



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN
DE TRABAJO COMPACTA PARA LA REGULACIÓN DE
VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y
TEMPERATURA EN LAZO CERRADO PARA EL
LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS EXTENSIÓN
LATACUNGA**

AUTORES:

PABLO RAFAEL MUÑOZ VALVERDE

CARLOS GABRIEL PÉREZ GUANOLUISA

DIRECTOR: ING. WILSON SÁNCHEZ

LATACUNGA

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO COMPACTA PARA LA REGULACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEURÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS EXTENSIÓN LATACUNGA**” realizado por el señores **PABLO RAFAEL MUÑOZ VALVERDE** y **CARLOS GABRIEL PÉREZ GUANOLUISA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **PABLO RAFAEL MUÑOZ VALVERDE** y **CARLOS GABRIEL PÉREZ GUANOLUISA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de Agosto del 2016

Ing. Wilson Edmundo Sánchez Ocaña

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **PABLO RAFAEL MUÑOZ VALVERDE** y **CARLOS GABRIEL PÉREZ GUANOLUISA**, con cédulas de identidad N° 180437408-8 y 0503353724, declaro que este trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO COMPACTA PARA LA REGULACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 19 de Agosto del 2016


.....
Pablo Rafael Muñoz Valverde
C.C.: 1804374088


.....
Carlos Gabriel Pérez Guanoluisa
C.C.: 0503353724



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **PABLO RAFAEL MUÑOZ VALVERDE** y **CARLOS GABRIEL PÉREZ GUANOLUISA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO COMPACTA PARA LA REGULACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS EXTENSIÓN LATACUNGA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 19 de Agosto del 2016


.....
Pablo Rafael Muñoz Valverde
C.C.: 1804374088


.....
Carlos Gabriel Pérez Guanoluiza
C.C.: 0503353724

DEDICATORIA

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres por haberme apoyado en todo momento, por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar y dar por finalizado esta etapa de mi vida, por sus consejos y por la confianza que depositaron en mí, pero más que nada por su amor incondicional.

A mi hermana por el apoyo que siempre me brindaron día a día durante el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis tíos quienes me brindaron sus enseñanzas necesarias para poder superar cualquier obstáculo que tuviera en la vida.

Pablo

A Dios por permitirme estar aquí y cumplir con mis sueños.

A mis padres Marquito y Beticita quienes han inculcado en mi cada uno de los valores que poseo y en si quien hoy soy.

A mi hermanita quien ha compartido tantas madrugadas junto a mí.

A mis abuelitos, tíos, primos que incondicionalmente han estado ahí junto a mí ayudándome en cada momento difícil de mi vida y a la vez en los momentos más felices como los de ahora.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco de una manera muy especial a toda mi familia en general quienes siempre confiaron en mí y supieron darme palabras de aliento para seguir siempre adelante.

A mis tutores de tesis Ing. Wilson Sánchez que me han orientado, apoyado y corregido para poder finalizar este proyecto

A mis compañeros y amigos con los que he compartido grandes momentos.

Pablo

Agradezco de forma pública a todas y cada una de las personas que estuvieron a mi lado en todo este proceso de mi vida y me ayudaron a ser quien ahora soy como son mis queridos y amados padres a mi hermanita, abuelitos, tíos, primos y amigos.

A mi director de tesis Ingeniero Wilson Sánchez quien ha demostrado en cada momento profesionalismo, dedicación y esfuerzo en cada una de sus enseñanzas a mi persona.

Carlos

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xix
RESUMEN	xx
SUMMARY	xxi
CAPÍTULO I	1
1. CONTENIDOS GENERALES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Definición del problema.....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Justificación.....	2
1.5. Alcance del proyecto.....	3
CAPÍTULO II	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1. Sistemas de automatización industrial.....	4

2.1.1	Objetivos de la automatización.	4
2.1.2	Niveles de automatización.	5
2.2.	Sistemas de producción modular.	6
2.2.1	Objetivos del módulo didáctico.	7
2.2.2	Ventajas.	7
2.2.3	Desventajas.	8
2.3.	Principio de funcionamiento del módulo didáctico.	8
2.4.	Material mecánico	8
2.5.	Sistemas de control	9
2.5.1.	Historia de los sistemas de control	10
a.	Control de nivel de líquido	10
b.	Control de presión de vapor y temperatura	11
c.	Control de velocidad.	11
2.6.	Sistemas en lazo abierto.	12
2.7.	Sistemas en lazo cerrado.	12
2.8.	Estabilidad	14
2.9.	Variables de control	15
2.10.	Clasificación de los instrumentos.	15
2.10.1.	Elementos primarios	15
2.10.2.	Transmisores.	16
2.10.3.	Indicadores locales.	16
2.10.4.	Convertidores	16
2.11.	Adquisición de datos.	16
2.12.	Descripción de sensores Digitales.	18
2.12.1.	Sensor de proximidad capacitivo	18
2.12.2.	Interruptor con flotador	19

2.12.3. Sensor de Temperatura	20
2.13. Descripción de sensores Analógicos	21
2.13.1. Sensor de nivel ultrasónico	21
2.13.2. Sensor de Flujo.....	23
2.14. Actuador digital.....	24
2.14.1 Electroválvulas	24
2.15. Descripción de Actuadores Analógicos	24
2.15.1 Bomba Centrífuga.....	24
2.15.2. Resistencias calefactoras de inmersión	26
2.16. Controlador Lógico Programable (PLC).....	26
2.17. Variador de frecuencia	27
2.18. Instrumentos de medida.....	29
2.18.1. Manómetro	29
2.18.2. Rotámetro	29
2.19. Transmisor	30
2.20. Control PID	31
2.21. Control PI (Proporcional Integral)	32
2.22. Control PD (Proporcional Derivativo)	33
2.22.1. Funcionamiento	34
CAPÍTULO III.....	36
3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS.....	36
3.1 Despliegue de la función de calidad.....	36
3.2 Consideraciones del proyecto.....	36
3.3 Técnicas del despliegue en función de la calidad.....	37

3.4	Beneficios del despliegue en función de la calidad.	38
3.5	Casa de la calidad.	38
3.5.1	Requerimientos de clientes.	39
3.6	Matriz de planteamiento.	39
3.6.1	Características Técnicas.	39
3.6.2	Relaciones.	39
3.6.3	Prioridades.....	39
3.6.4	Matriz de Correlaciones.	40
3.6.5	Evaluación comparativa.	40
3.6.6	Objetivos.....	40
3.7	La voz del usuario.....	40
3.8	La voz del Ingeniero.	41
3.9	Diagrama de la Casa de la Calidad (ver Figura.27).	42
3.9.1	Conclusiones de la Casa de la Calidad.	43
3.10	Descripción del módulo didáctico.....	43
3.11	Análisis funcional.	44
3.11.1	Características de construcción del módulo didáctico.....	44
3.12	Estructura funcional.	45
3.12.1	Análisis funcional del módulo didáctico.	45
3.12.2	Análisis funcional del sistema estructural.	46
3.13	Determinación del diagrama de ensamblaje del sistema modular.....	46
3.13.1	Consideración del equipo modular.....	46
3.14	Diseño morfológico.	47
3.15	Diseño mecánico - eléctrico.	50
3.15.1	Estructura física y componentes.	51
a.	Mesa móvil	51

b.	Bancada	58
c.	Tubería	64
d.	Accesorios	65
3.15.2	P&ID.....	66
a.	Lazo de temperatura	69
b.	Lazo de caudal.....	70
c.	Lazo de presión	71
d.	Algoritmo de control	72
e.	Pantallas de visualización para el HMI	73
3.16	Selección mecánica.....	73
3.16.1	Bomba.....	73
3.16.2	Geometría de los tanques.....	75
3.16.3	Diámetro de tuberías	76
3.16.4	Instrumentos de medida.....	76
3.17	Selección eléctrica	79
3.17.1	Sensores	79
3.17.2	Actuadores	89
3.17.3	Controladores	94
a.	PLC.....	94
CAPÍTULO IV		98
4. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....		98
4.1.	Construcción del modulo	98
4.1.1.	Mesa móvil	98
4.1.2.	Tanques.....	99
4.2	Montaje de los sensores.....	102

4.2.1	Sensores de nivel.	102
4.2.1	Sensor de caudal.	103
4.2.3	Sensor de presión.	104
4.2.4	Sensor de temperatura.	105
4.3	Montaje del sistema hidráulico.	105
4.4	Implementación del circuito de mando y control	109
4.4.1	Tablero de control.	109
4.5	Montaje del sistema terminado.	110
4.6	Programación del PLC Siemens S7-1200	111
4.7	Comunicación NI-OPC Servers de LabVIEW 2012 con Siemens S7-1200	118
4.8	Monitoreo del módulo desde Labview 2012	126
 CAPÍTULO V		130
5. PRUEBAS Y RESULTADOS		130
5.1.	Pruebas eléctricas	130
5.2.	Pruebas hidráulicas.	131
5.3.	Pruebas de monitoreo del PLC y HMI.	131
5.4.	Prueba de programación del módulo didáctico.	132
5.5.	Prueba de comunicación con el OPC SERVER.	133
5.6.	Análisis de costos.	134
5.7.	Manual de operación del módulo didáctico.	136
 CAPÍTULO VI		137
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		137
6.1.	Conclusiones.	137
6.2.	Recomendaciones	138

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 139

ANEXOS 142

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE EQUIPOS UTILIZADOS EN EL MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA REGULACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO.

ANEXO B: PLANOS MECÁNICOS DEL MODULO DIDÁCTICO PARA LA REGULACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO.

ANEXO C: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA REGULACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO.

ANEXO D: DIAGRAMA P&ID DEL MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA REGULACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO.

ANEXO E: PROGRAMACIÓN EN EL TIA PORTAL V13 DEL PLC S7-1200 CPU 1212 AC/DC/RELAY.

ANEXO F: MANUAL DE OPERACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA REGULACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO.

ANEXO G: GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1: Estaciones modulares didácticas	7
Figura.2. Descripción de un sistema de control	10
Figura.3: Sistema de control en lazo abierto	12
Figura.4: Sistema de control en lazo abierto	13
Figura.5: Sensor de proximidad capacitivo.....	19
Figura.6: (a) Interruptor flotador (b) Interruptor magnético.	19
Figura.7: Curva Característica del PT100.....	21
Figura.8: Sensor de temperatura	21
Figura.9: Funcionamiento de un sensor ultrasónico	22
Figura.10: Sensor de nivel ultrasónico.....	22
Figura.11: Estructura interna del sensor de flujo	23
Figura.12: Electroválvulas	24
Figura.13: Esquema de una bomba centrífuga.....	25
Figura.14: Bomba centrífuga	25
Figura.15: Resistencia Calefactora.....	26
Figura.16: PLC	27
Figura.17: Variador de frecuencia.....	28
Figura.18: PWM.....	28
Figura.19: Manómetro.....	29
Figura.20: Rotámetro	30
Figura.21: Diagrama a bloques	31
Figura.22: Formas de onda del control PID con ganancias (K_p , K_d , K_i).....	32
Figura.23: Diagrama de bloques del sistema de control PID.....	32
Figura.24: Efecto de la acción integral	33
Figura.25: Pasos para realizar el despliegue de la calidad.	37
Figura.26: Diagrama de la Casa de la calidad.....	38
Figura.27: Casa de la calidad.	42
Figura.28: Alternativa A del módulo didáctico.....	48
Figura.29: Alternativa B del módulo didáctico.....	49
Figura.30: Mesa móvil.	52

Figura.31: Geometría mesa móvil.....	52
Figura.32: Conversión de los cascarones en la lámina metálica.....	53
Figura.33: Condiciones de borde.	53
Figura.34: Punto exacto de acción de la carga del tanque A.	54
Figura.35: Punto exacto de acción de la carga del tanque B.....	54
Figura.36: Mallado criterio Ratio Jacobiano.....	55
Figura.37: Resultado del mallado.	55
Figura.38: Análisis de esfuerzos en la mesa móvil.	56
Figura.39: Análisis de deflexiones en la mesa móvil.....	57
Figura.40: Análisis de factor de seguridad en la mesa móvil.	58
Figura.41: Perfil de aluminio tipo tapa roscada	59
Figura.42: Geometría perfil de aluminio.....	60
Figura.43: Condiciones de borde.	60
Figura.44: Mallado criterio Ratio Jacobiano.....	61
Figura.45: Resultado del mallado.	61
Figura.46: Análisis de esfuerzos del perfil de aluminio.....	62
Figura.47: Análisis de deflexiones del perfil de aluminio.	63
Figura.48: Análisis de factor de seguridad en el perfil de aluminio.	64
Figura.49: Tubería PLASTIGAMA de ½ pulgada.....	65
Figura.50: Accesorios PLASTIGAMA de ½ pulgada	66
Figura.51: Plano P&ID	67
Figura.52: P&ID para el lazo de control de nivel	68
Figura.53: P&ID para el lazo de control de temperatura	69
Figura.54: P&ID para el lazo de control de flujo.....	70
Figura.55: P&ID para el lazo de control de presión.....	71
Figura.56: Apariencia HMI en LabVIEW.	73
Figura.57: Tanque de acrílico	75
Figura.58: Rotámetro LZS-15	78
Figura.59: Manómetro Winters	79
Figura.60: Sensor capacitivo Serie CR18-8DN	81
Figura.61: Sensor ultrasónico UB800-18GM40	83
Figura.62: Curva Resistencia vs Temperatura de una PT100 (RTD)	83

Figura.63: Sensor de Temperatura PT100 de tres hilos	84
Figura.64: Sensor de flujo YF-S201	86
Figura.65: Sensor de Presión Danfoss MBS33M.	87
Figura.66: Interruptor magnético de nivel SICCOM.	88
Figura.67: Variador de frecuencia SINAMICS V20.....	90
Figura.68: BOP (Basic Operator Panel).....	90
Figura.69: Diagrama de conexión	91
Figura.70: Calentador de agua SE-CAL5-15L Modelo 1554	93
Figura.71: Electroválvula HOYA PU-25SL	94
Figura.72: PLC S7-1200 CPU 1212AC/DC	97
Figura.73: Módulo de entradas y salidas.....	97
Figura.74: Mesa móvil.	98
Figura.75: Tanque de acrílico.	99
Figura.76: Tanque de acrílico construido.....	99
Figura.77: Tanque de acrílicos con las bases montadas.....	100
Figura.78: Montaje de los tanques de acrílico.	100
Figura.79: Montaje de la bomba centrífuga.	101
Figura.80: Orificios para el paso de tubería.	101
Figura.81: Montaje del sistema hidráulico.....	102
Figura.82: Ubicación del sensor ultrasónico.....	103
Figura.83: Ubicación e de los sensores capacitivos.	103
Figura.84: Ubicación del sensor de caudal.	104
Figura.85: Ubicación del sensor de presión.	104
Figura.86: Ubicación de la RTD.	105
Figura.87: Ubicación válvula check.....	106
Figura.88: Ubicación válvulas de media bola.	106
Figura.89: Bypass para mantenimiento.....	107
Figura.90: Ubicación del rotámetro.	107
Figura.91: Ubicación del manómetro.....	108
Figura.92: Ubicación de la válvula de compuerta.....	108
Figura.93: Tablero de control.....	109
Figura.94: Cableado del PLC	110

Figura.95: Modulo didáctico.....	111
Figura.96: Creación de un nuevo proyecto e ingreso del dispositivo	112
Figura.97: Detección del PLC S7-1200	112
Figura.98: Asignación de una dirección IP y sub-máscara de red para la PC	113
Figura.99: Declaración de variables del PLC.	113
Figura.100: Programar en Main [OB1].....	114
Figura.101: Instrucciones básicas de programación.	114
Figura.102: Ingresar Cyclic Interrump.....	115
Figura.103: Agregar PID_Compact	115
Figura.104: Configuración de parámetros del Regulador PID	116
Figura.105: Compilación del programa.	117
Figura.106: Carga del programa al PLC	117
Figura.107: Configuración de los parámetros del PID	118
Figura.108: Carga de parámetros al PLC.....	118
Figura.109: Creación del Canal de comunicación entre OPC y S7-1200.....	119
Figura.110: Selección del Device Driver.....	119
Figura.111: Selección del Network Adapter.....	120
Figura.112: Selección de parámetros Write Optimizations.	120
Figura.113: Pantalla de resumen de la configuración del canal.....	121
Figura.114: Nuevo dispositivo en el canal.....	121
Figura.115: Tipo de PLC para la comunicación	121
Figura.116: Tipo de PLC para la comunicación	122
Figura.117: Configuración de los parámetros de tiempo de comunicación.....	122
Figura.118: Activar/Desactivar la opción Auto Demotion	123
Figura.119: Número de puerto	123
Figura.120: Parámetros del nuevo dispositivo para establecer tipo de conexión	123
Figura.121: Parámetros por defecto del controlador S7-1200	124
Figura.122: Resumen de la configuración del dispositivo.....	124
Figura.123: Creación de las etiquetas estáticas.....	125
Figura.124: Configuración de las etiquetas estáticas	125
Figura.125: Quick Client.....	125
Figura.126: Creación del I/O Server	126

Figura.127: Selección del OPC Client	126
Figura.128: Configuración de Cliente OPC y el UpdateRate	127
Figura.129: Agregar las etiquetas a la librería	127
Figura.130: Configuración de la dirección de las Tags.....	128
Figura.131: Dirección de la variable	128
Figura.132: Asignación de la dirección de las Tags al VI.	129
Figura.133: Módulo de regulación de variables de control.....	130
Figura.134: Verificación de la comunicación entre la PC y el PLC	132
Figura.135: PLC y HMI conectado y funcionando.....	132
Figura.136: Monitoreo de la programación en tiempo real.....	133
Figura.137: Cable Ethernet comunicación entre dispositivos.....	133
Figura.138: Dispositivos conectados en red (PLC y HMI).....	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.1: Valores de temperatura y resistencia del PT100.....	20
Tabla.2: Descripción del módulo didáctico.	43
Tabla.3: Ventajas y Desventajas de la Alternativa A.....	48
Tabla.4: Ventajas y Desventajas de la Alternativa B.	49
Tabla.5: Datos Técnicos del módulo.....	50
Tabla.6: Matriz de decisión de la bancada.	59
Tabla.7: Matriz de decisión de la Tubería.....	65
Tabla.8: Matriz de decisión de la bomba centrífuga.	74
Tabla.9: Matriz de decisión del material de los tanques.	76
Tabla.10: Matriz de decisión de selección del rotámetro.....	77
Tabla.11: Matriz de decisión de selección del manómetro.	78
Tabla.12: Matriz de decisión de los sensores capacitivos.....	80
Tabla.13: Matriz de decisión del sensor ultrasónico.....	82
Tabla.14: Matriz de decisión del sensor de temperatura PT100.	84
Tabla.15: Matriz de decisión del sensor de flujo (caudalímetro).....	85
Tabla.16: Matriz de decisión del sensor de presión.	86
Tabla.17: Matriz de decisión del interruptor tipo flotador.	88
Tabla.18: Matriz de decisión del variador de frecuencia.	89
Tabla.19: Matriz de decisión del calentador de agua.	92
Tabla.20: Matriz de decisión de la electroválvula.	93
Tabla.21: Matriz de la marca de PLC.	95
Tabla.22: Total de entradas y salidas requeridas por el PLC.....	95
Tabla.23: Matriz de decisión del PLC.....	96
Tabla.24: Verificación de voltajes en dispositivos	131
Tabla.25: Detalles de Costos.....	134

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un módulo didáctico para el control automático de nivel, temperatura, caudal y presión de agua, el mismo que reúne un conjunto de actuadores y sensores que le otorga la característica de ser uno de los componentes de control de procesos industriales en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica para que los estudiantes pueden adquirir un alto nivel de conocimiento tanto teórico como práctico en el área industrial. El módulo es un sistema didáctico enfocado a la enseñanza y práctica de instrumentación industrial y sistemas de automatización así como al desarrollo de procesos de control, en su diseño esta planta contiene varios componentes entre los cuales se pueden mencionar sensores, transductores y actuadores, mediante los cuales el operador puede establecer distintos lazos de control según la variable que se maneje ya sea: flujo, presión, nivel o temperatura. Este módulo está enfocado en cumplir con una serie de procesos formativos y requisitos profesionales ya que dispone de varios componentes usados ampliamente en el área industrial.

PALABRAS CLAVES:

- **ACTUADORES**
- **COMPONENTES DE CONTROL-PLC**
- **ÁMBITO INDUSTRIAL**
- **LAZO DE CONTROL-PID**

SUMMARY

This project is to conduct a training module for automatic level control, temperature, flow and pressure of water, it brings together a set of actuators and sensors that gives the characteristic of being one of the components of industrial process control in this laboratory which students can acquire a high level of theoretical and practical knowledge. The module will be an educational system focused on the teaching and practice of industrial instrumentation and automation systems and the development of control processes in the plant design contains several components among which may be mentioned sensors, transducers and actuators, whereby the operator can set different control loops according to the variable is handled either: flow, pressure, level or temperature. This module is focused on meeting a series of educational processes and professional requirements because it has several components widely used in industry.

KEY WORDS:

- **ACTUATORS**
- **CONTROL COMPONENTS-PLC**
- **INDUSTRIAL FIELD**
- **INDUST LOOP CONTROL-PID**

CAPÍTULO I

1. CONTENIDOS GENERALES

1.1. Introducción

En un sistema automático se busca esencialmente aumentar la eficiencia de todo el proceso y poder controlar las variables principales que se pueden medir y controlar como es el caso de la temperatura, presión caudal y nivel, disminuyendo los riesgos que generalmente se tendrá si este fuera realizado manualmente por operadores.

Con el avance de la tecnología cada vez, los procesos en sistemas electrónicos son más efectivos simplificando el margen de error y el número de operadores, especialmente en los procesos industriales que actualmente han mejorado tecnológicamente, en donde ha tenido un gran cambio y quienes estén involucrados con el tema deben permanecer constantemente informados de los nuevos procesos, métodos y soluciones de fallas para poder estar al día con el avance de la tecnología.

1.2. Definición del problema

En la actualidad en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga, no se cuenta con un módulo didáctico industrial compacto para el control y monitoreo de diferentes variables físicas y debido a esta falencia, hemos propuesto diseñar e implementar un módulo para que los estudiante guiados por el profesor, puedan fortalecer sus competencias en el proceso de enseñanza, aprendizaje en el área de automatización y robótica.

Con este módulo los estudiantes podrán realizar prácticas de instrumentación, PLC y control de procesos industriales que afianzará sus conocimientos y mejorará sus destrezas teórico-práctico, con proyección a nivel industrial

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar una estación de trabajo compacta con sistema de regulación de nivel, caudal, presión y temperatura en bucle cerrado para el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS EXTENSIÓN LATACUNGA.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar la estructura física del módulo para la ubicación de los instrumentos según el diagrama P&ID.
- Seleccionar los diferentes dispositivos, sensores y actuadores para el control y monitoreo de las variables físicas.
- Instalar el modulo didáctico compacto basándonos en los diagramas P&ID y en el esquema físico.
- Diseñar los algoritmos de control y monitoreo para los diferentes lazos de control.
- Diseñar e implementar un HMI para el monitoreo, control y registro de las diferentes variables del módulo.

1.4. Justificación

El proyecto busca aplicar los conocimientos de automatización de sistemas hidráulicos implementando un módulo didáctico compacto que permita monitorear y controlar el nivel, la temperatura, la presión y el caudal de agua de un tanque con ayuda de sensores y actuadores, utilizando como cerebro un PLC para poder

gestionar las tareas de monitoreo y control del módulo que permitirán la manipulación de estas variables aportando un gran conocimiento e interacción de los estudiantes con este tipo de módulos a través de prácticas orientadas a la formación profesional de los estudiantes de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA y de todo el personal técnico afín a estas áreas del conocimiento.

1.5. Alcance del proyecto

Con el diseño del módulo didáctico compacto se podrá regular las variables físicas de nivel, caudal, presión y temperatura en bucle cerrado disponiendo de una guía detallada que contenga todos los procedimientos y normas que permitan orientar de forma práctica y acertada a los estudiantes que cursan asignaturas del área de automatización y robótica.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Sistemas de automatización industrial.

En un sistema de automatización se busca esencialmente aumentar la eficiencia de todo el proceso y poder controlar las variables principales que se pueden medir y controlar como es el caso de la temperatura, presión caudal y nivel, disminuyendo los riesgos que generalmente se tendrá si este fuera realizado manualmente por operadores.

El avance de la tecnología cada vez hace que los procesos sean más efectivos simplificando el margen de error y el número de operadores que se necesita para la realización de procesos, especialmente en los procesos industriales en donde ha tenido un gran cambio y quienes estén involucrados con el tema deben permanecer constantemente informados de los nuevos procesos, métodos y soluciones de fallas para poder estar al día con el avance de la tecnología.

El objetivo principal de este proyecto es hacer visible la posibilidad de la implantación de sistemas de control y automatización en procesos industriales, haciendo énfasis en la replicación de diferentes procesos industriales.

Como una de las principales ventajas de este módulo es poder aplicar los sistemas de control y automatización dirigida a la regulación de variables tales como: nivel, caudal, presión y temperatura.

2.1.1 Objetivos de la automatización.

- Lograr una producción más eficiente.
- Eliminando los trabajos forzosos y desarrollando una mayor seguridad mejorando las condiciones de trabajo del personal.

- Disminuir el tiempo de mantenimiento y al mismo tiempo que el operador no necesite tener grandes conocimientos para realizar estos procesos.
- Mejorar la calidad y productividad eliminando el error humano mediante los procesos automatizados.

2.1.2 Niveles de automatización.

- a. Operación manual:** Se fabrican piezas sin recurrir a máquinas. El ser humano realiza las operaciones usando herramientas. Es responsable de seguir el orden correcto de operaciones. Dando forma con diferentes herramientas.
- b. Mecanizado:** La máquina realiza la operación, sin embargo el ser humano opera la máquina y es responsable de seguir la secuencia de las diferentes operaciones. Mecanizado las piezas en un torno.
- c. Automatización parcial:** La máquina realiza varias operaciones en forma secuencial y autónoma, pero es necesaria la intervención humana para colocar y retirar piezas. Un buen ejemplo sería una dobladora automática.
- d. Automatización total:** La máquina es autónoma. Es decir que no necesita intervención humana. El operador realiza tareas de supervisión y mantenimiento. Como por ejemplo un centro de maquinado con alimentador automático.
- e. Integración:** Todas las máquinas están interconectadas y trabajan cooperativamente. La intervención humana es requerida a nivel gestión y planeación estratégica (Ruedas, 2008).

2.2.Sistemas de producción modular.

Con los sistemas modulares se ha dado un giro muy importante a la producción industrial de las empresas, mejorando su productividad y calidad en los productos y así aumentando el tiempo producción. En lo educativo los sistemas modulares serán una herramienta didáctica muy eficaz que complementara el conocimiento de los estudiantes en áreas de sistemas de control industrial, neumática, hidráulica, electrónica, etc.

Con el fin de generar nuevas ideas los cuales podrán implementar en los sistemas modulares, comprometidos a la formación académica los diseños de cada módulo serán capaces de variar sus posiciones así como también de sus componentes o elementos montados con el fin de cumplir diferentes tareas de acuerdo a la necesidad del diseñador o del trabajo que se está realizando.

En los sistemas modular se puede insertar infinitas tareas o a su vez repotenciar algún proceso que permita diseñar nuevos mecanismo, al cambiar los elementos de la estación se vuelve en un instrumento de investigación el cual ayuda a reforzar conocimientos de: electrónica, control automático, redes industriales, neumática, hidráulica, procesos de manufactura, mecánica industrial, programación de PLC.

El Controlador Lógico Programable también conocido como PLC, servirá para realizar la programación del proceso industrial así como controladores para realizar el control de la estación. Las estaciones estarán comunicadas por medio de redes industriales, o programando que la estación sea capaz de comunicarse haciendo uso de elementos simples como sensores y actuadores capaces de enviar señales de control.

Para el control interno del módulo dispondrá de un micro controlador, un módulo Ethernet que sirve para la comunicación industrial y la capacidad de integrar la conectividad de equipos modulares, el módulo cuenta con una interfaz amigable y

segura para el estudiante, en donde se podrá controlar las variables de entrada y salida. La estación de monitorio y control de variables de control se acoplarán a un sistema de producción modular donde se garantiza que funcione correctamente con otros procesos como se puede observar en la Figura.1.



Figura.1: Estaciones modulares didácticas

Fuente: (FESTO, Didactic Internacional, 2015)

2.2.1 Objetivos del módulo didáctico.

Cuyo objetivo principal es el monitoreo y regulación de procesos de caudal, nivel, presión y temperatura, como consecuencia de ellos se mencionara algunos objetivos complementarios tales como:

- Mejor aprovechamiento de la superficie de la planta (laboratorio).
- Desarrollar el potencial del personal.

2.2.2 Ventajas.

Las razones más frecuentes para implementar sistemas modulares son las siguientes:

- Reducción de costos.
- Incremento de calidad.
- Respuesta mucho más rápida.
- Explotación de recursos.

2.2.3 Desventajas.

- Necesidad de una rápida respuesta a problemas ocasionales.
- Necesidad de máquinas suplementarias.
- Rechazo a operadores de bajo rendimiento.

Con todos los objetivos, ventajas y desventajas ya antes mencionados servirán para tener en cuenta los aspectos más importantes que debe tener el modulo didáctico al momento de la construcción.

2.3.Principio de funcionamiento del módulo didáctico.

Las estaciones del Sistema de Producción Modular facilitan la formación profesional orientada a los sistemas industriales, y el hardware consiste en componentes de tipo industrial. De esta manera ayuda al desarrollo de varios procesos en una misma estación como son:

- Organización.
- Montaje.
- Programación.
- Funcionamiento.
- Mantenimiento.
- Localización de averías.

2.4.Material mecánico

Aluminio estructural.

Son perfiles de aluminio y sus accesorios sirven para la construcción de estructuras de máquinas, dispositivos, líneas de montaje, redes de aire comprimido, etc. Sus propiedades mecánicas son de acuerdo al tipo de perfil que sea utilizado.

Material Acrílico.

Acrílico es un material que deriva del plástico que tiene diferentes aplicaciones y usos. Dentro de sus ventajas resiste estar expuesto por periodos de tiempo muy largos a rayos ultravioleta sin que esto dañe su superficie. Su gran flexibilidad hace que el Acrílico sea uno de los materiales más utilizados en las construcciones de equipos modulares.

Aluminio.

El aluminio y sus aleaciones son materiales que destacan por su ligereza y resistencia a la corrosión, así como por su elevada conductividad térmica y eléctrica. Las propiedades mecánicas del aluminio puro son bastante moderadas, pero aleado con otros elementos las mejora notablemente. Si se comparan la resistencia o la rigidez específica (en relación con la densidad) los aluminios son más ventajosos que los aceros en determinadas aplicaciones (aeronáutica, vehículos, piezas a grandes aceleraciones). Estas cualidades, junto con la gran aptitud para la conformación (deformación en frío, forja, moldeo, extrusión, mecanizado), han convertido a los aluminios en el segundo grupo de materiales más empleados.

2.5.Sistemas de control

Un sistema de control está desarrollado por subsistemas y procesos incorporados con el fin de controlar las salidas de los procesos, como por ejemplo, un horno induce calor como resultado del flujo de combustible. En este proceso, los subsistemas, llamados válvulas de combustible y actuadores de válvulas, se usan para regular la temperatura de una habitación al controlar la salida del calor del horno.

Otros subsistemas, como por ejemplo los termostatos que trabajan como sistemas detectores que miden la temperatura de la habitación. En su forma más sencilla, un sistema de control produce una salida o respuesta para una entrada o estímulo dado, como se ilustra en la Figura.2. (Nise, 2006).

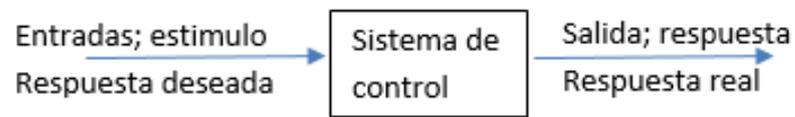


Figura.2. Descripción de un sistema de control

Fuente: (Nise, 2006)

2.5.1. Historia de los sistemas de control

Los sistemas de control realimentados son más viejos que la humanidad. Se construyeron numerosos sistemas biológicos de control en los primeros seres vivos de nuestro planeta, a continuación un resumen breve de los sistemas de control.

a. Control de nivel de líquido

Los griegos empezaron a construir sistemas realimentados hacia el año 300 a. de C. Un reloj de agua, inventado por Tesibio, funcionaba mediante un sistema donde goteaba agua en un recipiente a una razón constante. El nivel de agua de un recipiente se usaba para dar la hora. Para que el agua goteara a una razón constante, el tanque de alimentación tenía que mantenerse a un nivel constante, lo cual se lograba mediante una válvula con flotadores semejantes a las de los controles de nivel de hoy en día.

Poco después de la época de Tesibio, la idea de un control de nivel de líquido fue aplicada, por Filón de Bizancio, a una lámpara de aceite. La lámpara consistía en dos recipientes configurados verticalmente. La charola estaba abierta en la parte de arriba y era la fuente de combustible para la llama (Nise, 2006), así los primeros sistemas de control se idearon con líquidos gracias a eso tenemos hoy en día distintos controles

b. Control de presión de vapor y temperatura

La regulación de presión de vapor se inició hacia 1681 con el invento de una válvula de seguridad que construyó Denis Papin. El concepto se mejoró al aumentar el peso de la parte superior de la válvula. Si la presión se reducía; si la presión no era mayor que el peso, la válvula no se abría y la presión dentro de la caldera aumentaba. Así, el peso en la parte superior de la válvula fijaba la presión interna de la caldera.

También en el siglo XVII, Cornelis Drebbel en Holanda inventó un sistema de control de temperatura puramente mecánico para incubar huevos. El aparato estaba formado por un frasco de alcohol y mercurio con un flotador insertado en su interior. El flotador estaba conectado a un regulador que controlaba una flama.

Una parte del frasco estaba insertado en la incubadora para captar el calor generado por la flama cuando aumentaba el calor, el alcohol y el mercurio se dilataban, elevaban el flotador y cerraban el regulador, con lo cual se reducía la flama. Una temperatura baja hacía descender el flotador, abriéndose así el regulador y aumentando la flama (Nise, 2006).

c. Control de velocidad

En 1754 Edmund Lee aplicó un control de velocidad a un molino de viento. Los vientos crecientes movían las paletas más hacia atrás, con lo que tenían menos área cuando la velocidad del viento se reducía, hacia más área en las paletas. William Cubitt mejoró esta idea al dividir la verla de un molino de viento en rejillas móviles

También en el siglo XVIII, James Watt inventó el gobernador centrífugo de velocidad para controlar la velocidad de los motores de vapor. En este dispositivo de rotación, una válvula de vapor conectada al mecanismo de los dos contrapesos se cierra cuando estos suben y se abre cuando bajan, regulando así la velocidad (Nise, 2006).

2.6. Sistemas en lazo abierto

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida si se realimenta para compararla con la entrada.

Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa (Ogata, 2003).

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la presión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbación, un sistema de control en lazo abierto no realiza las tareas deseadas tal como se muestra en la Figura.3. en donde se representa un circuito en lazo abierto.

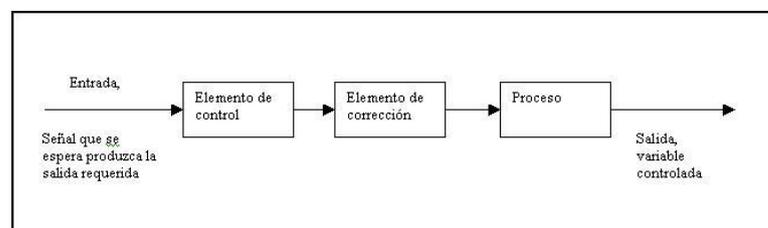


Figura.3: Sistema de control en lazo abierto

Fuente: (Salvetti, 2012)

2.7. Sistemas en lazo cerrado

Las desventajas más frecuentes de los sistemas en lazo abierto son la sensibilidad a perturbaciones e incapacidad para corregirlas que fácilmente pueden ser superadas en los sistemas en lazo cerrado. La estructura genérica de un sistema en lazo cerrado se ilustra en la Figura.4.

El transductor de entrada convierte la forma de entrada a la forma empleada por el controlador. Un transductor de salida, o detector mide la respuesta de salida y la convierte en la forma empleada por el controlador, por ejemplo si el controlador utiliza señales eléctricas para manejar las válvulas se un sistema de control de temperatura, la posición de entrada y la temperatura se salida son convertidas en señales eléctricas.

La posición de entrada puede convertir en voltios por medio de un potenciómetro, o resistor variable y la temperatura de salida puede ser convertida en voltaje por medio de un termistor o dispositivo cuya resistencia eléctrica cambia con la temperatura. El primer punto se suma entrega la suma algebraica de la señal proveniente de la entrada y la señal de salida, que lleva por medio de la trayectoria de realimentación, que es la trayectoria de retorno desde la salida al punto de suma.

El resultado generalmente recibe el nombre de señal de actuación pero en sistemas en donde los transductores de entrada y salida tienen ganancia unitaria el valor de la señal de actuación es igual a la diferencia real entre la entrada y al salida, Bajo esta comparación la señal de actuación se llama error.

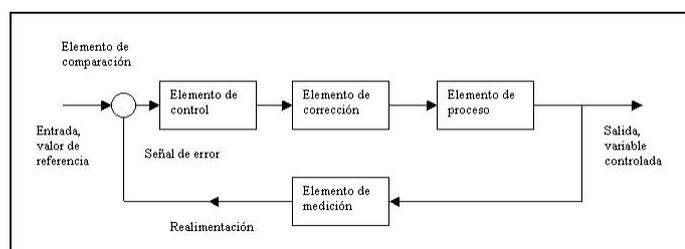


Figura.4: Sistema de control en lazo abierto

Fuente: (Salvetti, 2012)

El sistema en lazo cerrado compensa perturbaciones al medir la respuesta de salida, alimentando esa medida a una trayectoria de realimentación y comparación esa respuesta con la entrada en el punto suma. Si hay alguna diferencia entre las dos respuestas el sistema acciona la planta o proceso por medio de una señal de actuación para hacer la corrección. Si no existe diferencia el sistema no acciona la planta, puesto que la respuesta de la planta ya es la respuesta deseada.

Los sistemas en lazo cerrado entonces tienen la obvia ventaja de mayor precisión que los sistemas en lazo abierto aun cuando son menos sensibles al ruido a perturbaciones y a cambios en el entorno. La respuesta transitoria y error en estado estable se pueden controlar en forma más cómoda y con mayor flexibilidad en los sistemas en lazo cerrado, con frecuencia mediante un sencillo ajuste de la ganancia en lazo a veces con un rediseño del controlador (Nise, 2006).

2.8. Estabilidad

El estudio de la respuesta transitoria y error en estado estable es discutible si el sistema no tiene estabilidad. Para explicar la estabilidad, comenzamos desde el hecho que la respuesta total de un sistema es la suma de la respuesta libre y a la respuesta forzada. La forma o naturaleza de esta respuesta depende solo del sistema no de la entrada, por otra parte la forma o naturaleza de la respuesta forzada depende de la entrada. Así para un sistema lineal, podemos decir que:

$$\text{Respuesta total} = \text{Respuesta libre} + \text{Respuesta forzada}$$

Para que un sistema de control sea útil la respuesta libre debe.

1. Aproximarse a cero, dejando así solo la respuesta forzada.
2. Oscilar.

En algunos casos la respuesta libre puede crecer sin límite más que disminuir a cero u oscilar. Los sistemas de control deben ser diseñados para ser estables, esto es, su respuesta libre debe decaer a cero a medida que el tiempo se aproxima al infinito, u oscila. En muchos sistemas, la respuesta transitoria que se ve en una gráfica de respuestas del tiempo puede estar directamente relacionada con la respuesta libre.

En consecuencia, si la respuesta libre decae a cero a medida que el tiempo tiende a infinito, la respuesta transitoria también decae, dejando solo la respuesta forzada. Si el sistema es estable, se puede diseñar las características de la respuesta transitoria apropiada de respuesta transitoria y de error en estado estable (Nise, 2006).

2.9. Variables de control

En todos los procesos son absolutamente necesario para controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel y la temperatura. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas para que el sistema lo realice de mejor manera. En los inicios de la era industrial, el operario llevaba a cabo un control manual de estas variables utilizando solo instrumentos simples, como manómetros, termómetros, válvulas manuales etc., el control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos.

Sin embargo, la sucesiva complejidad con que estos se han ido desarrollándose ha exigido una automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al operario de su función de actuación física directa en la planta y al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien en salas aisladas separadas; así mismo, gracias a los instrumentos ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características semejantes, condiciones que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control manual (Buendía, Colás, & Hernández , 2001).

2.10. Clasificación de los instrumentos.

2.10.1. Elementos primarios

Son aquellos instrumentos que están en contacto con el fluido o variable, utilizando energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. Los ejemplos más típicos son la placa orificio y los elementos de temperatura (termopares o termoresistencias).

2.10.2. Transmisores

Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso, generalmente pueden ser a través de un elemento primario, y la transmiten a distancia en forma de señal neumática (3-15 psi), electrónica (4-20mA), pulsos protocolizados (hart) o bus de campo (Fieldbus Foundation, Profibus, etc.). Estos instrumentos dan una señal continua de la variable de proceso. Dentro de los transmisores los hay ciegos (sin indicador local) y con indicador local incorporado (Palacios, 2014).

2.10.3. Indicadores locales

Son aquellos que captan la variable de proceso y la muestran en una escala visible localmente. Los indicadores locales más utilizados son los manómetros (presión), termómetros (temperatura), rotámetros (caudal), etc. Normalmente estos instrumentos no llevan electrónica asociada, aunque también se consideran indicadores locales a los indicadores electrónicos conectados a los transmisores. Estos últimos pueden ser analógicos o digitales.

2.10.4. Convertidores

Son aquellos instrumentos que reciben un tipo de señal de un instrumento y la modifica a otro tipo de señal. Pueden ser convertidores de señal neumática a electrónica, de milivoltios a miliamperios, de señal continua a tipo de contacto, etc. Se usan habitualmente por necesidades de los sistemas de control homogeneización (Lema, Sánchez, & Escudero, 2012).

2.11. Adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos, son dispositivos o procesos que utilizan para agrupar información o para analizar un fenómeno. De tal manera que, un operador, que registre el caudal que ingresa a un tanque está realizando una adquisición de datos. Como la tecnología siempre avanza, la adquisición de datos se

ha tecnificado y se ha hecho más exacta, versátil y fiable mediante aparatos electrónicos. Existen variados rangos de registradores, desde simples a sofisticados sistemas informáticos (Méndez Guillen, 2014).

Los dispositivos de adquisición de datos son como un punto centro en un sistema, unificando una gran variedad de dispositivos, tales como sensores que indican el caudal, nivel presión, temperatura, etc. Algunos de los términos más utilizados en la adquisición de datos de detallan a continuación:

- **Analógico-Digital (ADC):** Se trata de un aparato electrónico que transforma una señal analógica a una señal digital. La conversión de analógico al digital es la base de los sistemas de adquisición de datos.
- **Convertidor Digital-Analógico (D/A):** Se trata de un dispositivo electrónico que transforma una señal digital a una señal analógica equivalente.
- **Digital Input/Output (DIO):** Se trata de una forma en la que se recibe una adquisición de datos. Digital I/O se refiere a señales discretas, ya que posee dos estados. Estos estados pueden ser de On/Off, 1/0, alto/bajo, etc. Digital I/O puede ser encontrado también como binarios I/O.
- **Entrada Simple (SE):** Se trata de la forma en que el cable de la señal se conecta a un aparato de adquisición de datos. Con una sola terminal de cableado, cada entrada analógica tiene una sola conexión, pero todos los canales deben encontrarse conectados a la misma tierra común. Los dispositivos de adquisición poseen entradas simples o entradas diferenciales.
- **Entrada Diferencial:** Se trata de la forma en que el cable de la señal es conectado a un aparato de adquisición de datos. Las entradas diferenciales tienen una conexión positiva y negativa para cada canal. Los dispositivos de adquisición de datos tienen entradas simples o diferenciales.
- **General Purpose Interface Bus (GPIB):** Sinónimo de HPIB, se trata del bus estándar que se usa para el control de aparatos eléctricos con un computador.
- **Resolución:** Es la señal más pequeña de incremento que se puede detectar mediante un sistema de adquisición de datos.
- **RS232:** Es un tipo de conexión estándar para los sistemas de comunicación, se encuentra en muchos sistemas de adquisición. El RS232 es el tipo de

comunicación más utilizado, pero, tiene limitaciones, debido a que solo permite conectarse con un solo dispositivo que se encuentre conectado y solo permite conexiones de hasta 15 metros, aunque se la utiliza en conexiones de mayor longitud en la práctica.

- **RS485:** Es un tipo de serie de comunicación en los sistemas de adquisición. Este tipo de conexión no es tan popular como RS232, pero, es más flexible ya que permite la comunicación con 32 dispositivos a la vez y se puede conectar a más con la utilización de repetidores y permite conexiones con distancias de 1500 metros.
- **Frecuencia de Muestreo:** Es la velocidad de recolección de datos de un sistema de adquisición. Esta velocidad viene dada en datos por segundo. En los aparatos multi-canal de adquisición, la frecuencia de muestreo depende de la velocidad del convertidor analógico-a-digital. La Frecuencia de muestreo individual del canal se obtiene dividiendo la velocidad del convertidor Análogo a digital por la cantidad de canales que se tienen (Méndez Guillen, 2014).

2.12. Descripción de sensores Digitales

2.12.1. Sensor de proximidad capacitivo

El principio de funcionamiento de este sensor está basado en la evaluación del cambio del valor capacitivo de un condensador interno que se encuentra en una malla RC, cuando un material con un nivel de permitividad superior a la unidad entra en contacto con el sensor se produce un cambio en el valor de la capacitancia característica lo que provoca un cambio fácilmente medible en las oscilaciones del circuito RC. Cabe recalcar que los detectores de proximidad capacitivos no solo detectan materiales metálicos y no metálicos, sino también sustancias como líquidos o materiales granulosos; además el cambio de capacidad dependerá de: distancia, dimensiones y constante dieléctrica del material.

Este sensor de proximidad (Figura.5) actúa como un contacto normalmente abierto y presenta una salida binaria de 0-24 VDC; el estado de conmutación se indica mediante un LED. El diodo verde corresponde a la indicación de preparado para funcionar (Idrovo & Peña, 2014).



Figura.5: Sensor de proximidad capacitivo

Fuente: (Idrovo & Peña, 2014)

2.12.2. Interruptor con flotador

Se dispone de dos tipos de interruptores con flotador cuyas características serán explicadas a continuación:

El primer tipo (Figura 2.6 (a)) presenta resultados precisos al controlar niveles de llenado mínimos, máximos e intermedios de líquidos o sólidos. Puede actuar tanto como interruptor normalmente cerrado o abierto con solo girar su posición 180°.

El interruptor con flotador para evitar del desbordamiento (Figura.6 (b)) únicamente puede montarse en posición vertical; el fluido que es objeto de la medición, presiona el flotador desplazándolo hacia arriba y, a partir de una determinada posición, activa un interruptor mediante el cual se podrá parar el llenado del tanque hasta que se desborde (Idrovo & Peña, 2014).



Figura.6: (a) Interruptor flotador (b) Interruptor magnético.

Fuente: (Idrovo & Peña, 2014)

2.12.3. Sensor de Temperatura

El sensor de temperatura PT100 (termoresistencia de platino) está compuesto por un arrollamiento de alambre de platino bobinado entre capas de un material aislante protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. Un conductor eléctrico posee un número de electrones que no varía apreciablemente con el aumento de temperatura sin embargo si esta se eleva, en el conductor se producen vibraciones en sus átomos que dispersan los electrones, lo que refleja un aumento de resistencia con respecto a la temperatura. Esta relación se expresa de la siguiente manera:

$$R = R_0(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \dots + \alpha_n T^n)$$

Donde

- R_0 es la resistencia a la temperatura de referencia
- T corresponde al incremento de temperatura
- α es la variación de resistencia por el cambio de dimensiones y resistividad propias de cada elemento.

Para observar el comportamiento del PT100 la Tabla.1 representa ciertos valores de temperatura con su respectivo valor de resistencia, como se deduce de esta tabla a una temperatura de 0°C el valor de resistencia es de 100 de ahí el nombre característico de este sensor; la Figura.7 representa su curva característica para un rango de temperatura de -100 °C a +200 °C (Idrovo & Peña, 2014).

Tabla.1:

Valores de temperatura y resistencia del PT100

Temperatura(oC)	-100	0	100	200
Resistencia(Ω)	60.25	100	138.5	175.84

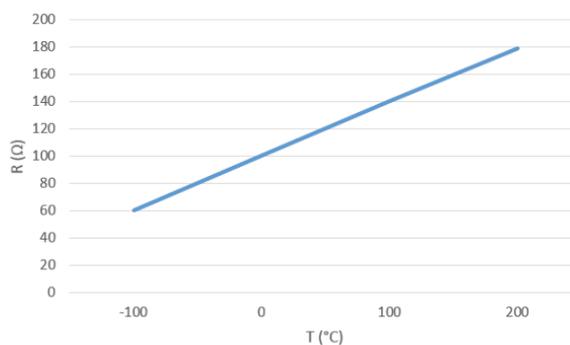


Figura.7: Curva Característica del PT100

Fuente: (Idrovo & Peña, 2014)

El sensor de temperatura al que hacer referencia la Figura.8 está compuesto por tres elementos: en principio dispone de un termómetro resistivo hecho de platino (3), un tubo protector (2) y una cabeza de conexión (1) en el que insertan los dos elementos mencionados anteriormente (Idrovo & Peña, 2014).

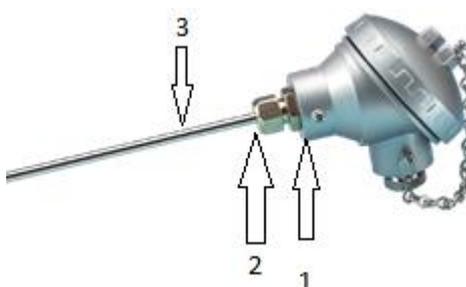


Figura.8: Sensor de temperatura

2.13. Descripción de sensores Analógicos

2.13.1. Sensor de nivel ultrasónico

Los sensores ultrasónicos son sensores electrónicos que trabajan sin contacto, debido a que emiten una señal sonora dentro del rango del ultrasonido que se propaga en la atmósfera hacia el objeto cuya distancia se pretende conocer este proceso se observa en la Figura.9.

Su principio de funcionamiento se basa en excitar una membrana de aluminio dentro de su frecuencia de resonancia mediante un circuito de control para generar ondas ultrasónicas, cuando esta onda es reflejada por la presencia de un objeto el sensor analiza por medios electrónicos el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal y la reflexión, presentando a su salida una señal de 4-20mA proporcional a la distancia. El objeto reflector puede ser de diversos materiales su forma, estado sólido o color, esto no influye en la medición (Idrovo & Peña, 2014).

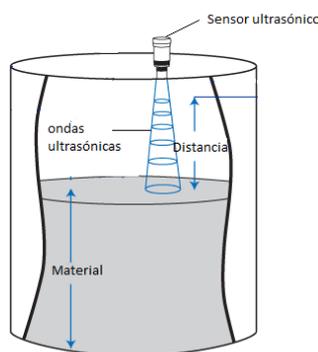


Figura.9: Funcionamiento de un sensor ultrasónico

Fuente: (Idrovo & Peña, 2014)

El sensor ultrasónico de nivel que se observa en la Figura.10 es utilizado en el lazo de control de nivel, su salida característica es una señal industrial de 4-20mA, la misma es transformada a una señal de voltaje estándar (0-10VDC) para su posterior lectura (Idrovo & Peña, 2014).



Figura.10: Sensor de nivel ultrasónico

Fuente: (Idrovo & Peña, 2014)

2.13.2. Sensor de Flujo

El sensor de flujo está compuesto por un rotor de tres aletas (Figura.11) cuyas revoluciones son proporcionales al flujo de líquido que se produce en ese momento en las tuberías, las revoluciones son captadas mediante un circuito optoelectrónico compuesto por un diodo y un fototransistor; cuando la luz incide sobre la superficie fotosensible que hace las veces de base se produce una corriente I_b que genera un estado de conmutación en el transistor de esta manera se obtiene la señal de pulsos de voltaje que representa el flujo del líquido que atraviesa el sensor.



Figura.11: Estructura interna del sensor de flujo

Fuente: (Idrovo & Peña, 2014)

Al momento de instalar este sensor se debe tomar en cuenta la flecha sobre el cuerpo del dispositivo que indica la dirección en la que deberá circular el fluido; este sensor puede montarse tanto horizontal como verticalmente y no es necesario colocar tramos de amortiguación a los extremos para evitar oscilaciones por un caudal irregular.

Como se mencionó en el apartado de funcionamiento, el sensor de flujo presenta a su salida una señal de onda cuadrada cuyo nivel se encuentra en función de la tensión de alimentación, en este caso en particular 24VDC. Sin embargo para realizar la lectura de datos mediante un transmisor frecuencia – voltaje el cual es necesario tener una señal estándar, por lo que la planta posee un circuito que transforma la señal de frecuencia en una señal analógica que varía de 0 a 10 VDC (Idrovo & Peña, 2014).

2.14. Actuador digital.

2.14.1 Electroválvulas

La electroválvula (Figura.12) se la conoce también como válvula solenoide es una llave de paso electrónica que permite o interrumpe el flujo de líquido en un sistema. La válvula permite o interrumpe este flujo mediante el campo magnético de una bobina, que se encuentra bien fija, y este campo magnético atrae a un émbolo conmutando así el flujo de líquido (Philco, 2014).



Figura.12: Electroválvulas

Fuente: (Méndez Guillen, 2014)

2.15. Descripción de Actuadores Analógicos

2.15.1 Bomba Centrífuga

Una bomba centrífuga es una máquina accionada mecánicamente, que dispone de paletas rotatorias dentro de una coraza (Figura.13). Las paletas dotan de energía al líquido el cual es impulsado por la fuerza centrífuga hacia la coraza, en donde gran parte de la energía de movimiento es transformada en presión.

Este tipo de máquinas tienen una velocidad relativamente elevada y una de sus ventajas más importantes es que van acopladas directamente al elemento motriz. El proceso de funcionamiento comienza cuando el líquido ingresa al impulsor, fluye radialmente hacia afuera y abandona la periferia del impulsor a una velocidad

elevada, en la carcasa de la bomba, en donde gira el impulsor la velocidad de líquido va creciendo gradualmente y la energía del movimiento se transforma en energía de presión, de manera que sale de la bomba venciendo la resistencia que encuentre a su paso.

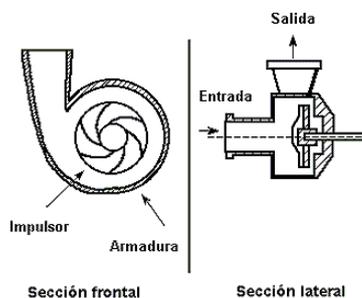


Figura.13: Esquema de una bomba centrífuga

La bomba centrífuga (Figura.14) permite la circulación de fluido desde el tanque secundario hacia el resto del sistema a través del conjunto de tuberías con un flujo promedio de 5 l/min; se puede realizar un control continuo de este dispositivo mediante una señal de voltaje entre 0 y 10 V, emitida por el sensor de flujo, el mismo que provocara el aumento o disminución de frecuencia en la bomba. Una consideración importante que se debe tomar en cuenta al momento de accionar la bomba es que esta no debe funcionar en seco ya que se podría ocasionar daños que la dejarían inutilizable.



Figura.14: Bomba centrífuga

2.15.2. Resistencias calefactoras de inmersión

Son dispositivos diseñados para calentar fluidos, líquidos viscosos, disoluciones, aceites, etc. al tener contacto directo con ellos. El calor se produce en la parte interna del líquido y así se obtiene una mayor eficiencia. Permitiendo evitar distorsiones en el calentamiento para así mejorar el control de temperatura de los procesos requeridos (Philco, 2014). Estas resistencias (Figura.15) pueden ser instaladas de diversas maneras en el reservorio en donde vayan hacer utilizadas como ejemplo utilizando tapones roscados, racores o bridas. Este tipo de resistencias es utilizado generalmente para calentar diversos tipos de fluidos, como agua, disoluciones, materiales viscosos, aceites, etc.

Estas resistencias también se utilizan para zonas con clasificación ATEX o para procesos industriales en donde la presión sea superior a 40 bares (Méndez Guillen, 2014).



Figura.15: Resistencia Calefactora

Fuente: (Méndez Guillen, 2014)

2.16. Controlador Lógico Programable (PLC)

Un controlador lógico programable, también llamado PLC (Figura.16) en inglés o Programmable Logic Controller, es un ordenador utilizado en la automatización de procesos industriales, que permite automatizar sistemas electromecánicos, como el control de maquinarias eléctricas y mecánicas en un proceso de fabricación industrial.

Estos dispositivos se utilizan en la mayoría de las máquinas de las industrias. Se diferencian de los ordenadores convencionales en que posee varias entradas y salidas, soporta mayores temperaturas, soporta ruido eléctrico, vibración, caídas, etc. Los programas que controlan las maquinas se almacenan en memorias no volátiles o en baterías (Philco, 2014).

El PLC es un sistema que envía señales de salida dependiendo de las señales que recibe en sus entradas, por lo tanto realiza una realimentación para obtener la consigna deseada (Méndez Guillen, 2014).



Figura.16: PLC

Fuente: (Méndez Guillen, 2014)

2.17. Variador de frecuencia

Son dispositivos que se utilizan para modificar la velocidad de un motor AC. Un variador de frecuencia (Figura.17) varia la velocidad de un motor variando la frecuencia de la onda que alimenta el motor, generalmente se tratan de ondas sinusoidales las cuales están presentes en la corriente alterna (Philco, 2014). Los variadores de frecuencia también pueden funcionar como drivers, pueden ser de frecuencia ajustable (ADF) o de corriente alterna, VVVF o variador de voltaje variador de frecuencia, micro drivers o inversores, todo esto en función a la tensión que se utiliza (Méndez Guillen, 2014).

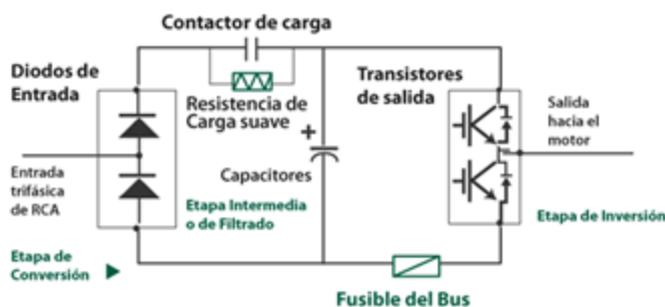


Figura.17: Variador de frecuencia

Fuente: (Méndez Guillen, 2014)

Los equipos que están conectados a un variador de frecuencia son alimentados con corriente alterna, El variador convierte la corriente alterna en corriente directa, utilizando un rectificador con diodos, luego la tensión es filtrada mediante capacitores, para suavizar la tensión rectificada y minimizar el ruido en la señal; luego se invierte la señal, esto se hace en una etapa que contiene transistores (IGBT), estos transistores activan y desactivan una secuencia mediante pulsos generando así una onda cuadrada de tensión DC, que mantiene una frecuencia constante, cuyo promedio es igual a la frecuencia senoidal que se aplica al motor. La acción de conmutar los transistores tiene el nombre de PWM, siglas en ingles de Pulse Width Modulation o Modulación por ancho de pulso (Philco, 2014).

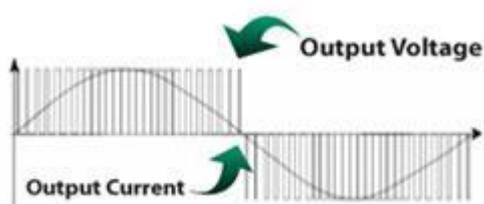


Figura.18: PWM

Fuente: (Philco, 2014)

2.18. Instrumentos de medida

2.18.1. Manómetro

Un manómetro (Figura.19) es un instrumento de medida de la presión en fluidos (líquidos y gases) en circuitos cerrados. Miden la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor presión manométrica. Lo que realmente hacen es comparar la presión atmosférica (la de fuera) con la de dentro del circuito por donde circula el fluido. Por eso se dice que los manómetros miden la presión relativa. El manómetro es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local (Pérez, 2014).



Figura.19: Manómetro

Fuente: (FESTO, MANOMETRO, 2015)

2.18.2. Rotámetro

Los rotámetros o flujómetros (Figura.20) son instrumentos utilizados para medir caudales, tanto de líquidos como de gases que trabajan con un salto de presión constante. Se basan en la medición del desplazamiento vertical de un “elemento sensible”, cuya posición de equilibrio depende del caudal circulante que conduce simultáneamente, a un cambio en el área del orificio de pasaje del fluido, de tal modo que la diferencia de presiones que actúan sobre el elemento móvil permanece prácticamente constante.

La fuerza equilibrante o antagónica en este tipo de medidores lo constituye la fuerza de gravedad que actúa sobre el elemento sensible construido por lo general de forma cilíndrica con un disco en su extremo, y provisto de orificios laterales por

donde circula fluido que inducen una rotación alrededor de su eje para propósitos de estabilidad y centrado. Existen también elementos sensibles de forma esférica, utilizados por lo general para medición de bajos caudales que carecen de rotación (Ibarrola, 2015).



Figura.20: Rotámetro

2.19. Transmisor

El transmisor es el encargado de modificar la información original de tal manera que pueda ser adecuada para su transmisión. El medio de transmisión es aquel por el que viaja la información del transmisor al receptor, por lo que bien puede considerarse como una conexión entre ambos elementos. Finalmente, el receptor cumple con la tarea de convertir a su forma original la información recibida para posteriormente transferirla a su destino y donde será procesada.

Dependiendo del tipo de información a transmitir, los sistemas de comunicaciones electrónicas pueden ser clasificados en dos grupos: analógicos y digitales. En un sistema de comunicaciones analógico, como el empleado en este proyecto, la energía electromagnética se transmite y recibe como una señal que se encuentra variando continuamente. Por otro lado, cuando la energía electromagnética se transmite y recibe como niveles discretos se dice que se trata de un sistema digital (Escobar & Jiménez, 2005).

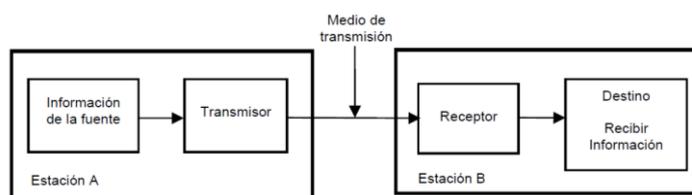


Figura.21: Diagrama a bloques

Fuente: (Escobar & Jiménez, 2005)

2.20. Control PID

Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un dispositivo de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control industriales. Un controlador PID regula el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo logrando una acción correctora que se puede ajustar al proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, integral, derivativo.

El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero (Arias, 2015).

El Derivativo establece la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo. Ajustando estas tres constantes en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "SETPOINT", y el grado de oscilación del sistema (Arias, 2015). Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control (Philco, 2014).

Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso

integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control, en la Figura.22 muestra el comportamiento de este modo de control y la Figura.23 se puede observar cómo interactúan los modos de control para formar el control PID (Philco, 2014).

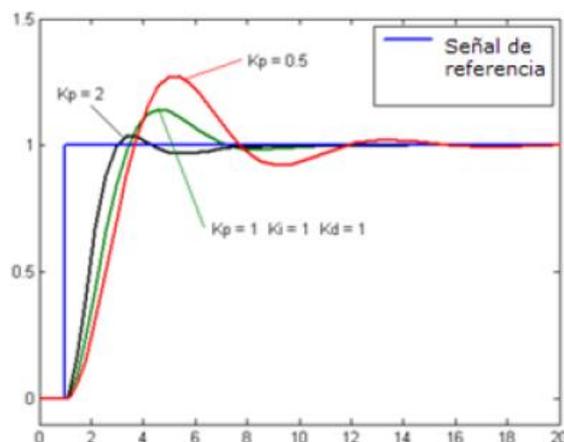


Figura.22: Formas de onda del control PID con ganancias (K_p , K_d , K_i)

Fuente: (Arias, 2015)

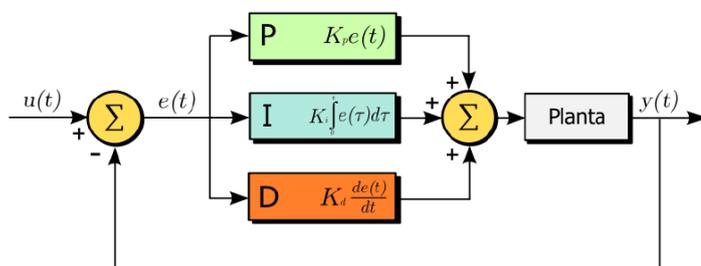


Figura.23: Diagrama de bloques del sistema de control PID

Fuente: (Arias, 2015)

2.21. Control PI (Proporcional Integral)

Como se muestra en la Figura.24, la acción proporcional genera un desplazamiento respecto al estado estacionario, por otra parte, aunque la acción integral anula el error por sí misma, la respuesta transitoria del sistema puede no ser apropiada. Por esto se combina las acciones en un controlador proporcional integral que presenta las ventajas de cada uno

$$u(t) = k_p \cdot e(t) \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) \cdot dt$$

donde T_i regula la ganancia del integrador y k_p ajusta el integrador y la ganancia proporcional. A $\frac{1}{T_i}$ se le conoce como repetición por minuto, equivalente al número de veces que la acción integral repite el efecto de la acción proporcional $k_p = 1$ en un minuto (Rodríguez , 2004).

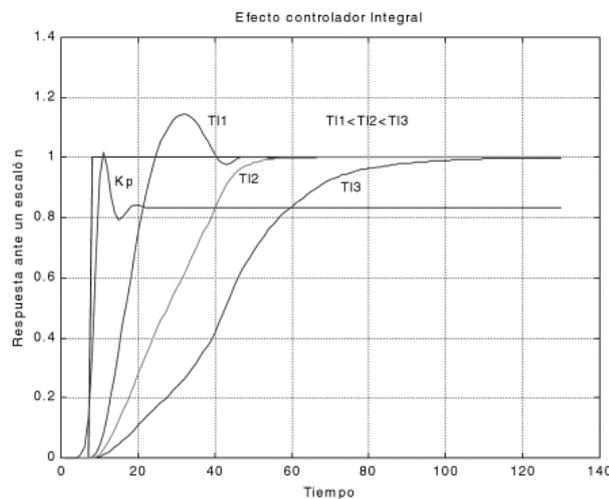


Figura.24: Efecto de la acción integral

Fuente: (Rodríguez , 2004)

2.22. Control PD (Proporcional Derivativo)

El control derivativo, el cambio en la salida del control desde el valor de la consigna es proporcional a la relación de cambio con respecto al tiempo, de la señal de error

$$u(t) = T_p \cdot \frac{de(t)}{dt} + u_o$$

Esta acción determina por anticipado hacia donde se dirige un proceso y aplica la corrección necesaria para modificar la variación que se está produciendo en el error (Rodríguez , 2004).

2.22.1. Funcionamiento

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

1. Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc.)
2. Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
3. Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc.) (Philco, 2014).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que son con corriente continua (Philco, 2014).

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI – Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso (Philco, 2014).

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador (Philco, 2014).

Las tres componentes de un controlador PID son: parte Proporcional, acción Integral y acción Derivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes

tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones (Arias, 2015).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

Los módulos de prácticas permiten estudiar el comportamiento de sistemas continuos en el dominio del tiempo y de la frecuencia, incluyendo también la posibilidad de cerrar un bucle de realimentación e incorporar un regulador para realizar las prácticas de control. Los equipos permiten configurar un sistema de control de una forma sencilla y rápida insertando módulos en una base de conexión y conectándolos entre sí mediante cables (hembra) que se ajustan a terminales (macho) de entrada y salida de los que dispone cada módulo.

3.1 Despliegue de la función de calidad.

Es un método de gestión de calidad basado en transformar las demandas del usuario en la calidad del diseño, implementar las funciones que aporten más calidad, e implementar métodos para lograr calidad del diseño en subsistemas y componentes, y en última instancia a los elementos específicos del proceso de fabricación.

3.2 Consideraciones del proyecto.

La construcción y la implementación del proyecto tienen como objetivo principal ejecutar procesos de control de: nivel, caudal, presión y temperatura con la finalidad de integrar al estudiante con el ámbito de la automatización industrial.

Actualmente la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga no dispone del módulo de prácticas por tal motivo este proyecto está enfocado a la creación del mismo.

El módulo didáctico contara con un sistema que le permita:

- Realizar un control por HMI de los procesos de caudal, nivel, presión y temperatura.

Beneficios.

- Satisfacer las necesidades y expectativas del estudiante a través de equipos multidisciplinarios.
- Incentivar a crear el control de las diferentes variables para poderlas incluir en cualquier área insustrial.

3.3 Técnicas del despliegue en función de la calidad.

Esta técnica se basa en el análisis de los “requerimientos del cliente” que usualmente se expresan en términos cualitativos como: “fácil de usar”, “seguro”, “confortable” o “lujoso” (Figura.25).

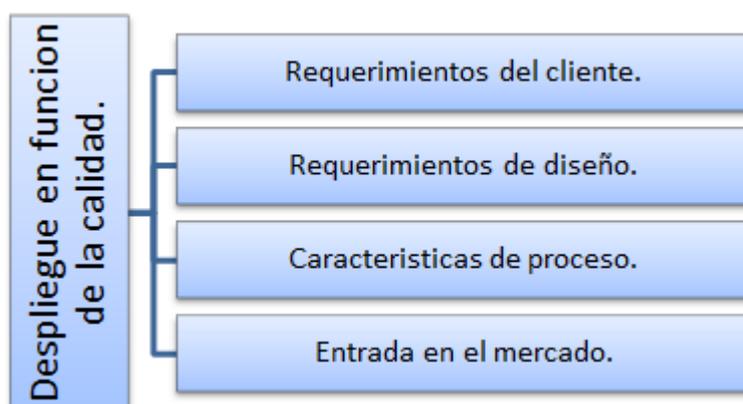


Figura.25: Pasos para realizar el despliegue de la calidad.

Fuente: (Agua, 2014)

3.4 Beneficios del despliegue en función de la calidad.

- Pocos cambios de ingeniería con el producto en producción.
- Diseño congruente con las necesidades y expectativas del cliente, a través de equipos multidisciplinarios.
- Satisfacción de las necesidades del cliente.
- Traduce los requerimientos del cliente desde un lenguaje ambiguo a los requerimientos de diseño específicos para el desarrollo del producto y su manufactura.
- Los requerimientos del cliente son medibles, alcanzables y potencialmente mejorables.

3.5 Casa de la calidad.

La Función de Despliegue de la Calidad (Quality Function Deployment - QFD) o comúnmente conocida como Casa de la Calidad (Figura.26), es una representación gráfica en donde se busca focalizar el diseño de los productos y servicios y cómo éstos se alinean con las necesidades de los clientes. Esta herramienta permite entre otras cosas entender mejor las prioridades de los clientes y buscar cómo responder de forma innovadora a dichas necesidades.

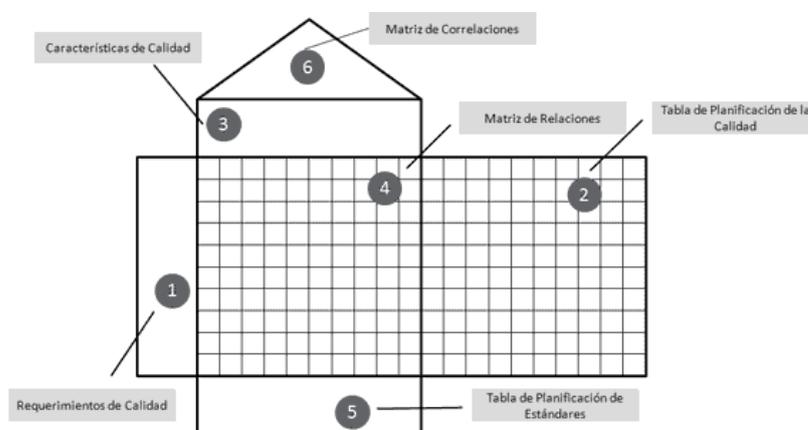


Figura.26: Diagrama de la Casa de la calidad.

Fuente: (Agua, 2014)

3.5.1 Requerimientos de clientes.

Se deben priorizar dichos requerimientos de modo que se pueda identificar cómo percibe el cliente la importancia relativa de cada uno. Sin embargo, hay que tomar en cuenta el riesgo que no se han acogido todas las consideraciones a los estudiantes.

También se deben priorizar dichos requerimientos de modo que se pueda identificar cómo percibe el estudiante la importancia relativa de cada uno de los procesos. Matriz de planteamiento.

3.5.2 Características Técnicas.

Se refiere a las características técnicas o de ingeniería del producto o servicio a diseñarse de forma que debe satisfacer las necesidades de los estudiantes.

3.5.3 Relaciones.

Se relaciona cuantitativamente las necesidades de los estudiantes con las características de la calidad. Es importante identificar qué características técnicas contribuyen a satisfacer una determinada necesidad y en qué magnitud sucede esto. Se utilizan notaciones gráficas que muestran relaciones "Fuertes", "Medias" o "Bajas".

3.5.4 Prioridades.

Muestra la importancia absoluta de cada una de las características técnicas, su valor se calcula mediante la suma de los productos, entre la ponderación que mide la importancia relativa de cada una de las necesidades del estudiante (Voz del cliente),

y el nivel de las relaciones entre la voz del estudiante y la respuesta técnica (Matriz de relaciones).

3.5.5 Matriz de Correlaciones.

Esta matriz muestra que tan fuertes son las correlaciones entre los “requerimientos de diseño”. El objetivo es identificar qué requerimientos se apoyan entre sí y entre cuales existe conflicto.

3.5.6 Evaluación comparativa.

Compara las características técnicas de nuestro producto, detalladas en la respuesta técnica, con las características de los productos de la competencia.

3.5.7 Objetivos.

Muestra los valores metas a alcanzar en cada característica técnica y adicionalmente incorpora una evaluación comparativa entre la empresa y los competidos relevantes.

3.6 La voz del usuario.

La voz del cliente determina el criterio y demandas que requiere satisfacer al cliente al momento de construir el módulo didáctico, a continuación se detalla las características:

- Cada proceso debe ser controlado desde un HMI de tal forma que su funcionamiento sea el más adecuado para los estudiantes.
- Los tiempos de proceso deben ser los más cortos posibles.
- Debe ser de fácil Mantenimiento.
- El área del módulo didáctico no debe superar los 700x700 mm.
- El sistema de control debe ser confiable.

3.7 La voz del Ingeniero.

Una vez analizadas las necesidades de los estudiantes, se procede a determinar las especificaciones técnicas con las que se pueden cumplir con los requerimientos de la voz del estudiante:

- Diseño estructural.
- Dimensionamiento.
- Tipo de material utilizado para la construcción.
- Exactitud y precisión de los dispositivos utilizados.
- Factor de seguridad.
- Voltaje 110/220 VAC

3.8 Diagrama de la Casa de la Calidad (ver Figura.27).

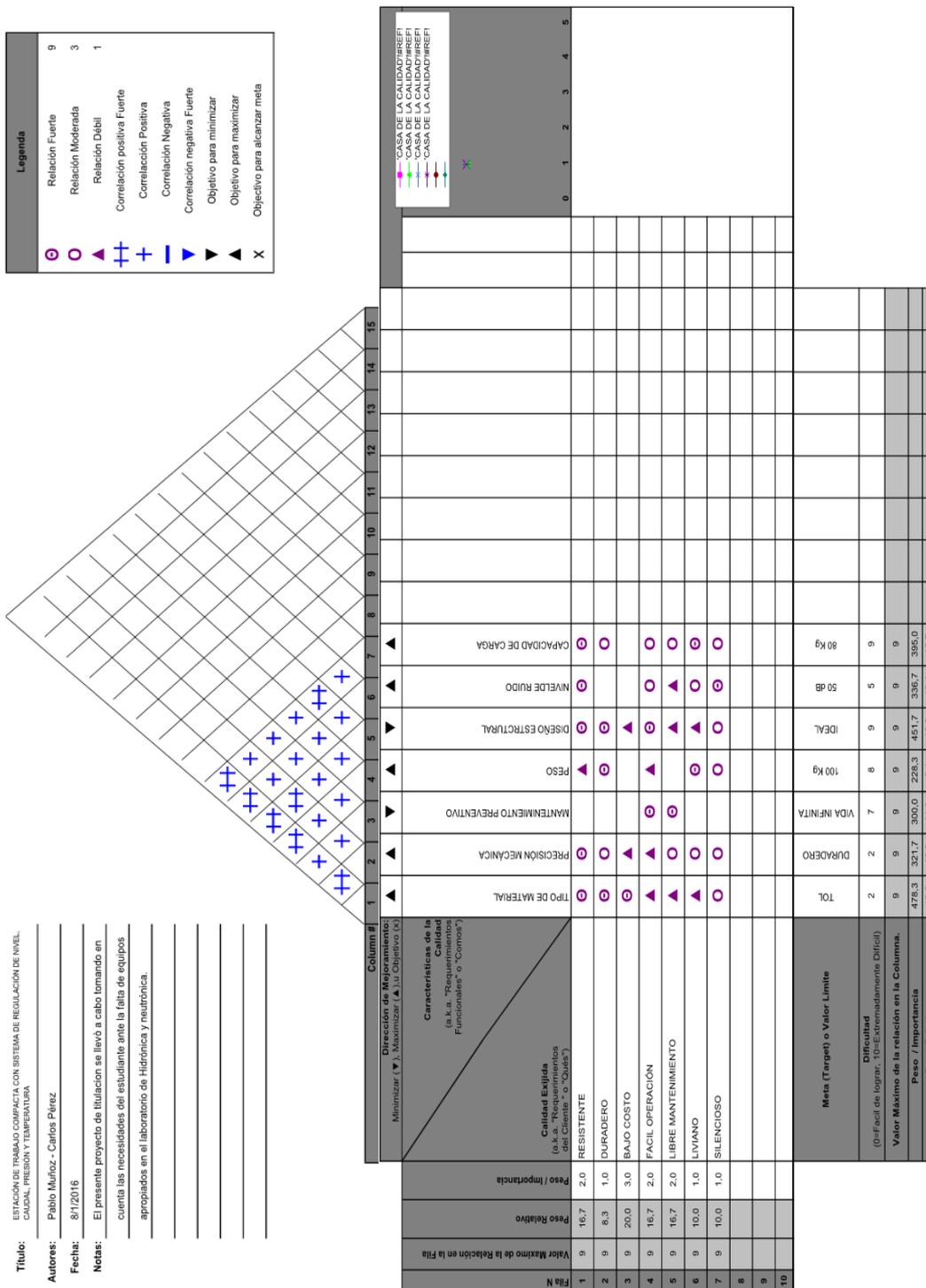


Figura.27: Casa de la calidad.

3.8.1 Conclusiones de la Casa de la Calidad.

El diagrama de la casa de la calidad del módulo didáctico determina las características técnicas. A continuación se detalla los requerimientos técnicos más importantes:

- Diseño estructural.
- Selección de equipos.
- Tipo de material.
- Tiempo de proceso.
- Mantenimiento preventivo.
- Confiabilidad y fiabilidad de proceso.

3.9 Descripción del módulo didáctico.

Con los datos que se obtuvieron en la casa de la calidad se estableció las especificaciones técnicas para realizar el módulo didáctico las mismas que están detalladas en la Tabla 2 siguiente;

Tabla.2:

Descripción del módulo didáctico.

No.	Concepto	Propone	R/D	Descripción
1	Función	C	R	Integrar varios módulos de producción.
		C	R	Que tenga un buen desempeño mecánico y eléctrico.
		C	R	Dispondrá de un control por HMI que facilite el monitoreo y control del proceso.
2	Dimensiones	D	R	Las dimensiones del módulo didáctico permiten acoplarse a cada uno de los procesos a ejecutarse

CONTINÚA



3	Materiales	D	R	La construcción se la realizara con material de aluminio.
4	Ciclos de proceso	D	R	El modulo realizara cuatro funciones: la de sujeción, taladrado, verificación y expulsión.
5	Automatización	C	D	Todos los procesos a realizarse están sincronizados
6	Mantenimiento	C	R	Se debe realizar una revisión de los equipos cada 3 meses.
7	Seguridad	C	R	Cada proceso es netamente didáctico, por lo que se recomienda utilizar material acorde al módulo, para así evitar cualquier inconveniente.
8	Costo	C	R	El modulo tendrá un costo aproximado de \$2,000.

Propone: M= Márquetin, C= Cliente, D= Diseño, P=Producción, F=Fabricación.

R/D: R= Requerimientos, D=Deseo, MR= Modificación de Requerimientos.

3.10 Análisis funcional.

El propósito del análisis funcional es separar las acciones que se efectúan en el módulo, para de este modo buscar nuevas soluciones. La descomposición funcional del módulo se lleva a cabo mediante diagramas de flujo en el que cada bloque aparece una función que pueden tener tres tipos de entrada y salida: control o señal, material y energía.

3.10.1 Características de construcción del módulo didáctico.

Como principales características del módulo didáctico se tendrá en cuenta las estructuras y las dimensiones que se emplearan en la mesa así como en los procesos

siguientes de caudal, nivel, presión y temperatura, donde se distribuirá adecuadamente cada proceso en el módulo de tal forma que se pretenderá construir un línea de procesos industriales apto para el aprendizaje práctico y funcional. Los procesos del módulo y su estructura así como su diseño son creaciones propias por tal motivo las características técnicas que realizará cada proceso industrial serán óptimas para el modelo que se diseñara.

3.11 Estructura funcional.

3.11.1 Análisis funcional del módulo didáctico.

Representa una función global, cuya tarea principal es realizar el control de diferentes variables tales como el caudal, nivel, presión y temperatura, el conjunto estará representado en una caja negra que posee entradas y salidas ya determinadas por los diferentes tipos de flujos ya mencionados anteriormente como material, señal e información por otro lugar también se enfocara en la seguridad y el confort que obtendrá el módulo didáctico teniendo en cuenta el diseño estructural del mismo.

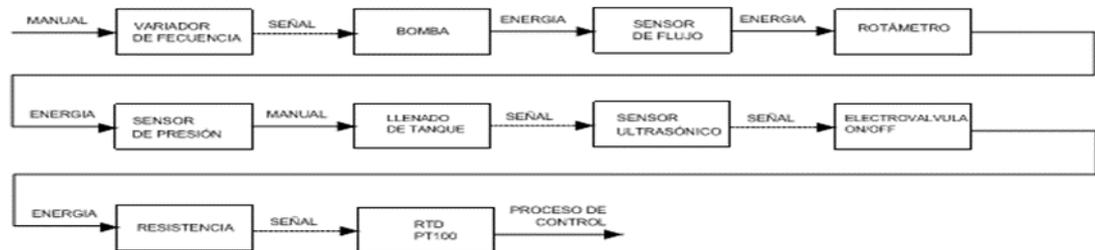
En el Nivel 0, es donde se presenta la función global, que consiste en representar la tarea global que debe realizar el módulo y de esta manera diseñar y establecer los flujos de entrada y de salida.

En el Nivel 1, se hace una presentación más precisa por lo que hay que dividir la función global en sub-funciones o sub-tareas y a la vez, establecer las relaciones de flujo entre estas sub-funciones.

Nivel 0



Nivel 1



3.11.2 Análisis funcional del sistema estructural.

El sistema estructural cuenta con diferentes componentes que se acoplarán conjuntamente al diseño del módulo didáctico.

3.12 Determinación del diagrama de ensamblaje del sistema modular.

El sistema modular se encuentra organizado de acuerdo a la estructura de diversos bloques constructivos, y orientados a controlar cada proceso del sistema. Los niveles de construcción llamados módulos serán los encargados de proyectar a una estructura y un esquema modular diseñada perfectamente.

3.12.1 Consideración del equipo modular.

Se deberá tener en consideración algunos aspectos importantes al momento de diseñar y ensamblar el equipo modular como se detallara en los siguientes puntos.

- Adecuada selección de los equipos.
- Eficiencia en el diseño estructural.
- Capacidad de integrar conexiones en el sistema.
- Costos relativos del perfil o de la plancha.

- Maniobrabilidad adecuada.

Con estos detalles se tratara de dar una imagen adecuada al módulo didáctico en el diseño así como también en los procesos que realizará, sin embargo en muchos casos esto no dará lugar a la solución más eficiente en general, ya que puede aumentar los costos de fabricación y montaje así como también se tendrá conexiones innecesarias mala distribución de los equipos y perfiles mal seleccionadas.

3.13 Diseño morfológico.

En el diseño morfológico se debe plantear varias alternativas para cada estación que posee el modulo didáctico en cada etapa de los procesos a realizar se elegirá el más adecuado según las necesidades que requiera de acuerdo al método original corregido en criterios ponderados de (CARLES RIBA, 2004) estas evaluaciones en general no se centran sobre un determinado elemento, se deben ponderar distintos aspectos del sistema en base a criterios que a menudo implican juicios de valor. La comparación de cada criterio se detallara en tablas donde se asignara los siguientes valores.

Los criterios a analizar en los siguientes módulos son los siguientes:

- Costo
- Disponibilidad
- Tamaño
- Especificaciones

Alternativa A. Módulo didáctico

El módulo didáctico debe contar con materiales lo suficientemente fuertes para garantizar seguridad, funcionalidad y estabilidad del equipo; y de este modo minimizar los riesgos de fracturas, deflexiones y fallas en general. Los materiales

deben ser lo bastante rígidos y durables, sin olvidar que éstos deben ser livianos para su fácil movilidad.

Para esta alternativa se optó por utilizar 4 ruedas lo cual hace más fácil de transportar el módulo didáctico. La bancada cuenta con perfil de aluminio para que sea más resistente al momento de colocar todos los componentes del módulo haciéndolo más seguro y la mesa cuenta con acceso al usuario de forma permanente. A continuación se detallan las ventajas y desventajas de la alternativa A en la Tabla 3.2 y el diseño en la Figura. 28.

A partir de la información obtenida en la casa de la calidad se procede a determinar las especificaciones técnicas, las mismas que se muestran a continuación en la siguiente Tabla 3.

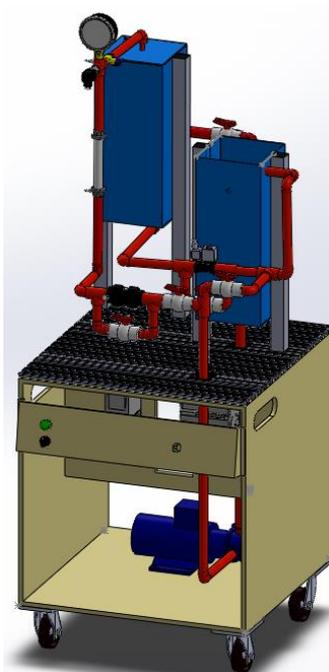


Figura.28: Alternativa A del módulo didáctico.

Tabla.3:

Ventajas y Desventajas de la Alternativa A.

Ventajas	Desventajas
Fácil Movilidad	Más inestable
Acceso al usuario	Mayor mantenimiento

CONTINÚA 

**Mejor seguridad en la
bancada**

Mayor costo

Alternativa B. Módulo didáctico

Se propuso un módulo didáctico el cual permanezca fijo y de esta manera mejorar la estabilidad al momento de realizar los procesos de control, también se optó por una bancada simple es decir sin utilizar perfil de aluminio el cual hace más liviano al módulo y reduciría el costo del mismo. La mesa no cuenta con acceso al usuario por lo cual no se podrán realizar cambios en la estructura y gracias a esto se mantendrá el diseño original del módulo. A continuación se detallan las ventajas y desventajas de la alternativa B en la Tabla 4 y el diseño en la Figura. 29.

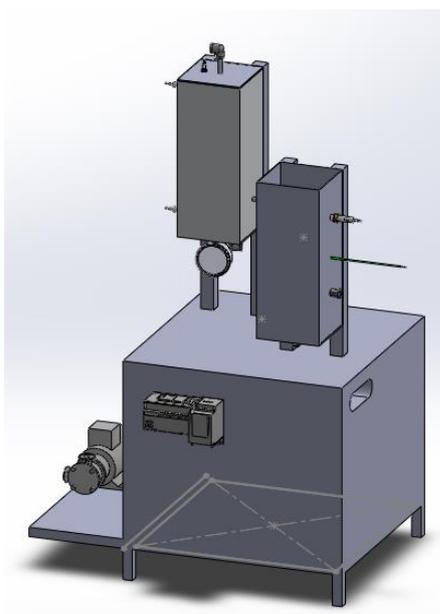
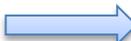


Figura.29: Alternativa B del módulo didáctico.

Tabla.4:

Ventajas y Desventajas de la Alternativa B.

Ventajas	Desventajas
Mayor estabilidad	Inmóvil
Mayor seguridad	Difícil acceso al usuario

CONTINÚA 

Menor costo	Posible pandeo en la bancada
--------------------	------------------------------

3.14 Diseño mecánico - eléctrico.

En la siguiente Tabla 5 se analizará cada uno de los componentes mecánicos necesarios para la adecuada selección y la construcción del módulo didáctico, es necesario e indispensable que el análisis de selección se lo realice mediante el criterio de los esfuerzos que van a soportar cada uno de los elementos como son: la mesa móvil, la bancada, la tubería, y los accesorios.

Tabla.5:

Datos Técnicos del módulo

Parámetro	Valor
Máxima presión de funcionamiento para el sistema de tuberías	50 kPa (0.5 bar)
Suministro de energía para el variador de velocidad	220 VAC
Dimensiones	700 x 700 x 907 mm
Tasa de flujo de la bomba	100 L/min
Volumen máximo del tanque	15 L
Sistema de tubería flexible	$\varnothing = \frac{1}{2}$ pulgada
Entradas digitales	3
Salidas digitales	1
Entradas analógicas	2
Salidas analógicas	2
Cantidad de tanques	2
Rango de control para la bomba	30...60 Hz
Elemento calefactor	Corriente de 4-20mA
Rango de medición del sensor de nivel	0...9 l
Señal de salida para el sensor de nivel	Corriente de 4-20mA
Señal del sensor de flujo	0...1200Hz

CONTINÚA 

Rango de trabajo en lazo cerrado para control de presión	0...30 kPa (0...300 mbar)
Rango de medición del manómetro	
Rango de trabajo en lazo cerrado para control de temperatura	0...60° C
Rango de medición del sensor de temperatura	-50°C. . . 150°C

3.14.1 Estructura física y componentes.

a. Mesa móvil

El diseño de la mesa móvil (Figura. 30) es capaz de soportar todo el peso de todos los componentes del módulo didáctico, de forma sencilla y sin ninguna deformación. Los orificios en las paredes laterales y posteriores facilitan el tendido ordenado de los cables de las conexiones de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos. La estructura de la mesa rodante ha sido diseñada en las dimensiones y planos constructivos que se pueden encontrar en el Anexo B-1.

- Altura: 750 mm (incluido ruedas)
- Anchura: 7000 mm
- Fondo: 700 mm



Figura.30: Mesa móvil.

La mesa rodante fue diseñada de material lámina de acero la misma que fue sometida al horno con pintura electrostática para crear un acabado duro que es más resistente que la pintura convencional. En la Figura 3.7 se muestra la geometría y dimensiones de la mesa mediante un software CAD (SPACECLAIM).

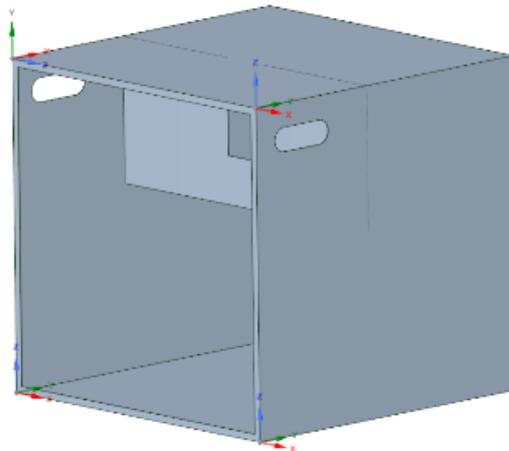


Figura.31: Geometría mesa móvil.

Posteriormente se procede a la conversión de los cascarones en lámina metálica de 1,5mm de espesor como se muestra en la Figura 32.

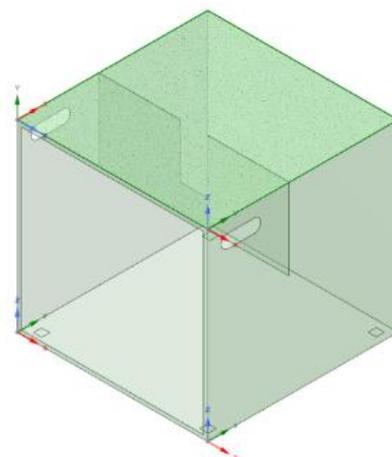


Figura.32: Conversión de los cascarones en la lámina metálica.

Una vez lista las láminas metálicas se dispone a la exportación al simulador en donde se determinara los esfuerzos requeridos para el adecuado diseño, cabe indicar que el software SPACECLAIM está conectado a ANSYS, por lo cual directamente desde esa interfaz se puede exportar el dibujo en 3D al WORKBENCH de ANSYS.

Se colocan las condiciones de borde, en este caso los puntos de fijación en los apoyos correspondientes a las garruchas (ver Figura 33).

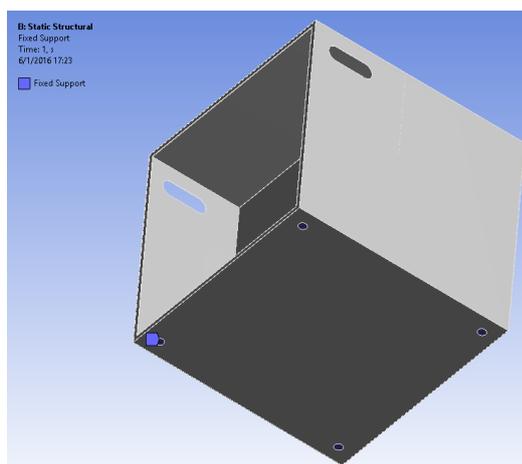


Figura.33: Condiciones de borde.

Mediante la opción cargas remotas se determina el punto exacto de acción de las cargas que actúan en la mesa móvil (ver Figura 34. y Figura 35.).

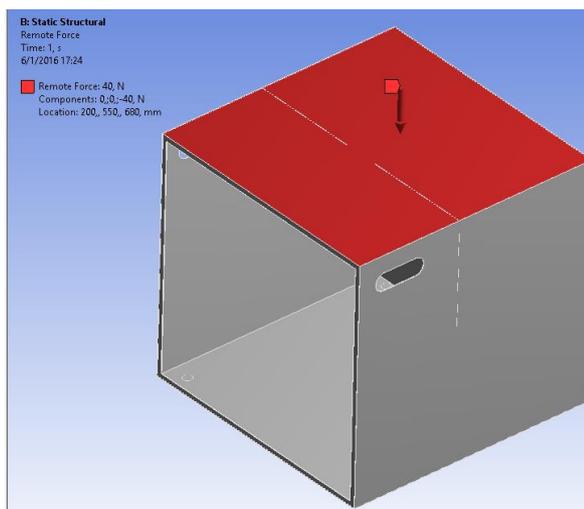


Figura.34: Punto exacto de acción de la carga del tanque A.

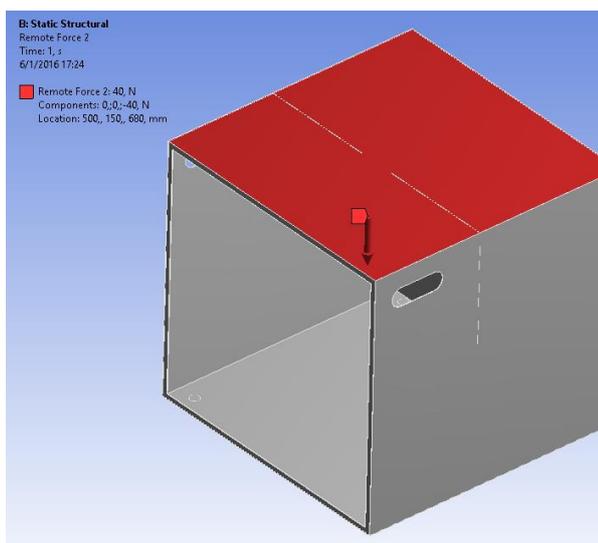


Figura.35: Punto exacto de acción de la carga del tanque B.

Se configura la malla bajo el criterio estadístico del RATIO JACOBIANO, que manifiesta que el promedio (AVERAGE) de tamaño del elemento finito debe aproximarse lo mayormente posible a 1, en la Figura 37 se indica el valor de 1,0007 que cumple con el criterio estático(ver Figura 36.).

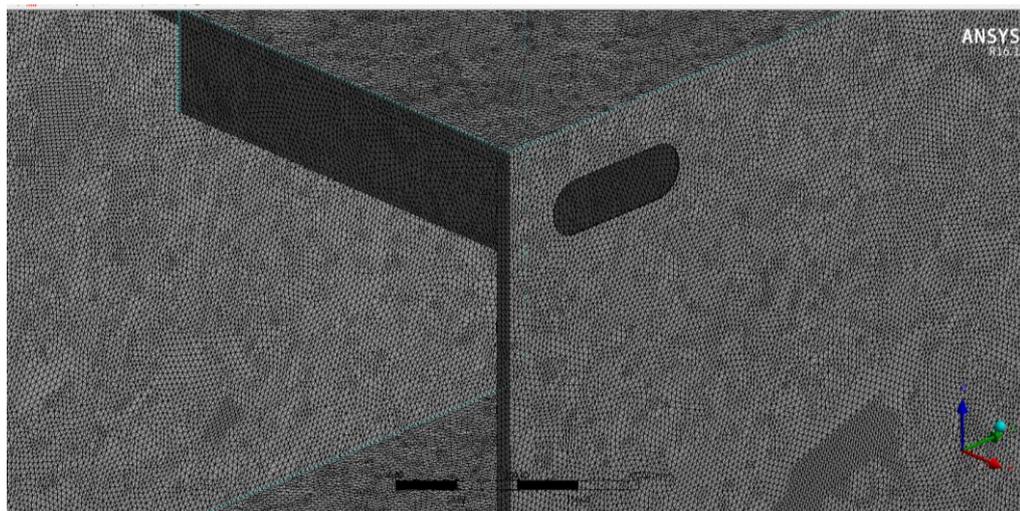


Figura.36: Mallado criterio Ratio Jacobiano.

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1220048
<input type="checkbox"/> Elements	605604
Mesh Metric	Jacobian Ratio
<input type="checkbox"/> Min	1,
<input type="checkbox"/> Max	42,539
<input type="checkbox"/> Average	1,0007
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	0,15156

Figura.37: Resultado del mallado.

Se procede con la simulación. En la Figura 38 se muestra el estudio de tensiones en donde se observa que el esfuerzo máximo que realiza la estructura es de 20,796 MPa aplicando una fuerza externa de 80 N como podemos visualizar los parámetros se encuentran dentro del límite del esfuerzo permisible de la lámina de acero es 203,943 MPa .

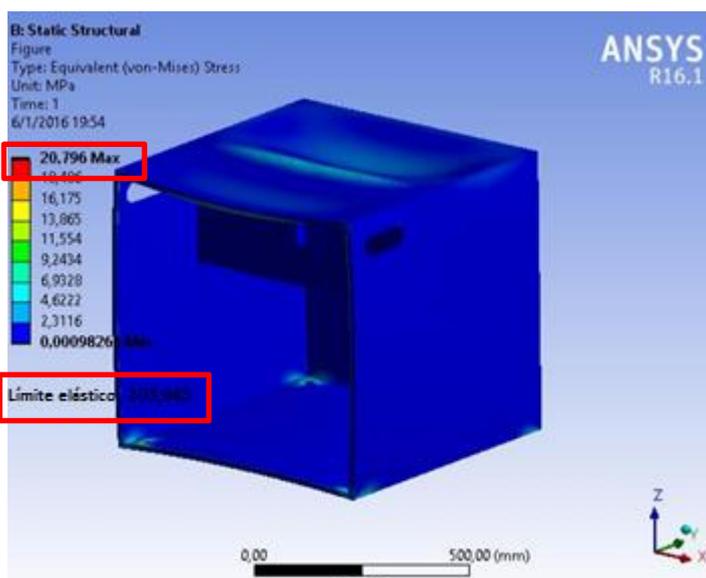


Figura.38: Análisis de esfuerzos en la mesa móvil.

Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_r \leq [\sigma]$$

Donde:

σ_r = Esfuerzo que soporta la mesa

$[\sigma]$ = Esfuerzo permisible de la lámina de acero

$$[\sigma] = 0,66S_Y$$

$$[\sigma] = 0,66 * 203,943 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] = 133,602 \text{ MPa}$$

Donde:

$$20,796 \text{ MPa} \leq 133,602 \text{ MPa}$$

Por lo tanto cumple con la condición esto nos indica que el diseño es satisfactorio. A continuación en la Figura 39 se muestra que el desplazamiento que sufre la mesa móvil es de $1,0412 \cdot 10^{-4}$.

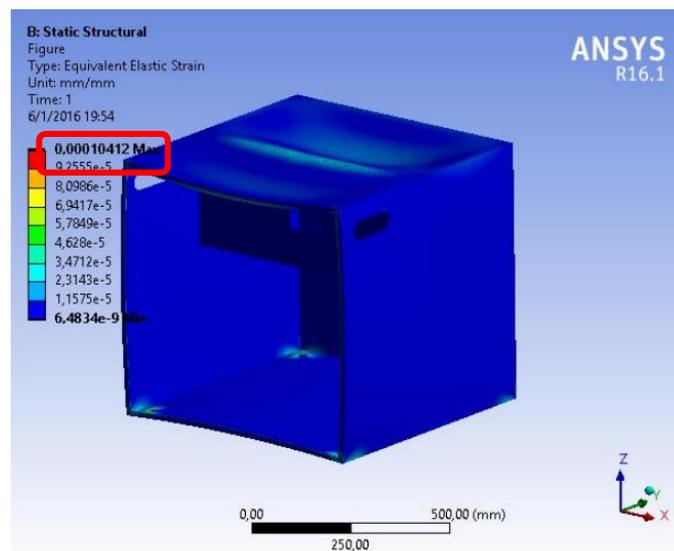


Figura.39: Análisis de deflexiones en la mesa móvil.

Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\delta r \leq [\delta]$$

Donde:

δr = Deflexión que soporta la lámina de acero

δ = Deflexión permisible de la mesa móvil

$$[\delta] = \frac{L}{800}$$

L = Distancia entre rodillos

$$[\delta] = \frac{700}{800} = 0,9375 \text{ mm}$$

Donde:

$$1,0412 * 10^{-4} \text{ mm} \leq 0,9375 \text{ mm}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos las condiciones de simulación no sobrepasan los límites de deflexión, por lo tanto no afecta el correcto funcionamiento

del sistema. El factor de seguridad mínimo que nos indica en el software es de 10,462 como podemos observar en Figura 40 lo cual indica que está dentro de los parámetros. Por lo tanto al revisar que todos los parámetros anteriormente calculados y simulados se cumplen satisfactoriamente se concluye que este elemento no va a sufrir ningún daño lo que se finiquita que la mesa móvil está correctamente diseñada. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B1-a. B1-b y B1-c.

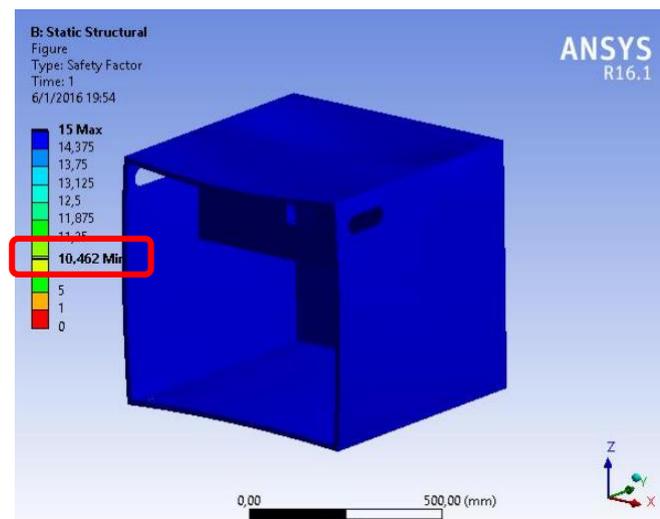


Figura.40: Análisis de factor de seguridad en la mesa móvil.

b. Bancada

Para la adquisición de la bancada se tomó a consideración muchos aspectos importantes como el peso de cada uno de los elementos que va ir sobre esta y el costo de la misma por lo que busco una alternativa más económica pero sin bajar las condiciones que inicialmente se consideró, así se decidió por la tercera opción como se muestra a continuación en la Tabla 6.

Tabla.6:**Matriz de decisión de la bancada.**

Factor	Factor de ponderación	Placa perfilada Festo	Perfil estructural de aluminio cuadrado	Perfil estructural de aluminio tipo tapa acanalada
COSTO	3	1.2	2.4	2.7
		4	8	9
DISPONIBILIDAD	3	2.5	1.8	1.8
		9	6	9
TAMAÑO	2	1.8	1.4	1.8
		9	7	10
ESPECIFICACIONES	2	1.8	1.6	1.2
		9	8	6
TOTAL	10	7.3	7.2	8.1

Una vez elegido la mejor opción que en este caso es la de perfil estructural tipo tapa acanalada como se muestra en la Figura 41.

**Figura.41: Perfil de aluminio tipo tapa roscada**

En la Figura 42 se muestra la geometría y dimensiones del perfil de aluminio mediante un software CAD (SPACECLAIM). Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B-2.

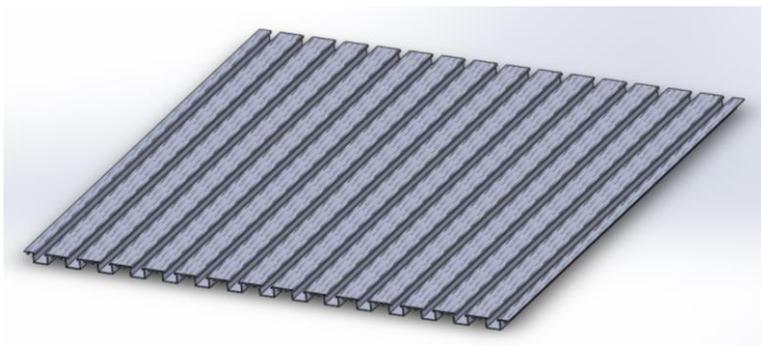


Figura.42: Geometría perfil de aluminio.

Una vez lista las láminas metálicas se dispone a la exportación al simulador en donde se determinara los esfuerzos requeridos para el adecuado diseño, cabe indicar que el software SPACECLAIM está conectado a ANSYS, por lo cual directamente desde esa interfaz se puede exportar el dibujo en 3D al WORKBENCH de ANSYS.

Se colocan las condiciones de borde, en este caso los puntos de fijación en los apoyos correspondientes a las garruchas (ver Figura 43).

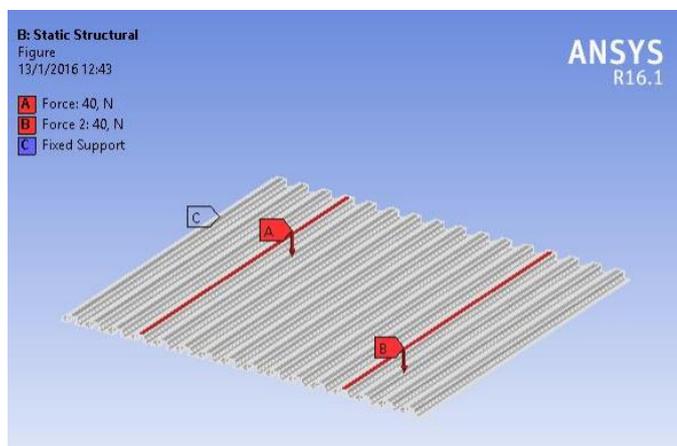


Figura.43: Condiciones de borde.

Se configura la malla bajo el criterio estadístico del RATIO JACOBIANO, que manifiesta que el promedio (AVERAGE) de tamaño del elemento finito debe aproximarse lo mayormente posible a 1, en la Figura 45 se indica el valor de 0,93547 que cumple con el criterio estático (ver Figura 44 y Figura 45).

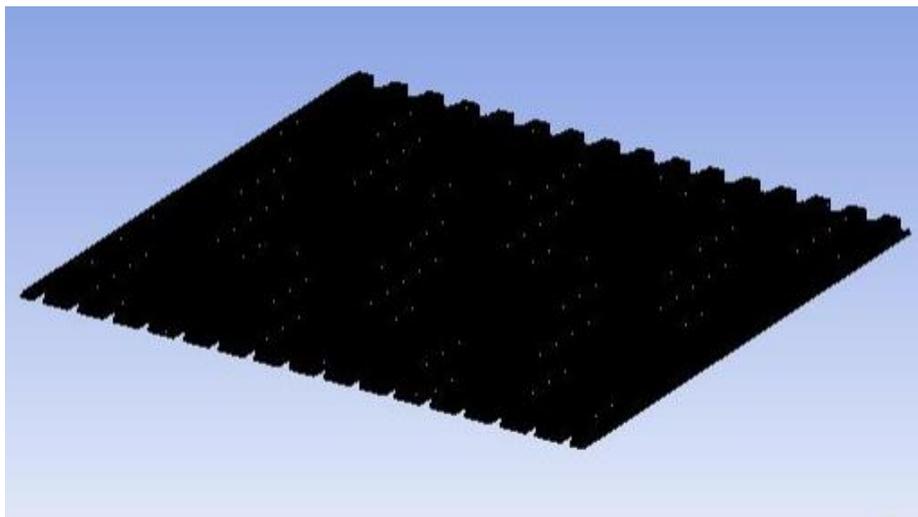


Figura.44: Mallado criterio Ratio Jacobiano.

Nodes	931979
Elements	482878
Mesh Metric	Jacobian Ratio
Min	-100,
Max	5654,6
Average	0,93547
Standard Deviation	25,768

Figura.45: Resultado del mallado.

Se procede con la simulación. En la Figura 46 se muestra el estudio de tensiones en donde se observa que el esfuerzo máximo que realiza la estructura es de 0.22731 MPa aplicando una fuerza externa de 80 N como podemos visualizar los parámetros se encuentran dentro del límite del esfuerzo permisible del perfil de aluminio es 27.574.200 MPa .

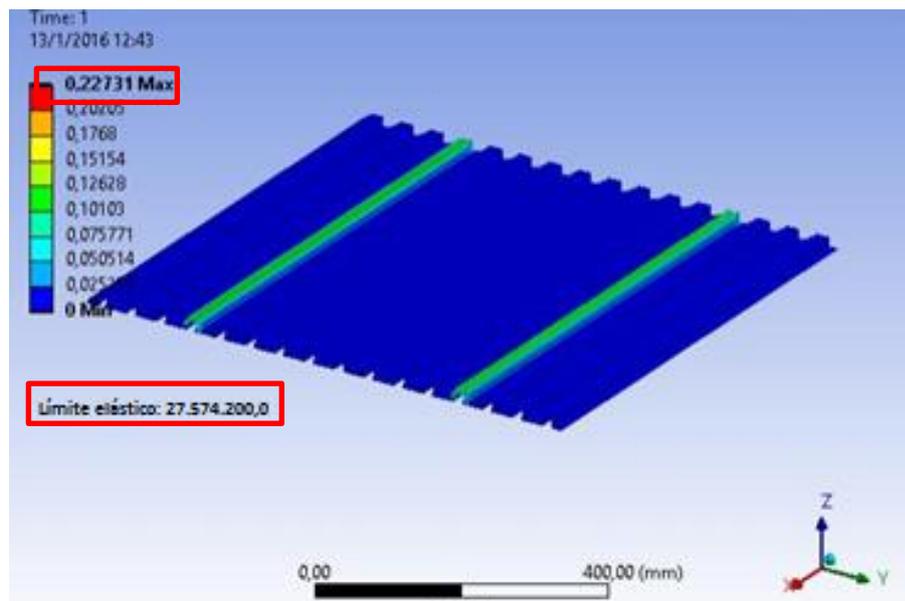


Figura.46: Análisis de esfuerzos del perfil de aluminio.

Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_r \leq [\sigma]$$

Donde:

σ_r = Esfuerzo que soporta la bancada

$[\sigma]$ = Esfuerzo permisible del aluminio estructural

$$[\sigma] = 0,66S_Y$$

$$[\sigma] = 0,66 * 27,574 \text{ MPa}$$

Por lo tanto:

$$0.22731 \text{ MPa} \leq 18,198 \text{ MPa}$$

Por lo tanto cumple con la condición esto nos indica que el diseño es satisfactorio. A continuación en la Figura 47 se muestra que el desplazamiento que sufre la mesa móvil es de $5,03062 \cdot 10^{-5}$.

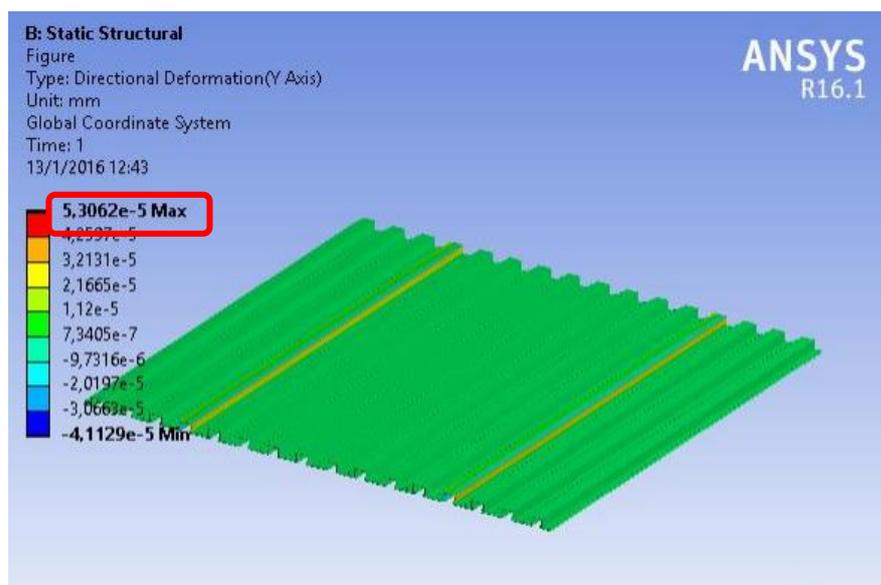


Figura.47: Análisis de deflexiones del perfil de aluminio.

Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\delta r \leq [\delta]$$

Donde:

δr = Deflexión que soporta la lámina de acero

δ = Deflexión permisible de la mesa móvil

$$[\delta] = \frac{L}{800}$$

L = Distancia entre rodillos

$$[\delta] = \frac{700}{800} = 0,9375 \text{ mm}$$

Donde:

$$5,03062 * 10^{-5} \text{ mm} \leq 0,9375 \text{ mm}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos las condiciones de simulación no sobrepasan los límites de deflexión, por lo tanto no afecta el correcto funcionamiento del sistema. El factor de seguridad mínimo que nos indica en el software es de 15

como podemos observar en Figura 48 lo cual indica que está dentro de los parámetros. Por lo tanto al revisar que todos los parámetros anteriormente calculados y simulados se cumplen satisfactoriamente se concluye que este elemento no va a sufrir ningún daño lo que se finiquita que el perfil de aluminio está correctamente diseñado. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B2-a. B2-b y B2-c.

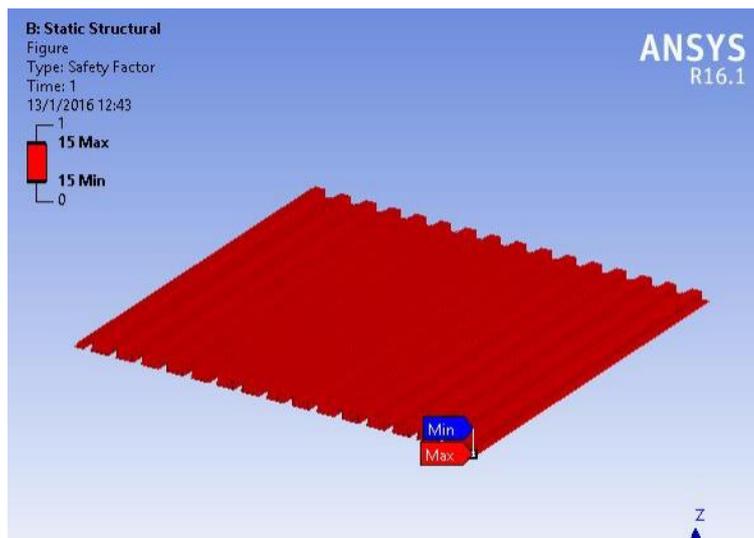


Figura.48: Análisis de factor de seguridad en el perfil de aluminio.

c. Tubería

Para la adquisición de la tubería se tomó en consideración muchos aspectos importantes como son: el material, el costo y la disponibilidad por lo que se investigó mayores alternativa pero sin bajar las condiciones que inicialmente se consideró, así se decidió por la tercera opción como se muestra a continuación en la Tabla 7.

Tabla.7:**Matriz de decisión de la Tubería.**

Factor	Factor de ponderación	Tubería de acero galvanizada	Tubería didáctica de plástico	Tubería de plástico PLASTIGAMA
COSTO	4	1.6	2.8	3.6
		4	7	9
DISPONIBILIDAD	3	2.7	1.8	2.7
		9	6	9
ESPECIFICACIONES	3	2.7	2.1	2.4
		9	7	8
TOTAL	10	7	6.7	8.7

Una vez elegido la mejor opción que en este caso es la tubería de plástico PLASTIGAMA se prosigue con la elección del diámetro de la tubería, para esto se tomó en cuenta los diámetros tanto de la bomba, el sensor de flujo y la electroválvula que tengan un diámetro comercial y de fácil comercialización es por esto que la mejor opción tanto de comercialización y de factibilidad es la de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro como se muestra en la Figura 49.

**Figura.49: Tubería PLASTIGAMA de $\frac{1}{2}$ pulgada****d. Accesorios**

Para la selección de los accesorios para las conexiones de la tubería se tomó en cuenta el material y la medida del diámetro de la tubería seleccionada anteriormente, es así como se eligió los accesorios PLASTIGAMA como única opción sin realizar

un análisis de selección previo ya que se los puede encontrar fácilmente y son compatibles con la tubería PLASTIGAMA de ½ pulgada.

En la Figura 50 se muestran alguno de los accesorios que se utilizaran en la unión de la tubería.



Figura.50: Accesorios PLASTIGAMA de ½ pulgada

Fuente: (PLASTIGAMA, 2010)

3.14.2 P&ID

Para la elaboración del plano P&ID del módulo didáctico se tomó como referencia los diferentes subprocesos que conforman el mismo, como son los procesos de: nivel, temperatura, caudal y presión, los cuales trabajan de manera independiente.

La Figura 51 representa una breve explicación de cada uno de los elementos utilizados en el módulo:

- **BINN 101, BINN 102** Esta nomenclatura corresponde a los tanques uno y dos respectivamente los mismos se utilizan para almacenar el líquido.
- **PUMP 101** Bomba centrífuga que suministra de fluido al sistema, se hará referencia a este elemento en adelante como P101.
- **E104** Elemento calefactor que eleva la temperatura del líquido en el BINN B101.

- **V101, V102, V103, V104, V105, V106, V107 y V108** Válvulas manuales que permiten o cierran el paso del fluido por las tuberías del módulo.
- **V109** Electroválvula 2/2 el cual permite el paso del fluido del BINN B102 hacia el BINN B101.
- **V110** Válvula antirretorno el cual impide el retorno del fluido a la bomba.
- **FT B102** Transmisor de flujo.
- **PI B103** Indicador de presión.
- **PT B103** Transmisor de presión.
- **FI B102** Rotámetro para indicar el nivel de caudal.
- **LT B101** Transmisor de nivel de líquido.
- **LSL B111** Interruptor de líquido de nivel bajo.
- **LSH B112** Interruptor de líquido de nivel alto.
- **LSH S111** Interruptor flotador para de nivel de líquido alto.
- **TT B104** Transmisor de temperatura.

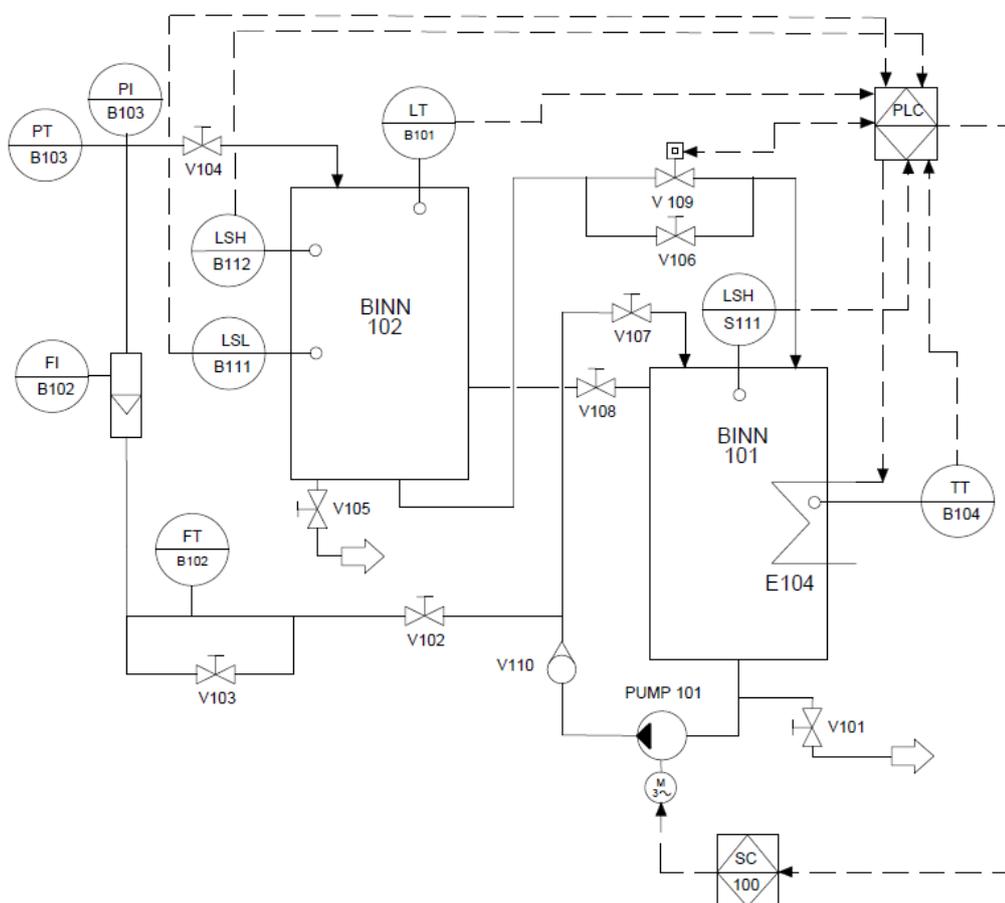


Figura.51: Plano P&ID

a. Lazo de nivel

En la Figura 52 se puede observar el P&ID del lazo de control de nivel.

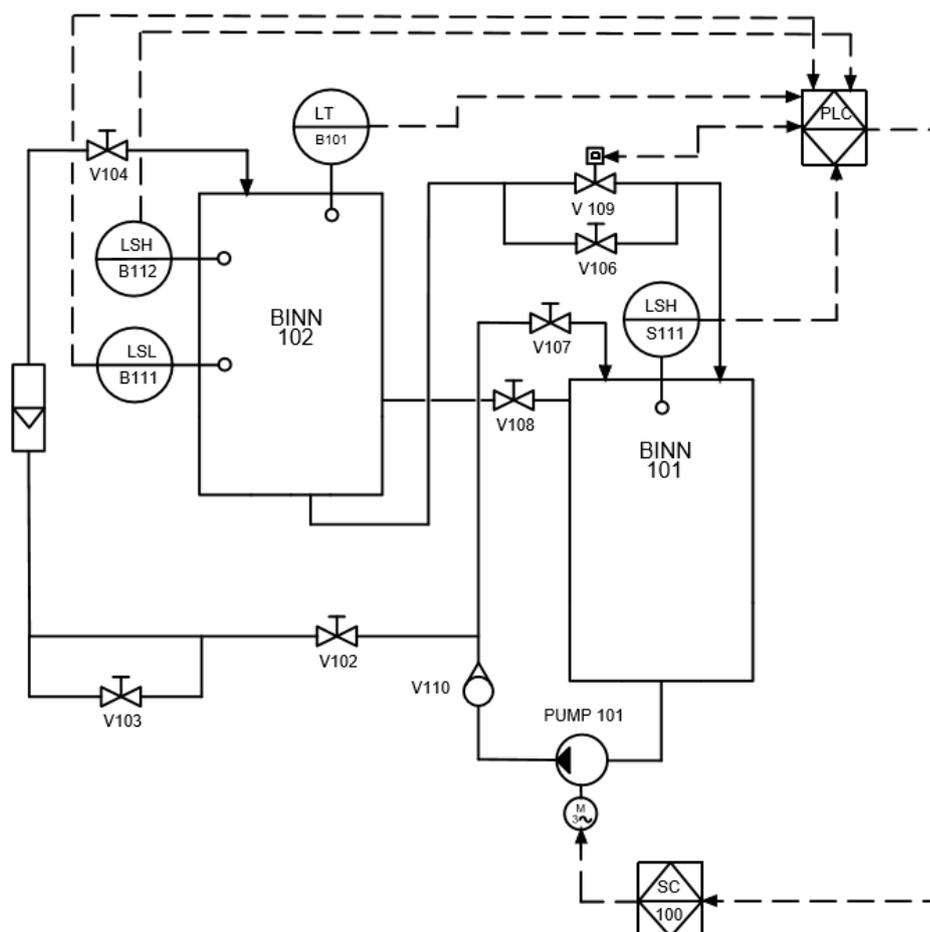


Figura.52: P&ID para el lazo de control de nivel

Componentes

La bomba P101 distribuye el fluido almacenado en el BINN B101 hacia el BINN B102 por el sistema de tuberías, la señal de retroalimentación que se ingresara al controlador es obtenida del sensor ultrasónico de nivel (LT B101), las señales de perturbación pueden ser generadas mediante la apertura de la válvula manual V108 o

controlando la válvula V109, esto para comprobar el funcionamiento y respuesta de los controladores implementados. También se utilizan sensores capacitivos los cuales marcaran el nivel de fluido alto (LSH B112) y bajo (LSL B111j).

Las dimensiones y planos constructivos se los pude revisar con mayor detalle en el Anexo B-3.

a. Lazo de temperatura

El diagrama P&ID para este lazo de control se observa en la Figura 53.

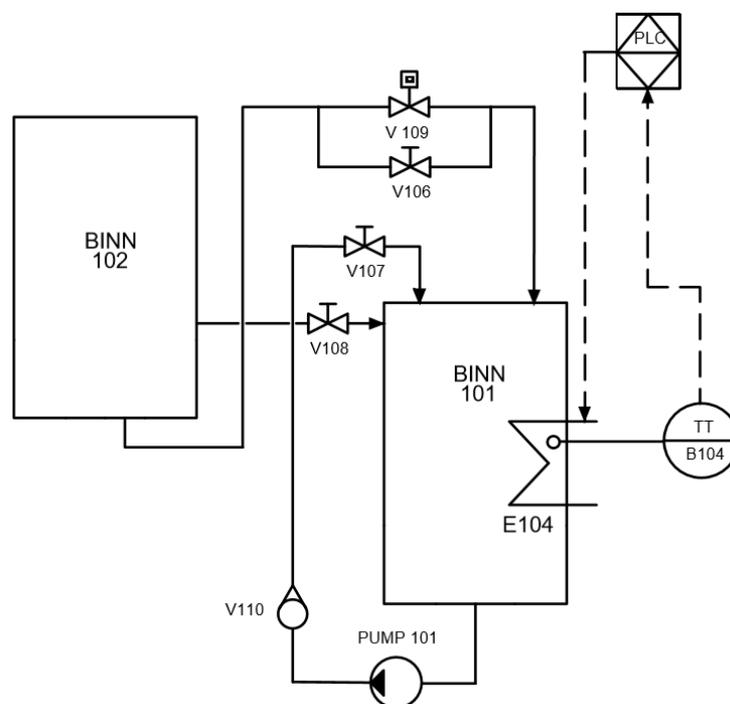


Figura.53: P&ID para el lazo de control de temperatura

Componentes

La temperatura del líquido del BINN B101 puede ser elevada mediante el elemento calefactor (E104), la señal de retroalimentación se obtiene mediante el sensor de temperatura RTD PT100 (TT B104) de tres hilos, para generar perturbación se puede recircular el líquido del BINN B101, para esto es necesario

cerrar el paso del fluido hacia el BINN B102 mediante el cierre de la válvula V102 y la apertura de la válvula V107. Las dimensiones y planos constructivos se los puede revisar con mayor detalle en el Anexo B-4.

b. Lazo de caudal

En la Figura 54 se puede observar el P&ID del lazo de caudal.

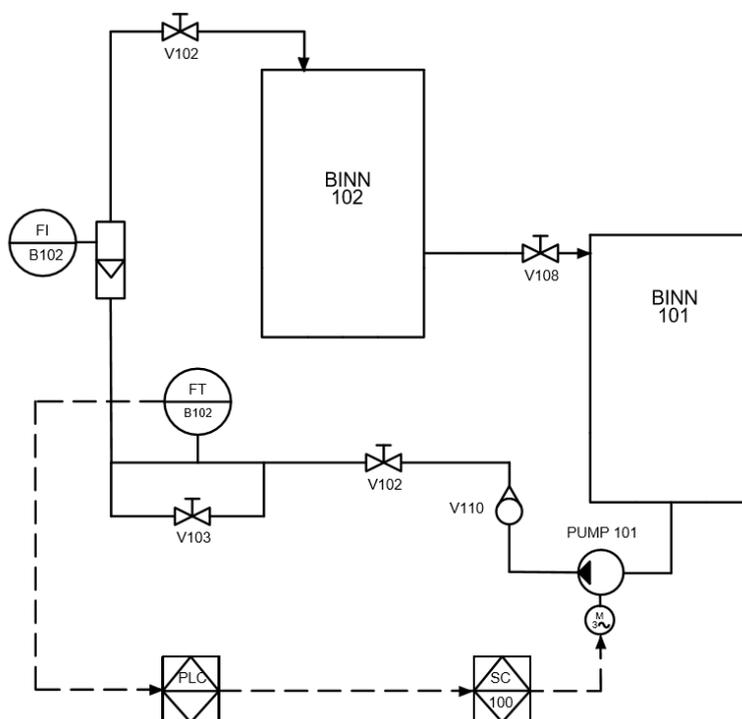


Figura.54: P&ID para el lazo de control de flujo

Componentes

Como se observa en el diagrama en este lazo interviene el BINN B101 y la bomba PUMP 101, en donde el fluido será impulsado desde la parte inferior del BINN B101 y pasara por el sistema de tuberías pasando por el sensor de flujo (FT B102) y el rotámetro (FI 102) hacia el BINN B102, eventualmente regresara al BINN B101 pasando por las válvulas V108 y V109. La señal de retroalimentación es

provista por el sensor de flujo FT B102 y se pueden generar señales de perturbación gracias a la válvula V102. Las dimensiones y planos constructivos se los puede revisar con mayor detalle en el Anexo B-5

c. Lazo de presión

En la Figura 55 se puede observar el P&ID del lazo de presión.

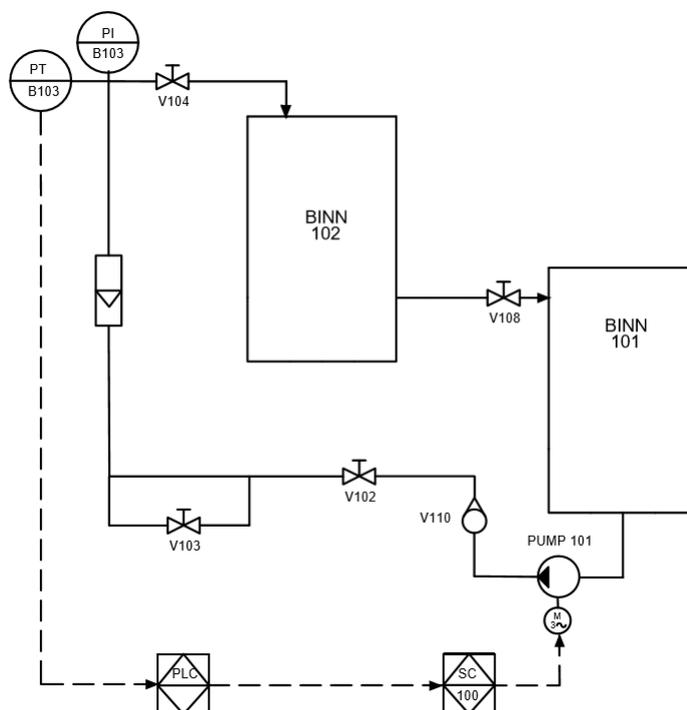
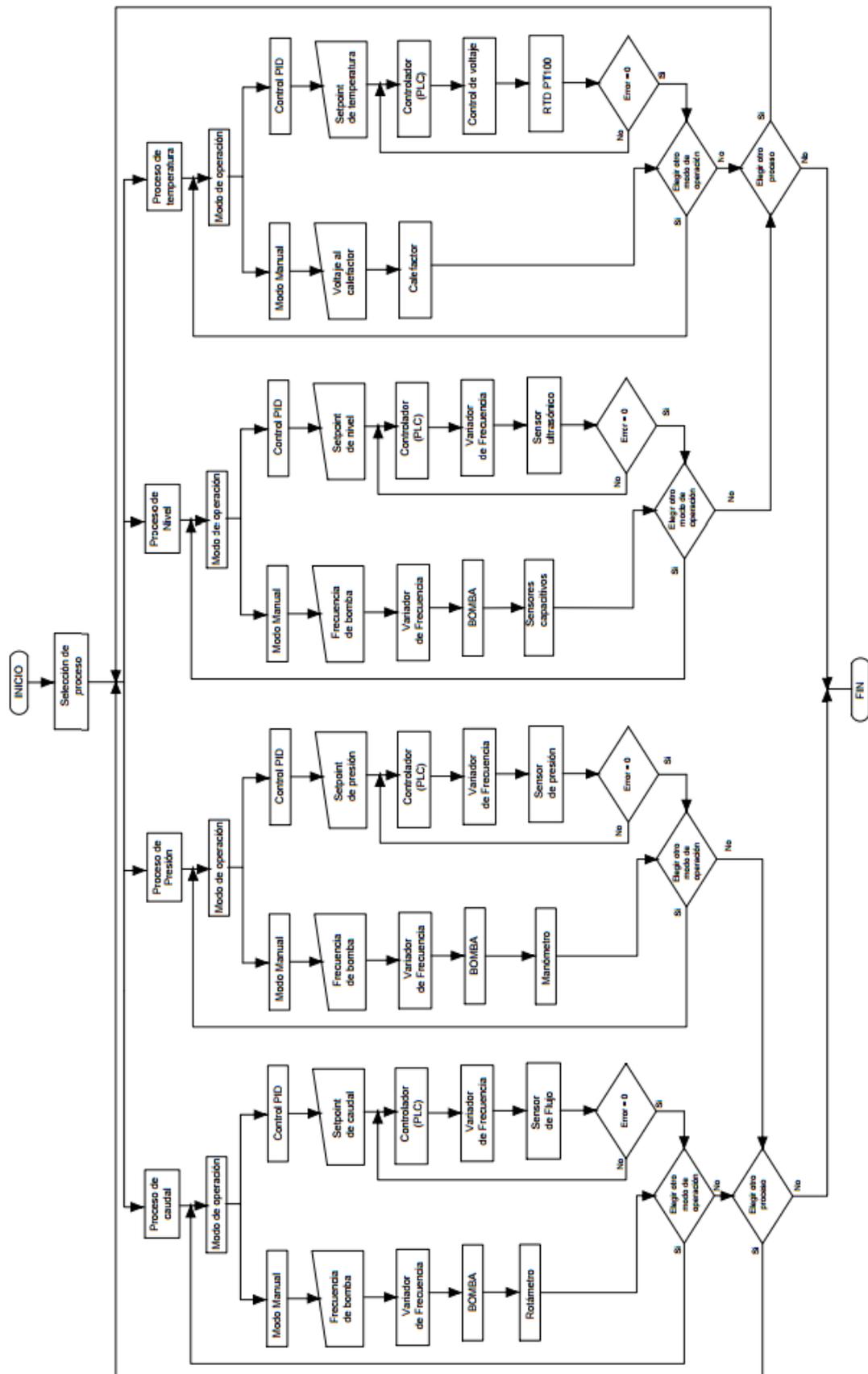


Figura.55: P&ID para el lazo de control de presión

Componentes

En este lazo de control la bomba P101 suministra líquido al sistema desde el BINN B101 a BINN B102, el fluido pasa por el sensor de presión PT B103 y por el indicador de presión PI 103, la válvula V104 tiene la función de comprimir el fluido y de esta manera incrementar la presión en la tubería, mejorando el control de esta variable; se puede generar perturbaciones mediante la válvula V102. Los planos constructivos se los puede revisar con mayor detalle en el Anexo D-1, D-2, D-3, D-4 y D-5.

d. Algoritmo de control



e. Pantallas de visualización para el HMI

El propósito de implementar un HMI es para poder visualizar todas las variables del módulo didáctico y así contar con un control amigable tanto para los estudiantes que van a utilizar el módulo como para el docente que va a realizar sus clases en base a este módulo.

Para la creación de este HMI amigable con el usuario se utilizara el software LabVIEW, ya que este es amigable y relativamente fácil de utilizar, en la Figura 56 podemos observar la apariencia que tendrá el HMI.



Figura.56: Apariencia HMI en LabVIEW.

Esta interfaz entre el PLC y el HMI es la más fácil ya que no se necesita de una pantalla exterior sino que se lo puede visualizar directamente de la PC.

3.15 Selección mecánica.

3.15.1 Bomba.

Para la selección exitosa de la bomba centrífuga se tomó en consideración las especificaciones técnicas requeridas ya citadas anteriormente en el diseño planteado del módulo didáctico. Las características de la bomba centrífuga son:

- $Q_{\text{máx.}} = 1000 \text{ L/h}$
- $Q_{\text{min}} = 100 \text{ L/h}$
- Flujo no pulsante
- Regulación sencilla
- Potencia $\frac{3}{4}$ HP
- Tensión de entrada de 220V
- Frecuencia variable

Por lo tanto una vez conocido todos los parámetros necesarios para la selección adecuada de la bomba se decide utilizar una bomba centrífuga marca Milano como a continuación se muestra en la Tabla 8.

Tabla.8:

Matriz de decisión de la bomba centrífuga.

Marca	Thebe	Milano (Rebobinado)
Entrada de agua	1 1/2 in	1 in
Q máx.	11 m ³ /h	40 L/min
Q min.	5 m ³ /h	-
Tensión de Entrada	220/380/440	110/220
Salida de agua	1 in	3/4 in
Potencia	$\frac{3}{4}$ HP	0.5 HP
RPM	3600	3450
Conexión	3 hilos	3 hilos

La Bomba de marca Milano (Rebobinada) es la más adecuada para nuestra aplicación ya que se necesita utilizar una bomba trifásica para la variación de velocidad utilizando un variador de frecuencia para realizar el control de caudal.

3.15.2 Geometría de los tanques.

Para la selección de la geometría de los tanques se consideró los requerimientos plantados anteriormente como son:

- Disponibilidad del área de trabajo
- Distribución de los equipos (sensores y actuadores) del módulo.
- Volumen a almacenar (15 litros)
- Fluido (agua)
- Dimensiones

Por lo tanto la geometría ideal de los tanques es como se lo muestra en la Figura 57.

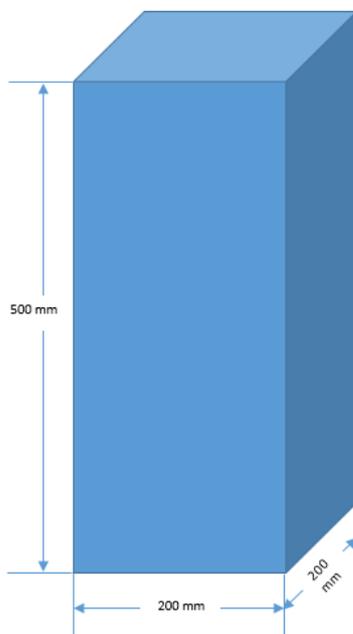


Figura.57: Tanque de acrílico

Para el material de construcción de los dos tanques se consideró algunos aspectos que se detallan en la Tabla 9.

Tabla.9:**Matriz de decisión del material de los tanques.**

Factor	Factor de ponderación	Vidrio	Acrílico
COSTO	2	1.4	1.8
		7	9
DIÁMETRO	2	1.8	1.8
		9	9
TAMAÑO	2	1.8	1.8
		9	9
PESO	2	1	1.8
		5	9
APARIENCIA	2	1.8	1.8
		8	9
TOTAL	10	7.8	9

Por lo tanto la segunda opción (Acrílico) es la más adecuada para nuestra aplicación ya que se necesita utilizar un material que no sea tan pesado y sea fácil de montar en la mesa del módulo.

3.15.3 Diámetro de tuberías

En referencia al c. Tubería el diámetro de la tubería que se utilizara va ligada con el diámetro de salida de la bomba teniendo en cuenta los diámetros del sensor de flujo y de la electroválvula. Considerando todos estos aspectos el diámetro ideal es de ½ pulgada y 1 pulgada.

3.15.4 Instrumentos de medida

Los instrumentos de medida que se ocuparán en el módulo didáctico es un rotámetro y manómetro ya que todas las mediciones se las efectuara directamente el

HMI y estarán visualizadas en la pantalla, para la elección correcta del rotámetro y manómetro se seguirán aspectos importantes como son:

- Caudal
- Presión
- Rango (1,5 – 15 l/h)
- Diámetro de entrada (½ pulgada)
- Diámetro de salida (½ pulgada)

A continuación en la Tabla 10 se presenta los aspectos para la correcta selección del rotámetro.

Tabla.10:

Matriz de decisión de selección del rotámetro.

Modelo	Rotámetro ALIA serie AVF250	Rotámetro LZS-15
PRECISIÓN	± 16%	Clase 4
PRESIÓN	40 bar	0,01 – 1.8 Nm ³ /h
RANGO	5 - 50 cm ³ /min	100 – 1000 L/h
DIÁMETRO DE ENTRADA	½ pulgada	½ pulgada
DIÁMETRO DE SALIDA	½ pulgada	½ pulgada

Por esta razón la elección del rotámetro (ver Figura 58) paso en la segunda opción (Rotámetro LZS-15) como se muestra en la Tabla 10. Las características técnicas se pueden consultar con mayor detalle en el Anexo A-1



Figura.58: Rotámetro LZS-15

Fuente: (Agua, 2014)

De igual manera siguiendo los requerimientos del módulo el manómetro debe cumplir con un rango de presión de 0 a 1 bar.

A continuación en la Tabla 11 se presenta los aspectos para la correcta selección del manómetro.

Tabla.11:

Matriz de decisión de selección del manómetro.

Modelo	Manómetro Winters	Manómetro MA-15-10-M5
PRESIÓN MÁX	1 bar	10 bar
RANGO	0 – 1 bar	0 - 10 bar
TEMPERATURA	-20_+60 °C	20_+60 °C
PRECISIÓN	± 2,5	± 5

Por esta razón la elección del manómetro (Figura 59) paso por la primera opción (Manómetro Winters) como se muestra en la Tabla 11. Las características técnicas se pueden consultar con mayor detalle en el Anexo A-2.



Figura.59: Manómetro Winters

3.16 Selección eléctrica

3.16.1 Sensores

a. Sensores capacitivos.

Para poder detectar el nivel de agua del BINN 102 se utilizará 2 sensores capacitivos, este tipo de sensores está formado por un oscilador cuya capacidad la forman un electrodo interno (parte del propio sensor) y otro externo (constituido por una pieza conectada a masa). El electrodo externo puede estar realizado de dos modos diferentes; en algunas aplicaciones dicho electrodo es el propio objeto a sensor, previamente conectado a masa; entonces la capacidad en cuestión variará en función de la distancia que hay entre el sensor y el objeto. En cambio, en otras aplicaciones se coloca una masa fija y, entonces, el cuerpo a detectar se utiliza como dieléctrico se introduce entre la masa y la placa activa, modificando así las características del condensador equivalente.

Este tipo de sensores deben contar con los siguientes requisitos para su adecuada selección:

- Alcance
- Tensión de alimentación
- Configuración de salida
- Frecuencia de interrupción máx.

Por tal razón se presenta tres alternativas para la correcta selección como se indica en la Tabla 12.

Tabla.12:

Matriz de decisión de los sensores capacitivos.

Modelo	LANBAO CR12CN04DPO	LANBAO CR12CN04DNC	CR18-8DN
Alcance	0...4mm	0...4mm	0 - 5.6mm
Tensión de alimentación	10...30V CC	10...30V CC	12-24VCC (10-30VCC)
Configuración de salida	PNP / NO	NPN / NC	NPN
Corriente de trabajo	200mA	200mA	200mA
Frecuencia	50Hz	50Hz	60 Hz
Temperatura de trabajo	-25...70°C	-25...70°C	-30 ~ +80°C

Por lo tanto se elige la tercera opción (CR18-8DN) ya que se utilizara sensores capacitivos (Figura 60) que funcionan a un voltaje mínimo y máximo de 10 VCD a 30 VCD respectivamente, teniendo una salida de 0 a 10 VCD y con una configuración NPN. Las características técnicas se pueden consultar con mayor detalle en el Anexo A-3.



Figura.60: Sensor capacitivo Serie CR18-8DN

b. Sensor Ultrasónico.

Para poder detectar el nivel de agua del BINN 102 se utilizará un sensor ultrasónico. Estos sensores ultrasónico son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, diferentes colores, superficies y de diferentes materiales. Este tipo de sensores deben contar con los siguientes requisitos para su adecuada selección:

- Rango de detección
- Rango de ajuste
- Zona ciega
- Frecuencia de transductor
- Tensión de trabajo
- Corriente en vacío
- Tipo de salida
- Resolución

Por tal razón se presenta tres alternativas para la correcta selección como se indica en la Tabla 13.

Tabla.13:
Matriz de decisión del sensor ultrasónico.

Modelo	Sensor ultrasónico UB800-18GM40	Sensor ultrasónico UB500-18GM75-I-V15	Sensor ultrasónico RPS-400-30
Rango de detección	50 ... 800 mm	30 ... 500 mm	5 - 30"
Rango de ajuste	70 ... 800 mm	50 ... 500 mm	-
Zona ciega	0 ... 50 mm	0 ... 30 mm	-
Tensión de trabajo	10 ... 30 V CC	10 ... 30 V CC	12 - 30VDC
Corriente en vacío	≤ 20 mA	≤ 45 mA	≤ 30 mA
Tipo de salida	-1 salida analógica 4 ... 20 mA	-1 salida analógica 4 ... 20 mA	NPN Open Collector Transistor
Resolución	0,4 mm con máx. rango de detección	0,13 mm con rango de detección máx.	0,16 mm con rango de detección máx.

Por lo tanto se seleccionó un sensor ultrasónico (Sensor ultrasónico UB800-18GM40) (ver Figura 61), para la detección de nivel de agua que tendrá en el BINN B102 del módulo previamente indicado, gracias a este sensor se podrá realizar el control del lazo de nivel y poder controlar y monitorear dicha variable, el rango de detección máxima es de 800 mm funciona a un voltaje mínimo y máximo de 10 VCD a 30 VCD respectivamente.

Sus características pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A-4.



Figura.61: Sensor ultrasónico UB800-18GM40

c. PT100.

Para poder realizar el control de temperatura del módulo se necesita un sensor para medir la temperatura, por tal razón se seleccionó un PT100 de tres hilos. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde tal como se indica en la Figura 62.

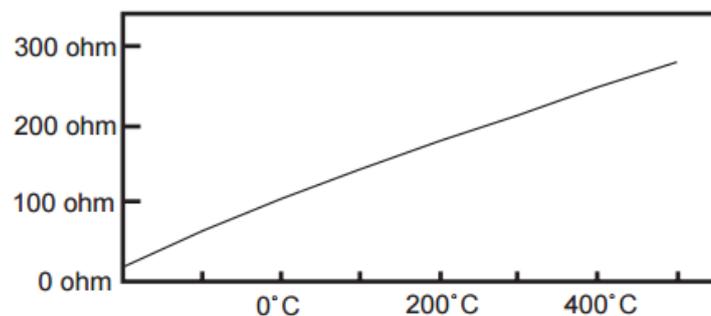


Figura.62: Curva Resistencia vs Temperatura de una PT100 (RTD)

Normalmente las PT100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material tal como una vaina y en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico en donde los cables se encuentran protegidos dentro de un cabezal de aluminio, por tal razón se plantea tres alternativas

de selección como se muestra en la Tabla 14 tomando en cuenta las siguientes características:

- Rango de 0 – 300 °C
- Diámetro de la sonda 5 mm
- Longitud del cable 1,5 m

Tabla.14:

Matriz de decisión del sensor de temperatura PT100.

Modelo	Sensor de temperatura SN-WZPT03	Sensor temperatura PT100 tres hilos	Sensor de temperatura D11210
Rango de temperatura	0 - 400 °C	-40 ~ +400 °C	-50 ~ +400 °C
Diámetro de la sonda	5 mm	50mm x 5mm de diámetro	5mm
Longitud del cable	1 m	1.5 m	1 m

Por lo tanto se seleccionó la segunda opción (Sensor de temperatura PT100 tres hilos) por contar con una mayor longitud, en la Figura 63 se muestra la PT100 ganadora.



Figura.63: Sensor de Temperatura PT100 de tres hilos

d. Caudalímetro.

Se necesita utilizar un sensor de caudal de tipo de rueda de turbina esto nos ayudara a sensar el flujo de agua que pasa a través de la tubería desde la bomba hasta el BINN 102. El líquido primero fluye a través de un elemento de flujo laminar para eliminar turbulencia y llevar la corriente de flujo a la rueda de turbina. La rueda de turbina empieza entonces a rotar este movimiento rotativo es censado sin contacto por magnetos acoplados en la rueda de turbina y convertido a una señal de frecuencia. La frecuencia es proporcional a la velocidad del caudal es por esta razón que se necesita un circuito de transformación de señal de frecuencia a mA para poder controlarlo del PLC, por tal razón se plantea tres alternativas de selección como se muestra en la Tabla 15.

Tabla.15:

Matriz de decisión del sensor de flujo (caudalímetro).

Modelo	Sensor de flujo YF-S201	Sensor de flujo FLU-002	Sensor de flujo FSZ-2L
Q máx.	40 L/min.	30 L/min.	40 L/min.
Q mín.	2 L/min.	1 L/min.	1 L/min.
Precisión de medición	±1.5%	±2%	-
Salida de pulsos del sensor	352 Hz a 40 L/min.	225Hz a 30 L/min.	5 -24 VDC

Por lo tanto se seleccionó la primera opción (Sensor de flujo YF-S201) por contar con un mayor rango de medida y una precisión aceptable, en la Figura 64 se muestra el sensor de flujo ganador es el de serie YF-S201. Sus características pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A-5.



Figura.64: Sensor de flujo YF-S201

e. Transmisor de presión

Para el control de presión del módulo es necesario utilizar un sensor de presión o transmisor de presión el mismo que nos ayude a tener una señal real y así poder realizar el respectivo control, por tal razón en la Tabla 16 se muestran las diferentes opciones planteadas para una correcta selección.

Tabla.16:

Matriz de decisión del sensor de presión.

Modelo	Sensor de flujo DANFOSS MBS33M	Sensor de presión FLU-002	Sensor de presión YF-S201
P máx.	10 bar.	30 bar.	100 bar.
P mín.	0 bar.	1 bar.	0 bar
Precisión de medición	±1.5%	±2%	-
Salida de pulsos del sensor	4 – 20mA	4 – 20mA.	0-10 VDC

Por lo tanto se seleccionó la primera opción (Sensor de presión DANFOSS MBS33M) por contar con un rango de medida y una precisión aceptable, en la Figura 65 se muestra el sensor de presión ganador de modelo MBS33M. Sus

características pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A-6.



Figura.65: Sensor de Presión Danfoss MBS33M.

f. Flotadores.

Se selecciona un interruptor de nivel tipo flotador de plástico para el control de llenado y vaciado del BINN 101. El principio de funcionamiento de mini interruptor de nivel de flotador es simple y directa. Establecer un punto o punto de interruptor magnético en cerrado-un tubo de plástico de metal magnético o industrial. Fijar el flotador con interior sistema magnético para un cierto lugar de interruptor magnético en la tubería y dejar que la deriva flotador arriba y abajo, utilizar el sistema en el flotador magnético interno para activar la apertura y cierre de interruptor magnético para operar y controlar el nivel de líquido, una de las principales características que se debe considerar es la tensión de alimentación que tendrá el interruptor esta debe ser de 0 a 24 VDC para poder controlarlo desde el PLC, por tal razón se plantea tres alternativas de selección como se muestra en la Tabla 17.

Tabla.17:

Matriz de decisión del interruptor tipo flotador.

Modelo	Interruptor magnético de nivel SICCOM	Interruptor tipo flotador 52920 / HT-304-2	Interruptor tipo flotador 52908 / HT-304-3
Tipo	Mini Interruptor de Nivel	Mini Interruptor de Nivel, Curvo 90°	Mini Interruptor de Nivel
Material	Plástico	Metálico - Stainless Steel	Metálico - Stainless Steel
Longitud	80.15mm	130mm	130mm
Temperatura de trabajo	-10 a 130°C	-10 a 130°C	10 a 130°C
Presión	20/50Pa	20/50Pa	20/50Pa
Voltaje de alimentación	24VDC	24VDC	24VDC

Por lo tanto se seleccionó la primera opción (Interruptor magnético de nivel SICCOM) por contar con una tensión de alimentación acorde con los requerimientos y por el tipo de material, en la Figura 66 se muestra el interruptor de nivel ganador de marca SICCOM.



Figura.66: Interruptor magnético de nivel SICCOM.

Sus características técnicas al igual que el diagrama de conexión pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A-7.

3.16.2 Actuadores

a. Variador de frecuencia.

En la selección del Variador de frecuencia se tomó en cuenta varios aspectos importantes como son:

- Frecuencia máx. de la bomba
- Frecuencia mín. de la bomba
- Potencia de la bomba
- Alimentación
- Corriente

Todos estos aspectos son de suma importancia para la selección de un adecuado equipo, a continuación se presenta tres opciones de variadores como se muestra en la Tabla 18.

Tabla.18:

Matriz de decisión del variador de frecuencia.

Modelo	Convertidor SINAMICS V20	Variadores de CA PowerFlex 700	Variador de frecuencia altivar 312
Tensión de entrada	200 – 220 VAC / $\pm 10\%$	200 – 220 VAC	200 – 220 VAC
Corriente de entrada	10 A	10 A	8 A
Frecuencia de entrada	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Tensión de salida	0 – 220 V	0 – 220 V	0 – 220 V
Corriente de salida	3.9 A	2.2 A	3 A
Frecuencia de salida	0 – 55 Hz	0 – 55 Hz	0 – 55 Hz
Potencia	0.75 Hp	0.5 Hp	0.75 Hp

Por lo tanto se seleccionó la primera opción (Convertidor SINAMICS V20) por contar con todos los parámetros necesarios para que sea compatible con la bomba una tensión de alimentación acorde con los requerimientos, en la Figura 67 se muestra el variador de frecuencia ganador de marca SINAMICS V20, este dispositivo permitirá variar la velocidad del motor trifásico mediante la variación de la frecuencia suministrada al motor, variando así el flujo de agua del sistema, prácticamente es el actuador en el proceso siendo el elemento que gobierna el funcionamiento de la bomba.



Figura.67: Variador de frecuencia SINAMICS V20

Fuente: (SIEMENS, SINAMICS V20)

Para la operación del variador es necesario ingresar los parámetros de motor a controlar y esto se logra gracias a un panel básico de operador (BOP) mostrado en la Figura 68.



Figura.68: BOP (Basic Operator Panel)

Las conexiones entre la bomba y el PLC se deben realizar mediante el diagrama interno del variador de frecuencia SINAMICS V20 (Figura 69) sin lugar a error ya que esto puede recurrir a que el equipo funcione de una forma errónea o en el peor de los casos que el equipo se quemé y deje de funcionar en su totalidad.

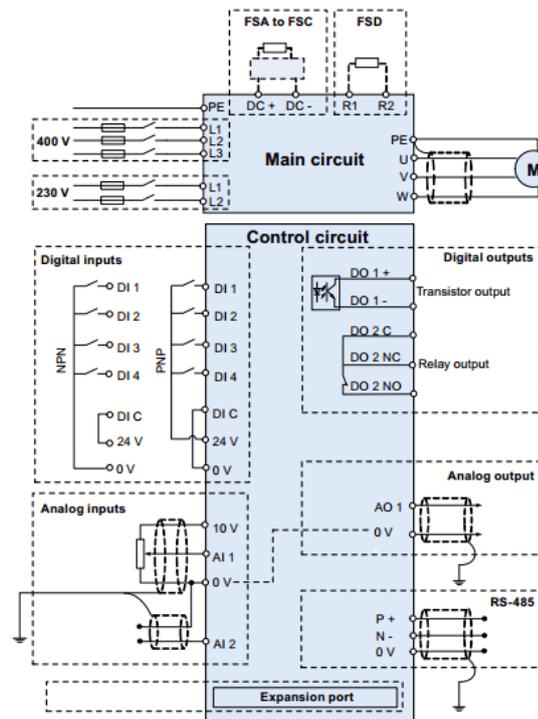


Figura.69: Diagrama de conexión

Fuente: (SIEMENS, SINAMICS V20)

Sus características técnicas al igual que el diagrama de conexión pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A-8.

b. Calentador.

Para el control de temperatura del módulo didáctico se debe seleccionar un calentador de agua que cumpla con parámetros como son:

- Temperatura máx.
- Potencia eléctrica
- Capacidad en litros

- Material
- Tensión de alimentación

Todos estos aspectos son de suma importancia para la selección de un adecuado equipo, a continuación se presenta tres opciones de calentadores como se muestra en la Tabla 19.

Tabla.19:
Matriz de decisión del calentador de agua.

Modelo	Calentador SE-CAL5-15L Modelo 1554	Brida Tubular Dt-2788	Calentador Dt-4120
Tensión de entrada	110 VAC	12 V-240V	12 V-480 V
Potencia eléctrica	1500 W	200 W - 30000 W	5000 W
Capacidad en litros	15 L	-	-
Material	Metálico	Metálico	Metálico
Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz

Por lo tanto se seleccionó la primera opción (Calentador SE-CAL5-15L Modelo 1554) por contar con todos los parámetros necesarios para poder regular la temperatura en el BINN 101, en la Figura 70 se muestra el calentador de agua ganador de marca SANELEC modelo 1554, este calentador es de tipo resistencia que funciona con un voltaje de entrada de 110 VAC, cuando la corriente pasa a través del conductor por resistencia de calefacción la resistencia inmediatamente se calienta es decir es de efecto ON/OFF por lo tanto es necesario implantar un circuito que ayude a controlar y variar el ángulo de disparo de la corriente o del voltaje de entrada para de este modo poder regular la temperatura a con la que se desea trabajar teniendo así un control preciso de temperatura.



Figura.70: Calentador de agua SE-CAL5-15L Modelo 1554

c. Electroválvula.

Para la selección de la electro válvula se debe tomar en cuenta que la tensión de entrada debe ser 24 VDC y normalmente cerrada. Por tal motivo se presenta tres alternativas como se muestra en la Tabla 20.

Tabla.20:

Matriz de decisión de la electroválvula.

Modelo	Electroválvula HOYA PU- 25SL	Electroválvula Cepex 9V LATCH	Electroválvula DIN bobina 2W160-15-D
Tensión de entrada	24 VDC	0 - 20 VDC	24 VDC
Potencia eléctrica	2 W	-	5000 W
Diámetro	½ In	½ In	-
Material	Plástico	Plástico con nylon reforzado	Latón
Presión	0 – 8 Bar	0,7 - 10 bar	0 ~ 0.5Mpa
Temperatura de trabajo	-5 ~ +60 °C	-	-5 ~ + 80 °C

Por lo tanto se seleccionó la primera opción (Electroválvula HOYA PU-25SL) por contar con todos los parámetros necesarios para poder abrir y cerrar el flujo de agua hacia el BINN 101, en la Figura 71 se muestra la electroválvula ganador de marca HOYA PU-25SL.



Figura.71: Electroválvula HOYA PU-25SL

Sus características técnicas al igual que el diagrama de conexión pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A-9.

3.16.3 Controladores

a. PLC

Para seleccionar un PLC es necesario partir de marca del dispositivo considerando ciertos requerimientos que se debe cumplir desde el punto de vista del consumidor como son:

- Disponibilidad
- Mantenimiento
- Asesoría
- Costo

Todos estos aspectos son de suma importancia para la selección de un adecuado equipo, a continuación se presenta tres opciones de marcas comerciales de PLC's como se muestra en la Tabla 21.

Tabla.21:**Matriz de la marca de PLC.**

Factor	Factor de ponderación	SIEMENS	ALLEN-BRADLEY	mitsubishi
COSTO	3	2.7	2.1	2.1
		9	7	7
DISPONIBILIDAD	3	2.7	2.7	2.1
		9	9	7
ASESORÍA	2	1.8	1.8	1.4
		9	9	7
GARANTÍA	2	1.8	1.8	1.8
		9	9	9
TOTAL	10	9	8.4	7.4

Por lo tanto se seleccionó a la marca SIEMENS por contar con todos los requerimientos desde el punto de vista del cliente.

Al dispositivo se lo debe analizar desde el punto de vista del hardware y el software en la Tabla 22 se detallaran la cantidad de entradas y salidas que el módulo didáctico e requiere y que se debe considerar para una adecuada selección.

Tabla.22:**Total de entradas y salidas requeridas por el PLC**

Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas análogas	Salidas análogas
7	5	4	2

Lo más importante para la selección del PLC es que este disponga de una comunicación Ethernet ya que se necesita que se comunique con la PC y realizar una red Ethernet para poder comunicarse con otros sistemas modulares, además se necesita de una fuente de 24 VDC para alimentar a los sensores y actuadores que se van a utilizar en el módulo.

Para la selección del PLC se realiza una matriz de decisión tal como se muestra en la Tabla 23 con PLC'S S7-1200 ya que estos dispositivos poseen una gama intermedia en cuanto a controladores programables. El modelo del PLC seleccionado (Figura 72) de acuerdo a la matriz de decisión es el CPU 1212C, como requerimientos necesarios se toma en cuenta las entradas, salidas y la comunicación Ethernet el PLC S7-1200 CPU 1212AC/DC mayores detalles de sus características en el ANEXO A-10.

Tabla.23:

Matriz de decisión del PLC

Características	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C
Versión	AC/DC/Relé	AC/DC/Relé	AC/DC/Relé
Tensión de Entrada	110 - 220 VAc	110 - 220 VAc	110 - 220 VAc
Entradas Digitales (DI)	8 DI a 24 VDC	14 DI a 24 VDC	14DI a 24 VDC
Salidas Digitales (DO)	6 DO tipo rele	10 DO tipo rele	10 DO tipo rele
Entradas Analógicas (AI)	2 AI (voltaje)	2 AI (voltaje)	2 AI (voltaje)
Salidas Analógicas (AO)	No	No	2 AO (mA)
Tipo de las Salidas	Relé	Relé	Relé
Interfaz de Comunicación	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Temperatura de trabajo		0°C a 45°C	
Tipo de Programación	FBD, Ladder Logic	FBD, Ladder Logic	FBD, Ladder Logic



Figura.72: PLC S7-1200 CPU 1212AC/DC

Fuente: (SIEMENS, PLC S7-1200 CPU 1212AC/DC)

En la Figura 73 se muestra un módulo de entradas y salidas (SM 1234 4 AI/2 AO +/- 10V ó 0- 20 mA) necesario para el módulo, se caracteriza por no influir en las variables de estado del proceso de automatización por el PLC.



Figura.73: Módulo de entradas y salidas

Fuente: (SIEMENS, PLC S7-1200 CPU 1212AC/DC)

Sus características técnicas al igual que el diagrama de conexión pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A-11.

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.

Una vez terminado el diseño del módulo didáctico, se inicia el proceso de construcción, implementación y montaje del sistema eléctrico e hidráulico. En el presente capítulo se describe la construcción y montaje del equipamiento de la estación de trabajo.

El modulo didáctico consta de sensores y actuadores. La parte fundamental es la del control que se realizó mediante el software TIA PORTAL y el HMI utilizando el software LabVIEW.

4.1. Construcción del modulo

4.1.1. Mesa móvil

Se diseñó una mesa móvil compacta y fácil de soportar las cargas requeridas por el sistema, la mesa móvil se construyó tomando en cuenta las dimensiones necesarias para una adecuada distribución de los elementos a utilizar y el espacio disponible en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica.

En la parte superior de la mesa se montó perfiles de aluminio (Tipo tapa roscada), que servirán para el anclaje de los elementos, puntualmente de los tanques, se utilizó el total de 15 láminas de este perfil tal como se muestra en la Figura 74.



Figura.74: Mesa móvil.

4.1.2. Tanques

Para la construcción de los tanques se tomó en consideración las dimensiones de la mesa móvil y la distribución de los elementos, por tal razón las dimensiones de los tanques son las siguientes como se muestra en la Figura 75.

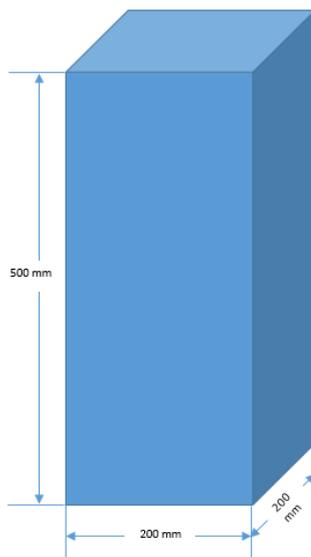


Figura.75: Tanque de acrílico.

Con las dimensiones de los tanques definidas proseguimos a la construcción como se indica en la Figura 76.

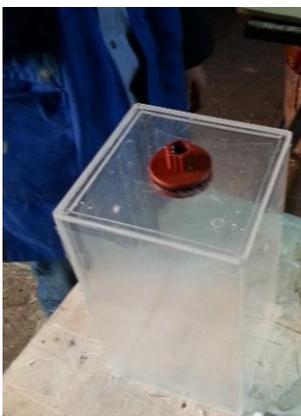


Figura.76: Tanque de acrílico construido.

Terminados los tanques se prosigue a montar las estructuras que servirán para asentarlas a la mesa móvil como se muestra en la Figura 77.



Figura.77: Tanque de acrílicos con las bases montadas.

Una vez concluido la construcción de los tanques y las bases para los respectivos sensores que irán dentro de los tanques se prosigue al montaje en la mesa móvil como se indica en la Figura 78.



Figura.78: Montaje de los tanques de acrílico.

A continuación se montara la bomba centrífuga en la mesa móvil tal como se muestra en la Figura 79 en donde se puede observar que la bomba está ubicada en la parte inferior de la mesa móvil.

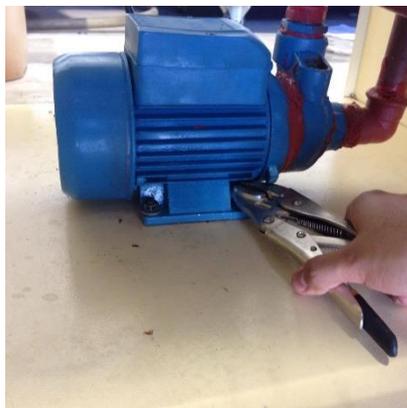


Figura.79: Montaje de la bomba centrífuga.

Terminado el montaje se realiza dos perforaciones en la mesa móvil y en los perfiles de aluminio estas perforaciones servirán para el paso de la tubería que va del BINN 101 a la bomba centrífuga y de la bomba centrífuga hasta el BINN 102 tal como se muestra en la Figura 80.



Figura.80: Orificios para el paso de tubería.

Con la terminación del montaje de los tanques de acrílico, la bomba y la elaboración de los orificios para el paso de tubería se prosigue al montaje del sistema hidráulico (ver Figura 81) que consiste en unir tanto el BINN 101 con la bomba y el BINN 102.



Figura.81: Montaje del sistema hidráulico.

4.2 Montaje de los sensores

Con la construcción de la carcasa del módulo terminado se prosigue al montaje de los diferentes sensores que se dispone en el sistema como a continuación se detalla cada uno de estos.

4.2.1 Sensores de nivel.

La ubicación del sensor ultrasónico se lo realiza en la parte superior del BINN 102 ya que este es el encargado de medir los diferentes niveles que se tendrá de fluido (ver Figura 82).

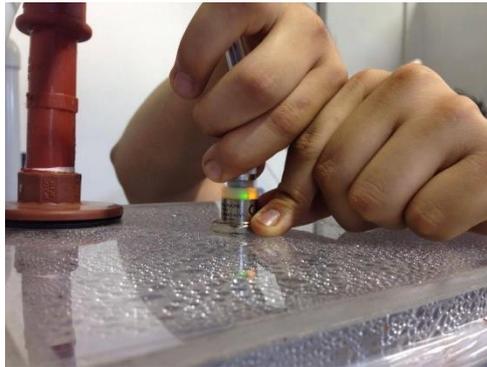


Figura.82: Ubicación del sensor ultrasónico.

Mientras que los sensores capacitivos se los coloca al costado izquierdo del BINN 102, estos nos servirán para poder medir el nivel de fluido mínimo y máximo del BINN 102 tal como se indica en la Figura 83.



Figura.83: Ubicación e de los sensores capacitivos.

4.2.1 Sensor de caudal.

El sensor de caudal o caudalímetro nos permitirá visualizar el caudal que está entregando la bomba centrífuga al BINN 102 gracias a este sensor podremos realizar el control de caudal por tal razón este debe ir ubicado antes de llegar al BINN 102 tal como se muestra en la Figura 84.

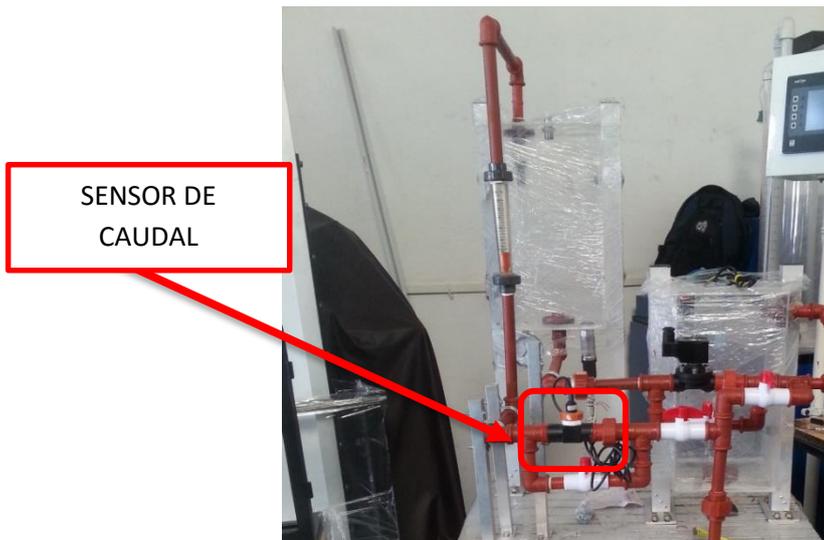


Figura.84: Ubicación del sensor de caudal.

4.2.3 Sensor de presión.

Este sensor permitirá monitorear la presión a la que se encuentra el sistema, emitiendo una señal al PLC, esta señal no solamente se para visualizar sino que también controlarla es por eso que este sensor debe ir ubicado a la entrada del BINN 102 ya que la presión que se tiene en este punto facilita su control.



Figura.85: Ubicación del sensor de presión.

Una de las ventajas de colocar en esta parte el sensor de presión (ver Figura 85) es poder regular la presión en base la velocidad que se encuentra la bomba es decir a mayor velocidad mayor presión y a menor velocidad menor presión.

4.2.4 Sensor de temperatura.

Para el control de temperatura es necesario colocar una RTD en el BINN 101, ya que es este realizaremos el control de temperatura por tal razón la RTD es colocada en la parte posterior inferior tal como se muestra en la Figura 86.

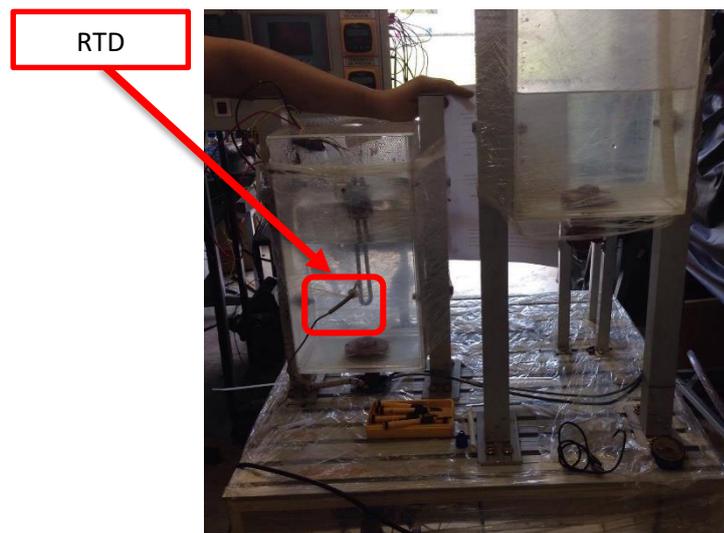


Figura.86: Ubicación de la RTD.

4.3 Montaje del sistema hidráulico.

En la Figura 87 se muestra la ubicación de la válvula check, esta válvula servirá para que no exista un retorno de fluido (agua) del BINN 102 al BINN 101 por efecto de sección de la manguera que se encuentra sumergida en el BINN 102, las dimensiones de la válvula al igual q la tubería es de ½ pulgada.

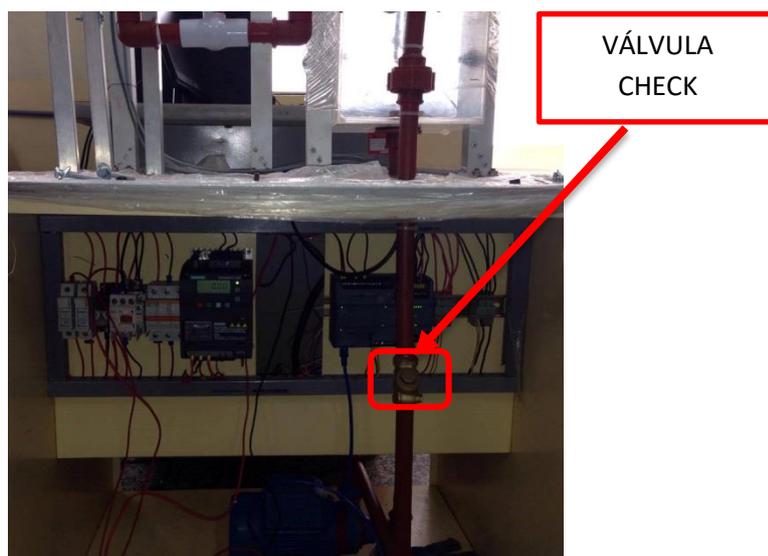


Figura.87: Ubicación válvula check.

En la Figura 88 se muestran las válvulas de media bola, estas válvulas permitirán la apertura y cierre del fluido tanto para el BINN 102 como la del BINN 101,

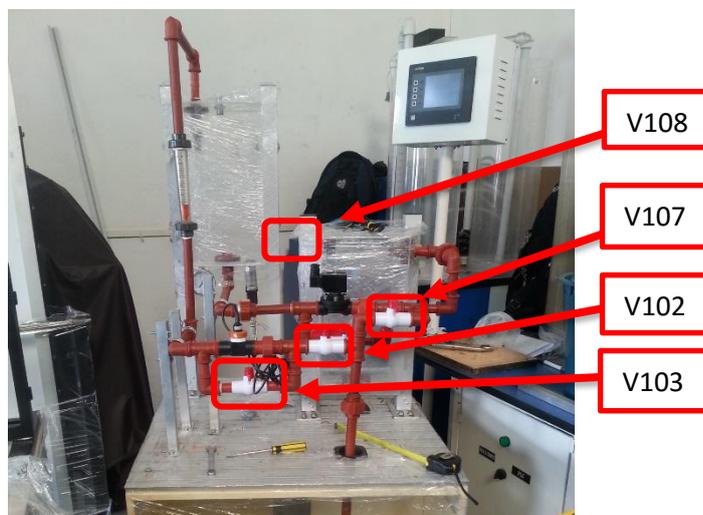


Figura.88: Ubicación válvulas de media bola.

adicionalmente se cuenta con dos válvulas para realizar el bypass tanto para el sensor de caudal (caudalímetro) y para la electroválvula, esta última servirá para el paso del fluido (agua) del BINN 102 al BINN 101 (ver Figura 89), cabe recalcar que este bypass se lo realiza para el mantenimiento de los equipos.

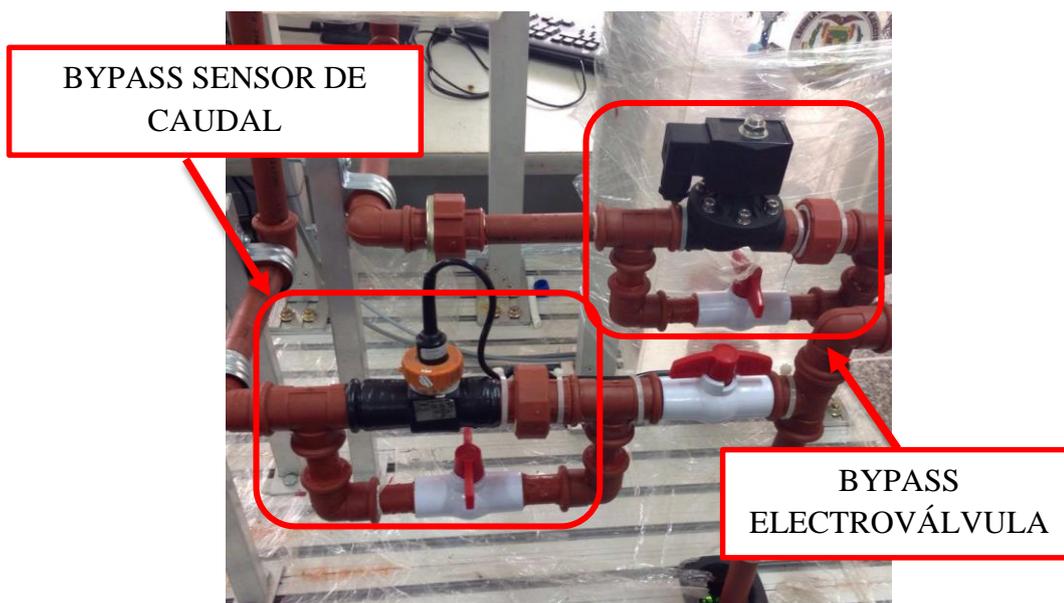


Figura.89: Bypass para mantenimiento.

En la Figura 90 se muestra la ubicación del rotámetro que debe ir después del sensor de caudal.

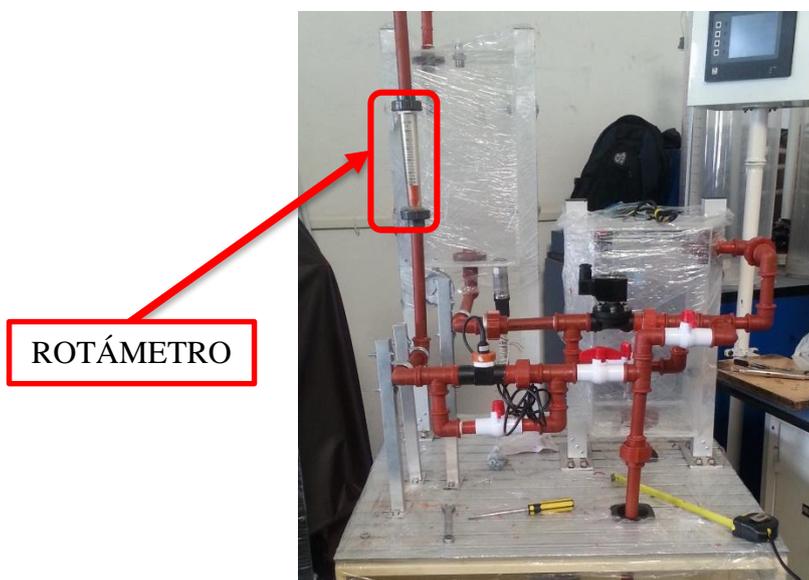


Figura.90: Ubicación del rotámetro.

En la Figura 91 se indica la ubicación del manómetro que debe ir en el mismo punto de sensor de presión, cabe indicar que la ubicación del manómetro se encuentra en el punto más alto de la tubería y en donde se tendrá mayor presión con la ayuda de una válvula de compuerta.



Figura.91: Ubicación del manómetro.

Esta válvula (ver Figura 92) nos ayudara a tener una mayor presión reduciendo el caudal obteniendo una lectura más clara de presión y así poder realizar el respectivo control.



Figura.92: Ubicación de la válvula de compuerta.

4.4 Implementación del circuito de mando y control

4.4.1 Tablero de control.

El tablero de control se encuentra ubicado en la parte frontal de la mesa móvil como se puede apreciar en la Figura 93. Para el circuito de mando y control se utiliza conductor # 16 flexible AWG, tanto para el switch selector de dos posiciones y luz indicadora que fueron conectados a sus respectivas borneras, el tablero de control se encuentra en la mesa móvil y que está sujeto con 4 pernos de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$ pulgada.



Figura.93: Tablero de control.

Una vez colocado el tablero de control, el PLC, la fuente de alimentación, las borneras y la protección eléctrica, se procede a cablear tanto para corriente continua como para alterna y E/S del PLC S7 1200 CPU 1214C, en la Figura 94 podemos visualizar el cableado del tablero de control y mando.

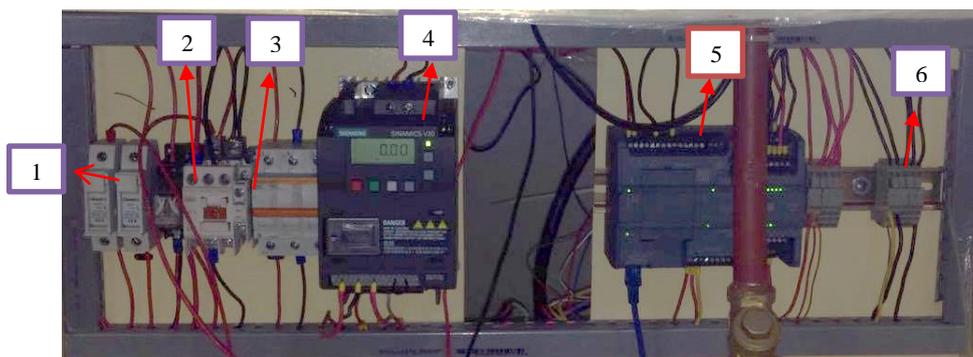


Figura.94: Cableado del PLC

Ítem	Detalle
1	Fusibles
2	Relé
3	Breakers
4	Variador de frecuencia
5	PLC
6	Borneras

4.5 Montaje del sistema terminado

En la Figura 95 se muestra el módulo didáctico para la regulación de variables de control: caudal presión nivel y temperatura en lazo cerrado que está ubicado en la mesa móvil.

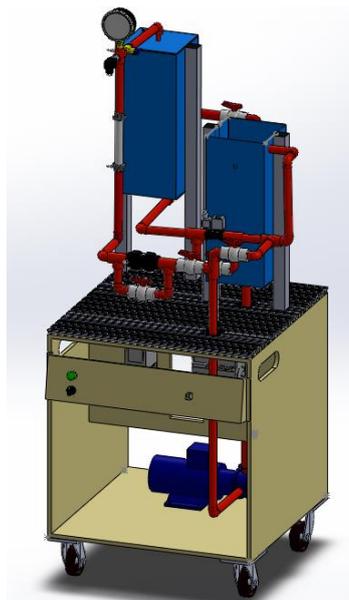


Figura.95: Modulo didáctico.

4.6 Programación del PLC Siemens S7-1200

Una vez realizado el montaje del módulo didáctico y tomando en cuenta los diferentes procesos a controlar, se procede a elaborar la secuencia de funcionamiento, para el cual se utilizará el software propio del PLC Siemens S7-1200 Totally Integrated Automation (TIA) Portal V13. El software optimiza el proceso y determina la operación de control más adecuada. Con su intuitiva interfaz de usuario, la sencillez de sus funciones y la completa transparencia de datos es un excelente software para utilizar.

- a.** Como primer paso se debe crear un nuevo proyecto, ingresar un nombre al proyecto y designar una ruta de guardado. Luego se procede a insertar un dispositivo nuevo de la serie S7-1200 sin especificar como se indica en la Figura 96.

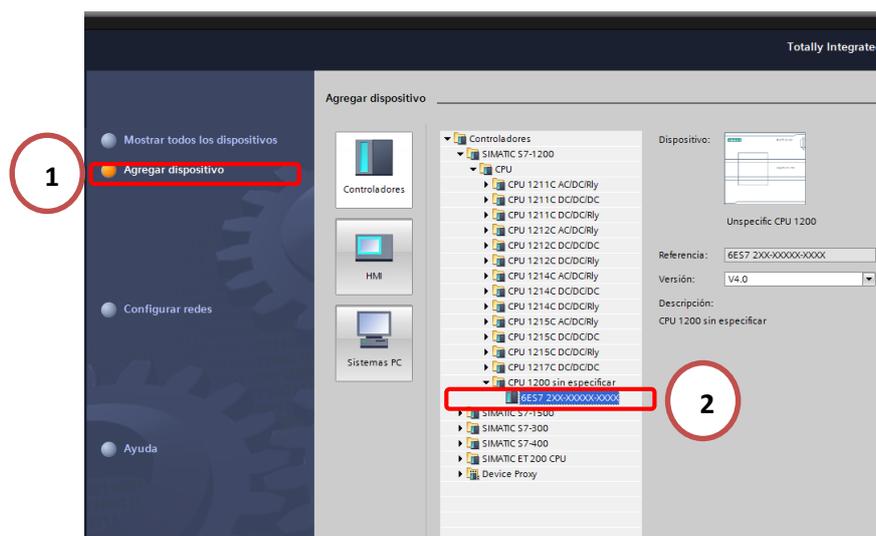


Figura.96: Creación de un nuevo proyecto e ingreso del dispositivo

- b. Para poder transferirle un programa al PLC, es necesario detectar el PLC en la red a la que está conectado vía Ethernet. Para esto se selecciona la opción **Determinar la configuración del dispositivo conectado**. Dentro de la pantalla de Detección de Hardware se ingresa el **Tipo de Interfaz PG/PC** en este caso una red Profinet, definida como PN/IE. Luego se debe seleccionar el modo de comunicación entre el PLC y el PC. Este modo de comunicación viene definido según esté conectado el cable Ethernet al ordenador, es decir la tarjeta de red, tal como se indica en la Figura 97. Por último se selecciona el botón “Iniciar la búsqueda”.

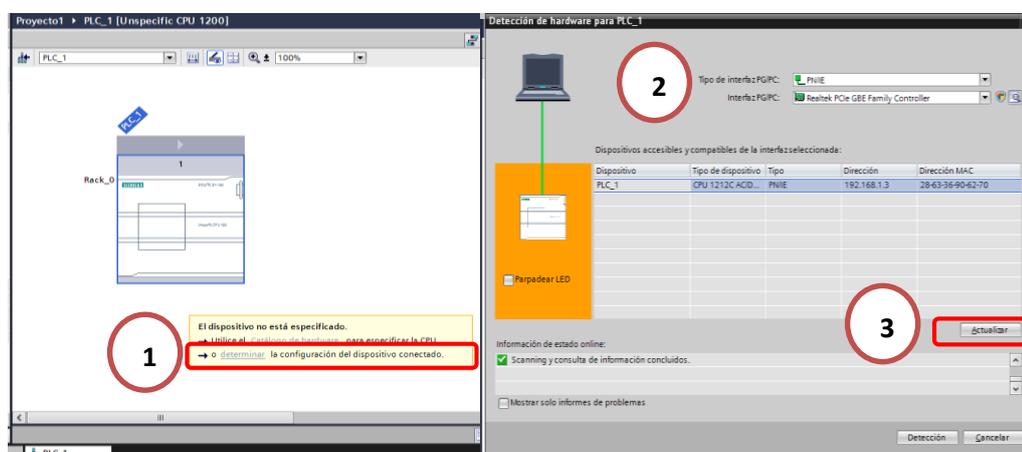


Figura.97: Detección del PLC S7-1200

- c. Como segundo paso se debe declarar una dirección IP al PLC. Para esto se ingresa a las Propiedades del PLC y seleccionar la pestaña **Interfaz PROFINET**, luego dar clic a la opción **Ajustar dirección IP en el proyecto** e ingresar la IP 192.168.1.3 u otra diferente mientras se encuentre dentro del rango de la clase de IP (clase C) como se muestra en la Figura 98.

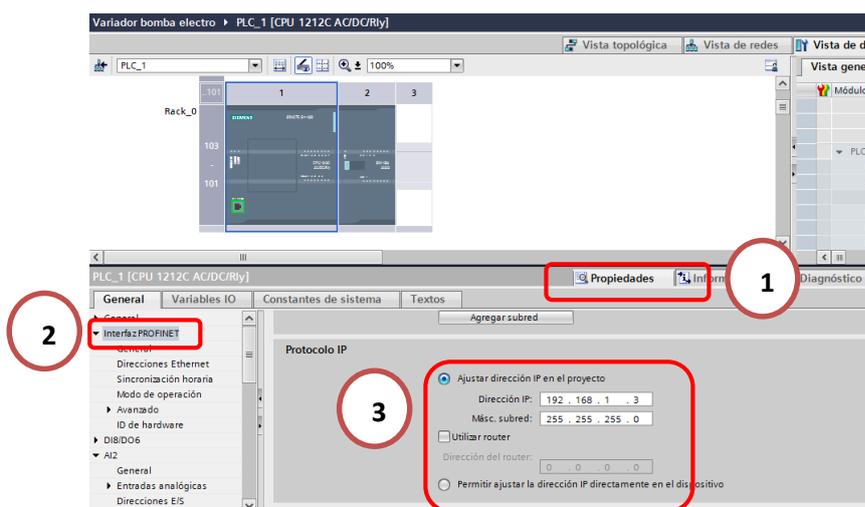


Figura.98: Asignación de una dirección IP y sub-máscara de red para la PC

- d. Antes de realizar la programación del módulo es aconsejable declarar las entradas, salidas y memorias que se van a utilizar dentro del programa. En la Figura 99 se muestra como declarar las variables del PLC.

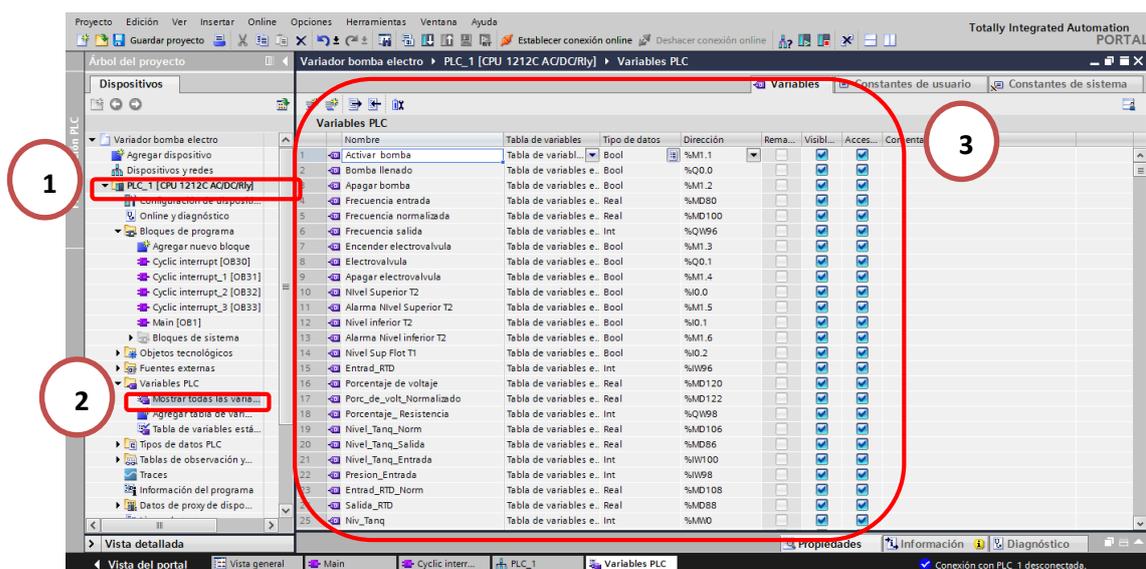


Figura.99: Declaración de variables del PLC.

- e. Para empezar a programar se ingresa al **Bloques de programa** y abrir el Main [OB1] el cual se encuentra designado por defecto, como se observa en la Figura 100.

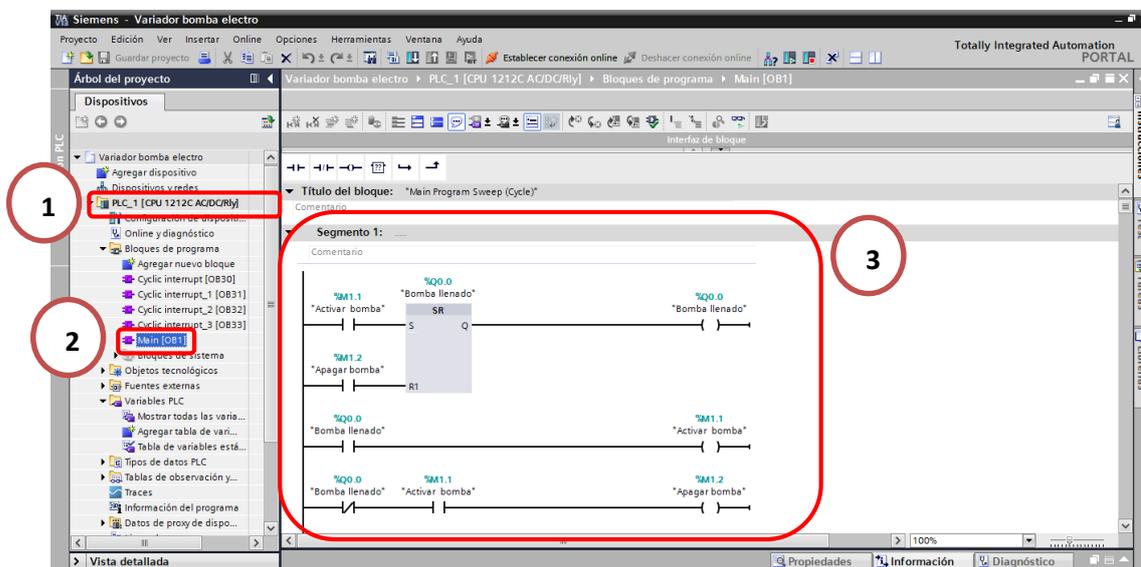


Figura.100: Programar en Main [OB1].

La programación se realizará mediante el esquema de contactos (KOP), debido a que es el lenguaje de comunicación más cómodo y fácil de entender. A la derecha del bloque de programa se puede acceder a las instrucciones básicas, las mismas que se hallan clasificadas de acuerdo a la función que cumplen, tal como se muestran en la Figura 101.

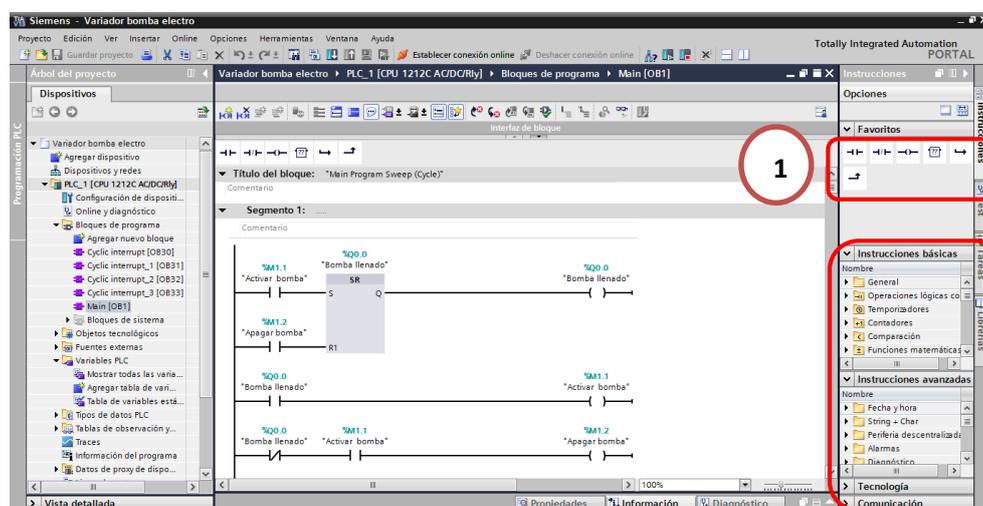


Figura.101: Instrucciones básicas de programación.

- f. Para ingresar el Regulador PID es necesario agregar un nuevo **Bloque de Organización [OB]**, el cual se encuentra dentro de la carpeta **Bloques de Programa**. El PID realiza un proceso cíclico por lo cual es necesario ingresar un **Cyclic Interrupt** y seleccionar el lenguaje KOP como se puede observar en la Figura 102.

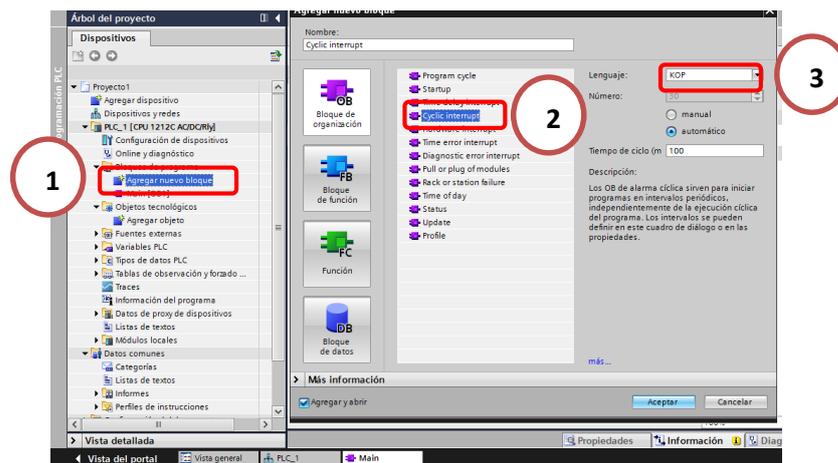


Figura.102: Ingresar Cyclic Interrump.

- g. Una vez dentro del nuevo bloque de organización se ingresa el Regulador PID, el cual se encuentra dentro de Instrucciones>Tecnología>PID Control>Compact PID>PID_Compact, se selecciona el regulador y se arrastra hacia la línea de programación, tal como se muestra en la Figura 103. Se desplegará la ventana **Opciones de llamada** en donde ingresamos el nombre y la forma de control, en este caso se utilizará un modo Automático.

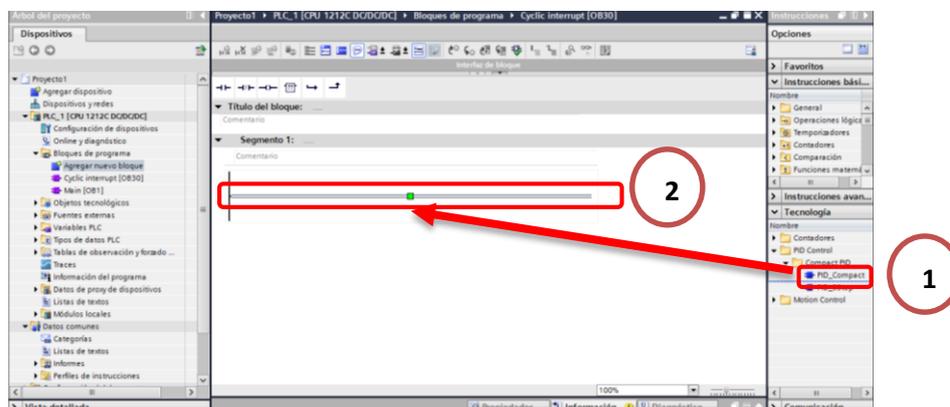


Figura.103: Agregar PID_Compact

- h. Para configurar el regulador PID es necesario ingresar todos los parámetros de la variable a controlar, para esto se abre la ventana de configuración. Dentro de esta ventana se encuentra los ajustes basicos del regulador en donde se puede seleccionar el tipo de regulación y los parámetros de entrada/salida. En las siguientes pestañas se pueden configurar opciones avanzadas como son escalar variables, definir alarmas de advertencia de límites, definir limites superiores e inferiores y definir parámetros constantes tal como se muestra en la Figura 104.

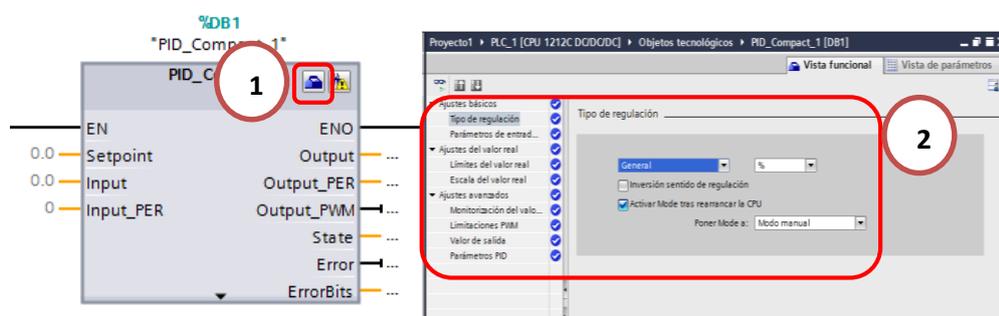


Figura.104: Configuración de parámetros del Regulador PID

- i. Luego de configurar los parámetros del Regulador, es necesario compilar el programa para que no exista errores de sintaxis, para esto se selecciona la opción **Compilar** tal como se indica en la Figura 105.

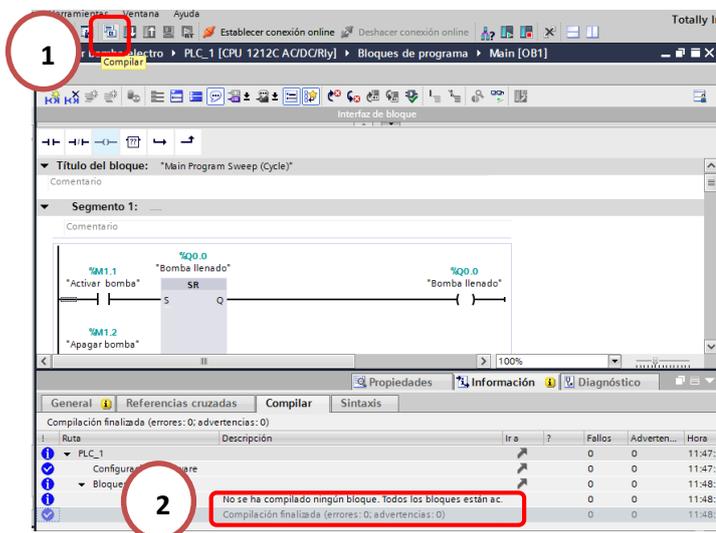


Figura.105: Compilación del programa.

- j. Una vez que el programa haya sido compilado y comprobar que no existan errores de programación, se puede transferir el bloque de programa al PLC, para esto se selecciona la opción **Cargar en dispositivo**, en donde se transferirá tanto el hardware como el programa completo al PLC, luego de esto se selecciona el botón de “Cargar” como se muestra en las Figuras 106.

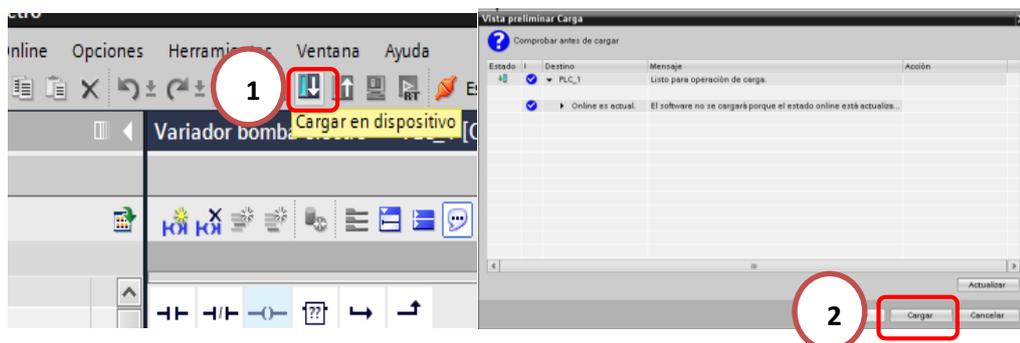


Figura.106: Carga del programa al PLC

- k. Después que el programa haya sido cargado en el PLC es necesario realizar una optimización a los parámetros del PID, para lo cual se abre la ventana de puesta en servicio del Regulador PID, tal como se muestra en la Figura 4.34. Dentro de la ventana de optimización, como primer paso se selecciona el tiempo de muestreo, mientras menos sea el tiempo más eficaz será la optimización. Después se selecciona la opción de Optimización inicial y luego Optimización Fina, de esta manera el Regulador establecerá los parámetros más adecuados para el control de la variable, como se muestra en las Figuras 107.

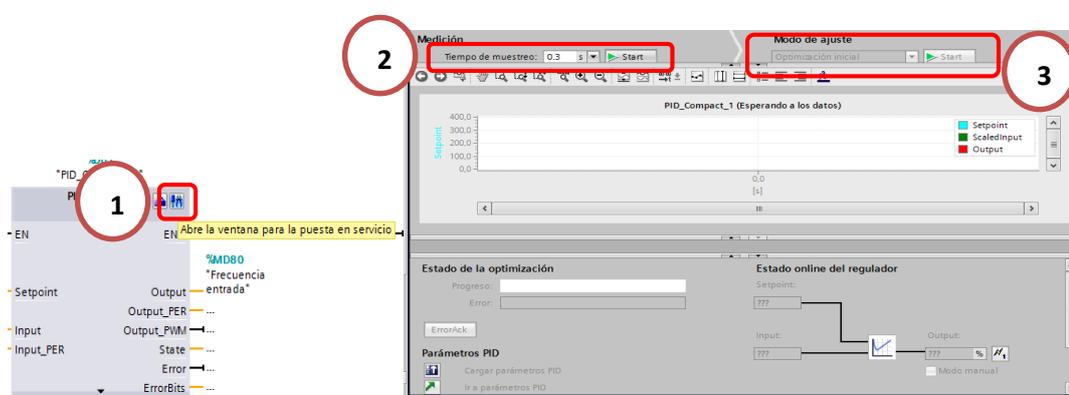


Figura.107: Configuración de los parámetros del PID

- l. Una vez optimizado el proceso se cargan los parámetros del PID al PLC para lo cual se selecciona la opción **Cargar parámetros de PID**, tal como se muestra en la Figura 108.

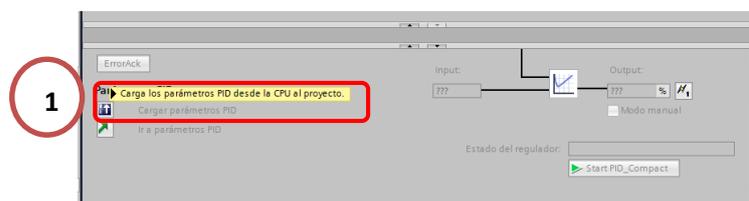


Figura.108: Carga de parámetros al PLC

4.7 Comunicación NI-OPC Servers de LabVIEW 2012 con Siemens S7-1200

La conectividad estándar OPC tiene una arquitectura de servidor – cliente, es decir una interfaz de programación de aplicaciones estándar para el intercambio de

datos que puede simplificar la comunicación I/O. No es necesario que el PLC tenga un programa en modo RUN, pero es recomendable hacerlo para confirmar la lectura de las señales. También es necesario haber instalado los módulos NI LabVIEW 2012 Real-Time Module y NI LabVIEW 2012 Datalogging and Supervisory Control Module, sin estos módulos no se podrá crear el servidor OPC.

- a. Dentro del administrador del OPC se crea un nuevo canal el cual servirá de comunicación entre el PC y el controlador. En la primera ventana de configuración únicamente se establece el nombre del canal tal como se muestra en la Figura 109 y luego presionar siguiente.

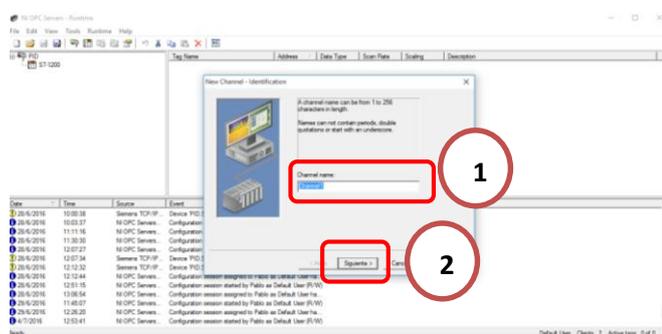


Figura.109: Creación del Canal de comunicación entre OPC y S7-1200

- b. En la siguiente ventana se selecciona el **Device Driver**, en este caso **Siemens TCP/IP Ethernet**, ya que la comunicación se realizará mediante Profibus. La Figura 110 muestra la selección del Device Driver y luego presionar siguiente.

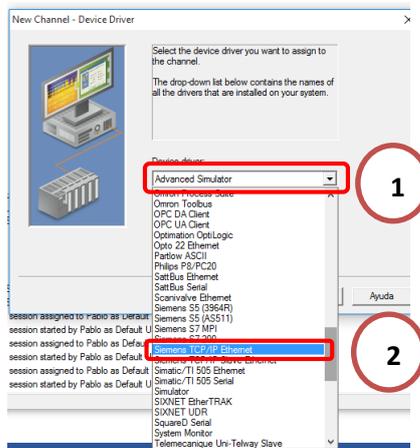


Figura.110: Selección del Device Driver.

- c. A continuación se designa los parámetros de comunicación de acuerdo a la configuración del PLC, es decir seleccionar la tarjeta de red de la PC. La Figura 111 muestra la selección del Network Adapter y luego presionar siguiente para continuar.

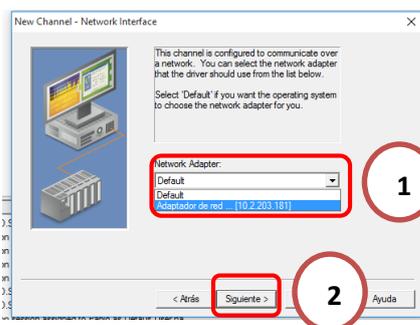


Figura.111: Selección del Network Adapter.

- d. En la ventana Write Optimizations se selecciona la opción **Write Only latest Value for all tags** ya que es la más recomendable dentro de un ciclo continuo y también se establece un ciclo de trabajo (duty cycle) de 10, tal como se muestra en la Figura 112, luego de esto presionar siguiente para continuar.

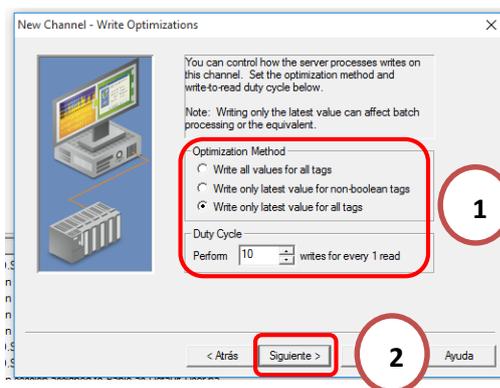


Figura.112: Selección de parámetros Write Optimizations.

- e. La última ventana muestra un resumen de la configuración del canal creado, luego de esto es necesario presionar Finalizar, como se muestra en la Figura 113.

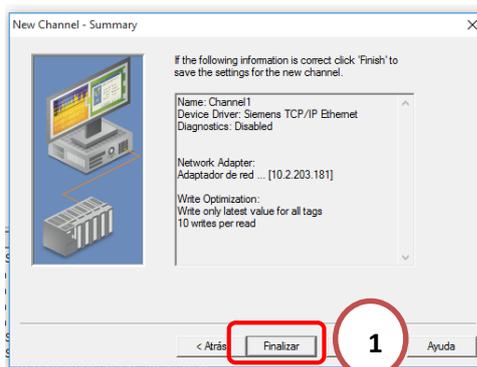


Figura.113: Pantalla de resumen de la configuración del canal.

- f. A continuación se agrega un dispositivo al nuevo canal. Para esto se da un clic en **Clicktoadd a device** y se ingresa el nombre del dispositivo tal como se muestra en la Figura 114 y luego presionar siguiente.

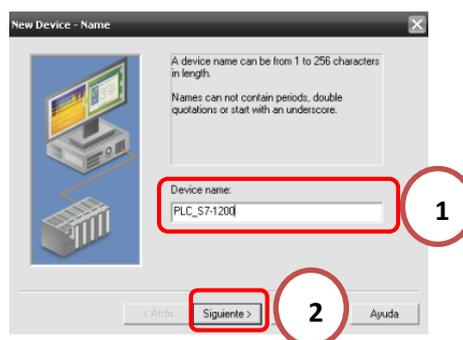


Figura.114: Nuevo dispositivo en el canal

- g. Después se selecciona el tipo de PLC con el que se va a realizar la comunicación, en este caso S7-1200 como se muestra en la Figura 115 y luego presionar siguiente.

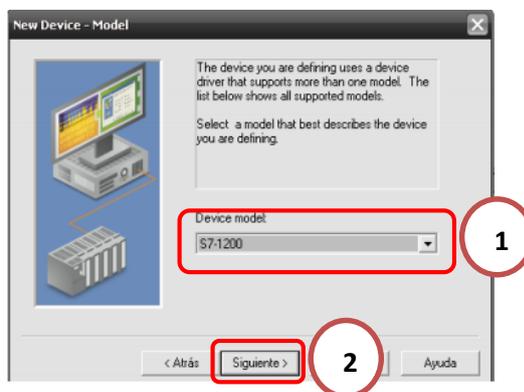


Figura.115: Tipo de PLC para la comunicación

- h. En la siguiente ventana se ingresa la dirección IP del PLC, anteriormente ya se estableció la configuración del PLC en donde se ingresó la dirección IP 192.168.1.3 y presionar siguiente, tal como se indica en la Figura 116 y luego presionar siguiente.



Figura.116: Tipo de PLC para la comunicación

- i. A continuación se configura los parámetros de tiempo de comunicación. **Request time out** es el tiempo que espera el driver sin comunicación antes de emitir una falla, los parámetros necesarios se establecen en la Figura 117.

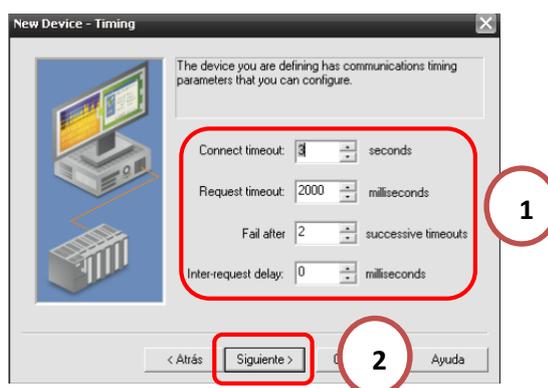


Figura.117: Configuración de los parámetros de tiempo de comunicación

- j. En la siguiente ventana se puede activar la opción **Auto Demotion** en donde el driver pueda intentar reconectar el dispositivo en caso de una pérdida de comunicación tal como se indica en la Figura 118 y presionar siguiente.

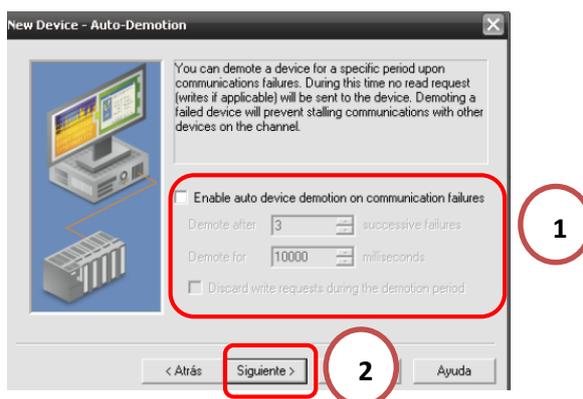


Figura.118: Activar/Desactivar la opción Auto Demotion

- k. Se selecciona el número de puerto a utilizar en TCP/IP Ethernet, en este caso 102 tal como se muestra en la Figura 119 y presionar siguiente.

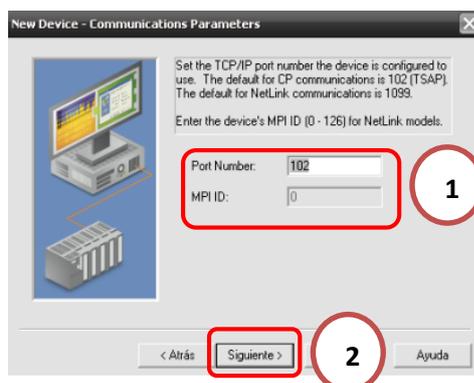


Figura.119: Número de puerto

- l. En la siguiente ventana presenta los parámetros del nuevo dispositivo en donde se establece el tipo de vínculo de conexión y demás parámetros de comunicación, los valores se establecerán tal como se muestra en la Figura 120 y presionar siguiente.

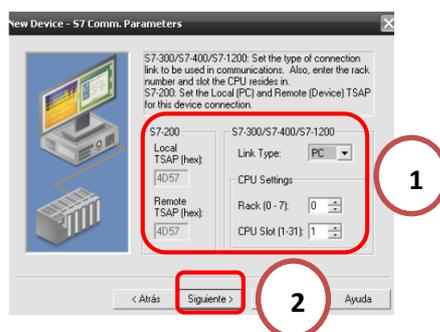


Figura.120: Parámetros del nuevo dispositivo para establecer tipo de conexión

- m. La siguiente ventana muestra el orden de bytes 16 y 32 bits de valores. El orden de bytes por defecto de los controladores Siemens S7-1200 es el mostrado en la Figura 121 y presionar siguiente.

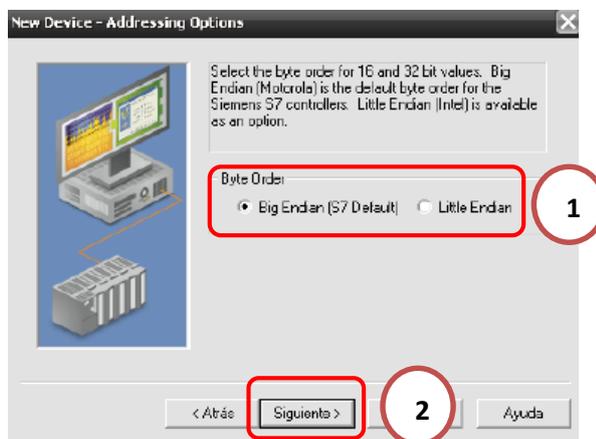


Figura.121: Parámetros por defecto del controlador S7-1200

- n. La pantalla Summary muestra el resumen de la configuración del dispositivo. Presionar el botón Finalizar para terminar la configuración como se muestra en la Figura 122 y presionar siguiente.

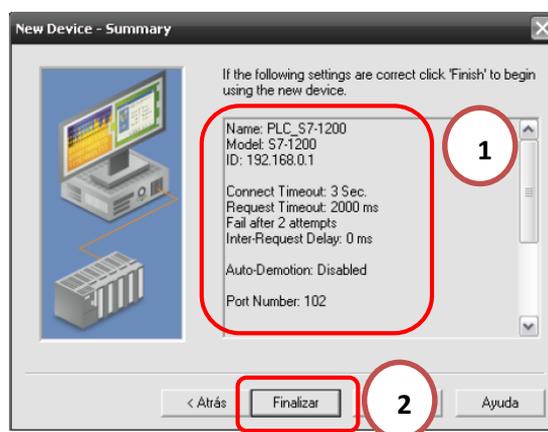


Figura.122: Resumen de la configuración del dispositivo

- o. A continuación es conveniente agregar las etiquetas estáticas (Static Tag) tanto para probar la comunicación como para que sea accedida posteriormente desde el cliente OPC. Para esto hay que presionar el enlace Clicktoadd a static tag, como se muestra en la Figura 123.

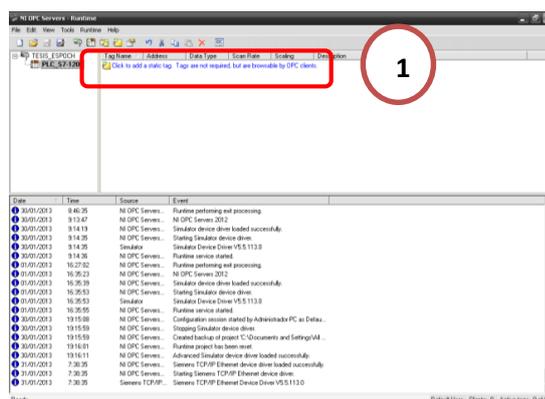


Figura.123: Creación de las etiquetas estáticas

- p. A continuación se configura las propiedades de la etiquetas como se muestra en la Figura 124 siguiente. Se debe tomar en cuenta el tipo de dato (boolean, int, float, etc) y **Scan Rate** el cual representará el tiempo que tarda en comunicarse el servidor OPC con el PLC, para este caso utilizaremos un tiempo de 100ms. Presionar Aceptar una vez configurada la etiqueta.

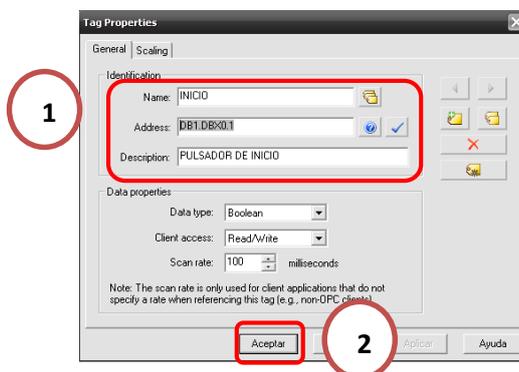


Figura.124: Configuración de las etiquetas estáticas

- q. Para confirmar que el PLC se esté comunicando con el servidor OPC correctamente se puede lanzar el cliente OPC rápido presionando el botón Quick Client como se muestra a continuación en la Figura 125.

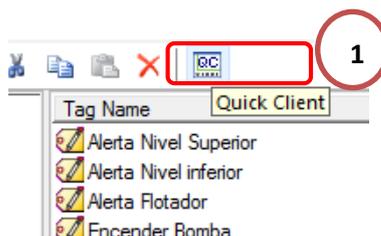


Figura.125: Quick Client

4.8 Monitoreo del módulo desde Labview 2012

Después de haber configurado el servidor OPC se puede conectar cualquier cliente OPC para monitorearse desde el software LabVIEW. A continuación se establecerán los pasos necesarios para la configuración.

- a. Crear un nuevo proyecto para monitorear el PLC. En MyComputer, hacer clic secundario y seleccionar New>I/O Server como se muestra en la Figura 126.

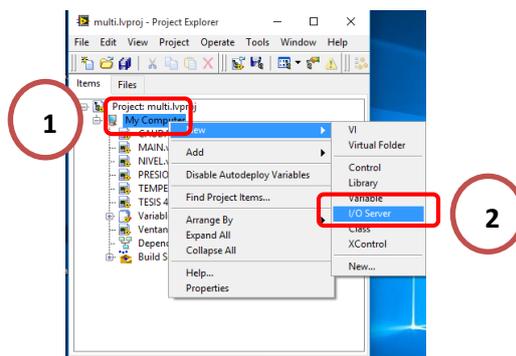


Figura.126: Creación del I/O Server

- b. Se selecciona el tipo de OPC Client de la lista, en este caso el OPC Client y presionar **continue** como se muestra a continuación.

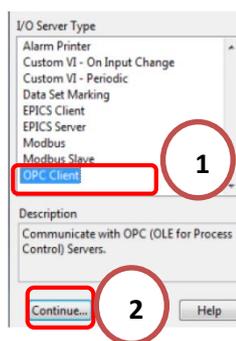


Figura.127: Selección del OPC Client

- c. La pantalla de configuración de Cliente OPC, se selecciona el servidor NationalInstruments.NIOPCServers. La opción de Update Rate (ms) debe ser configurado a 100 ms ya que las tags del cliente OPC se configuraron con un tiempo de 100 ms. Presionar el botón OK como se muestra en la Figura 128.

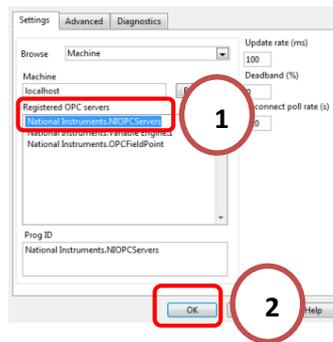


Figura.128: Configuración de Cliente OPC y el UpdateRate

- d. Después de crear y guardar la configuración del OPC es necesario agregar las etiquetas del Servidor OPC. Para esto se da clic secundario en la librería creada New>Variable como se muestra en la Figura 129.

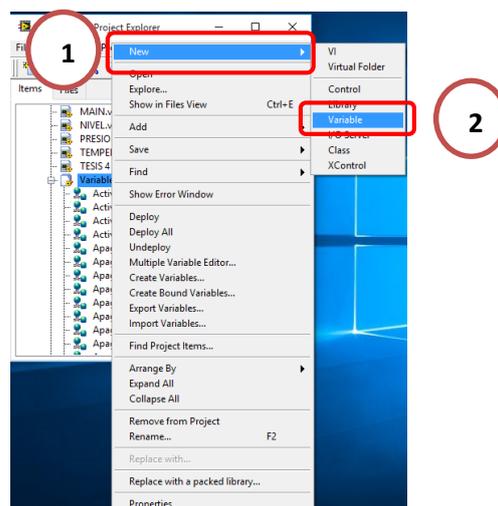


Figura.129: Agregar las etiquetas a la librería

- e. Dentro de la ventana de configuración, se ingresa el nombre de la variable y se habilita la casilla **Enable Aliasing** la cual permite habilitar la dirección de la variable dentro del servidor, la dirección de la tag se busca dando clic en el botón **Browse** como se muestra a continuación.

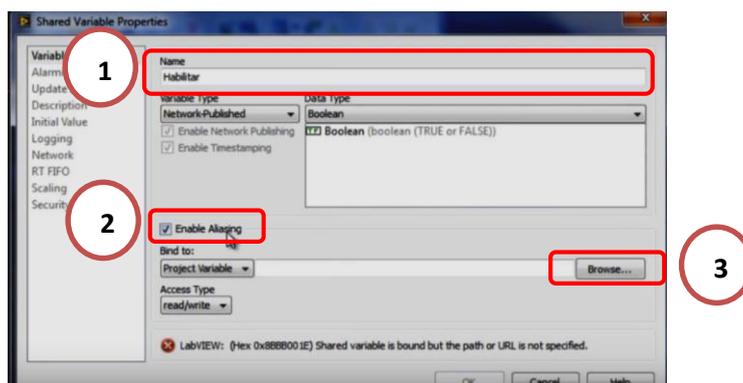


Figura.130: Configuración de la dirección de las Tags.

- f. Una vez dentro de **Browse for variable** se direcciona la variable creada en el Cliente OPC y presionar Ok como se muestra en la Figura 131.

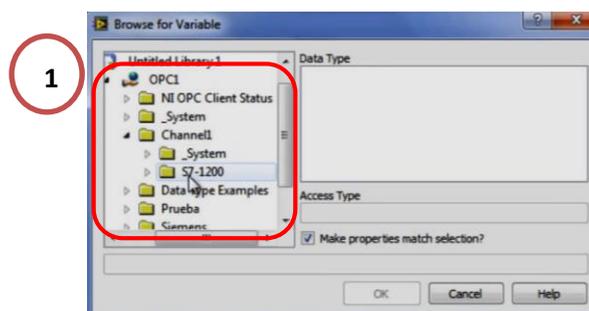


Figura.131: Dirección de la variable

- g. Una vez ingresada todas las variables se abre un nuevo VI el cual va a servir como HMI para monitorear el proceso. Dentro de esta ventana se ingresa todos los botones e indicadores de cada proceso, luego de esto es necesario asignar la variable a cada elemento ingresado, para esto se abre el **Diagrama de Bloque** y dar clic secundario al elemento **Create>Shared Variable Node>My computer>Variables.lvlib** y se selecciona la variable correspondiente como se muestra en la siguiente Figura 132.

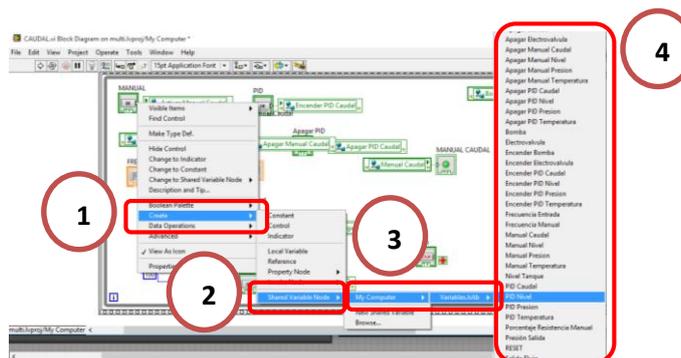


Figura.132: Asignación de la dirección de las Tags al VI.

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

Luego de la implementación del módulo de regulación de variables: nivel caudal presión y temperatura (ver Figura 133) se procedió a la ejecución de las pruebas de funcionamiento las cuales fueron realizadas para identificar causas y efectos, de programación y configuración de los dispositivos.

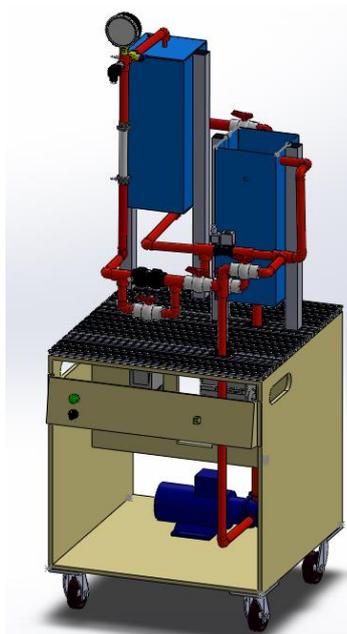


Figura.133: Módulo de regulación de variables de control.

5.1. Pruebas eléctricas

La Tabla 24 detalla la comprobación de las conexiones eléctricas y la verificación de los voltajes adecuados para cada uno de los equipos utilizados, de modo que no existan cortos circuitos o daños por sobre voltaje o corriente. De este modo evitar que al momento de que exista alimentación eléctrica resulte dañado alguno de los componentes eléctricos electrónicos.

Tabla.24:
Verificación de voltajes en dispositivos

Elemento	Voltaje	Correcto
Fuente de voltaje	24 V DC	√
Electroválvula	24 V DC	√
Sensores	24 V DC	√
Relés	24 V DC	√
PLC	120 V AC	√
Módulo de entradas y salidas	24 V DC	√
Bomba centrífuga	220 V AC	√
Variador de frecuencia	220 V AC	√

5.2. Pruebas hidráulicas.

La calibración del sistema hidráulico se realizó regulando la presión de trabajo a 0.3 bares como presión máxima del sistema. Las pruebas hidráulicas se realizaron manualmente mediante el variador de frecuencia con la bomba centrífuga verificando que no exista alguna fuga de fluido (agua), dependiendo de la velocidad necesaria se ajusta el rango de frecuencia a la que va a trabajar el variador de velocidad y así poder tener un adecuado control tanto de caudal, nivel, presión y temperatura.

5.3. Pruebas de monitoreo del PLC y HMI

Para programar y verificar su correcto funcionamiento del módulo didáctico se necesita de un cable Ethernet para realizar la comunicación, ya que el PLC dispone una interfaz PROFINET/Ethernet RJ45 10/100Mbps; se puede comprobar la comunicación y funcionamiento del sistema conectando el PLC y la PC, para esto se deberá establecer una conexión online entonces se ejecutará parpadear el led del PLC

desde la PC y de la pantalla, como se muestra en la Figura 134 eso significa que la conexión es exitosa entre los dispositivos.

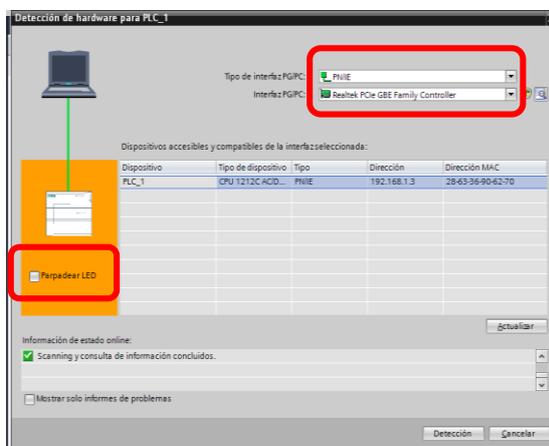


Figura.134: Verificación de la comunicación entre la PC y el PLC

5.4. Prueba de programación del módulo didáctico.

En la Figura 135 se muestra la manera de comprobar el funcionamiento del programa, observado la activación de los leds de las ENTRADAS Y SALIDAS del PLC y la pantalla de funcionamiento según el diseño del módulo.



Figura.135: PLC y HMI conectado y funcionando.

En la Figura 136 se muestra el funcionamiento de la programación en tiempo real mediante el mismo software donde se establece una conexión online y aparecerá la pantalla de color naranja y se visualizará el estado de las variables.

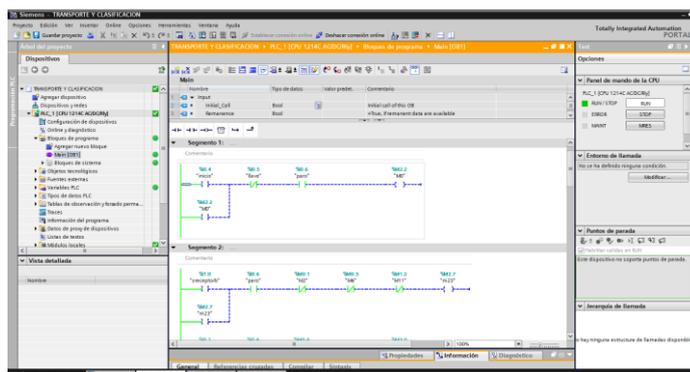


Figura.136: Monitoreo de la programación en tiempo real

5.5. Prueba de comunicación con el OPC SERVER.

Para realizar la conexión entre el OPC SERVER es necesario utilizar un cable Ethernet como se muestra en la Figura 137 que es el encargado de comunicar dichos dispositivos entre sí para realizar esta comunicación se coordina el funcionamiento de las variables a supervisar con las acciones que debe tomar el PLC ante la variación de la misma y con la interacción de la interfaz que debe mostrar de una forma amigable al operador el funcionamiento del módulo didáctico.



Figura.137: Cable Ethernet comunicación entre dispositivos.

Una vez realizada la conexión con el cable Ethernet se verifica la comunicación con el software TIA Portal dando doble clic en la opción de “dispositivos y redes” y a la derecha aparecerá el dispositivo que está conectado y listo para comunicarse con el OPC SERVER como se muestra en la Figura 138.

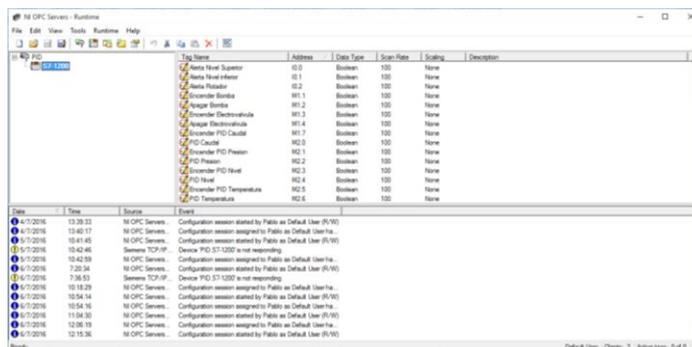


Figura.138: Dispositivos conectados en red (PLC y HMI)

5.6. Análisis de costos.

Se detalla a continuación en forma general los precios de los equipos adquiridos para la ejecución del proyecto, tanto el listado de los elementos mecánicos y eléctricos, para determinar el costo de inversión inicial.

Tabla.25:

Detalles de Costos

ITEM	CANTIDAD	DETALLE	PU(\$)	PT(\$)
1	1	MESA MÓVIL	140,00	140,00
2	1	PERFIL DE ALUMINIO	6,50	45,00
3	1	PLC S7 -1200 CPU 1212 AC/DC	300,00	300,00
4	1	MODULO DE ENTRADAS Y SALIDAS	328,00	328,00
5	1	VARIADO DE VELOCIDAD SINAMICS V20	178,00	178,00
6	1	SENSOR ULTRASÓNICO	280,00	280,00
7	1	FUENTE DE VOLTAJE	49,00	49,00
8	2	SENSOR CAPACITIVO	30,00	60,00
9	1	RTD	40,00	40,00
10	6	VÁLVULA MEDIA BOLA PLÁSTICAS	1,70	10,20
11	1	TUBERÍA ½ in X 6m	6,50	6,50
12	1	TUBERÍA ¾ in X 1m	3,00	3,00
13	2	TANQUE ACRÍLICO	100,00	100,00
14	1	MANÓMETRO	11,00	11,00
15	1	ELECTROVÁLVULA	35,00	35,00
16	2	VÁLVULA DE MEDIA BOLA 3/4	2,00	4,00

CONTINÚA



17	16	CODOS ½ in	0,35	5,60
18	6	T DE ½ in	0,50	3,00
19	1	SENSOR DE CAUDAL	15,00	15,00
20	1	FUSIBLES	1,50	1,50
21	1	RELÉ 110V AC	7,00	7,00
22	1	RELÉ 220V AC	25,00	25,00
23	20	CABLE FLEXIBLE #18 AWG	0,35	7,00
24	2	CAJAS DE PLÁSTICO	3,50	7,00
25	1	TRANSMISOR DE FRECUENCIA A VOLTAJE	40,00	40,00
26	1	ACONDICIONAMIENTO DE VOLTAJE	40,00	40,00
27	1	TRANSMISOR DE RESISTENCIA A CORRIENTE	20,00	20,00
28	1	LUZ PILOTO VERDE 24VDC	4,50	4,50
29	1	SELECTOR	4,50	4,50
30	1	INTERRUPTOR FLOTADOR	11,00	11,00
31	1	RESISTENCIA 1500W	15,00	15,00
32	4	SOPORTES PARA LOS TANQUES	5,00	20,00
33	2	CODO ¾ in	0,50	1,00
34	1	T ¾ in	0,50	0,50
35	6	UNIONES DE ½ in	1,50	9,00
36	1	UNIÓN DE ¾ in	2,00	2,00
37	1	CANALETAS	6,40	6,40
38	1	CABLE ETHERNET 3m	4,50	4,50
OTROS GASTOS				
41	1	MOVILIZACIÓN	40,00	40,00
42	1	IMPRESIONES	20,00	20,00
43	1	GASTOS VARIOS	80,00	80,00
TOTAL				1979,20

La Tabla 25 nos indica los gastos realizados por la construcción del módulo didáctico desde su diseño hasta su implementación final. El gasto asciende a un total de **1979,20** dólares americanos, cabe admitir que es muy factible implementar este tipo de módulo de clasificación debido a que el costo es menor, comparando a la adquisición de módulos ya fabricados que pueden llegar a costar \$28000 aproximadamente.

5.7. Manual de operación del módulo didáctico.

El manual de operación para el módulo didáctico de control de variables: caudal, presión, nivel y temperatura en lazo cerrado se presenta en el Anexo F.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El diseño y construcción del módulo didáctico para control caudal, presión, nivel y temperatura está orientado a fortalecer las competencias de los estudiantes, en el área del conocimiento de automática e instrumentación industrial.
- La selección adecuada de los componentes que conforman el módulo se realizó de tal forma que sea compacto y de fácil monitoreo, de esta manera se pueden realizar experimentos de una forma más cómoda, explorando diversas formas de lograr el mismo resultado, llegando a una experiencia cercana a la industria.
- Se construyó el módulo didáctico de tal forma que proporcione un caudal aproximado entre 150 - 400 L/h, y una presión entre 0,08 y 0,31 Bar.
- Los elementos mecánicos fueron diseñados mediante los métodos analítico y tecnológico, ocupando los softwares SOLIDWORKS 2015 y ANSYS 2012, con los cuales se determinó: dimensión, esfuerzo máximo, deflexión máxima y mínimo factor de seguridad, este último se sobredimensiono para poder incluir elementos que puedan mejorar el aprendizaje de los estudiantes.
- Se implementó la interfaz gráfica en el software LabVIEW 2012, utilizando el NI OPC Servers 2012 que permite la comunicación entre software TIA PORTAL V.13 y LabVIEW 2012 para centralizar el sistema de control de cada proceso, visualizar las variables de entradas y salidas en tiempo real y selecciona el funcionamiento individual de cada proceso.

6.2. Recomendaciones

- Verificar las conexiones de alimentación ya que el módulo cuenta con una entrada de 110 VAC y otra de 220 VAC.
- Revisar el manual de usuario y mantenimiento, así como los diagramas eléctrico, antes de realizar las prácticas de laboratorio.
- Para la comunicación entre el modulo didáctico y el usuario se recomienda utilizar un cable RJ-45 ya que la comunicación es mediante la Red Ethernet.
- Antes de iniciar cualquier proceso, se recomienda, cargar nuevamente la programación en el PLC y verificar la comunicación con el NI OPC Server, observando que las variables deben estar activas y en comunicación con el PLC.
- Al realizar el PID es recomendable optimizar con el valor de rango más bajo, es decir que mientras menor sea el valor mejor será el resultado de la optimización, ya que al utilizar un valor mayor puede haber una compensación mayor en los parámetros de ganancia proporcional, derivativa e integral.
- El módulo didáctico tiene un amplio campo para nuevos proyectos, recomendando utilizar una pantalla HMI y un control mediante comunicación AS-Interface, de esta manera se podrá crear una interfaz SCADA y fomentar a la investigación y nuevos modos de comunicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agua, I. I. (20 de Marzo de 2014). *INVESQUIA*. Recuperado el 05 de Diciembre de 2015, de <http://www.iqdinvesquia.com/equipos-y-suministro/medicion-y-control/>
- Arias, C. (27 de Octubre de 2015). *Scribd*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2015, de <http://es.scribd.com/doc/287202240/PID-Inicio#scribd>
- Buendía, L., Colás, P., & Hernández, F. (12 de Abril de 2001). *TIPOS DE VARIABLES*. Recuperado el 28 de Octubre de 2015, de http://www.ugr.es/~ugr_unt/Material%20M%F3dulo%201/variables.pdf
- Escobar, G., & Jiménez, L. (13 de Mayo de 2005). *Control Automático de Velocidad Vehicular*. Recuperado el 08 de Noviembre de 2015, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/escobar_a_g/portada.html
- FESTO. (20 de Abril de 2015). *Didactic Internacional*. (FESTO) Recuperado el 24 de Octubre de 2015, de FESTO: FESTO, «Didactic Internacional,» 2015. [En línea]. Available:
- FESTO. (2015). MANOMETRO. España: FESTO. Recuperado el 05 de Noviembre de 2015, de www.festo.com
- Ibarrola, E. (07 de Julio de 2015). *ROTAMETROS FUNCIONAMIENTO Y CALIBRACION*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2015, de <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/aero/Asignaturas/MecFluid/material/Teoria%20Rotametro.pdf>
- Idrovo, A., & Peña, C. (23 de Octubre de 2014). *CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL SOBRE LABVIEW, MONITOREO REMOTO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES PID PARA LAS VARIABLES DE NIVEL, CAUDAL, TEMPERATURA Y PRESION DE LA PLANTA MPS.PA COMPACT WORKSTATION*.

Recuperado el 30 de Octubre de 2015, de <file:///C:/Users/Carlos/Downloads/UPS-CT004660.pdf>

Lema, J. C., Sánchez, R., & Escudero, M. (13 de Abril de 2012). *MÓDULO DIDÁCTICO PARA CONTROL Y MONITOREO DE 3 VARIABLES, TEMPERATURA, PRESIÓN, IMPLEMENTADO CON SENSORES, PLC FLEXLOGIX Y SCADA FACTORY TALK(ALLEN BRADLEY)*. Recuperado el 30 de Octubre de 2015, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4663/1/UPS-GT000416.pdf>

Méndez Guillen, D. L. (15 de Febrero de 2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL Y TEMPERATURA DE TANQUE DE AGUA PARA PRÁCTICAS EN LA MATERIA DE CONTROL DE PROCESOS*. Recuperado el 30 de Octubre de 2015, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/123456789/1687/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-19.pdf>

Nise, N. (2006). *SISTEMAS DE CONTROL PARA INGENIERIA* (3ra ed.). México: GRUPO PATRIA CULTURAL S.A. Recuperado el 1 de Octubre de 2015, de <https://es.scribd.com/doc/65754838/Sistemas-de-Control-para-Ingenieria-3ra-Edicion-Norman-S-Nise>

Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A. Recuperado el 3 de Octubre de 2015, de https://books.google.com.ec/books?id=QK148EPC_m0C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

Palacios, E. (13 de Febrero de 2014). *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2015, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/5441/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-131.pdf>

Pérez, J. (28 de Julio de 2014). *Área Tecnológica*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2015, de <http://www.areatecnologia.com/herramientas/manometro.html>

- Philco, O. (30 de Abril de 2014). *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2015, de <http://docplayer.es/9836908-Universidad-catolica-de-santiago-de-guayaquil.html>
- PLASTIGAMA. (16 de Abril de 2010). *DISENSA ECUADOR*. Recuperado el 04 de Diciembre de 2015, de <http://disensa.com/main/images/pdf/plastigama.pdf>
- Rodríguez , F. (2004). *Control y robótica*. Almería: Universidad de Almería. Recuperado el 20 de Noviembre de 2015, de <https://books.google.com.ec/books?id=ccckBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Ruedas, C. (2008). *AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL: ÁREAS DE APLICACIÓN PARA LA INGENIERÍA*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_10_MEC01.pdf.
- Salvetti, D. (23 de Mayo de 2012). *Escuela de Educación Técnica "General José de San Martín"*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de <http://eet602ei.blogspot.com/2012/05/sistemas-de-control-lazo-abiertocerrado.html>
- Siemens. (2009). Guía para la puesta en marcha de variadores de velocidad. *Sitec*(Guía técnica N2), 1-2.
- SIEMENS. (s.f.). *PLC S7-1200 CPU 1212AC/DC*. Alemania: SIEMENS. Recuperado el 06 de Diciembre de 2015, de www.siemens.com
- SIEMENS. (s.f.). *SINAMICS V20*. Alemania: SIEMENS. Recuperado el 06 de Diciembre de 2015, de www.siemens.com

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:

Pablo Rafael Muñoz Valverde y Carlos Gabriel Pérez Guanoluisa

En la ciudad de Latacunga, a los **19 días del mes de agosto del 2016.**

Ing. Wilson Sánchez

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Katya Torres

DIRECTORA DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca Corrales

SECRETARIO ACADÉMICO