

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
ARTÍCULO CIENTÍFICO (ESPAÑOL)**

TEMA:

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

AUTORES:

DARWIN GEOVANNY MATANGO NICARAGUA
FAUSTO DANILO PORTILLA MORALES

DIRECTOR:

ING. PABLO MENDEZ

Ibarra – Ecuador 2016

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

Darwin Matango N.

Danilo Portilla. M.

Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, Universidad Técnica del Norte, Avenida 17 de Julio 5-21, Ibarra, Imbabura, Ecuador. darwinmatango@hotmail.com – faportilla@yahoo.es

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, 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

1. 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.

2. Marco teórico

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 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).

2.1.1 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).

- **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)

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

Blaise Pascal, un científico del siglo XVII descubrió dos importantes principios acerca de la presión.

- La presión actúa uniformemente en todas direcciones sobre un pequeño volumen de fluido.
- En un fluido confinado entre fronteras sólidas, la presión actúa perpendicularmente a la frontera.

	Psi	Pulgada c de agua	Pulgada c de Hg	Atmósfera	kg/cm ²	cm c de a	mm c de Hg	Bar	Pu
Psi	1	27.68	2.036	0.068	0.0703	70.31	51.72	0.0689	6894.76
Pulgada c de agua	0.0361	1	0.0735	0.0024	0.0025	2.54	1.868	0.0024	249
Pulgada c de Hg	0.4912	13.6	1	0.0334	0.0345	34.53	25.4	0.0338	3386.39
Atmósfera	14.7	406.79	29.92	1	1.033	1033	760	1.0132	1.0133x10 ⁵
kg/cm ²	14.22	393.7	29.96	0.9878	1	1000	735.6	0.98	98066
cm c de a	0.0142	0.3937	0.0289	0.00096	0.001	1	0.7355	0.0009	98.06
mm c de Hg	0.0189	0.5353	0.0393	0.0013	0.0013	1.359	1	0.00133	133.322
Bar	14.5	401	29.53	0.987	1.02	1020	750	1	10 ⁵
Pa	0.00014	0.004	0.00029	0.987x10 ⁻⁵	0.102x10 ⁻⁵	0.01	0.0075	10 ⁻⁵	1

- **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.

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).

	Celsius	Fahrenheit	Kelvin
Celsius(1)	1	33.8	274.15
Fahrenheit(1)	-17.22	1	255.92
Kelvin(1)	-272.15	-457.87	1

- **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.

2.2 Elementos finales de control

2.2.1 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.

i. 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.

$$P = V \times A$$

Donde:

P= Potencia

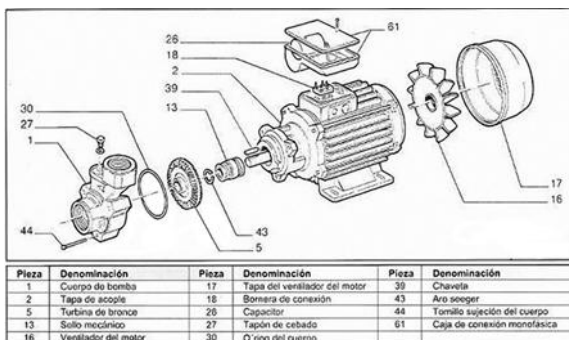
V= Voltios

A= Amperios

2.2.3 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.



2.2.4 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:

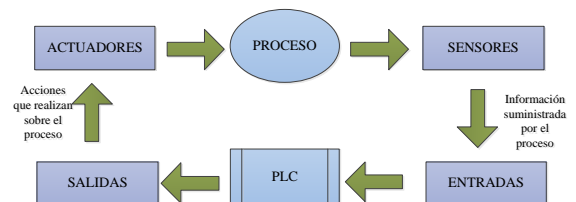
ns= es la velocidad sincrónica

f= es la frecuencia aplicada

p= es el número de polos

2.2.5 Controlador lógico programable

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



2.3 Sistemas de control

2.3.1 Sistema de control lazo abierto

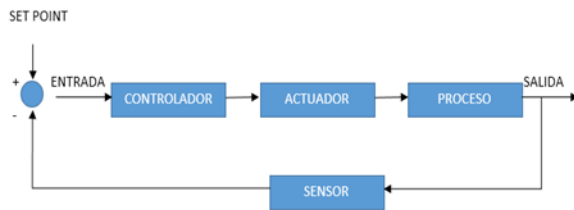
Aquellos en los que la variable de salida (variable controlada) no tiene efecto sobre la acción de control (variable de control), es decir no se compara la salida del sistema con el valor deseado de la salida del sistema (Academia, 2015).



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 (Academia, 2015).

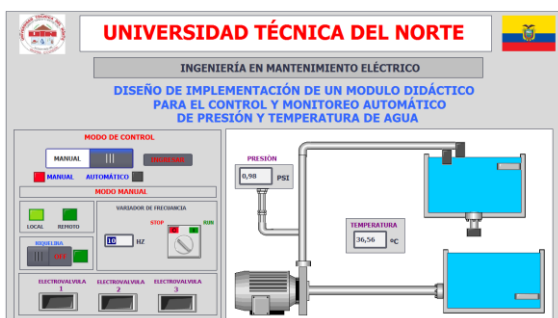


2.3.3 Sistema de control implementado en el módulo

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 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, 2015).



2.5 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.

2.5.1 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.

2.5.2 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

2.6 Plataforma de programación

2.6.1 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).

2.6.2 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).

2.6.3 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)

3.Resultados

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.

3.1 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.

3.2 Arquitectura eléctrica del módulo

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

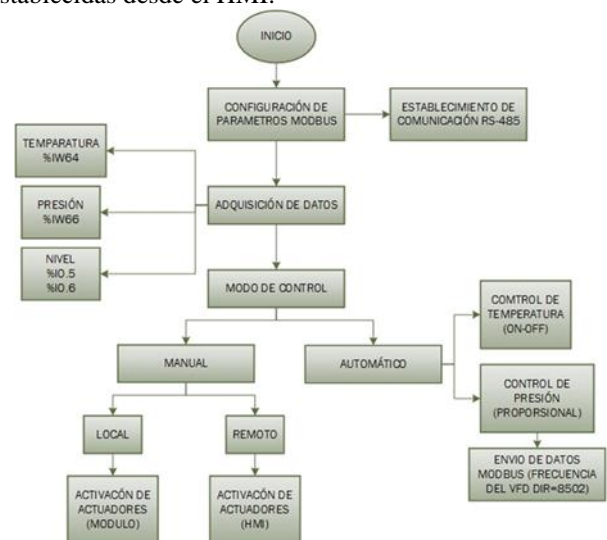
- Subsistema de control: está conformado principalmente por el controlador lógico programable el cual adquiere la información de los sensores y realiza el control del sistema, en el subsistema de control también está conformado por el variador de frecuencia.
- Subsistema de instrumentación: realiza las 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.

3.3 Diagramas de flujo

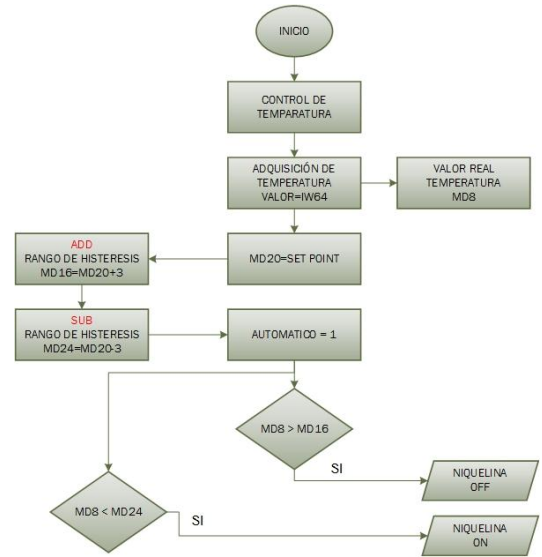
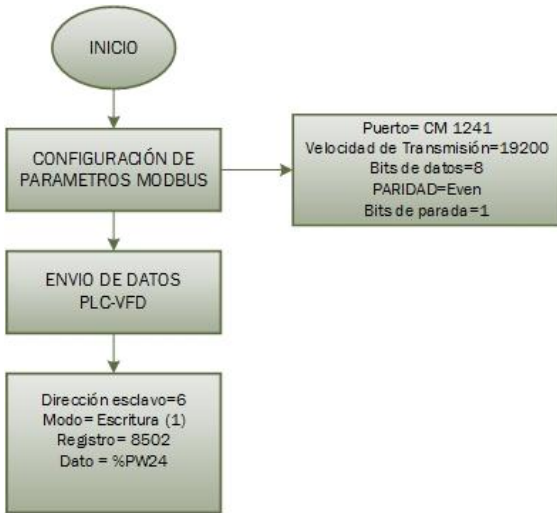
La lógica de programación empieza configurando los parámetros de la comunicación Modbus, que permite escribir la frecuencia desde el HMI hacia el variador de frecuencia, luego se adquiere el estado de las entradas conectadas al PLC tanto digitales, como analógicas por ejemplo; el nivel del tanque principal,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

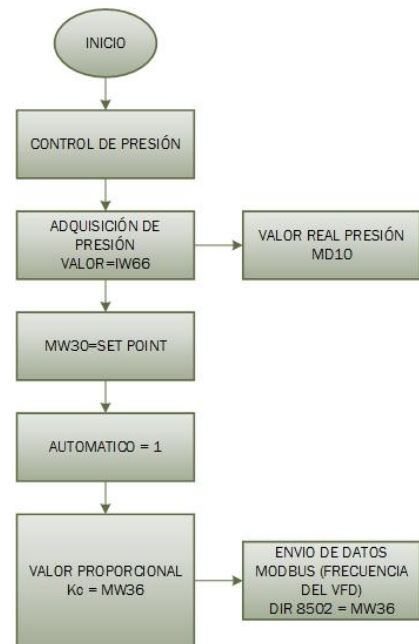
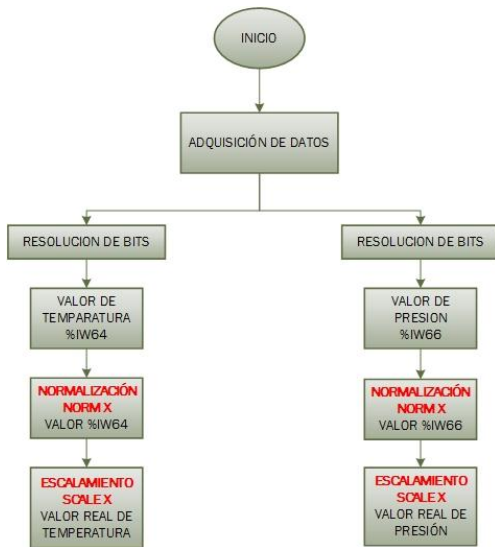


En la figura siguiente se puede observar el diagrama de flujo de la configuración de parámetros Modbus en donde se establece la velocidad de transmisión, bits de datos, paridad y bits de parada.



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 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.



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

4. 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. 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

6. Referencias

- Creus, S. 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). Step 7: Una manera fácil de programar PLC de Siemens. Barcelona: Marcombo.
- Ogata, K. (2003). Ingeniería de control moderna. México: Prentice Hall.
- Oliva, A. N., & Alonso, C. G. (2013). Redes de comunicaciones industriales.
- Ordaz, G. U., Ríos, M. E., & Ordaz, M. D. (2009). Controladores lógicos programables. México: Trillas.
- Ponsa, A. P., & Vilanova, R. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. Barcelona: Edicions UPC.
- Rodríguez, P. A. (2007). *Sistemas SCADA*. México, DF: Alfaomega.

7. ACERCA DEL AUTORES

Darwin Geovanny MATANGO NICARAGUA, Nació un 13 de Febrero de 1988 en la parroquia San Francisco de la ciudad de Ibarra. Mi instrucción primaria la realicé en la escuela Abelardo Páez Torres de la ciudad de Ibarra, al finalizar ingresé en el Instituto Tecnológico Superior 17 de Julio, donde obtuve el título de bachiller Técnico Industrial en Electricidad. Finalmente ingresé a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte para obtener el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

Fausto Danilo PORTILLA MORALES, Nació un 22 de abril de 1989 en la parroquia de Tulcán de la ciudad Tulcán. Mi instrucción la realicé en la escuela La Salle de la ciudad de Ibarra, al finalizar ingrese al colegio Técnico Superior 17 de Julio de la misma ciudad, donde obtuve el título de bachiller técnico industrial eléctrico. Finalmente ingrese a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte para obtener el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico