	CE
Operating position	Vertical +/- 10 degree
Height	143 mm
Width	107 mm
Depth	152 mm
Product weight	1.8 kg

### Environment

Dielectric strength	2880 V AC between control and power terminals 2040 V DC between earth and power terminals
Electromagnetic compatibility	Radiated radio-frequency electromagnetic field immunity test conforming to IEC 61000-4-3 level 3 Electrostatic discharge immunity test conforming to IEC 61000-4-2 level 3 Electrical fast transient/burst immunity test conforming to IEC 61000-4-4 level 4 1.2/50 µs - 8/20 µs surge immunity test conforming to IEC 61000-4-5 level 3
Standards	IEC 61800-3 IEC 61800-5-1
Product certifications	CSA C-Tick GOST NOM UL
Pollution degree	2
Protective treatment	TC
Vibration resistance	1.5 mm (f = 3...13 Hz) conforming to EN/IEC 60068-2-6 1 gn (f = 13...150 Hz) conforming to EN/IEC 60068-2-6
Shock resistance	15 gn for 11 ms conforming to EN/IEC 60068-2-27
Relative humidity	5...95 % without dripping water conforming to IEC 60068-2-3 5...95 % without condensation conforming to IEC 60068-2-3
Ambient air temperature for storage	-25...70 °C
Ambient air temperature for operation	-10...60 °C with derating factor without protective cover on top of the drive -10...50 °C without derating with protective cover on top of the drive
Operating altitude	1000...2000 m with current derating 1 % per 100 m <= 1000 m without derating

### Offer Sustainability

Sustainable offer status	Green Premium product
RoHS	Compliant - since 0913 - <a href="#">Schneider Electric declaration of conformity</a>
REACH	Reference contains SVHC above the threshold - <a href="#">go to CaP for more details</a>
Product environmental profile	Available <a href="#">Download Product Environmental</a>
Product end of life instructions	Need no specific recycling operations

### 6.2.8 ANEXO 8: Fotografías del módulo



**Figura 55** Elaboración de la parte mecánica del módulo didáctico



**Figura 56** Estructura mecánica del módulo didáctico



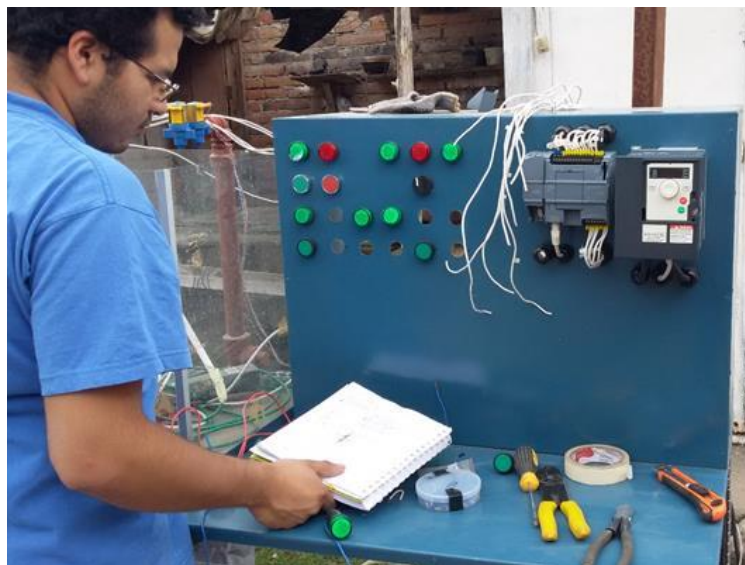
**Figura 57 Colocación del tanque principal, taque de reserva y la electrobomba**



**Figura 58 Elaboración de la parte eléctrica del módulo didáctico**



**Figura 59 Montaje del tablero eléctrico de fuerza y control**



**Figura 60 Montaje del PLC, variador de frecuencia y elementos de mando**



**Figura 61 Panel de control principal del módulo**



**Figura 62 Pruebas funcionales en el laboratorio de la carrera de Ing. Mantenimiento eléctrico**



**Figura 63 Módulo final**