

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**TEMA:**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE ENTRENAMIENTO  
PARA EL CONTROL DE PROCESOS CONTINUOS**

**AUTOR:**

**DANILO STALIN AMAYA HERNÁNDEZ**

**DIRECTOR:**

**WILLIAM MANUEL MONTALVO LÓPEZ**

**Quito, mayo de 2015**

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO  
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Quito, mayo de 2015

-----  
Danilo Stalin Amaya Hernández

CC: 1721770756

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mi madre Susana Hernández, y a mis hermanos Fernando Alejandro, quienes han sido mi motivación y aliento para seguir adelante en cada objetivo planteado, y así culminar con mis estudios y trabajo de grado.

Además, dedico este trabajo a Pamela López, que día a día me ha brindado todo su apoyo y comprensión cuando había dificultades en el camino.

A ustedes por siempre mi amor y agradecimiento.

Danilo Stalin Amaya Hernández

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por haber formado parte fundamental en mi formación profesional y al Ing. William Montalvo, como tutor del trabajo de titulación quien ha orientado, apoyado y corregido el trabajo con un interés y entrega que ha sabido superar todas las expectativas puestas en una persona.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1 .....	2
1.1.Tema.....	2
1.2.Justificación.....	2
1.2.1.Delimitación espacial.....	2
1.3.Delimitación.....	3
1.3.1.Delimitación temporal.....	3
1.3.2.Delimitación académica.....	3
1.4.Planteamiento del problema.....	4
1.5.Objetivos .....	4
1.5.1.Objetivo general.....	4
1.5.2.Objetivos específicos .....	4
1.6.Beneficiarios de la propuesta de intervención .....	5
CAPÍTULO 2.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.Conceptos básicos de diseño.....	6
2.1.Diseño concurrente.....	6
2.1.1.Motivación (funciones).....	6
2.1.2.Problema (requisitos).....	6
2.1.3.Proceso y respuesta (diseño para fabricación y montaje).....	7
2.2.Medición y error.....	7
2.2.1.Definición de términos básicos.....	8
2.2.2.Exactitud y precisión.....	8
2.2.3.Error .....	9
2.2.4.Tipos de error.....	9
2.3.Conceptos básicos de los líquidos.....	10
2.3.1.Mecánica de fluidos.....	10
2.3.2.Conversión de unidades.....	13
2.4.Variables en procesos continuos.....	14
2.4.1.Medición de nivel de los líquidos.....	15
2.4.2.Medición de temperatura.....	17
2.5.Elementos finales de control.....	20

2.5.1. Válvulas para el control de fluidos.....	20
2.5.2. Bombas.....	24
2.6. Diagramas p&id .....	26
2.6.1. Líneas de instrumentación.....	27
2.6.2. Designación de instrumentos por círculos: .....	28
2.6.3. Fuentes de alimentación .....	29
2.6.4. Identificación de instrumentos: .....	29
2.7. Sistemas de control .....	30
2.7.1. Componentes básicos del sistema de control. ....	31
2.7.2. Tipos de sistemas de control .....	31
CAPÍTULO 3.....	33
DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE DISEÑO CONCURRENTE.....	33
3.1. Estado del arte .....	33
3.1.1. Tipo de variable a controlar .....	33
3.1.2. Rangos de medición de las variables .....	33
3.1.3. Opciones de programación.....	33
3.1.4. Portabilidad del equipo .....	34
3.2. Análisis de la competencia.....	34
3.3. Desarrollo de la casa de calidad .....	35
3.3.1. Diagrama de la casa de la calidad .....	36
3.3.2. Análisis de la casa de la calidad .....	37
3.4. Análisis funcional.....	38
3.4.1. Generación de módulos.....	39
3.5. Generar alternativas de solución .....	40
3.5.1. Módulo 1.....	40
3.5.2. Módulo 2.....	49
3.5.3. Integración de alternativas .....	61
3.6. Generación de la primera solución.....	63
3.7. Generación de la segunda solución .....	65
3.8. Planos.....	67
3.9. Protocolo de pruebas .....	70
3.10. Descripción del controlador .....	73
3.10.1. Controlador lógico programable .....	73

3.10.2. Montaje: .....	74
3.11. Dispositivos para el control de nivel. ....	75
3.11.1. P&id de nivel. ....	76
3.11.2. Sensor de nivel .....	76
3.11.3. Transductor electro neumático .....	78
3.11.4. Bomba .....	78
3.11.5. Contactor .....	86
3.11.6. Niquelinas .....	89
3.11.7. Sensor de temperatura rtd (detector de temperatura resistivo).....	94
3.11.18 Elementos adicionales.....	97
CAPÍTULO 4 .....	99
PRUEBAS Y RESULTADOS .....	100
4.1. Calibración de instrumentos.....	100
4.1.1. Instrumentos de nivel .....	100
4.1.2. Instrumentos de temperatura .....	104
CONCLUSIONES .....	107
RECOMENDACIONES .....	109
LISTA DE REFERENCIAS .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus-Sur .....	3
<i>Figura 2</i> Tipos de Flujo .....	11
<i>Figura 3.</i> Método de presión diferencial.....	17
<i>Figura 4.</i> Diagrama de la válvula de Globo.....	21
<i>Figura 5.</i> Diagrama de la válvula de Bola Fuente: Fuente: (Machado, 2001) .....	22
<i>Figura 6.</i> Diagrama Válvula Check .....	23
<i>Figura 7.</i> Diagrama electroválvula .....	24
<i>Figura 8:</i> Método de presión diferencial .....	31
<i>Figura 9:</i> Elementos de un sistema de control en lazo abierto .....	31
<i>Figura 10.</i> Casa de la calidad.....	36
<i>Figura 11.</i> Esquema modular de la maquina .....	39
<i>Figura 12.</i> Sensor de presión diferencial. Fuente:(Fisher) .....	41
<i>Figura 13.</i> Sensor de nivel por burbujeo. Fuente: (Fisher).....	42
<i>Figura 14.</i> Detector de temperatura resistivo. Fuente: (Cooper, 2004).....	43
<i>Figura 15.</i> Termopar autónomo con lectura digital .....	44
<i>Figura 16.</i> Controlador Lógico Programable genérico.....	44
<i>Figura 17.</i> Microprocesador genérico .....	45
<i>Figura 18.</i> Computador.....	46
<i>Figura 19.</i> Pantalla Touch.....	47
<i>Figura 20.</i> Alternativa de la solución 1 para el módulo 1 .....	48
<i>Figura 21.</i> Alternativa de la solución 2 para el módulo 1 .....	49
<i>Figura 22.</i> Breaker Schneider C60 .....	50
<i>Figura 23:</i> Breaker Chint.....	51
<i>Figura 24:</i> Relé de Schneider .....	51
<i>Figura 25.</i> Relé Camsco .....	52
<i>Figura 26.</i> Contactor General electric .....	53
<i>Figura 27:</i> Contactor Camsco.....	53
<i>Figura 28.</i> Servovalvula.....	54



<i>Figura 29.</i> Relé Camsco .....	55
<i>Figura 30.</i> Niquelina.....	55
<i>Figura 31.</i> Calentador de inmersión .....	56
<i>Figura 32.</i> Tubería de PVC.....	57
<i>Figura 33.</i> Tubería metálica genérica .....	57
<i>Figura 34.</i> Bomba rotodinámica .....	58
<i>Figura 35.</i> Bomba de desplazamiento. ....	59
<i>Figura 36.</i> Solución 1 para el módulo 2 .....	60
<i>Figura 37:</i> Solución 2 para el módulo 2 .....	61
<i>Figura 38.</i> Planos en 2D realizados en solidworks.....	67
<i>Figura 39.</i> Esquemático de la plataforma en 3D .....	68
<i>Figura 40.</i> Plataforma construida. ....	69
<i>Figura 41.</i> PLC S7-1200.....	73
<i>Figura 42.</i> Montaje PLC s7-1200.....	75
<i>Figura 43.</i> Lazo de control proceso de nivel .....	76
<i>Figura 44.</i> Transmisor de nivel.....	77
<i>Figura 45.</i> Transductor electro neumático.....	78
<i>Figura 46.</i> Montaje de la bomba.....	85
<i>Figura 47.</i> Datos de placa de la bomba.....	86
<i>Figura 48.</i> Contactor y relé térmico.....	88
<i>Figura 49.</i> Lazo de control de temperatura .....	88
<i>Figura 50.</i> Niquelina 700W .....	91
<i>Figura 51.</i> Niquelina 1500W .....	92
<i>Figura 52.</i> Señal de la red eléctrica pública .....	93
<i>Figura 53.</i> Señal acondicionada por el microcontrolador .....	93
<i>Figura 54.</i> Diagrama del diseño electrónico de la tarjeta para el control de temperatura de la niquelina de 700W en Proteus.....	94
<i>Figura 55.</i> RTD.....	95
<i>Figura 56.</i> Transmisor para el RTD .....	96
<i>Figura 57.</i> Diagrama de conexión transmisor de temperatura.....	97
<i>Figura 58.</i> Calibración Transmisor de nivel .....	100

<i>Figura 59.</i> Conexión de un amperímetro en serie.....	101
<i>Figura 60.</i> Ubicación del potenciómetro de ajuste a CERO.....	102
<i>Figura 61.</i> Conexión de potenciómetro al transductor electro-neumático Fisher ....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Conversión de unidades de presión.</i> .....	14
Tabla 2. <i>Comparativa entre RTD y Termopar.</i> .....	19
Tabla 3. <i>Alimentación de instrumentación</i> .....	27
Tabla 4. <i>Designación de instrumentos</i> .....	28
Tabla 5. <i>Fuentes de alimentación</i> .....	29
Tabla 6. <i>Identificación de símbolos</i> .....	29
Tabla 7. <i>Presentación de datos</i> .....	30
Tabla 8. <i>MPS® PA estación de trabajo</i> .....	34
Tabla 9. <i>Análisis de los requerimientos del cliente</i> .....	35
Tabla 10. <i>Especificaciones técnicas de la máquina</i> .....	37
Tabla 11. <i>Correlaciones entre las características técnicas</i> .....	38
Tabla 12. <i>Alternativas de solución para el módulo 1.</i> .....	40
Tabla 13. <i>Ventajas y desventajas del Sensor de nivel por presión diferencial</i> .....	41
Tabla 14. <i>Ventajas y desventajas del Sensor de nivel por burbujeo.</i> .....	42
Tabla 15. <i>Ventajas y desventajas del RTD.</i> .....	43
Tabla 16. <i>Ventajas y desventajas de los termopares.</i> .....	44
Tabla 17. <i>Ventajas y desventajas del PLC.</i> .....	45
Tabla 18. <i>Ventajas y desventajas microprocesador</i> .....	46
Tabla 19. <i>Ventajas y desventajas del Computador.</i> .....	46
Tabla 20. <i>Ventajas y desventajas de la Pantalla Touch</i> .....	47
Tabla 21. <i>Alternativas de solución para el módulo 1</i> .....	48
Tabla 22. <i>Alternativas de solución para el módulo 2.</i> .....	49
Tabla 23. <i>Ventajas y desventajas del Breaker Schneider</i> .....	50
Tabla 24. <i>Ventajas y desventajas del Breaker Chint</i> .....	51
Tabla 25. <i>Ventajas y desventajas del Relé Schneider</i> .....	52
Tabla 26. <i>Ventajas y desventajas del Relé Camsco</i> .....	52
Tabla 27. <i>Ventajas y desventajas del Contactor General Electric</i> .....	53
Tabla 28. <i>Ventajas y desventajas del Contactor Camsco</i> .....	54
Tabla 29. <i>Ventajas y desventajas del Servo válvula fisher</i> .....	54

Tabla 30. <i>Ventajas y desventajas del Válvula proporcional</i> .....	55
Tabla 31. <i>Ventajas y desventajas del Calentador de inmersión</i> .....	56
Tabla 32. <i>Ventajas y desventajas del Calentador de inmersión</i> .....	56
Tabla 33. <i>Ventajas y desventajas de la tubería PVC</i> .....	57
Tabla 34. <i>Ventajas y desventajas de la tubería metálica.</i> .....	58
Tabla 35. <i>Ventajas y desventajas de la bomba</i> .....	58
Tabla 36. <i>Ventajas y desventajas de la bomba</i> .....	59
Tabla 37. <i>Alternativas de solución</i> .....	60
Tabla 38 . <i>Alternativa de solución 1.</i> .....	62
Tabla 1. <i>Alternativa de solución 2</i> .....	63
Tabla 2. <i>Evaluación del peso específico de cada criterio</i> .....	64
Tabla 3. <i>Evaluación del criterio cuente con elementos robustos</i> .....	64
Tabla 42. <i>Evaluación del criterio Transportable</i> .....	64
Tabla 43. <i>Evaluación del criterio Opciones de programación</i> .....	64
Tabla 44. <i>Evaluación del criterio Control Inmediato</i> .....	64
Tabla 45. <i>Conclusiones Módulo 1</i> .....	65
Tabla 46. <i>Evaluación del criterio cuente con elementos robustos</i> .....	65
Tabla 47. <i>Evaluación del criterio Transportable</i> .....	65
Tabla 48. <i>Evaluación del criterio Opciones de programación</i> .....	65
Tabla 49. <i>Evaluación del criterio Control inmediato</i> .....	66
Tabla 50. <i>Conclusión del módulo 2</i> .....	66
Tabla 51. <i>Ensayo 1</i> .....	70
Tabla 52. <i>Ensayo 2</i> .....	71
Tabla 53. <i>Ensayo 3</i> .....	72
Tabla 54. <i>Valores específicos del diagrama psicométrico</i> .....	90
Tabla 55. <i>Comparación valores teóricos vs valores medidos</i> .....	102
Tabla 56. <i>Valores teóricos para el transductor electro-neumático Fisher modelo 546</i> .....	103
Tabla 57. <i>Comparación de los valores medidos vs valores teóricos</i> .....	104
Tabla 58. <i>Valores nominales del Pt-100</i> .....	105
Tabla 59. <i>Valores medidos del Pt-100</i> .....	105

Tabla 60. <i>Error entre el valor medido y el valor teórico en ohm</i> .....	106
Tabla 61. <i>Error entre el valor medido y el valor teórico en mA</i> .....	106

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Diagrama unifilar circuitos de fuerza .....	112
Anexo 2 Diagrama esquemático circuitos de fuerza.....	113
Anexo 3 Diagrama esquemático circuitos de control .....	114
Anexo 4 Diagrama De Moody .....	115
Anexo 5 Carta Psicométrica.....	116
Anexo 6 Tabla de propiedades de conducción térmica.....	117
Anexo 7 Programación AVR .....	118
Anexo 8 tablas de temperatura PT-100.....	119
Anexo 9: Fotografías de la planta .....	120
Anexo 10 Manual de uso y mantenimiento.....	121

## **RESUMEN**

La insuficiencia de equipos para el Control de Procesos Continuos, ha puesto en desventaja a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica Sede Quito Campus-Sur, limitando su desarrollo práctico por lo que se hace necesario tener una plataforma de entrenamiento de tipo industrial, que simule procesos continuos.

La construcción de la plataforma de entrenamiento de procesos continuos, se elabora en base a un diseño concurrente; la misma que estará integrada por diversos instrumentos como: sensores, transmisores (Nivel y Temperatura) y actuadores que se utilizan en la industria, un Controlador Lógico Programable-PLC que controla las variables de los procesos. Se realiza pruebas de calibración y funcionamiento de los instrumentos que conforman la plataforma de entrenamiento, permitiendo establecer con este proyecto aspectos básicos y fundamentales de aprendizaje relacionados a Instrumentación, Control Automático, Redes Industriales, etc., de la carrera de Ingeniería Electrónica.

La ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana campus Sur, permitirá que el presente proyecto involucre a la Industria Ecuatoriana, especialmente con el parque industrial del sur de Quito ya que se tendrá la capacidad de ofertar cursos y seminarios que ayuden a fortalecer los conocimientos para el manejo de procesos continuos.

## **ABSTRACT**

Inadequate equipment for continuous process control has disadvantaged students of the School of Electronic Engineering Headquarters Campus Quito-Sur limiting their practical development so it is necessary to have a training platform for continuous process control.

The construction of the platform of continuous training processes will be developed based on an optimal design; the same shall be composed of various instruments such as: sensors, transmitters (Level, Temperature) and actuators used in the industry, a PLC to control the variables. Calibration and performance testing of the instruments that make the training platform allowing this project to establish basic and fundamental aspects of learning electronic engineering will be used.

It will strengthen and complement practical skills with theoretical knowledge and that this platform will own equipment and real elements used in the Ecuadorian industry



## INTRODUCCIÓN

La construcción de la plataforma de entrenamiento pretende mejorar la forma de adquirir conocimientos prácticos acerca de los elementos que componen un lazo de control automático.

La distribución del proyecto se lo estructuró de la siguiente forma:

En el capítulo 1, se presenta el tema del proyecto, su justificación, su delimitación, el planteamiento del problema, los objetivos planteados y técnicas de investigación a utilizarlas en el desarrollo del proyecto.

El capítulo 2, presenta el marco conceptual de los temas que componen la elaboración del proyecto, enfocándose en la metodología de Diseño Concurrente para obtener un panorama claro de los sensores y actuadores así como la parte mecánica más óptima para la elaboración de la planta, referenciando la teoría con literatura especializada.

En el capítulo 3, se elabora los cálculos pertinentes para la selección de los elementos más adecuados que conformaran la Plataforma de Entrenamiento para el Control de Procesos Continuos; se desarrollan planos P&ID, así como acondicionadores de señal para establecer la comunicación de los elementos de lazo de control.

En el capítulo 4, se realiza pruebas de funcionamiento, así como la calibración de los sensores (Nivel y Temperatura) estableciendo rangos de funcionamiento, en base a criterios normados de los elementos que conforman la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos, además se elabora un protocolo para la utilización y mantenimiento del equipo y se presenta las conclusiones y recomendaciones del desarrollo del proyecto.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1. Tema**

Diseño y Desarrollo de una Plataforma de Entrenamiento para el Control de Procesos Continuos.

### **1.2. Justificación**

La carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito Campus-Sur dispone de insuficientes equipos de entrenamiento para el control de procesos continuos que asemejen a una planta real, limitando el aprendizaje práctico y manteniendo solo los conocimientos teóricos.

Entre las variables más comunes en la industria están el nivel y la temperatura, por lo que el presente proyecto familiarizará a los estudiantes con estos tipos de procesos permitiendo obtener mayores competencias. El equipo será utilizado para cursos de formación académica capacitando a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica y ampliando los conocimientos del personal docente.

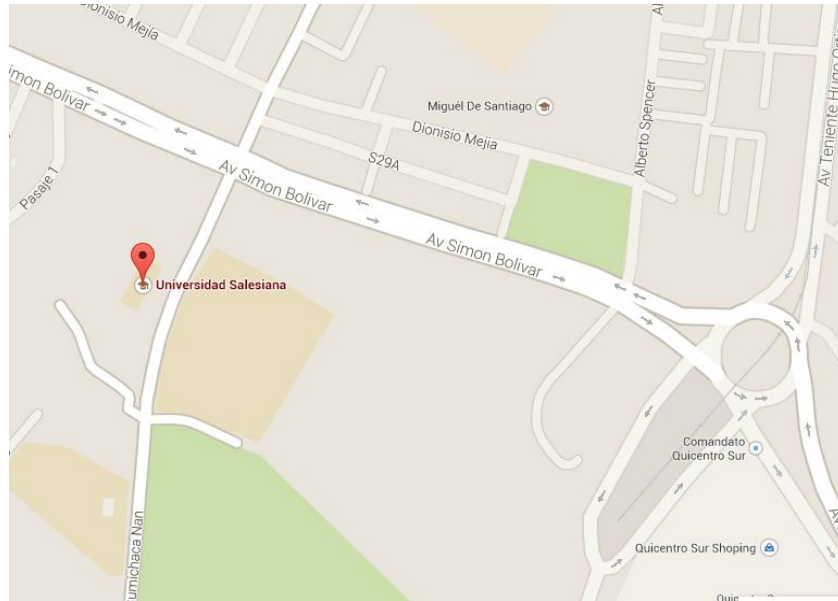
La creación de la plataforma brindará apoyo para el aprendizaje y comprensión de diferentes materias como: Teoría del diseño, Instrumentación, Sensores y Transductores, Automatización Industrial y Teoría de Control.

El equipo quedará como inventario de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus-Sur incrementando su patrimonio, ayudando a mejorar los estándares requeridos actualmente en el país.

#### **1.2.1. Delimitación espacial**

Este proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Quito, en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito-Campus Sur, para el laboratorio de Teoría de Control de la carrera de Ingeniería Electrónica.

## Mapa de ubicación



*Figura 1.* Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus-Sur  
Fuente: (Google Maps, 2014)

### 1.3. Delimitación

#### 1.3.1. Delimitación temporal

La realización del proyecto de grado tendrá una duración de 9 meses y comenzará a partir de la aprobación del plan de proyecto.

#### 1.3.2. Delimitación académica

Se realizará el diseño y construcción de una plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos en la que se pueda: diagnosticar, monitorear, y controlar las variables de nivel y temperatura.

Implementación de un proceso utilizando la metodología de Diseño Concurrente para construir la plataforma de entrenamiento; en donde se analizará y escogerá los sensores, transductores y actuadores óptimos para el proceso de Nivel y el proceso de Temperatura.

Se estudiará los métodos más comunes para calibración de instrumentos y mantenimiento de equipos de instrumentación para aplicarlos en la fase de pruebas y resultados de la plataforma de entrenamiento.

Al final se elaborará un protocolo de uso y mantenimiento del equipo determinando el correcto funcionamiento de la plataforma de entrenamiento.

#### **1.4.Planteamiento del problema**

En vista de que la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito campus Sur tiene insuficientes equipos de entrenamiento para control de procesos continuos y considerando además que en la industria se desarrolla el control de procesos en donde se ven involucrados variables de nivel y temperatura, se presenta el diseño y construcción de una plataforma de entrenamiento que facilitará el entendimiento y ayudará a relacionar la teoría con la utilización de elementos industriales reales de un proceso de esta magnitud dentro de una industria nacional e internacional.

Para el uso de los elementos industriales que conforman la plataforma de entrenamiento existirán procedimientos de verificación del estado de los sensores; lo cual facilitará a los estudiantes realizar pruebas de calibración y funcionamiento como se lo hace directamente en el campo.

#### **1.5.Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Diseñar y desarrollar una plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos de las variables de nivel y temperatura.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Estudiar el Diseño Concurrente para implementación de un prototipo.
- Analizar y escoger los sensores, transductores y actuadores óptimos para los procesos de nivel y temperatura que el mercado nacional ofrece.
- Diseñar y construir el Hardware de la plataforma de entrenamiento para procesos continuos de temperatura y nivel utilizando el Diseño Concurrente.

- Definir un protocolo de utilización, calibración y mantenimiento de los elementos que componen la plataforma de entrenamiento.

### **1.6. Beneficiarios de la propuesta de intervención**

Este proyecto beneficiará a los estudiantes y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito Campus-Sur, de la carrera de Ingeniería Electrónica para el laboratorio de Teoría de Control; ya que éste módulo permitirá la familiarización de los elementos utilizados a nivel industrial para procesos continuos.

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus-Sur tendrá la capacidad de ofertar cursos y seminarios tanto a empresas públicas y privadas como a personas particulares y estudiantes de otras universidades, especialmente al parque industrial del sur de Quito.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Conceptos básicos de diseño

#### 2.2. Diseño concurrente

Riba y Molina, en su estudio de Diseño Concurrente describen que el estudio de la metodología se inicia a partir de los años 1980, donde el Diseño Concurrente tiene como finalidad establecer parámetros de diseño en los cuales se propone nuevos criterios, metodologías y herramientas (de carácter concurrente) para que estos conocimientos tiendan a solucionar los problemas e integrar acciones para que el producto final sea elaborado. (Molina, 2006).

Sanz Adán Felix, establece de manera cronológica una metodología que facilita la interpretación de las etapas para el desarrollo del diseño de un producto y son:

- Motivación: En esta etapa se determina las funciones que debe cumplir el producto para conseguir los objetivos.
- Problema: Requisitos del diseño.
- Proceso: Desarrollo de producto (proceso de diseño de detalle).
- Respuesta: Producto diseñado.

##### 2.2.1. Motivación (Funciones)

Sanz Adán Felix, describe que las funciones son todas las operaciones que debe poder realizar un producto para conseguir los objetivos que impulsaron su diseño. Las funciones pueden ser: Funciones de uso, Funciones de manipulación y Funciones comunicativas. (Felix, 2002)

##### 2.2.2. Problema (Requisitos)

Sanz Adán Felix, se detalla que las condiciones que debe cumplir el producto para que satisfaga las funciones para la que fue creada. Dentro de los requisitos se muestran los siguientes:

- Requisitos técnicos: son todas las características derivadas de su condición estructural y de los elementos cinemáticos integrados.

- Requisitos Ergonómicos: se derivan de la intervención de los usuarios en la manipulación.
- Requisitos Estéticos: se derivan de las consideraciones estéticos-formales.
- Requisitos de uso: se derivan de la alimentación y mantenimiento del producto durante su vida útil.
- Requisitos medio ambientales: se derivan del impacto del producto en el Medio Ambiente, durante su vida útil y al finalizar ésta.

### **2.2.3. Proceso y Respuesta (Diseño para fabricación y montaje)**

Riba y Molina, describe que el Desarrollo del Sistema de Fabricación se subdivide en tres subprocesos que se pueden adecuar de acuerdo a la necesidad del proyecto y en los cuales se encuentran:

- Transferencia de Producto: cuando el componente es una parte estándar o existe un proveedor disponible que cumple con los requerimientos de calidad, costo y tiempo de entrega.
- Transferencia de Tecnología: cuando el componente debe ser manufacturado por un proceso convencional y se cuenta con un proveedor adecuado de la tecnología, entonces se hace uso de esta tecnología.
- Diseño de Máquina: cuando el componente a ser manufacturado no es estándar y es necesario el uso de tecnologías no convencionales que no están disponibles se ve en la necesidad de desarrollar nuevos equipos para fabricar el componente.

### **2.2. Medición y error**

Cooper, menciona que el proceso de medición requiere de un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de una variable. Los instrumentos constituyen una extensión de las facultades humanas y en muchos casos permiten a

las personas determinan el valor de una cantidad desconocida la cual no podría medirse utilizando únicamente facultades sensoriales.

Un instrumento se puede definir como un dispositivo para determinar el valor o la magnitud de una variable, el instrumento electrónico como su nombre lo indica, se basa en principios eléctricos o electrónicos para efectuar una medición. (Cooper, 2004).

### **2.2.1. Definición de términos básicos**

- Exactitud: aproximación con la cual la lectura de un instrumento se acerca al valor real de la variable medida.
- Precisión: medida de la reproducibilidad de las mediciones; esto es, dado el valor fijo de una variable la precisión es una medida del grado de concordancia dentro de un grupo de mediciones o instrumentos.
- Sensibilidad: relación de la señal de salida o respuesta del instrumento respecto al cambio de la entrada o variable medida.
- Resolución: es el cambio más pequeño en el valor medido al cual responde el instrumento.
- Error: es la desviación a partir del valor real de la variable medida.

### **2.2.2. Exactitud y precisión**

De acuerdo a los términos de exactitud y precisión antes mencionados se puede inferir que, la precisión se componen de dos características: conformidad y el número de cifras significativas con las cuales se puede realizar la medición. Se puede tomar por ejemplo una resistencia cuyo valor real es de 1384572  $\Omega$  pero al medirlo con un óhmetro, el valor que indica es de 1,4 M  $\Omega$ , el cual es tan cercano al valor real como se pueda estimar la lectura de la escala, el valor creado por las limitaciones de la escala es un error de precisión.

En trabajos críticos, una buena práctica dicta que el observador realice un conjunto independiente de mediciones con diferentes instrumentos o técnicas de medición, no sujetos a los mismos errores sistemáticos.



### 2.2.3. Error

Creus, define al error como la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales, como resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parásitas que afectan al proceso, (Creus, 2010). Es decir:

- $\text{Error} = \text{Valor leído en el instrumento} - \text{Valor ideal de la variable medida}$

El error absoluto es:

- $\text{Error absoluto} = \text{Valor leído} - \text{Valor verdadero}$

El error relativo representa la calidad de la medida y es:

- $\text{Error relativo} = \text{Error absoluto} / \text{Error verdadero}$

Bonilla, establece que si el proceso está en condiciones de régimen permanente existe el llamado error estático. En condiciones dinámicas el error varía considerablemente debido a que los instrumentos tienen características comunes a los sistemas físicos: absorben energía del proceso y esta transferencia requiere cierto tiempo para ser transmitida, lo cual da lugar a retardos en la lectura del aparato. Siempre que las condiciones sean dinámicas, existirá en mayor o menor grado el llamado error dinámico (diferencia entre el valor instantáneo y el indicado por el instrumento): su valor depende del tipo de fluido del proceso, de su velocidad, del elemento primario (termopar, bulbo y capilar), de los medios de protección (vaina), etc. El error medio del instrumento es la media aritmética de los errores en cada punto de la medida determinados para todos los valores crecientes y decrecientes de la variable medida (Bonilla, 2012).

### 2.2.4. Tipos de error.

Bonilla, menciona que Ninguna medición se puede realizar con una exactitud perfecta, pero es importante descubrir cuál es la exactitud real y como se generan los diferentes errores en las mediciones, (Bonilla, 2012).

Los errores pueden provenir de diferentes fuentes, Cooper los clasifica en tres categorías principales:

- Errores gruesos: son gran parte de origen humano, como la mala lectura de los instrumentos, ajuste incorrecto o aplicación inapropiada, así como equivocaciones en los cálculos.
- Errores Sistemáticos: se deben a fallas de los instrumentos, como partes defectuosas o gastadas, y efectos ambientales sobre el equipo del usuario.
- Errores aleatorios: ocurren por causas que no se pueden establecer directamente debido a variaciones aleatorias en los parámetros o en los sistemas de medición.

### **2.3. Conceptos básicos de los líquidos**

En la Industria Ecuatoriana existen procesos en los cuales los líquidos son parte fundamental en procesos de manufactura de alimentos, medicinas, textiles, entre otras. Un ejemplo claro en el que puede evidenciar el uso de líquidos es en la Industria Textil, donde se utiliza grandes cantidades de agua para el proceso de limpieza el cual consiste en limpiar y preparar las telas crudas para eliminar todas las impurezas generadas en el proceso de tejido.

#### **2.3.1. Mecánica de fluidos**

Bonilla, destaca que entre los fluidos están incluidos los líquidos, que fluyen por acción de la gravedad hasta ocupar la región más baja de la superficie del recipiente que lo contiene, y los gases que se expanden hasta llenar por completo el recipiente sin importar cuál sea la forma, (Bonilla, 2012).

La propiedad fundamental que caracteriza a los fluidos (líquidos y gases) es que carecen de rigidez y en consecuencia se deforman fácilmente. Por este motivo un fluido no tiene forma y diferentes porciones del mismo se pueden acomodar dentro del recipiente que lo contiene. En esto difieren de los sólidos, que en virtud de su rigidez tienen una forma definida, que sólo varía si se aplican fuerzas de considerable intensidad, (Gratton, 2002).

### 2.3.1.1. Propiedad de los líquidos

#### Densidad

Bonilla, en su tesis la define como una propiedad intrínseca de los materiales, la densidad de un líquido homogéneo es su masa dividida entre su volumen, y puede depender de muchos factores tales como presión y temperatura pero se la considera constante en grandes intervalos de cambio de dichas variables (Bonilla, 2012).

Para calcular la densidad se consideran la ecuación 2.1.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{m}{V} = d$$

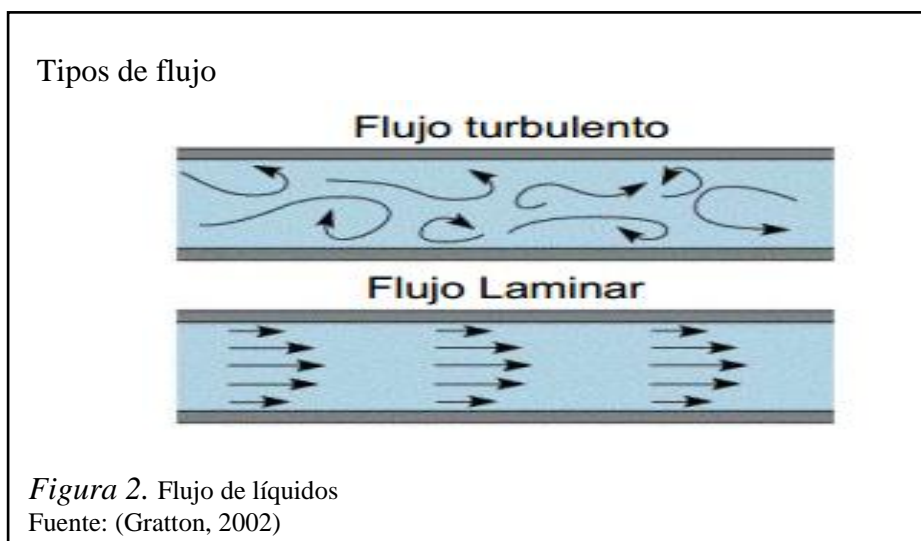
Ecuación 2.1. Cálculo de Densidad  
Fuente: (Bonilla, 2012)

La densidad específica de una sustancia es un valor adimensional que corresponde al cociente entre su valor de densidad y la densidad del agua.

El gramo fue originalmente elegido para que fuese igual a la masa de un  $cm^3$  de agua en el sistema CGS es igual a  $1 g/cm^3$ , correspondiente a  $10^3 Kg/cm^3$  en el Sistema Internacional de Medida (SI).

#### Flujo

Gratton, define al flujo como el movimiento de un fluido, la descripción formal del flujo de líquidos se expresa por relaciones entre presión, densidad y velocidad. El flujo de líquidos se puede dividir en flujo laminar y turbulento (Gratton, 2002).



Los diferentes regímenes de flujo y la asignación de valores numéricos de cada uno fueron reportados por primera vez por Osborne Reynolds en 1883.

Reynolds observó que el tipo de flujo adquirido por un líquido que fluye dentro de una tubería depende de la velocidad del líquido, el diámetro de la tubería y de algunas propiedades físicas del fluido.

Así, el número de Reynolds es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido, su velocidad y la geometría del ducto por el que fluye y está dado por:

$$N_{R} = \frac{\rho v D}{\eta}$$

Ecuación 2.2. : Número de Reynolds

Donde:

$\rho$  es la densidad del fluido,

$v$  su velocidad media,

$\eta$  la viscosidad y

$D$  el diámetro del tubo.

### **Presión**

Gratton define a la presión como una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea. En el Sistema Internacional de Unidades la presión se mide en una unidad derivada que se denomina pascal (Pa) que es equivalente a una fuerza total de un newton actuando uniformemente en un metro cuadrado. En el Sistema Inglés la presión se mide en libra por pulgada cuadrada (pound per square inch o psi) que es equivalente a una fuerza total de una libra actuando en una pulgada cuadrada (Gratton, 2002).

La presión ejercida sobre un líquido debe ser producto de una fuerza dirigida perpendicularmente a la superficie del mismo, la presión conocida como presión hidrostática, es una presión cuyo valor, en general varía de un punto a otro del

líquido, dicho valor depende directamente de la distancia vertical o desnivel, entre la superficie del líquido y la profundidad a la cual se desea determinar la presión.

La presión hidrostática no es afectada por la forma del recipiente, y es la misma en todos los puntos localizados a la misma profundidad.

En caso del agua cuya densidad es constante en todo su volumen, la presión aumenta linealmente con la profundidad. La presión en la parte inferior de la columna debe ser mayor que en la superior ya que debe soportar el peso de la columna.

### **2.3.2. Conversión de Unidades**

La conversión de unidades es la transformación del valor numérico de una magnitud física, expresado en una cierta unidad de medida, en otro valor numérico equivalente y expresado en otra unidad de medida de la misma naturaleza. Este proceso suele realizarse con el uso de los factores de conversión y las s de conversión de unidades.

Frecuentemente basta multiplicar por una fracción (factor de una conversión) y el resultado es otra medida equivalente, en la que han cambiado las unidades. Cuando el cambio de unidades implica la transformación de varias unidades, se pueden utilizar varios factores de conversión uno tras otro, de forma que el resultado final será la medida equivalente en las unidades que se busca.

#### **2.3.2.1. Conversión de unidades de presión**

La siguiente Tabla 1 muestra las diferentes unidades de conversión para la magnitud física denominada presión:

Tabla 1.  
*Conversión de unidades de presión.*

	<b>pascal (Pa)</b>	<b>bar (bar)</b>	<b>atmósfera técnica (at)</b>	<b>atmósfera (atm)</b>	<b>libra por pulgada cuadrada (psi)</b>
1 Pa	1 $\text{N/m}^2$	$10^{-5}$	$1,0197 \times 10^{-5}$	$9,8692 \times 10^{-6}$	$145,04 \times 10^{-6}$
1 bar	100.000	$10^6 \text{ dyn/cm}^2$	1,0197	0,98692	14,5037744
1 mbar	100	$10^{-3}$	0,0010197	0,00098692	0,014503774 4
1 at	98.066,5	0,980665	$\equiv 1 \text{ kgf/cm}^2$	0,96784	14,223
1 atm	101325	1,01325	1,0332	$\equiv 1 \text{ atm}$	14,696
1 torr	133,322	$1,3332 \times 10^{-3}$	$1,3595 \times 10^{-3}$	$1,3158 \times 10^{-3}$	$19,337 \times 10^{-3}$
1 psi	$6,894 \times 10^3$	$68,948 \times 10^{-3}$	$70,307 \times 10^{-3}$	$68,046 \times 10^{-3}$	$\equiv 1 \text{ lbf/in}$

Nota. Diferentes unidades para conversión de la variable física de presión.

Fuente: (Gratton, 2002).

Elaborado por: Amaya Danilo.

#### **2.4. Variables en procesos continuos.**

Las variables más comunes a controlar en la industria ecuatoriana son temperatura y nivel puesto que son muy utilizadas en la industria alimenticia en procesos de manufactura de productos de consumo masivo, este tipo de variables también suelen ser utilizadas en industrias farmacéuticas en procesos en donde la temperatura

requiere un control muy fino para la esterilización de los instrumentos así como los envases que se utilizan para almacenar el producto.

#### **2.4.1. Medición de nivel de los líquidos**

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

Creus, menciona que la utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir "inteligencia" en la medida del nivel, y obtener exactitud en la lectura alta, del orden del  $\pm 0,2\%$ , en el inventario de materias primas en transformación en los tanques del proceso (Creus, 2010).

El transmisor de nivel "inteligente" hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

##### **2.4.1.1. Medidores de nivel de líquidos**

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo directamente:

- La altura de líquido sobre una línea de referencia.
- La presión hidrostática.
- El desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso.
- Aprovechando características eléctricas del líquido
- Utilizando otros fenómenos.

El tipo de instrumentos más utilizados para medir el nivel de los líquidos son los que están basados en la presión hidrostática, puesto que este método permite tener una precisión muy alta, además que es relativamente sencilla su instalación y mantenimiento en comparación con los otros instrumentos.

##### **a) Instrumentos basados en la presión hidrostática.**

Existen varios métodos para medir el nivel de los líquidos que están basados en la presión hidrostática, entre los cuales se encuentran:

- Método manométrico
- Método sensor de nivel por membrana
- Método pro burbujeo
- Método de presión diferencial

Este último método se basa como su nombre lo indica en la medición de la presión hidrostática en el fondo del tanque o la presión diferencial entre dos puntos del tanque, la cual será directamente proporcional al nivel de líquido en el tanque.

Estos instrumentos se pueden usar tanto en tanques abiertos como en tanques cerrados, sin embargo su funcionamiento es diferente en ambos casos. Para tanques abiertos se usa la presión hidrostática manométrica y en tanques cerrados se usa una presión diferencial entre la parte inferior y superior del tanque. El rango de estos instrumentos varía entre 0 a 8 cm de agua hasta el rango máximo del manómetro utilizado para medir la presión.

Entre todos los métodos basados en presión hidrostática para la medición del nivel, se destaca el método de presión diferencial por su sencillo montaje y mantenimiento, fácil de ajustar, precisión razonable, amplio uso en aplicaciones de la industria alimentaria donde se manejan productos con viscosidad cambiante.

- **Método de presión diferencial**

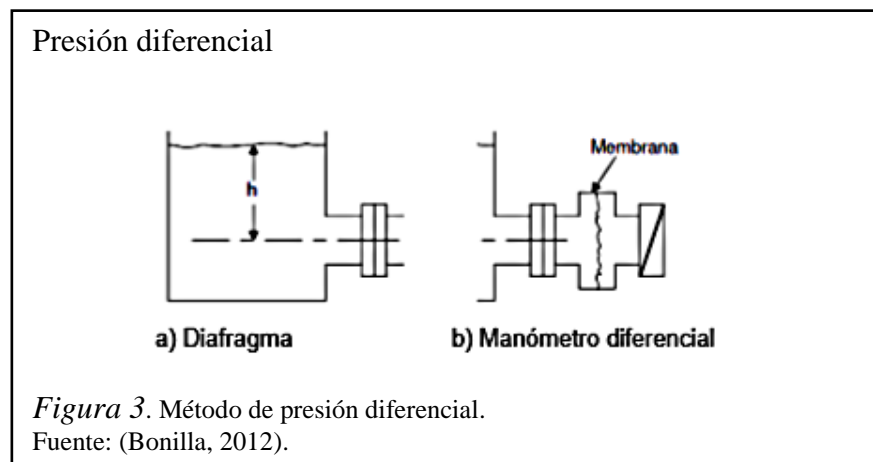
En la industria se usa este método puesto que los sensores que están basados en el método de presión diferencial tienen muchas ventajas frente a otros entre las cuales destacan:

- Sencilla instalación
- No necesita un mantenimiento periódico
- Medición de presión diferencial extremadamente pequeña mediante detección de valor de alta precisión.
- Alta fiabilidad gracias a la membrana de sobrecarga integrada
- Múltiples posibilidades de aplicación a través de una gran selección de rangos de medición y conexiones a proceso.

El método de presión diferencial consiste en un diafragma en contacto con el líquido, el mismo que mide la presión hidrostática en un punto en el fondo, en un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido y a su



densidad. El diafragma forma parte de un transmisor de presión diferencial ya sea neumático o electrónico (Figura 3) el cual entrega una señal de salida normalizada en voltaje o corriente dependiendo del tipo de transmisor, que permite determinar el nivel del líquido. Los transmisores neumáticos generan una señal neumática normalizada lineal de 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) para el campo de medida de 0 a 100 % de la variable, mientras que los electrónicos generan la señal estándar de 4-20 mA D.C. o de 0-10 V D.C. según sea el elemento transmisor, (Bonilla, 2012).



#### 2.4.2. Medición de temperatura

La medida de la temperatura es una de las más comunes y de las más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Un ejemplo es la industria de farmacéutica donde la esterilización de los elementos se los hace a través de baño de agua caliente y la medición de la temperatura del agua se la realiza con dispositivos que tienen alta fiabilidad. Casi todos los fenómenos físicos están afectados por la temperatura y se utiliza, frecuentemente, para inferir el valor de otras variables del proceso.

Creus, describe diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y que son utilizados para medirla:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- La f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).

- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

De este modo, se emplean los siguientes instrumentos: termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termómetros de resistencia, termopares, pirómetros de radiación, termómetros ultrasónicos y termómetros de cristal de cuarzo, (Creus, 2010).

#### **2.4.2.1.Sensores de temperatura**

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios de señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura que son: termistores, termopares y RTD. (Maraña, 2005)

- Termistor: el termistor está basado en que el comportamiento de la resistencia de los semiconductores es variable en función de la temperatura. Existen los termistores tipo NTC y los termistores tipo PTC. En los primeros, al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia. En los PTC, al aumentar la temperatura, aumenta la resistencia.

El principal problema de los termistores es que no son lineales según la temperatura por lo que es necesario aplicar fórmulas complejas para determinar la temperatura según la corriente que circula y son complicados de calibrar.

- Termopar: el termopar, también llamado termocupla y que recibe este nombre por estar formado por dos metales, es un instrumento de medida cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico.

Un material termoeléctrico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica.

El termopar genera una tensión que está en función de la temperatura que se está aplicando al sensor. Midiendo con un voltímetro la tensión generada, conoceremos la temperatura.

Los termopares tienen un amplio rango de medida, son económicos y están muy extendidos en la industria. El principal inconveniente estriba en su precisión, que es pequeña en comparación con sensores de temperatura RTD o termistores.

- RTD (Detector de Temperatura Resistivo): describe que un RTD es un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.

Los metales empleados normalmente como RTD son platino, cobre, níquel y molibdeno.

De entre los anteriores, los sensores de platino son los más comunes por tener mejor linealidad, más rapidez y mayor margen de temperatura, pero también son los más caros. La sonda más utilizada es la Pt-100 (Resistencia de 100 ohmios a 0°C).

Las termo-resistencias no se utilizan por encima de los 500 °C debido a las desviaciones producidas.

Maraña, establece que la velocidad de respuesta es similar en ambos casos, siendo el coste del termopar más barato como equipo aunque más caro como instalación cuando se requiere un cable de compensación. (Maraña, 2005). En la siguiente tabla 2 se establece la comparación entre un RTD y termopar.

Tabla 2.  
*Comparativa entre RTD y Termopar.*

<b>Características</b>	<b>RTD de Platino</b>	<b>Termopar</b>
Rango normal de trabajo	-100 a 600	-200 a 1500
Exactitud típica	±0.1 °C a 0°C hasta ±1.3 °C a 600 °C	±2.2 °C a 0°C hasta ±10 °C a 1200 °C
Desviación típica (Deriva)	< ± 0.1 °C / año	< ± 5 °C / año
Linealidad	Excelente	Buena
Ventajas	Mejor exactitud y estabilidad	Mayor rango de medida
Desventaja	Menos robustos que los termopares.	Requiere compensación de la unión fría.

Nota. °C= Grados Celsius Fuente: (Maraña, 2005).  
Elaborado por: Amaya Danilo,

## **2.5.Elementos finales de control.**

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

El elemento final de control se conoce con el nombre de actuador, el cual es el elemento situado en el final del sistema, se encarga de designar ciertas acciones de control de suma importancia, de hecho, su funcionamiento principal, después de recibir señales eléctricas del controlador es el de mantener el sistema en movimiento, siguiendo las indicaciones y requerimientos que fueron determinados previo a instalar el sistema con sus elementos, entre este, el actuador (Velazquez, 2004).

### **2.5.1. Válvulas para el control de fluidos**

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de un fluido cualquiera mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. Las válvulas son uno de los instrumentos de control esenciales en la industria, (Greene, 1988).

#### **2.5.1.1.Tipos de Válvulas.**

Debido a las múltiples necesidades de la industria se han desarrollado varios diseños de válvulas las mismas que se diferencian principalmente por la forma y acción del obturador y pueden ser clasificadas en las siguientes categorías:

- Válvulas de Compuerta
- Válvulas de Macho
- Válvulas de globo
- Válvula de bola
- Válvulas de mariposa
- Válvulas de apriete
- Válvulas unidireccionales y de desahogo

En la figura 4, se detalla la válvula de globo correspondiente a vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que cierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería, es recomendada para:

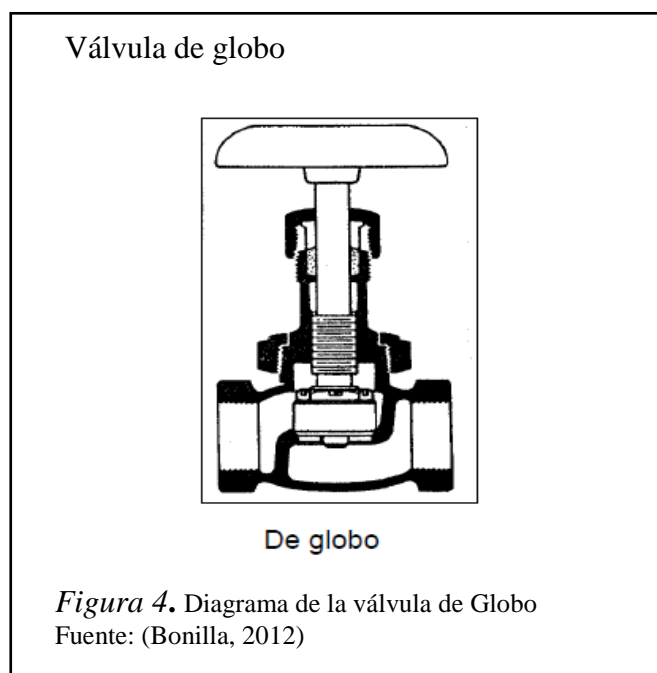
- Estrangulación o regulación de circulación.
- Para accionamiento frecuente.
- Cuando es aceptable cierta resistencia en la circulación.
- Servicio general. Líquidos, vapores, gases, corrosivos, pastas semilíquidas.

Ventajas:

- Estrangulación eficiente con estiramiento o erosión mínimo del disco o asiento.
- Carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarla, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago.
- Control preciso de la circulación.

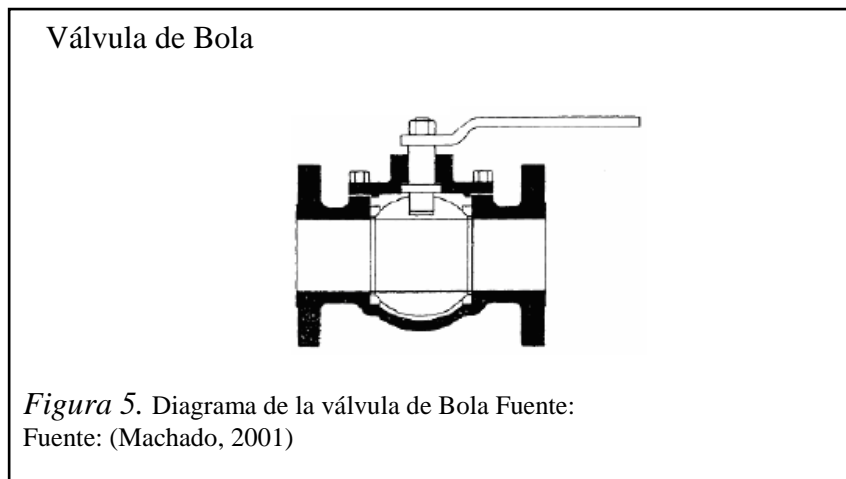
Desventajas

- Gran caída de presión
- Costo relativo elevado



- **Válvula de bola**

El cuerpo de esta válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola (de ahí su nombre) (figura 5). La posee un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75 % del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

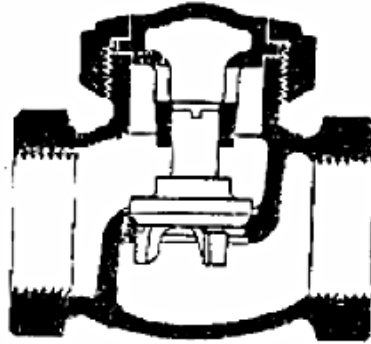


- **Válvula de Retención (Check)**

Esta válvula tiene como fin impedir una inversión de la circulación como vemos en la figura 6 .La circulación de líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, esta se cierra inmediatamente. Es utilizada principalmente en procesos en los que el sentido de circulación del fluido en la tubería cambia. Son útiles en tuberías tanto horizontales o verticales según el modelo de la válvula.

Las principales aplicaciones de la válvula son: servicio para vapor de agua, aire, gas, agua y vapores con altas y bajas velocidades de circulación dentro del sistema

Válvula Check



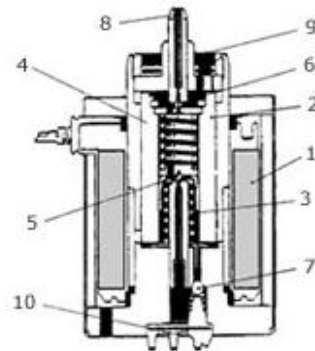
*Figura 6.* Diagrama Válvula Check  
Fuente: (Machado, 2001)

- **Válvula de Solenoide o Electroválvula**

A diferencia de todas las otras válvulas mencionadas anteriormente, este tipo de válvula es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. Son elementos muy sencillos y posiblemente el de uso más común de los actuadores eléctricos.

En la figura 7 se puede ver la válvula solenoide típica, está formada por una bobina solenoide encajada en un núcleo fijo en forma de tubo cilíndrico, en cuyo interior desliza un núcleo móvil provisto en su extremo de un disco o tapón. Al recibir voltaje la bobina actúa como un electroimán, la excitación de esta crea un campo magnético que atrae al núcleo móvil y vástago, mientras que al dejar de recibir voltaje se invierte la posición de éste gracias a un resorte que empuja el disco contra el asiento, cerrando así la válvula.

## Electroválvula



- |                         |                                 |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1.- Bobina              | 6.- Válvula de salida           |
| 2.- Camisa o inducido   | 7.- Válvula de retención        |
| 3.- Muelle principal    | 8.- Retorno                     |
| 4.- Muelle secundario   | 9.- Salida al cilindro de freno |
| 5.- Válvula de admisión | 10.- Entrada del servofreno     |

*Figura 7.* Diagrama electroválvula

Fuente: (Machado, 2001)

## 2.5.2. Bombas

Una bomba actúa como un convertidor de energía mecánica, en energía cinética, pero en forma correcta se hablaría de energía hidráulica debido a que genera presión y caudal respectivamente en el fluido.

Existen varios tipos de bombas para distintas aplicaciones, pero al momento de seleccionar una o varias bombas para un determinado proyecto, se deberá tomar muy en cuenta los siguientes puntos.

- El valor de presión máxima exigida.
- El valor máximo de caudal necesario.
- La velocidad a la que debe girar.
- La temperatura máxima y mínima que el medio puede alcanzar.
- El tipo de fluido su viscosidad más alta y más baja.
- La situación del montaje.
- El tipo de accionamiento.
- El presupuesto.
- El nivel de ruido.



Todas las bombas siguen un principio común ya que son diseñadas según el principio de desplazamiento de fluido. Es decir, la bomba está constituida basándose en cámaras estancadas la cuales cumplen con la función de:

- Absorber por el orificio de entrada, para que mecánicamente, se crea en las cámaras un vacío.
- Transportar el fluido, una vez llena la cámara, hasta el orificio de salida.
- Expulsar con fuerza el fluido por el orificio de salida o de presión.

#### **2.5.2.1. Clasificación**

Se clasifican en dos grupos principales y son los siguientes

- Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico.
- Bombas rotodinámicas.

La última es una de las más usadas en aplicaciones industriales como por ejemplo en embotelladoras debido a que presta un servicio sin interrupción tienen un montaje sencillo y su costo es relativamente bajo en comparación con las otras.

- **Bombas rotodinámicas**

Este tipo de bombas basa su funcionamiento en el intercambio de cantidad de movimiento entre los alabes de la bomba y el fluido, aplicado la hidrodinámica. En el interior de estas bombas hay uno o varios rodetes con alabes que giran generando un campo de prestaciones sobre el fluido, con estas bombas el flujo del fluido es continuo.

- **Bomba centrífuga**

Este es el tipo más corriente de bombas rotodinámicas, su denominación se debe a la cota de presión que se genera mediante la acción centrífuga.

Es el tipo de bomba es la más utilizada, debido a que son muy versátiles, pueden impulsar caudales pequeños como 1 gal/min o tan grandes como 4000000 gal/min, mientras que la de cota generada puede variar desde algunos pies hasta 400. el rendimiento de la bomba puede llegar al 90%.

El agua ingresa por el centro u ojo del rodete y los álabes son los encargados de arrastrarla y lanzarla en dirección radial<sup>14</sup>. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía cinética y presión. En el momento que el

fluido abandona los álabes, su movimiento esta descrito por componentes radial y transversal.

Es recomendable y esencial transformar en la mayor medida posible la considerable cota cinemática a la salida del rodete en la más útil cota de presión, con esto evitamos que haya pérdida de energía y por lo tanto rendimiento.

Esto se consigue construyendo la carcasa en forma de espiral, esto permite que la sección del flujo en la periferia del rodete vaya aumentando gradualmente.

Cuando se necesita trasladar grandes caudales se usa el rodete de doble aspiración, que es equivalente a dos rodetes de simple aspiración ensamblados dorso con dorso; ésta disposición permite doblar la capacidad sin aumentar el diámetro del rodete.

Cara y compleja de fabricar, pero tiene la ventaja adicional de solucionar el problema del empuje axial. Las superficies de guía están cuidadosamente pulimentadas para minimizar las pérdidas por rozamiento.

Generalmente el montaje se lo realiza horizontalmente, ya que así se facilita el acceso. Sin embargo, debido a la limitación del espacio, algunas unidades de gran tamaño se montan verticalmente.

Para que la bomba centrífuga esté en condiciones de funcionar satisfactoriamente, todo el sistema en si debe estar lleno de agua, tanto la tubería de aspiración como la bomba misma, (Machado, 2001).

## **2.6.Diagramas P&ID**


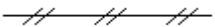

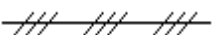

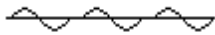


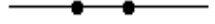
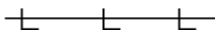
Un Piping and Instrumentation Diagram/Drawing (P&ID), se define como un diagrama que está compuesto por varios símbolos que permiten identificar todos los componentes que conforman un proceso como: tuberías, número de líneas de tubería y sus dimensiones, válvulas, controles, alarmas, equipos, niveles, presóstatos, bombas, etc.

Para la elaboración de los diagramas se utiliza el estándar de la Norma ISA S5 – S5.3, la cual establece las siguientes indicaciones:

### 2.6.1. Líneas de instrumentación

Tabla 3.

*Alimentación de instrumentación*

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Conexión a proceso, o enlace mecánico o alimentación de instrumentos.
	Señal neumática
	Señal eléctrica
	Señal eléctrica (alternativo)
	Tubo capilar
	Señal sonora o electromagnética guiada (incluye calor, radio, nuclear, luz)
	Señal sonora o electromagnética no guiada
	Conexión de software o datos
	Conexión mecánica
	Señal hidráulica





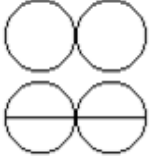
Nota. Señales de instrumentación. Fuente: (Creus, 2010)

Elaborado por: Amaya Danilo.

## 2.6.2. Designación de instrumentos por círculos:

Tabla 4.

*Designación de instrumentos*

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Montado localmente
	Detrás de la consola (no accesible)
	En tablero
	En tablero auxiliar
	Instrumentos para dos variables medidas o instrumentos de un variable con más de una función.

Nota. Símbolos de instrumentos. Fuente: (Creus, 2010).

Elaborado por: Amaya Danilo,

### 2.6.3. Fuentes de alimentación

Tabla 5.  
*Fuentes de alimentación*

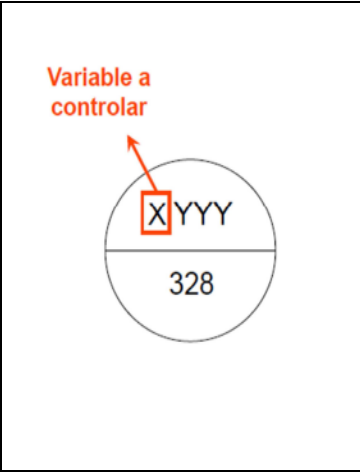
<b>SIMBOLO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>AS:</b>	Air Supply. Ejemplo: SA-100: Aire a 100 psi
<b>ES:</b>	Electric Supply. Ejemplo: ES-24CD: Alimentación de 24V de corriente continua.
<b>GS:</b>	Gas Supply
<b>HS:</b>	Hydraulic Supply
<b>NS:</b>	Nitrogen Supply
<b>SS:</b>	Steam Supply
<b>WS:</b>	Water Supply

Nota. Acrónimo para las fuentes de alimentación Fuente: (Creus, 2010)  
Elaborado por: Amaya Danilo.

### 2.6.4. Identificación de instrumentos:

1ª letra: Variable medida o modificante  
Por ejemplo;

Tabla 6.  
*Identificación de símbolos*

<b>A:</b>	Análisis	
<b>E:</b>	Voltaje	
<b>F:</b>	Caudal	
<b>I:</b>	Corriente	
<b>J:</b>	Potencia	
<b>L:</b>	Nivel	
<b>P:</b>	Presión	
<b>S:</b>	Velocidad, Frecuencia	
<b>T:</b>	Temperatura	
<b>V:</b>	Vibración	

Nota. Asignación de letras para las variables Fuente (Creus, 2010)  
Elaborado por: Amaya Danilo.

2ª y 3ª letras: Función de salida, de presentación de datos o modificante.

Por ejemplo;

Tabla 7.  
*Presentación de datos*

<b>A:</b>	Alarma
<b>C:</b>	Controlador
<b>E:</b>	Sensor primario
<b>H:</b>	Alto
<b>I:</b>	Indicador
<b>L:</b>	Bajo
<b>P:</b>	Presión
<b>R:</b>	Registrador
<b>S:</b>	Interruptor
<b>T:</b>	Transmisor
<b>V:</b>	Válvula
<b>Z:</b>	Actuador



Nota. Ejemplo de asignación de letras Fuente. (Creus, 2010).  
Elaborado por: Amaya Danilo.

Adicionales: identificación de lazo de control (Asociado a área o equipo)

Ejemplo:



Designa a un Controlador de Temperatura con capacidad de Indicación asociado al lazo de control N° 60.

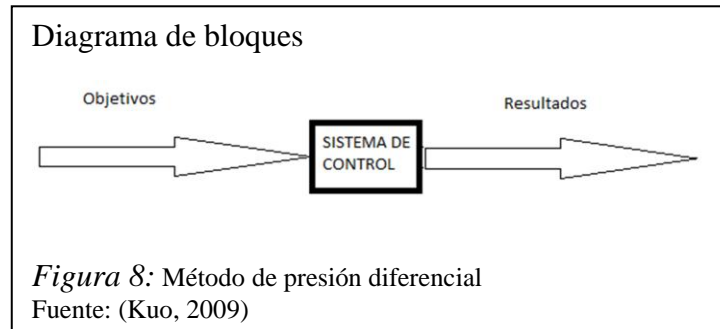
## 2.7.Sistemas de control

Con la implementación en el cambio de la matriz productiva del Ecuador, la industria ecuatoriana está teniendo un papel importante en la modernización de tecnología para la manufactura de sus productos, razón por la cual se ve en la necesidad de mejorar la calidad de sus productos y lograr ser más competitivo dentro del mercado local e internacional.

La nueva tecnología de la cual se está equipando la industria ecuatoriana, hace que el personal que realiza la instalación y mantenimiento de dichos equipos sean personas calificadas con conocimientos claros sobre sistemas de control, ya que éstos se encuentran en gran cantidad en todos los sectores de la industria tales como líneas de ensamblaje automático, control de máquinas-herramientas, sistemas de transporte, robótica, etc.

### 2.7.1. Componentes básicos del sistema de control.

Kuo, establece que existen tres elementos principales para un sistema de control y son: objetivos de control, componentes del sistema de control y resultados. En la figura 8 se ilustra los componentes básicos. (Kuo, 2009).

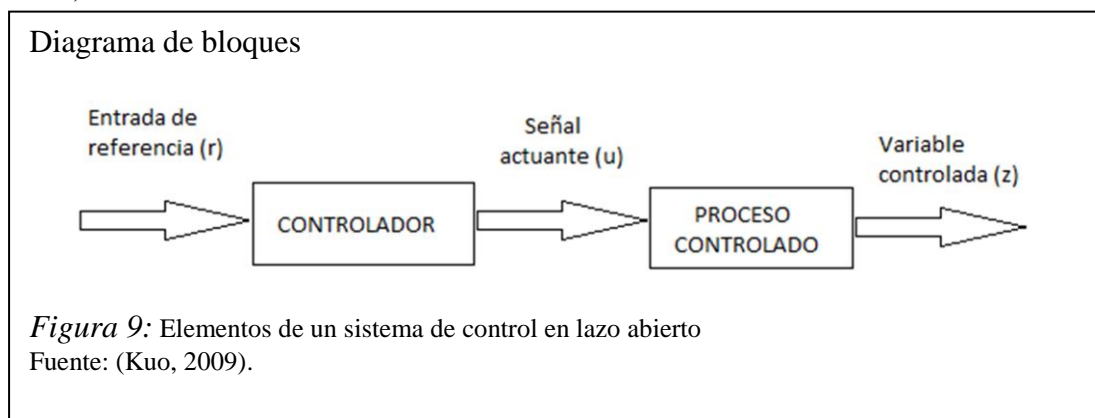


### 2.7.2. Tipos de sistemas de control

Dentro de los sistemas de control existen dos tipos y son: sistemas de control en lazo abierto y sistemas de control en lazo cerrado.

#### 2.7.2.1. Sistemas de control en lazo abierto (Sistemas no realimentados)

Kuo, manifiesta que en un sistema de control en lazo abierto se pueden dividir dos partes: el controlador y el proceso controlado, como se muestra en la figura 9. (Kuo, 2009)



Como se muestra en la Figura 9, una señal de entrada o mando ( $r$ ), se aplica al controlador, cuya salida actúa como señal actuante ( $u$ ); la señal actuante controla el proceso de tal forma que la variable controlada ( $z$ ), se ejecuta de acuerdo con

estándares preestablecidos. El controlador puede ser un amplificador, unión mecánica, filtro u otro elemento, esto para casos simples mientras que para casos más complejos el controlador puede ser una computadora; este tipo de sistemas se encuentran en aplicaciones no críticas.



## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA UTILIZANDO LA METODOLOGIA DE DISEÑO CONCURRENTE.**

#### **3.1.Estado del arte**

Es necesario conocer ciertos detalles de la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos para las variables de nivel y temperatura, como: tipo de variables se van a controlar, cantidad de entradas y salidas análogas que se puede recibir y enviar respectivamente, entre otras.

A continuación se detallan las características de la plataforma, tomando en cuenta que a más características más costosa será la máquina.

##### **3.1.1. Tipo de variable a controlar**

Las plataformas de entrenamiento más simple únicamente cuenta con una variable para ser controlada, tomando en cuenta que mientras la cantidad de variables aumente el costo de la plataforma será más elevado razón por la cual se determinó que las variables que se van a controlar son temperatura y nivel respectivamente, con lo cual se asegura que el estudiante (Cliente) tendrá las herramientas necesarias para lograr simular un proceso industrial real.

##### **3.1.2. Rangos de medición de las variables**

Considerando que la plataforma es de entrenamiento los rangos de medición no serán elevados, lo cual disminuirá el costo de la máquina y además permitirá al cliente tener un mejor control disminuyendo el tiempo de establecimiento.

En comparación con plantas industriales, la plataforma de entrenamiento garantizara una experiencia real en el control de procesos continuos de las variables de nivel y temperatura.

##### **3.1.3. Opciones de programación**

La versatilidad de las opciones de programación es una necesidad imprescindible en las plataformas de entrenamiento. De acuerdo a la plataforma se pueden programar diferentes tipos de control moderno como por ejemplo PID, FUZZY, Redes neuronales entre otros.

Para el entrenamiento en el control de procesos continuos es una característica muy útil ya que permite probar diferentes tipos de control y evaluar cuál es más eficiente y óptimo para el proceso o problema planteado.

### 3.1.4. Portabilidad del equipo


La plataforma de entrenamiento máquina para un uso general debe ser un equipo que se lo pueda transportar fácilmente. Si se va a cambiar la ubicación de la plataforma a menudo se debe tomar en cuenta el peso y dimensiones del equipo, así como la facilidad para desmontar los dispositivos. En el mercado existen plataformas con variadas formas de mecanismos para transportarla.

### 3.2. Análisis de la competencia

Para analizar la competencia se utiliza el método del Benchmarking analizando las máquinas que en el mercado se comercializan, con diferentes variables de control, y diversas prestaciones como, portabilidad, opciones de programación etc. Así se tiene:

**MPS® PA:** estación de trabajo con el nivel, caudal, presión y sistemas de temperatura controlada, con las siguientes características mostradas en la tabla 8.

Tabla 8.  
*MPS® PA estación de trabajo*

	ITEM	DETALLE
	Marca	FESTO
	Componentes mecánicos	2 embalses, depósito de presión, marco de plug-in sistema de tubos, montaje, perfil placa
	Variables a controlar	Nivel, caudal, presión y temperatura
	Opciones de programación	Controles modernos como: P, I, PI, PID
	Ingeniería eléctrica	DC vatímetro, medidor de potencia de hasta 5 A / 24 V DC.
	Interfaz	Ethernet.

Nota. Características MPS ® PA Elaborado por: Amaya Danilo.

### 3.3.Desarrollo de la casa de calidad

La Casa de la calidad aplicada al caso del diseño de una plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos máquina se muestra en la Figura 10. Después de analizar recoger criterios acerca de la necesidad de los usuarios sobre qué es lo que desearían que pudiera realizar el equipo se logró obtener las siguientes demandas que es “La voz del cliente” y se complementa con criterios técnicos que es la “voz del ingeniero”, así:

Tabla 9.  
*Análisis de los requerimientos del cliente*

#	VOZ DEL CLIENTE	DEMANDA	VOZ DEL INGENIERO
1	Cuente con elementos robustos	Básica	Instrumentos industriales
2	Control inmediato	Básica	Tiempo real
3	Sea Resistente	Estimulante	Material
4	Opciones de programación	Básica	Opciones de programación
5	Fácilmente desmontable	Unidimensional	Cantidad de módulos
6	Transportable	Estimulante	Ruedas
7	Que tenga un alto tiempo de operación	Unidimensional	Alimentación de energía
8	Bajo consumo de energía	Estimulante	Potencia eléctrica
9	Que no sea muy costosa	Básica	Costo
10	Lectura precisa de las variables	Básica	Margen de error

Nota. Requerimientos básicos. Elaborado por: Amaya Danilo.



### 3.3.2. Análisis de la casa de la calidad

Con los resultados obtenidos en el diagrama de la casa de la calidad que muestra la figura 10 se determina cuatro puntos fundamentales que reúnen el 58% de las mejoras y en los cuales se debe concentrar todos los esfuerzos para asegurar la satisfacción del cliente.

- 1) Cuento con elementos robustos
  - 2) Transportable
  - 3) Opciones de programación
  - 4) Control inmediato
- **Especificaciones técnicas de la plataforma**

El grupo de diseño crea la lista mostrada en la Tabla 10, sobre las Características Técnicas que resultan ser la “Voz del ingeniero”.

Tabla 10.  
*Especificaciones técnicas de la máquina.*

ESPECIFICACIONES				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Instrumentos industriales	01/07/14	D	R	Sensores de nivel y temperatura
Tiempo real	01/07/14	D	R	<=500mS
Material	01/07/14	D	R	Hierro y/o Acero
Opciones de programación	01/07/14	D	R	Tipos de programación
Cantidad de módulos	01/07/14	D	R	2<= Módulos<=4
Ruedas	01/07/14	D	R	4<= Ruedas<=6
Alimentación de energía	01/07/14	D	R	Red pública 120 VAC
Potencia eléctrica	01/07/14	D	R	<= 10KW
Costo	01/07/14	D	R	\$5000 <= COSTO <= \$7000
Margen de error	01/07/14	D	R	3%<=error<=5%

Nota. M=Marketing. D=Diseño. P=Producción. F=Financiación. : R=Requerimiento. MR=Modificar requerimiento. NR=Nuevo requerimiento. D=deseo. Elaborado por: Amaya Danilo.

- **Incidencia y correlaciones**

Se analiza la incidencia de las Características Técnicas para la mejora del producto, donde cuatro de ellas son de importancia y representan el 58%, organizada así:

1. Instrumentos industriales.
2. Ruedas.
3. Opciones de programación.
4. Tiempo real.

El grupo de diseño establece correlaciones en la casa de la calidad entre las Características Técnicas y se obtienen solo correlaciones positivas, las cuales se describen en la siguiente Tabla 11.

Tabla 11.

*Correlaciones entre las características técnicas*

<b>CORRELACIÓN MUY POSITIVA</b>	<b>CORRELACIÓN POSITIVA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al incorporar elementos industriales se obtendrá un mejor control.</li> <li>• Las opciones de programación ampliara el uso de la plataforma.</li> <li>• La alimentación de energía dependerá de la potencia consumida y esta a su vez de los elementos utilizados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El tipo de elementos utilizados incrementará los costos de la máquina.</li> <li>• Al utilizar un controlador con soporte para diferentes tipos de programación de controles modernos incidirá estrictamente en los costos.</li> <li>• El material a utilizarse afectara su portabilidad pero aumentara su resistencia.</li> </ul>

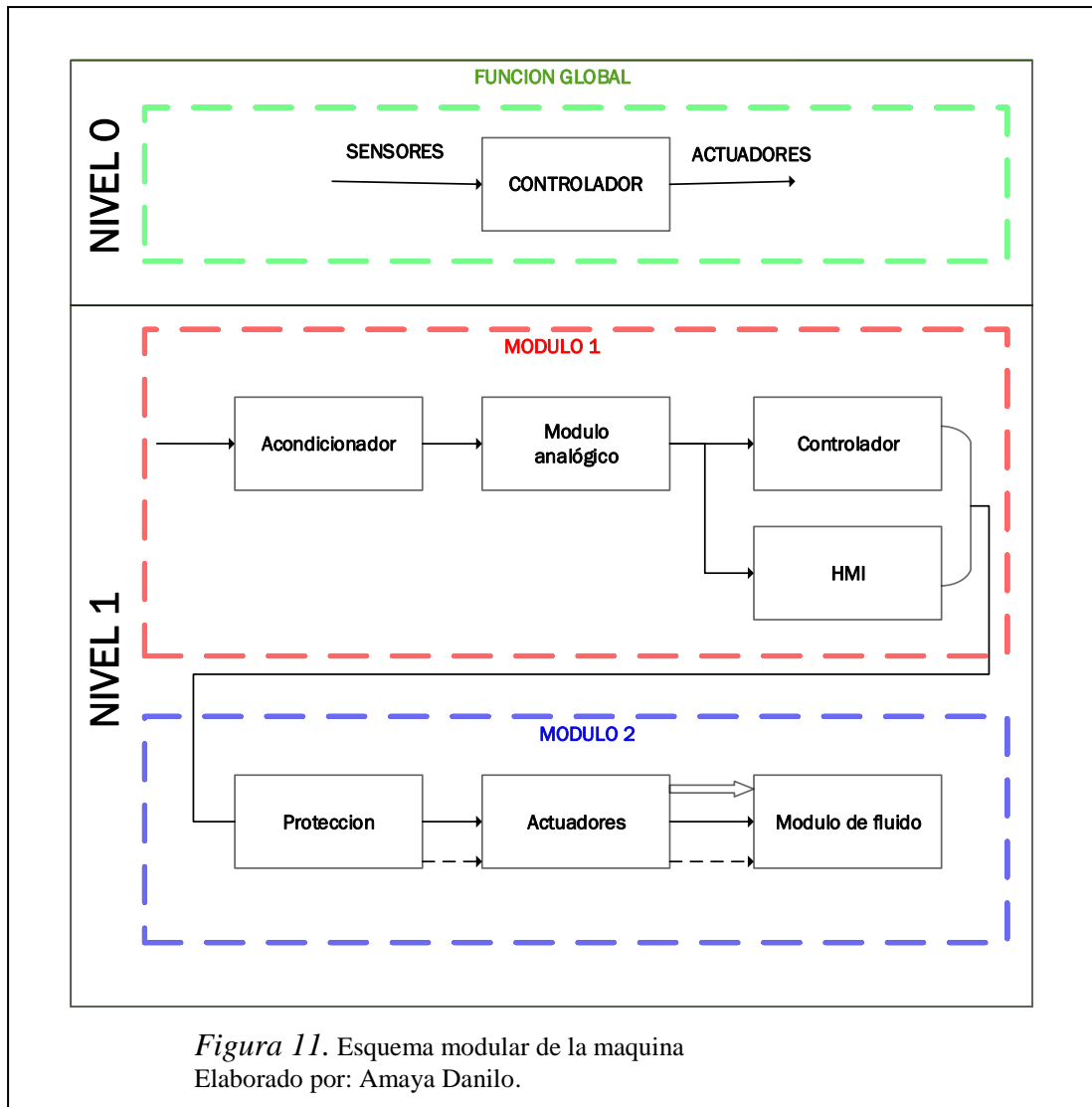
Nota. Análisis de las correlaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.

### **3.4. Análisis Funcional**

A continuación se presenta el análisis funcional, iniciando por determinar el esquema modular que detalla la generación de los módulos que compone la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos.

### 3.4.1. Generación de módulos

En la Figura 11, se muestra los módulos de los que está constituida la plataforma



#### Módulo 1

El modulo uno corresponde a los elementos de control que intervienen en los procesos de nivel y temperatura.

Los elementos que contiene este módulo son:

- Sensores y acondicionadores.
- Controlador.
- HMI.

## Módulo 2

El módulo 2 corresponde a la manera como se desplazara el fluido, es decir el tipo de tubería y de bomba que se utilizará respectivamente.

- Protecciones.
- Actuadores.
- Módulo de fluido.

### 3.5. Generar alternativas de solución

#### 3.5.1. Módulo 1.

En la Tabla 12 se analizan dos alternativas de solución para el módulo 1:

Tabla 12.

*Alternativas de solución para el módulo 1.*

FUNCIONES	ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES	
Medir variables físicas y transformarlas en señales eléctricas (Sensor y Acondicionador)	Nivel: por presión diferencial	Nivel: por burbujeo
	Temperatura: termopar	Temperatura: RTD
Recibir y enviar las señales a los sensores y actuadores	PLC (Controlador Lógico Programable)	Microcontrolador
Interfaz Humano Maquina	Computador	Pantalla touch

Nota. Alternativas para el módulo 1. Elaborado por: Amaya Danilo.

- **Ventajas y desventajas de cada alternativa para el módulo 1**

Se presentan y analizan las ventajas y desventajas de cada solución encontrada.



a) **Medir variables físicas y transformarlas en señales eléctricas:**

Sensor de nivel Presión diferencial.



*Figura 12.* Sensor de presión diferencial. Fuente:(Foxboro)  
Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 13.

*Ventajas y desventajas del Sensor de nivel por presión diferencial*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Medición de presión diferencial extremadamente pequeña mediante detección de valor de alta precisión.	Debe estar en contacto con el líquido
Alta fiabilidad gracias a la membrana de sobrecarga integrada	Mantenimiento periódico
Múltiples posibilidades de aplicación a través de una gran selección de rangos de medición y conexiones a proceso	
Material de construcción robusto	
Incorpora transmisor	

Nota. Ventajas y desventajas. Fuente: (Foxboro)  
Elaborado por: Amaya Danilo.

b) **Medir variables físicas y transformarlas en señales eléctricas:**



Tabla 14.

*Ventajas y desventajas del Sensor de nivel por burbujeo.*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Sensor no intrusivo para evitar problemas de corrosión y contaminación	La medición puede afectada por el movimiento del material en el tanque
Medición continua y puntual.	La espuma del líquido puede absorber la señal transmitida
No posee partes móviles menor mantenimiento.	La presencia de polvo o vapor en el aire puede inferir la señal de los sensores no intrusivos
Se utiliza para líquidos , solidos conductivos y no conductivos	No incorpora transmisor
	Alto costo

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Fuente: (Fisher).

Elaborado por: Amaya Danilo .

c) **Medición de la variable de temperatura solución 1:**

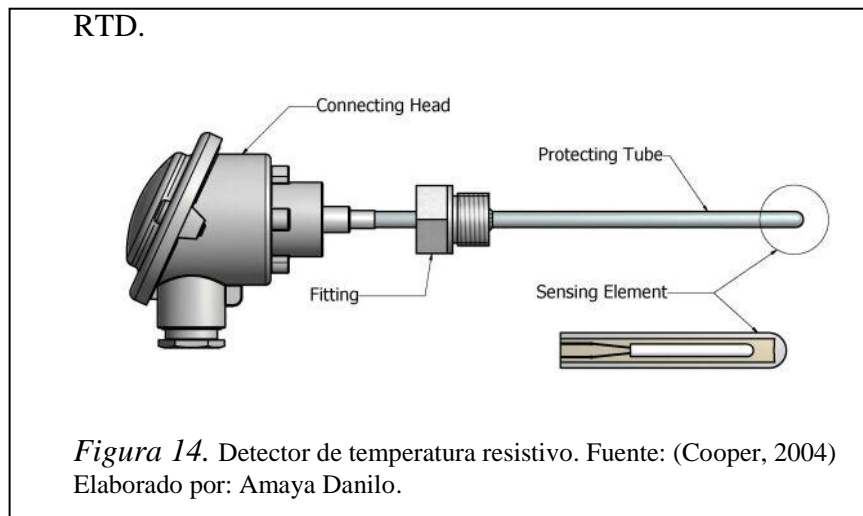


Tabla 15.  
Ventajas y desventajas del RTD.

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Alta Precisión	Él límite de temperatura máxima es el más bajo
Mejor Linealidad	El tiempo de respuesta sin el termo pozo es bajo
Mejor Estabilidad	
No requiere compensación por junta fría	
Los hilos no requieren especial extensión	
Robusto	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Fuente: (Cooper, 2004)  
Elaborado por: Amaya Danilo.

d) **Medición de la variable de temperatura solución 2:**



Tabla 16.

*Ventajas y desventajas de los termopares.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Rangos elevados de medición	Alto costo
Tensión de alimentación	La conexión del termopar crea una unión termoelectrónica
Posibilidad de uso de materiales resistentes a diferentes condiciones ambientales	sensibles a los efectos del ruido eléctrico

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo .

e) **Controlador solución 1:**

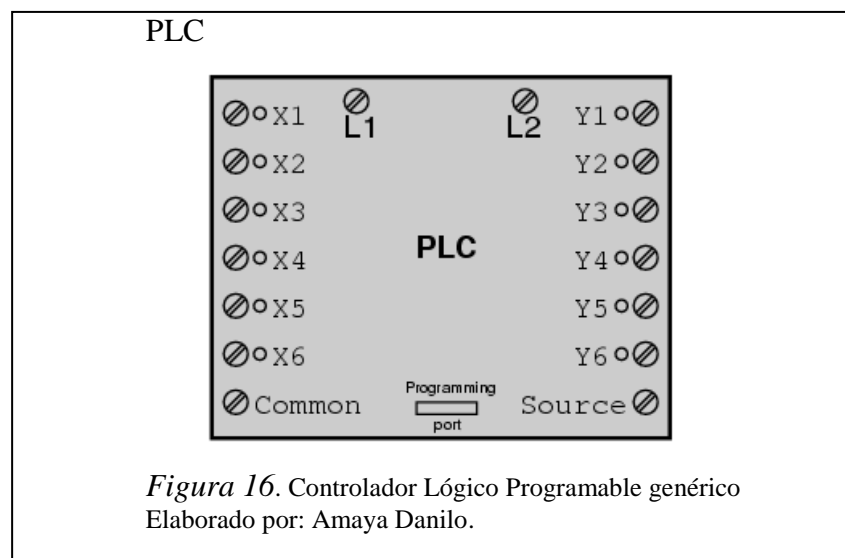


Tabla 17.  
Ventajas y desventajas del PLC.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Dispositivo Robusto	Volumen excesivo
Fácil programar un PLC	Mano de obra especializada
Modular	Condiciones ambientales apropiadas
Mayor rapidez de respuesta.	Costo elevado
Seguridad en el proceso	Mano de obra especializada
Detección rápida de averías y tiempos muerto	Centraliza el proceso
Posibilidad de gobernar varios actuadores con el mismo autómata	
Memoria expandible	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

f) **Controlador solución 2:**

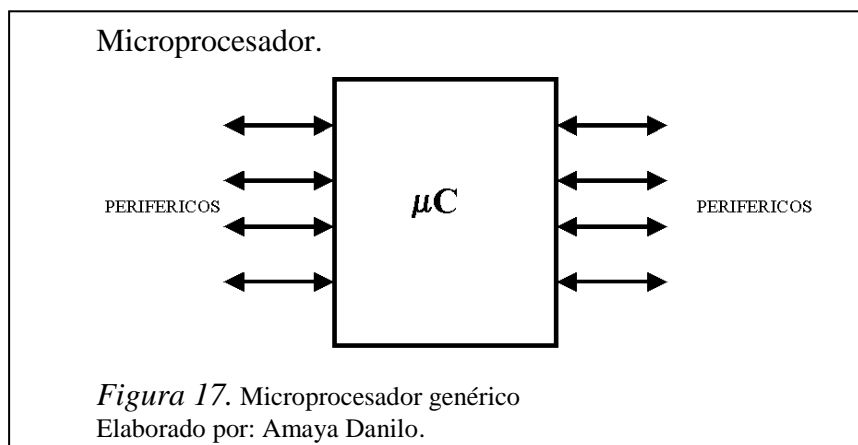


Tabla 18.  
Ventajas y desventajas microprocesador

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Presupuesto bajo	Proyectos poco escalables
Fácil programación	No es modular
Portátil	Menor tiempo de respuesta
Proyectos replicables	Poca memoria
Disponibilidad	No es robusto

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

**g) Interfaz Humano Maquina solución 1:**



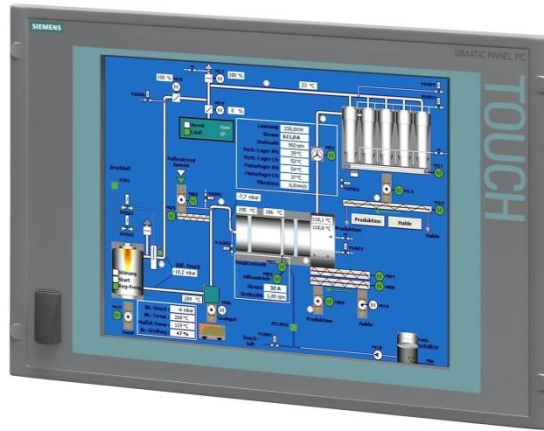
Tabla 19.  
Ventajas y desventajas del Computador.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Posibilidad manejar varios programas.	Menor tiempo de respuesta
Publicar datos directamente en internet	Necesita tener características altas para su óptimo funcionamiento
Menor costo	
Posibilidad de instalar el software para programar el controlador	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

## h) Interfaz Humano Máquina solución 2:

Pantalla Touch.



*Figura 19.* Pantalla Touch. Fuente: (Siemens)  
Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 20.

*Ventajas y desventajas de la Pantalla Touch*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Manejo táctil	No se puede instalar ningún tipo de software.
Fácil programación	Se necesita software especial para su programación.
Portátil	No tiene capacidad de conexión a internet.
	No posee la capacidad de programar al controlador

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

Del conjunto de alternativas se seleccionan las siguientes soluciones para el módulo1:

Tabla 21.

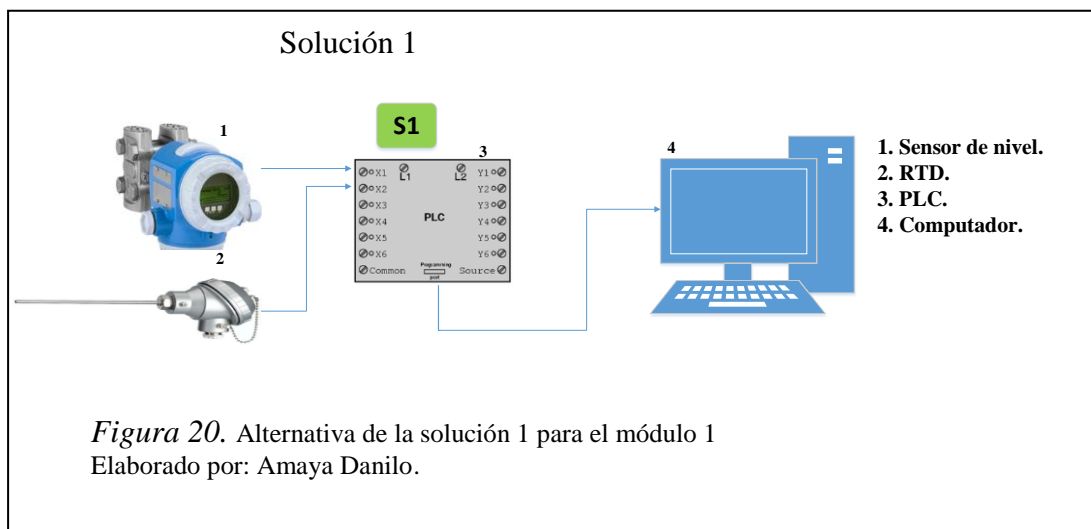
Alternativas de solución para el módulo 1

FUNCIONES	ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES	
Medir variables físicas y transformarlas en señales eléctricas (Sensor y Acondicionador)	NIVEL: por presión diferencial	NIVEL: por burbujeo
	TEMPERATURA: termopar	TEMPERATURA: RTD
Recibir y enviar las señales a los sensores y actuadores	PLC (Controlador Lógico Programable)	Microcontrolador
Interfaz Humano Maquina	Computador	Pantalla Touch

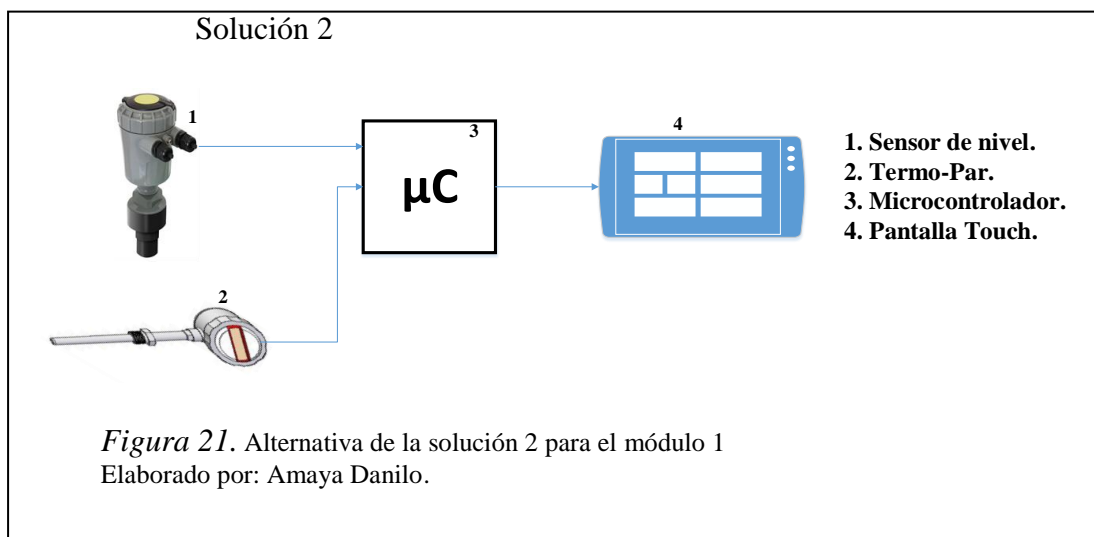
Nota: selección de alternativas.  
Elaborado por: Amaya Danilo.



A continuación se muestran las alternativas de solución para el módulo 1:







### 3.5.2. Módulo 2.

En la Tabla 22 se analizan dos alternativas de solución para el módulo 2:

Tabla 22.

*Alternativas de solución para el módulo 2.*

FUNCIONES	ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES	
<b>Protecciones eléctricas</b>	Breaker Schneider	Breaker Chint
	Relé Schneider	Relé Camsco
	Contactador General Electric	Contactador Camsco
	Contactador y relé térmico Telemecanique	Contactador y relé térmico Camsco
<b>Generar un efecto sobre un proceso automatizado</b>	Servoválvula Fisher	Válvula proporcional
	Calentador de inmersión	Calentador de inmersión
<b>Circulación del Fluido</b>	Tubería plástica	Tubería metálica
	Bomba rotodinámica	Bombas de desplazamiento

Nota. Detalle de las alternativas seleccionadas para el módulo 2. Elaborado por: Amaya Danilo.

- **Ventajas y desventajas de cada alternativa para el módulo 2**

Se presentan y analizan las ventajas y desventajas de cada solución encontrada por función. Así:

a) **Protecciones eléctricas solución 1:**



Tabla 23.

Ventajas y desventajas del Breaker Schneider.

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Bajo costo	Desgaste por uso continuo
Fácil montaje	
Cumplimiento de las normas: IEC EN 60898 o IEC 60947-2	
Adecuado para el aislamiento de acuerdo con las normas industriales: IEC 60947	
Tensión de servicio: hasta 440 V CA, Tensión de aislamiento: 500V	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

**b) Protecciones eléctrica solución 2:**



Tabla 24.

*Ventajas y desventajas del Breaker Chint.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Breaker de Riel	Marca no es reconocida
Monopolar de Corriente Nominal In (A) : 1 x 10A	
- Poder de Corte Icu (kA) 220 Vac de: 6 KA	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Fuente: (Chint). Elaborado por: Amaya Danilo.

**c) Protecciones eléctricas Solución 1:**



Tabla 25.  
Ventajas y desventajas del Relé Schneider

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Máxima velocidad de operación 18000 RPM.	Costo alto
Durabilidad mecánica 10 millones de ciclos de operación.	
Grado de protección Conforme a IEC/EN 60529 IP40	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Fuente: (Schneider).Elaborado por: Amaya Danilo.

**d) Protecciones eléctricas Solución 2:**



Tabla 26.  
Ventajas y desventajas del Relé Camsco

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Resistencia de los contactos 50 mΩ	Marca poco reconocida
Tiempo de operación 30ms/20/ms	No hay suficientes especificaciones
Valoración de la bobina 1,5W/2,5VA	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Fuente: (Camsco). Elaborado por: Amaya Danilo.

e) **Protecciones eléctricas Solución 1:**

Contactor General Electric



*Figura 26.* Contactor General Electric  
Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 27.

*Ventajas y desventajas del Contactor General Electric*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Montaje en panel	Durabilidad limitada con el uso
Bornes según normas EN 50005, 50011 y 50012	
Enclavamientos mecánicos/eléctricos	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Fuente: (General Electric). Elaborado por: Amaya Danilo.

f) **Protecciones eléctricas Solución 2:**

Contactor Camsco



*Figura 27:* Contactor Camsco. Fuente: (Camsco)  
Elaborado por: Amaya Danilo,

Tabla 28.

*Ventajas y desventajas del Contactor Camsco*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Varios polos	Durabilidad limitada con el uso
Soporta diferentes niveles de voltaje	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Fuente: (General Electric). Elaborado por: Amaya Danilo.

**g) Generar un efecto sobre un proceso automatizado Solución1:**



Tabla 29.

*Ventajas y desventajas del Servo válvula fisher*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Sencillo montaje	Poco flujo
Necesita presiones bajas	
Utilizado para uso continuo	
Bajo costo	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

**h) Generar un efecto sobre un proceso automatizado Solución2:**



Tabla 30.

*Ventajas y desventajas del Válvula proporcional*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Incluye manómetro	Mantenimiento periódico
Flujo alto	Dificultad en la instalación
Funciona con altas presiones	Costo elevado
Uso continuo	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

**i) Generar un efecto sobre un proceso automatizado Solución1:**



Tabla 31.

*Ventajas y desventajas del Calentador de inmersión*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Dispersión del calor uniforme	Temperatura máxima 80°C
Protección contra corrosión	
Protección para evitar un sobrecalentamiento	
Bajo costo	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

**j) Generar un efecto sobre un proceso automatizado Solución2:**



Tabla 32.

*Ventajas y desventajas del Calentador de inmersión*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Uso continuo	No cuenta con ningún tipo de protección
Poca potencia	Dificultad en la instalación
	Tiempo de vida útil reducido

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.



**k) Canal por el cual se distribuirá el líquido solución 1:**

Tubería plástica.



*Figura 32.* Tubería de PVC  
Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 33.  
Ventajas y desventajas de la tubería PVC.

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Bajo costo	No soporta altas presiones
Fácil montaje	No es robusta
	No soporta temperaturas altas

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

**l) Canal por el cual se distribuirá el líquido solución 2:**

Tubería metálica



*Figura 33.* Tubería metálica genérica  
Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 34.

*Ventajas y desventajas de la tubería metálica.*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Durabilidad	Difícil montaje
Soporta altas presiones	Mayor precio
Soporta altas temperaturas	
Robusta	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

**m) Circulación del líquido Solución 1:**

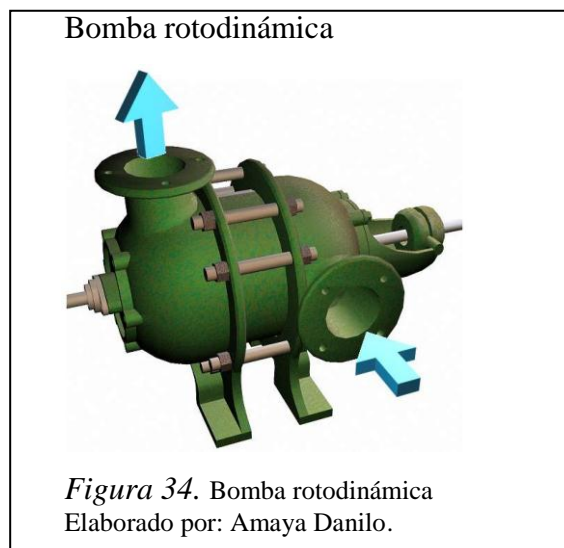


Tabla 35.

*Ventajas y desventajas de la bomba*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Caudal constante.	Carencia de flexibilidad
Presión uniforme	Presión de descarga relativamente limitada
Sencillez de construcción	
Tamaño reducido	
Económicas y fácil mantenimiento.	
Vida útil prolongada.	
No tiene descarga pulsante	

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

**n) Circulación del líquido Solución 1:**



Tabla 36.  
*Ventajas y desventajas de la bomba*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Alta presión disponible	Baja descarga
Autocebantes (dentro de ciertos límites)	Baja eficiencia comparada con las bombas centrifugas
Flujo constante para cargas a presión variable	Muchas partes móviles
Adaptabilidad a ser movidas manualmente o por motor	Requieren mantenimiento a intervalos frecuentes
	Succión limitada
	Costo relativamente alto para la cantidad de agua suministrada
	Requieren un torque considerable para llevarlas a su velocidad
	Flujo pulsante en la descarga

Nota: Detalles de las ventajas y desventajas. Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 37.  
 Alternativas de solución

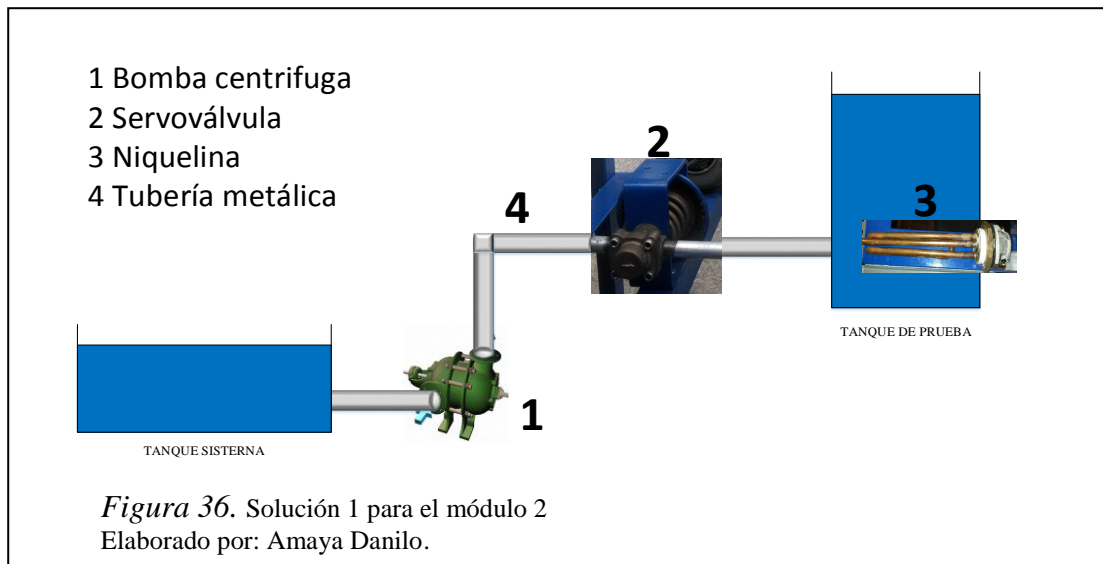
FUNCIONES	ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES	
<b>Protecciones eléctricas</b>	Breaker Schneider ↓	Breaker ABB ↓
	Relé Schneider ↓	Relé Camsco ↓
	Contactor General Electric ↓	Contactor Camsco ↓
<b>Generar un efecto sobre un proceso automatizado</b>	Servoválvula Fisher ↓	Válvula proporcional ↓
	Calentador de inmersión ↓	Calentador de inmersión ↓
<b>Circulación del Fluido</b>	Tubería plástica ↓	Tubería metálica ↓
	Bomba rotodinámica ↓	Bombas de desplazamiento ↓

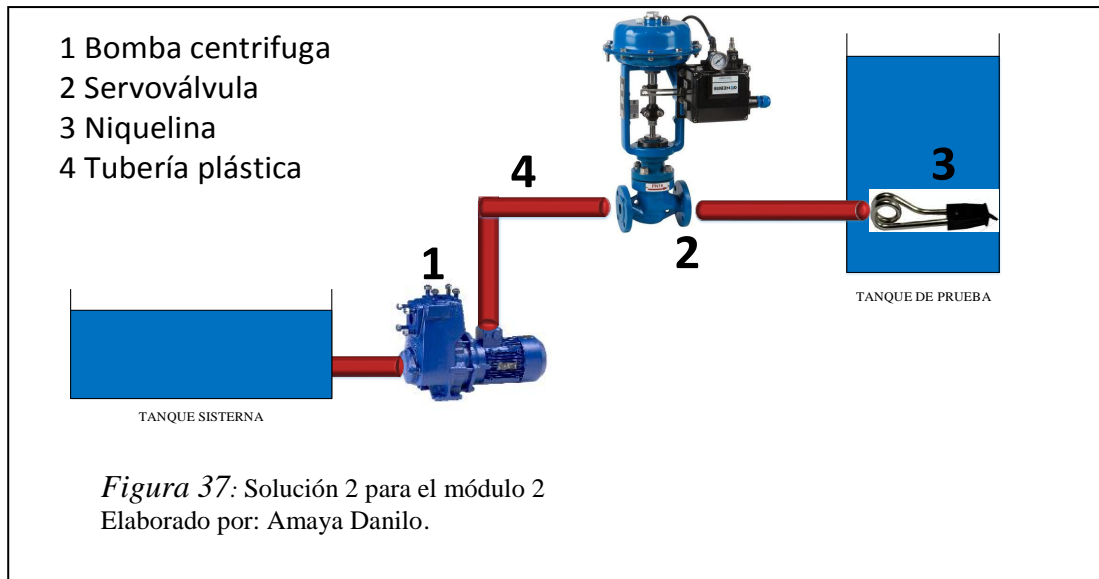
Nota: Descripción de las dos soluciones.  
 Elaborado por: Amaya Danilo.

S1

S2

A continuación se muestran las alternativas de solución para el módulo 1:





### 3.5.3. Integración de alternativas

Se integran la alternativa No. 1 del módulo 1 con la alternativa No. 1 del módulo 2, como también la alternativa No. 2 del módulo 1 con la alternativa No 2 del módulo 2, consiguiendo así la construcción de dos soluciones para la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos, las cuales se indican a continuación.

La alternativa No. 1 está constituida de las soluciones detalladas en la Tabla 38.

Tabla 38 .  
*Alternativa de solución 1.*

<b>FUNCIONES</b>	<b>SOLUCIONES</b>
<b>Medir variables físicas y transformarlas en señales eléctricas (Sensor y Acondicionador)</b>	NIVEL: Por presión diferencial
	TEMPERATURA: RTD
<b>Recibir y enviar las señales a los sensores y actuadores</b>	PLC (Controlador Lógico Programable)
<b>Interfaz Humano Maquina</b>	Computador
<b>Protecciones eléctricas</b>	Breaker Schneider
	Relé Schneider
	Contactador General Electric
<b>Generar un efecto sobre un proceso automatizado</b>	Servoválvula Fisher
	Calentador de inmersión
<b>Circulación del Fluido</b>	Tubería Metalica
	Bomba rotodinámica

Nota. Detalle de las alternativas para la solución 1. Elaborado por: Amaya Danilo.

La alternativa No. 2 está constituida de las soluciones detalladas en la Tabla 39.

Tabla 4.

*Alternativa de solución 2.*

<b>FUNCIONES</b>	<b>SOLUCIONES</b>
<b>Medir variables físicas y transformarlas en señales eléctricas (Sensor y Acondicionador)</b>	NIVEL: Por Burbujeo
	TEMPERATURA: Termopar
<b>Recibir y enviar las señales a los sensores y actuadores</b>	Microcontrolador
<b>Interfaz Humano Maquina</b>	Pantalla touch
<b>Protecciones eléctricas</b>	Breaker Chint
	Relé Chint
	Contactador Camsco
<b>Generar un efecto sobre un proceso automatizado</b>	Servoválvula
	Calentador de inmersión
<b>Circulación del Fluido</b>	Tubería Plástica
	Bomba de desplazamiento

Nota. Detalle de las alternativas para la solución 1. Elaborado por: Amaya Danilo.

### **3.6. Generación de la primera solución**

Para determinar la solución utilizando el método de criterios ponderados se tomaron en cuenta los cuatro criterios más importantes que resultaron del análisis de la casa de la calidad:

- 1) Cuento con elementos robustos
- 2) Transportable
- 3) Opciones de programación
- 4) Control inmediato

Los criterios y la relación que existe entre ellos se define como:

*Cuento con elementos robustos > Transportable > Opciones de programación > Control inmediato.*

A partir de estos datos se realizaron los siguientes pasos detallados, en la Tabla 40 el peso específico de cada criterio.

Tabla 5.  
Evaluación del peso específico de cada criterio.

Criterio	Cuente con elementos robustos	Transportable	Opciones de programación	Control inmediato	sumatoria +1	ponderación
Cuente con elementos robustos	1	1	1	1	4	0,4
Transportable	0	1	1	1	3	0,3
Opciones de programación	0	0	1	1	2	0,2
Control inmediato	0	0	0	1	1	0,1
				suma	10	1

Nota. Método de ponderaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.

## ANÁLISIS DEL MÓDULO 1

Tabla 6. Evaluación del criterio cuente con elementos robustos.

Cuente con elementos robustos	Alternativa 1	Alternativa 2	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa 1	1	1	2	0,67
Alternativa 2	0	1	1	0,33
		suma	3	1

Nota. Método de ponderaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 7. Evaluación del criterio Transportable

Transportable	Alternativa 1	Alternativa 2	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa 1	0,5	0,5	1,5	0,50
Alternativa 2	0,5	0,5	1,5	0,50
		suma	3	1

Nota. Método de ponderaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 8. Evaluación del criterio Opciones de programación.

Opciones de programación	Alternativa 1	Alternativa 2	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa 1	0,7	0,7	1,7	0,57
Alternativa 2	0,3	0,3	1,3	0,43
		suma	3	1

Nota. Método de ponderaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 9. Evaluación del criterio Control Inmediato.

Control inmediato	Alternativa 1	Alternativa 2	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa 1	0,5	0,5	1,5	0,50
Alternativa 2	0,5	0,5	1,5	0,50
		suma	3	1

Nota. Método de ponderaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.



Una vez aplicado el método de criterios ponderados se tiene como conclusión que la “Alternativa 1” es la mejor opción, como lo indica la Tabla 45.

Tabla 10. *Conclusiones Módulo 1.*

<b>CONCLUSIÓN</b>	Cuente con elementos robustos	Transportable	Opciones de programación	Control inmediato	Sumatoria	Prioridad
Alternativa 1	0,27	0,15	0,11	0,05	0,58	1
Alternativa 2	0,13	0,15	0,09	0,05	0,42	2

Nota. Conclusión. Elaborado por: Amaya Danilo.

Con los datos obtenidos se observa que la mejor opción es la alternativa 1, que consta de: Sensor de nivel por presión diferencial, Sensor de temperatura RTD, PLC (Controlador Lógico Programable), Computador.

### 3.7. Generación de la segunda solución

#### Análisis módulo 2

Tabla 39. *Evaluación del criterio cuente con elementos robustos.*

Cuente con elementos robustos	Alternativa 1	Alternativa 2	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa 1	1	1	2	0,67
Alternativa 2	0	1	1	0,33
		suma	3	1

Nota. Método de ponderaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 40. *Evaluación del criterio Transportable.*

Transportable	Alternativa 1	Alternativa 2	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa 1	0,5	0,5	1,5	0,50
Alternativa 2	0,5	0,5	1,5	0,50
		suma	3	1

Nota. Método de ponderaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 41. *Evaluación del criterio Opciones de programación.*

Opciones de programación	Alternativa 1	Alternativa 2	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa 1	1	1	2	0,67
Alternativa 2	0	1	1	0,33
		suma	3	1

Nota. Método de ponderaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 42. *Evaluación del criterio Control inmediato*

Control inmediato	Alternativa 1	Alternativa 2	Sumatoria +1	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
		suma	3	1

Nota. Método de ponderaciones. Elaborado por: Amaya Danilo.

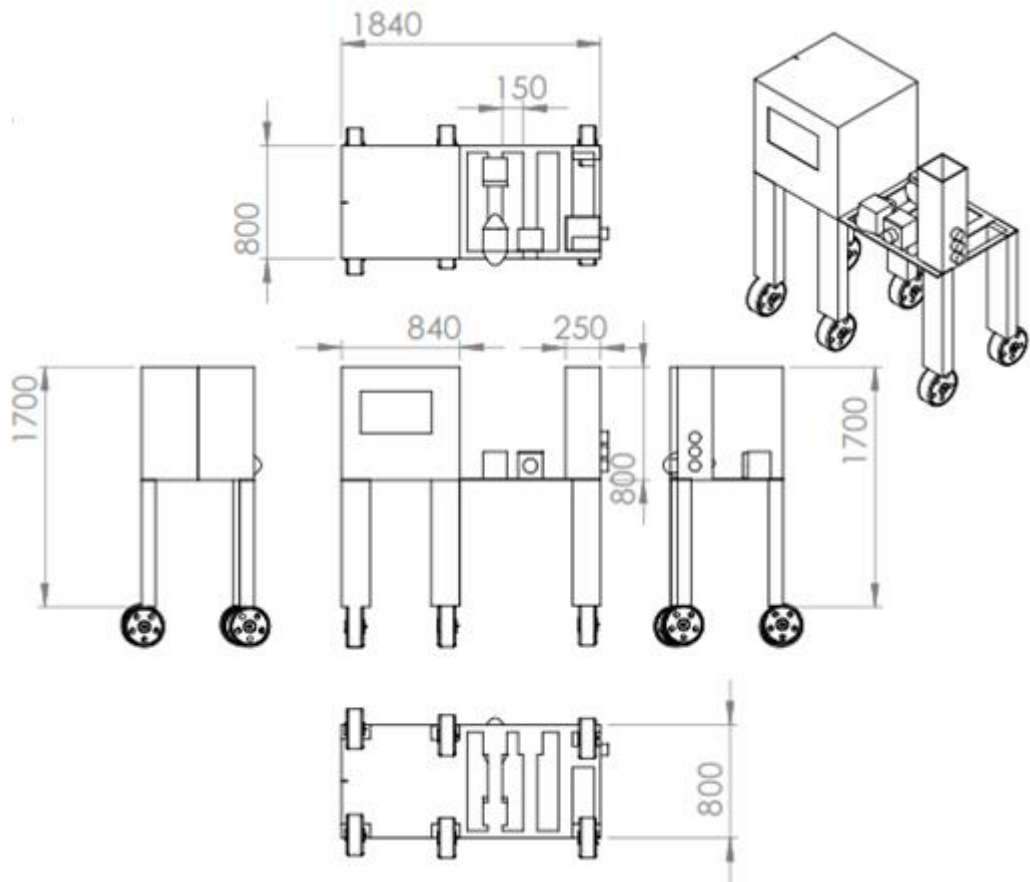
Tabla 43. *Conclusión del módulo 2*

<b>Conclusión</b>	Cuente con elementos robustos	Transportable	Opciones de programación	Control inmediato	sumatoria	Prioridad
alternativa 1	0,27	0,15	0,13	0,07	0,62	1
alternativa 2	0,13	0,15	0,07	0,03	0,38	2

Nota. Conclusión. Elaborado por: Amaya Danilo.

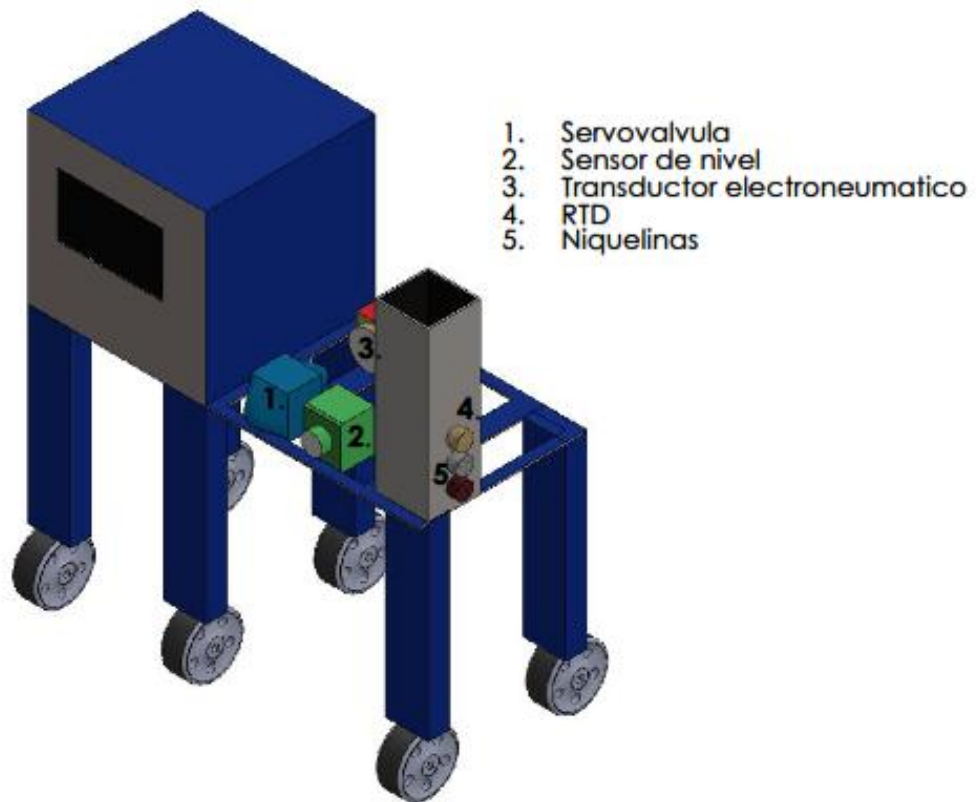
### 3.8. Planos.

Plano en 2D



*Figura 38.* Planos en 2D realizados en solidworks  
Elaborado por: Amaya Danilo,

Plano en 3D



*Figura 39.* Esquemático de la plataforma en 3D  
Elaborado por: Amaya Danilo,

## Plataforma real



*Figura 40.* Plataforma construida.  
Elaborado por: Amaya Danilo,

### 3.9.PROTOCOLO DE PRUEBAS

Luego del análisis del diseño se desarrolla un plan de pruebas para establecer un correcto desempeño de la plataforma lanza pelotas escogida como la mejor alternativa de acuerdo a cada función, así:

Tabla 44. Ensayo 1

<b>NOMBRE DEL PROCESO: ENSAYO 1.</b>
<b>Objetivo:</b> Contener elementos utilizados en la industria.
<b>Dueño del proceso:</b> Operario.
<b>Conjunto de actividades:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar que los instrumentos estén energizados.</li> <li>2. Revisar que los niveles de energía estén en los rangos admitidos.</li> <li>3. Confirmar que los elementos estén encerados.</li> <li>4. Colocar el líquido en los contenedores.</li> </ol>
<b>Entrada:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Señales físicas (Nivel y temperatura)</li> </ul>
<b>Salida:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Señales eléctricas (Amperaje mA/Voltaje V).</li> </ul>
<b>Esquema:</b> Diagrama de actividades del Ensayo 1. <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <pre> graph LR     A[Verificar que los instrumentos estén energizados.] --&gt; B[Revisar que los niveles de energía estén en los rangos admitidos]     B --&gt; C[Confirmar que los elementos estén encerados]     C --&gt; D[Colocar el líquido en los contenedores.]     D --&gt; E[Verificar ensayo 1]             </pre> </div>

Nota: Ensayo 1 para la solución más óptima. Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 45. Ensayo 2

<b>NOMBRE DEL PROCESO: ENSAYO 2.</b>
<p><b>Objetivo:</b></p> <p>Verificar que no exista ninguna fuga en la tubería, según las especificaciones técnicas.</p>
<p><b>Dueño del proceso:</b></p> <p>Operario.</p>
<p><b>Conjunto de actividades:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar que la máquina esté apagada.</li> <li>2. Comprobar que todas las uniones y codos de la tubería estén correctamente ajustadas.</li> <li>3. Encender la máquina.</li> <li>4. Realizar una prueba con el fluido</li> <li>5. Apagar la máquina.</li> </ol>
<p><b>Nota:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nunca debe el operario colocarse frente a la máquina lanza pelotas.</li> </ul>
<p><b>Entrada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluido.</li> </ul>
<p><b>Salida:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluido.</li> </ul>
<p><b>Esquema:</b> Diagrama de actividades del Ensayo 2.</p> <pre> graph LR     A[Verificar que la máquina esté apagada.] --&gt; B[Comprobar que todas las uniones y codos de la tubería estén correctamente ajustadas.]     B --&gt; C[Encender la máquina.]     C --&gt; D[Realizar una prueba con el fluido]     D --&gt; E[Apagar la máquina.]     E --&gt; F[Verificar ensayo 2]     </pre>

Nota: Ensayo 2 para la solución más óptima. Elaborado por: Amaya Danilo.

Tabla 46. Ensayo 3

<b>NOMBRE DEL PROCESO: ENSAYO 3.</b>
<p><b>Objetivo:</b></p> <p>Verificar que la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos se pueda transportar.</p>
<p><b>Dueño del proceso:</b></p> <p>Operario.</p>
<p><b>Conjunto de actividades:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar que la máquina esté apagada.</li> <li>2. Comprobar que los tanques no contengan agua.</li> <li>3. Verificar que los seguros de las ruedas están abiertos.</li> <li>4. Comprobar que la plataforma pueda moverse sin problemas.</li> </ol>
<p><b>Nota:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>La canasta de la máquina debe estar vacía.</b></li> </ul>
<p><b>Entrada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos.</li> </ul> <p><b>Salida:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimiento sin problema.</li> </ul>
<p><b>Esquema:</b> Diagrama de actividades del Ensayo 3.</p> <pre> graph LR     A[Verificar que la máquina esté apagada.] --&gt; B[Comprobar que los tanques no contengan agua.]     B --&gt; C[Verificar que los seguros de las ruedas están abiertos]     C --&gt; D[Comprobar que la plataforma pueda moverse sin problemas]     C --&gt; E[Verificar ensayo 3]     D --&gt; E     </pre>

Nota: Ensayo 3 para la solución más óptima. Elaborado por: Amaya Danilo.



### 3.10. Descripción del controlador

Los elementos que constituyen la plataforma de entrenamiento están de acuerdo a la alternativa 1 de la cual es la más óptima para el diseño de la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos.

Para la selección de los elementos que posee la plataforma de entrenamiento se siguió la metodología del diseño concurrente además se estableció los cálculos respectivos para cada elemento que lo conforman, con el fin de determinar el elemento más óptimo para el control de nivel y temperatura.

#### 3.10.1. Controlador Lógico Programable

Según el análisis realizado basado en el diseño concurrente se seleccionó un PLC el cual es el dispositivo que se encarga de monitorear todas las señales del proceso de nivel y temperatura y es donde se podrá generar las comparaciones necesarias con el fin de que la acción de control sobre el sistema sea más eficaz.



De acuerdo al diagrama eléctrico del Anexo 1, que la, que muestra todas las conexiones a los dispositivos de control se selecciona el controlador que cumpla con las siguientes especificaciones:

- Número de entradas digitales: 8.
- Número de salidas digitales: 6.
- Número de entradas análogas: 2.
- Número de salidas análogas: 2.
- Fuente del controlador 24 VDC.
- Protocolo de comunicación Ethernet.

- Fuente de alimentación del controlador 120 VAC.
- Disponibilidad en el mercado y costo.

Con las especificaciones citadas anteriormente, el controlador elegido para la planta es el PLC de la marca Siemens, modelo S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Rly, protocolo de comunicación Ethernet, memoria 30KB, además ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización.

Cuenta con una fuente de 24 VDC, 8 entradas digitales, 6 salidas digitales tipo relé y 2 entradas análogas.

De acuerdo a las especificaciones descritas es necesario la utilización de dos salidas análogas, para el control continuo de los procesos de nivel y temperatura. Por lo tanto fue necesario añadir un módulo de expansión al PLC. Las especificaciones del módulo de expansión son las siguientes.

- 4 entradas análogas con resolución de 13 bits
- 2 salidas análogas con resolución de 14 bits

Los rangos de funcionamiento tanto del PLC como del módulo de expansión en voltaje son -10VDC a 10VDC y en corriente son de 0mA a 20mA, el rango que se utilizó en la plataforma es de 1 a 5 en voltaje y de 4 a 20 mA en corriente siguiendo los estándares eléctricos. Todo el control está alimentado con la fuente interna del PLC de 24VDC.

### **3.10.2. Montaje:**

El PLC está montado en un perfil DIN, los clips de fijación permite fijar al PLC, siguiendo las recomendaciones del fabricante se lo colocó con los espacios sugeridos para la refrigeración correcta es preciso dejar un espacio mínimo de 25 mm por encima y por debajo de los dispositivos y el cableado.

## Controlador Lógico Programable (PLC)



*Figura 42.* Montaje PLC s7-1200  
Elaborado por: Amaya Danilo y

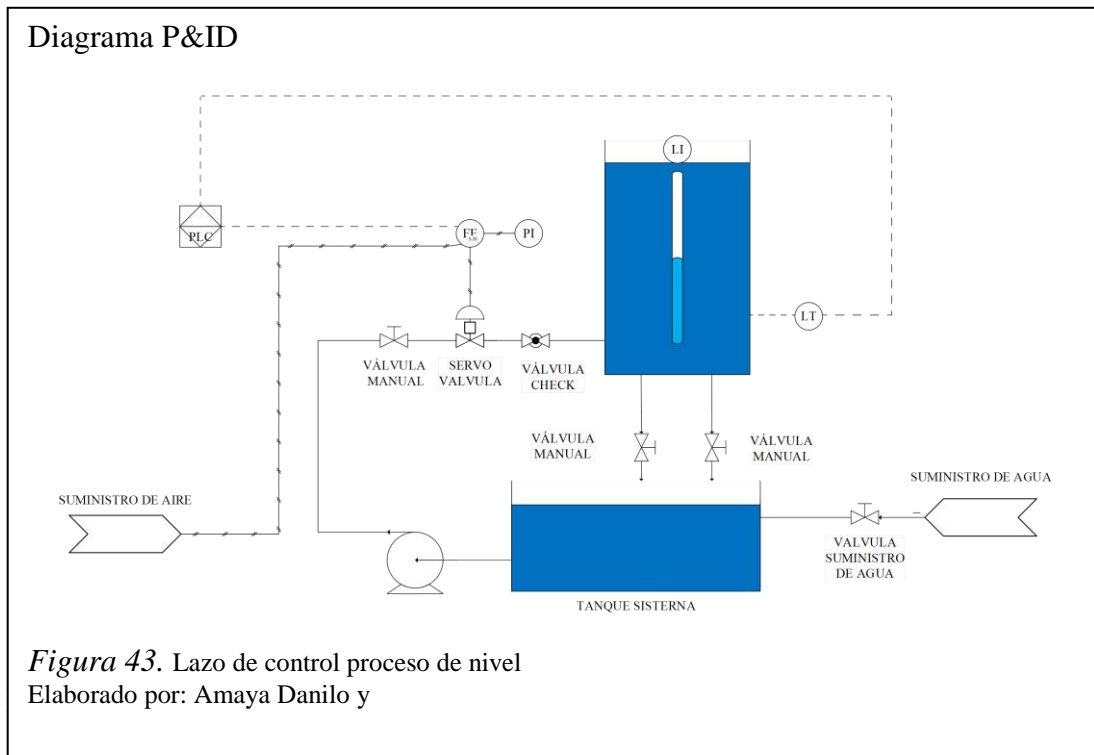
Para la plataforma se utilizó todas las entradas digitales, 5 salidas digitales, 2 entradas análogas del módulo de expansión y 2 salidas análogas del módulo de expansión.

Para las salidas digitales la plataforma cuenta con relés de protección para evitar que el relé interno del PLC se averíe, además se conectó los terminales externos del relé en las entradas digitales del PLC las cuales son indicadores que permitirán visualizar si los dispositivos están funcionando.

### **3.11 Dispositivos para el control de nivel.**

La selección de los dispositivos para el control de nivel se ha determinado considerando las condiciones de un proceso industrial y las condiciones con las cuales se ha construido la plataforma.

### 3.11.1. P&ID de nivel.



### 3.11.2. Sensor de nivel

El sensor que seleccionó para medir la variable de nivel es un instrumento basado en la presión hidrostática, puesto que el elemento que conforma la alternativa 1 para la solución en el diseño, estos tipos de instrumentos son utilizados en la industria para tanques abiertos y para tanques cerrados.

Entre estos instrumentos se destaca el método de presión diferencial, puesto que tiene varias ventajas frente a otros métodos que están basados en presión hidrostática.

El instrumento seleccionado es el transmisor electrónico FOXBORO 823DP, por sus características las cuales se adaptan a la planta y que se describen a continuación:

### Transmisor



*Figura 44.* Transmisor de nivel  
Elaborado por: Amaya Danilo y

#### Material de construcción:

- Material del diafragma: Cobalto, Níquel, Cromo, Tantalio
- Adaptadores y bridas del proceso: Acero al carbono recubierto de cadmio, acero inoxidable 316, hastelloy C o Monel.
- El diafragma fluido de relleno: de silcona o fluorinert

#### Rangos de medición.

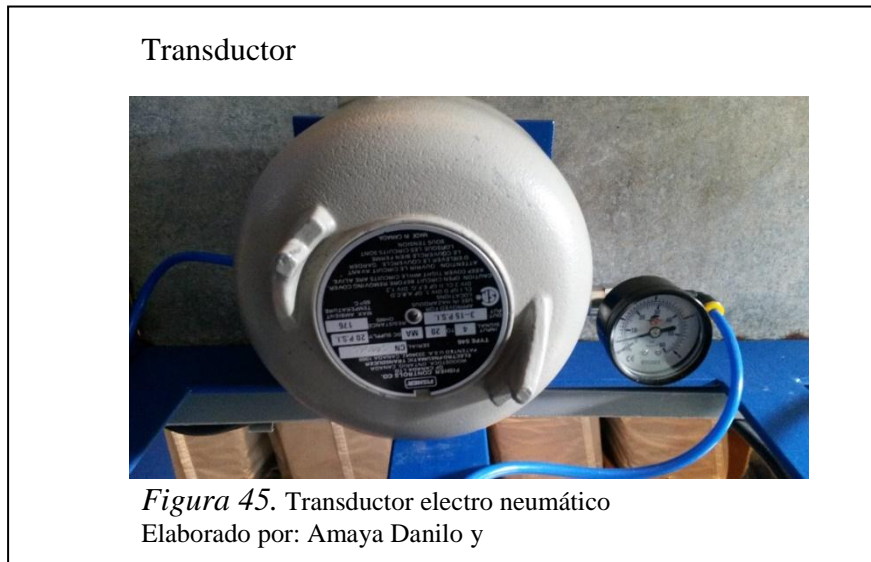
- 0-5 a 0-30 en  $H_2O$  (Bajo).
- 0-25 a 0-150 en  $H_2O$  (Medio).
- 0-125 a 0-750 en  $H_2O$  (Alto).
- Salida: 4-20mA o 10-50mA.

#### Ventajas

- Sencilla instalación
- No necesita un mantenimiento periódico
- Medición de presión diferencial extremadamente pequeña mediante detección de valor de alta precisión.
- Alta fiabilidad gracias a la membrana de sobrecarga integrada.
- Múltiples posibilidades de aplicación a través de una gran selección de rangos de medición y conexiones a procesos.

### 3.11.3. Transductor electro neumático

El transductor elegido para la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos es de la marca Fisher modelo 546 puesto que sus características se ajustan a la planta.



Las ventajas de tener este tipo de transductor es que las señales tanto de entrada como de salida son estandarizadas, además no se necesita que la presión de entrada sea elevada, únicamente necesita 20 psi para funcionar.

Al transductor electro neumático se le adiciono un manómetro lo cual permite verificar la presión que está siendo enviada al actuador que en este caso se trata de una servoválvula, la presión de salida esta estandarizada de 3-15 psi.

### 3.11.4. Bomba

Para la selección de la bomba fue necesario establecer los siguientes criterios de selección además de los criterios descritos en el ítem 3.12.1.1.

- Caudal requerido.
- Fluido a bombear.
- Temperatura del fluido.
- Potencia.

Para la determinación de la potencia del motor de la bomba que será empleado para el suministro de agua al tanque de pruebas se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_{teorica} = \rho * g * Q_t * H_B$$

Ecuación 3.1: Cálculo de caída de presión

Donde:

$P_{teorica}$  = Potencia del motor de la bomba [W].

$\rho$  = Densidad del líquido (agua) [kg/m<sup>3</sup>].

$g$  = Aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>].

$Q_t$  = Caudal o gasto [m<sup>3</sup>/s].

$H_B$  = Altura dinámica o carga a vencer o llamada pérdidas [m].

Para la determinación del caudal total se toma como referencia el valor recomendado de los módulos didácticos que se han construido, éste valor corresponde a 10 [GLM] = **0.6309 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s**; además se consideran las pérdidas generadas por los componentes de la tubería como son codos y electroválvulas, considerando que el líquido a transportar es agua a una temperatura ambiente en Quito de 25°C.

Para la determinación de la altura dinámica se empleará la siguiente fórmula:

$$H_B = h_{ftotal} + \left[ \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right] - \left[ \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right]$$

Ecuación 3.2: Cálculo de altura dinámica

Donde:

$h_{ftotal}$  : Pérdida de carga.

$P_2$  : Presión en la salida de la servoválvula = 24 psi = 172368 N/m<sup>2</sup>

$V_2$  : Velocidad del flujo de agua a la salida de la tubería en el tanque de prueba.

$Z_2$ : Altura del tanque de prueba respecto a la bomba = 1.20 m

$P_{12}$  : Presión en el nivel de toma de agua del tanque reservorio = 0.00 PSI

$V_1$ : Velocidad de flujo de agua en el reservorio = 0.00 m/s

$Z_1$  : Altura desde el tanque reservorio respecto a la bomba para nuestro caso están en el mismo nivel = 0.00 m

$\rho$  : Densidad del agua = 1000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  : Coeficiente de gravedad = 9.8 m/s

Para el cálculo correspondiente, se requiere determinar la velocidad de flujo de agua a la salida de la tubería que alimenta al tanque de prueba ( $V_2$ ) y la pérdida de carga en el recorrido del agua por la tubería ( $h_{f_{total}}$ ).

Para el cálculo de la velocidad de flujo de agua a la salida del rociador se empleará la ecuación:

$$Q = A * V_2$$

Ecuación 3.3: Cálculo de flujo de agua

Donde:

$Q$  : Caudal en la salida de la tubería que alimenta al tanque de prueba (**0.6309 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s**).

$A$  : Sección interna de la tubería.

De donde el área del círculo es:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde se considera tubería de ½ plg = 0.0127 m.

$$A = \frac{\pi(0.0127)^2 m^2}{4}$$

$$A = 0.125 * 10^{-3} m^2$$

$V_2$  : Velocidad de flujo de agua, despejando de la ecuación se tiene:

$$V_2 = \frac{0.6309 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{0.125 \times 10^{-3} m^2} = 5.0472 \frac{m}{s}$$



Para la determinación de la pérdida de carga en el recorrido del agua por la tubería se empleará la ecuación número:

$$h_{fTOTAL} = \frac{(f \times L_{eq} \times V_2^2)}{2Dg}$$

Ecuación 3.4: Cálculo de la pérdida de carga.

Donde:

$f$  : Coeficiente de fricción.

$L_{eq}$  : Longitud equivalente.

$D$  : Diámetro interior de la tubería =  $\frac{1}{2}$  plg = 0.0127 m.

$V_2$  : Velocidad de flujo de agua a la salida de la tubería del tanque de prueba.

$V_2 = 5.0472$  m/s.

$g$  : Coeficiente de gravedad =  $9.8$  m/s<sup>2</sup>.

Para conocer la pérdida de carga total, se requiere determinar el coeficiente de fricción de la tubería y la longitud equivalente de la tubería desde el suministro de agua hasta el tanque de prueba, estos datos aún no están determinados y se detallan a continuación.

- **Cálculo del coeficiente de fricción**

El coeficiente de fricción ( $f$ ) se determina a partir del nomograma “Factor de fricción en función del Número de Reynolds con Rugosidad Relativa como parámetro” descrito en el Anexo 2, para lo cual se necesita conocer el número de Reynolds ( $N_{RE}$ ), y la rugosidad relativa ( $\frac{E}{D}$ ) de la tubería.

Cálculo de número de Reynolds ( $N_{re}$ )

**Para el cálculo del Número de Reynolds se empleó la ecuación 3.5:**

$$N_{RE} = \frac{D \times V_2 \times \rho}{u}$$

Ecuación 3.5: Cálculo del número de Reynolds.

Donde:

$D$  : Diámetro interior de la tubería =  $\frac{1}{2}$  plg = 0.0127 m.

$V_2$  : Velocidad del agua a la salida de la tubería que alimenta el tanque de prueba.  $V_2=5.0472\text{m/s}$ .

$P$  : Densidad del agua.

$u$  : Viscosidad = 0.001 cp (centipoise).

Aplicando la ecuación se tiene:

$$N_{RE} = \frac{0.0127 \text{ m} \times 5.0472 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.001 \text{ cp}}$$

$$N_{RE} = 64099.44 \cong 0.64 \times 10^5$$

### **Cálculo de la rugosidad relativa ( $\frac{E}{D}$ )**

Para el cálculo de la rugosidad relativa se determina a partir de nomograma “Rugosidad Relativo en función del diámetro para tubos de varios materiales“, considerando que para el suministro de agua se empleará tubería de acero comercial se obtiene:

$$\left(\frac{E}{D}\right) = \left(\frac{0.000045 \text{ m}}{0.0127 \text{ m}}\right) = 0.0035$$

Con los datos obtenidos para el  $N_{RE}$  y la  $\left(\frac{E}{D}\right)$  se emplea el nomograma del Anexo 2 para los coeficientes de fricción, obteniéndose el siguiente resultado:

$$f = 0.0034$$

### **Cálculo de la longitud equivalente ( $L_{eq}$ )**

La longitud equivalente de la tubería está comprendida por la longitud de la tubería lineal y la longitud equivalente de los accesorios que están instalados en la línea de suministro de agua.

$$L_{eq} = L + L_{eqacc}$$

Ecuación 3.6: Cálculo longitud equivalente.

Donde:

$L$  : Longitud de tubería lineal = 2 m.

Para la longitud equivalente de accesorios ( $L_{eqacc}$ ) se considera 3 accesorios (codos de 90°), y la longitud equivalente de cada accesorio se determina a partir de:

$$Leq1acc = L * d$$

Ecuación 3.7: Cálculo longitud equivalente de los accesorios

$$Leq1acc = 2 \times 0.0127 = 0.0254 \text{ m/accesorio.}$$

Por lo tanto la longitud equivalente de todos los accesorios será:

$$Leq acc = Leq1acc \times N^{\circ} \text{ accesorios}$$

$$Leq acc = 0.0254 \frac{m}{\text{accesorio}} \times 3 \text{ accesorio} = 0.0762 \text{ m}$$

Por lo tanto la longitud equivalente total será:

$$Leq = 2 + 0.0762 = 2.0762 \text{ m}$$

Con los datos obtenidos se determina la pérdida de carga total ( $h_{ftotal}$ ) utilizando la Ecuación 3.4.

$$h_{ftotal} = \frac{f \times Leq \times V_2^2}{2 \times D \times g}$$

$$h_{ftotal} = \frac{(0.034 \times 2.0762 \times 5.0472^2)}{2 \times 0.0127 \times 9.8}$$

$$h_{ftotal} = 7.22 \text{ m}$$

Para la altura dinámica o carga de trabajo de la bomba ( $H_B$ ), se considera la Ecuación 3.2, donde a continuación se excluye las variables con valor cero y se obtiene la siguiente ecuación:

$$H_B = h_{ftotal} + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2$$

Ecuación 3.8: Cálculo de la altura dinámica.

Los datos obtenidos son:

$$h_{f\text{total}} = 7.22 \text{ m.}$$

$$P_2 = 172368 \text{ kg/m} \cdot \text{seg}^2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$V_2 = 5.0472 \text{ m/s}$$

$$Z_2 = 1.20 \text{ m.}$$

$$H_B = 7.22 \text{ m} + \left[ \frac{172368 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right] + \left[ \frac{\left(5.0472 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right] + 1.20$$

$$\therefore H_B = 26.26 \text{ m}$$

### Cálculo de la potencia de la bomba (P)

$$P = H_B \times \rho \times g \times Q$$

Ecuación 3.9: Cálculo la potencia de la bomba.

$$P = 26.26 \text{ m} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.6309 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P = 162.36 \frac{\text{kg} \times \text{m}^2}{\text{s}^3}$$

Potencia teórica de la bomba.

Considerando la equivalencia de 1HP = 745 W.

$$HP = \frac{162.36}{745} = 0.2179$$

Eficiencia de la bomba = 85%.

Potencia real de la bomba:

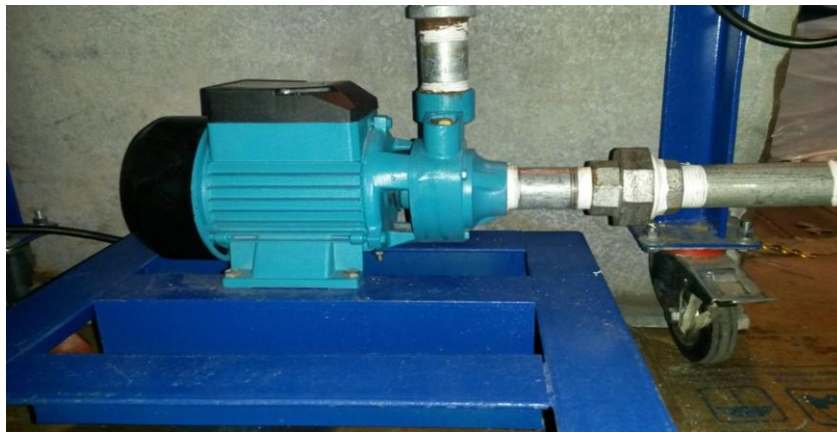
$$HP_{real} = \frac{0.2179}{0.85} = 0.25 \text{ HP}$$

La bomba requerida es de 0.25 HP = ¼ HP, por lo tanto debido que en el mercado nacional no existe disponibilidad de stock de las bombas de ésta capacidad se seleccionó una bomba de mayor potencia. La bomba que corresponde al inmediato superior es igual a 0.5 HP = ½ HP. Con la potencia seleccionada se garantiza tener un perfecto funcionamiento de la bomba que no generara deficiencias al suministro de agua ya que se tiene disponible un 50% más de la potencia requerida para el sistema. Además se asegura que la bomba no va trabajar al 100% de la carga nominal con lo cual se extenderá la vida útil de la misma.

### **Montaje:**

La bomba está montado sobre una base de hierro y sujeta con pernos hacia la misma, permitiendo tener un fácil montaje y desmontaje, como se puede observar en la Figura 46.

Bomba de agua



*Figura 46.* Montaje de la bomba.  
Elaborado por: Amaya Danilo y

En la Figura 47 se encuentra los datos de placa de la bomba.

Datos técnicos



*Figura 47.* Datos de placa de la bomba  
Elaborado por: Amaya Danilo y

### 3.11.5. Contactor

Para la selección del contactor se utilizó la potencia de la bomba correspondiente a 0.5 HP = 373 W, con este valor se determinó la corriente nominal que requiere la bomba para su funcionamiento el cual se detalla a continuación:

$$I_n = \frac{P}{V}$$

Ecuación 3.10: Cálculo de la corriente de la bomba.

Donde:

P : Potencia de vatios.

V : Voltaje de operación de la bomba en voltios.

$$I_n = \frac{373 \text{ W}}{120 \text{ V}}$$

$$I_n = 3.10 \text{ A}$$

Con el valor de corriente se establece que para la bomba se tiene por arranque un aumento de corriente de aproximadamente 8 veces la corriente nominal tomando el punto más crítico de su arranque y considerando que la carga alimentar es monofásica se tiene que la corriente corresponde a:

$$I_n = 3.10 \text{ A} \times 8 = 24,8 \text{ A.}$$

De acuerdo a los cálculos establecidos el contactor que se seleccionó para el accionamiento de la bomba posee las siguientes características:

- Voltaje de operación de la bobina: 120 Vac.
- Corriente máxima: 32 A en AC1, 25 A en AC3. Estos valores son recomendados para una carga trifásica a 220 Vac, en nuestro caso la carga tiene una alimentación monofásica a 120 Vac, por lo tanto el contactor estará en capacidad de soportar cada arranque sin generar un mayor desgaste en los contactos principales.
- Además para protección de la bomba contra posibles sobrecargas se instaló un relé térmico de 3.5 A a 8A el cual está regulado para 3.5 A.

#### **3.11.5.1. Montaje:**

El contactor está montado en un perfil DIN, los clips de fijación permite fijar al contactor y al relé térmico, siguiendo las recomendaciones del fabricante para obtener su correcto funcionamiento y fácil mantenimiento, como se puede observar en la Figura 48.





El lazo de control de temperatura tiene tres aspectos principales, el controlador, los actuadores y el sensor el cual se encarga de la realimentación. Los actuadores que intervienen para el proceso de temperatura como muestra la figura 49 son:

- Niquelina 700 W
- Servoválvula
- Bomba
- Niquelina 1500 W

### 3.11.6. Niquelinas

La plataforma esta provista de 2 calentadores de inmersión de diferente potencia uno es de 1500 W y la otra es de 700 W, los dos calentadores funcionan a 110V, el motivo por el cual se colocó 2 calentadores de inmersión, es para realizar un control más fino, además al tener dos calentadores el tiempo en el cual el líquido llegara a la temperatura deseada será mucho menor.

#### 3.11.6.1. Selección de Niquelinas

Las niquelinas son elementos que proporcionan calor por medio de electricidad por lo tanto las niquelinas se eligen de acuerdo a la potencia que ellas trabajen, por lo cual se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$P = Q * \Delta h$$

Ecuación 3.11: Cálculo de la potencia requerida de las niquelinas.

#### Dónde:

$P$  = Potencia requerida en W.

$Q$  = Calor transmitido por un cuerpo en kc/s

$\Delta h$  = Variación de entalpías Kg aire seco.

Para poder calcular la potencia es necesario calcular el calor transmitido por conducción, la cual está dada por la siguiente formula.

$$Q_{conduccion} = K * A * \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Ecuación 3.12: Cálculo del calor transmitido.

**Donde:**

- $Q_{conduccion}$  = Calor transmitido por conducción [W].
- $K$ = Constante de conductividad térmica del material [W/mK].
- $A$ = El área por el cual circula el calor transmitido [ $m^2$ ].
- $\Delta T$ = La Variación de la temperatura inicial y final [°C].
- $\Delta x$  = La variación de la posición [cm].

$$Q_{conduccion} = 47 * 2000 * \frac{90 - 17}{60 - 10}$$

$$Q_{conduccion} = 146584 W$$

El valor de K se la obtuvo del Anexo 6 que muestra la tabla de conductividad térmica de materiales, el área fue obtenida de acuerdo a las dimensiones del tanque, la temperatura inicial es la temperatura del agua en el medio ambiente (17° aproximadamente) y la temperatura máxima se la obtuvo haciendo referencia al punto de ebullición del agua que es 90°C en Quito aproximadamente la posición se la determino considerando la variación en la altura mínima y máxima del líquido que va a ser calentado.

Para calcular la potencia de la niquelina se necesita conocer la variación de entalpías  $\Delta h$ , pues solo se puede determinar por medio de la psicometría utilizando la carta psicométrica, donde se debe representar la humedad relativa, el coeficiente de la humedad absoluta y el valor de la temperatura.

En el Anexo 5, se observa que al momento de graficar en la carta psicométrica se pudo hallar los siguientes valores

Tabla 47. *Valores específicos del diagrama psicométrico*

<b>T1:</b> 17 °C	<b>HR:</b> 90%	<b>W:</b> 0,012 Kg/Kg aire-seco	<b>h1:</b> 47 KJ/Kg aire-seco
<b>T2:</b> 90 °C	<b>HR:</b> 5%	<b>W:</b> 0,012 Kg/Kg aire-seco	<b>h2:</b> 106 KJ/Kg aire-seco

Nota. Resultados diagrama psicométrico. Fuente: (Carta psicométrica). Elaborado por: Amaya Danilo y

Considerando las ecuaciones 3.11 y 3.12 planteadas anteriormente se puede calcular la potencia necesaria de la niquelina para poder suministrar la temperatura requerida en la planta.

Obtenidas los valores de la  $h_1$  y  $h_2$ , procedemos a desarrollar el cálculo, hay que tener como dato principal que determina que  $\Delta h$  es igual a  $h_2 - h_1$ . Para realizar el cálculo se debe cambiar las unidades del calor transmitido por conducción obteniendo 35,01 Kcal/s

$$P = 35,01 * (106 - 47)$$
$$P = 2065,59 \text{ W}$$

Para poder cumplir con la demanda de calor requerida y para realizar un control más fino se colocó 2 niquelinas una de 1500 W y la otra de 750 W cada una se la puede activar dependiendo del control que se desee realizar.

Niquelina 1



*Figura 50. Niquelina 700W*  
Elaborado por: Amaya Danilo y

## Niquelina 2



*Figura 51. Niquelina 1500W*  
Elaborado por: Amaya Danilo y

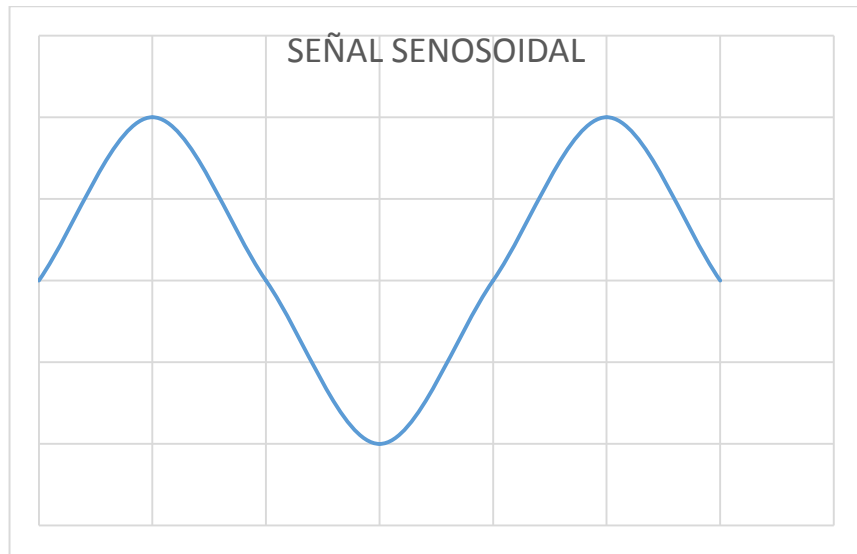
Para la activación de la niquelina de 1500W se utilizó la salida digital número 3 del PLC la cual activa un relé y este a su vez la niquelina.

Además si las dos niquelinas entran en funcionamiento la corriente de consumo total corresponde a 18.33 A, este valor multiplicado por el factor de sobrecarga del 25% se obtiene que la corriente es 22.91 A, instalándose una protección termo-magnética de 32A.

Para la activación de la niquelina de 700 W se realizó la construcción de una tarjeta de control de fase la misma que sirve para realizar un control proporcional de la temperatura. La tarjeta funciona con una señal análoga de 1-5 VDC que es entregada a través de la salida análoga del PLC.

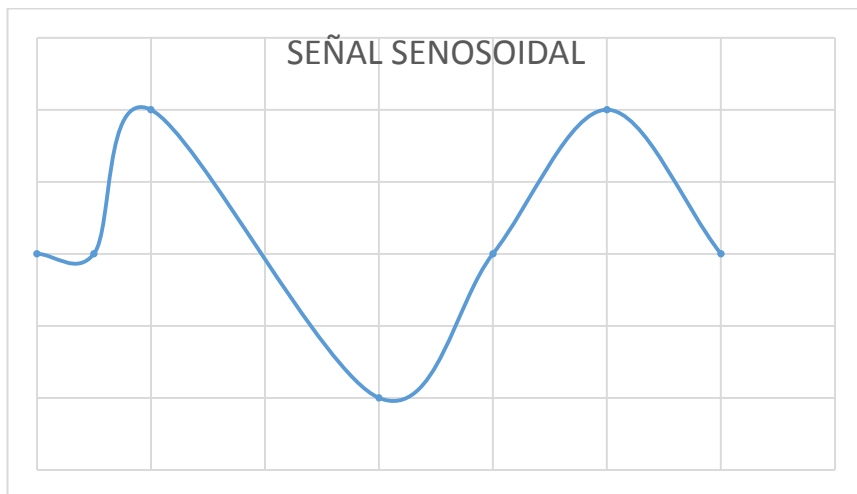
Para el diseño de la tarjeta del control de fase de la niquelina de 700 W se utilizó un microcontrolador AVR el cual es el encargado de acondicionar la señal análoga de 1-5 VDC. La programación del microcontrolador se presenta en el Anexo 7.

*Muestra 1*



*Figura 52.* Señal de la red eléctrica pública  
Elaborado por: Amaya Danilo y

*Muestra 2*



*Figura 53.* Señal acondicionada por el microcontrolador  
Elaborado por: Amaya Danilo y

## Diagrama en Proteus

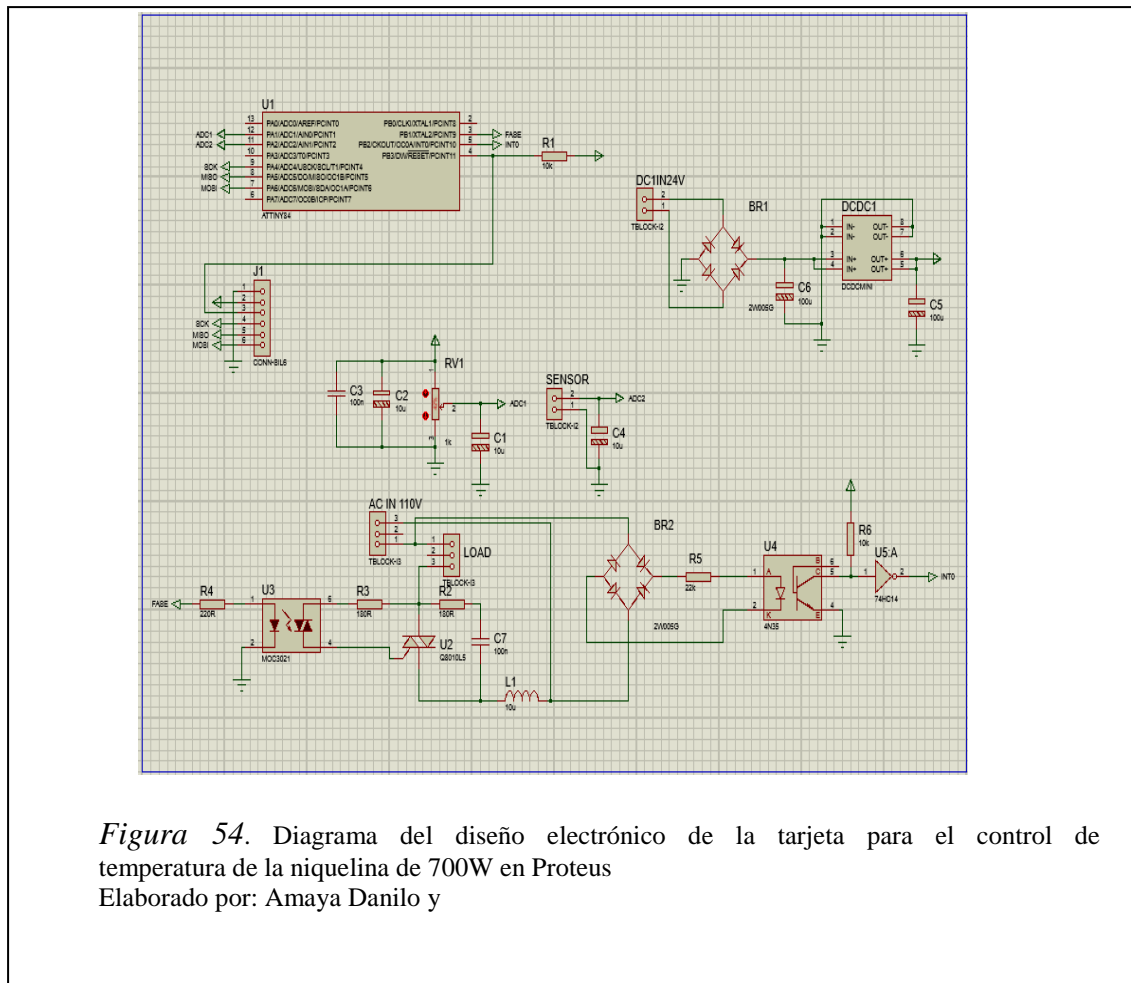


Figura 54. Diagrama del diseño electrónico de la tarjeta para el control de temperatura de la niquelina de 700W en Proteus  
Elaborado por: Amaya Danilo y

Para realizar el control de fase se controla el disparo que realiza el Triac mediante el microcontrolador, el testeo es realizado cada 8,33 ms lo cual hace posible tener un control continuo en tiempo real, la latencia es mínima e imperceptible.

### 3.11.7. Sensor de temperatura RTD (Detector de Temperatura Resistivo)

Este tipo de sensor fue seleccionado debido a que el líquido que se va a utilizar es agua lo cual implica que la temperatura no será superior a 100 °C puesto a que esta es la temperatura nominal a la que hierve el agua, además se consideró que en Quito el punto de ebullición del agua es de 91°C. Además posee las siguientes ventajas

Un RTD más conocido como Pt100 es un detector resistivo de temperatura, es decir que mientras aumenta la temperatura también aumenta la resistencia.

Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

#### Sensor de temperatura



*Figura 55.* RTD

Elaborado por: Amaya Danilo y

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas Anexo 8 es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

#### **Ventajas del Pt100**

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Además la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión

#### **Conexión de la Pt100**

Existen 3 modos de conexión para las Pt100, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto. El objetivo es determinar exactamente la resistencia eléctrica  $R(t)$  del elemento sensor de platino sin que influya en la lectura la resistencia de los cables  $R_c$ .

*Transmisor*



*Figura 56.* Transmisor para el RTD  
Elaborado por: Amaya Danilo y

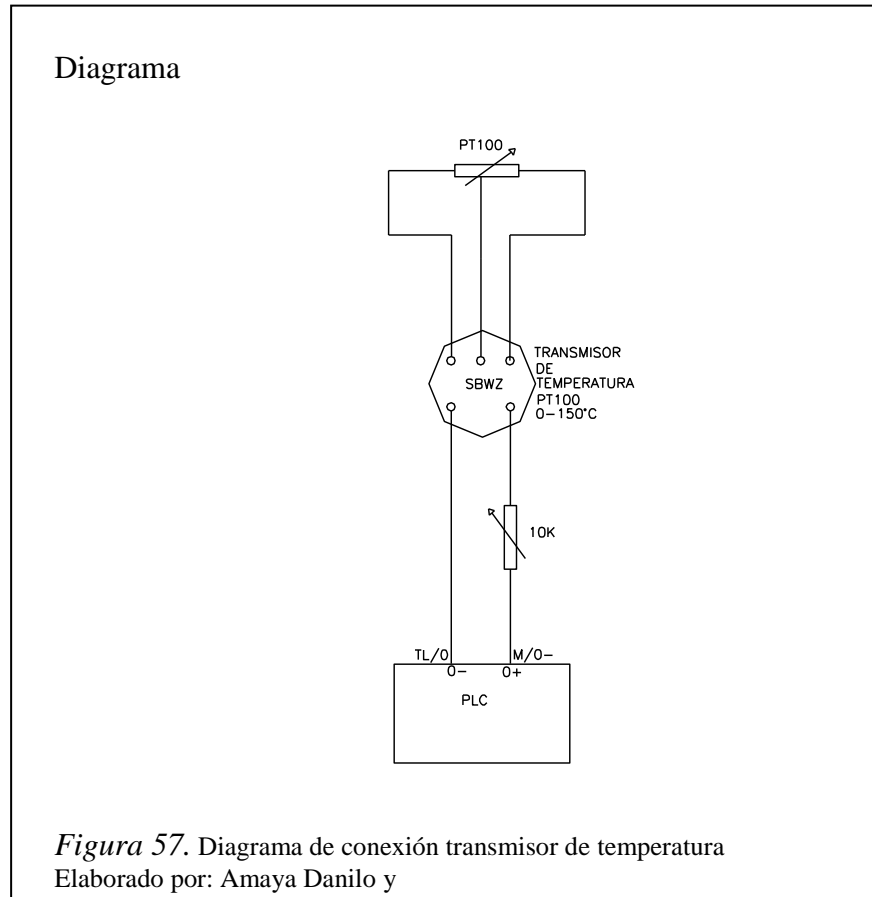
### **Conexión con 3 hilos**

El modo de conexión de 3 hilos fue el seleccionado puesto que es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables.  $R(t)$

El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa en el "puente de Wheatstone". Por supuesto el lector de temperatura debe ser para este tipo de conexión.

El transmisor del PT-100 está calibrado bajo las normas propias del sensor, es decir que tiene un rango de medición desde 0°C a 150°C con el estándar de corriente de 4 a 20 mA los valores de temperatura con su equivalente en mA se los puede encontrar en el Anexo 8.





### 3.11.18. Elementos adicionales.

La plataforma cuenta con varios elementos adicionales los cuales son encargados de asegurar el óptimo funcionamiento de los instrumentos antes mencionados, además brindan las protecciones necesarias para evitar que los instrumentos de control se averíen.

#### a) Elementos de Protección

La plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos cuenta con varias protecciones para los instrumentos que intervienen en los procesos de nivel y temperatura respectivamente. Las protecciones eléctricas están distribuidas de la siguiente manera:

- Breaker (B1) 20A: Alimenta todos los tomacorrientes de la cabina de la plataforma.
- Breaker (B2) 6A: Alimenta el Controlador Lógico Programable PLC, electroválvula, mixer y bomba sumergible.
- Breaker (B3) 32A: Alimenta a las niquelinas de 1500 y 700 watos.
- Breaker (B4) 6A: Alimenta Bomba de agua de ½ HP.
- Fusibles: Protección de para el control a 24 VDC.

Además de las protecciones eléctricas la plataforma esta provista con un sensor para detectar el nivel de agua en el tanque cisterna, bajo la siguiente condición, si el agua de la cisterna es demasiado bajo no se podrá activar la bomba lo cual evita que la bomba pueda quemarse.

#### b) Accesorios

Para los procesos de nivel y temperatura se precisa de varios accesorios complementarios que ayudan al usuario a tener un mejor control de la plataforma. A continuación se detallan todos los accesorios y su función.

- **Electroválvula:** Este elemento interviene principalmente en el proceso de temperatura, el cual es el encargado de sacar el agua caliente para que ingrese agua fría y mantener la temperatura deseada. También se la puede utilizar en el proceso de nivel para simular un consumo adicional al que entrega la válvula manual.
- **Bomba Sumergible:** La función de la bomba es aumentar la presión de salida del agua hacia la electroválvula lo cual garantiza que el flujo de agua de la electroválvula sea constante.
- **Módulo de Mantenimiento:** El elemento es el encargado de regular el suministro de aire, puesto que el transmisor electro-neumático para el control de la servoválvula debe ser alimentado con 20 PSI. Cuenta con una válvula reguladora de 0 a 25 PSI.

- **Relés Auxiliares:** Se instaló los relés auxiliares por seguridad puesto que en caso de que exista un corto circuito en los elementos que están siendo alimentados únicamente se averíe los relés auxiliares y el PLC no se vea afectado.
- **Computador:** tiene un procesador core i3 de 2,4 Ghz, 4 GB de memoria RAM, además tiene instalados varios softwares para poder programar el PLC y realizar diferentes tipos de control. El procesador asegura un óptimo rendimiento del computador.
- **Switch:** para la comunicación entre el computador y el PLC se precisa de un Switch de 8 puertos, los cuales están distribuidos de la siguiente manera:
  - Puerto 1: PLC
  - Puerto 2: Face plate
  - Puerto 3: Computador.
- **Luces piloto:** Cuenta con dos luces piloto verde y anaranjada, las cuales son indicadores:
  - Luz verde: Planta encendida.
  - Luz anaranjada: Bomba encendida cuando el nivel del agua es demasiado bajo.
- **Paro de Emergencia:** Su función principal es parar los procesos que estén corriendo en ese momento, está conectado en la entrada I3 del PLC. Se lo debe utilizar en caso de emergencia.
- **Mixer:** se lo utiliza en el proceso de temperatura para mezclar el agua y tener una temperatura más uniforme dentro del tanque la alimentación es a 110VAC, la potencia es de 250W.
- **Uninterrupted Power Supply (UPS).** La función principal del equipo UPS es dar tiempo de respaldo para que en caso de un corte energético se pueda guardar los datos y apagar correctamente el computador.

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza una explicación de cómo se realizó las pruebas y el proceso de calibración de cada instrumento que conforma la plataforma, además se elabora un protocolo de operación, funcionamiento y mantenimiento de la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos.

#### 4.1. Calibración de instrumentos

Para la calibración de los instrumentos se siguió los estándares de transmisión eléctrica de 4-20 mA en corriente y de 1-5 VDC en voltaje, para analizar la calibración de los instrumentos se la dividirá en los instrumentos de nivel y los de temperatura, considerando estos parámetros la calibración se la realizo de la siguiente forma:

##### 4.1.1. Instrumentos de nivel

Para el proceso de nivel se cuenta con dos instrumentos que precisan de una calibración los cuales se citan en el ítem 3.1 en el cual se describe sus características principales.

Para la calibración del transmisor de nivel electrónico FOXBORO 823DP, se dispone de dos potenciómetros que regulan el ajuste a cero y el Spam, además posee varios jumpers como se observa en la figura 58, los cuales son encargados de colocar al transmisor en diferentes modos de operación (Refiérase al manual del transmisor).



Previamente realizado la conexión de alimentación a 24VDC se procede a conectar un amperímetro en serie para la verificación de la corriente que está transmitiendo, la figura 59 muestra la conexión del transmisor y del amperímetro para la calibración.



Una vez conectado el amperímetro se procede a calibrar a 4mA con el potenciómetro de ajuste a CERO cuando el nivel del tanque está en 0cm, luego se llena al tanque hasta su máximo valor 60cm y se procede a ajustar el valor a 20mA con el potenciómetro de SPAN ADJ.

Se realizan varias pruebas de funcionamiento del transmisor para verificar que los valores tanto de corriente como en el indicador de nivel sean correctos, se sometió al sensor a diferente valor de presión variando el nivel del agua del tanque con lo cual se determina que los datos obtenidos tienen un error del  $\pm 0,5\%$  aproximadamente que está dentro del rango admitido con respecto al valor teórico. La tabla 55 muestra una comparación de los datos reales y los datos calculados teóricamente.

Tabla 48. Comparación valores teóricos vs valores medidos

Altura del agua (cm)	Valor teórico de la corriente	Valor real de la corriente	Error
0	4	4,02	0,5
10	4,7	4,75	1,0638298
20	6,1	6,3	3,2786885
30	10	10,12	1,18
40	13,3	13,7	2,91
50	16,7	17,08	2,22
60	20	20,04	0,2

Nota. Pruebas de calibración. Elaborado por: Amaya Danilo y

- Observación: antes de utilizar el sensor en los procesos de nivel y temperatura respectivamente, se debe realizar el procedimiento de ajuste a CERO descrito anteriormente, para asegurar la lectura correcta del transmisor.

#### Ajuste a cero



Para el transductor electro-neumático Fisher modelo 546 se colocó un manómetro para verificar la presión que está siendo enviada a la servoválvula, puesto que este tipo de instrumento convierte una señal eléctrica en una señal neumática, la señal enviada al transductor es de 1-5VDC, la misma que será convertida a una señal neumática de 3-15 psi, el transductor tiene una resistencia interna de 176  $\Omega$  razón por la cual se colocó un potenciómetro de precisión en la entrada para aumentar su

resistencia a  $250\Omega$  para que reciba una corriente de 4-20 mA como lo describe la ecuación 4.1.

Conexión



*Figura 61.* Conexión de potenciómetro al transductor electro-neumático Fisher  
Elaborado por: Amaya Danilo y

$$I = \frac{V}{R}$$

*Ecuación 4.1* cálculo de la corriente ley de ohm

Donde:

$$I = \frac{1VDC}{250\Omega}$$

$$I = 4mA$$

Una vez realizada esta adecuación se procede a colocar un amperímetro en serie para verificar la corriente que está siendo enviada y calibrarlo de 4 a 20 mA, con todos los instrumentos colocados se procede a calibrarlo de acuerdo a la tabla 56

*Tabla 49.* Valores teóricos para el transductor electro-neumático Fisher modelo 546

Voltaje (V)	Amperaje (mA)	Presión (Psi)
1	4	3
2	8	6
3	12	9
4	16	12
5	20	15

Nota. Pruebas de calibración. Elaborado por: Amaya Danilo y

Al medir los valores en los diferentes instrumentos se realizó una tabla de comparación con los valores reales y los valores calculados para determinar el error porcentual.

Tabla 50. *Comparación de los valores medidos vs valores teóricos*

<b>Voltaje de entrada (VDC)</b>	<b>Valor teórico de la corriente (mA)</b>	<b>Valor real de la corriente (mA)</b>	<b>Error (%)</b>
1	4	4,01	0,25
2	8	8,02	0,25
3	12	11,98	0,17
4	16	16,02	0,125
5	20	20,04	0,2

Elaborado por: Amaya Danilo y

La tabla 57 muestra que el error entre el valor teórico y el valor medido es mínimo por este motivo se determina que la calibración está dentro de los parámetros admitidos.

#### **4.1.2. Instrumentos de temperatura**

Para el proceso de temperatura se debe calibrar el instrumento de medición que en este caso particular es un RTD o más conocido como un PT-100 cuyas características están descritas en el ítem 3.2.2, y en su hoja técnica, (arian.cl, s.f.) se encuentran tablas para calibración con las cuales se baso para la calibración.

Para la calibración de este instrumento se expuso el líquido a medir a varias temperaturas, para cada caso se realizó la medición de 3 parámetros fundamentales: Temperatura, Resistencia, Corriente. Una vez medido los parámetros se obtuvo los siguientes resultados.

La tabla 58 muestra los valores nominales del PT100, se tomó un rango de 0 a 90°C para la calibración puesto a que el líquido a utilizarse es agua, teniendo en cuenta que el punto de ebullición del agua en quito es de 90°C y el punto de fusión es de 0°C se precisó de la siguiente tabla.



Tabla 51. *Valores nominales del Pt-100*

Temperatura °C	resistencia ( $\Omega$ )	Corriente mA
0	100	4
10	103,9	4,156
20	107,39	4,2956
30	111,67	4,4668
40	115,54	4,6216
50	119,4	4,776
60	123,24	4,9296
70	127,07	5,0828
80	130,89	5,2356
90	134,7	5,388

Nota. Pruebas de calibración. Elaborado por: Amaya Danilo y

La tabla 59 muestra los valores que fueron obtenidos al medir la resistencia y corriente al someter al agua a diferentes temperaturas.

Tabla 52. *Valores medidos del Pt-100*

Temperatura °C	Resistencia ( $\Omega$ )	Corriente (mA)
0	100	4
10	104,01	4,1604
20	108,1	4,324
30	111,84	4,4736
40	115,98	4,6392
50	120,03	4,8012
60	123,64	4,9456
70	127,57	5,1028
80	131,03	5,2412
90	134,97	5,3988

Nota. Pruebas de calibración. Elaborado por: Amaya Danilo y

Con los datos obtenidos se realizó las tablas 60 y 61 las cuales muestran la comparación de los valores teóricos con los valores medidos para determinar el error porcentual.

Tabla 53. Error entre el valor medido y el valor teórico en ohm

Valor medido (Ω)	valor teórico (Ω)	Error porcentual (%)
100	100	0
104,01	103,9	0,105759062
108,1	107,39	0,65679926
111,84	111,67	0,152002861
115,98	115,54	0,379375754
120,03	119,4	0,524868783
123,64	123,24	0,323519896
127,57	127,07	0,391941679
131,03	130,89	0,106845761
134,97	134,7	0,200044454

Nota. Pruebas de calibración. Elaborado por: Amaya Danilo y

Tabla 54. Error entre el valor medido y el valor teórico en mA

Valor medido (mA)	Valor teórico (mA)	Error porcentual (%)
4	4	0
4,156	4,1604	0,10587103
4,2956	4,324	0,661141633
4,4668	4,4736	0,152234262
4,6216	4,6392	0,380820495
4,776	4,8012	0,527638191
4,9296	4,9456	0,324569945
5,0828	5,1028	0,393483907
5,2356	5,2412	0,106960043
5,388	5,3988	0,200445434

Nota. Pruebas de calibración. Elaborado por: Amaya Danilo y

De acuerdo con los datos obtenidos se determina que el error es aceptable, por esta razón se concluye que la calibración es adecuada para el proceso, cabe destacar que este tipo de sensor tiene una precisión de +/- 0,1 °C.

## CONCLUSIONES

- La plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos fue diseñada y construida cumpliendo los requerimientos necesarios para lograr el control de las variables físicas de nivel y temperatura.
- Mediante la utilización del diseño concurrente descrito en el ítem 2.1.3 se estableció la metodología para el desarrollo de la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos, permitiendo que el diseño tenga las seguridades adecuadas para el usuario.
- La selección de la mejor alternativa para la planta se la realizo utilizando la metodología de diseño concurrente en la cual se concluyó que una de las características definitivas para la selección fue el costo final de la maquina.
- Mediante los cálculos realizados y el diseño mecánico establecido, se seleccionó los sensores, actuadores y transductores más adecuados para la plataforma, además se consideró la disponibilidad en el mercado nacional.
- Siguiendo la metodología del diseño concurrente se determinó las funciones principales que debe cumplir la plataforma de entrenamiento, estas son facilitar el control continuo de las variables físicas de nivel y temperatura, y proporcionar una herramienta en la cual se pueda realizar investigación de controles modernos para dichas variables.
- El diseño concurrente detalla que para la selección de los elementos se debe considerar al tipo de usuario que manipulara el equipo, para lo cual se consideró lo siguientes aspectos: técnicos, estéticos y de uso.
- La plataforma de entrenamiento está diseñada para poder adquirir los datos en tiempo real, y evaluarlos en diferentes softwares y poder determinar cual es el más óptimo para realizar un control de proceso en una planta real.
- La plataforma de entrenamiento permite al usuario tener una experiencia real de una planta industrial, además permite aplicar los conocimientos en control moderno como por ejemplo PID, PID Fuzzy.

- Mediante la construcción de la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos, se puso en práctica los conocimientos adquiridos durante toda la formación académica.
- La plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos, permite que se realice pruebas de calibración y de funcionamiento de los elementos como se lo realiza en campo.
- El prototipo maneja una presión normalizada de 3-15 psi facilitando el uso de diferentes controles modernos utilizados en la industria.

## RECOMENDACIONES

- La servoválvula debe trabajar con una presión máxima de 15 PSI, se recomienda no enviar más presión de la admitida puesto que esto ocasionará que la servoválvula se averíe, además si se sobrepasa la presión puede existir fugas de agua.
- Se recomienda verificar el nivel del agua en el tanque de prueba (mínimo 30 cm) cuando se realice el proceso de temperatura puesto que las niquelinas necesitan estar sumergidas para poder activarlas y que la energía sea disipada en el agua.
- Para activar el transmisor electro-neumático se debe verificar que se envíe un voltaje de 1-5VDC y no utilizar el rango completo que envía el PLC en la salida análoga QW96, puesto que al sobrepasar el voltaje la corriente será mayor a la admitida ocasionando la avería del transmisor.
- El modulo análogo SM1234 debe estar configurado para que sus entradas adquieran datos en corriente (4-20 mA) y las salidas deben enviar datos en señal de voltaje (1-5 V), si no se configuran de esa manera el PLC entra en error.
- Si el nivel del agua en el tanque de prueba es menor a 10cm la electroválvula no deberá activarse, ya que la bomba sumergible está conectada en paralelo y necesita tener agua para su funcionamiento.
- En caso que el transmisor de nivel requiera una recalibración es necesario la verificación de los terminales de purga y racores de alto y bajo, para evitar fugas de la presión atmosférica.
- En la niquelina de 1500W existe una protección térmica la cual deberá estar seteada a 80°C para asegurar que entregue la máxima potencia; cuando sobrepase la potencia seteada la niquelina se desenrgizara.
- Para el proceso de nivel la bomba debe estar encendida continuamente, y el control de nivel se lo debe controlar únicamente con la apertura y cierre de la

servoválvula. Esto es debido a que si se realiza el control de nivel con la bomba ocasionara que los arranques calienten los bobinados del motor ocasionando la disminución apresurada de la vida útil de la bomba

- Si se tuviera que remplazar los racores del transmisor de nivel se debe colocar racores verticales y no racores tipo codo, ya que estos causaran error en la lectura del trasmisor pese a estar calibrado.
- El mezclador deberá ser activado únicamente e el proceso de temperatura con una altura máxima del líquido de 40cm, puesto que si se supera esta altura se bloqueara el vástago del motor debido a que no puede vencer la inercia del agua.
- Las llaves del tubo indicador de nivel no deberán ser manipuladas puesto que están abiertas para que suba a la misma velocidad que el líquido del tanque.
- No introducir objetos en las aberturas de la servoválvula puesto que al recibir presión estas se contraen y al existir una obstrucción la servoválvula se puede averiar.
- Cuando se realice mantenimiento de la planta se debe tener en cuenta que antes de encender la bomba se debe cearla para evitar que la cámara de succión arranque en vacío.
- Para asegurar que la calibración de los sensores tenga un error mínimo se la debe realizar con un instrumento que tenga una precisión de +/- 2% como máximo puesto que los valores que se manejan están en una escala muy pequeña.
- Como protección para la bomba se colocó en el tanque reservorio un sensor de nivel el mismo que inhibe el funcionamiento en caso de que el nivel del agua sea demasiado bajo.

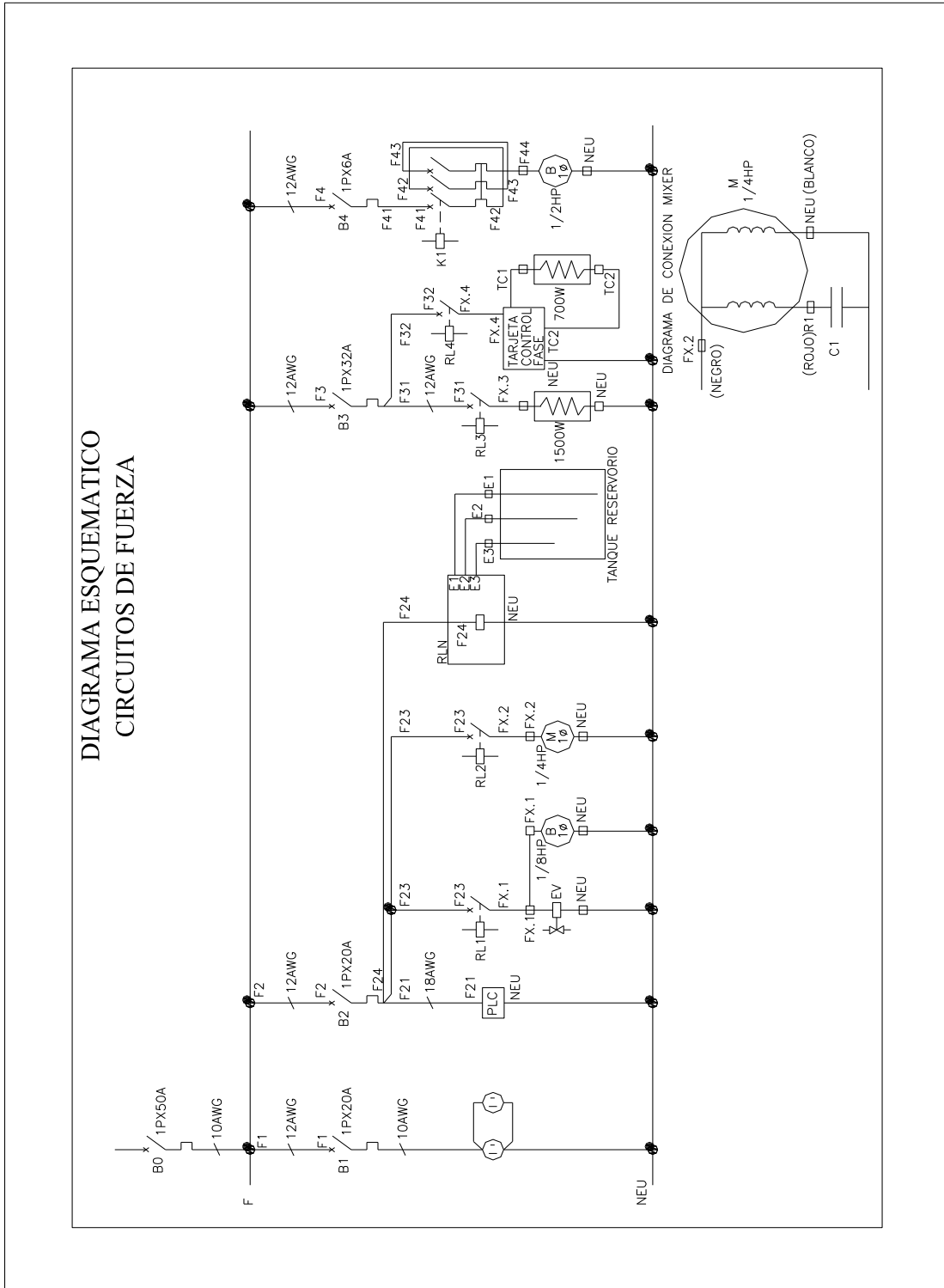
## LISTA DE REFERENCIAS

- arian.cl*. (s.f.). Obtenido de <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- Bonilla, G. (Marzo de 2012). Diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de nivel, caudal de líquidos destinado a la implementación de un laboratorio de control para la UPS. Quito, Pichincha, Ecuador.
- C, R. (2002). *Diseño Concurrente*.
- Cooper, H. (2004). Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición. En H. A. Cooper William. Mexico: Pearson.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (Octava ed.). Mexico: ALFAOMEGA.
- Felix, S. A. (2002). *Diseño Industrial*. Thomson-Paraninfo.
- Google Maps. (2014). Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/preview?hl=es&source=newuser-ws>
- Gratton, J. (2002). *Introducción a la Mecánica de Fluidos*. Buenos Aires.
- Greene, R. (1988). *Valvulas selección, uso y mantenimiento*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Machado, C. (2001). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO*. Quito.
- Maraña. (2005). INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS. En J. C. MARAÑA, *INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS*.
- Molina, R. (2006). *Estudio del diseño concurrente*.
- Ogata. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid (España): PEARSON EDUCACION S.A.
- Velazquez, I. (2004). *Instrumentación y Control*.
- .

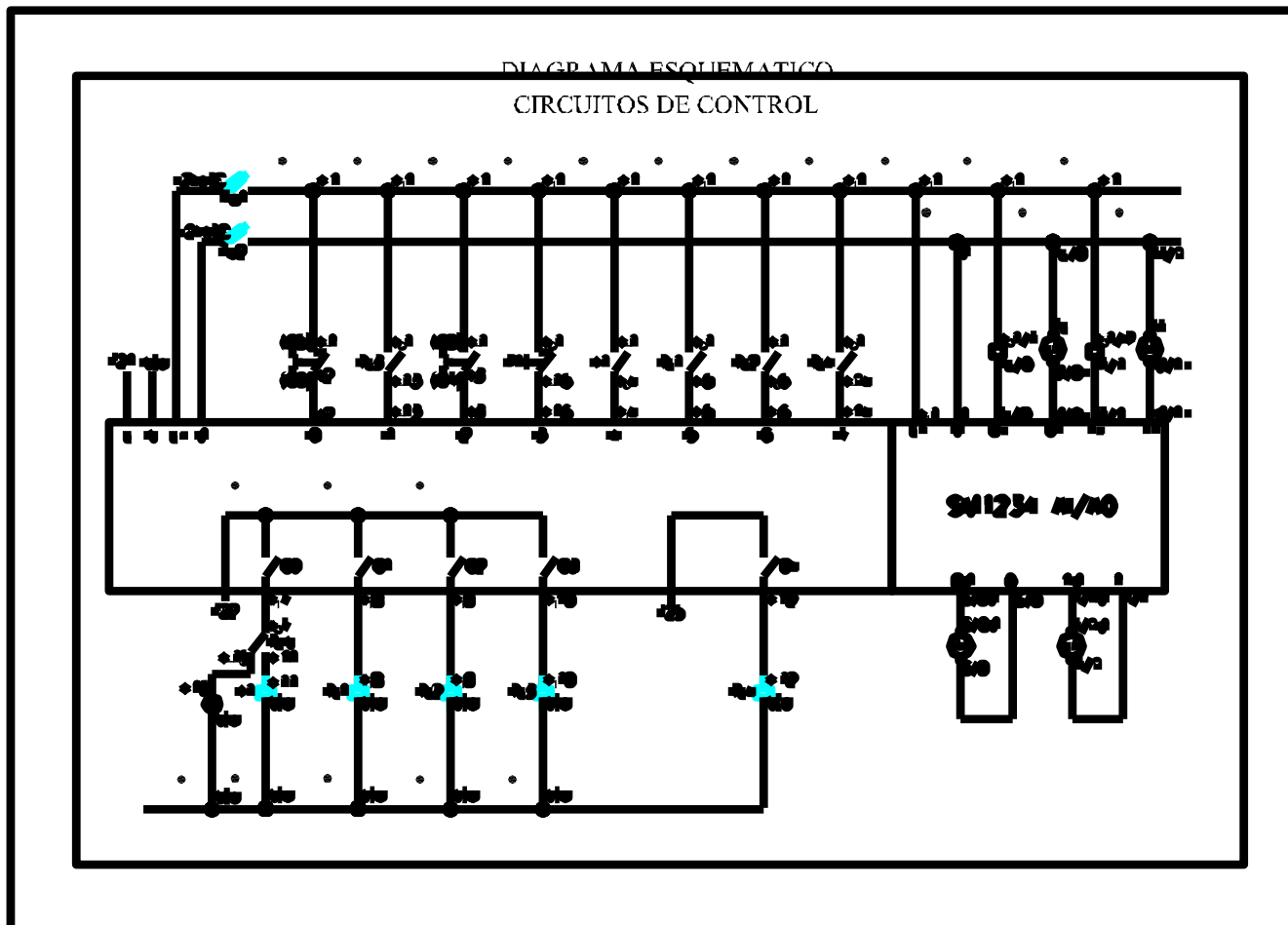




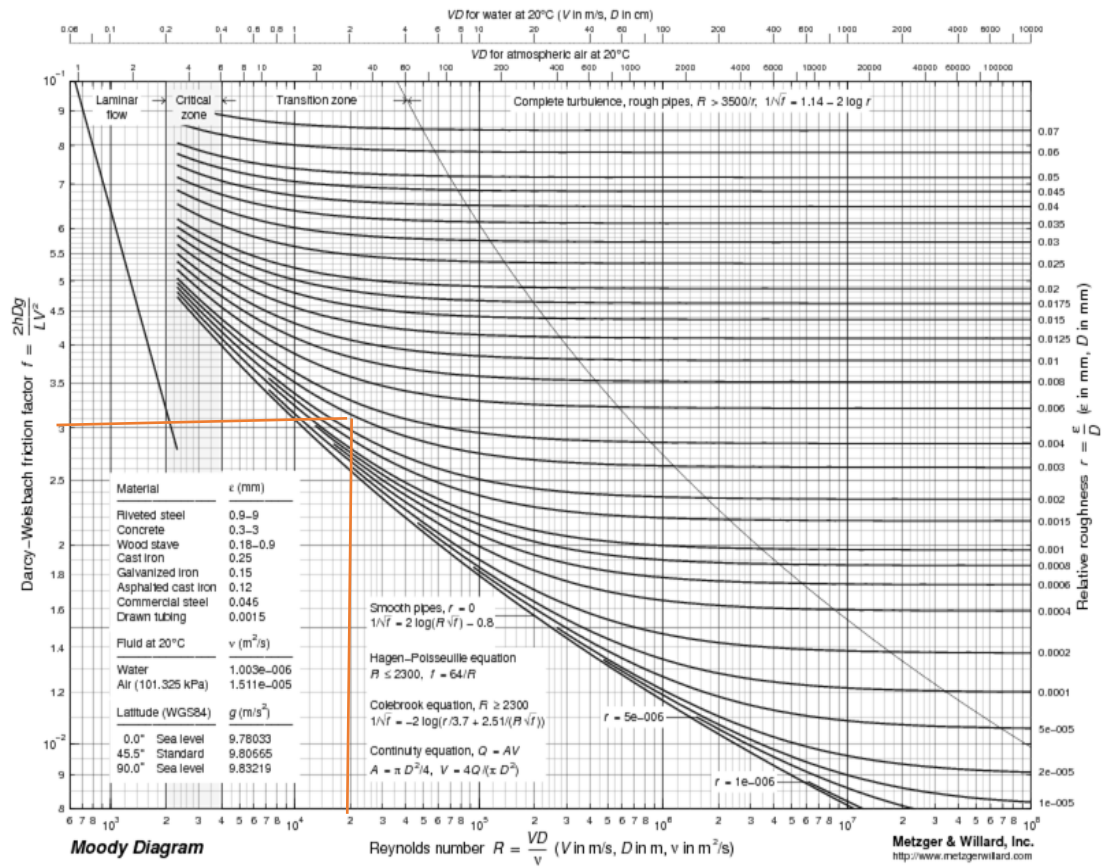
Anexo 2 Diagrama esquemático circuitos de fuerza



Anexo 3 Diagrama esquemático circuitos de control



# Anexo 4 DIAGRAMA DE MOODY





Anexo 6 Tabla de propiedades de conducción térmica

<b>Material</b>	<b>W/m.K</b>
Acero	47-58
Agua	0,58
Aire	0,02
Alcohol	0,16
Alpaca	29,1
Aluminio	209,3
Amianto	0,04
Bronce	116-186
Cinc	106-140
Cobre	372,1-385,2
Corcho	0,04-0,30
Estaño	64,0
Fibra de Vidrio	0,03-0,07
Glicerina	0,29
Hierro	1,7
Ladrillo	0,80
Ladrillo Refractario	0,47-1,05
Latón	81-116
Litio	301,2
Madera	0,13
Mercurio	83,7
Mica	0,35
Níquel	52,3
Oro	308,2
Parafina	0,21
Plata	406,1-418,7
Plomo	35,0
Vidrio	0,6-1,0

## Anexo 7 Programación AVR

```
$regfile = "attiny84.dat"
$crystal = 8000000
$hwstack = 40
$swstack = 16
$framesize = 32
Config Timer1 = Timer , Prescale = 8
On Timer1 Tiempo
Enable Timer1
Config Int0 = falling
On Int0 Cruce
Enable Int0
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
Start Adc
Dim Y As Byte
Dim Angulo As Word
Dim Angulo1 As Long
Dim Angulo2 As Long
Dim Analogico As Word
Dim Referencia As Word
Dim Valor As Integer
Ddrb.0 = 1
Ddrb.1 = 1
Disparo Alias Portb.1
Stop Timer1
'Wait 1
Enable Interrupts
Do
  Analogico = Getadc(2)
  Waitus 66
  Referencia = Getadc(1)
  Waitus 66
  Valor = Analogico - Referencia
  If Valor => 0 Then
    Angulo2 = 8200 * Valor
    Angulo1 = 1023 - Referencia
    Angulo2 = Angulo2 / Angulo1
    Angulo = Angulo2
  Else
    Angulo = 0
  End If
  Toggle Portb.0
Loop
Cruce:
  Timer1 = 65535 - Angulo
  Reset Disparo
  Start Timer1
Return
Tiempo: Stop Timer1
  Set Disparo, Return
```

Anexo 8 tablas de temperatura PT-100

Pt 100 ohms	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96	
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20	
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44	
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66	
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87	
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06	
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20	
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32	
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43	
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52	
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60	
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64	
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66	
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67	
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66	
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65	
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62	
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58	
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53	
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47	
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41	
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29	
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16	
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86	
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51	
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32	
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12	
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91	
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69	
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45	
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20	
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95	
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68	



Anexo 9: Fotografías de la planta





## Anexo 10 Manual de uso y mantenimiento

### Generalidades

Este equipo, está diseñado para los estudiantes de la carrera de ingeniería electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito campus Sur, para el entrenamiento en el control de procesos continuos.

La plataforma está diseñada para el control de dos procesos, los cuales son muy utilizados en la industria tales como son temperatura y nivel, cuenta con sensores y actuadores industriales lo cual hace que la planta se asemeje a una planta real.

La estructura está constituida en 70% de hierro y un 30% de acero la tubería es galvanizada lo cual garantiza que no va a existir ningún tipo de riesgo a someter el líquido a presiones altas.

La planta cuenta con todas las protecciones para un uso continuo siguiendo las normas de operación del presente manual. El control de nivel y temperatura se logra a través de dispositivos digitales y automáticos.

### REQUERIMIENTOS BÁSICOS

#### Energía Eléctrica

Potencia.....	3,5	KW
Voltaje.....	120VAC	
Fases.....	Una	fase
Consumo.....	29,47 A	

#### Otros Requerimientos Básicos

Aire comprimido .....	20 P.S.I	
Vacío.....	No	requiere
Agua.....	96 litros	

### **Dimensiones externas**

Alto.....	1840 mm
Ancho.....	800 mm
Largo.....	1700 mm

A continuación se detallan los parámetros de operación, y mantenimiento para la plataforma de entrenamiento para el control de procesos continuos.

La operación, funcionamiento y mantenimiento tiene el objetivo de informar al USUARIO sobre todas las modalidades operativas que interesan de la plataforma.

Es necesario que el operario se remita a lo especificado en las páginas siguientes para todas las condiciones, las circunstancias y las normas que regulan el funcionamiento de la plataforma

### **Ubicación de la planta.**

La plataforma se colocará en el laboratorio C12 de la Universidad Politécnica Salesiana según sus requerimientos para la distribución del espacio de trabajo. Estará simplemente apoyado, sobre un piso bien nivelado y se apoyarán sobre las ruedas con freno. Los pasos principales son:

- a) Nivelación de los equipos y ensamble de los mismos
- b) Conexión de la energía eléctrica y puesta a tierra.
- c) Ensamblaje de la tubería.

## Protocolo de uso

- a. Energizar la máquina con voltaje nominal de 120 VAC.
- b. Alimentar a la plataforma con aire comprimido (20 Psi) en el módulo de mantenimiento.
- c. Verificar que el tanque reservorio tenga 96 litros de agua
- d. Cebear a la bomba para eliminar el aire que se encuentra en el interior de la cámara de succión de la bomba.
- e. Colocar el Breaker ( B 0 ) en posición de encendido (ON) y verificar el encendido del indicador (verde).
- f. Inmediatamente encender los breakers B1, B2, B3, B4 y el UPS.
- g. Verificar que el PLC y el Switch este encendido.
- h. Encender el computador.
- i. Abrir el software de programación para el PLC (TIA Portal V12).
- j. Verificar que exista comunicación entre el PLC y el computador.
- k. Programar el PLC dependiendo del proceso que se va a controlar.
- l. Para apagar la plataforma de entrenamiento cargar un programa en blanco al PLC, apagar el computador, apagar el UPS, colocar en la posición OFF los breakers B1,B2,B3,B4.
- m. Quitar la alimentación de aire comprimido.
- n. Por ultimo colocar en la posición OFF el Breaker B0 para desenergizar completamente la planta.

## **Medidas de seguridad en el protocolo de uso**

El diseño y fabricación de esta plataforma de entrenamiento es tal que no presenta condiciones inseguras en su operación mientras sea operada por personal entrenado y que siga las recomendaciones siguientes. Caso contrario se pueden presentar acciones inseguras para el personal y la máquina. Se recomienda seguir las siguientes normas:

- No utilizar cadenas u objetos colgantes que puedan enredarse en los dispositivos de traslación de productos
- Mantenga la caja de control eléctrico siempre cerrada, ábrala únicamente cuando sea necesario.
- Si no está operando la máquina, mantenga el breaker en posición off.
- No introduzca las manos ni cualquier otra parte del cuerpo dentro del tanque.
- Prohibido retirar las tapas o guardas de las máquinas.