



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

TEMA:

DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS POR PRESIÓN O CAUDAL Y ELABORACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO.

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en
Mantenimiento Eléctrico.

AUTORES:

BLANCO VILAÑEZ ROBERTO ENRIQUE
KAM ALBAN JHONNY MARCO

DIRECTOR:

ING. PABLO MÉNDEZ

Ibarra, 2015

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Luego de haber sido designado por el honorable consejo directivo de la Facultad de Educación, Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, he aceptado con satisfacción participar como director en el trabajo de grado titulado "DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS POR PRESIÓN O CAUDAL Y ELABORACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO"; de los señores egresados: Blanco Vilañez Roberto Enrique y Kam Alban Jhonny Marco, previo a la obtención del título de Ingeniero en la especialidad de mantenimiento Eléctrico.

Al ser testigo presencial, y corresponsable directo del desarrollo del presente trabajo de investigación, afirmo que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentado públicamente ante el tribunal que sea designado oportunamente.

Esto es lo que puedo certificar por ser justo y legal.

Ing. Pablo Méndez
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

A Dios quien me ha bendecido con la vida, la salud y las fuerzas de cumplir con este objetivo.

A mi Padre Bing Kam Kwei, a mi madre Jimena Albán y especialmente a mi hijo Mathew Kam por creer en mí y brindarme todo su amor y apoyo incondicional.

Johnny Marco

DEDICATORIA

A Dios por su infinita generosidad y por brindarme la oportunidad de llegar a cumplir esta meta.

A mi Padre Wilson Blanco, a mi madre Lucila Vilañez y especialmente a Ivana Suárez por creer en mí y brindarme todo su amor y apoyo incondicional.

Roberto Enrique

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme en cada paso dado durante mi vida.

Agradezco a mi madre y a todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido en la realización de este trabajo y especialmente al Ing. Pablo Méndez por su apoyo invaluable.

A la Universidad Técnica del Norte y a todo su cuerpo docente, por todo el conocimiento y valores que supieron compartir con los estudiantes, para que un día como hoy pueda defenderme con un profesional, por ello especial gratitud y respeto.

Johnny Marco

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la oportunidad de estudiar y llegar a elaborar el presente trabajo de investigación y desarrollo tecnológico como aporte a mi Universidad y a mi Patria.

A mi familia por ser los pilares fundamentales de apoyo diario e incondicional en toda mi etapa estudiantil y profesional, gracias por confiar en mí.

A la Universidad Técnica del Norte, a sus profesores, maestros y amigos, que supieron sembrar en los estudiantes, la inquietud y curiosidad que hoy conduce nuestra vida.

Quiero agradecer de manera especial al Ing. Pablo Méndez por su apoyo en el desarrollo e implementación del proyecto de grado.

Roberto Enrique

ÍNDICE GENERAL

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE FIGURAS	xi
ÍNDICE TABLAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Delimitación	3
1.4.1 Delimitación espacial.....	3
1.4.2 Delimitación temporal	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos	4
1.6 Justificación del proyecto	5
1.7 Factibilidad.....	6
1.8 Beneficios	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Instrumentación	7
2.1.1 Campo de medida o rango	7
2.1.2 Alcance	7
2.1.3 Error.....	8
2.1.4 Precisión.....	8
2.1.5 Zona muerta (Dead band)	8

2.1.6	Sensibilidad.....	8
2.1.7	Repetibilidad.....	9
2.1.8	Histéresis.....	9
2.2	Transductor de presión	9
2.2.1	Manómetro de presión	10
2.3	Transductor de nivel	11
2.4	Transductores de caudal	12
2.4.1	Medidor tipo switch de caudal mediante pulsos	12
2.5	Calibración de instrumentos	13
2.6	Controladores	13
2.6.1	Tipos de sistemas de control	14
2.6.1.1	Control Manual.....	14
2.6.1.2	Control Automático	14
2.6.1.3	Control sin realimentación (en lazo abierto)	14
2.6.1.4	Control con realimentación (en lazo cerrado)	15
2.7	Controlador lógico programable (PLC).....	16
2.7.1	Características técnicas	16
2.7.2	Ventajas.....	17
2.7.3	Desventajas	17
2.7.4	Componentes internos de un PLC	17
2.8	Sistemas SCADA	18
2.8.1	Características.....	19
2.8.2	Manejo y Aplicación del Sistema Software	19
2.8.3	Interfaz con RJ 45 y USB del control	20
2.8.4	Diseño del circuito eléctrico de fuerza y control	20
2.8.5	Módulo de control.....	21
2.8.6	Lenguaje de programación.....	21
2.9	Variador de frecuencia.....	22
2.9.1	Utilización del variador con un motor de tamaño diferente	22
2.9.2	Características y funciones de los bornes de potencia.....	22
2.10	Módulo didáctico.....	24
2.11	Sistemas de bombeo	25

2.11.1	Bombas de desplazamiento positivo	25
2.11.2	Bombas roto dinámicas	26
2.12	Motor de inducción.....	26
2.13	Bombas centrífugas	27
2.13.1	Terminología básica en bombas	29
2.13.1.1	Descarga	29
2.13.1.2	Cabeza	30
2.13.1.3	Potencia y Eficiencia	30
2.13.2	Curvas Características De Las Bombas Centrífugas.....	32
2.14	Rendimiento de las bombas.....	32
2.14.1	La capacidad.....	32
2.14.2	La carga total.....	33
2.14.3	La velocidad a la cual funciona la bomba.....	33
2.14.4	Variables.....	34
2.15	Tuberías y accesorios.....	34
2.15.1	Válvula de bola y codos	35
2.16	Router wifi.....	35
2.17	Contactador	36
2.18	Torre de señalización.....	36
CAPÍTULO III.....		37
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN		37
3.1	Tipo de Investigación.	37
3.1.1	Investigación de Campo.....	37
3.1.2	Investigación Tecnológica	37
3.1.3	Investigación Documental	37
3.2	Métodos.	38
3.2.1	Método Inductivo.....	38
3.2.2	Método Deductivo	38
3.2.3	Método Tecnológico	38
3.2.4	La recolección de información.	38
3.3	Técnicas e Instrumentos	39
CAPÍTULO IV.....		40

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	40
4.1 Propuesta	40
4.2 Propósito.....	40
4.3 Introducción.....	40
4.4 Diseño del módulo didáctico	41
4.4.1 Estructura del módulo	42
4.4.2 Motor con bomba centrífuga de 1Hp de 48litros/minuto	43
4.4.3 Descripción eléctrica del módulo didáctico.....	43
4.4.4 Circuito de control	44
4.4.5 Circuito de fuerza.....	45
4.4.6 Conexionado de los motores de inducción	45
4.4.7 Conexionado del variador de frecuencia	46
4.4.8 Configuración de parámetros básicos del variador de frecuencia.	47
4.4.9 Conexión del sensor de presión	49
4.4.10 Conexión del sensor de caudal.....	51
4.4.11 Conexión de los sensores de nivel	52
4.4.12 Conexionado del relé de mando para el Variador de frecuencia.....	53
4.4.13 Conexionado de los fusibles rápidos tipo RS de semiconductores. 53	
4.4.14 Conexionado del contactor.....	54
4.4.15 Conexionado de la luz para señalización visual de alarmas del módulo didáctico.....	55
4.4.16 Conexionado del PLC Allen Bradley.....	56
4.4.17 Programación del PLC Allen Bradley.....	56
4.4.17.1 Diagramas de flujo	56
4.4.18 Red industrial WI-FI y puertos Ethernet.....	57
4.5 Diagrama P&ID de instrumentación	58
4.6 Arquitectura de control, supervisión y adquisición de datos.....	59
4.7 Interfaces HMI.....	60
CAPÍTULO V	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1 Conclusiones.....	62
5.2 Recomendaciones	63

CAPÍTULO VI.....	65
BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS	65
6.1 Bibliografía.....	65
6.2 Linkografía	65
6.3 Anexos.....	68

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica	3
Figura 2. Transductor de presión.....	10
Figura 3. Manómetro.....	11
Figura 4. Transductores de nivel	11
Figura 5. Medidor tipo switch de caudal mediante pulsos.....	13
Figura 6. Sistema de control en lazo abierto	15
Figura 7. Sistema de control en lazo cerrado	15
Figura 8. Controlador lógico programable (PLC MicroLogix 1100).....	16
Figura 9. Componentes internos de un PLC	18
Figura 10. Programa InTouch	19
Figura 11. Conector RJ 45.....	20
Figura 12. Interfaz con RJ 45 PLC -Ordenador	20
Figura 13. Módulo de control.....	21
Figura 14. Módulo didáctico	24
Figura 15. Sistemas de bombeo	25
Figura 16. Motor de inducción.....	27
Figura 17. Bomba centrífuga.....	28
Figura 18. Selección de tuberías y accesorios.....	34
Figura 19. Selección de tuberías y accesorios.....	35
Figura 20. Router Tp link.....	35
Figura 21. Contactor Trifásico	36
Figura 22. Torre de señalización	36
Figura 23. Estructura metálica	42
Figura 24. Motor de 1 HP	43
Figura 25. Conexión motor	46
Figura 26. Conexiones de variador de frecuencia.....	47
Figura 27. Información del sensor de presión	50
Figura 28. Conexión del sensor a dos hilos.....	50
Figura 29. Test Reporte de calibración del equipo.....	50
Figura 30. Conexión del sensor a tres hilos	52

Figura 31. Tabla de adquisición de caudal	52
Figura 32. Curva propia de fusión del elemento de protección	54
Figura 33. Contactor.....	54
Figura 34. Torre de Señalización	55
Figura 35. Diagrama de Flujo del sistema	57
Figura 36. Diagrama P&ID de instrumentación	58
Figura 37. Arquitectura de control	59
Figura 38. Pantalla principal	60
Figura 39. Pantalla del proceso en modo manual	60
Figura 40. Pantalla del proceso en modo automático	61

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Características del controlador lógico programable	16
Tabla 2. Características del Variador de Frecuencia	22
Tabla 3. Información del sensor de caudal	51

RESUMEN

En la actualidad no existe un proceso productivo óptimo que pueda desarrollarse sin el uso de un autómatas programable, sensores, transductores, señales, interfaces y un sistema de control con opciones de supervisión del proceso en curso. Así mismo, nuestra universidad carece totalmente de un laboratorio con la capacidad de mostrar los elementos eléctricos y electrónicos que son capaces de realizar la transducción de eventos y características físicas de un proceso, tales como: temperatura, presión, caudal, luminancia, corriente, voltaje, potencia eléctrica, etc. El presente trabajo de investigación, comprende la elaboración de un banco de pruebas que emulando un proceso de bombeo de agua entre dos recipientes interconectados con tuberías y válvulas, el cual pueda contener cada uno de los diferentes tipos de señales que se utilizan en el control industrial moderno, así como también los distintos tipos de comunicación que utilizan principalmente los accionamientos dotados de microprocesadores y los autómatas programables o PLCs. Llegamos más allá inclusive, al implementar un sistema de supervisión SCADA del proceso que desarrollamos, graficamos los resultados obtenidos al monitorear las distintas variables y culminamos accediendo remotamente al control y supervisión del sistema a través de dispositivos móviles basados en comunicación bluetooth e inclusive a un control basado en plataformas web programadas en lenguaje Android. Para lograr la integración del conocimiento hacia el estudiante, se desarrollan adicionalmente tres prácticas de laboratorio, las cuales ayudan a familiarizarse con las técnicas de control moderno de manera sencilla.

ABSTRACT

Currently there is no optimal production process that can be developed without the use of a programmable controller, sensors, transducers, signals, interfaces and a control system with options for monitoring the ongoing process. Also, our university does not have a laboratory with the ability to display the electrical and electronics that are capable of transduction events and physical characteristics of a process, such as temperature, pressure, flow, luminance, current, voltage, electric power, etc. This research work includes the development of a test that emulating a process water pumping between two containers interconnected with pipes and valves, which can contain each of the different types of signals used in industrial control Modern as well as various types of media drives that use microprocessors and equipped with PLCs. We got even beyond, to implement a monitoring system SCADA process we develop, we plot the results obtained by monitoring the different variables and we completed remotely accessing control and system monitoring through mobile devices based on Bluetooth communication and even to control Scheduled web-based Android platform language. To achieve the integration of knowledge into the student have three laboratory tests, which help to familiarize with modern control techniques easily.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

En el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Técnica del Norte, se desea implementar un módulo didáctico en el cual los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico puedan apreciar los equipos eléctricos y electrónicos que se ocupan en la actualidad dentro de la industria; estos aparatos sirven para controlar, monitorear y supervisar los procesos industriales en diferentes campos, utilizando para ello señales de estados de motores eléctricos, posiciones de electro válvulas, posiciones de sensores de nivel, cantidades de líquidos por intermedio de caudalímetro, uso de variadores de velocidad para controlar la velocidad de los motores asíncronos, señales de presión obtenidas por intermedio de presostato, comunicaciones entre módulos de control por intermedio de cables o equipos inalámbricos.

A través de los años la tecnología dedicada a la automatización ha ido evolucionado, consecuentemente las empresas se han visto obligadas a evolucionar a la par, y en la actualidad se realizan importantes inversiones en el mejoramiento y optimización de procesos.

Además, todas estas mejoras en los procesos industriales tienen como objetivo conseguir la eficiencia energética y el uso racional de la energía, minimizando en el consumo energético total de los equipo dentro del proceso productivo, para obtener de esta manera un ahorro económico que puede verse reflejado en mayor capital para reinversión y mayor productividad dentro de un determinado proceso.

Como requerimiento para poder realizar la optimización de un proceso industrial por intermedio de equipos de control e instrumentación, se necesita

elementos periféricos o elementos de campo, que actúan transduciendo el estado físico de un elemento y enviando una señal en diferentes tipos de comunicación, sea por intermedio de un voltaje o una corriente, señales que son interpretadas por el equipo de control, en este caso un PLC, el cual posee una programación específica de acuerdo al proceso industrial, dependiendo de sus diferentes condicionantes sus procedimientos.

Para poder controlar un proceso por grande o pequeño que este sea, se han diseñado sistemas de comunicación entre dispositivos, sean estos sensores en diferentes tipos, PLC, HMI y demás, los mismos que pueden ser del tipo digital o analógico, para su utilización en la extracción de datos y control remoto automatizado.

Existen para ello conexiones que pueden ser enlazadas a una tarjeta de adquisición de datos, ya sea por comunicación RS232, MODBUS, RS485, Ethernet, y otras, hacia una computadora a distancia o equipos de interfaz hombre- máquina (HMI), dando la facilidad de controlar el encendido el apagado de los motores aperturas de válvulas, información de voltajes corrientes factor de potencia, caudal, presión, niveles, y otros, según la necesidad.

1.2 Planteamiento del problema

Para los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico es necesario tener los conocimientos prácticos y teóricos de estos sistemas, que se utilizan actualmente de manera generalizada dentro de las diferentes industrias, lo que obliga al profesional a ir incrementando su conocimiento y experiencia en este tipo de sistemas.

El reto, en consecuencia, es generar un módulo educativo para desarrollar el conocimiento de los estudiantes de la carrera de mantenimiento eléctrico, mediante el cual se pueda experimentar con los diferentes tipos de transductores, señales y protocolos de comunicación que se utilizan dentro de una industria

moderna, adquiriendo un conocimiento previo, para que de esta forma tengan mayor capacidad y campo de acción al momento de entrar al mercado laboral, gracias a los conocimientos adquiridos en las diferentes prácticas de este módulo académico.

1.3 Formulación del problema

Gracias al análisis realizado, la investigación parte del siguiente problema:

¿Cómo implementar un módulo didáctico de instrumentación industrial, control y supervisión para el proceso de enseñanza y aprendizaje en los estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico?

1.4 Delimitación

1.4.1 Delimitación espacial

Esto se desarrolla en la parte Norte de la ciudad de Ibarra, específicamente en la Universidad Técnica del Norte.

El mismo que se encuentra en las instalaciones e infraestructura de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrica, ubicado en la Avenida 17 de Julio.

Latitud: 0° 21' 29.42" N

Longitud: 78° 06' 41.60" O

Altitud: 2207m



Figura 1. Ubicación Geográfica

Fuente:(Google Earth, 2014)

1.4.2 Delimitación temporal

El tiempo que llevara a cabo este proyecto es de 360 días laborables a partir del 1ero de septiembre del 2014.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Implementación de un módulo didáctico en los laboratorios de la carrera de ingeniería en Mantenimiento Eléctrico que permita la enseñanza a los estudiantes de temas relacionados con sistemas de control, adquisición y supervisión de procesos que se implementan actualmente en la industria a nivel mundial.

1.5.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una investigación teórica, recopilando información de fuentes bibliográficas y virtuales, para encontrar soluciones útiles que permitan la construcción del banco didáctico de instrumentación.
- Construcción el banco de pruebas de laboratorio de instrumentación y control, de conforme a la descripción y requerimientos planteados en el objetivo general, siguiendo además la normalización eléctrica que aplique para el conexionado de los circuitos de fuerza y control.
- Desarrollo y programación del sistema SCADA, supervisión, control y adquisición de datos.
- Realizar las Prácticas de Laboratorio que faciliten la correcta y segura utilización del banco de pruebas para la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte.

1.6 Justificación del proyecto

Para la carrera de ingeniería en mantenimiento eléctrico realizaremos el aporte de un módulo didáctico en el cual los estudiantes puedan observar los sistemas actuales de control, adquisición de datos y supervisión en tiempo real de un proceso, mediante el uso de un interfaz hombre-máquina (HMI).

Para esto se está implementando un módulo didáctico con el cual la ciencia y tecnología aprendida en las aulas de ingeniería de mantenimiento eléctrico, se pueda poner en práctica dentro de un proceso controlado, para poder modificar parámetros y escenarios según sea el requerimiento real.

Con el afán de estar a la par con el avance de la ciencia y tecnología dentro del campo eléctrico y electrónico, y en relación directa con los nuevos estándares de la industria y su migración a nuevas tecnologías de optimización de recursos y procesos industriales, hemos tratado de implementar un módulo que esté a nivel tecnológico de cualquier instalación industrial existente, ubicando sensores, PLC, equipamiento de conexasión, HMI, elementos de señalización de la mejor calidad y reconocidas marcas.

Una de las principales razones que motiva a realizar este tipo de proyecto de automatización es lograr la comprensión y conocimiento de la gran cantidad de señales, en diferentes tipos, voltajes, comunicaciones, controles, así como también poder apreciar el desarrollo de los aparatos eléctricos de control y automatización que se están implementando actualmente en el campo industrial.

Este módulo didáctico posee elementos de protección normalizados, los cuales se adquirieron específicamente para proteger y garantizar el correcto funcionamiento de los equipos que forman parte de este módulo, requiriendo únicamente para su operación el disponer de un sistema eléctrico con suministro bifásico de 220 VAC a 60 Hz.

1.7 Factibilidad

Existe la factibilidad de realizar este módulo académico ya que, el tema de esta tesis abarca gran cantidad de información relacionada con elementos de medida (sensores y transductores), tipos de señales (digital, analógica), tipos de comunicación (ETHERNET, RS485, RS232, WIFI, IP FIJA, APLICACIONES IOS, ANDRIOD) elementos motrices (bomba centrífuga). Información que será de gran ayuda para la enseñanza de los estudiantes de generaciones actuales y futuras de la Carrera de Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte, facilitando además las metodología de enseñanza de los ingenieros docentes especialistas dentro de las diferentes ramas de nuestra carrera.

1.8 Beneficios

Los beneficios del trabajo de grado son:

- Aprender a utilizar los sistemas de control de líquidos. (bombeo).
- Enseñanza de aplicaciones para el control de caudal.
- Enseñanza de aplicaciones para el control de presión.
- Diseño del sistema SCADA.
- Conocimiento de los procesos aplicados en la industria.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Instrumentación

En todo proceso industrial es imperiosa la necesidad de realizar mediciones, específicamente de ciertas variables físicas como la presión, caudal, nivel, temperatura. (Dr. CORRALES. Instrumentación Industrial. Quito-Ecuador. 2007).

Denominaremos instrumentación a todos los instrumentos y dispositivos vinculados utilizados correctamente para detectar, señalar, observar, medir, controlar o comunicar cualidades de un objetivo físico o proceso.

2.1.1 Campo de medida o rango

Según, Prof. Luis Amendola (2008), manifiesta que es: “El conjunto de valores dentro de los límites superior e inferior de medida, en los cuales el instrumento es capaz de trabajar en forma confiable. Viene expresado y estableciendo los valores extremos, para dar mayor confiabilidad a la estructura del sistema”.

Es el rango de medida en valores precisos que se podrá establecer en un elemento industrial. Es decir que la valoración de un instrumento permite determinar la confiabilidad del mismo, en un trascurso o sistema de trabajo.

2.1.2 Alcance

Según, Prof. Luis Amendola (2008), dice que: “Es la diferencia entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento, para encontrar el resultado deseado”.

Es el rango de cifras que podemos obtener un valor entre el límite superior y el inferior.

2.1.3 Error

Es la diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida”.

Es decir que el error obtenemos realizando un calculado algebraico y con el instrumento de precisión, por lo cual obtendremos la diferencia de medición en la variable medible.

2.1.4 Precisión.

Se denomina precisión a la capacidad que posee un instrumento para dar el mismo resultado en medidas diferentes realizadas en las mismas condiciones. No debe confundirse con exactitud ni con reproducibilidad”.

Es el mínimo error alcanzando el valor real de la mediada, minimizando la división de escala de un instrumento indicador con precisas medidas y una constante precisión.

2.1.5 Zona muerta (Dead band)

Según, Prof. Luis Amendola (2008), dice que: “Es el máximo campo de variación de la variable en el proceso real, para el cual el instrumento no registra ninguna variación en su indicación, es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento”.

Es una medida que se encuentra fuera del rango de medida y que el instrumentó no podría detectar en la zona.

2.1.6 Sensibilidad

Según, Prof. Luis Amendola (2008), dice que: “Es la relación entre la variación de la lectura del instrumento y el cambio en el proceso que causa este efecto, después de haberse alcanzado el estado de reposo”.

Es la concordancia entre la lectura del instrumento de medida y la señal real de proceso.

2.1.7 Repetibilidad

Según, Prof. Luis Amendola (2008), dice que: “Es la capacidad de un instrumento de repetir el valor de una medición, de un mismo valor de la variable real en una única dirección de medición, recorriendo todo el campo”.

Se puede decir que repetibilidad se realizaría a una medición en caso que no podríamos adquirir la medición real en una variable.

2.1.8 Histéresis

Según, Prof. Luis Amendola (2008), dice que: “Es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida”.

Es la transición del indicador analógico en que transita en las posiciones adecuados de medición.

2.2 Transductor de presión

Los transductores de presión se utilizan para el control de sistemas de presión. Por otro lado, los transductores de presión también se pueden usar para controlar presiones en calderas y dirigirlas mediante un sistema de regulación y control (Creus, 2006).

Es decir que estos elementos de transductores se aplican para controlar y regular todo proceso industrial que utiliza y funciona con presión, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Transductor de presión

Fuente: (WIKA, 2014)

Tipos de transductores de presión:

- Transductores mecánicos
- Elementos neumáticos
- Elementos electromecánicos y electrónicos

2.2.1 Manómetro de presión

Un manómetro es un aparato que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados, según se empleen para medir la presión de líquidos o de gases.

Muchos de los elementos utilizados para la medición de presiones, utilizan la presión atmosférica como nivel de referencia, y miden la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, denominándola a este valor de presión como manométrica; dichos aparatos reciben el nombre de manómetros.

La presión manométrica se pronuncia ya sea por encima, o bien por debajo de la presión atmosférica, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Manómetro

Fuente: (WIKA, 2014)

2.3 Transductor de nivel

Los transductores de nivel pueden existir de tipo continuo o discreto. A partir de la medida de nivel de un líquido en un tanque conociendo su forma, dimensiones y densidad, puede determinarse el volumen y la masa.

La medición de nivel es muy importante, tanto desde que su funcionamiento sea correcta, sea NA (Normalmente Abierto) o sea NC (normalmente cerrado), como se muestra en la Figura 4.

La utilización de instrumentos electrónicos con micro procesadores en la medida de otras variables tales como la presión y la temperatura, permiten obtener precisiones de lecturas altas, del orden del $\pm 2\%$ (Creus, 2006).



Figura 4. Transductores de nivel

Fuente: (MLSTATIC, 2014)

Tipos de transductores de nivel:

- Medidores de nivel de líquidos
- Medidores de nivel de sólidos

2.4 Transductores de caudal

El transductor de caudal es un elemento que se basa en diferentes principios según sea el tipo de fluidos compresibles o no. Son aplicados en procesos industriales, en empresas piloto en las que son importantes la medición de los caudales de líquidos o de gases.

Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido (desplazamiento), hay que señalar que la medida de caudal en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido (Creus, 2006).

Entre estos elementos se hallan los caudalímetros de obstrucción; la placa-orificio o diafragma, la tobera, y el tubo Venturi.

2.4.1 Medidor tipo switch de caudal mediante pulsos

Emisor de impulsos tipo “reedswitch” de veleta para medidores de chorro único y múltiple con Salida de Pulsos para registrador de datos al PLC.

Según, MADDLENA S.P.A. (2010), dice que: “El emisor, en combinación con el imán instalado en serie en la relojería del medidor, transmite un número de impulsos proporcional al flujo. Es apropiado para lectura a distancia, sistemas de dosificación”, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Medidor tipo switch de caudal mediante pulsos

Fuente: (OpenHacks, 2014)

Tipos de transductores de presión:

- Los volumétricos que determina el caudal en volumen del fluido
- Los de masa que determina el caudal de masa.

2.5 Calibración de instrumentos

Un instrumento se considera calibrado cuando en todos los puntos de su campo de medida, la diferencia entre el valor real de la variable y el valor indicado, registrado o transmitido, está comprendido entre los límites determinados por la premiación del instrumento (Creus, 2006).

En un instrumento ideal, la concordancia entre los valores reales de la variable comprendidos entre el campo de medida y los valores de lectura debe ser lineal.

2.6 Controladores

En el estudio y análisis de los sistemas de control se busca la manera de manipular a conveniencia estas variables de proceso en base a condiciones iniciales y herramientas adicionales que permitan hacer que el sistema cumpla con las especificaciones de funcionamiento deseadas por el usuario.

2.6.1 Tipos de sistemas de control

En el ambiente industrial se encuentran dos tipos de sistemas de control que son: Control Manual y Control Automático.

2.6.1.1 Control Manual

En la operación manual los sentidos humanos constituyen los elementos de medición, el cerebro humano el controlador y las señales son transmitidas a través del sistema nervioso.

La forma de control manual es la principal ejecución de un sistema de accionamiento de los elementos que conforman el proceso de ejecución de una actividad a través de la fuerza y movimientos humanos.

2.6.1.2 Control Automático

En este tipo de control, el hombre no interviene en las decisiones de control, su función es reemplazada por un controlador, el mismo que se encarga de efectuar la acción de control pertinente (Kuo y Golnaraghi, 2003).

Los sistemas de control automático se clasifican en sistemas de lazo abierto y de lazo cerrado.

2.6.1.3 Control sin realimentación (en lazo abierto)

Una señal de entrada o comando “ r ” se aplica al controlador, cuya salida actúa como señal actuante “ u ”; la señal actuante controla “ y ” el proceso controlado de tal forma que la variable controlada se desempeñe de acuerdo con estándares preestablecidos (Ogata, 2003).

En los casos fáciles, el controlador puede ser un amplificador, unión mecánica, filtro u otro elemento de control donde se efectúa una orden, como se muestra en la Figura 6.

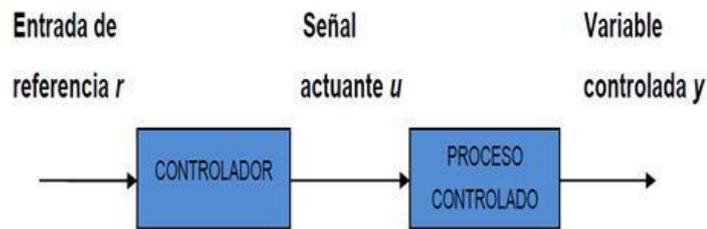


Figura 6. Sistema de control en lazo abierto

Fuente: (Ogata, 2003)

2.6.1.4 Control con realimentación (en lazo cerrado)

Para obtener un control más exacto, la señal controlada debe ser realimentada y comparada con la entrada de referenciar, y se debe enviar una señal actuante u proporcional a la diferencia de la entrada y la salida e , a través del sistema para corregir el error (Ogata, 2003).

Un sistema con una o más trayectorias de realimentación se denomina sistema en lazo cerrado el cual permite obtener una señal de la salida, afectando y variando la entrada, como se muestra en la Figura 7.

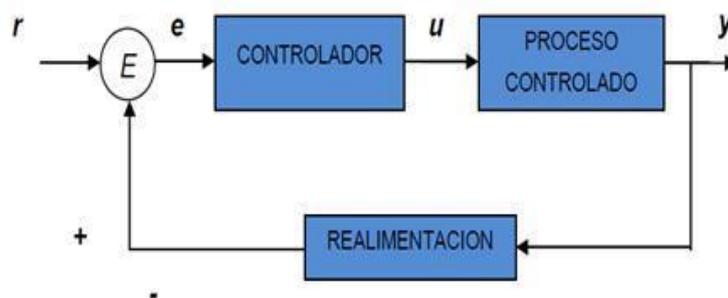


Figura 7. Sistema de control en lazo cerrado

Fuente: (Ogata, 2003)

2.7 Controlador lógico programable (PLC)

Un PLC, denominado así por sus siglas en inglés de Controlador Lógico Programable, es un conjunto de dispositivos electrónicos que fue inventado para reemplazar los circuitos secuenciales de relés utilizados en el control de máquinas y en el control de procesos.

Se basado en un programa de control escrito por el usuario y almacenado en memoria, monitorea los equipos conectados a las entradas y controla el estado de los equipos que están conectados como salidas, como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Controlador lógico programable (PLC MicroLogix 1100)

Fuente: (Rockwell Automation, 2015)

2.7.1 Características técnicas

Tabla 1. Características del controlador lógico programable

Número de I/O	Entradas	Salidas	Memoria Programa	Peso Kg.
24I/O	14/24VCD	10 salidas de relé	3000 Instrucciones	0.305

Fuente: (Autores, 2015)

Un (PLC) controlador lógico programable es EL resultante nada más que una computadora, que realiza las tareas del mando determinadas con toda seguridad.

2.7.2 Ventajas

- Control más preciso
- Mayor rapidez de respuesta
- Flexibilidad control de procesos
- Seguridad en el proceso
- Mejor monitoreo del funcionamiento
- Mejor mantenimiento

2.7.3 Desventajas

- Mano de obra especializada
- Centraliza el proceso
- Condiciones ambientales apropiadas
- Mayor costo para controlar tareas muy pequeñas o sencillas

2.7.4 Componentes internos de un PLC

En un PLC podemos obtener descripciones técnicas como podemos observar en la Figura 9.

- Bloques de entrada.
- Bloques de salida.
- Unidad central de procesamiento (CPU).
- Memoria del PLC.
- Fuente de alimentación eléctrica DC/AC.
- Dispositivos de programación.

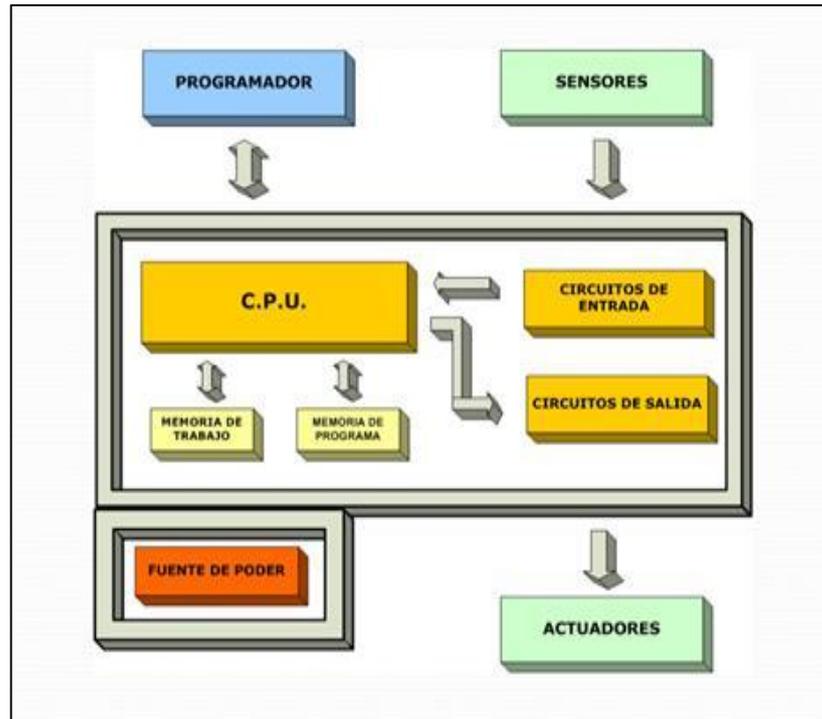


Figura 9. Componentes internos de un PLC

Fuente: (Automatica, 2015)

2.8 Sistemas SCADA

Primeramente podemos definir que el término SCADA viene de las siglas “Supervisor y Control and Data Adquisition”, es decir adquisición de datos y control de supervisión, por lo tanto InTouch es un paquete de software utilizado para crear aplicaciones de interface hombre - máquina bajo entorno PC. InTouch utiliza como sistema operativo el entorno WINDOWS 95/98/NT/2000”.

InTouch es un software que fue elaborado para formar y desarrollar interfaces graficas las cuales permitirán interactuar al humano con la maquina o proceso que se podrán utilizar al desarrollo de control industrial, como se muestra en la Figura 10.

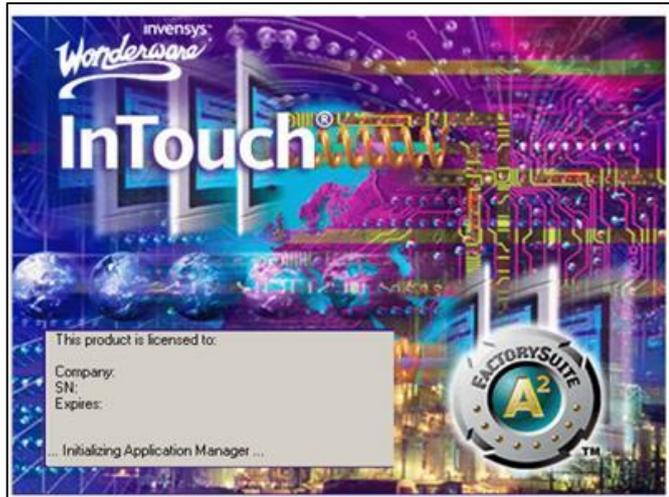


Figura 10. Programa InTouch

Fuente: (Invensys, 2015)

2.8.1 Características

Es un instrumento potente y flexible, que su diseño fue encaminado para automatizar, monitorear, supervisar y controlar procesos.

Pueden exportar las principales funciones del Microsoft Windows, incluye el intercambio Dinámico de datos (Dynamic Data Exchange DDE), enlace de objetos y empotrado (ObjectLinking and Embedding OLE) y gráficos.

2.8.2 Manejo y Aplicación del Sistema Software

InTouch HMI para supervisión y control de procesos industriales ofrece una amplia gama para la creación y configuración de gráficos, esto ayuda a tener un fácil manejo de los diferentes procesos que se deseen supervisar.

Permite a los usuarios la creación y puesta en marcha de aplicaciones para la elaboración de históricos de información en tiempo real. Las aplicaciones elaboradas con InTouch son lo suficientemente extensas para cubrir las necesidades y permitir su incremento para el acondicionamiento a futuros requerimientos.

2.8.3 Interfaz con RJ 45 y USB del control

El CPU incluyen puertos USB y serie, el conector RJ-45 del puerto serie es situado en la parte inferior del PLC. Aunque el conector RJ-45 es el mismo que el usado en redes de datos Ethernet, el cableado y las señales eléctricas son diferentes. Como se muestra en la Figura 11.

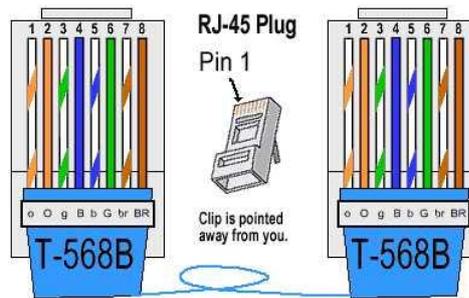


Figura 11. Conector RJ 45

Fuente: (AVTips, 2014)

El control que se ha planteado para este módulo es el indicado a continuación, como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Interfaz con RJ 45 PLC -Ordenador

Fuente: (Autores, 2015)

2.8.4 Diseño del circuito eléctrico de fuerza y control

Uno de ellos es la esquematización eléctrica de sus componentes para ello es indispensable que el desarrollador elabore toda la conexión eléctrica de los

elementos que van a estar implicados en el sistema de control.

Siempre que se desarrolla un proyecto de automatización se debe tener una secuencia lógica de ejecución del proyecto.

2.8.5 Módulo de control

El módulo de control consta de, una toma de alimentación bifásica, fusibles, un PLC, breakers, cables de alimentación para la transferencia de energía eléctrica para el PLC y para sus salidas de relés, conductores de fuerza para variador de frecuencia y un motor de 1HP , como se observa en la Figura 13.



Figura 13. Módulo de control

Fuente: (Autores, 2015)

En el módulo de control se podrá realizar varias prácticas de automatización dependiendo la necesidad que se presenta, utilizando los diferentes tipos de comunicación y control en el ámbito industrial.

2.8.6 Lenguaje de programación

El paquete de programación de lógica de escalera RSLogix 500 ayuda a maximizar el rendimiento, reducir el tiempo necesario para desarrollar un

proyecto y mejorar la productividad. Este producto ha sido desarrollado para funcionar en los sistemas operativos WindowsR 95, WindowsR 98 y Windows NT™ de 32 bits de Microsoft (Rockwell Automation, 2015).

MicroLogix y RSLogix 500 de Allen -Bradley y fue el primer software de programación PLC en ofrecer un óptimo interface de usuario líder en la industria moderna.

2.9 Variador de frecuencia

Consiste en un sistema para la variación de velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia (PWM) que alimentara a un motor. Un variador con capacidad para motores hasta de 1.5 Hp de potencia 1.1KW, puede ser conectado a una alimentación monofásica (220V 2Ø input / output 220V 3Ø).

2.9.1 Utilización del variador con un motor de tamaño diferente

El variador altivar ATV312HU11M2 puede ser conectado con alimentación bifásica (220V 2Ø). Al ser conectado bifásicamente su potencia no va llegar al máximo de su capacidad, llegando a un 72% de su potencia; pero si se conecta trifásicamente va a llegar a un 100% de su potencia.

2.9.2 Características y funciones de los bornes de potencia

Tabla 2. Características del Variador de Frecuencia

Bornero	Función	Características eléctricas
R1A	Contacto NA del relé	Poder de conmutación mínima: • 5 mA para 24 V c
R1B	Contacto NC del relé	Poder de conmutación máxima: • 2 A para 250 V a y para 30 V c en carga inductiva

CONTINÚA 

R1C	Común del relé	($\cos \phi = 0,4$ y $L/R = 7$ ms) <ul style="list-style-type: none"> • 3 A para 250 V a y 4 A para 30 V c en carga de resistencia
COM	Común de las E/S analógicas y lógicas	
AI1	Entrada analógica en corriente o tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Resolución: 10 bits • Precisión: $\pm 1\%$ a 25 °C (77 °F) • Linealidad: $\pm 0,3\%$ (escala plena) • Tiempo de muestreo: 20 ms \pm 1 ms Entrada analógica de tensión de 0 a +5 V o de 0 a +10 V (tensión máxima 30 V),
5 V	Alimentación eléctrica de consigna para potenciómetro de	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión: $\pm 5\%$ • Intensidad máxima: 10 mA
AO1	Salida analógica de corriente o de tensión (colector)	<ul style="list-style-type: none"> • Resolución: 8 bits • Precisión: $\pm 1\%$ a 25 °C (77 °F) • Linealidad: $\pm 0,3\%$ (escala plena) • Tiempo de muestreo: 4 ms (máximo 7 ms) Salida analógica de tensión: 0 a +10 V (tensión máxima +1%) <ul style="list-style-type: none"> • Impedancia de salida mínima: 470 Ω
LO1	Salida lógica	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión: 24 V (máxima 30 V) • Impedancia: 1 kΩ, máximo 10 mA (100 mA en colector abierto) • Linealidad: $\pm 1\%$
CLO	Común de la salida lógica (emisor)	
LI1	Entradas lógicas	Entradas lógicas programables
LI2		<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación eléctrica +24 V (máximo 30 V)
LI3		<ul style="list-style-type: none"> • Impedancia: 3,5 kΩ
LI4		<ul style="list-style-type: none"> • Estado: 0 si < 5 V, estado 1 si > 11 V en lógica positiva
		<ul style="list-style-type: none"> • Estado: 1 si < 10 V, estado 0 si > 16 V o

CONTINÚA 

+24V	Alimentación de +24 V proporcionada por el variador	+ 24 V -15% +20% protegido contra cortocircuitos y sobrecargas. Corriente máxima del cliente disponible 100 mA
------	---	--

Fuente: (Autores, 2015)

2.10 Módulo didáctico

En el control de panel principal están fijados todos los dispositivos a utilizarse en el prototipo de instrumentación. Como por ejemplo la fuente, PLC, variador de frecuencia, contactor, transformador de aislamiento, etc. Como se puede mostrar en la Figura 14.



Figura 14. Módulo didáctico

Fuente. (Autores, 2015)

El modulo didáctico se puede controlar de dos formas, a través de la computadora y también por un elemento móvil Android Desde el software de control, podemos enviar a apagar como a encender la bomba, y seleccionar de forma manual o automática (control PI).

2.11 Sistemas de bombeo

La acción de bombeo es la adición de energías cinética y potencial a un líquido con el fin de moverlo de un punto a otro. Esta energía hará que el líquido efectúe trabajo, tal como circular por una tubería o subir a una mayor altura.

El sistema de bombeo es el proceso de trasportar un caudal de determinado líquido que se pretende utilizar, controlado por el nivel estático y el nivel dinámico para el caudal deseado, como se puede detallar en la Figura 15.

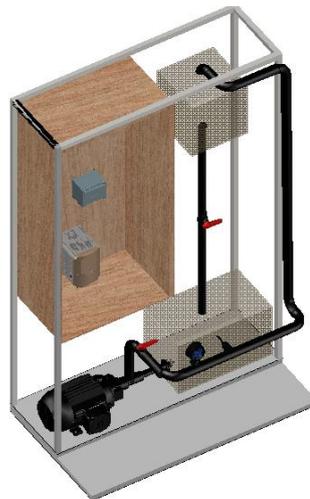


Figura 15. Sistemas de bombeo

Fuente: (Autores, 2015)

Este proceso se logra a cabo por medio de motores eléctricos que están acoplados a máquinas denominadas bombas, que según su principio de funcionamiento se dividen en los siguientes:

2.11.1 Bombas de desplazamiento positivo

Su funcionamiento de la bomba centrífuga se centra en guiar el fluido que se desplaza a lo largo de su trayectoria, con variaciones de presión, gracias a los desplazamientos de volumen en el miembro de retención.

2.11.2 Bombas roto dinámicas

Son máquinas que transportan fluidos, en las cuales el intercambio de energía (de la máquina al fluido) es provocado por la variación del momento cinético del fluido al paso por los ductos de un órgano, que se mueve con movimiento de rotación dotado de álabes o paletas que se denomina rotor.

2.12 Motor de inducción

Ya que la mayoría de las máquinas existentes en la industria están en movimiento por motores asíncronos, suministrados por corriente alterna trifásica, en este trabajo se dará unas ideas muy generales de este tipo de motores.

Los motores eléctricos llegan a satisfacer una gran gama de necesidades de servicio, desde arrancar, acelerar, frenar, o mover, hasta sostener y detener una carga. El motor de inducción, es una máquina rotativa de corriente alterna más utilizada, debido a su fortaleza y sencillez de construcción.

Estos motores son fabricados en potencias de rangos variables desde una pequeña fracción de hp hasta varios miles de hp, y con una diversa variedad de velocidades, que pueden ser fijas, ajustables o variables.

Las máquinas de inducción tienen una mayor demanda en la industria gracias su robustez, mínimos o nulos exigencias de mantenimientos y menores costos de operación ya que pueden operar directamente a la red eléctrica (Frecuencia y voltaje constante), permitiendo operar cargas a una velocidad esencialmente constante.

Las máquinas de inducción es un transformador generalizado que:

- Transforma energía eléctrica a energía mecánica.
- Cambia la frecuencia.

Se fundamenta en el flujo de energía mecánica. Por esta razón, si a una máquina rotatoria se alimenta con energía eléctrica en el estator se convertirá en

energía mecánica en el rotor, en caso contrario funcionara como generador, como se muestra en la Figura 16.

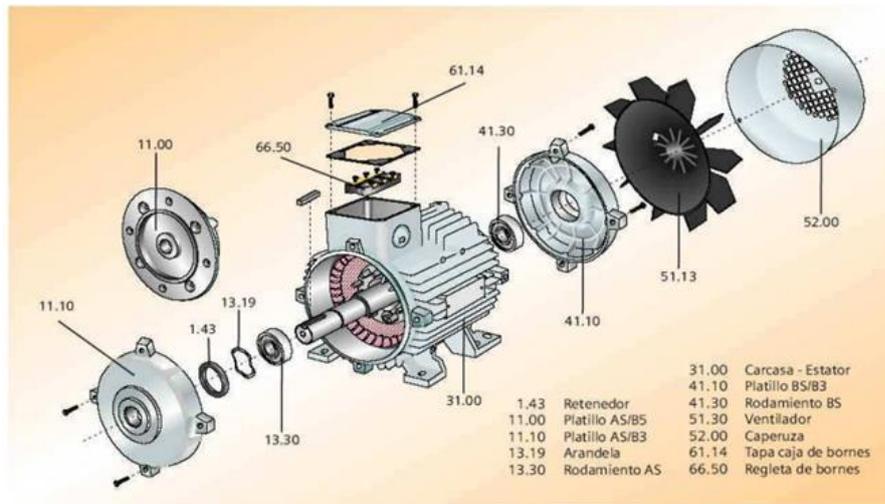


Figura 16. Motor de inducción

Fuente: (Aller, 2008)

2.13 Bombas centrífugas

En una bomba centrífuga, el líquido es forzado por la presión atmosférica u otra hacia un grupo de paletas en rotación que viene a ser un impulsor que descarga el líquido a una presión más alta y a mayor velocidad en su periferia”.

La mayor parte de la energía de velocidad se transforma en energía de presión por medio de una voluta (bombas de voluta) o con un conjunto de paletas de difusión estacionarias (bombas de difusor) que rodean la periferia del impulsor.

La bomba centrífuga es una maquina elaborada para trasportar líquidos de un pozo, tanques, etc. Juntada a un motor eléctrico a una velocidad alta o mayor, como se demuestra en la Figura 17.



Figura 17. Bomba centrífuga

Fuente:(TRUPER, 2015)

Los elementos de que forma una instalación de bomba centrífuga son:

Una tubería de aspiración, que determinadamente forma la brida de aspiración.

El impulsor o rodete, formado por un grupo de álabes que pueden formar diversos aspectos y que giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va acoplado solidariamente al eje, siendo la parte rodante de la bomba.

La voluta es una parte fija que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, a su salida, de tal forma que la separación entre ella y el rodete es menor en la parte superior, y va en aumento hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión.

Las bombas centrífugas pueden tener diversas categorías, de las cuales en su mayoría dependen del impulsor. En primer lugar, los impulsores se catalogan de acuerdo a la dirección principal del flujo con respecto al eje de rotación, de allí que las bombas centrífugas pueden poseer impulsores de flujo radial, axial y mixto”.

Se clasifican de acuerdo a la forma del flujo, en bombas centrífugas de succión sencilla con una sola entrada en un lado; de succión doble, en que el agua corre en forma simétrica hacia el impulsor desde ambos lados.

2.13.1 Terminología básica en bombas

Los términos primordiales utilizados para especificar y por lo tanto medir el funcionamiento de las bombas son:

- Descarga o caudal
- Cabeza
- Potencia y Eficiencia

2.13.1.1 Descarga

También llamado caudal o capacidad de una bomba, es el volumen de líquido bombeado por unidad de tiempo. La medición del caudal de fluidos, constituye uno de los aspectos más importantes del control de procesos industriales”.

El valor de un caudal se determina calculando generalmente la velocidad del fluido que pasa por un ducto de sección determinada.

Mediante esta forma indirecta lo que se logra calcular es el caudal volumétrico (Q_v) que en su forma más sencilla sería:

$$Q_v = V * A$$

Dónde:

A: es la sección transversal del tubo (m²)

V: la velocidad lineal del fluido (m/s)

El principio de ejecución se basa en medir la caída de presión que se origina a través de una restricción que se coloca en la línea de un fluido en movimiento, esta caída de presión es proporcional al flujo, y se expresa de la siguiente forma:

$$Q_v = \frac{C_d * A \sqrt{2 * p * dp_0}}{p}$$

Dónde:

Cd: es el coeficiente de descarga en el instrumento de medida

A: es la sección transversal de la tubería (m²)

dpo: es el diferencial de presión medido por el instrumento (Pa)

2.13.1.2 Cabeza

La energía dada por una bomba a un método se habla como la cabeza equivalente del líquido que está siendo bombeado y se denomina como la cabeza total de la bomba. La cabeza total es la diferencia entre la cabeza de energía total a la salida y la cabeza de energía total a la entrada.

La cabeza total de la bomba se expresa por:

$$H = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$$

De encontrarse la entrada a la bomba a un nivel distinto al de la salida de la bomba, la cabeza total se expresa como:

$$H = Z_2 - Z_1 + \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$$

Siendo Z₂-Z₁ la diferencia de altura entre la entrada y salida de la bomba.

2.13.1.3 Potencia y Eficiencia

La potencia P consumida por el líquido al producir la cabeza total dinámica de la bomba H a la descarga, es dada por la siguiente ecuación:

$$P = \rho * g * Q * H$$

Dónde:

ρ : es la densidad del fluido (Kg/m³)

g : gravedad (m/s²)

Q : Caudal (m³/s)

Sin embargo, las pérdidas por fricción del fluido en la bomba determina en la eficiencia hidráulica E_h que se define como:

$$E_h = \frac{\text{Potencia util absorbida por el fluido } (P_u)}{\text{Potencia dada por el impulso } (P_h)} * 100\%$$

Además las pérdidas mecánicas en los rodamientos, etc., necesitan una eficiencia mecánica E_m definida como:

$$E_m = \frac{\text{Potencia util absorbida por el fluido } (P_h)}{\text{Potencia dada por el impulso } (P_m)} * 100\%$$

Existe otra eficiencia expresando las perdidas electromecánicas en el motor establecida por la siguiente ecuación:

$$E_e = \frac{\text{Potencia util absorbida por el fluido } (P_h)}{\text{Potencia dada por el impulso } (P_h)} * 100\%$$

De allí que la eficiencia total se definiría entonces como:

$$E_t = \frac{\text{Potencia util absorbida por el fluido } (P_u)}{\text{Potencia dada por el impulso } (P_{gr})} * 100\%$$

$$E_t = \frac{p * g * Q * H}{P_{gr}} * 100\%$$

2.13.2 Curvas Características De Las Bombas Centrífugas

Una curva de bombeo o curva característica de una bomba, es una representación gráfica de una característica específica del rendimiento de una bomba.

En la gráfica es de utilidad, tanto para determinar las bombas para una aplicación, como para verificar si una bomba que ya ha sido instalada está rindiendo al nivel de su capacidad.

En este tipo de mecanismos las características funcionalidad más importantes para su selección y definición de comportamiento se pueden abreviar en tres relaciones

- Flujo volumétrico y cabeza (energía proporcionada al fluido)
- Flujo volumétrico y potencia.
- Flujo volumétrico y eficiencia.

Esta curva del sistema es la que simboliza el comportamiento de todo el sistema en la cual está instalada la bomba. El punto de operación de una bomba es cuando su curva característica se cruza con la curva característica del sistema.

2.14 Rendimiento de las bombas

El rendimiento hidráulico de una bomba centrífuga contiene tres factores básicos:

2.14.1 La capacidad

Mencionada en unidad de volumen por unidad de tiempo, como rpm.

2.14.2 La carga total

Indicada en unidades de longitud del líquido que se bombea.

2.14.3 La velocidad a la cual funciona la bomba

Habitualmente expresada en RPM.

La curva también muestra el caballaje al freno requerido con varios flujos y la eficiencia correspondiente de la bomba. La capacidad a la cual la bomba trabaja con más eficiencia se nombra punto de máxima eficiencia.

Sería más correcto llamar a WHP caballos de líquido, que se determinan con:

$$WHP = \frac{QH(sp * gr)}{3960}$$

Dónde:

WHP = caballos de agua,

Q = capacidad de la bomba, gpm

H = carga total, ft.

sp.gr = gravedad específica

La potencia necesaria para la propulsión de la bomba son los caballos de agua divididos entre la eficiencia (η) de la bomba. Por lo consiguiente al dividir la ecuación anterior entre esta eficiencia se tiene:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} ; \frac{H_2}{H_1} = \frac{n_2}{n_1}^2 ; \frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2}{n_1}^3$$

Cabe acentuar que generalmente suceden ciertas desviaciones de estas leyes incluso con reducciones más o menos pequeñas de diámetro de impulsor.

2.14.4 Variables

Dichas variables pueden clasificarse, según el campo a la cual están dedicadas en: variables térmicas (como la temperatura, calor específico, valor calorífico, etc.), variables de radiación (nuclear y electromagnéticas), variables de fuerza, velocidad, cantidad, tiempo, geométricas, variables de propiedades físicas (como densidad y peso específico, viscosidad), variables de composición química y variables eléctricas”.

La medición de las cantidades implicadas permite controlar el proceso, las variables son descritas como variable controlada y variable manipulada.

La variable manipulada es la cantidad o condición variada por el controlador y que se utiliza para mantener a la variable controlada en su lugar de fijación (punto de control o régimen) corrigiendo o restringiendo las desviaciones de la variable medida al valor deseado.0

2.15 Tuberías y accesorios

Para esta instalación no fue necesario la utilización Tubería galvanizada, ya que la presión no esta tan elevada, se aplicó Tubería PVC hidro3 de 3/4” para la parte de succión y de descarga, como se muestra en la Figura 23.



Figura 18. Selección de tuberías y accesorios

Fuente: (TUBULARES S, 2015)

2.15.1 Válvula de bola y codos

Los accesorios básicamente fueron bushing, uniones universales, válvula unidireccional, pasa tanques codos de 90 y 45 grados, como se puede ver en la Figura 24.



Figura 19. Selección de tuberías y accesorios

Fuente: (Autores, 2015)

2.16 Router wifi.

Establece rutas que destina a cada paquete de datos al alcance de una red informática. A través de sistema de wifi para el desarrollo interno de quienes proveen servicios de Internet o una red interna.



Figura 20. Router Tp link

2.17 Contactor

Es un aparato que permite conectar y desconectar la corriente eléctrica de un receptor o instalación con la posibilidad de ser operado a distancia, que tiene dos estados de funcionamiento: uno abierto o de reposo, cuando no recibe señal alguna por parte del circuito de mando, y otra cerrado o de inestable, cuando actúa dicha acción.



Figura 21. Contactor Trifásico

Fuente: (ABB, 2015)

2.18 Torre de señalización

Indicadores de diversos segmentos remontados y reconfigurados sustituyen las luces apiladas, que muchas veces necesitan montajes que llevan mucho tiempo y cableados complejos.



Figura 22. Torre de señalización

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación.

Una vez revisado el marco teórico que sustenta los parámetros científicos de esta investigación, podemos determinar al proceso deductivo como aquel necesario para ejecutar el proyecto, basado además en la experimentación y aprendizaje sostenido en los datos recopilados de la información de campo.

Cabe recalcar que en este proyecto de titulación realizaremos los siguientes tipos de investigación:

3.1.1 Investigación de Campo

Esta investigación permite visualizar los fenómenos científicos que se recrean de manera controlada en el módulo didáctico como son: incrementos de presión y de caudal, bombeo con diferentes porcentajes de restricción, fijación de objetivos a cumplir y variables a mantener mediante el control en lazo cerrado del autómata programable con visualización del proceso en el HMI.

3.1.2 Investigación Tecnológica

La investigación que se va a realizar será encaminada a producir un sistema eficiente de automatización utilizando para ello tecnología nueva, con la capacidad incrementar la confiabilidad, productividad y eficiencia de cualquier proceso productivo.

3.1.3 Investigación Documental

Es documental porque este proyecto tuvo la necesidad de ser sustentado desde el punto de vista teórico y técnico, con el fin de desarrollar el módulo didáctico,

para lo cual se utilizó varias fuentes de investigación como son: libros, manuales, documentos virtuales y demás.

3.2 Métodos.

3.2.1 Método Inductivo.

Este método permitió un palpar inicial a una serie de sucesos y acciones, los cuales después de ser analizados y estudiados, permitieron desarrollar conclusiones de aplicación general, las mismas que ayudaron como soporte de la investigación en la implementación de este módulo.

Al desarrollar el módulo didáctico se evaluó los procedimientos de seguridad adecuados tanto para el estudiante como para el espacio físico en donde se ubicará el proyecto dentro del laboratorio de la carrera.

3.2.2 Método Deductivo

Este método se basa en definir parámetros de acuerdo a los contenidos generales, los mismos que se utilizaran para el desarrollo del Marco Teórico y la Propuesta Alternativa que vayan acordes con nuestro tema de tesis.

3.2.3 Método Tecnológico

Este método se utilizó mediante la observación de industrias que cuentan con sistemas de supervisión de parámetros, permitiendo conocer y estudiar el funcionamiento del sistema SCADA, y de los múltiples elementos que lo conforman.

3.2.4 La recolección de información.

Recopilación de información de conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra preparación académica en la Universidad Técnica del Norte y la recopilación que puede proporcionar el módulo didáctico en funcionamiento, la cual se sustenta en la información obtenida por sensores y transductores del

sistema (tales como sensores de nivel, de caudal, de presión, etc.). Adicionalmente información calculada o medida indirectamente tales como: velocidad de giro real del motor, deslizamiento y potencia de la bomba.

Además, en base a la obtención de información conseguida de las prácticas de laboratorio, se podrá implementar una tecnología base acorde con las necesidades de la cátedra impartida y procesos industriales relacionados dentro del ámbito laboral real.

3.3 Técnicas e Instrumentos

Esta técnica fue aplicada mediante una exposición detallada a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la UTN, pormenorizando el funcionamiento del módulo didáctico y sus múltiples aplicaciones en la industria.

CAPÍTULO IV

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

4.1 Propuesta

DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS POR PRESIÓN O CAUDAL Y ELABORACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO.

4.2 Propósito

Se implementará un módulo didáctico con la instrumentación de equipos del ámbito industrial, con la adquisición de datos y señales hacia un PLC Micrologix 1100 Allen Bradley, el mismo que podrá realizar el monitoreo y control de líquidos ya sea por presión o caudal, para clases demostrativas en el laboratorio de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte.

4.3 Introducción

En el presente proyecto tiene el propósito de proveer a la carrera en Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte un módulo educativo con el cual los estudiantes de la carrera puedan incrementar sus conocimientos y habilidades acerca de proyectos del ámbito industrial con equipos de tecnología actual.

Para cumplir con este propósito, se implementará y construirá un módulo de control de líquidos, modelando un sistema de bombeo de agua continuo, también contará con un sistema SCADA para el monitoreo y control del mismo, en la interfaz HMI InTouch Wonderware y monitoreo mediante aplicaciones descargables e instalables en equipos Android, específicamente My SCADA, todo esto tendrá su propia red industrial de comunicación.

Además este módulo de laboratorio, constará con su respectivo manual de

usuario para puesta en marcha, el cual permite conocer la configuración de forma manual y automática para el PI y los parámetros de los equipos al momento de su arranque y funcionamiento estable, en diferentes escenarios de caudal, presión y nivel.

4.4 Diseño del módulo didáctico

El presente módulo se construirá en tubo metálico de hierro negro, con un doble fondo que tendrá todos los equipos de instrumentación, control, fuerza y protecciones en AC y DC, con salidas análogas y digitales provistas por borneras para su fácil manipulación (bajo normas internacionales, IEC) , también tendrá motor trifásico de 220 Vac, 60 Hz, 1HP, acoplado a una bomba, en conjunto son capaces de bombear 48 litros por minuto. Además, incluye un variador de frecuencia, de alimentación de ingreso bifásica 220 Vac, y a su vez salida trifásica 220 Vac, para evidenciar el uso de la electrónica de potencia para ciertas aplicaciones donde el voltaje de la red no es el estándar para equipos industriales de potencias moderadas.

En el mismo módulo se ubica un reservorio de agua, junto a un tanque de paso, ambos en vidrio, para poder apreciar el funcionamiento de los sensores de nivel instalados para la simulación de proceso. Toda la tubería del módulo está realizada en 3/4", con sus diferentes accesorios y válvulas de operación y seguridad, además se utiliza manguera flexible de alta presión para visualizar el movimiento del líquido desde el tanque reservorio, al tanque de paso. En el tanque de paso se ubican tres sensores de nivel tipo flotador, para condiciones nivel bajo, medio y alto.

La red industrial esta provista de un router inalámbrico con 4 salidas a PC y una señal Wi-Fi denominada (TESIS MD PID) sin clave y con opción a conectarse a la red interna del laboratorio de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

4.4.1 Estructura del módulo

El módulo está compuesto en su mayoría de partes metálicas, sus dimensiones son 1.20 m. de ancho, por 2.00 m. de alto. El mismo que está apoyada en ruedas de caucho en cada uno de sus extremos; los tanques de agua se construirán en vidrio con sus respectivos orificios para los distintos sensores y accesorios de tubería de 1", la gran mayoría de la tubería es de plástico PVC, y además incluye una manguera de alta flexibilidad y alta presión para una parte del recorrido que permite montar y desmontar los accesorios de tubería entre tanques. Incluye una base metálica de aluminio corrugado para montaje de un motor con bomba centrífuga de 1HP de 48Litros/minuto.



Figura 23. Estructura metálica

Fuente: (Autores, 2015)

4.4.2 Motor con bomba centrífuga de 1Hp de 48litros/minuto

Este motor será construido a partir de un motor monofásico de 1HP, el mismo que será rebobinado de forma artesanal, pasando de ser monofásico a trifásico en 2 polos a 3600rpms consumiendo una corriente de 1A en vacío y 4.4A a plena carga. Este motor, con estas características, es suficiente para el módulo demostrativo materia de esta tesis. Los parámetros del motor fueron obtenidos una vez rebobinado el motor, realizando la opción del “auto tunnig”, para de esta manera poder programar el funcionamiento apropiado motor mediante el uso del variador de frecuencia.

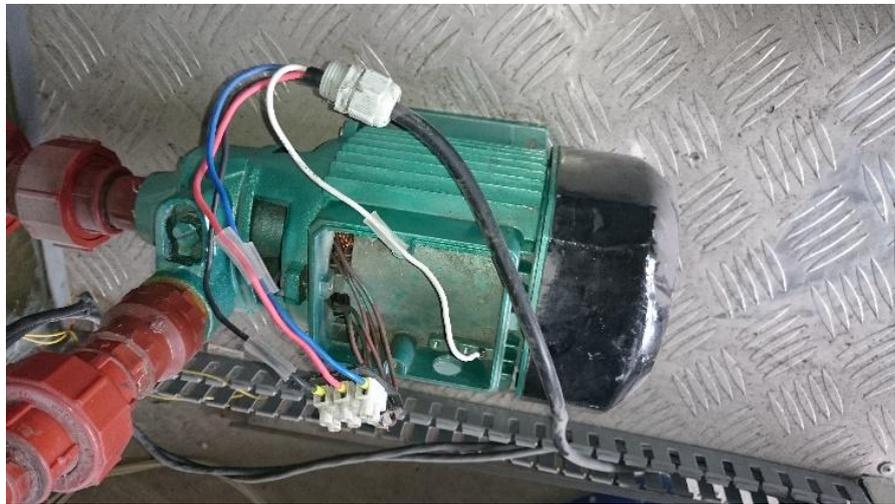


Figura 24. Motor de 1 HP

Fuente: (Autores, 2015)

4.4.3 Descripción eléctrica del módulo didáctico

El módulo tendrá un breaker principal de 40A bifásico conectado a un repartidor de cargas de 4 polos de 125 Amperios. En el repartidor de carga, se tomará la previsión de aterrizar el neutro a la estructura, y mediante el conector tipo clavija ubicado para la alimentación principal del módulo, se pondrá a tierra todo el sistema del módulo didáctico. De esta manera se tiene una referencia fija para la comunicación en la red industrial, evitando de esta manera cualquier pérdida de comunicación datos. El módulo tendrá un transformador de aislamiento para el circuito de control de 500VA, proveyendo de esta manera un aislamiento

galvánico entre el primario y secundario, protegiendo hasta cierto punto, de cualquier voltaje de impulso a los equipos electrónicos que forman parte de este módulo.

Se ubicarán además, las protecciones necesarias para alimentaciones de equipos, fusibles para la protección de las entradas del PLC, y como equipo sumamente importante, en toda instalación de baja tensión, a la cabecera del mismo se ubicará un supresor de transientes, conocido como TVSS, el mismo que será ubicado en conexión de modo común, aterrizando su salida al mismo punto de tierra de toda la instalación.

Tendrá un tomacorriente GFSI de 15A de 0.03mA este será utilizado para equipos de comunicación y el equipo de supervisión y monitoreo. Este dispositivo sirve para protección de las personas y equipos, al existir una falla o fuga a tierra actúa suspendiendo la alimentación de salida, evitando si la electrización de las personas o daño en los equipos.

Para completar con las instalaciones del módulo, se ubicarán canaletas plásticas, riel din para fijación de elementos y borneras para conexionado de cables.

Como se puede observar, en este módulo didáctico se está incluyendo equipamiento de muy buena calidad, y sobre todo, equipamiento que en la actualidad se está tratando de instalar en las diferentes industrias e instalaciones a nivel mundial para tener un sistema eléctrico dentro de las normas internacionales mínimas para un correcto y seguro funcionamiento.

4.4.4 Circuito de control

Todo el circuito de control deberá de ser conectado con cable Super Flex THHN número 18AWG, en sus diferentes colores según la norma NEC (National Electric Code).

También se deberá cumplir con la ubicación de los terminales de conexionado en cada uno de los cables previo a la ubicación en las borneras de conexión de los

equipos y de los elementos periféricos del módulo didáctico. De acuerdo al terminar del equipo a conexionarse, se ubicará el terminal recomendado por la norma para un correcto funcionamiento del elemento, además cada uno de los cables tendrán su respectiva identificación correspondiente al plano del circuito control implementado.

4.4.5 Circuito de fuerza.

El cableado del circuito de fuerza y la sección de sus cables tendrán relación directa con la carga a soportar y el diagrama unifilar del mismo. Esta sección de cable se ubicará de tal manera que los equipos presente la menor caída de tensión al momento de entrar en operación y que además exista la holgura necesaria para cualquier incremento de potencia de darse el caso. El circuito de fuerza será conectado también con cable Super Flex THHN. Para cumplir con lo expuesto anteriormente, la instalación de los circuitos de fuerza se realizará con cable en calibre nro. 10 AWG. De igual manera, por recomendación de la norma, los cables utilizados para conexionado del supresor de transientes serán en calibre no menor a nro. 6 AWG, en especial el cable que se unirá con el terminal de tierra del sistema eléctrico del módulo.

4.4.6 Conexionado de los motores de inducción

El conexionado de los motores de inducción se lo realizará respetando el diagrama de conexionado provisto por el constructor del equipo y cumpliendo con las normas respectivas para el uso de terminales específicos y ajuste determinado de terminales e bornes. Se deberá aterrizar el equipo con el cable PE, para protección, cable que sirve como protección de las personas y del equipo al momento de una electrización de la carcasa. Se revisará el sentido de giro previo al funcionamiento para evitar daños en la bomba de impulsión.

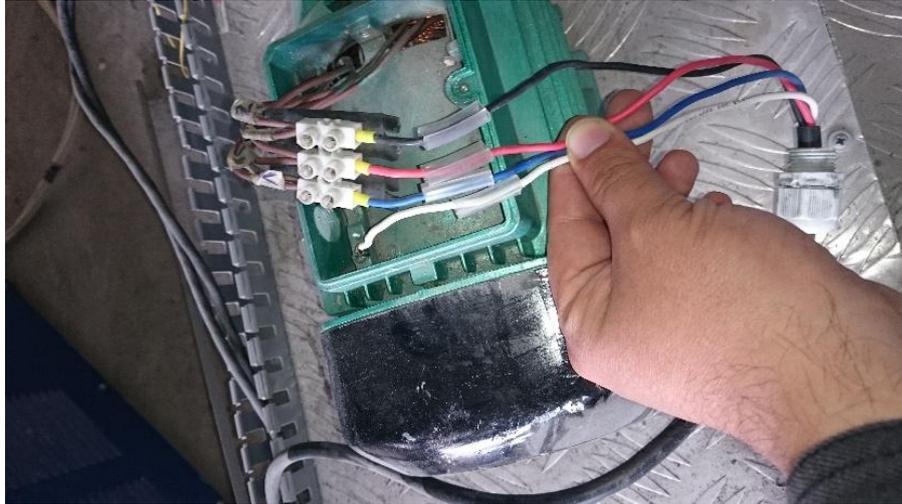


Figura 25. Conexión motor

Fuente: (Autores, 2015)

4.4.7 Conexión del variador de frecuencia

Basándonos en el manual de operación y puesta en servicio del variador de velocidad provisto por el constructor, ubicando los terminales del tipo necesario para los bornes del variador, se procede a revisar que todos los cables del variador se hallen conectados y en los puntos específicos para determinado tipo de trabajo o comunicación.

Los cables de fuerza de ingreso de la fuente, se ubicarán en los terminales respectivos, junto al cable de tierra del sistema eléctrico, mientras que los cables a la salida del motor, se ubicarán en los tres bornes de salida de alimentación trifásica, de igual manera el cable de tierra deberá ser ubicado en su terminal específico. De preferencia este cable deberá tener un terminador tipo ojo, por protección intrínseca del equipo y de las personas. Además por norma, este cable deberá ser en color verde o verde con líneas amarillas.

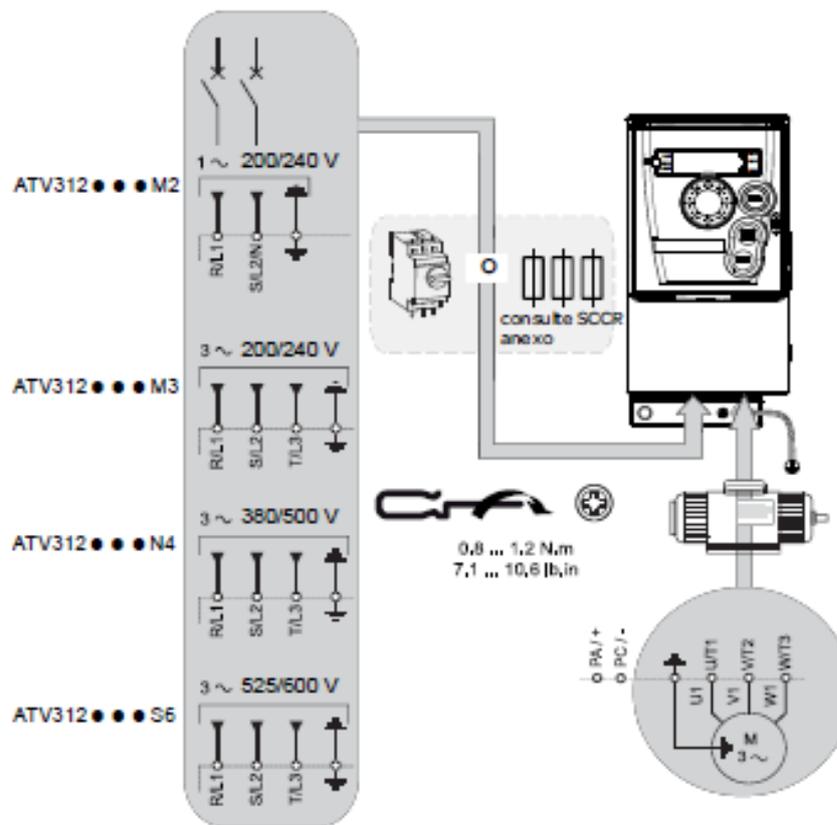


Figura 26. Conexiones de variador de frecuencia

Fuente: (Schneider, 2015)

4.4.8 Configuración de parámetros básicos del variador de frecuencia.

Para poner en marcha el variador de frecuencia, el punto de partida es tomar nota de los parámetros eléctricos en operación normal que tiene el motor que forma parte de este módulo: voltaje, corriente, frecuencia, potencia (Hp), factor de potencia ($\cos \omega$), velocidad del motor (rpms), que en este caso, serán obtenidos mediante ensayos ya que el motor utilizado paso de configuración monofásica a trifásica, como se muestra en la Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3. Parámetros del motor

	Parámetro	Valor Establecido	Descripción
Parámetros del motor drC-	bFr	60Hz	Frecuencia estándar del motor.
	UnS	230v	Voltaje nominal de trabajo del motor.
	Frs	60Hz	Frecuencia nominal de trabajo del motor.
	nCr	4.4 A	Corriente nominal de trabajo del motor
	nSP	3550rpms	Velocidad nominal de trabajo del motor.
	COS	0.81	Cos ω nominal de trabajo del motor.

Fuente: (Schneider, 2015)

Tabla 4. Parámetros de ajuste

	Parámetro	Valor Establecido	Descripción
Parámetros de ajuste Set-	ACC	3.0s	Tiempo de aceleración.
	dEC	3.0s	Tiempo de desaceleración.
	LSP	0Hz	Frecuencia de referencia mínima.
	HSP	60Hz	Frecuencia de referencia máxima.
	ItH	4.4A	Corriente máxima del motor.

Fuente: (Schneider, 2015)

Como primer paso, debemos volver el equipo a valores de fábrica, después de esto parametrizamos el variador con los valores del motor, se guardará todo lo ingresado y se realizará el auto tuning del equipo para que detecte los valores ingresados.

También se realizará la parametrización del equipo para la conexión RS485, mando remoto y avisos de falla. Esto es para monitorizar el variador de frecuencia, dar marcha y paro al equipo y variar la velocidad del mismo utilizando para ello el parámetro de la frecuencia.

Tabla 5. Parámetros de comunicación

	Parámetro	Valor Establecido	Descripción
Parámetros de comunicación COM-	Add	1	Dirección Modbuss del VFD.
	tbr	9.6kbps	Velocidad de transmisión.
	tF0	8n1	Formato Modbus de comunicación
	tt0	10s	Tiempo de espera de respuesta.

Fuente: (Schneider, 2015)

4.4.9 Conexión del sensor de presión

El conexionado del sensor de presión es de dos hilos más tierra, se lo implementó según lo recomienda el fabricante del equipo, su alimentación es de 24Vdc. Tiene una protección de fusible de 0.5A que se lo lleva a borneras y entra en el módulo de expansión analógica que tiene el PLC. El sensor de presión está montado en la tubería PVC de 3/4", a la salida de la bomba y transmite su señal de 4 a 20 mA, la cual dentro del PLC ha sido acondicionada para indicar valores entre 0 PSI y 100PSI.

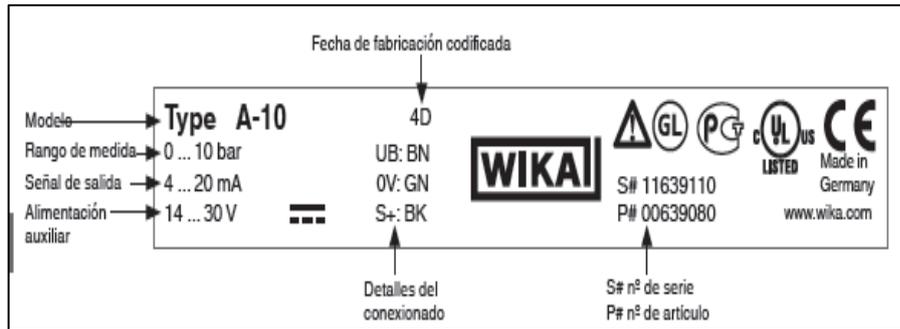


Figura 27. Información del sensor de presión

Fuente: (WIKA, 2014)

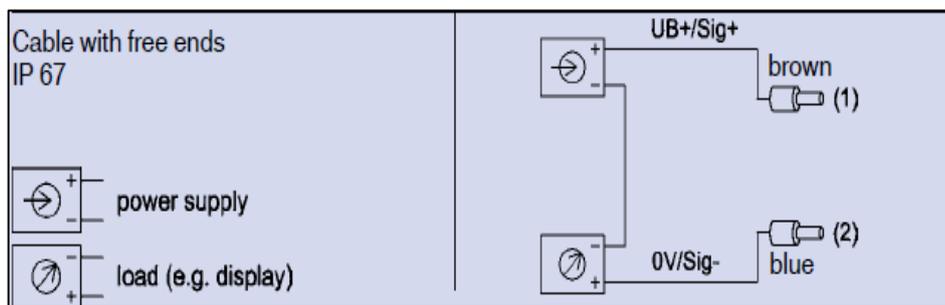


Figura 28. Conexión del sensor a dos hilos.

Fuente: (WIKA, 2014)

Product Pass Item details **Test Report**

Type A-10

Pressure range: 0 ... 100 psi rel.

Signal: 4 ... 20 mA

Power supply: 8 ... 30 V

Pin assignment: UB:1 0V:2

Non-linearity: 0.5% BFSL

Product No: 50372475

Serial No.: 1A002HTSBIR

Pressure[psi]	Signal[mA]	Error[%]
0.000	4.025	0.16
50.000	12.023	0.15
100.000	19.983	-0.10

Figura 29. Test Reporte de calibración del equipo

Fuente: (WIKA, 2014)

4.4.10 Conexión del sensor de caudal

El sensor de flujo de agua consiste en un cuerpo de plástico como válvula, un rotor de agua, y un sensor de efecto Hall. Cuando el agua fluye a través del rotor, el rotor rueda. Su velocidad cambia con diferente tasa de flujo. El sensor de efecto Hall emite la señal de impulso correspondiente.

El sensor de flujo tiene el conexionado de tres hilos, el mismo que esta energizado a 24Vdc y se lo lleva a la bornera con fusible de 0.5A, el cual está conectado al borne de entrada digital de pulsos rápidos del PLC. Este tiene internamente una resistencia de 10KΩ y de 1/2W para obtener la señal del caudal que pasa por la tubería y llega al PLC, una vez acondicionada la cantidad de pulsos por litro que genera el sensor antes mencionado.

Tabla 6. Información del sensor de caudal

Nombre del producto	Sensor de caudal de agua
Modelo	FS300A
Voltaje	VDC 5-24v
Resistencia a la presión del agua	<1,2 MPA
Tasa de trabajo	1-60 l/min ±3%
Tamaño de la rosca	26mm / G3/4"
Tamaño	6,5x4,2x3,7 cm/2,6"x1,6"x1,5"(L*W*T)
Longitud del cable	15 cm/5,9"
Material	Plástico
Color	Negro
Peso neto	66g
Tipo de sensor	Sensor de tipo Hall

Fuente: (Autores, 2015)

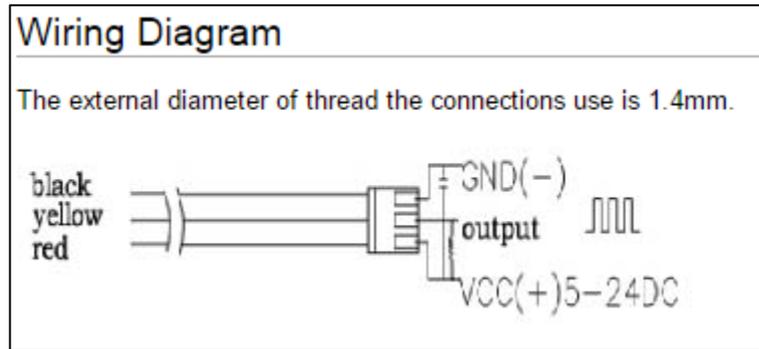


Figura 30. Conexión del sensor a tres hilos

Fuente: (Seedstudio, 2015)

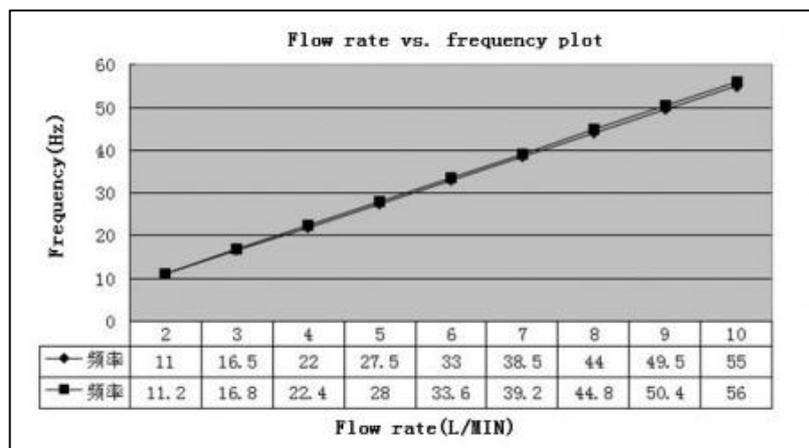


Figura 31. Tabla de adquisición de caudal

Fuente: (Seedstudio, 2015)

4.4.11 Conexión de los sensores de nivel

Los sensores de nivel son de tipo flotador, funcionan por efecto hall, esto quiere decir que son ON/OFF, de acuerdo a la cantidad del líquido dentro del tanque de paso, los mismos están conectados a las borneras con fusible de 0.5A y entran a los bornes de entradas digitales del PLC. Estos sensores se encuentran en los tanques de almacenamiento de líquido a diferentes alturas según el requerimiento de la tesis implementada. Existe el nivel “low”, “high”, y “high high”. “Low” para permitir el bombeo, “high” para indicar que el tanque se encuentra lleno y tiene un volumen todavía disponible, y el “high high”, que suspende inmediatamente el bombeo para evitar se reboce el agua del tanque de

paso del módulo didáctico.

De igual manera, en el reservorio, se cuenta con un sensor de nivel para nivel bajo o “low”, el mismo da el condicionamiento para que la bomba pueda o no funcionar, de no existir señal del mismo, el sistema no puede ser inicializado. Esto para proteger la bomba de que se quede sin agua y se descebe la misma.

4.4.12 Conexionado del relé de mando para el Variador de frecuencia

El relé es de tipo 14 pines, 6 A para contactos secos normalmente abiertos o cerrados, esta alimentado a 24Vdc y que comanda el encendido y apagado del variador de frecuencia. El relé se enciende con un comando desde el PLC, el mismo que se encuentra conectado a una salida digital tipo relé del mismo.

El contacto seco de tipo abierto del relé antes indicado, enciende el variador con señal tomada de la fuente propia del variador, esto para no tener problemas con fuentes externas y alteren el correcto funcionamiento del mismo.

4.4.13 Conexionado de los fusibles rápidos tipo RS de semiconductores.

Este tipo de fusibles son para equipos sensibles a interrupciones o fluctuaciones de energía eléctrica, su velocidad de respuesta al momento de una sobrecarga y especialmente al existir un corto circuito es sumamente elevada, por tanto el período de tiempo que el equipo se ve expuesto a esta anomalía destructiva es muy corta. Su uso en la industria es recomendado para proteger equipos electrónicos sensibles que poseen elementos de tipo semiconductor, en este caso, se usan para proteger la electrónica de potencia del variador de frecuencia.

Se los ha ubicado aguas arriba del variador de frecuencia y su corriente nominal es de 10 Amperios. En laboratorio de la universidad, al momento de la entrega del módulo, se dejará con repuestos para cualquier eventualidad.

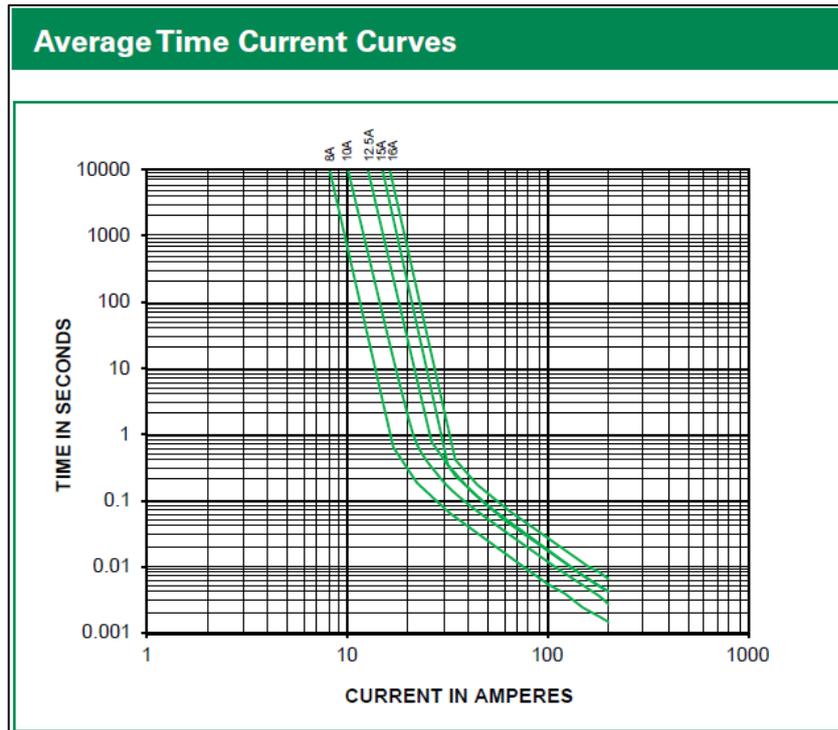


Figura 32. Curva propia de fusión del elemento de protección

4.4.14 Conexión del contactor.

El contactor es tripolar, su corriente nominal de trabajo en AC3 es de 12A y su bobina puede ser alimentada desde 100Vac/Vdc hasta 230Vac/Vdc ya que internamente su electrónica está diseñada para este cometido. Es comandado desde las salidas digitales de tipo relé del PLC.

Este contactor sirve para energizar el variador de frecuencia, antes de entrar en operación mediante el mando manual o remoto.



Figura 33. Contactor

4.4.15 Conexión de la luz para señalización visual de alarmas del módulo didáctico.

Este equipo es alimentado en 120Vac el mismo que tiene una protección de bornera con fusible de 6A, que tiene un nodo común para encender los distintos estados de la luminaria de señalización visual y sonora. Cada una de estas señales se está llevando a borneras con fusible de 0.5A y son encendidos mediante las salidas digitales de tipo relé del PLC.

Esta luminaria de señalización de acuerdo al color de la luz que se encienda indica lo siguiente:

Verde: Operación normal del sistema

Amarillo: Existencia de algún tipo de falla en el sistema, hay que revisar condiciones de equipos periféricos, comunicación de la red industrial para control y monitoreo.

Rojo más alarma sonora: Falla crítica del sistema, pudiendo ser el reboce del tanque de agua de paso, o sobrepresiones destructivas en la tubería, o reservorio con nivel de agua insuficiente para poner en funcionamiento el sistema.

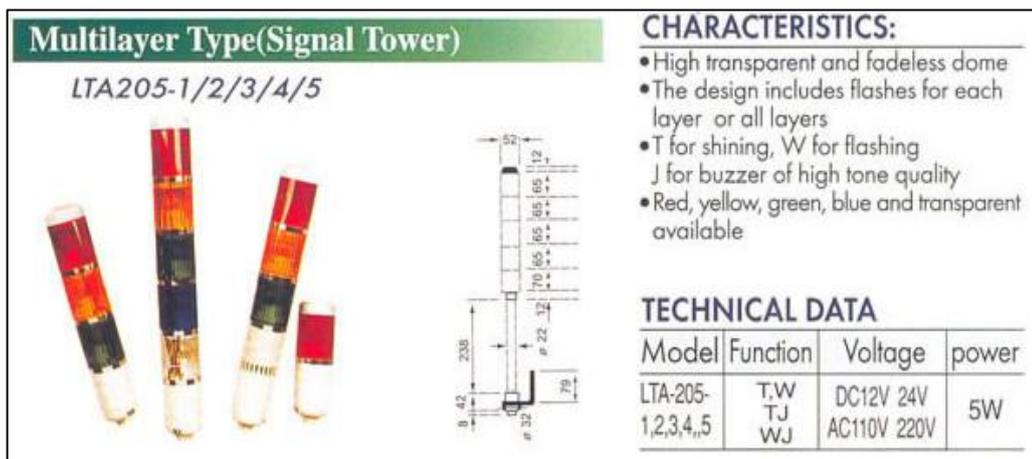


Figura 34. Torre de Señalización

Fuente: (Camsco, 2015)

4.4.16 Conexión del PLC Allen Bradley

El conexionado del PLC Allen Bradley es de 120Vac, tiene una protección fusible de 0.5A y se encuentra aterrizado al chasis del equipo. Todas las señales de entrada digitales son de 24Vdc y las salidas digitales de tipo relé son de 120Vac, todas las señales analógicas también según sea el requerimiento están protegidas por fusibles de 0.5 Amperios y aterrizadas el negativo al chasis del equipo.

La comunicación RS485, es llevada en cable UTP categoría E5 desde un conector RJ 45 que parte desde el variador de frecuencia, hacia las bornas del conector extensible de este tipo de comunicación antes mencionado del PLC. Según la topología de conexión del variador de frecuencia.

También cuenta con un conector Ethernet industrial para la programación, monitoreo y control del mismo el cual tiene la IP 192.168.111.10.

Consta con una pantalla LDC que informa sus parámetros y botones para la programación del mismo.

4.4.17 Programación del PLC Allen Bradley.

La programación del PLC se realizó mediante del programa RSlogix 500, esta interface tiene la programación de tipo LADDER, es decir tipo escalera. En la misma se puede programar al PLC con su IP definida para la incorporación al sistema, la adquisición de datos, el control y monitoreo de los equipos.

Mediante su propio OPC (OLE for Process Control) en la cual, es un estándar de comunicación de tecnología Microsoft en el campo de control y supervisión de procesos industriales que está ligada directamente al HMI que estamos trabajando se ve transparente, su sistema de control y adquisición es fácil.

4.4.17.1 Diagramas de flujo

En la Figura 35 se muestra el diagrama de flujo de la programación del controlador lógico programable, existen dos modos de operación, el modo manual en donde se activan los actuadores del sistema y el modo automático en el cual se

realiza dos tipos de control por presión o por caudal.

Los sensores de nivel, caudal y presión se encuentran en todo momento actualizando su valor, ya sea que el sistema se encuentra en todo manual o automático.

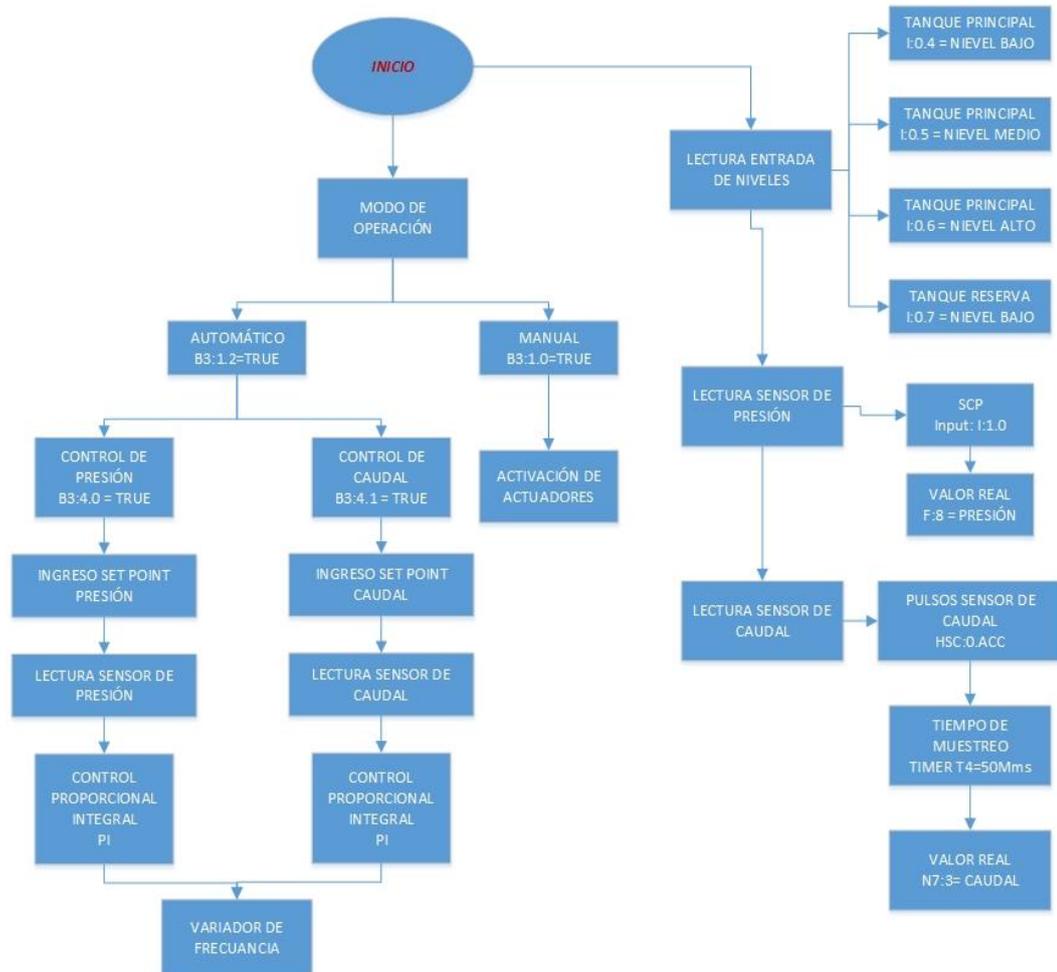


Figura 35. Diagrama de Flujo del sistema

Fuente: (Autores, 2015)

4.4.18 Red industrial WI-FI y puertos Ethernet

Este equipo está tomando energía desde un tomacorriente GFCI el mismo que se encuentra protegido por un breaker de 16A. El equipo tiene dos tipos de conexión; el primer tipo de red industrial es inalámbrica y la segunda es cableada, en el cual esta enganchada el PLC de forma cableada y los equipos de control y

monitoreo de forma inalámbrica; laptops y celulares con sistema operativo Android. El router tiene una IP estática la cual es 192.168.111.1. La red inalámbrica está en señal abierta sin contraseña y su IP es dinámica, mientras que la red cableada sus IP son estáticas.

La red inalámbrica es llamada TESIS MD PID, en esta puede enganchar cualquier equipo inalámbrico que tenga el programa para acceder al monitoreo o control.

Los puntos Ethernet fijos por RJ45 deben de configurarse según sea el requerimiento del mismo sistema es decir que se pueden enganchar hasta 3 PC. Ver Figura 41.

4.5 Diagrama P&ID de instrumentación

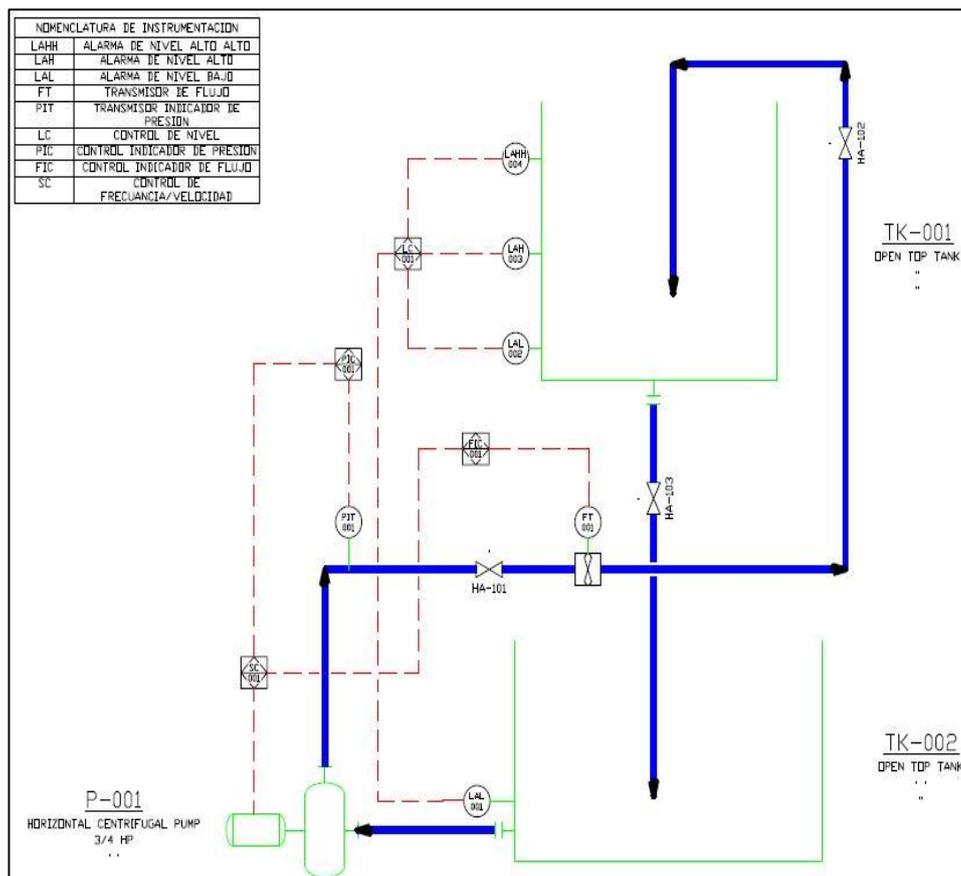


Figura 36. Diagrama P&ID de instrumentación

Fuente: (Autores, 2015)

4.6 Arquitectura de control, supervisión y adquisición de datos

En el diagrama de arquitectura de control van a constar todos los actuadores, sensores y equipos de potencia que el PLC va a hacer actuar y operar. También se señala las distintas señales que tienen cada equipo su control y adquisición de datos.

En otro punto se señala el tipo de supervisión que va a tener con equipos y sus distintos sistemas operativos, y también las distintos tipos de red que va a tener el módulo didáctico.

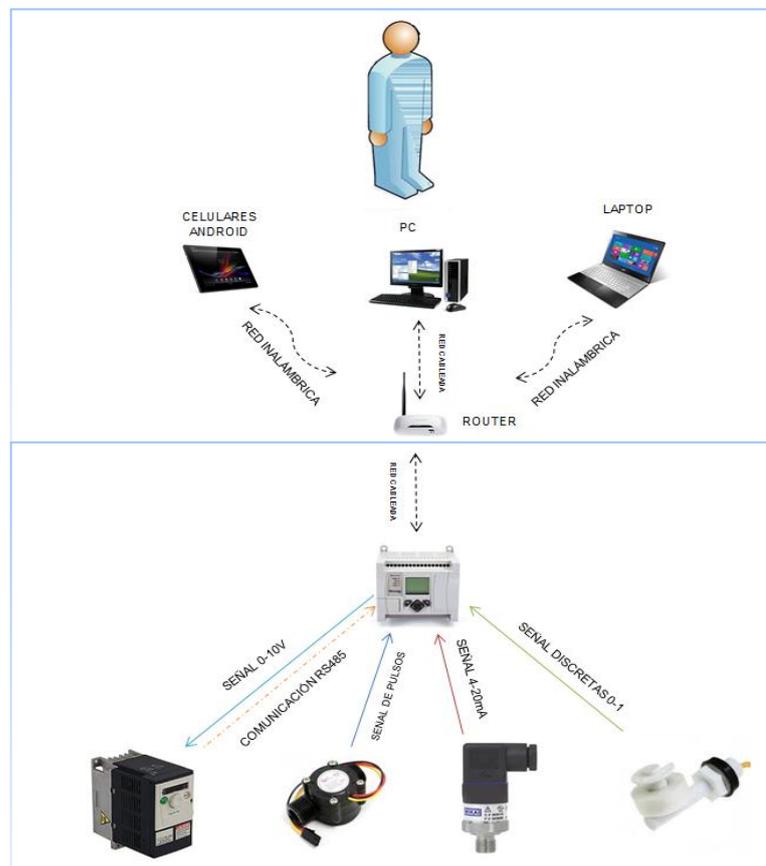


Figura 37. Arquitectura de control

Fuente: (Autores, 2015)

4.7 Interfaces HMI

La pantalla principal del HMI permite ingresar al sistema, como se muestra en la Figura 38.



Figura 38. Pantalla principal

En la Figura 39 se muestra la pantalla de operación en modo manual, la pantalla tiene cuatro zonas, el mímico del sistema, un panel de control, un panel de gráficos y un panel de navegación.

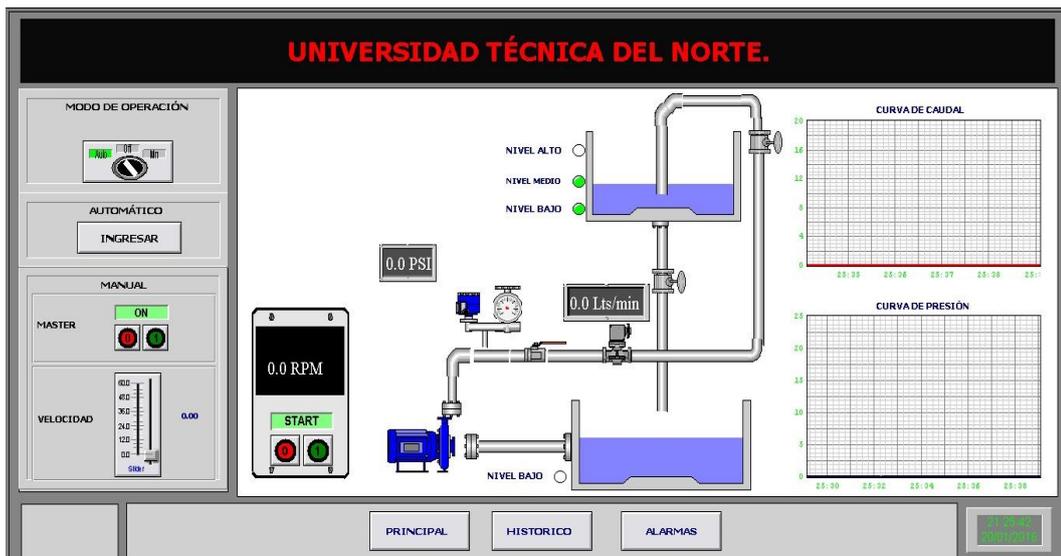


Figura 39. Pantalla del proceso en modo manual

En la Figura 40 se muestra la pantalla de operación en modo automático, el usuario puede elegir un modo de control del sistema por presión o por caudal una vez establecidos los Set Point.

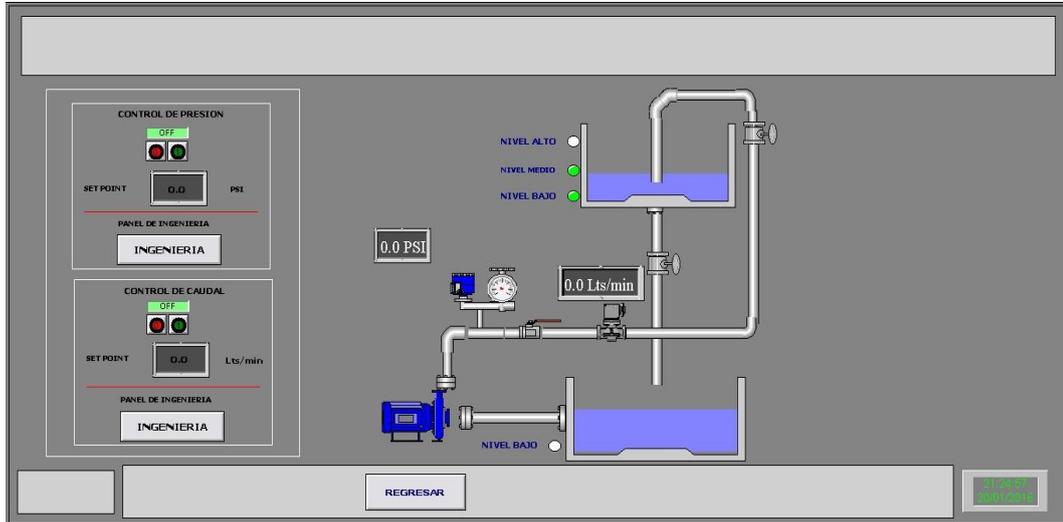


Figura 40. Pantalla del proceso en modo automático

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Al concluir la implementación y montaje del módulo didáctico con extracción de datos, así como las distintas pruebas desarrolladas con los elementos de adquisición de datos, medición y comunicación, cumpliendo con los objetivos propuestos a inicio del proyecto de titulación se logró concluir lo siguiente:

- Se ha conseguido implementar un módulo académico con su respectivo tablero de fuerza y control, tanques de paso y reservorio, elementos de bombeo y medición, con sus respectivas pruebas didácticas de modelos de sistemas y procesos industriales, con la utilización de un PLC Micrologic 1100, el mismo que es de fácil manejo, programación y comunicación, logrando de esta manera crear un fácil interfaz hombre-máquina, generando amigables condiciones para realizar las prácticas, con el objetivo de mejorar la metodología de enseñanza de materias afines en el laboratorio de la CIMANELE.
- El uso de elementos electrónicos y eléctricos de tecnología actual, permiten al estudiante generar afinidad con elementos en boga dentro de las diferentes industrias. Los estudiantes adquieren conocimientos sobre controladores lógicos programables, adquisición de datos, generación de sistemas SCADA, tipos de señales, tipos de motores, variadores de frecuencia, logrando vincular este módulo y sus prácticas a procesos industriales existentes.
- Se logró efectuar la programación del Micrologic 1100, para realizar un control PI de la presión y el caudal, dando a conocer a los estudiantes las bondades de utilizar un controlador lógico programable de este tipo.

- Para la red industrial de este proyecto de titulación se empleo un módulo de comunicación RS485 para el PLC Micrologic, consiguiendo de esa manera la comunicación del variador de frecuencia con el controlador lógico programable. Además, desde el puerto de ethernet del PLC, mediante cables con terminales RJ45 y conexión tipo punto punto, se conecta este equipo a un switch con 4 puertos de salida y un puerto de entrada, con capacidad de generar su propia red inalámbrica, con acceso externo mediante IP determinada. De esta manera, la aplicación de SCADA del sistema del módulo académico, puede ser monitorizada de manera inalámbrica mediante el uso de aplicaciones específicas desarrolladas en sistemas operativos IOS Y ANDRIOD, propios de tablets y celulares de acuerdo a su marca, logrando así la supervisión, control y adquisición de los parámetros eléctricos y mecánicos generados por el sistema al momento de su operación.

- Finalmente podemos concluir que la curiosidad y el deseo de profundizar el conocimiento en las diferentes ramas de la Ingeniería Eléctrica y el Control Industrial, es posible desarrollar localmente equipos de laboratorio de excelentes prestaciones, simples y seguros en su operación, para colaborar con la educación y la excelencia académica que busca el Gobierno ecuatoriano.

5.2 Recomendaciones

- Al concluir la implementación y montaje del módulo académico con extracción de datos, así como las distintas pruebas desarrolladas con los elementos de adquisición de información, medición y comunicación, hemos demostrado que se tiene el fin de contribuir en beneficio del desarrollo y aprendizaje de los estudiantes de la carrera de ingeniería en mantenimiento eléctrico, logrando este módulo convertirse en una poderosa herramienta tecnológica demostrativa de procesos industriales, por tanto proponemos las siguientes recomendaciones:

- Es imperativamente necesario que el estudiante se haya familiarizado teóricamente con todos y cada uno de los elementos que forman parte del módulo didáctico, de esta manera se evita malos manejos o proceder del estudiante, que podrían comprometer su integridad o la integridad de los elementos que conforman este módulo de demostración y aprendizaje. Debe además a su vez tomar las debidas precauciones durante el desarrollo de la práctica para obtener resultados que reflejen los diferentes escenarios de las prácticas.

- El asistente de laboratorio deberá evaluar a través de un cuestionario verbal si el estudiante está en condiciones de reproducir y entender los fenómenos que visualizará en el equipo.

- El asistente de laboratorio deberá confirmar periódicamente que los instrumentos se encuentren trabajando adecuadamente y que el agua sea evacuada luego de cada práctica de laboratorio, asimismo rellenar con agua limpia los tanques antes de cada uso.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

6.1 Bibliografía

Aller, J. M. (2008). *Máquinas Eléctricas Rotativas*. Caracas: Editorial Equinoccio.

Creus, S. A. (2006). *Instrumentación industrial*. México: Marcombo.

Kuo, BC, y Golnaraghi, MF (2003). *Sistemas de control automáticos*. Nueva York: John Wiley & Sons.

Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*. México: Prentice Hall.

6.2 Linkografía

ABB. (2015). *ABB AF16-30-10-13 - Contactores - Contactores (Aparatos de control)*. Obtenido de <http://www.abb.com.ec/product/seitp329/08554c867f1eb2e1c1256fb7003b186b.aspx?tabKey=2&gid=ABB1SBL177001R1310&cid=9AAC100109>

Automatica. (2015). *AUTOMATIZACIÓN Y ROBOTICA EDUCATIVA*. Obtenido de <http://automatica.mex.tl/frameset.php?url=/intro.html>

AVTips. (2014). *RJ45 Termination - AVTips*. Obtenido de http://avtips.co.uk/index.php/RJ45_Termination

Camsco. (2015). *Camsco Internacional*. Obtenido de http://www.camscointernational.com/productos/lampara_senalizacion_3_c
olores.html

Google. (2014). Google Earth. USA.

Invensys. (2015). HMI Software - Wonderware InTouch | Schneider Electric Software. Obtenido de <http://software.invensys.com/products/wonderware/hmi-and-supervisory-control/intouch/>

OpenHacks. (2014). *OpenHacks | Open Source Hardware | Productos | Caudalímetro*. Obtenido de <https://www.openhacks.com/page/productos/id/85/title/Caudal%C3%ADmetro#.VhJXXfmqqk>

MLSTATIC. (2014). *Sensor de nivel Horizontal*. Obtenido de http://mlm-s1-p.mlstatic.com/sensor-de-nivel-horizantal-agua-mi-mega-mercado-md201154-108401-MLM20335446605_072015-O.jpg

Rockwell Automation. (2015). *Sistemas de controlador lógico programable MicroLogix 1100*. Obtenido de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/MicroLogix-1100>

Schneider. (2015). *Variador de Frecuencia ATV312HU11M2 - Manual de usuario*.

Seedstudio. (2015). *G3 sensor / 4 Flujo de Agua - Wiki*. Obtenido de http://www.seedstudio.com/wiki/G3/4_Water_Flow_sensor

TUBULARES S. (2015). INICIO :: Soluciones tubulares :: :: Tubería para petroleras ::. Retrieved from <http://www.tuberiasyaccesorios.com/>

TRUPER. (2015). TRUPER - Catálogo Vigente. Obtenido de <https://www.truper.com/CatVigente/24.php>

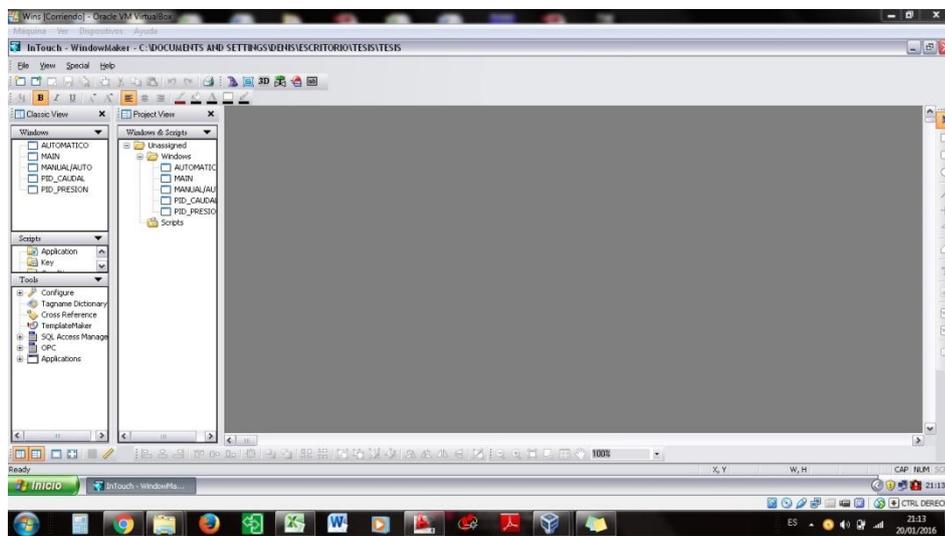
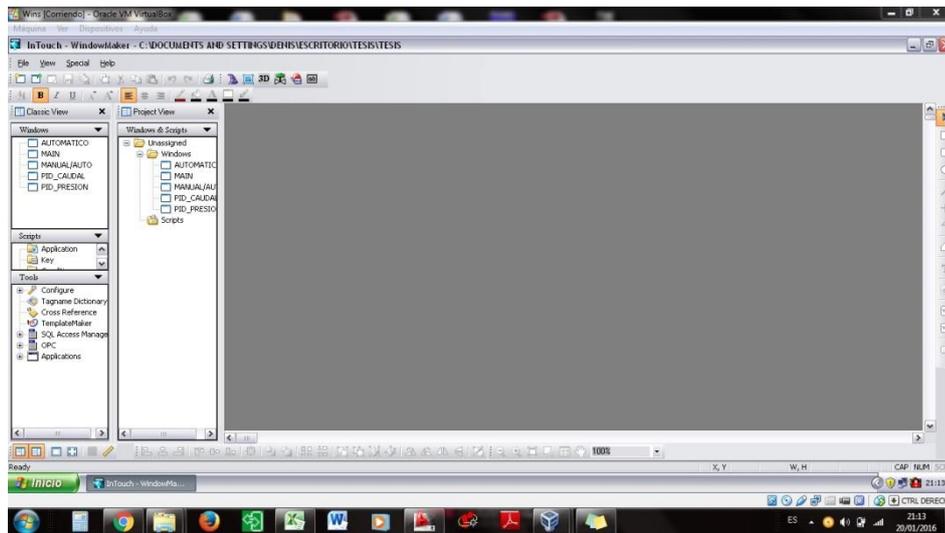
WIKA. (2014). *Pressure transmitter - A-10* - WIKA. Obtenido de http://en-co.wika.de/a_10_en_co.WIKA?ProductGroup=39142

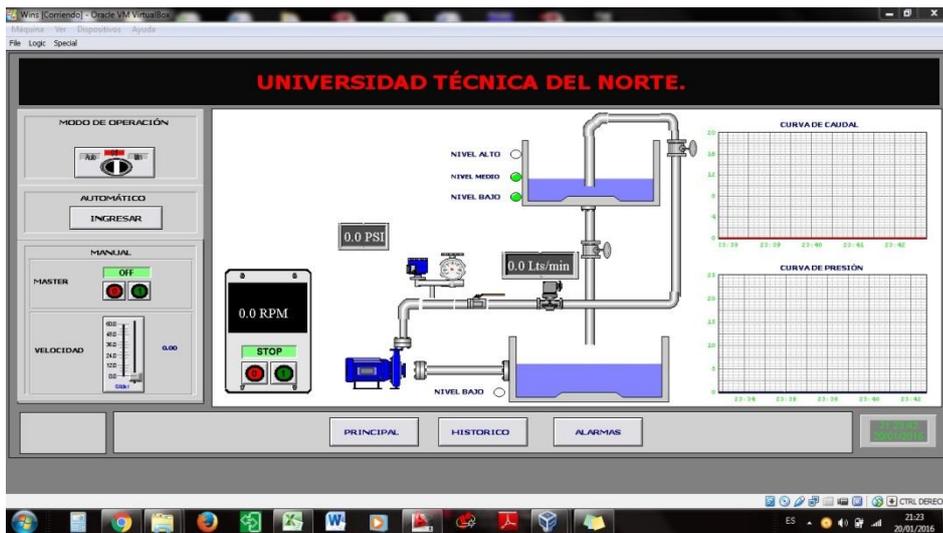
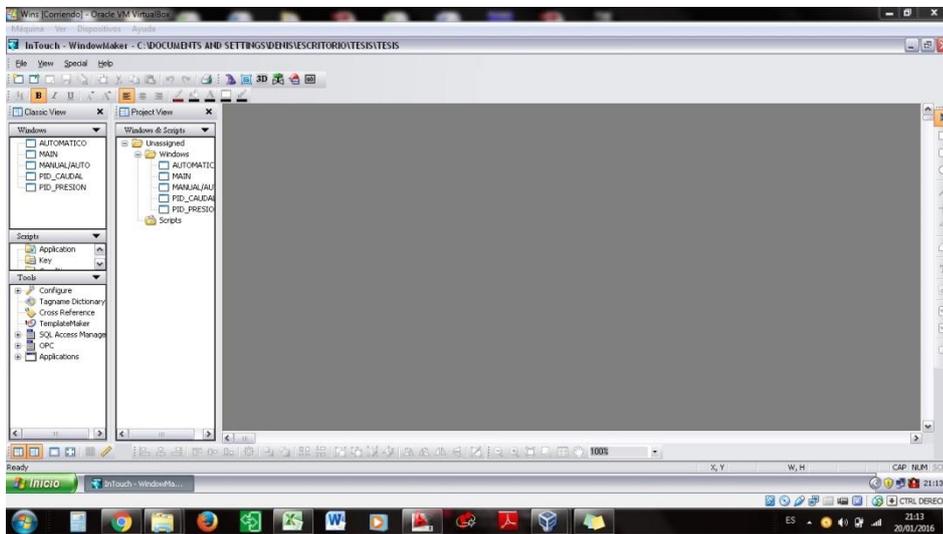
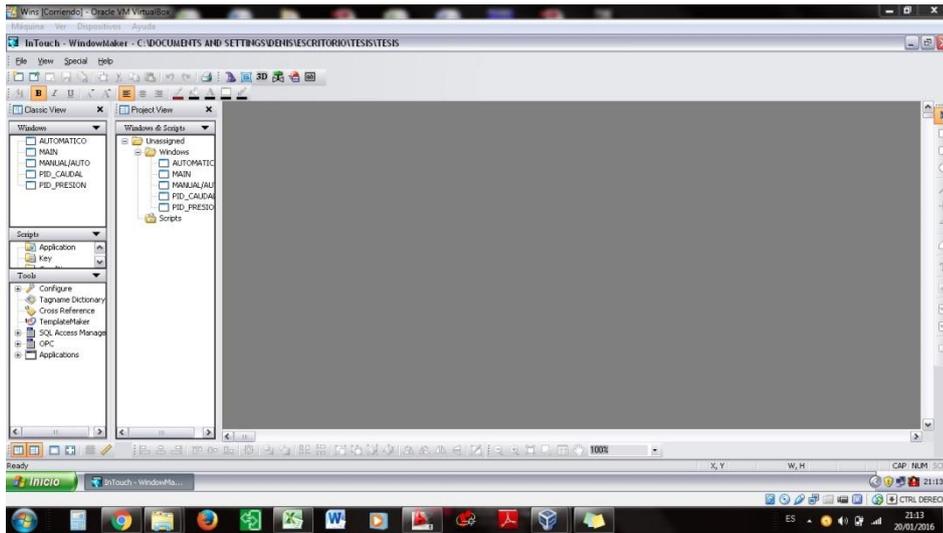
WIKA. (2014). *Bourdon tube pressure gauge-WIKA*. Obtenido de http://en-co.wika.de/232_30_233_30_en_co.WIKA?ProductGroup=1089

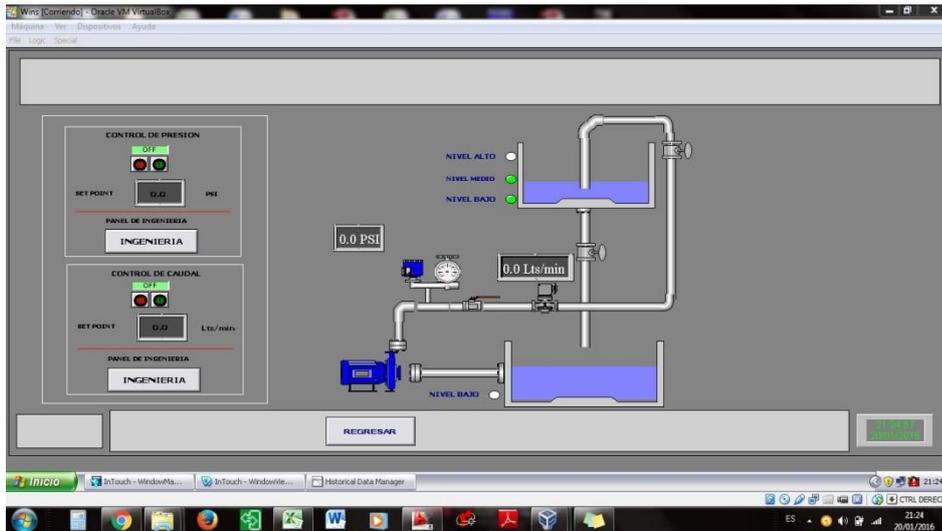
6.3 Anexos

ANEXO I

Programa del PLC







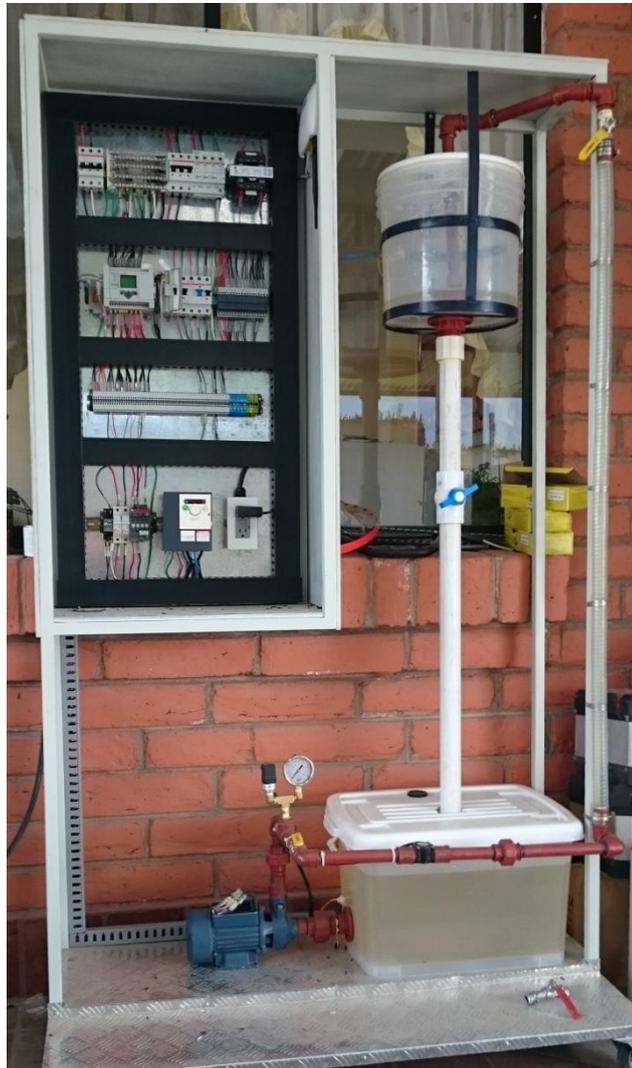
ANEXO III

Reporte Fotográfico













**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

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:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100303316-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	BLANCO VILAÑEZ ROBERTO ENRIQUE		
DIRECCIÓN:	AV. 17 DE JULIO 43-78 Y CORONEL JOSÉ MARÍA CORDOVA		
EMAIL:	blanco.rober@outlook.com		
TELÉFONO FIJO:	062611961	TELÉFONO MÓVIL:	0983518452

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS POR PRESIÓN O CAUDAL Y ELABORACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO
AUTOR (ES):	BLANCO ROBERTO Y KAM JHONNY
FECHA: AAAAMMDD	2015-JULIO-24
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO
ASESOR /DIRECTOR:	ING. PABLO MENDÉZ

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Blanco Vilañez Roberto Enrique, con cédula de identidad Nro. 1003033162, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo 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.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Yo, Blanco Vilañez Roberto Enrique, con cédula de identidad Nro. 1003033162, manifiesto mi 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 DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS POR PRESIÓN O CAUDAL Y ELABORACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO, 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 mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo 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 24 días del mes de Julio de 2015

(Firma) 
Nombre: Roberto Blanco
Cédula: 1003033162

3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de Julio de 2015

EL AUTOR:

(Firma) 
Nombre: Roberto Blanco



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

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:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1002815494		
APELLIDOS Y NOMBRES:	JHONNY MARCO KAM ALBÀN		
DIRECCIÓN:	AV. MARIANO ACOSTA 1689 Y GENARO JARAMILLO		
EMAIL:	Kam.j@hotmail.es		
TELÉFONO FIJO:	062640266	TELÉFONO MÓVIL:	0987978881

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS POR PRESIÓN O CAUDAL Y ELABORACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO.
AUTOR (ES):	JHONNY KAM Y ROBERTO BLANCO
FECHA: AAAAMMDD	2015 JULIO 24
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO
ASESOR /DIRECTOR:	ING. PABLO MENDEZ

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Jhonny Marco Kam Albàn, con cédula de identidad Nro. 100281549-4, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo 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.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Yo, Jhonny Marco Kam Albán, con cédula de identidad Nro. 100281549-4, manifiesto mi 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 de un sistema scada para el control de nivel de líquidos por presión o caudal y elaboración de un módulo didáctico**, 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 mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo 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 24 días del mes de Julio de 2015

(Firma) 
Nombre: Jhonny Kam
Cédula: 100281549-4

3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de julio de 2015

EL AUTOR:

(Firma) 
Nombre: 