



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TESIS DE GRADO

**Previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

**TÍTULO:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL Y
TEMPERATURA DE TANQUE DE AGUA PARA PRÁCTICAS EN LA
MATERIA DE CONTROL DE PROCESOS**

**AUTOR:
Méndez Guillén Dave Luis**

**TUTOR:
Efrén Vinicio Herrera Muentes**

**Guayaquil, Ecuador
2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Méndez Guillén Dave Luis**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero electrónico en control y automatismo**.

TUTOR

Efrén Vinicio Herrera Muentes

REVISORES

Ing. Judith Gálvez Soto

Ing. Washington Medina M.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Armando Heras

Guayaquil, a los 20 días del mes de Febrero del año 2014



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Dave Luis Méndez Guillén**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Diseño e implementación de control de nivel y temperatura** previa a la obtención del Título **de Ingeniero electrónico en control y automatismo**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 20 días del mes de febrero del año 2014

EL AUTOR

Dave Luis Méndez Guillén



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Dave Luis Méndez Guillén**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Diseño e implementación de control de nivel y temperatura**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 días del mes de febrero del año 2014

EL AUTOR:

Dave Luis Méndez Guillén

AGRADECIMIENTO

El realizar un trabajo de titulación es el punto de llegada para dar un gran paso en la vida, el cual sin la ayuda de las personas que estuvieron a mi lado para lograr el desarrollo de este trabajo no se podría haber realizado; por esta razón debo agradecer a las personas que me dieron su dirección, guía y apoyo para este trabajo como lo son el Ing. Efrén Herrera que fue mi tutor de tesis y me guio en la búsqueda e investigación de los conocimientos teóricos para el desarrollo del modelo matemático de mi diseño, el Ingeniero Luis Córdova que me dio su guía y soporte en la estructuración del proyecto y finalmente pero muy importante a mi familia que siempre me apoyo, me dio su soporte, los ánimos para siempre seguir adelante y no rendirme a pesar de las dificultades. También quiero agradecer a todos los profesores de la universidad de los cuales he aprendido mucho, he ganado mucho conocimiento de ellos y gracias a ello he podido materializar este trabajo final de graduación uniendo las capacidades y conocimientos que mis profesores me brindaron durante las clases.

Dave Luis Méndez Guillén

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de graduación a mis padres que se han esforzado tanto en darme todo lo necesario para que salga adelante, ya que sin la ayuda de ellos yo no podría gozar del privilegio de ser un profesional con mas oportunidades de desarrollo en esta vida; gracias a mis padres que me han criado con valores y con la convicción de buscar el desarrollo, la prosperidad y ser cada vez mejor persona, a ellos les debo todo lo que soy y todos mis logros.

Dave Luis Méndez Guillén

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 (ASPECTOS GENERALES)	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. ALCANCE Y PROSPECTIVA	2
1.3. DEFINICION DE OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.....	4
1.5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	5
CAPITULO 2 (ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO).....	6
2.1. ANTECEDENTES.....	6
2.2. MARCO TEORICO	8
2.2.1. Sensor resistivo para nivel de agua	8
2.2.2. Sensores tipo potenciómetro.....	9
2.2.3. Sensor de temperatura.....	12
2.2.4. RTD.....	13
2.2.5. Aplicaciones de las RTD	14
2.2.6. Controlador lógico programable	15
2.2.7. Interface Hombre-Maquina.....	18
2.2.8. Variadores de frecuencia	20
2.2.9. Resistencias calefactoras de inmersión	22
2.2.10. Relés de estado solido	23
2.2.11. Ventajas de utilizar los Relés de Estado Solido	23

2.2.12. Electroválvulas	25
2.2.13. Tipos de electroválvulas	25
2.2.14. El Contactor	27
2.2.15. Partes constitutivas del Contactor	28
2.2.16. Funcionamiento del Contactor	31
2.2.17. Clasificación del Contactor	31
2.2.18. El Relé.....	32
2.2.19. Características técnicas del relé	33
2.2.20. Bomba de agua	34
2.2.21. Control PID.....	36
2.2.22. Acción proporcional de control	37
2.2.23. Acción integral de control	37
2.2.24. Acción derivativa de control	37
2.2.25. Controlador P	38
2.2.26. Acción Integral PI	38
2.2.27. Acción Derivativa PD.....	40
2.2.28. Reglas heurísticas de ajuste de controlador PID	42
2.2.29. Adquisición de datos	43
2.2.30. Tipos de Sistemas de Adquisición de Datos	45
2.2.31. El amplificador Operacional	49
2.2.32. El Amplificador Operacional utilizado como inversor.....	49
2.2.33. El Amplificador Operacional utilizado como No inversor	50
CAPITULO 3 (METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN)	51
3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	51
3.1.1. Tipo de investigación.....	51

3.1.2.	Diseño de la investigación.....	51
3.1.3.	Definición de variables	52
3.1.4.	Método de trabajo	54
3.1.5.	Técnicas de análisis de datos	54
3.1.6.	Instrumentos de recolección de datos.....	55
3.2.	LIMITACIONES	55
CAPITULO 4 (DESARROLLO DEL PROYECTO)		56
4.1.	SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	56
4.1.1.	PLC	56
4.1.2.	Sensor de temperatura.....	57
4.1.3.	Interfaz hombre-maquina	58
4.1.4.	Fuente 24VDC	59
4.1.5.	Bomba de agua.....	59
4.1.6.	Variador de velocidad.....	60
4.1.7.	Controlador de potencia del calefactor.....	61
4.1.8.	Sensor de nivel.....	62
4.1.9.	Calefactor.....	63
4.1.10.	Electroválvula	64
4.1.11.	Tanques	64
4.1.12.	Sensores digitales de nivel.....	65
4.1.13.	Relés y Contactor.....	66
4.1.14.	Válvulas manuales	68
4.1.15.	Tablero metálico.....	69
4.1.16.	Medidor de nivel visual.....	69
4.2.	DISEÑO DE PLANOS ELÉCTRICOS.....	70

4.2.1.	Diagrama de fuerza.....	71
4.2.2.	Diagrama de control.....	72
4.3.	FUNCIONAMIENTO DE LOS PROCESOS.....	74
4.3.1.	Funcionamiento del proceso de nivel.....	75
4.3.2.	Funcionamiento del proceso de temperatura.....	76
4.4.	MODELOS MATEMATICOS.....	77
4.4.1.	Modelo matemático de control de nivel.....	77
4.4.2.	Modelo matemático de temperatura.....	91
4.5.	PROGRAMACIÓN DEL PLC.....	104
4.6.	PROGRAMACIÓN PANTALLA HMI.....	111
4.7.	PRESUPUESTO DE MÓDULO DE CONTROL.....	114
CAPITULO 5 (PRACTICAS DE CONTROL).....		116
5.1.	PRACTICAS CON EL MÓDULO DE CONTROL Y NIVEL.....	116
5.1.1.	Práctica en el proceso de nivel.....	116
5.1.2.	Práctica en el proceso de temperatura.....	120
CONCLUSIONES.....		123
RECOMENDACIONES.....		124
BIBLIOGRAFÍA.....		125
GLOSARIO.....		127
ANEXOS.....		130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 sensores resistivos	9
Tabla 2 RTD.....	15
Tabla 3 Reacción de parámetros PID.....	43
Tabla 4 Variables de Entrada del sistema	53
Tabla 5 Variables de Salida del sistema	53
Tabla 6 Control de Resistencia Calefactora.....	61
Tabla 7 Entradas para la programación.....	104
Tabla 8 Salidas para la programación	104
Tabla 9 Variables Estandar HMI	111
Tabla 10 Presupuesto Modulo de control	114
Tabla 11 Reaccion de Parametros PID.....	119

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 2.1 Antecedentes	8
Figura 2.2 Marco Teórico Potenciómetro	10
Figura 2.3 Marco Teórico Potenciómetro lineal.....	11
Figura 2.4 Marco Teórico Sensor de nivel resistivo	12
Figura 2.5 Marco Teórico RTD.....	13
Figura 2.6 Marco teórico PLC	16
Figura 2.7 Marco Teórico HMI	18
Figura 2.8 Marco Teórico Operador HMI	19
Figura 2.9 Marco Teórico Variador de frecuencia.....	20
Figura 2.10 Marco Teórico PWM	21
Figura 2.11 Marco teórico Resistencia Calefactora	22
Figura 2.12 Marco Teórico Relé de estado solido.....	23
Figura 2.13 Marco teórico Conexión relé de estado solido	24
Figura 2.14 Marco teórico Electroválvula	25
Figura 2.15 Marco Teórico Electroválvula acción directa.....	26
Figura 2.16 Marco teórico Electroválvula acción indirecta	26
Figura 2.17 Marco Teórico Electroválvula acción mixta.....	27
Figura 2.18 Marco teórico Contactor.....	27
Figura 2.19 Marco Teórico Relé.....	32
Figura 2.20 Marco teórico Diagrama relé 1	33
Figura 2.21 Marco teórico Diagrama relé 2.....	33
Figura 2.22 Marco Teórico Bomba de agua.....	35
Figura 2.23 Marco Teórico Control PID	36

Figura 2.24 Marco teórico Controlador P	38
Figura 2.25 Marco Teórico Acción integral PI	39
Figura 2.26 Marco Teórico Acción derivativa PD	41
Figura 2.27 Marco Teórico DAQ Wireless	46
Figura 2.28 Marco Teórico DAQ Comunicación en serie	46
Figura 2.29 Marco Teórico DAQ USB	47
Figura 2.30 Marco Teórico DAQ Ethernet	48
Figura 2.31 Marco Teórico DAQ Plug-in Boards	49
Figura 2.32 Marco Teórico Opamp Inversor	50
Figura 2.33 Marco Teórico Opamp No inversor	50
Figura 4.1 Selección Equipos PLC	57
Figura 4.2 Selección Equipos Sensor de Temperatura	57
Figura 4.3 Selección Equipos Conexión RTD	58
Figura 4.4 Selección Equipos HMI	58
Figura 4.5 Selección Equipos Fuente 24 VDC	59
Figura 4.6 Selección Equipos Bomba de agua	60
Figura 4.7 Selección Equipos Variador de frecuencia	60
Figura 4.8 Selección Equipos Relé de estado Solido Carlo Gavazzi	61
Figura 4.9 Selección Equipos Conexión SSR	62
Figura 4.10 Selección Equipos Sensor de nivel	62
Figura 4.11 Selección Equipos Conexión sensor de nivel	63
Figura 4.12 Selección Equipos Resistencia Calefactora	63
Figura 4.13 Selección Equipos Electroválvula	64
Figura 4.14 Selección Equipos Tanques	65
Figura 4.15 Selección Equipos Sensor Digital de Nivel 1	65

Figura 4.16 Selección Equipos Sensor digital de nivel 2	66
Figura 4.17 Selección Equipos Relés 24 VDC.....	67
Figura 4.18 Selección Equipos Contactor	67
Figura 4.19 Selección Equipos Válvula Manual 1	68
Figura 4.20 Selección Equipos Válvula Manual 2.....	68
Figura 4.21 Selección Equipos Tablero Metálico	69
Figura 4.22 Selección Equipos Medidor de nivel Visual	70
Figura 4.23 Diseño eléctrico (Diagrama de fuerza).....	71
Figura 4.24 Diseño Eléctrico (Diagrama de control)	72
Figura 4.25 Diseño Eléctrico (Panel Eléctrico).....	73
Figura 4.26 Diseño Eléctrico (Panel Eléctrico 1).....	73
Figura 4.27 Diseño Eléctrico (Conexión HMI)	74
Figura 4.28 Modulo de Control.....	74
Figura 4.29 Modelo Matemático de Nivel.....	77
Figura 4.30 Modelo Matemático Nivel (Sisotool).....	82
Figura 4.31 Sisotool Entrada paso Nivel.....	83
Figura 4.32 Sisotool Desactivación de Gráficos Nivel.....	83
Figura 4.33 Sisotool Visualización de Parámetros Nivel	84
Figura 4.34 Sisotool Agregar Integrador Nivel	84
Figura 4.35 Sisotool Controlador con integrador.....	85
Figura 4.36 Sisotool Preferences.....	86
Figura 4.37 Sisotool Setting Time de nivel.....	86
Figura 4.38 Sisotool Rango de tiempo de estabilización de nivel	87
Figura 4.39 Sisotool Overshoot de nivel	87
Figura 4.40 Sisotool Rango de Overshoot Nivel	88

Figura 4.41 Sisotool Agregar Ceros Reales Nivel.....	89
Figura 4.42 Sisotool Respuesta planta Nivel	89
Figura 4.43 Sisotool Respuesta Final Nivel	90
Figura 4.44 Sisotool Controlador Nivel	90
Figura 4.45 NI USB 6009 Temperatura	92
Figura 4.46 Circuito sensor con LM35	93
Figura 4.47 Sensor LM35	94
Figura 4.48 Circuito LM35 Implementado	94
Figura 4.49 SSR Carlo Gavazzi	94
Figura 4.50 Adquisición de datos temperatura	95
Figura 4.51 Almacenamiento de datos temperatura	96
Figura 4.52 Visualización de datos temperatura	96
Figura 4.53 Importación de datos	98
Figura 4.54 System Identification Tool.....	98
Figura 4.55 Selección de Datos Temperatura	98
Figura 4.56 Validación de datos Temperatura	99
Figura 4.57 Estimación polinomial	99
Figura 4.58 Estimación del modelo.....	99
Figura 4.59 Validación de Modelo Temperatura	100
Figura 4.60 Modelo Estimado Temperatura.....	100
Figura 4.61 Sisotool Controlador de Temperatura	102
Figura 4.62 Respuesta de planta Temperatura	102
Figura 4.63 Función de Controlador Temperatura	103
Figura 4.64 Programación PLC (1)	105
Figura 4.65 Programación PLC (2)	106

Figura 4.66 Programación PLC (3)	107
Figura 4.67 Programación PLC (4)	108
Figura 4.68 Programación PLC (5)	109
Figura 4.69 Programación PLC (6)	110
Figura 4.70 Pantalla 1 HMI	111
Figura 4.71 Pantalla 2 HMI	112
Figura 4.72 Pantalla 3 HMI	112
Figura 4.73 Pantalla 4 HMI	113
Figura 4.74 Pantalla 5 HMI	113
Figura 4.75 Conexiones HMI	114
Figura 5.1 Práctica 2 Parámetros	122

RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación refleja como es la carrera de electrónica en control y automatismo en la parte práctica ya que la gran mayoría de los elementos utilizados son los más comúnmente utilizados en la industria para el desarrollo de automatización de procesos industriales en este caso de temperatura y de nivel.

Para el correcto discernimiento de la información, el proyecto ha sido dividido en introducción, cinco capítulos, conclusión y recomendaciones que comprenden de forma organizada y detallada la información y el desarrollo del proyecto.

En la introducción se hace referencia al proyecto que se va a realizar, cómo se lo va a realizar y qué herramientas y dispositivos se va a utilizar para desarrollarlo, es decir, se bosqueja el proyecto de manera superficial para que el lector entienda el proyecto en cuestión.

En el capítulo I se detalla por qué se escoge el tema, cuál es el problema que se va a solucionar, cuáles son los objetivos del proyecto, que en una visión general se puede decir que es mejorar la preparación académica con un módulo que permita realizar prácticas en el control de nivel y temperatura en la materia de control de procesos.

En el capítulo II se detallan los antecedentes del proyecto que resumidamente se puede decir que surge de la necesidad de los alumnos de obtener bases más sólidas en la práctica de control de procesos ya que es una materia que sirve de mucho en el ámbito laboral y por eso a raíz de esa necesidad y en base a proyectos estudiados y analizados como referencia se logra definir el proyecto a desarrollar. En este capítulo también se encuentra el marco teórico del proyecto que no es más que la información que se estudió y analizó para el desarrollo del proyecto, como los sensores de nivel, bombas eléctricas, contactores, relés, PLC, interfaz hombre-máquina, relés de estado sólido, resistencias calefactoras, variadores de velocidad, etc.

En el capítulo III se detalla toda la metodología de investigación y desarrollo del proyecto, es decir, se definen los métodos y los parámetros que se toman en cuenta para el desarrollo del proyecto; así como también se encuentran las limitaciones que surgen en el proceso de investigación e implementación del proyecto.

En el capítulo IV se detalla toda la información de la realización del módulo de prácticas, el modelo matemático del proceso de nivel para la obtención de la función de transferencia y la obtención de la función de transferencia para el proceso de temperatura mediante una tarjeta de adquisición de datos, la obtención de los parámetros PID, y la programación del sistema.

En el capítulo V se detalla el desarrollo de las prácticas de control de nivel y temperatura utilizando el módulo de control implementado.

Finalmente se detallan las conclusiones, recomendaciones y referencias en donde se concluye que para desarrollar un control de cualquier tipo de procesos sobretodo de nivel y temperatura se debe tener muy en cuenta el tipo de sensores a utilizar, el tipo de señales que ofrece, el tipo y el rango de señales que permite leer el PLC; ya que si el sensor emite señales que no pueden ser leídas por el PLC, se debe realizar un acondicionamiento de señales, además se puede construir sensores dependiendo de lo que se necesite. En este proyecto se fabricó un sensor de nivel con un potenciómetro, una fuente, una boya de lectura de nivel de gasolina para carro. En conclusión en la vida laboral hay que estar preparado para todo tipo de inconvenientes que se puedan presentar y hay que tratar de resolverlos de cualquier manera posible, por eso este módulo didáctico representa un desafío y una gran fuente de conocimientos prácticos de los posibles problemas que el estudiante pueda enfrentar en el ámbito laboral.

Palabras Claves: Módulo, nivel, temperatura, PID, PLC, industria.

ABSTRACT

The following graduate work reflects how the career electronic control and automation in practice is, in part because the vast majority of the elements used are the elements most commonly used in industry for the development of industrial process automation in this case temperature and level.

For proper discernment of the information, the project has been divided into introduction, five chapters, conclusion and recommendation, in order to have organized and detailed information and project development.

In the introduction of the project I reference how it is made, how it was performed and the tools and devices that will be used to develop it, in other words the project is superficially outlined for the reader to understand the project.

In chapter I detailed why the topic, what is the problem to be solved, which are the objectives of the project, actually this project allows to improve the academic preparation, this is a module that allows students practice in the control of level and temperature in the field of process control.

In Chapter II, I detailed the Project background, so I can briefly say that this project arises of the student's need to get a solid preparation in the practice of process control because this class is very useful in the workplace, so as a result of this need and based on projects studied and analyzed by reference is achieved the project to develop. This chapter also contains the theoretical framework of the project, it is nothing more than the information to study and analyze the development of the project, such as level sensors , electric pumps , contactors , relays , PLC, man-machine interface, relays solid state , heaters , variable speed drives , etc. .

In Chapter III, we found all the research methodology and project development, so I defined the methods and parameters that I will use in the project; in this chapter also there are constraints that emerge in the research process and project implementation.

In Chapter IV is detailed all information of practical realization of the module, the mathematical model of the level process to obtain the transfer function and obtaining the transfer function for the temperature process is accomplished by an acquisition card data, obtaining the PID parameters, and system programming.

In Chapter V is detailed the development of control practices in level and temperature using the implemented control module.

Finally is detailed the conclusions, recommendations and references where I concludes that to develop any control processes like level and temperature, people must take into account the type of sensors used, observing the type of signals delivered, the type and range of signals that can be read by the PLC, because if the sensor emits signals that can't be read by the PLC, you must perform signal conditioning , sensors also can be built depending on what is needed for example in this project a level sensor was manufactured with a potentiometer , a fountain, a buoy of reading gasoline's level of a car. In conclusion, in the workplace, students must be prepared for all kinds of problems that may arise and they must try to solve them in any way possible, so this training module represents a challenge and a great source of practical knowledge of the possible problems that students may face in the workplace.

Keywords: module, level, temperature, PID, PLC, industry.

INTRODUCCIÓN

El mundo cambiante en el que vivimos exige continuamente evolucionar y desarrollarnos conjuntamente con él para poder mantener un equilibrio, como sucede en el área industrial del país en donde cada vez más se necesitan procesos automatizados de manera que sean más eficientes y productivos, generando mayor rentabilidad en las empresas por lo cual es muy importante el estudio de este tipo de tecnologías y sistemas en la universidad para que los profesionales salgan muy competitivos y acorde a la realidad e innovaciones que se viven en el mercado.

El control de nivel de diversos líquidos en contenedores o reservorios es una de las aplicaciones más utilizadas y comunes en la industria, ya que las empresas o fábricas de producción requieren almacenar líquidos y mantener el nivel de dichos líquidos en un valor determinado ya sea para la fabricación de un producto en especial como en el caso de la cervecería nacional o ya sea como reserva de líquidos que posteriormente serán utilizados, la necesidad de que los sistemas de nivel de reservorios y tanques sean automáticos para evitar que un operador este visualizando continuamente el nivel de los reservorios ha hecho que el control de nivel automatizado sea un recurso muy utilizado en las empresas ya que les ahorra tiempo y dinero en sus producciones.

Así mismo el control de temperatura de líquidos es un proceso que va casi de la mano con el de nivel, ya que también es muy utilizado en las fábricas para procesar líquidos o para llevar a cabo recetas de producción. Por lo tanto es muy importante que se imparta este tipo de conocimiento en la universidad para que los profesionales tengan conocimientos tanto teóricos como prácticos en estos procesos que son tan comunes en la industrial.

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se imparte la carrera de Ingeniería electrónica en control y automatismo en la facultad técnica para el desarrollo en la cual se imparte conocimientos teóricos suficientes para que el profesional se desarrolle en su trabajo, además de conocimientos prácticos, pero en la gama de los conocimientos prácticos sobretodo en la materia de control de procesos carece de prácticas de control y automatización que pueden servir mucho en la vida del profesional en el futuro, ya que se conoce todo teóricamente pero posteriormente se requiere tiempo para adaptarse a la parte práctica en el campo laboral debido a reconocimiento de equipos, formas de funcionamiento y análisis de secuencias utilizadas en los procesos que si fuesen reforzadas mediante prácticas de control en los procesos mas utilizados como lo son control de nivel y temperatura proporcionaría al profesional una visión mas amplia y completa de lo podría encontrar posteriormente en su vida profesional logrando así formar profesionales más capacitados y exitosos enalteciendo así aun mas el prestigio de la facultad técnica para el desarrollo como el de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.2. ALCANCE Y PROSPECTIVA

El presente trabajo de graduación consiste en realizar el diseño e implementación de un sistema de control de nivel y temperatura de un tanque de agua que será utilizado para realizar prácticas de control en la materia de control de procesos para brindar así mayor capacidad y experiencia a los estudiantes en el área de control sobretodo en los procesos mas comunes como los son los mencionados anteriormente.

El sistema de control de nivel y temperatura será gobernado por un PLC 1200 del laboratorio de automatización de la universidad, y el ingreso de variables será mediante una pantalla *touch* HMI, este proyecto contará con sensores de nivel, sensores de temperatura, bombas, contactores, relés, una bomba de agua, una calentador eléctrico de agua, etc.

Se detallará todo el conexionado de los sensores, los actuadores, el controlador o PLC, además del programa cargado del PLC para que el módulo desarrolle el control tanto de nivel como de temperatura.

El proceso será simulado en Matlab para obtener las constantes proporcional, integral, derivativa del controlador mediante SISOTOOL, que es una herramienta de gran utilidad para la sintonización del PID que controlará el proceso, este tipo de proceso permitirá reforzar conocimientos teóricos y afianzarlos con conocimientos prácticos para un mejor desempeño en la vida laboral.

1.3. DEFINICION DE OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Realizar el diseño y la implementación de un sistema de control de nivel y temperatura de un tanque de agua para prácticas en la materia control de procesos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Permitir ampliar conocimientos de futuros estudiantes de la materia de Control de Procesos.
- Fortalecer el prestigio de la Facultad Técnica para el desarrollo y de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Obtener conocimientos de como trabaja un control PID sobre un proceso industrial.
- Permitir que la materia de Control de Procesos sea más didáctica y que

los estudiantes se familiaricen con lo que pueden encontrarse en la vida laboral.

- Obtener más conocimientos acerca de como controlar procesos mediante controladores lógicos programables o PLC.
- Aumentar las herramientas de los estudiantes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil para que sean profesionales altamente preparados.
- Simular a escala procesos de la vida real en las industrias utilizando los dispositivos más comunes en el mercado.

1.4. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Analizando el desarrollo de los profesionales en la vida laboral y las oportunidades que los estudiantes recién graduados en función a sus capacidades de desenvolvimiento poseen al salir de la universidad se plantea la siguiente hipótesis: “El desarrollo de prácticas reales de control de nivel y temperatura aumenta la capacidad de desenvolvimiento de los estudiantes en situaciones reales de control y automatización”.

El módulo que será diseñado en este trabajo de graduación permitirá realizar dichas prácticas de control de nivel y temperatura para que así los estudiantes de control y automatismo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil puedan desarrollar más capacidades de adaptación y se les haga mucho más fácil desenvolverse en el ambiente de trabajo; ya que en la actualidad la competencia es tan fuerte, que los estudiantes recién graduados deben resaltar para obtener buenas oportunidades de trabajo y una de las mejores maneras de resaltar es demostrando capacidad y dominio de los elementos más utilizados en el ambiente de trabajo, lo cual se podrá lograr practicando con los elementos generalmente utilizados en las industrias y aplicando su funcionamiento en control de distintos procesos; siendo lo ideal que estas prácticas se realicen en la universidad para que al salir de ella el estudiante se

encuentre muy bien preparado para lo que se va a encontrar en el trabajo y así pueda destacar desde el comienzo; ya que si un estudiante desde el comienzo presenta destreza y capacidad tendrá mejores oportunidades a mejores puestos, mejores sueldos, mejores beneficios, además de realzar el nombre de la institución en la cual se educó. Y eso es lo que se desea lograr mediante este trabajo de graduación, realzar el nombre de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil ayudando a mejorar la preparación práctica de los estudiantes y aumentando la experiencia de los mismos en sistemas de control comunes.

1.5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

El ambiente en el que actualmente el profesional se desarrolla es muy competitivo por lo cual es demasiado importante la capacidad y preparación que tengan los profesionales para poder despuntar y tener éxito en su trabajo. La base de todo esto esta en la experiencia que tenga el profesional técnico conectando o relacionando los conocimientos teóricos con los conocimientos prácticos o mejor aun con los procesos reales que se enfrentará en la vida real de su trabajo. El conocimiento teórico mayoritariamente se lo obtiene en la universidad, y el conocimiento práctico mayoritariamente en el trabajo, pero qué conveniente fuese que el profesional se prepare ya desde la universidad en los posibles procesos que enfrentará en la vida de trabajo, aunque no en su totalidad, ya tendrá conocimiento de su funcionamiento, ya tendrá una idea mucho mas amplia del proceso y cuando realice un trabajo de este tipo se le facilitará mucho su desarrollo. Esto permitirá que los profesionales se adapten mas rápido a su ambiente de trabajo y serán reconocidos por su capacidad y obtendrán así mas oportunidades en su ámbito laboral por esta razón considero muy importante el desarrollo de este proyecto ya que permitirá hacer realidad la complementación de conocimiento teórico con el conocimiento práctico de los estudiantes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

El proyecto de control de temperatura y nivel surge como una respuesta a una necesidad; la necesidad de los estudiantes de saber como utilizar los conocimientos que reciben en la materia de control de procesos en la vida real, es decir, en sus trabajos, en las industrias, en sus pasantías, el mayor enfoque de este proyecto es que sea didáctico que se maneje para los estudiantes, de manera que puedan aprender dos de los procesos mas utilizados en la industria como lo son el nivel y la temperatura de un reservorio.

Actualmente en la materia de control de procesos se estudia como controlar procesos industriales mediante control automático, mediante electrónica digital y análoga, se realizan prácticas muy básicas de los procesos mediante electrónica análoga, lo cual es muy beneficioso y permite aprender al estudiante como funciona el control de un proceso, pero en la vida laboral no va a encontrar ese tipo de aplicaciones ya que las industrias trabajan con dispositivos modernos, dispositivos robustos, por lo cual este módulo ayudaría a los estudiantes a conocer más prácticamente y ambientarse con mas facilidad a los procesos de las industrias ya que este módulo posee una representación física de la planta, es decir de los procesos, una acometida para los cables y un tablero de control donde llegan las señales y son conectadas a los diferentes dispositivos de control cuya mayoría son dispositivos generalmente utilizados en las industrias.

El principal proyecto del cual se tomó referencias es el control de temperatura y nivel de un contenedor de Pablo Cruz, Diego Maza Y Luis Villamagua de la Universidad Técnica Particular de Loja quienes realizaron un informe de un proyecto similar pero utilizando un PLC LOGOS de siemens y utilizando luces pilotos y dispositivos de control antiguos, además no realizaron el control PID,

por lo tanto es un control de menor precisión que el proyecto que se desea realizar que poseerá control PID, interfaz HMI *touch* moderna y PLC siemens S7 1200.

El diseño del proyecto de referencia mencionado es el siguiente:

Teniendo como meta complementar los conceptos que tienen relación con la automatización industrial y la instrumentación, se diseñó un módulo que puede manejar variables de temperatura y nivel de un líquido.

El módulo de control está dividido en parte física, en parte eléctrica, y en los requerimientos que los actuadores y la instrumentación necesitan para que se implementen las prácticas de control.

Los materiales del módulo son:

- ✚ Dos reservorios de vidrio
- ✚ Una Interfaz hombre-máquina
- ✚ Una Niquelina eléctrica
- ✚ Una electroválvula
- ✚ Un sensor de temperatura
- ✚ Un sensor de nivel
- ✚ Acondicionadores de señal
- ✚ Fuentes de poder

La interfaz hombre-máquina posee dispositivos de control y luces piloto, donde el controlador es el PLC, la temperatura del líquido y del nivel se muestran a través de medidores digitales según varíen las necesidades de los operarios. También posee interruptores para cada función y tarjetas que acondicionan las señales de cada sensor.

El módulo de la figura posee dos tanques, el de arriba suministra líquido al de abajo según el estado de la electroválvula, la cual se desactiva cuando el tanque posee el nivel deseado de líquido (Cruz, Maza, & Villamagua, 2010).

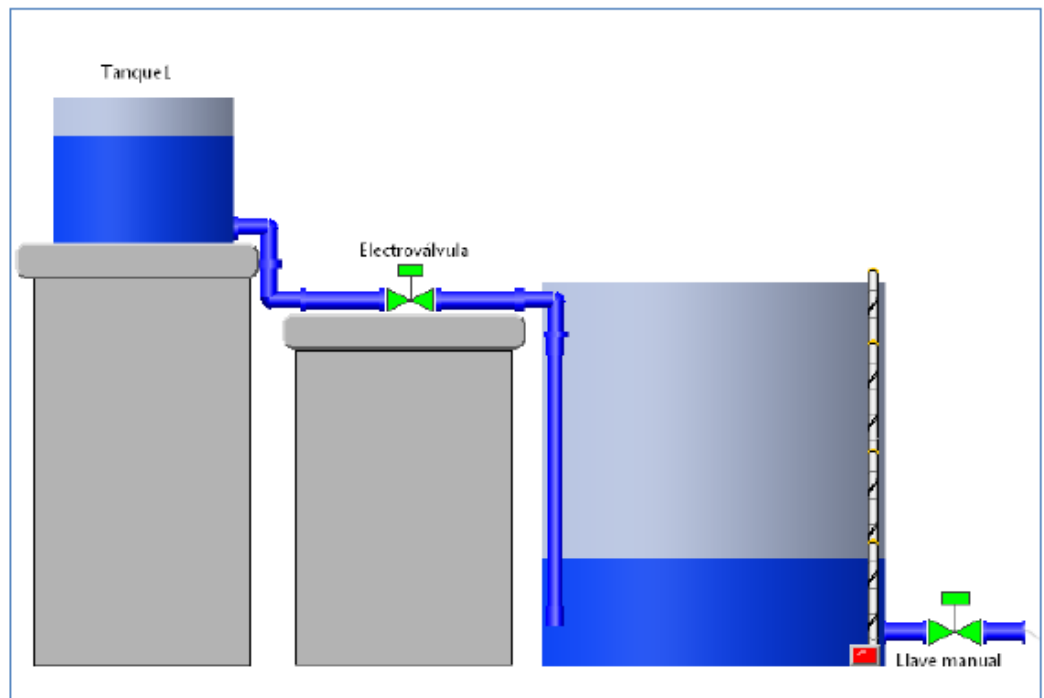


Figura 2.1 Antecedentes

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/84126151/Control-de-Temperatura-y-Nivel-Con-PLC>

El nivel y la temperatura del líquido son medidos en el tanque más grande, por los sensores adecuados electrónicamente, que junto a la electroválvula ya la nivelina forman el grupo de dispositivos de control.

(Cruz, Maza, & Villamagua, 2010)

2.2. MARCO TEORICO

A continuación, se procederá a realizar una descripción de los temas más importantes en el estudio de la asignatura de control de nivel y temperatura.

2.2.1. Sensor resistivo para nivel de agua

Sensores resistivos, son los que modifican su valor resistivo dependiendo de el valor de la variable que desea medir. Estos sensores se pueden clasificar según

lo que desea medir (Morales, 2008), lo que se puede observar en la tabla siguiente:

Tabla 1:

Sensores resistivos

Variable a medir	Sensor resistivo
Mecánica	Potenciómetros y galgas extensométricas
Térmica	Termorresistencia y termistores
Magnética	Magnetorresistencia
Optica	Fotorresistencia
Química	Higrómetro resistivo

Fuente: <http://gabrielamorales.wordpress.com/sensores-resistivos>

El tipo de variable a medir en este caso será el nivel de un tanque, es decir, la altura que tiene el agua en relación al tanque y por lo tanto se utilizo un sensor de tipo potenciómetro.

2.2.2. Sensores tipo potenciómetro

Es un sensor que se utiliza para medir el desplazamiento, y consta de 3 terminales y 2 partes.

Su primera parte es una resistencia fija de hilo arrollado o carbón (Morales, 2008).

La segunda parte es un contacto móvil que se traslada por la resistencia fija haciendo contacto.

La formula de la resistencia es la siguiente:

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

Variables:

A = Sección transversal

ρ = Resistividad del material (Ωm)

l = Longitud del conductor.

Un modelo de potenciómetro es mostrado en la figura siguiente. Tomando como x la distancia recorrida por el contacto móvil la resistencia sera:

$$R = \frac{\rho}{A}(l - x)$$

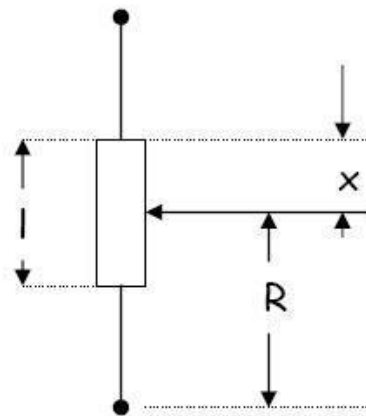


Figura 2.2 Marco Teórico Potenciómetro

Fuente: <http://gabrielamorales.wordpress.com/sensores-resistivos>

Las desventajas que presenta este sensor son:

- El valor resistivo depende de la temperatura ambiente.
- Su medición es distinta si se ejercen fuerzas o presión sobre el sensor.
- El Contacto móvil se desgasta con el uso lo que hace que varíe la medición con el tiempo.

Los potenciómetros pueden ser lineales, como en el caso anterior, o no lineales como en el siguiente caso:

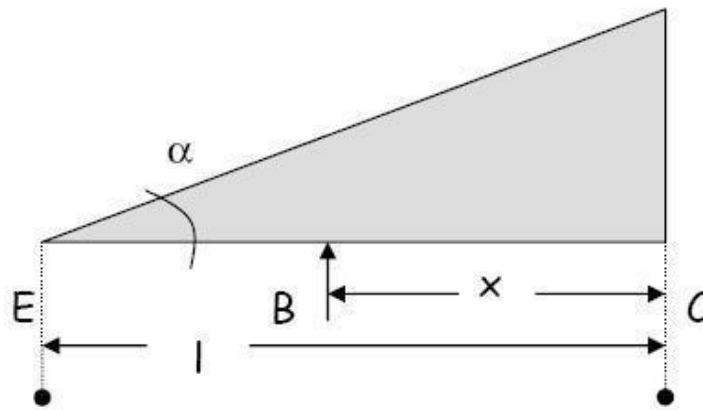


Figura 2.3 Marco Teórico Potenciómetro lineal

Fuente: <http://gabrielamorales.wordpress.com/sensores-resistivos>

En este caso, Entre E y C hay un área triangular variable de hilo arrollado. Existe un diámetro D y una sección A en este hilo.

La resistencia estaría dada por:

$$R_{EB} = \frac{\rho (l-x)(l-x) \operatorname{tg} \alpha}{A \quad 2D}$$

Se pueden obtener salidas analógicas de los potenciómetros, cuando resistencia fija esta hecha de carbón, o salidas digitales, cuando la resistencia fija está hecha por hilo arrollado.

Los potenciómetros se usan para medir desplazamientos, esto se logra uniendo el objeto que se va a medir al cursor del potenciómetro. Aunque también hay casos en que se usa para medir otras variables indirectamente, utilizando el desplazamiento que se genera en otros elementos (Morales, 2008).

Mediciones indirectas:

- a. Conectado al extremo de un tubo bourdon permite censar presión
- b. Permite censar el nivel en líquidos.

c. Conectado al extremo de un capilar permite censar temperatura.

En el primer y tercer caso se usa para obtener una señal eléctrica. Sin embargo en el segundo caso actúa como elemento principal.

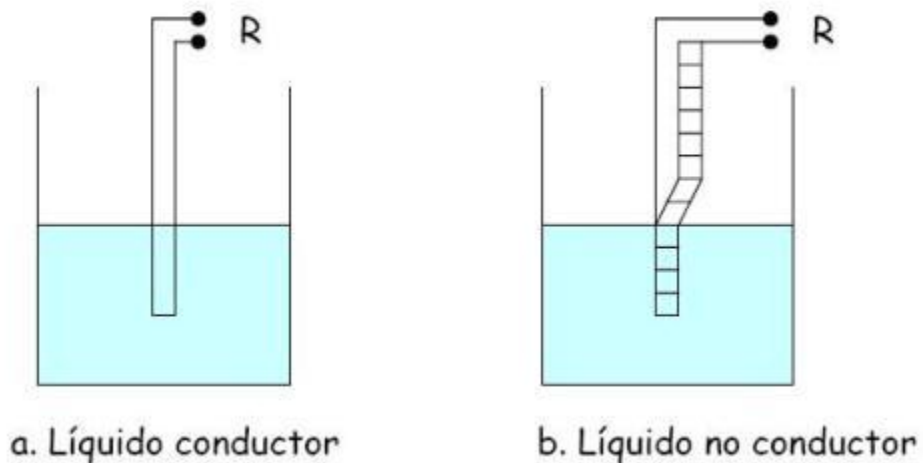


Figura 2.4 Marco Teórico Sensor de nivel resistivo

Fuente: <http://gabrielamorales.wordpress.com/sensores-resistivos>

2.2.3. Sensor de temperatura

Son aparatos que convierten las variaciones de temperatura en señales de voltaje para que sean procesadas por un controlador electrónico.

Existen 3 tipos de sensores de temperatura, los termopares, los RTD y los termistores (S.A., 2009).

Los sensores generalmente están hechos de elementos que varían su resistencia según su temperatura, sea cualquiera de los 3 tipos mencionados, normalmente el sensor es recubierto por un material bastante conductor de temperatura, para que las variaciones de temperatura sean transferidas rápidamente al sensor y al cable que se dirige al controlador electrónico (S.A., 2009).

El tipo de sensor que se utilizara en el proyecto es la RTD en este caso una pt100.

2.2.4. RTD

Los RTD o termómetros de resistencia son transductores de temperatura, tienen como fundamento la variación de la resistencia de un material a medida que se varía la temperatura en el mismo, en otras palabras, tienen la capacidad de convertir una diferencia de temperatura en una diferencia resistiva (S.A., 2009).



Figura 2.5 Marco Teórico RTD

Fuente: <http://www.logicbus.com.mx/RTD.php>

En los sensores resistivos de temperatura se saca provecho de como la temperatura afecta la conducción de electrones en un material, generalmente cuando se aumenta la temperatura se aumenta el valor resistivo del material.

La mayoría de los sistemas de temperatura se trata de acercarlos a modelos de segundo y primer orden para que sea más fácil calcular lo que se requiere. Los RTD deben ser conectados mediante conexiones tipo Puente de *Wheatstone* debido a que de esta manera se obtiene variaciones de corriente, ya que dependiendo de la diferencia resistiva que varia por la temperatura aplicada, el

puede convertir la señal resistiva a una señal analógica que es la señal que ingresa al controlador electrónico o PLC, para así poder controlar la temperatura de un proceso (S.A., 2009).

Las pt1000 y las pt100 son RTDs. Se llaman así debido a que están hechos con platino y porque tienen valores resistivos de 1000 y 100 ohmios cuando se encuentran a 0°C. Son preferidos por que son sensores con respuestas bastantes lineales (S.A., 2009).

Una de las particularidades del platino es que relaciona la temperatura con la resistencia de una manera bastante lineal, por esta razón, se lo utiliza bastante y son comúnmente conocidos como RTD dicho en inglés *Resistance Temperature Detector* o IPRT en ingles *Industrial Platinum Resistance Thermometer*. Sus ventajas son las siguientes:

- ✚ Son inertes químicamente
- ✚ Su punto de fusión es bastante alto, ya que es 2041,4 grados Kelvin.
- ✚ Tiene una relación bastante lineal
- ✚ Se puede obtener con bastante pureza.

2.2.5. Aplicaciones de las RTD

- ✚ Sirve medir la temperatura cuando se inyecta plástico
- ✚ Medir temperatura de alimentos
- ✚ Medir temperatura en maquinas industriales
- ✚ Medir temperatura en materiales empacados

Tabla 2:

Especificaciones RTD

RTD	
Tipo	Pt100
Rango de temperatura	0°C ~ 1250 °C
Material del RTD	Platino
Precisión	0.01 °C
Diámetro del tubing	3/16"
Longitud del tubing	1.5"
Material del tubing	Acero inoxidable
Tipo de unión	Aislado
Resistencia sonda a 0°C	100 Ω
Aislante	
Material de la extensión	Teflón
Rango de temperatura	-190°C ~ 260°C
Longitud de la extensión	2 m
Número de hilos	3 hilos
Resistencia a la abrasión	Muy buena
Resistencia a la humedad	Excelente
Resistencia a la producción del petróleo	Excelente
Código de orden	
RTD con 2 metros de aislante	LB-30102-423-21-1PLG1/2-1-B2m-1

Fuente: <http://www.logicbus.com.mx/RTD.php>

2.2.6. Controlador lógico programable

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

Estos dispositivos se utilizan en la mayoría de las maquinas de las industrias. Se diferencian de los ordenadores convencionales en que posee varias entradas y salidas, soporta mayores temperaturas, soporta ruido eléctrico, vibración, caídas, etc. Los programas que controlan las maquinas se almacenan en memorias no volátiles o en baterías. El PLC es un sistema que envía señales de salida dependiendo de las señales que recibe en sus entradas, por lo tanto realiza una realimentación para obtener la consigna deseada (Wikimedia, 2013).

El PLC nació debido a que GM *Hydramatic* en 1968 solicitó propuestas para reemplazar los sistemas a base de circuitos cableados con relés. La mejor propuesta la dio *Bedford Associates*. Se desarrolló el primer PLC llamado 084 debido a que era el proyecto número 84 de *Bedford Associates*.

Bedford Associates se dedicó a crear este tipo de dispositivos con el nombre de MODICON y a prestar servicios de mantenimiento para el mismo. En este proyecto trabajó Dick Morley, o también llamado el padre del PLC. En 1977 MODICON fue vendido a *Gould Electronics*, y luego fue comprada por la empresa alemana AEG y finalmente por la empresa francesa Schneider Electric (Wikimedia, 2013).



Figura 2.6 Marco teórico PLC

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable

La evolución del PLC se ha centrado en su función más básica y requerida incluyendo el control de procesos industriales, control por relés y comunicación de datos. Los PLC modernos poseen capacidades de almacenamiento, de

procesamiento, de comunicación y de rendimiento igual que los ordenadores de escritorios que comúnmente se utilizan en las casas. El PLC permite realizar enlaces programados y combinados con hardware de E/S remoto, dando la facilidad de utilizar un computador de casa para remplazar algunos PLC en algunas aplicaciones. Estos computadores convencionales generalmente no son tan aceptados en las industrias debido a que los sistemas operativos que poseen no son tan estables como los sistemas que poseen los PLC, y porque el hardware de los computadores de casa no está diseñado para soportar altas temperaturas, vibraciones, polvo, caídas, humedad, etc. Además los ordenadores convencionales están diseñados para ser utilizados en casa, por lo tanto posee limitaciones en su hardware cuando se los utiliza en la industria; Windows, el sistema operativo de estos ordenadores no se presta a la ejecución de la lógica determinista. Pero, los computadores de escritorio pueden ser utilizados en aplicaciones sencillas, como automatizar una casa e instalaciones pequeñas, en las que la aplicación exige menos y es menos crítica, debido a que generalmente cuestan menos que los PLCs (Wikimedia, 2013).

Algunas de las ventajas de los controladores lógicos programables serían que, permite ahorrar tiempo en el desarrollo e implementación de proyectos, permite realizar modificaciones a menor costo. Además, ocupan poco espacio el mantenimiento no es muy costoso, también permiten disminuir el costo de los sueldos debido a que reemplaza a la mano de obra y permite controlar más de una máquina. Por otro lado, los controladores lógicos programables como es de esperarse también poseen algunas desventajas ya que para dar mantenimiento a estas máquinas se requiere personal calificado y preparado en este tipo de dispositivos, para que el equipo pueda desarrollarse sin ningún problema (Wikimedia, 2013).

2.2.7. Interface Hombre-Maquina

En todos los procesos industriales, siempre debe haber por lo menos una interfaz hombre-maquina en ingles Human-Machine Interface o HMI para que permita a los operadores controlar una maquina y visualizar el estado del proceso. Antes de que aparezcan las pantallas táctiles de la actualidad los operadores debían controlar los procesos mediante botoneras y luces piloto. Esto es aceptable cuando los procesos a controlar poseen un bajo nivel de complejidad, pero esto no es eficiente cuando se necesita controlar un proceso mucho mas complejo con diversas variables a controlar como velocidad, temperatura, maquinas, recetas, presión, nivel, etc. Gracias a la flexibilidad y a la ventaja visual que poseen las HMI, se han convertido en un elemento fundamental para este tipo de procesos.

Según el gerente de producción de soluciones industriales de comunicación HMI y automatización Gabriel Castro de siemens, En la actualidad la conexión entre la maquina y el hombre es el vinculo entre la automatización y lo que requiere el operario. El trabajo de un operario en una fabrica, es controlar y monitorear, lo que conlleva conocer el sistema, cuidar el correcto funcionamiento de las maquinas y los procesos; lo que representa mayor efectividad y productividad (Electroindustria, 2013).

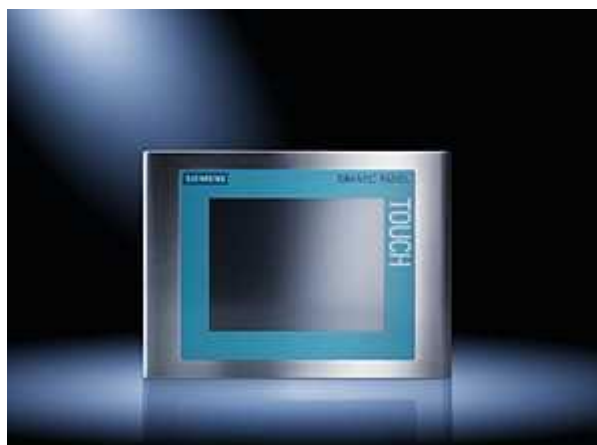


Figura 2.7 Marco Teórico HMI

Fuente: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2020>

Debido a esto, son muy utilizadas las interfaces hombre-maquina en las industrias y han evolucionado en características técnicas según las necesidades de sus clientes. El Gerente de Soluciones de Automatización de Schneider Electric Rodrigo Elgueta dice que los clientes solicitan dispositivos evolucionados sobre todo en la resolución y en las prestaciones del equipo. Por esta razón, se necesita que los dispositivos incluyan una puerta Ethernet y que puedan ser configurados mediante una conexión USB, que soporten tarjetas de almacenamiento externo, o inclusive que la interfaz pueda ser monitoreada en un dispositivo móvil. Así se utilice un ordenador específico o un ordenador industrial para el soporte de hardware de la aplicación, el mismo debe ser mejor desarrollado en comparación a lo que solicitaba años anteriores (Electroindustria, 2013).



Figura 2.8 Marco Teórico Operador HMI

Fuente: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2020>

Según los profesionales en automatización de ROLEC Manuel Araneda y Claudio Serrano en relación a la evolución de estos dispositivos, hoy en día, en todos los niveles de automatización se realizan integraciones de interfaces HMI, generalmente utilizando pantallas *TouchScreen*. De la misma manera, se prefiere que el sistema operativo este incorporado, y que se comunique mediante Ethernet con protocolos abiertos.

En este aspecto, una gran evolución fue la incorporación de funcionalidades que se encuentran asociadas a controladores lógicos programables. El gerente de producción de *Phoenix Contact Álvaro Ortega* comenta que ha habido casos en los que la capacidad de procesamiento de las HMI actuales ha mejorado notablemente. Por esta razón, son capaces de realizar pequeños procesos de control. Sin embargo, se prefiere los controladores lógicos programables para controles mas complejos, aunque en ocasiones según la tarea a desarrollarse solo se utiliza una HMI (Electroindustria, 2013).

2.2.8. Variadores de frecuencia

Son dispositivos que se utilizan para modificar la velocidad de un motor AC. Un variador de frecuencia varia la velocidad de un motor variando la frecuencia de la onda que alimenta el motor, generalmente se tratan de ondas sinusoidales las cuales están presentes en la corriente alterna.

Los variadores de frecuencia también pueden funcionar como drivers, pueden ser de frecuencia ajustable (ADF) o de corriente alterna, VVVF o variador de voltaje variador de frecuencia, micro drivers o inversores; Todo esto en función a la tensión que se utiliza (Quiminet, 2011).

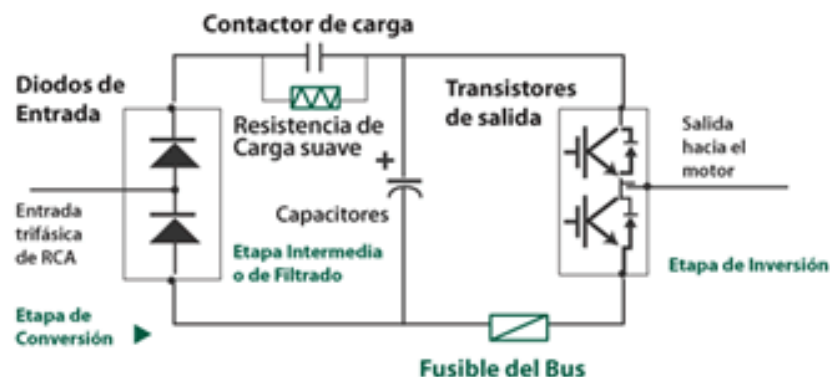


Figura 2.9 Marco Teórico Variador de frecuencia

Fuente: <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>

Los equipos que están conectados a un variador de frecuencia son alimentados con corriente alterna, El variador convierte la corriente alterna en corriente directa, utilizando un rectificador con diodos, luego la tensión es filtrada mediante capacitores, para suavizar la tensión rectificada y minimizar el ruido en la señal; luego se invierte la señal, esto se hace en una etapa que contiene transistores (IGBT), estos transistores activan y desactivan una secuencia mediante pulsos generando así una onda cuadrada de tensión DC, que mantiene una frecuencia constante, cuyo promedio es igual a la frecuencia senoidal que se aplica al motor. La acción de conmutar los transistores tiene el nombre de PWM, siglas en ingles de *Pulse Width Modulation* o Modulación por ancho de pulso (Quiminet, 2011).

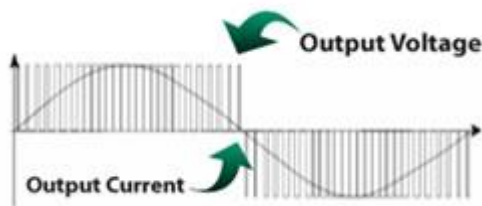


Figura 2.10 Marco Teórico PWM

Fuente: <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>

Al poder variar la frecuencia de la onda de corriente también podremos variar la velocidad de un motor según esta formula:

$$N_m = \frac{120 \times f (1 - s)}{P}$$

N_m = Velocidad mecánica del motor en revoluciones por minuto.

f = Frecuencia del voltaje aplicado en hercios.

s = deslizamiento adimensional.

P = cantidad de polos del motor.

2.2.9. Resistencias calefactoras de inmersión

Son dispositivos diseñados para calentar fluidos como agua, líquidos viscosos, disoluciones, aceites, etc. al tener contacto con ellos.

Como el calor se produce en la parte interna del líquido se obtiene una mayor eficiencia energética.

Permite evitar distorsiones en el calentamiento para así mejorar el control de temperatura de algún proceso.

Estas resistencias pueden ser instaladas de diversas maneras al reservorio en donde van a ser utilizadas como por ejemplo utilizando tapones roscados, racores o bridas.

Este tipo de resistencias es utilizado generalmente para calentar diversos tipos de fluidos, como agua, disoluciones, materiales viscosos, aceites, etc. Este tipo de resistencias también se utiliza para zonas con clasificación ATEX o para procesos industriales en donde la presión sea superior a 40 bares (Electricfor, 2009).



Figura 2.11 Marco teórico Resistencia Calefactora

Fuente: <http://www.electricfor.es/es/16523/Resistencias-para-inmersion.htm>

2.2.10. Relés de estado solido



Figura 2.12 Marco Teórico Relé de estado solido

Fuente: <http://www.electricasbc.com/articulo/contenido/15-reles-de-estado-solido>

Los SSR o relés de estado solido también conocidos como *Solid State Relays*, son aparatos muy usados en la interrupción de cargas resistivas según señales de corriente directa o alterna de control.

Los SSR deben su nombre a que sus componentes son de estado solido o semiconductores como los scr o los triacs, lo que lo diferencia de los contactores y de los relés normales que utilizan bobinas y contactos mecánicos para conmutar el flujo de corriente (Bc, 2010).

2.2.11. Ventajas de utilizar los Relés de Estado Solido

- ✚ Son muy rápidos ya que pueden conmutar a elevadas frecuencias.
- ✚ Como son herméticos, son más resistentes a diferentes tipos de ambientes.
- ✚ Soportan vibraciones y caídas.

- ✚ No se desgastan mecánicamente ya que no utilizan partes que deban movilizarse.
- ✚ Son pequeños, efectivos, robustos y silenciosos.
- ✚ Permiten conmutar elevadas intensidades y tensiones sin generar arcos eléctricos.
- ✚ No generan ruido ni interferencia.
- ✚ Tienen un gran aislamiento entre las entradas y las salidas, esta en el orden de los kilovatios.

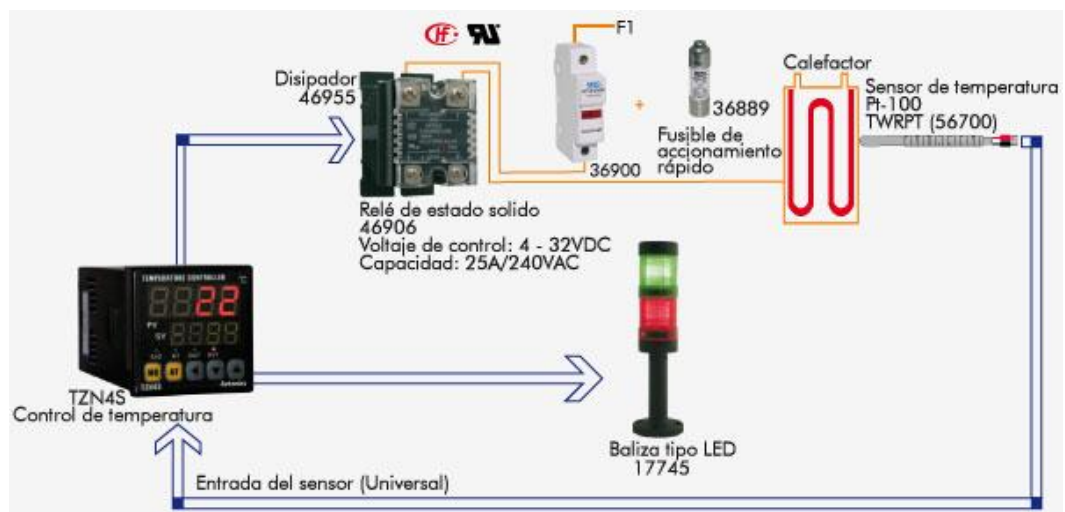


Figura 2.13 Marco teórico Conexión relé de estado sólido

Fuente: <http://www.electricasbc.com/articulo/contenido/15-reles-de-estado-solido>

2.2.12. Electroválvulas



Figura 2.14 Marco teórico Electroválvula

Fuente: <http://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>

La electroválvula se la conoce también como válvula solenoide es una llave de paso electrónica que permite o interrumpe el flujo de líquido en un sistema. La válvula permite o interrumpe este flujo mediante el campo magnético de una bobina, que se encuentra bien fija, y este campo magnético atrae a un émbolo conmutando así el flujo de líquido (V.C., 2012).

2.2.13. Tipos de electroválvulas

Acción directa:

En las válvulas de acción directa el campo magnético controla el émbolo que tapa el orificio donde fluye el líquido, o lo destapa para permitir así o no el flujo del líquido y se requiere una mínima presión de 0 bares (V.C., 2012).

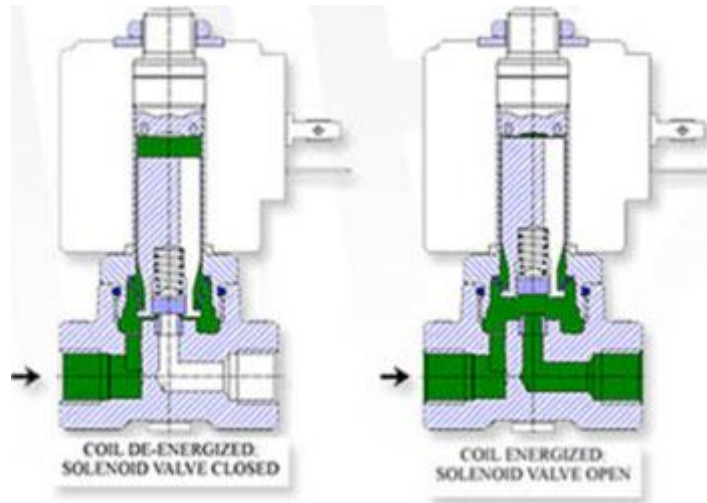


Figura 2.15 Marco Teórico Electroválvula acción directa

Fuente: <http://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>

Acción indirecta:

Se abre o se cierra el orificio principal debido a la falta de equilibrio entre las presiones que se generan en el diafragma o en el pistón. Una vez que se activa la bobina el embolo se mueve causando que se abra el orificio piloto y que se descargue la parte superior del diafragma: la falta de equilibrio entre las presiones moviliza el diafragma que destapa el orificio principal y requiere una mínima presión de 0.2 bares (V.C., 2012).

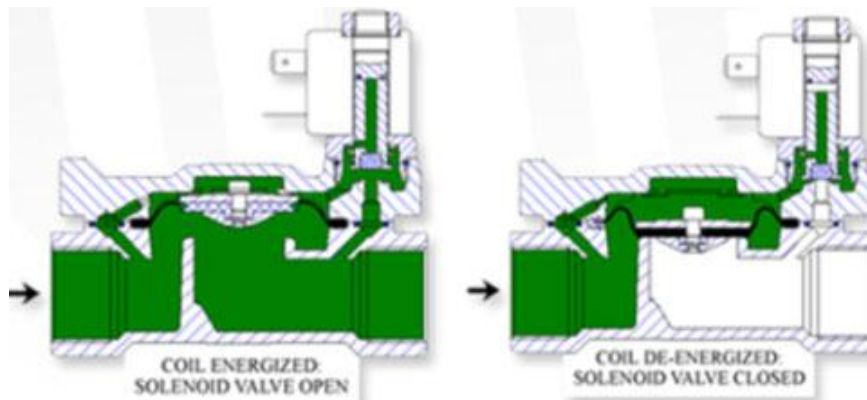


Figura 2.16 Marco teórico Electroválvula acción indirecta

Fuente: <http://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>

Acción mixta

Las válvulas de acción mixta abren el orificio principal mediante la diferencia de presiones entre la parte inferior y superior con la ayuda de la acción del émbolo que se encuentra fijado al diafragma con un resorte y estas válvulas requieren una mínima presión de 0 bares (V.C., 2012).

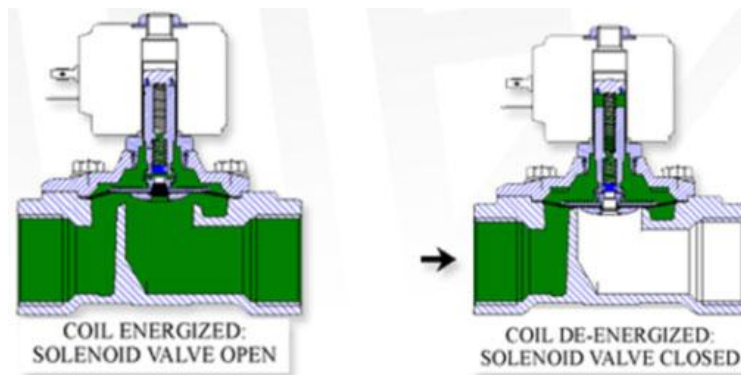


Figura 2.17 Marco Teórico Electroválvula acción mixta

Fuente: <http://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>

En este proyecto la electroválvula que se va a utilizar es la de accionamiento directo.

2.2.14. El Contactor

El Contactor es un interruptor que es activado mediante un electroimán.



Figura 2.18 Marco teórico Contactor

Fuente: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Contactor.php>

2.2.15. Partes constitutivas del Contactor

1- La corriente que activa el electroimán es conocida como corriente de llamada. La corriente que absorbe la bobina es relativamente alta ya que ya que la única resistencia que posee es el cable con el que esta hecho la bobina. En este caso, el Coseno de j es elevado (0,8 a 0,9) y la reactancia inductiva muy pequeña debido a que existe mucho entrehierro entre el núcleo y la armadura. Con el circuito magnético cerrado la impedancia de la bobina se eleva, de tal forma que la corriente de llamada se disminuye notablemente. La corriente que se forma se la llama corriente de trabajo. Ésta corriente es mucho más pequeña; de 6 a 10 veces con un Coseno de j más pequeño, pero con capacidad para que el circuito se mantenga cerrado. (Electronica Facil , 2004).

2- El núcleo es metálico y de material ferromagnético generalmente en forma de E y va agarrado normalmente en la carcaza.

La función del núcleo es hacer que el flujo magnético que genera la bobina colocado en la parte central del núcleo aumente y se concentre para atraer con más fuerza a la armadura. Está construido con una gran cantidad de láminas delgadas, de acero al silicio para minimizar al máximo las corrientes parásitas, se encuentran aisladas entre sí pero están unidas por remaches. Se inserta un material paramagnético para eliminar por completo el magnetismo remanente, complementando así al entrehierro (Electronica Facil , 2004).

Una vez que se energiza a la bobina con el núcleo, se debe llevar un elemento adicional llamado espira de sombra o anillo de desfasaje. Este elemento, al estar desfasado de la onda principal, entrega al circuito magnético un flujo extra creando una especie de CC. Esto disminuye las vibraciones los ruidos, evitando que se eleve la corriente de mantenimiento.

Los contactos son materiales conductores que permiten o interrumpen el paso de la corriente, puede ser en el circuito de fuerza o en el de control, una vez que se energiza la bobina.

Los contactos se pueden dividir en principales y auxiliares (Electronica Facil, 2004).

Contactos Principales:

Estos son contactos instantáneos que activan o interrumpen el circuito principal, en el cual se transporta la corriente de la red de carga, por lo tanto deben ser correctamente dimensionados para soportar la carga y las intensidades de corrientes del dispositivo a controlar. Debido a su función, son contactos normalmente abiertos.

Cuando un Contactador bajo carga se desactiva, se produce una chispa, de forma que aunque la parte móvil se separa de la fija el circuito no se desactiva inmediatamente. Por esta razón y otras al utilizar intensidades muy grandes, se debe utilizar una cámara apagachispas, que evita la formación de arcos y que se propaguen a distintas partes del sistema (Electronica Facil, 2004).

Soplado por autoventilación:

Esta cámara es construida con una gran abertura en la parte inferior y una pequeña en la parte superior, generando una especie de chimenea, la cual enfría el aire alrededor de la chispa, para que se apague rápidamente (Electronica Facil, 2004).

Soplomagnético:

El campo eléctrico formado es canalizado para elevar el arco y así poder elevar también la resistencia, para evitar que la corriente circule (Electronica Facil, 2004).

Baño de aceite:

Se debe extinguir la chipa para evitar que el arco se produzca, por esta razón, en este sistema se sumerge la cámara apagachispas en un baño de aceite dieléctrico para que absorba el calor, y así se evita que se forme el arco (Electronica Facil, 2004).

Cámara desionizadora:

Estas son cámaras cuyas paredes están cubiertas con láminas metálicas para que absorban el calor producido, para que así no se ionice el aire y no se forme el arco (Electronica Facil, 2004).

Transferencia y fraccionamiento del arco:

Se trata de dividir el arco en bastantes arcos más pequeños, de manera que sea mas fácil apagarlo (Electronica Facil, 2004).

Contactos Auxiliares:

Estos son los contactos que permiten o interrumpen el flujo de la corriente a las bobinas de los contactos, por esta razón se diseñan para corrientes pequeñas (Electronica Facil, 2004).

Existen 2 clases:

- ✚ Contactos Normalmente Abiertos: Estos son los contactos instantáneos de cierre, los cuales cierran el circuito cuando se activa la bobina del contactor al que pertenecen.
- ✚ Contactos Normalmente Cerrados: Estos son los contactos instantáneos de apertura, los cuales abren el circuito cuando se activa la bobina del contactor al que pertenecen. El contactor generalmente necesita un contacto auxiliar instantáneo Normalmente Abierto. Uno de los contactos auxiliares Normalmente Abiertos los cuales aseguran la autoalimentación de la bobina, por esta razón se llama auxiliar de sostenimiento o retención.

Hay contactores que solo tienen contactos auxiliares, por lo general normalmente abiertos y normalmente cerrados. Estos son conocidos como relés o contactores auxiliares.

En caso que un Contactor no tenga muchos contactos auxiliares, se pueden utilizar contactores auxiliares o bloques aditivos.

Se puede identificar un contacto auxiliar, aunque posean diferente fabricantes se utiliza un sistema de números estándar:

Normalmente cerrado, la entrada es (11, 21, 31, 41...) y la salida (12, 22, 32, 42...)

Normalmente abierto, la entrada es (13, 23, 33, 43...) y la salida (14, 24, 34, 44...) (Electronica Facil, 2004).

2.2.16. Funcionamiento del Contactador

Cuando la corriente eléctrica fluye por la bobina, un campo magnético es generado, de esta forma el núcleo atrae con gran fuerza. Cuando se produce esta atracción, los contactos principales y auxiliares cambian de estado respectivamente:

Los contactos abiertos se cierran y los contactos cerrados se abren. Al desenergizar la bobina los contactos vuelven a su estado normal (Electronica Facil, 2004).

2.2.17. Clasificación del Contactador

Los contactores se clasifican:

El tipo de corriente que energiza la bobina: Corriente alterna o corriente directa

Clase de contactos y función:

Contactores principales que poseen contactos auxiliares y principales.

Contactores Auxiliares que solo poseen contactos auxiliares.

Según la carga que pueden soportar: Se debe tomar en cuenta la corriente que el Contactador debe permitir o interrumpir su flujo.

Para esto se deben tomar en cuenta las cargas que controlan y las condiciones en las que se deber realizar las interrupciones:

AC1: Cargas no inductivas que tienen un factor de potencia de 0,95 mínimo.

AC2: Contactor utilizado para arranque de motor de anillo, frenado por contracorriente, inversión de marcha, marcha a impulsos de motores de anillos, y tienen un factor de potencia entre 0,3 y 0,7.

AC3: Contactor utilizado para el control de motores jaula de ardilla que normalmente deben apagarse en plena marcha y que consumen cinco o siete veces más de la corriente normal en el arranque.

AC4: Contactor utilizado en el arranque de motores de rotor en cortocircuito, frenado por contracorriente, inversión de giro, marcha controlada por pulsos (Electronica Facil, 2004).

2.2.18. El Relé

El relé es un aparato que tiene 2 diferentes circuitos: uno electromagnético o de control y uno de contactos o de fuerza, el cual será conectado al dispositivo que se desea controlar. En esta figura se puede apreciar la estructura del relé de armadura (Electronica Facil, 2004).

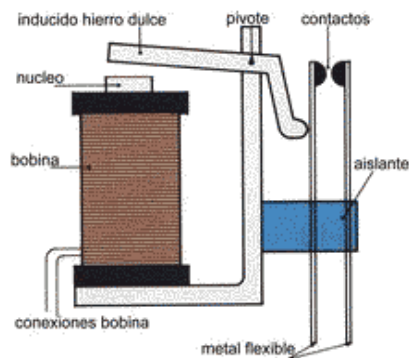


Figura 2.19 Marco Teórico Relé

Fuente: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/EI-rele.php>

El relé funciona gracias al fenómeno electromagnético. Cuando fluye la corriente en la bobina se genera un campo magnético que magnetiza un núcleo

de hierro. Este núcleo de hierro obliga a los contactos a unirse. Una vez que se desenergiza la bobina los contactos se separan (Electronica Facil, 2004).

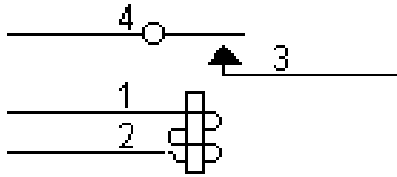


Figura 2.20 Marco teórico
Diagrama relé 1

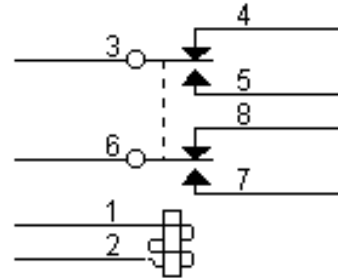


Figura 2.21 Marco teórico
Diagrama relé 2

Fuente: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/EI-rele.php>

En estas figuras se presentan relés con uno o dos circuitos, pero existen relés con muchos circuitos más (Electronica Facil, 2004).

2.2.19. Características técnicas del relé

Parte de control

- ✚ Corriente de excitación.- es la corriente aplicada en la bobina que activa el relé
- ✚ Tensión nominal.- Voltaje con el que funciona el relé.
- ✚ Tensión de trabajo.- Es el rango de voltaje en el que trabaja el relé sin problemas.
- ✚ Consumo nominal de la bobina.- Es la potencia que consume la bobina cuando esta activada.
- ✚ Tensión de conexión.- Es voltaje aplicado a los contactos para energizar la carga
- ✚ Intensidad de conexión.- Es la máxima corriente a la que un relé puede conmutar.

✚ Intensidad máxima de trabajo.- Es la máxima corriente que pueden soportar los contactos cuando están unidos.

Los contactos pueden estar hechos con plata, cobre, níquel o cadmio. El metal que se elija para su fabricación dependerá del uso que se le vaya a dar y del tiempo de vida útil que se espera que tenga.

2.2.20. Bomba de agua

Una bomba de agua es un dispositivo que convierte energía, utilizando energía eléctrica para transportar líquidos. Esta transportación, generalmente es ascendente. Existen turbo bombas y bombas volumétricas. Todas las bombas poseen un agujero para la absorción y otro para la impulsión (IGME, 2012).

Las bombas volumétricas transportan el agua modificando el volumen de la misma. Como por ejemplo las bombas de émbolo. Las turbo bombas por otro lado transportan el agua mediante una hélice que da vueltas. El elemento que gira se llama Rodete y tiene forma de una rueda con paletas.

La energía de las bombas proviene de diversas fuentes. Siempre se ha utilizado la energía eólica para este tipo de aplicaciones desde tiempos remotos. El movimiento de las hélices del molino hace girar una bomba que transporta el agua (IGME, 2012).

Una bomba puede obtener energía de un motor a gasolina, de un motor eléctrico, etc. A esto se le conoce como motobomba. La bomba puede estar alejada del motor. En estos casos el movimiento se transmite mediante una polea o un eje (IGME, 2012).

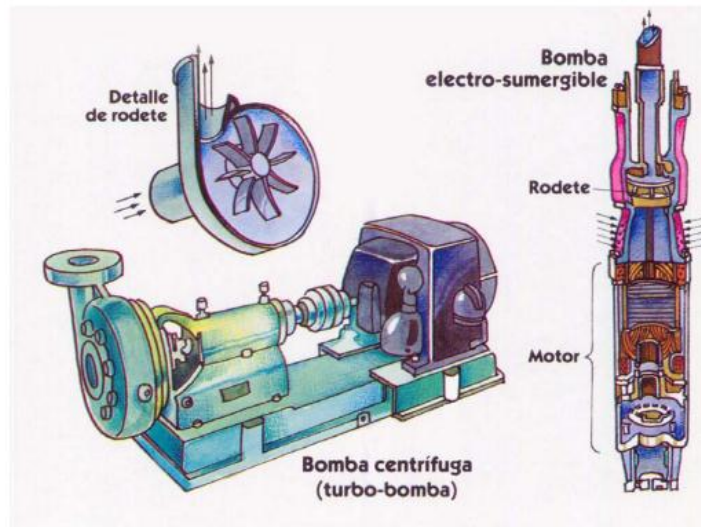


Figura 2.22 Marco Teórico Bomba de agua

Fuente: http://www.igme.es/internet/divulgacion_didactica/guia_didactica/pdf_carteles/cartel4/CARTEL%204_4-4.pdf

Hoy en día, la mayoría de las empresas utilizan bombas electro sumergidas, esto quiere decir que el motor eléctrico y la bomba están sumergidas en el agua. Estos motores pueden funcionar sumergidos debido a que están sumamente sellados.

Este tipo de bombas son muy requeridas por su resistencia ya que no presentan fallas y son muy eficientes.

Este tipo de bombas ha permitido aprovechar aguas subterráneas, cosa que antes no se podía hacer (IGME, 2012).

2.2.21. Control PID

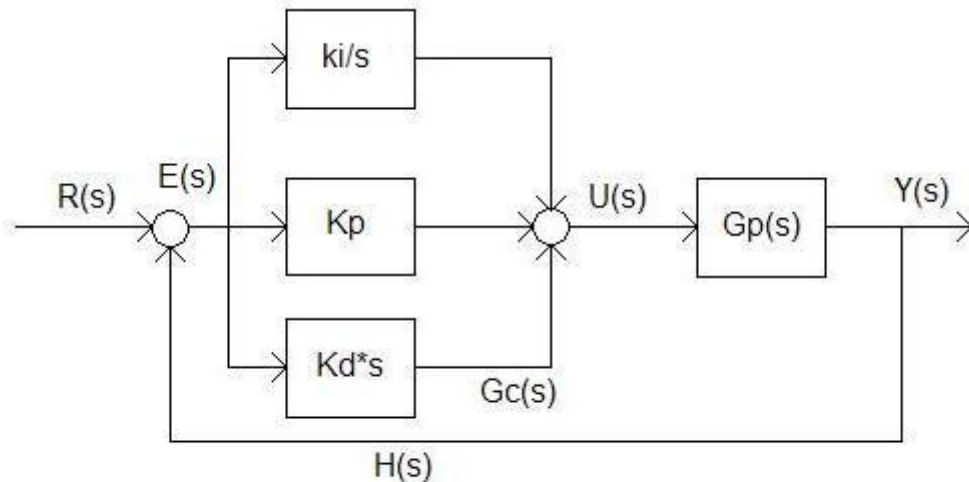


Figura 2.23 Marco Teórico Control PID

Fuente: <http://control-pid.wikispaces.com/>

Los controladores proporcional integrativo derivativos son una forma de control realimentado en un bucle cerrado, Este tipo de controlador es bastante usado en las industrias para controlar procesos. Un controlador PID es un sistema en el cual ingresa un cálculo de error en base a lo que se desea en la salida menos lo que realmente se obtiene en la salida y la salida es reutilizada como entrada para retroalimentar el sistema. El PID minimiza el error haciendo que varíe la entrada del sistema.

Este tipo de controladores tiene 3 parámetros: como sus siglas lo indican el proporcional, el integral y el derivativo. Dependiendo del grado del modelo aproximado y del tipo de controlador algunos de estos parámetros pueden tomar el valor de cero, por esta razón se dice que un controlador es Proporcional si el integral y el derivativo son cero y se dice que un controlador es Proporcional e integral cuando el derivativo es cero, etc. Los parámetros afectan generalmente alguna característica de la señal de salida como el tiempo de estabilización, el

sobrenivel porcentual, etc. Sin embargo también afecta los demás aspectos, por esta razón por mas que se ajuste, no se encontrara un controlador que disminuya el tiempo de estabilización a cero, El sobrenivel porcentual a cero peor aun el error a cero, lo que se trata en realidad es ajustarlo para que funcione según las condiciones requeridas (PID, 2013).

2.2.22. Acción proporcional de control

La parte proporcional es la acción más importante de las acciones de control debido a que es la base de las otras, debido a que la respuesta proporcional se suma a la acción integral y derivativa de control, en caso de que existan. Se llama proporcional debido a que la salida del controlador refleja una proporción de la diferencia entre la entrada y la salida del sistema. A esa proporción se la conoce como ganancia del sistema. En la mayoría de controladores se ajusta la acción proporcional mediante el ajuste de la ganancia, pero en otros se utiliza la banda proporcional. Finalmente los 2 tienen el mismo resultado (PID, 2013).

2.2.23. Acción integral de control

La parte integral genera respuestas proporcionales a la integral del error. Esto disminuye el error en estado estacionario, que se provoca por la acción proporcional. Por otro lado, se aumenta el tiempo de estabilización, la respuesta se hace lenta y la oscilación aumenta comparándolo con la simple acción proporcional (PID, 2013).

2.2.24. Acción derivativa de control

La parte derivativa genera respuestas proporcionales a la derivada del error. La acción derivativa sumada a las otras acciones permite reducir las sobreoscilaciones.

Los controladores PID pueden ser ajustados con muchos métodos, sin embargo ningún tipo de método da garantía que se encuentre un controlador que estabilice el sistema. Por esta razón se usa bastante el método de prueba y

error, en el cual se ingresan los parámetros y se los modifica según la salida obtenida (PID, 2013).

2.2.25. Controlador P

En la figura 2.24 se muestra un ejemplo de lo que es un controlador proporcional, en el cual se puede visualizar la tendencia de la variable que se controla al aplicar un aumento de tipo escalón en la consigna. Se pueden visualizar las características cuando se eleva la ganancia del controlador:

1. El error en estado estacionario baja.
2. El proceso se estabiliza más rápido.
3. Las oscilaciones se elevan.

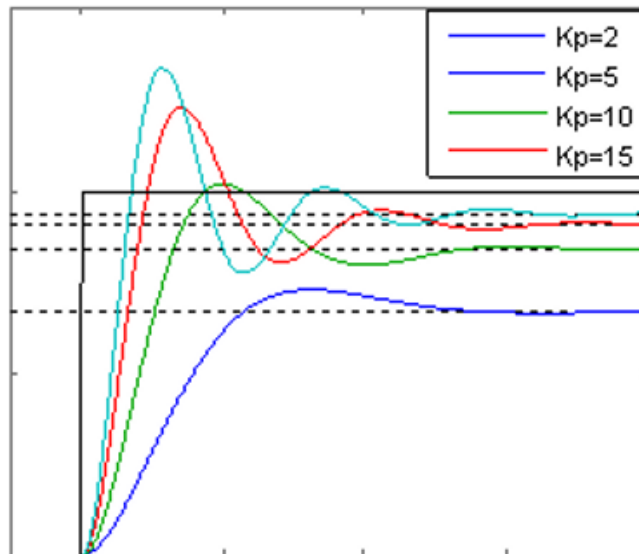


Figura 2.24 Marco teórico Controlador P

Fuente: <http://ira.unileon.es/es/book/export/html/268>

2.2.26. Acción Integral PI

La acción proporcional integral disminuye el error en estado estacionario frente a las perturbaciones de carga constante. Por esta razón es utilizado para hallar

el valor adecuado para u_0 . También es utilizado para enmendar el error en régimen permanente (Control, 2008).

Una razón que permite entender el beneficio de la acción integral es que, cuando existe un error en un gran lapso de tiempo se genere un aumento en el valor de la señal de control. La fórmula de la acción integral es:

$$u(t) = \frac{1}{T_i} \int e(t) dt$$

En la figura 2.25 se pueden ver las propiedades de la acción integral, donde se puede visualizar el simulacro de un controlador PI. Se modifica el tiempo integral y se mantiene constante la parte proporcional (Control, 2008).

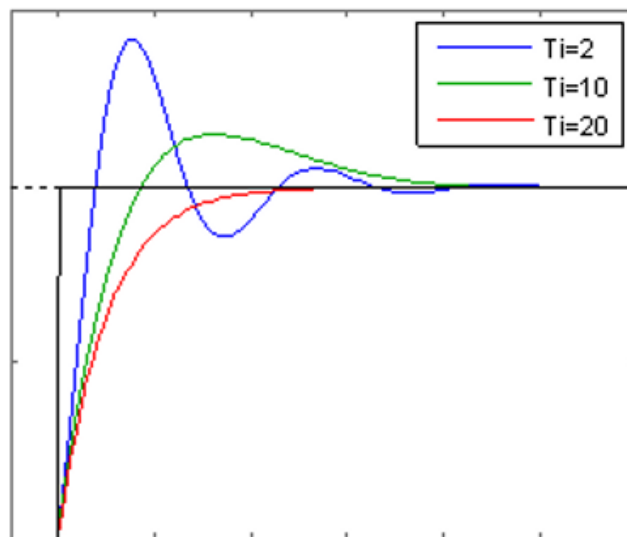


Figura 2.25 Marco Teórico Acción integral PI

Fuente: <http://lra.unileon.es/es/book/export/html/268>

Cuando el T_i es infinito se utiliza el control P. Luego al ingresar la parte integral se visualiza que:

1. Cuando la mayor acción integral baja, la respuesta oscila con mayor intensidad, esto puede hacer que el sistema se inestabilice.
2. Se hace cero el error en estado estacionario cuando T_i toma valores finitos.

2.2.27. Acción Derivativa PD

El controlador PI tiene un problema que limita su efectividad y se trata de que solo puede considerar valores de error del pasado, en otras palabras, No puede realizar una predicción de lo que ocurrirá con la señal (Control, 2008).

La parte derivativa puede compensarlo, ya que puede realizar predicciones sobre la señal de error. Esta predicción la hace extrapolando la curva de error a lo largo de la tangente. La formula de la parte derivativa es:

$$u(t) = T_d \frac{de(t)}{dt}$$

T_d es el tiempo derivativo y es importante para realizar las predicciones. Como la salida que se predice depende de la acción de control, Se puede disminuir la oscilación del sistema. Las propiedades de este tipo de controlador se pueden apreciar en la figura 2.26 (Control, 2008).

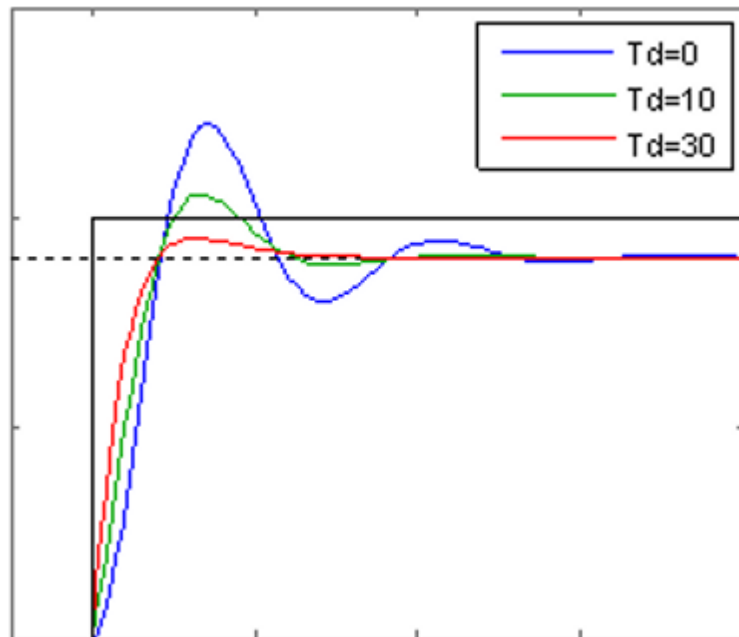


Figura 2.26 Marco Teórico Acción derivativa PD

Fuente: <http://ira.unileon.es/es/book/export/html/268>

Se visualiza que las oscilaciones se amortiguan al utilizar la parte derivativa del controlador. Al aumentar T_d la salida se aproxima a una exponencial (Control, 2008).

La acción derivativa tiene una desventaja y se trata de que, se tiene que ser cuidadoso cuando se escoge el tiempo derivativo. En las industrias es común no utilizar la parte derivativa, es decir se coloca $T_d = 0$, Sin embargo en otras situaciones es muy útil. Por ejemplo cuando existen procesos multi-capacitivos, como el control de temperatura. A causa de la tendencia del sistema es de gran importancia conocer como evoluciona el sistema. El calentamiento debe ser controlado con exactitud. Una transferencia lenta de calor podría hacer que el sistema se siga calentando aunque se desactive la fuente de calor. En este lapso de tiempo, la temperatura podría sobrepasar la consigna si no se realiza con cuidado las acciones de control. Otra situación en la que es importante hacer predicciones del error, es cuando existen tiempos muertos y retardos

considerables en el proceso. En esta ocasión, desventajosamente, la parte derivativa no hace buenas predicciones y se debe usar controladores específicos que se basan en las estrategias de control predictivo o en el predictor de Smith, para dar solución al problema. Sino se puede usar este tipo de controlador es preferible usar un controlador PI (Control, 2008).

2.2.28. Reglas heurísticas de ajuste de controlador PID

Paso 1: Acción Proporcional

- ✚ Se aumenta al máximo TI o tiempo integral.
- ✚ Se disminuye al mínimo el TD o tiempo derivativo.
- ✚ Se establece una baja ganancia y se la aumenta hasta obtener las condiciones que se desean.

Paso 2: Acción integral

- ✚ Se va disminuyendo TI hasta que desaparezca el error en estado estacionario, aunque aumente la oscilación.
- ✚ Bajar un poco la ganancia.
- ✚ Se repite hasta que se logran las condiciones que se desean.

Paso 3: Acción Derivativa

- ✚ Se mantiene el tiempo integral y la ganancia que se obtuvo.
- ✚ Se aumenta TD hasta lograr condiciones similares pero más rápidamente.
- ✚ Se aumenta un poco la ganancia si se necesita.

Tabla 3:

Reacción de parámetros PID

	Kp aumenta	Ti disminuye	Td aumenta
Estabilidad	Se reduce	Disminuye	Aumenta
Velocidad	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Error estacionario	No eliminado	Eliminado	No eliminado
Área del error	Se reduce	Disminuye hasta cierto punto	Se reduce
Perturbación control	Aumenta bruscamente	Aumenta gradualmente	Aumenta bruscamente
Frecuencia lazo	No afecta hasta cierto punto	Disminuye	Aumenta

Fuente: from <http://control-pid.wikispaces.com/>

2.2.29. Adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos, son los dispositivos o procesos que se utilizan para agrupar información o para analizar un fenómeno. De tal manera que, un operador, que registre la temperatura de una caldera esta realizando una adquisición de datos. Como la tecnología siempre avanza, la adquisición de datos se ha tecnificado y se ha hecho más exacta, versátil y fiable mediante aparatos electrónicos. Existen variados rangos de registradores, desde simples a sofisticados sistemas informáticos. Los dispositivos de adquisición de datos son como un punto centro en un sistema, unificando una gran variedad de

dispositivos, tales como sensores que indican el caudal, nivel presión, temperatura, etc. Algunos de los términos más utilizados en la adquisición de datos de detallan a continuación:

- ✚ **Analógico-Digital (ADC):** Se trata de un aparato electrónico que transforma una señal analógica a una señal digital. La conversión de analógico a digital es la base de los sistemas de adquisición de datos.
- ✚ **Convertidor Digital-Analógico (D/A):** Se trata de un dispositivo electrónico que transforma una señal digital a una señal analógica equivalente.
- ✚ **Digital Input/Output (DIO):** Se trata de una forma en la que se recibe una adquisición de datos. Digital I/O se refiere a señales discretas, ya que posee dos estados. Estos estados pueden ser de *On/Off*, 1/0, alto/bajo, etc. Digital I/O puede ser encontrado también como binarios I/O.
- ✚ **Entrada Simple (SE):** Se trata de la forma en que el cable de la señal se conecta a un aparato de adquisición de datos. Con una sola terminal de cableado, cada entrada analógica tiene una sola conexión, pero todos los canales deben encontrarse conectados a la misma tierra común. Los dispositivos de adquisición poseen entradas simples o entradas diferenciales.
- ✚ **Entrada Diferencial:** Se trata de la forma en que el cable de la señal es conectado a un aparato de adquisición de datos. Las entradas diferenciales tienen una conexión positiva y negativa para cada canal. Los dispositivos de adquisición de datos tienen entradas simples o diferenciales.

- ✚ **General Purpose Interface Bus (GPIB):** Sinónimo de HPIB, se trata del bus estándar que se usa para el control de aparatos eléctricos con un computador.
- ✚ **Resolución:** Es la señal más pequeña de incremento que se puede detectar mediante un sistema de adquisición de datos.
- ✚ **RS232:** Es un tipo de conexión estándar para los sistemas de comunicación, se encuentra en muchos sistemas de adquisición. El RS232 es el tipo de comunicación mas utilizado, pero, tiene limitaciones, debido a que solo permite conectarse con un solo dispositivo que se encuentre conectado al y solo permite conexiones de hasta 15 metros, aunque se la utiliza en conexiones de mayor longitud en la practica.
- ✚ **RS485:** Es un tipo de serie de comunicación en los sistemas de adquisición. Este tipo de conexión no es tan popular como RS232, pero, es más flexible ya que permite la comunicación con 32 dispositivos a la vez y se puede conectar a más con la utilización de repetidores y permite conexiones con distancias de 1500 metros.
- ✚ **Frecuencia de Muestreo:** Es la velocidad de recolección de datos de un sistema de adquisición. Esta velocidad viene dada en datos por segundo. En los aparatos multi-canal de adquisición, la frecuencia de muestreo depende de la velocidad del convertidor analógico-a-digital. La Frecuencia de muestreo individual del canal se obtiene dividiendo la velocidad del convertidor Análogo a digital por la cantidad de canales que se tienen.

2.2.30. Tipos de Sistemas de Adquisición de Datos

Sistemas de Adquisición de Datos *Wireless*: Los sistemas *wireless* de adquisición de datos disminuyen costos de instalación y de conexión. Estos

sistemas poseen uno o varios transmisores inalámbricos que envían datos a un receptor inalámbrico que se encuentra conectado a un computador remoto. Los transmisores inalámbricos funcionan a humedad relativa, temperatura ambiente, infrarrojos, presión barométrica, presión de línea, RTD, termopares, pH, sensores de pulso de salida de 4 a 20 mA y transductores con salida de voltaje. (Omega, 2003).



Figura 2.27 Marco Teórico DAQ Wireless

Fuente: <https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>

Sistemas de Comunicación en Serie, Sistemas de Adquisición de Datos: Son sistemas de adquisición utilizados cuando las mediciones se deben realizar en un lugar lejano a un computador. Existen diferentes estándares de comunicación, RS232 es la mas utilizada pero solo soporta una sola conexión a la vez y distancias pequeñas. RS485 soporta distancias de 1500 metros y conexión con un máximo de 32 dispositivos a la vez (Omega, 2003).



Figura 2.28 Marco Teórico DAQ Comunicación en serie

Fuente: <https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>

Sistemas de Adquisición de Datos USB: El USB o Bus Serie Universal es una conexión estándar en la actualidad para conectar computadores a dispositivos electrónicos como mouse, módems, impresoras, cámaras y dispositivos de adquisición de datos. Este sistema tiene ventajas sobre las conexiones en serie y en paralelo, debido a que posee un ancho de banda más alto y tiene capacidad de cargar el dispositivo electrónico. Este sistema es preferible para la adquisición de datos diferentes. Solo se necesita conectar el dispositivo al puerto USB, ya que el puerto le suministra energía (Omega, 2003).



Figura 2.29 Marco Teórico DAQ USB

Fuente: <https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>

Sistemas de Adquisición de Datos Ethernet: Generalmente las conexiones que se realizan en la industria y en los negocios son realizadas con cable Ethernet, esto permite disminuir costos ya que se evita integraciones de cableado (Omega, 2003).

Algunos dispositivos Ethernet poseen una página web donde se publica la información obtenida. Ventajosamente estos datos pueden ser vistos por cualquier usuario utilizando un navegador de internet convencional. Ethernet también permite compartir datos con los usuarios del *Local Network* y en internet a usuarios permitidos (Omega, 2003).



Figura 2.30 Marco Teórico DAQ Ethernet

Fuente: <https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>

Sistema de Adquisición de Datos *Plug-in Boards*: En el bus del ordenador deben ser conectadas las tarjetas de adquisición de datos. Estas tarjetas poseen ventajas como lo son la velocidad ya que se conectan al bus directamente y el costo. Las tarjetas poseen diferentes características dependiendo del, tipo y número de entradas (Voltaje, digital, termopar), salidas, velocidad y otras funciones de la tarjeta. Las tarjetas configuradas en el computador se direccionan a un solo mapa de Entrada / Salida. El mapa de E/S en el computador, proporciona las ubicaciones de dirección que el procesador utiliza para ingresar al dispositivo que se requiere en el programa (Omega, 2003).



Figura 2.31 Marco Teórico DAQ Plug-in Boards

Fuente: <https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>

2.2.31. El amplificador Operacional

El Amplificador operacional es un aparato que amplifica la variación entre sus 2 entradas, utilizando una gran ganancia, Un gran impedancia en la entrada y una pequeña impedancia de salida (Electrónica, 2012).

- ✚ Este dispositivo posee dos entradas: la inversora o negativa y la no inversora o positiva y solamente tiene una salida.
- ✚ Este dispositivo se energiza mediante una fuente de tensión con doble polaridad que está en los rangos de +/- 5 Voltios a +/- 15 Voltios, Es posible energizarla con una sola fuente pero se deben hacer modificaciones.

2.2.32. El Amplificador Operacional utilizado como inversor

El amplificador operacional es llamado inversor cuando la señal de salida es la misma que la señal de entrada pero con signo contrario, es decir, invertida. Cuando las señales se mueven en sentidos contrarios (Electrónica, 2012).

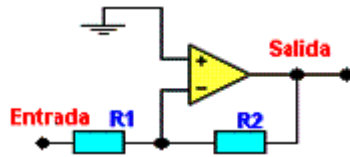


Figura 2.32 Marco Teórico Opamp Inversor

Fuente: http://www.viasatelital.com/proyectos_electronicos/amplificador_operacional.htm

La ganancia de un amplificador o la relación de entre las señales de salida y entrada, depende de los valores de las resistencias R1 y R2 y se calcula mediante la fórmula: $A_v = - R_2 / R_1$ (Electrónica, 2012).

2.2.33. El Amplificador Operacional utilizado como No inversor

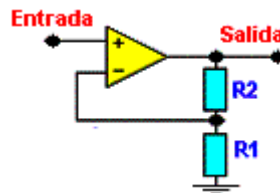


Figura 2.33 Marco Teórico Opamp No inversor

Fuente: http://www.viasatelital.com/proyectos_electronicos/amplificador_operacional.htm

En el amplificador no inversor, se conecta la señal en la entrada no inversora (+) y la resistencia de entrada R1 se conecta a tierra. En esta ocasión la impedancia de entrada es mas grande que en el caso del amplificador inversor. En este caso, las señales tanto de entrada como de salida están en fase, es decir, se mueven en el mismo sentido

En esta configuración la ganancia de voltaje es siempre mayor que 1 y viene dada por la fórmula: $A_v = 1 + R_2 / R_1$ (Electrónica, 2012).

CAPITULO 3

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Al ser un trabajo de graduación se debe definir la metodología de investigación y desarrollo del proyecto la cual define los parámetros sobre los cuales se realizó la investigación y los aspectos más importantes a destacar en la misma.

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación que se realizó es enfocada a la implementación de un módulo de prácticas de control de nivel y temperatura para la materia de control de procesos, en la cual se detalla todo el proceso de diseño y fabricación del módulo como la obtención de las funciones de transferencia que servirán de práctica para los alumnos de la materia de control de procesos; la idea de la práctica será que los alumnos aprendan como obtener datos de un proceso y poder identificar variables y parámetros de control de los mismos, identificar el comportamiento de los procesos frente a las variaciones en los parámetros PID y conocer los dispositivos de control modernos que se utilizan en la actualidad. Generalmente se puede decir que es una investigación de tipo práctica, enfocada a la implementación y diseño del módulo, de manera que los estudiantes al leerla entiendan como fue el proceso de construcción, como funciona el control que se realiza tanto en la temperatura como en el nivel y puedan visualizarlo en el módulo y probar sus hipótesis en el mismo.

3.1.2. Diseño de la investigación

La investigación se desarrolla en partes para el mejor discernimiento de la información. Primeramente se investiga acerca de proyectos similares para tener una base, los cuales se ubican en los antecedentes del proyecto, posteriormente se identifican los aspectos más relevantes de analizar, como

en este caso lo son los controladores PID, los sensores y actuadores del sistema de control de temperatura y nivel, lo cual se ubica en el marco teórico; seguidamente se definen las variables de entrada y salida del sistema de control para tener claro la relación entre los sensores y los actuadores, luego de esto se define el método de trabajo para trazar los parámetros y la forma de trabajo; seguidamente se establecen las técnicas de análisis de datos y los instrumentos de recolección de datos para tener datos uniformes y válidos; luego de esto se definen las limitaciones del proyecto, para luego seleccionar los elementos o dispositivos del módulo tomando en cuenta el previo análisis de los mismos en el marco teórico; luego de seleccionar los dispositivos, se realiza el diseño eléctrico del módulo tanto de control como de fuerza tomando en cuenta la conexión de los dispositivos que se detallan en los *datasheets* de los dispositivos, los cuales se encuentran en los anexos; luego de esto se define el funcionamiento de los procesos del módulo para luego diseñar el modelo matemático y el controlador del sistema utilizando la teoría de los controladores PID que se encuentra en el marco teórico; una vez hecho esto se procede con la implementación del módulo de control según los datos del modelo matemático; una vez implementado el módulo se programa el PLC y se introducen los parámetros PID del controlador en el mismo; luego de esto se analiza el comportamiento del módulo de control con distintas variables y se diseñan las prácticas de control para los estudiantes de la materia de Control de procesos de la Facultad Técnica; finalmente se evalúa el módulo de control y los beneficios que ofrece a la metodología de estudio de la materia de control de Procesos.

3.1.3. Definición de variables

El proyecto tiene 4 entradas y 4 salidas, las entradas son obtenidas mediante sensores de tipo analógico y digital que entregan estas señales al controlador o PLC para que este según la lógica que haya programada en él, entregue

señales analógicas y digitales como salidas a los dispositivos que controlan los actuadores.

Tabla 4:

Variables de entrada del sistema

Variable	Rango de funcionamiento	Tipo de señal	Sensor
Nivel	0 a 50 cm de altura	Analógica	Potenciómetro
Temperatura	-200 a 850 grados centígrados	Analógica	Pt 100 (RTD)
Nivel alto	Máximo 1 amperio 100 v	Digital	Flotador tipo switch
Nivel bajo	Máximo 1 amperio 100 v	Digital	Flotador tipo switch

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Tabla 5:

Variables de salida del sistema

Variable	Rango de funcionamiento	Tipo de señal	Control de actuador
Nivel	0 a 10 voltios	Analógica	Variador de velocidad
Temperatura	0 a 10 voltios	Analógica	Relé de estado solido Carlo Gavazzi
Nivel	110 v	Digital	Bobina Electroválvula
Nivel	220v	Digital	Bobina Contactor de bomba

Fuente: Autor (Dave Méndez)

3.1.4. Método de trabajo

El trabajo se realizará de manera secuencial para mantener un orden en el desarrollo y que todos los segmentos del trabajo encajen perfectamente, debido a que para desarrollar ciertos segmentos del trabajo se necesitarán los resultados de otros segmentos del mismo.

Primeramente se seleccionarán los dispositivos a utilizar dependiendo de su funcionalidad y su costo, posteriormente se realizará el diseño de la estructura metálica para inmediatamente construirla, luego de esto se procederá a colocar los dispositivos de medición y los actuadores en la estructura metálica, seguidamente se colocará el panel de control y el controlador; una vez terminada la implementación del módulo se procederá a tomar los datos necesarios de la planta para diseñar el modelo matemático que describe el comportamiento de la planta; luego de desarrollar el modelo se procederá a diseñar el controlador del sistema, para luego programar el PLC utilizando los parámetros PID del controlador diseñado; finalmente se desarrollarán las prácticas de control utilizando el módulo de control de nivel y temperatura terminado.

3.1.5. Técnicas de análisis de datos

Los datos se analizarán cualitativamente; es decir, el análisis se enfocará en las características, en los parámetros, en aspectos más que en cantidades. Inicialmente para el diseño de los modelos matemáticos se analizarán los datos de la planta para poder definir las restricciones de los modelos, luego para el diseño del modelo matemático de temperatura se recolectarán datos mediante una tarjeta de adquisición de datos de *National Instruments*; estos datos serán trasladados a Matlab en donde se diseñará el modelo matemático y posteriormente los controladores; finalmente se analizarán los datos de funcionamiento del módulo de control de nivel y temperatura para el diseño de las prácticas.

3.1.6. Instrumentos de recolección de datos

Se utilizará una tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009 de *National Instruments* para la recolección de datos de temperatura del módulo de control, en el cual se conectará un sensor de temperatura LM35 y se conectará el controlador de temperatura tipo Relé de estado solido, marca Carlo Gavazzi con lo cual se generará una lista de datos de temperatura según las variaciones de voltaje de entrada en el relé de estado solido electrónico.

3.2. LIMITACIONES

Una de las limitaciones más grandes que se tendrá será el factor económico, ya que los dispositivos industriales son muy costosos, por lo cual se tendrá que ajustar la compra de estos dispositivos y escoger los que estén de acuerdo al presupuesto, pero que cumplan con la funcionalidad deseada. Otra limitación que se tendrá en el proyecto será la dinámica del proceso de temperatura ya que el control del mismo es muy lento; finalmente la mayor limitación será la cantidad de agua manejada, ya que lo que representa el módulo, es el control de nivel y temperatura del agua en una industria, las cuales poseen cantidades indefinidas de agua a disposición, mientras que en el módulo se utilizará un reservorio con una cantidad definida y relativamente pequeña de agua para efectos de investigación.

CAPITULO 4

DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS

El siguiente proyecto se diseñó teniendo en cuenta lo que se necesitaba como resultado y el costo de los elementos que se iban a necesitar; por lo tanto cada elemento adquirido fue analizado en base a su costo beneficio.

A continuación se detallan los elementos más importantes del proyecto, su funcionamiento y su proceso de selección:

4.1.1. PLC

Primeramente se escogió el PLC a utilizar, que fue el Siemens S7 1200 ya que este tipo de PLC es muy común, es muy versátil y tiene mucha maniobrabilidad para el desarrollo de los programas, además se poseen varios de estos PLC en el laboratorio de automatización y por lo tanto los estudiantes se encuentran familiarizados con él. El modelo que se escogió fue el 1212C Ac/Dc/Rly ya que es el modelo que posee todas las herramientas necesarias para el control de los procesos que se van a analizar. A este módulo CPU se le adicionó un módulo para RTD *signal Board* SB1221 para que pueda leer los datos del sensor de temperatura, que en este caso será una RTD. Adicionalmente se le adjuntó un módulo de 2 salidas analógicas SM 1232 para emitir las señales analógicas que controlarán el proceso de nivel y el proceso de temperatura respectivamente.



Figura 4.1 Selección Equipos PLC

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.2. Sensor de temperatura



Figura 4.2 Selección Equipos Sensor de Temperatura

Fuente: http://i00.i.aliimg.com/img/pb/777/994/499/499994777_876.JPG

El sensor de temperatura que se seleccionó fue una pt100 que posee un rango de lectura de -200 grados centígrados a 850 grados centígrados; se la seleccionó debido a su amplio rango de lectura aunque el rango en el que se va a desarrollar el control de temperatura es muchísimo menor; este sensor es de los más utilizados en la industria y se consideró que es muy importante que los estudiantes conozcan este tipo de sensor, como trabaja, como se conecta, etc. Ya que este sensor es una Pt 100 a 3 hilos y se conecta de la siguiente manera:

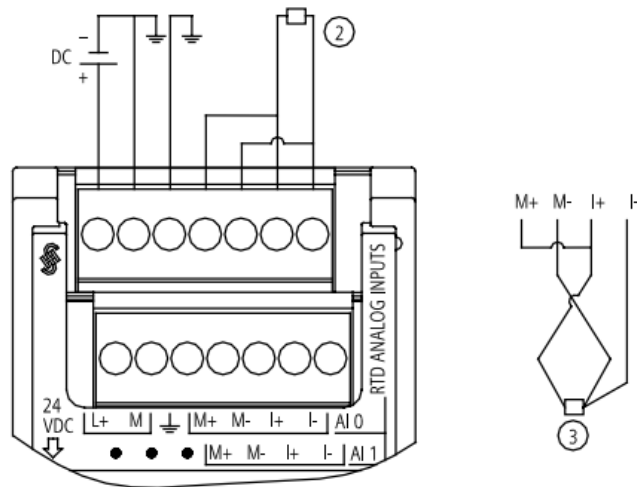


Figura 4.3 Selección Equipos Conexión RTD

Fuente: <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/S71200%20-%20SM1231RTC.PDF>

4.1.3. Interfaz hombre-maquina

La interfaz hombre máquina que se seleccionó fue la HMI KTP600 Basic color DP debido a que es una pantalla muy didáctica y versátil, ya que mediante esta pantalla se pueden controlar todas las variables del proceso sin necesidad de botoneras ni luces piloto, ni alarmas ya que en esta única pantalla se puede visualizar y controlar todo el proceso.



Figura 4.4 Selección Equipos HMI

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.4. Fuente 24VDC

Se seleccionó una fuente SITOP SIEMENS 5A para la alimentación de la tarjeta de salidas analógicas del PLC, para las entradas y salidas digitales el PLC, para la alimentación del sensor de nivel, y para la alimentación de la pantalla HMI.



Figura 4.5 Selección Equipos Fuente 24 VDC

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.5. Bomba de agua

La bomba de agua que se seleccionó fue una bomba de agua de $\frac{1}{2}$ Hp 120 V AC monofásica, pero debido a que se va a realizar un control de nivel PID y la bomba debe ser controlada mediante un variador de frecuencia y no existe en el mercado un variador de frecuencia monofásico, se procedió a rebobinar la bomba a 220 V AC trifásico para que pueda fácilmente ser controlada por el variador.



Figura 4.6 Selección Equipos Bomba de agua

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.6. Variador de velocidad

El variador de velocidad escogido fue el siemens G110 220 AC de 1Hp, el cual funciona con una señal de 220 AC a 2 hilos y controla al motor con una salida trifásica a 220 VAC, el variador fue configurado para que sea controlado por una referencia de voltaje obtenida de una de las salidas analógicas de las tarjetas del PLC utilizando el manual el cual se adjunta en los anexos.



Figura 4.7 Selección Equipos Variador de frecuencia

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.7. Controlador de potencia del calefactor

Para controlar la potencia del calefactor que en este caso es una resistencia calefactora de 110 VAC, se utilizó un SSR o relé de estado solido, electrónico importado marca CARLO GAVAZZI que posee varios métodos de control ya que no es un relé de estado solido normal. Posee control por ángulo de fase, control distribuido y 3 modos de contactos de disparo; las señales de control que acepta son las señales estándar de un PLC que son 0 a 10 voltios DC o 4 a 20 miliamperios.

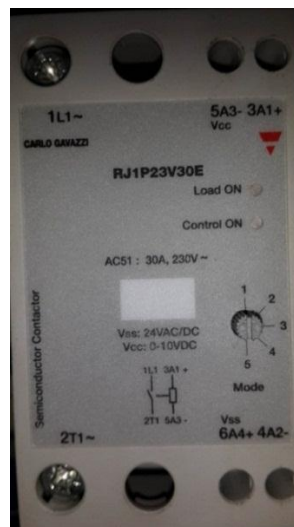


Figura 4.8 Selección Equipos Relé de estado Solido Carlo Gavazzi

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Este dispositivo controla la potencia del calefactor de la siguiente manera:

Tabla 6:

Control de resistencia calefactora

Control Current (mA)	Control Voltage (VDC)	Output Power (%)
4	0	0
8	2.5	25
12	5	50
16	7.5	75
20	10	99

Fuente: Manual Carlo Gavazzi

Y se conecta de la siguiente manera:

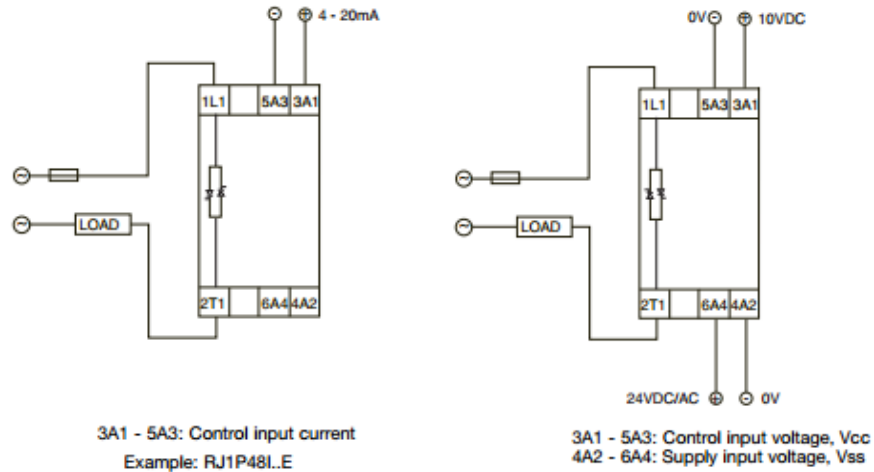


Figura 4.9 Selección Equipos Conexión SSR

Fuente: Manual Carlo Gavazzi

4.1.8. Sensor de nivel

El sensor de nivel que se utilizó es de tipo resistivo ya que se fabricó un sensor utilizando un potenciómetro de 20 k Ω , una fuente de 24 VDC y una boya flotadora para lectura de nivel del tanque de gasolina de un carro. Se diseñó un sistema que movilizara el potenciómetro a medida que sube el nivel de agua transmitiendo el movimiento mediante una varilla que sostiene la boya flotadora.

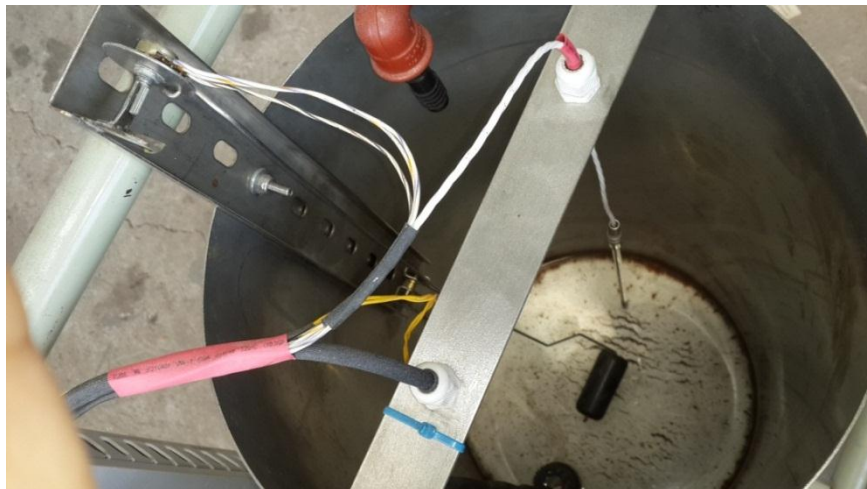


Figura 4.10 Selección Equipos Sensor de nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

La conexión del sensor se realiza de la siguiente manera:

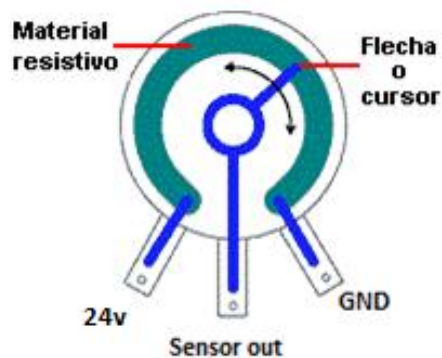


Figura 4.11 Selección Equipos Conexión sensor de nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.9. Calefactor

El calefactor que se seleccionó es una resistencia calefactora sumergible de 5200 w con alimentación de 110 VAC, la cual tiene la capacidad de elevar la temperatura del agua a 100 grados centígrados pero la temperatura de funcionamiento del proyecto no pasa de los 65 grados centígrados debido a otros componentes que no soportan tal cantidad de temperatura.



Figura 4.12 Selección Equipos Resistencia Calefactora

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.10. Electroválvula

La electroválvula que se escogió fue una electroválvula de ½ pulgada con una bobina de 110 VAC que con facilidad vacía el reservorio de agua en un rango de tiempo aceptable, por lo tanto nos sirve para simular la carga tanto para el sistema de nivel como para el de temperatura.

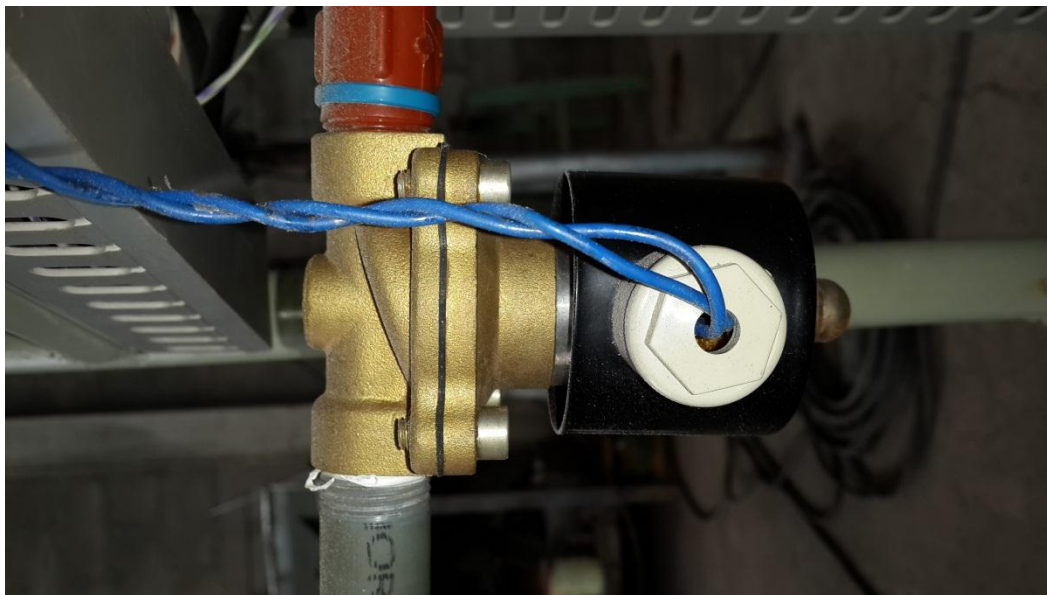


Figura 4.13 Selección Equipos Electroválvula

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.11. Tanques

Se fabricaron 2 tanques cilíndricos con acero inoxidable debido a que el líquido a controlar es agua, uno de los tanques es el tanque de control el cual se encuentra en la parte superior del módulo y el otro tanque que es el reservorio de agua se encuentra en la parte inferior, ambos tanques poseen las mismas medidas que son 32 cm de diámetro y 55 cm de alto.



Figura 4.14 Selección Equipos Tanques

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.12. Sensores digitales de nivel

Se seleccionaron 2 sensores de nivel digital flotadores tipo *switch* los cuales son utilizados como seguridad; uno se coloco en la parte superior del tanque en el cual se va a controlar el nivel de manera que si llegase a fallar el controlador y se sobrepase del máximo del tanque este sensor hace despegar el contactor que energiza la bomba y así evita que se rebose el agua del tanque.



Figura 4.15 Selección Equipos Sensor Digital de Nivel 1

Fuente: Autor (Dave Méndez)

El segundo flotador tipo *switch* se colocó en la parte inferior del tanque reservorio para evitar que la bomba absorba aire en caso de que este tanque se quede sin agua, de la misma manera este *switch* hará que el contactor de la bomba se despegue de manera que deje de funcionar la bomba.



Figura 4.16 Selección Equipos Sensor digital de nivel 2

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.13. Relés y Contactor

Se escogieron 4 relés de 24 VDC debido a que las entradas y salidas digitales del PLC funcionan con 24 VDC y algunos actuadores como la electroválvula que funciona con 110 VAC y la bobina del contactor que funciona con 220 VAC no pueden ser conectadas directamente a las salidas del PLC por esta razón se las activa mediante relés.

Los otros 2 relés de 24 VDC se utilizaron para proteger las entradas digitales del PLC debido a que los sensores de nivel alto y nivel bajo digitales tienen contacto con el agua y por eso la señal de estos sensores se ingresa al PLC mediante relés.

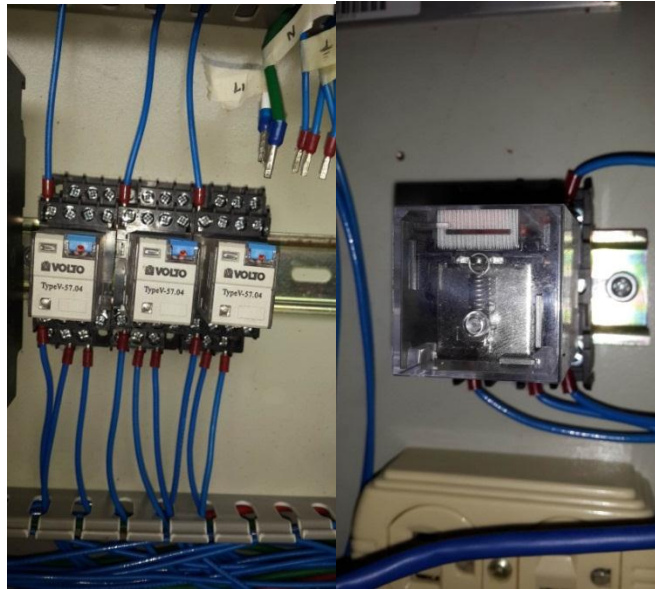


Figura 4.17 Selección Equipos Relés 24 VDC

Fuente: Autor (Dave Méndez)

El Contactor que se utilizó es un contactor marca Camsco con bobina de 220 VAC para activar la bomba, para realizar el control de nivel y para desactivarla en caso de emergencia o por que el operador decide desactivarla.



Figura 4.18 Selección Equipos Contactor

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.14. Válvulas manuales

El módulo posee 2 válvulas manuales para el vaciado de los 2 tanques en caso de emergencia, ya sea porque falle la electroválvula o porque el agua del reservorio esta sucia y se lo desee vaciar, además la válvula manual del reservorio sirve para cebar la bomba.



Figura 4.19 Selección Equipos Válvula Manual 1

Fuente: Autor (Dave Méndez)

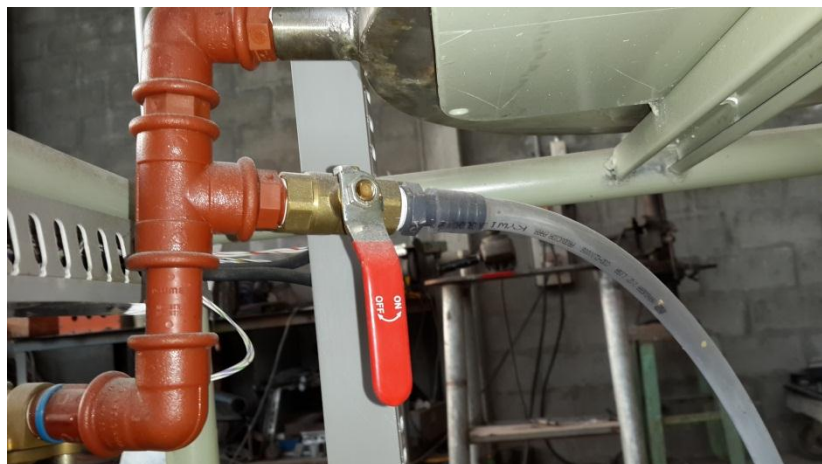


Figura 4.20 Selección Equipos Válvula Manual 2

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.15. Tablero metálico

Se seleccionó un tablero metálico con medidas 59 x59x20.5 cm en donde se ubicaron todos los dispositivos de control del proyecto y se realizó el cableado del mismo.



Figura 4.21 Selección Equipos Tablero Metálico

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.1.16. Medidor de nivel visual

Se seleccionó un medidor visual de nivel externo al tanque debido a que los tanques son metálicos y no se puede visualizar el nivel de los mismos, además el nivel de los mismos también puede ser visualizado en la pantalla HMI.



Figura 4.22 Selección Equipos Medidor de nivel Visual

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.2. DISEÑO DE PLANOS ELÉCTRICOS

El módulo se alimenta con 2 fases de 110 VAC (220 VAC entre las 2 fases), el neutro y la tierra, a las 2 fases se les coloco 2 *breakers* Siemens principales uno de 32 amperios y uno de 16 amperios dimensionados de acuerdo a la carga que van a soportar, el PLC posee un *breaker* Schneider de 3 amperios para encenderlo y apagarlo cuando se necesite resetearlo; el variador posee 2 *breakers* Schneider de 3 amperios en su alimentación y el relé de estado solido tiene un *breaker* Siemens de 25 amperios en la alimentación de la carga, en este caso el calefactor, para proteger el relé de una sobrecarga; además el módulo cuenta con un tomacorriente de 110 VAC para conectar equipos en caso de necesitarse. Todas las conexiones de los elementos se detallan en los siguientes planos:

4.2.1. Diagrama de fuerza

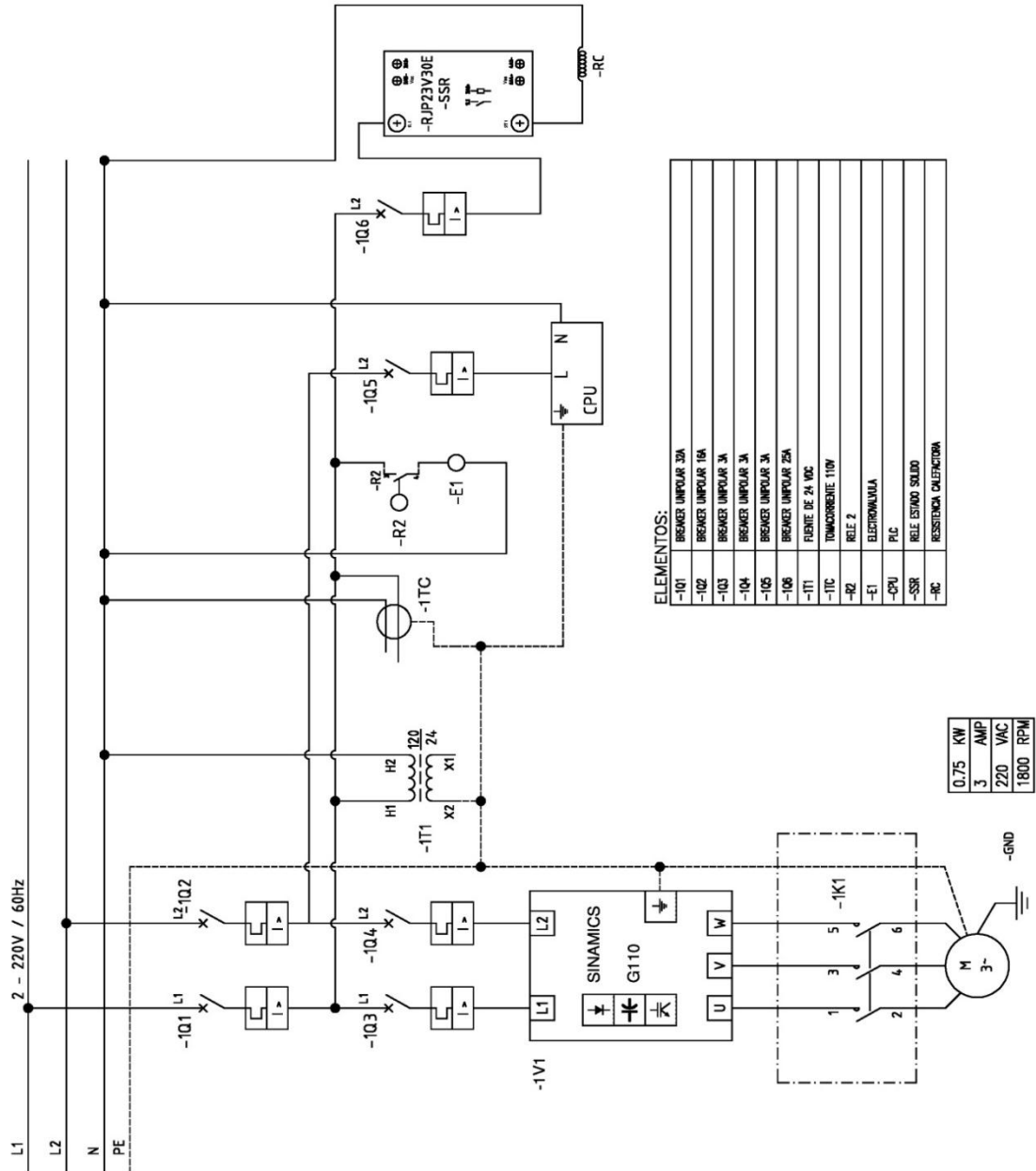


Figura 4.23 Diseño eléctrico (Diagrama de fuerza)

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.2.2. Diagrama de control

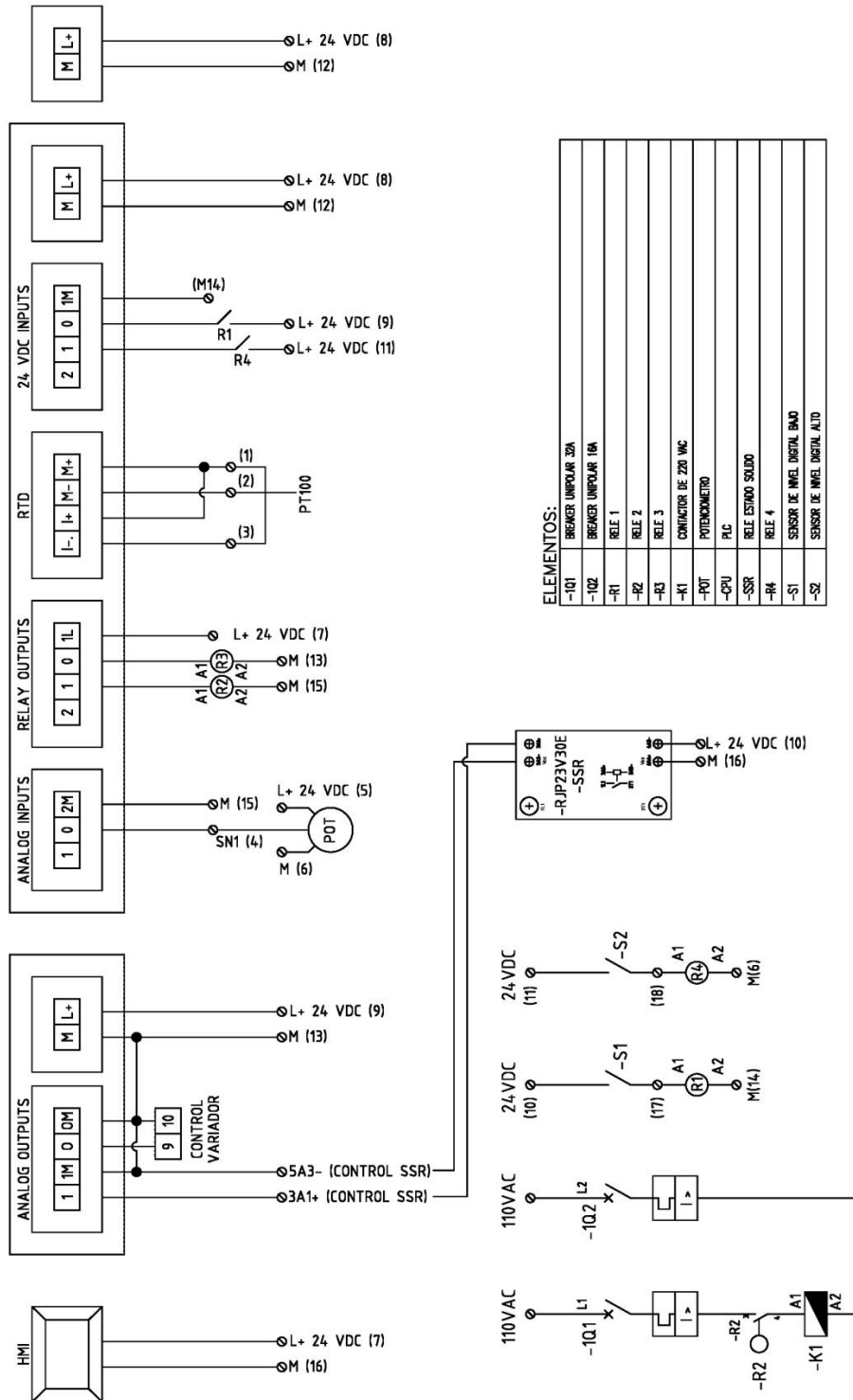


Figura 4.24 Diseño Eléctrico (Diagrama de control)

El tablero de control al realizar todas las conexiones según los planos diseñados quedo de la siguiente manera:

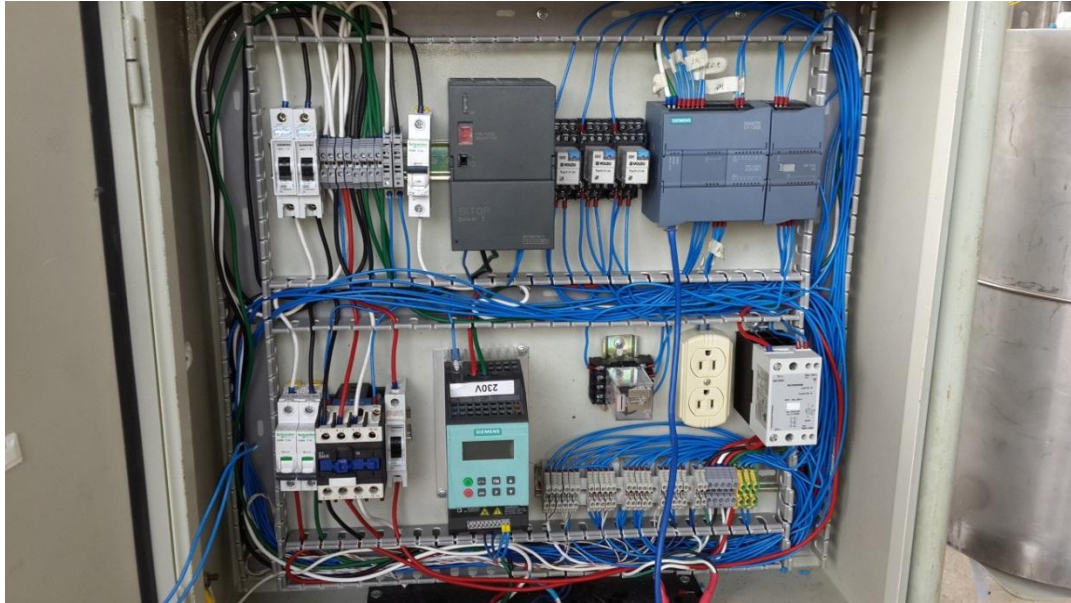


Figura 4.25 Diseño Eléctrico (Panel Eléctrico)

Fuente: Autor (Dave Méndez)

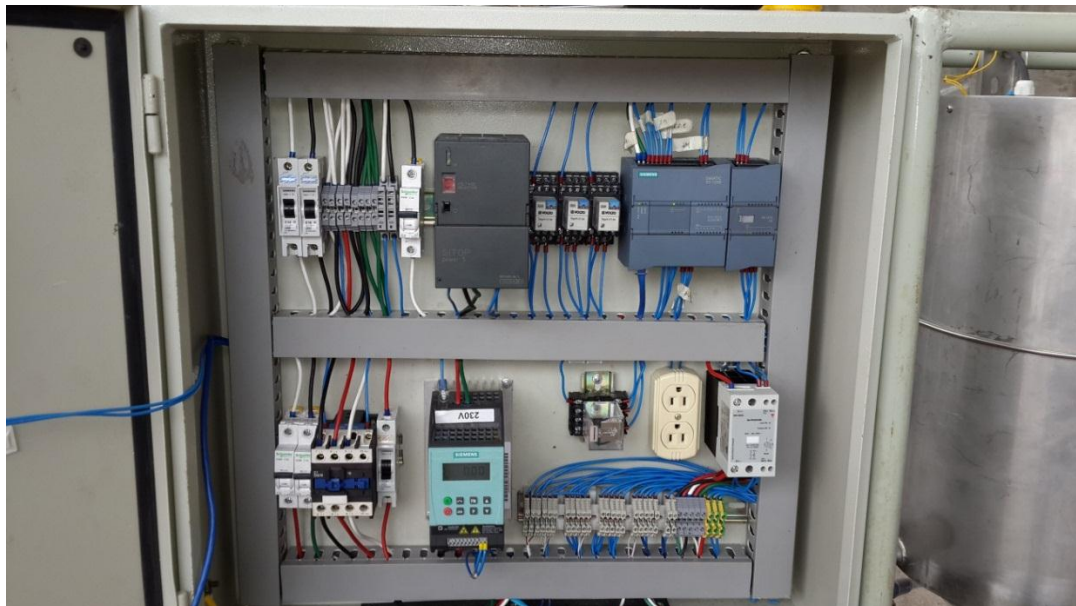


Figura 4.26 Diseño Eléctrico (Panel Eléctrico 1)

Fuente: Autor (Dave Méndez)



Figura 4.27 Diseño Eléctrico (Conexión HMI)

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.3. FUNCIONAMIENTO DE LOS PROCESOS

El módulo de control de temperatura y nivel después de haber sido ensamblado y conectado según su funcionamiento quedó de la siguiente manera:



Figura 4.28 Modulo de Control

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.3.1. Funcionamiento del proceso de nivel

El proceso de nivel cuenta con 2 tanques de acero inoxidable colocados a diferentes alturas ya que el tanque de control desfogara el agua con ayuda de la gravedad por esta razón este se encuentra en la parte superior del módulo junto con el tablero metálico donde se encuentran todos los dispositivos de control y de fuerza del módulo; en la parte inferior del módulo se encuentran la bomba y tanque reservorio de agua de donde se toma el agua para el proceso.

Al subir todos los *breakers* se podrá controlar el proceso a través de la pantalla HMI en la cual se presentan 3 botones; el botón ESQUEMA posee los visualizadores de los sensores y los botones de encendido y apagado de la electroválvula y los procesos de control; el botón CALIBRACION PID posee recuadros para ingresar el *setpoint* y los parámetros PID de los procesos y finalmente el botón TENDENCIAS posee los gráficos de respuesta de los procesos.

Para poner a funcionar el proceso de nivel se deberá seleccionar el botón CALIBRACION PID y colocar el *setpoint* deseado ya que los parámetros ya se encuentran calibrados, seguido de esto se regresa a la pantalla principal presionando HOME y se presiona ESQUEMA para luego presionar los botones de encendido de la electroválvula y de la bomba activando así el proceso de nivel. La dinámica del proceso será que la bomba deberá hacer que el nivel del tanque de control llegue al *setpoint* deseado teniendo como carga la salida del agua por la electroválvula entonces la bomba deberá regular su caudal para llegar a ese nivel y mantenerlo; esto lo hace debido que el sensor que se encuentra en el tanque de control envía la señal de nivel al PLC, el cual dependiendo del *setpoint* envía una señal de voltaje al variador de frecuencia, al que se encuentra conectada la bomba para que regule el caudal de entrada del tanque de control. Este sistema tiene 2 sensores de nivel digitales como seguridad; uno ubicado en el extremo superior del tanque de control para evitar que se rebose el agua mandando una señal al PLC para que despegue el

contactor de la bomba en caso de que el agua se encuentre a la altura de este sensor y uno en el fondo del tanque reservorio para evitar que la bomba se llene de aire mandando una señal al PLC para que despegue el contactor de la bomba en caso de que el agua se encuentre a la altura de este otro sensor.

4.3.2. Funcionamiento del proceso de temperatura

El proceso de temperatura va anexado al proceso de nivel por lo cual se debe inicialmente poner el tanque en el 30% de su altura utilizando el proceso de nivel manteniendo la electroválvula abierta y luego de esto ir a la pantalla principal de la HMI para presionar CALIBRACION PID y poder ingresar la temperatura deseada en el *setpoint*; seguidamente se regresa a la pantalla principal presionando HOME para presionar el botón ESQUEMA y encender el proceso de temperatura presionando ON/OFF TEMP, luego de esto la resistencia calefactora se encenderá regulando su potencia hasta que el agua llegue a la temperatura deseada, el mantener el control de nivel funcionado y la electroválvula abierta funciona como carga para el sistema ya que esto hace que la temperatura del agua del tanque de control se modifique por la entrada de agua del reservorio; además la recirculación de agua hace que la temperatura del agua se homogenice sin necesitar un agitador; finalmente tanto el tanque de control como el de reservorio llegaran a la temperatura del *setpoint* debido a que no se posee una fuente de agua ilimitada ni un desfogue de agua ilimitado en el módulo. Todo esto se logra debido a que el sensor sumergido en el tanque de control en este caso una PT100 envía la señal de temperatura al PLC el cual dependiendo de la señal del *setpoint* envía una señal de voltaje al controlador de potencia de la resistencia en este caso un relé de estado sólido electrónico de Carlo Gavazzi para que regule la potencia disipada por la resistencia calefactora.

4.4. MODELOS MATEMATICOS

A continuación se presentan los modelos de nivel y temperatura:

4.4.1. Modelo matemático de control de nivel

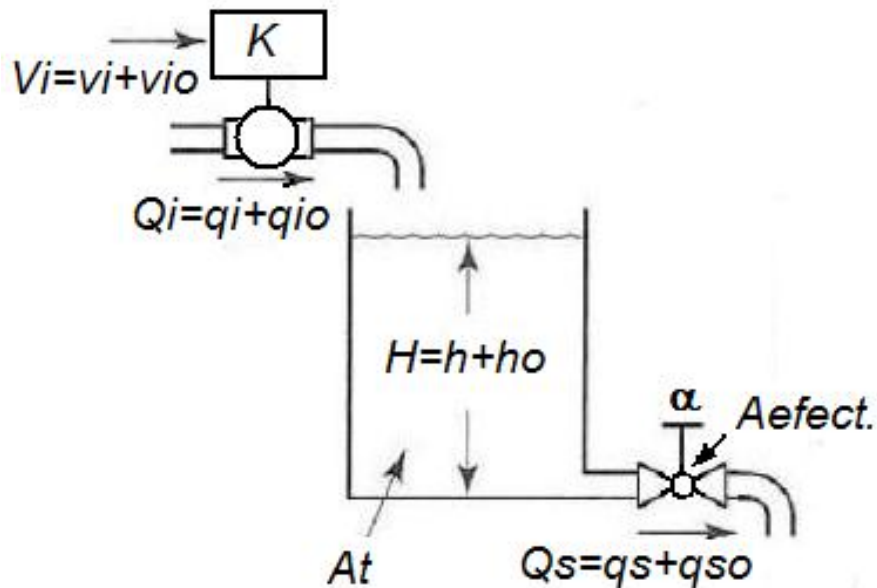


Figura 4.29 Modelo Matemático de Nivel

Fuente: Folleto de Escuela Superior Politécnica del Litoral

Parámetros:

- h es el nivel incremental del tanque y h_0 es el punto de operación.
- q_{in} y q_{out} son los caudales de entrada y salida del tanque.
- α es la resistencia hidráulica de la válvula de descarga del tanque.
- A_T es el área transversal del reservorio.
- $A_{efectiva}$ es el área de descarga del agua.

Ecuaciones:

$$Q_s = \alpha \cdot A_{efectiva} \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \text{ cm}^3/s$$

$$A_T \frac{dh(t)}{dt} = q_{in}(t) - q_{out}(t)$$

$$q_{in} = m \cdot v_{in} + b \text{ cm}^3/s$$

Datos:

- + Altura del tanque $h = 50 \text{ cm}$
- + Diámetro del tanque $32 \text{ cm} \Rightarrow$ radio 16 cm
- + Diámetro del desfogue del tanque $\Rightarrow 1.27 \text{ cm}$ de diámetro $\Rightarrow 0.635 \text{ cm}$ de radio
- + El punto de operación del sistema es $h_o = 26 \text{ cm}$ en el cual el tanque se mantiene con ese nivel de agua durante todo el proceso, logrando esto con una salida del controlador de 3.5 voltios que determina la potencia de la bomba en 21.5 Hz mediante el variador de frecuencia.
- + Líquido: Agua
- + $g = 980 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$

Desarrollo:

La ecuación del caudal de entrada se sacó mediante pruebas:

5 galones=20 litros a 60hz 10 v 45 segundos se tardó en llenarse.

5 galones=20 litros a 30hz 5v 1 minuto 24 segundos tardó en llenarse.

La función de caudal de entrada debe ser:

$$q_{in} = m \cdot v_{in} + b \text{ cm}^3/s$$

Por lo tanto se saca la pendiente a de la ecuación y el valor de b despejando de la misma ecuación:

$$20 \text{ litros} = 20000 \text{ cm}^3$$

Con 10v 60H obtenemos un caudal de 444.44 cm³/s

Con 5v 30Hz obtenemos un caudal de 238.095 cm³/s

Por lo tanto:

$$m = \frac{444.44 - 238.095}{10 - 5}$$

$$m = 41.269$$

Por lo tanto despejamos b de la ecuación

$$238.095 = 41.269(5) + b \text{ cm}^3/s$$

$$b = 238.095 - 41.269(5)$$

$$b = 31.75$$

$$q_{in} = 41.269 \cdot v_{in} + 31.75 \text{ cm}^3/s$$

$$q_{in}(3.5) = 41.269(3.5) + 31.75 \text{ cm}^3/s$$

$$q_{in}(3.5) = 176.1915 \text{ cm}^3/s$$

Ahora vamos a calcular el area del desfogue

$$r = 0.635 \text{ cm}$$

$$A_d = \pi \cdot r^2$$

$$A_d = \pi(0.635)^2$$

$$A_d = 1.266 \text{ cm}^2$$

Ahora se calculara el area transversal del tanque

$$r_t = 16 \text{ cm}$$

$$A_{tt} = \pi \cdot r_t^2$$

$$A_{tt} = \pi \cdot (16)^2$$

$$A_{tt} = 804.247 \text{ cm}^2$$

Cálculo de caudal de salida con $h_0=26 \text{ cm}$

$$v_t = \sqrt{2gh_0}$$

$$v_t = \sqrt{2(980)(26)}$$

$$v_t = 225.858 \text{ cm/s}$$

$$v_r = \frac{q_{in}(3.5)}{A_d}$$

$$v_r = \frac{176.1915}{1.266}$$

$$v_r = 139.087 \text{ cm/s}$$

$$\alpha = \frac{v_r}{v_t}$$

$$\alpha = \frac{139.087}{225.858}$$

$$\alpha = 0.616$$

Ahora para hallar la función de transferencia:

$$A_{tt} \frac{dh}{dt} = q_{in} - q_{out}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{41.269v_{in} + 31.75 - 0.616\sqrt{1962h}}{804.248}$$

$$c1 = 0.616\sqrt{1962} = 27.277$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{41.269v_{in} + 31.75 - 27.277\sqrt{h}}{804.248}$$

$$c2 = \frac{c1}{2\sqrt{26}}$$

$$c2 = \frac{27.277}{2\sqrt{26}} = 2.674$$

$$\frac{dh_{\delta}}{dt} = \frac{41.269v_{in\delta} - 1.327h_{\delta}}{804.248}$$

$$c3 = \frac{m}{A_{tt}} = \frac{41.269}{804.247} = 0.051$$

$$c4 = \frac{c2}{A_{tt}} = \frac{2.674}{804.247} = 0.0033$$

$$\frac{dh_{\delta}}{dt} = 0.051v_{in\delta} - 0.0033h_{\delta}$$

$$sh_{\delta} = 0.051v_{in\delta} - 0.0033h_{\delta}$$

$$sh_{\delta} + 0.0033h_{\delta} = 0.051v_{in\delta}$$

$$hh_{\delta} = \frac{0.051}{s + 0.0033} v_{in\delta}$$

Desarrollo en Matlab:

```
>> G=tf([0.051],[1 0.0033])
```

G =

0.051

s + 0.0033

Continuous-time transfer function.

>> sisotool(G)

Utilizamos la herramienta *Sisotool* de Matlab para hallar las constantes del controlador, al escribir el comando de *Sisotool* se nos presentara las siguientes pantallas, en la cual desactivamos el gráfico de lazo abierto.

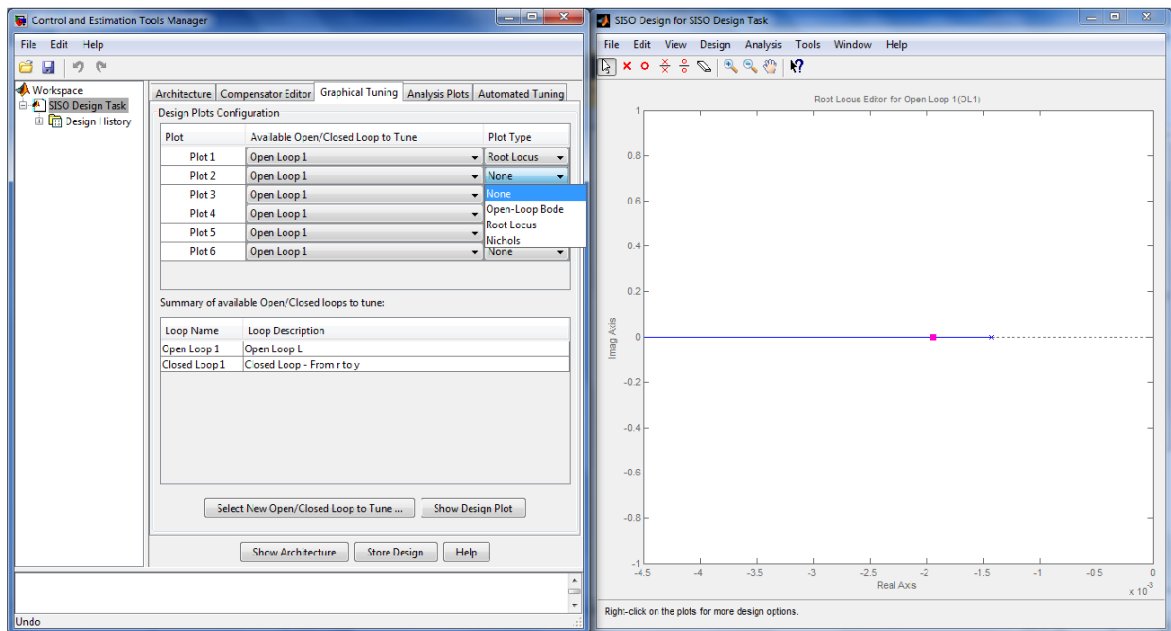


Figura 4.30 Modelo Matemático Nivel (Sisotool)

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Posteriormente analizamos la respuesta de la planta en una entrada paso de la siguiente manera:

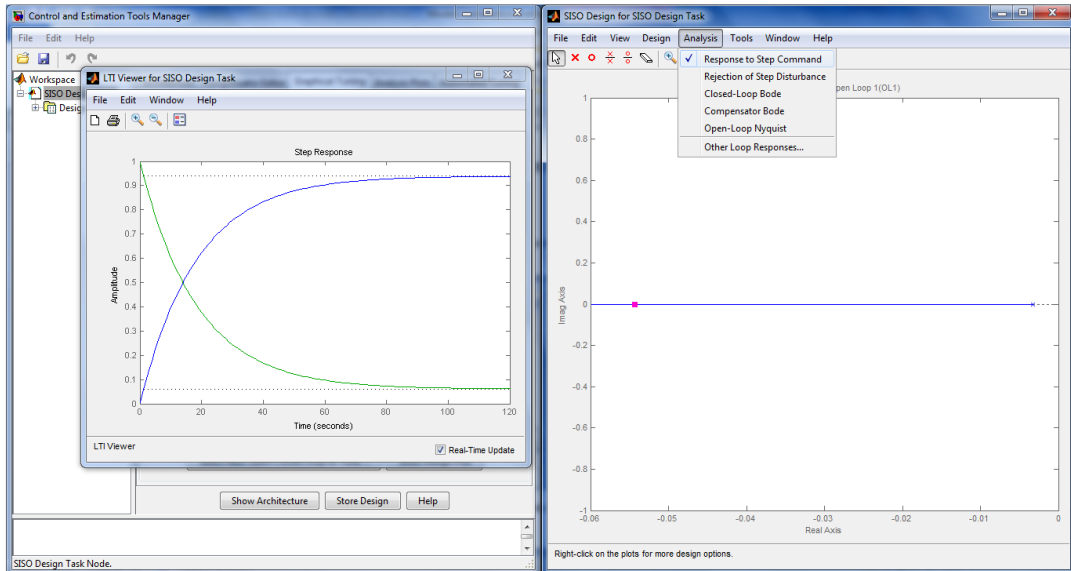


Figura 4.31 Sisotool Entrada paso Nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Desactivamos los gráficos que no nos interesan quedando lo siguiente:

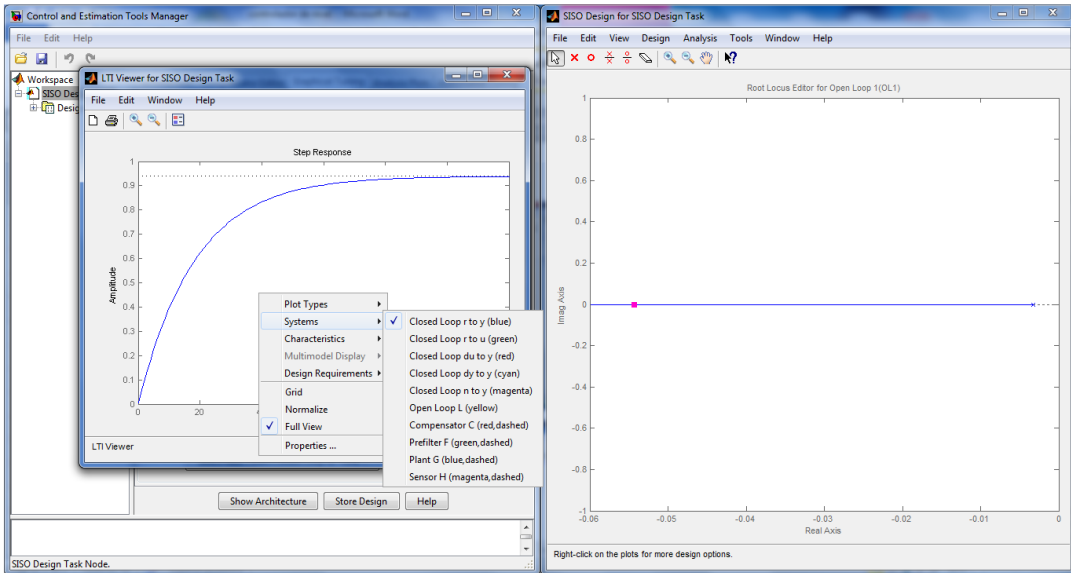


Figura 4.32 Sisotool Desactivación de Gráficos Nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Activamos los parámetros que deseamos visualizar como lo son el tiempo de estabilización, la respuesta pico y el error en estado estacionario:

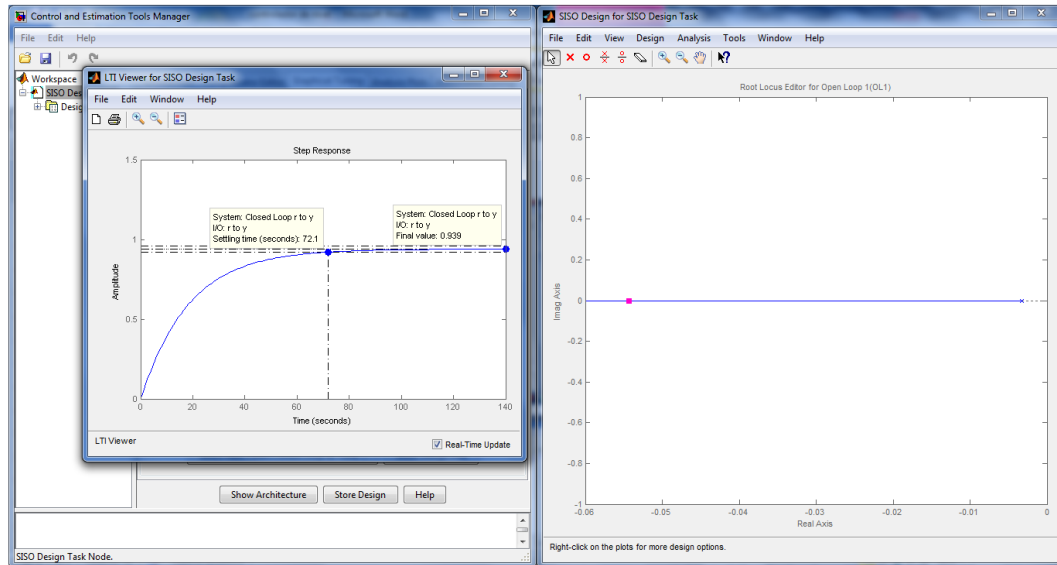


Figura 4.33 Sisotool Visualización de Parámetros Nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

El error en estado estacionario se lo saca restando $1 - \text{el valor de } final\ Value$ en porcentaje, por lo tanto tiene aproximadamente 6.1% de error.

Ahora vamos a diseñar el controlador de nuestra planta agregando un integrador para hacer que el error sea cero, de la siguiente manera:

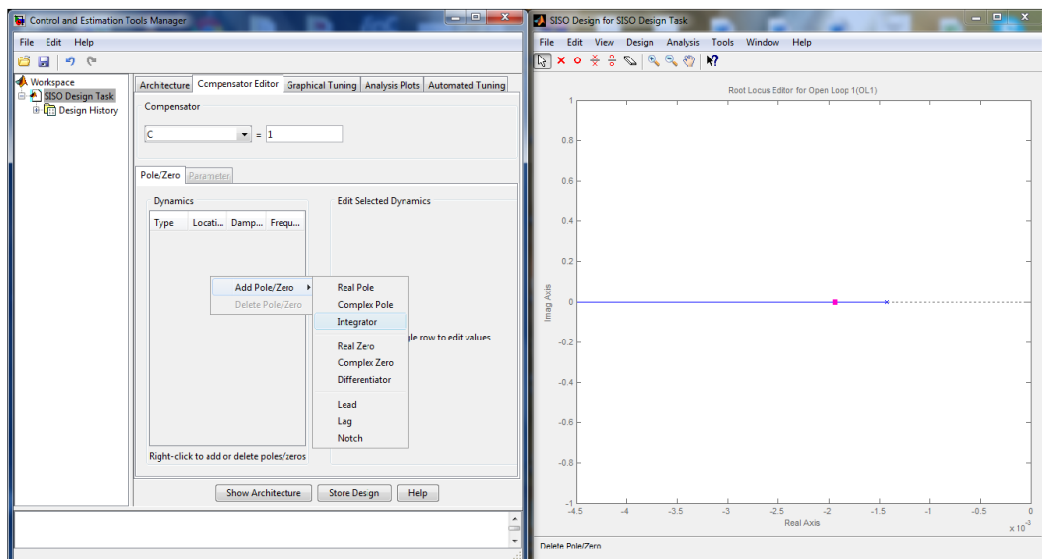


Figura 4.34 Sisotool Agregar Integrador Nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Quedando de la siguiente manera:

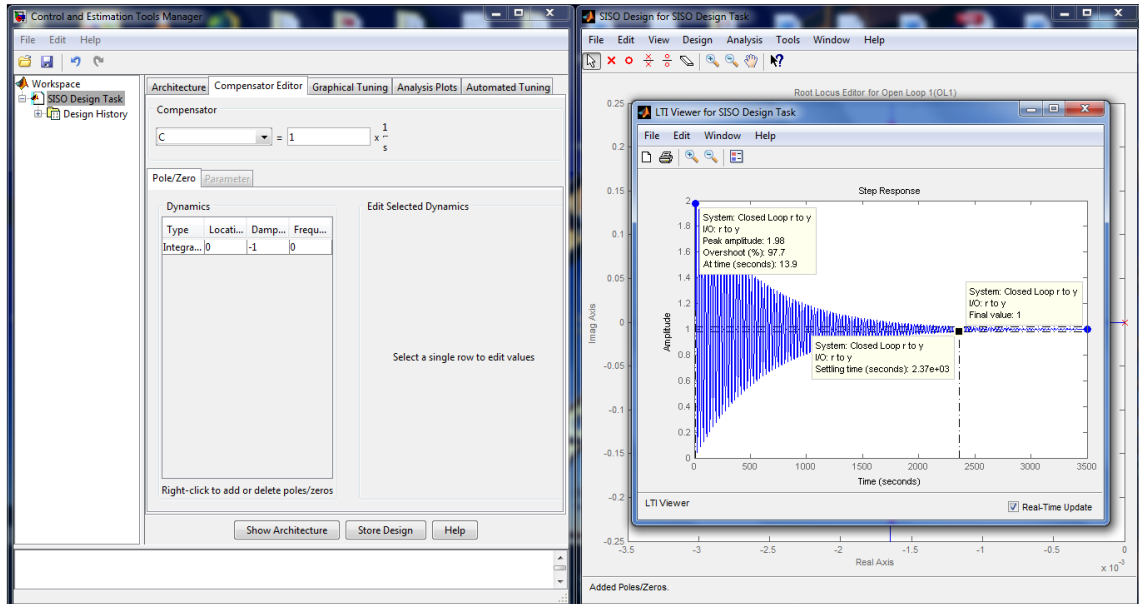


Figura 4.35 Sisotool Controlador con integrador

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Como se puede observar el *Final Value* a cambiado a 1 por lo tanto el error que es $1 - \text{Final Value}$ en porcentaje se puede decir que es 0% pero el tiempo de estabilización se hizo mas grande y se el porcentaje de *overshoot* se hizo muy alto.

Seguidamente en la ventana de *siso Design for Siso Design Task* damos click a la pestaña *Edit* y posteriormente a la opción *Sisotool Preferences* y luego *Options* para cambiar la siguiente preferencia:

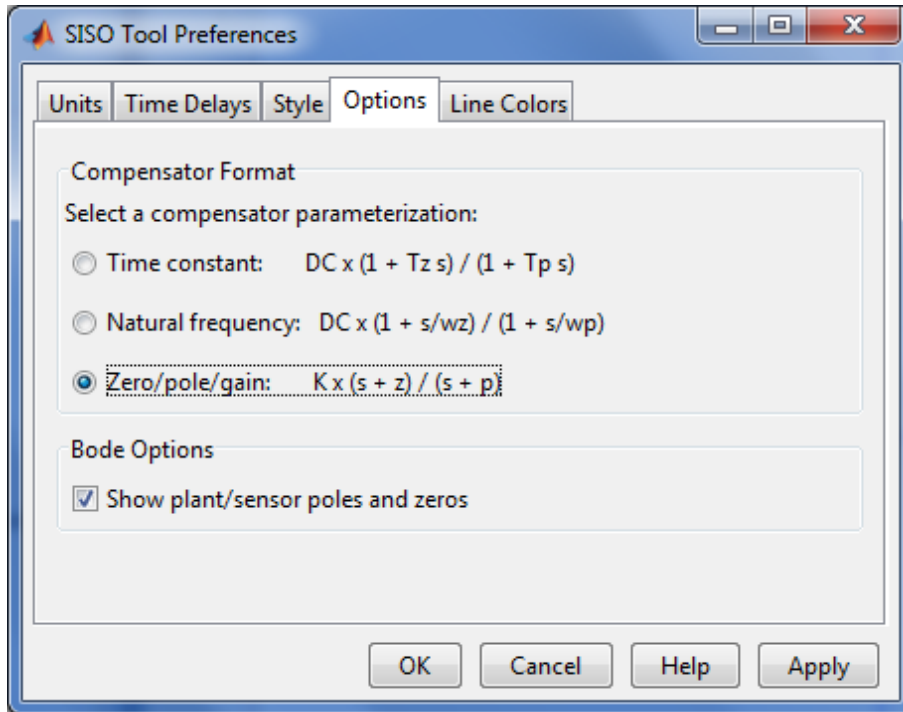


Figura 4.36 Sisotool Preferences

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Ahora vamos a definir el tiempo y el sobrenivel porcentual dando click derecho en la ventana *siso Design for Siso Design Task* y escogiendo la opción *Design Requirements* y luego *New*, lo cual nos mostrara la siguiente pantalla en donde definiremos el tiempo de estabilización que será menor que 13 segundos.

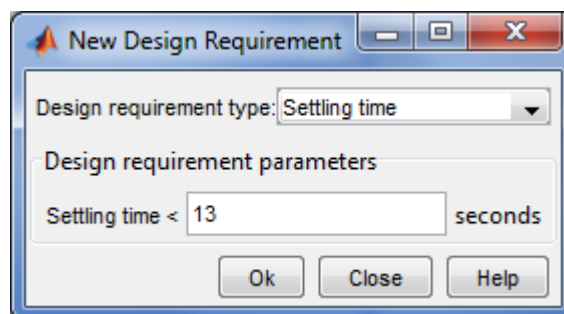


Figura 4.37 Sisotool Setting Time de nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

En esta imagen podemos ver el rango en el que se cumple ese tiempo:

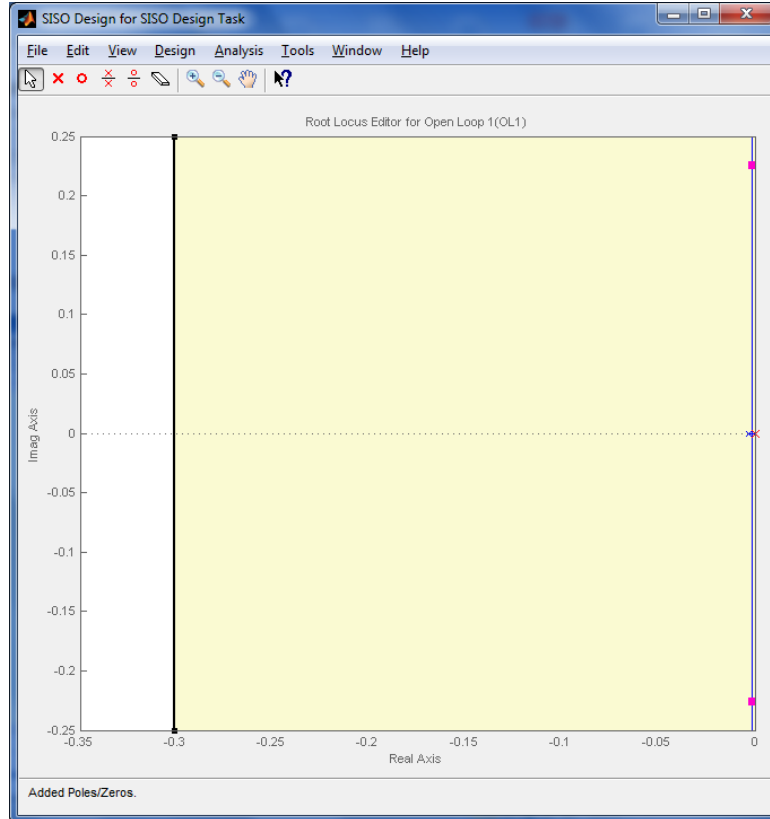


Figura 4.38 Sisotool Rango de tiempo de estabilización de nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Vamos a adicionar un nuevo requerimiento para establecer el porcentaje de *overshoot* el cual sera menor al 1%

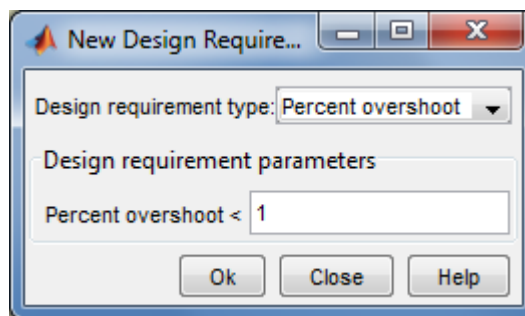


Figura 4.39 Sisotool Overshoot de nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Quedando lo siguiente:

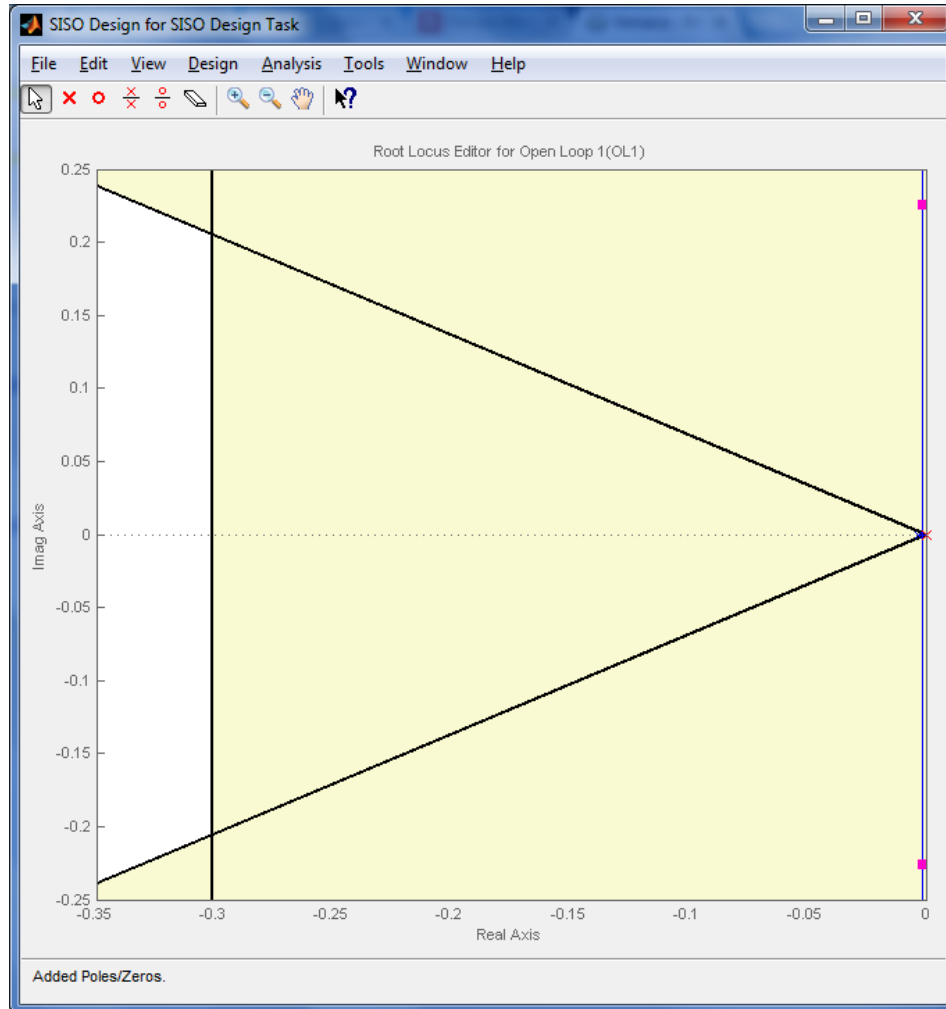


Figura 4.40 Sisotool Rango de Overshoot Nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Ahora procedemos a agregar un cero en 0.005546 para cancelar el polo en 0.0033 y un cero alejado lo suficiente para que el sistema pueda ser acelerado en este caso en 1.173.

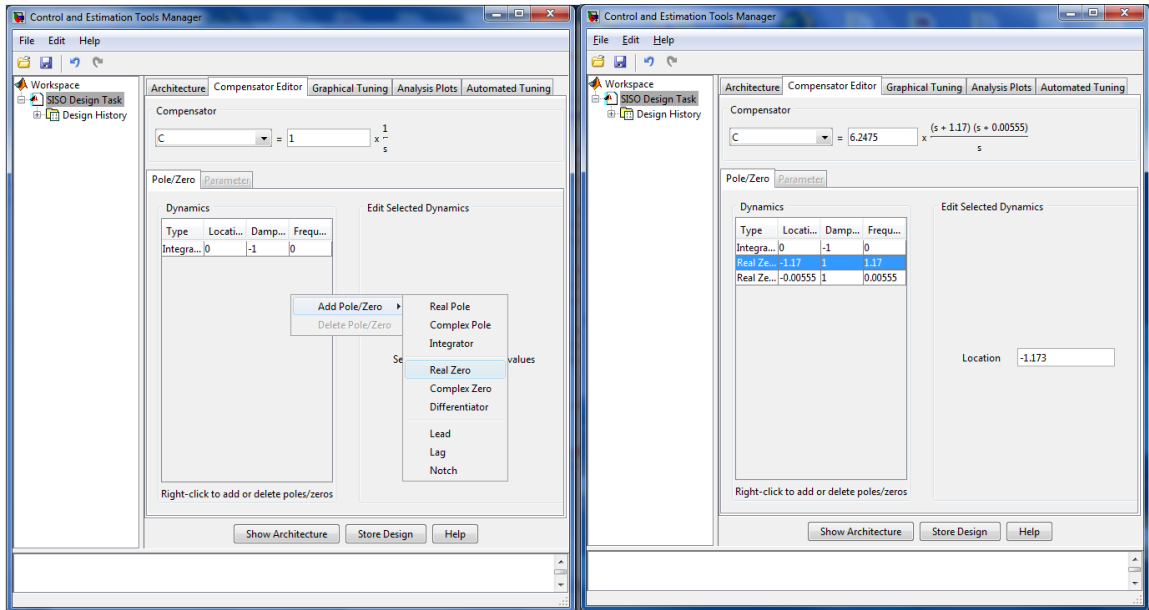


Figura 4.41 Sisotool Agregar Ceros Reales Nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Quedando lo siguiente:

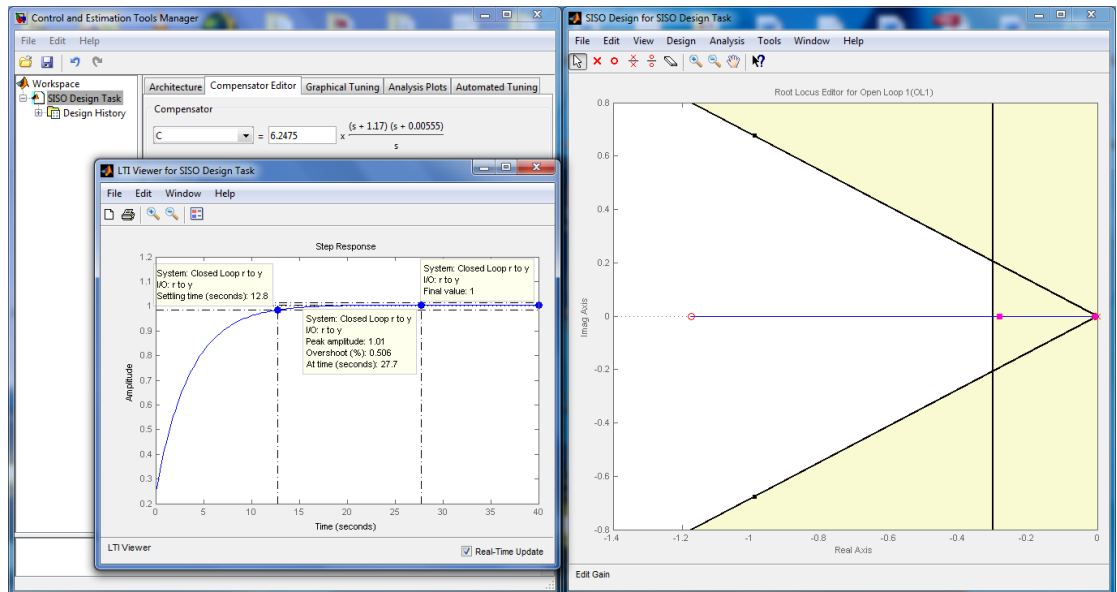


Figura 4.42 Sisotool Respuesta planta Nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

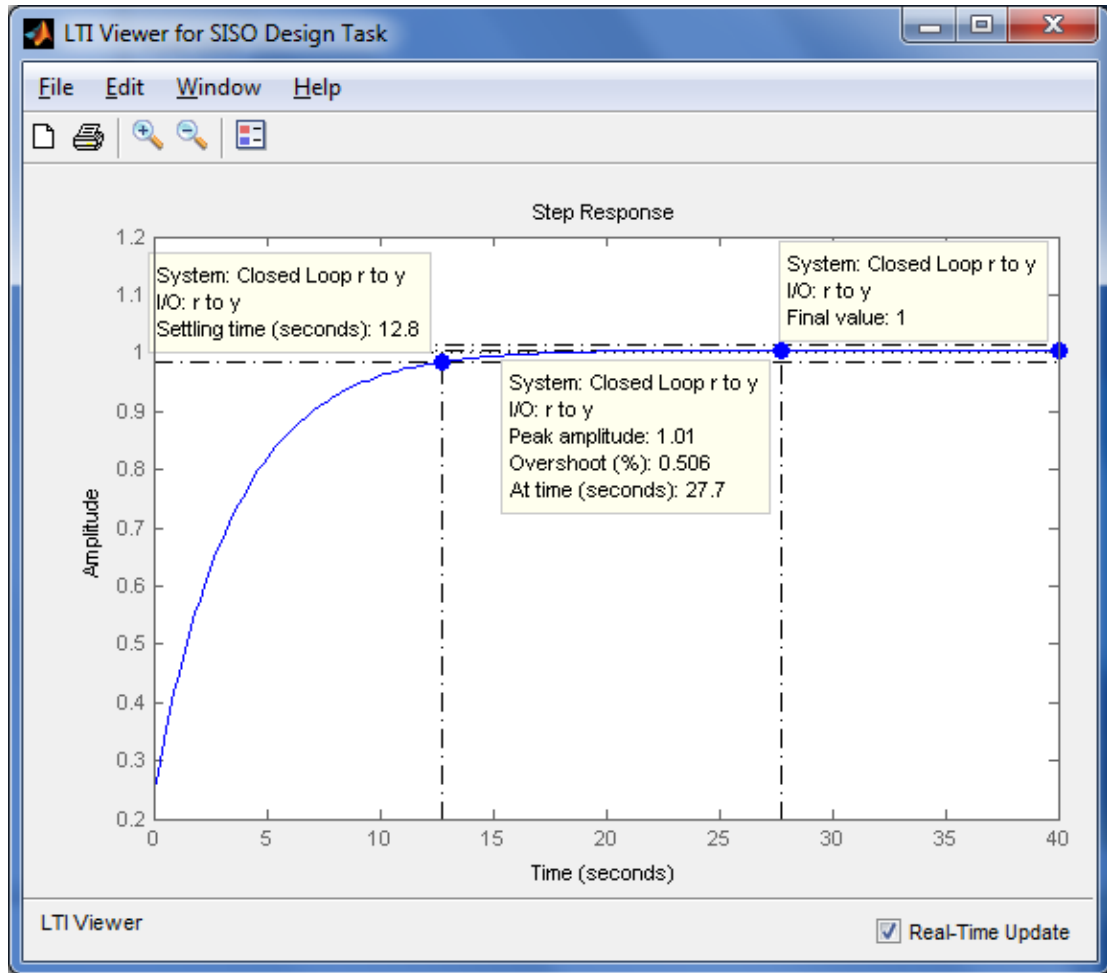


Figura 4.43 Sisotool Respuesta Final Nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

En resumen podemos ver que el tiempo de estabilización es 12.8 segundos, el *overshoot* 0.506% y el error es 0% que es lo a lo que se requería llegar.

La función del controlador sería la siguiente:

Compensator

$$C = 6.2475 \times \frac{(s + 1.17)(s + 0.00555)}{s}$$

Figura 4.44 Sisotool Controlador Nivel

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Adecuando la función del controlador sería la siguiente:

$$\frac{6.2475(s^2 + 0.00555s + 1.17s + 0.0064935)}{s}$$

$$\frac{6.2475(s^2 + 1.17555s + 0.0064935)}{s}$$

$$7.3628 + \frac{0.04064}{s} + 6.2475s$$

El controlador PID tiene la forma

$$Kp + \frac{Ki}{s} + Kds$$

Por lo tanto:

$$Kp = 7.3628$$

$$Ki = 0.04064 \Rightarrow \text{en el PLC se ingresa como } t_i = \frac{1}{Ki} = \frac{1}{0.04064} = 24.6031$$

$$Kd = 6.2475 \Rightarrow \text{en el PLC se ingresa como } t_d = 6.2475$$

4.4.2. Modelo matemático de temperatura

Para sacar la función de transferencia del proceso de temperatura se utilizó la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009 de *National Instruments*, la cual me fue prestada por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil; esta tarjeta toma los datos de la planta en lazo abierto, excitando el sistema con valores de entrada definidos para así poder obtener valores de salida que puedan ser almacenados para posteriormente ser importados a Matlab.

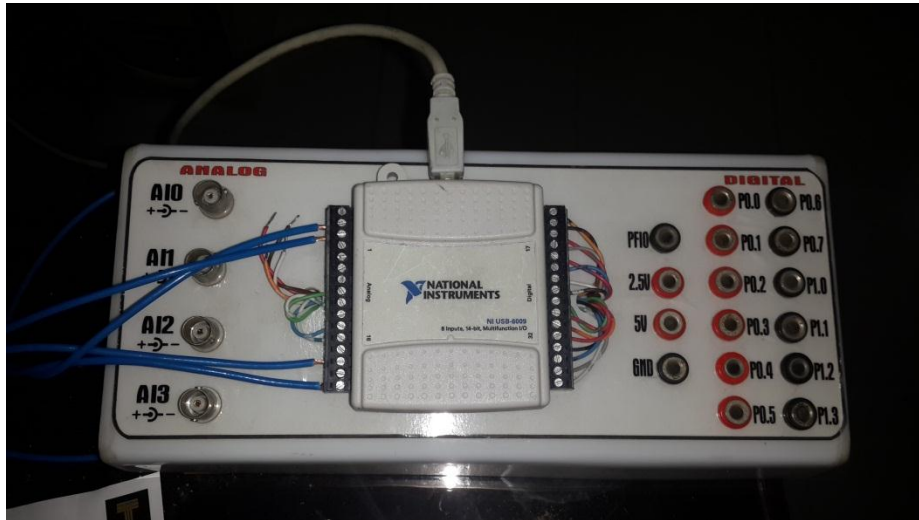


Figura 4.45 NI USB 6009 Temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Adquisición de Datos:

Para hallar la función de transferencia del proceso de temperatura lo que se realizó fue inicialmente mantener la cantidad de agua en el tanque de control manteniendo la electroválvula abierta, lo cual se logró con el punto de operación del proceso de nivel el cual es 26 cm de altura con una salida de 3.5 voltios al variador que regula la frecuencia de la bomba en 21.5 Hz y así se mantiene el nivel en 26 cm.

Luego de mantener el nivel en un valor constante para así poder simular la carga del proceso de temperatura ya que la salida de agua por la electroválvula y la entrada de agua mediante la bomba al sistema hacen que la temperatura varíe, lo cual funciona como carga del sistema; además esta turbulencia permite que la temperatura del agua se homogenice logrando al final controlar la temperatura del tanque de control que aproximadamente será la misma que la del tanque del reservorio ya que al no tener una fuente ilimitada de agua, sino la del reservorio, se terminará calentando tanto el agua del tanque de control como el agua del reservorio debido a que esta agua recircula.

El sensor LM35 fue recubierto con una capa de silicón debido a que no puede tener contacto con agua quedando de la siguiente manera:



Figura 4.47 Sensor LM35



Figura 4.48 Circuito LM35 Implementado

Fuente: Autor (Dave Méndez)

La señal de excitación fue enviada al módulo controlador de potencia de la resistencia calefactora, conectado en 5A3- la masa y en 3A1+ la señal de control.

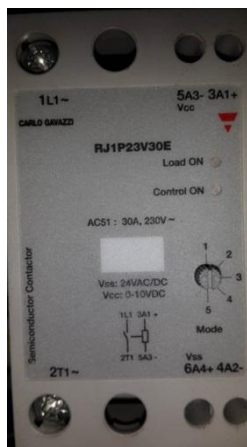


Figura 4.49 SSR Carlo Gavazzi

Fuente: Autor (Dave Méndez)

El punto de operación del sistema de temperatura implementado es 54 grados centígrados obtenidos con una señal de control de 2.5 voltios con la que inicio la medición y posteriormente se hizo una variación de 1 voltio para obtener

datos de la respuesta del sistema y así poder sacar la función de transferencia. Cabe recalcar que el sistema será controlado solo hacia mayores temperaturas, no será controlado hacia abajo debido a que el módulo no posee un enfriador para agua y el sistema demora mucho en enfriarse sin un enfriador.

Como la tarjeta de adquisición de datos no puede ser reconocida por Matlab, la adquisición de datos se la realizó mediante el *Labview Signal Express* ya que este programa es compatible con la tarjeta de adquisición de datos y permite fácilmente tomar los datos y almacenarlos.

Luego de conectar el sensor a la tarjeta y excitar el sistema con los valores indicados se procedió a tomar los datos con una velocidad de 100 datos por segundo aproximadamente durante una hora:

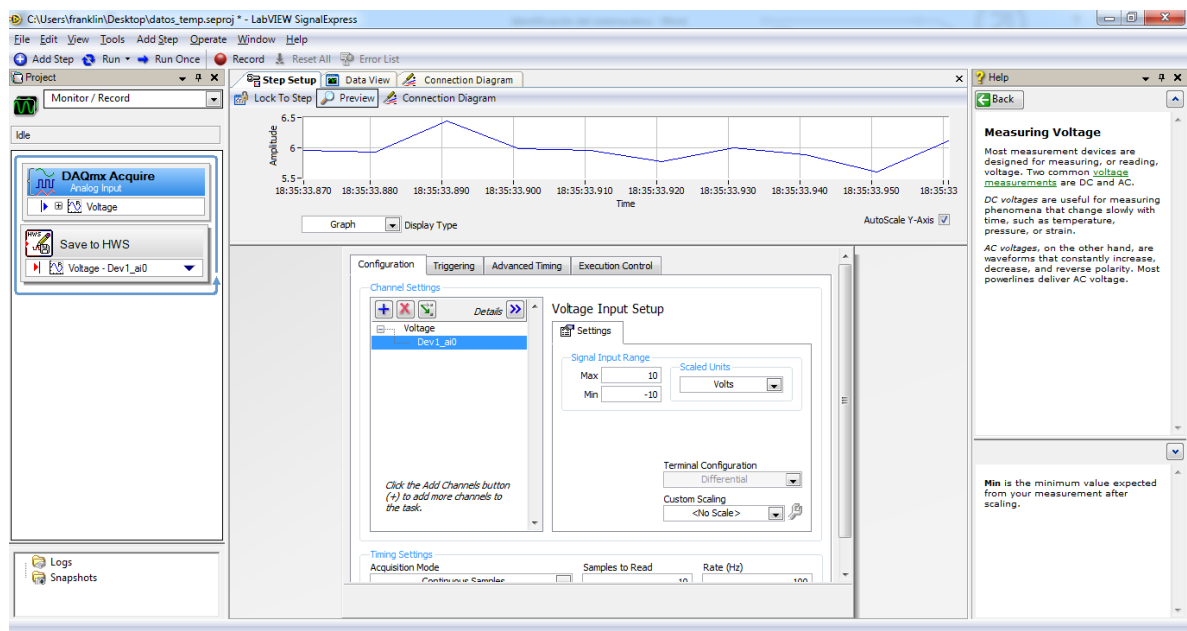


Figura 4.50 Adquisición de datos temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Posteriormente se almacenaron los datos en un archivo txt y luego a un archivo de Excel en donde se detallaron los voltajes de entrada y los voltajes de

salida del sistema; se hizo esto para luego importar estos datos a Matlab y así poder obtener la función de transferencia.

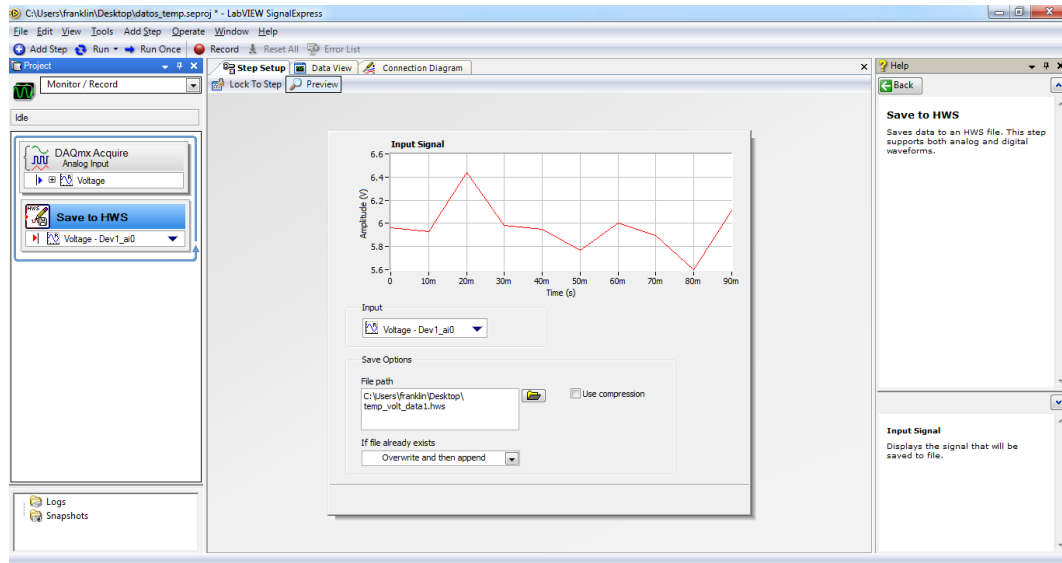


Figura 4.51 Almacenamiento de datos temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

En el *Signal Express* se pueden ir visualizando los datos:

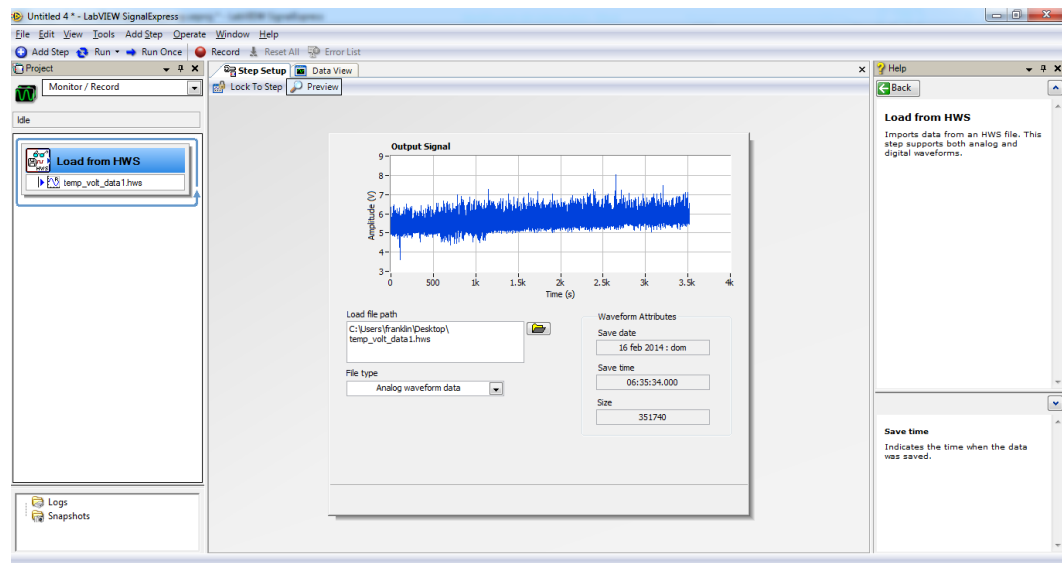


Figura 4.52 Visualización de datos temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Luego de esto se deben preparar los datos en un M-file de Matlab tomando 1 promedio de cada 100 datos, obteniendo un dato por cada segundo para que puedan ser identificados sin problemas en el *System Identification Tool* de Matlab:

```
clear v1 v2 temp1 temp2 n t
```

```
n = length(temp);
```

```
n = floor(n/100);
```

```
for i = 1:n
```

```
    temp1(i) = mean(temp((i-1)*100+1:100*i));
```

```
end
```

```
temp1 = temp1*10-53.5;
```

```
v1(1:n) = 3.5;
```

```
v1(1:140) = 2.5;
```

```
v1 = v1';
```

```
t = 0:n-1;
```

```
t = t';
```

```
filtro = tf(1,[10 1]);
```

```
temp2 = lsim(filtro,temp1,t,53.5);
```

```
plot(t,temp2)
```

Luego de esto se procedió a importar los datos en el *System Identification Tool* presionando *Import* y luego *My data*:

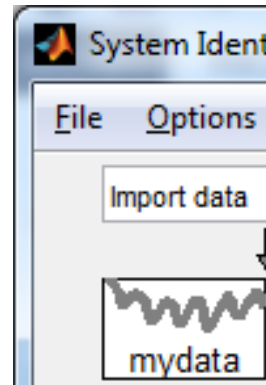
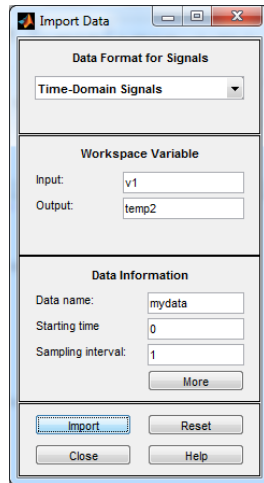


Figura 4.53 Importación de datos **Figura 4.54** System Identification Tool

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Y se procede a seleccionar los datos:

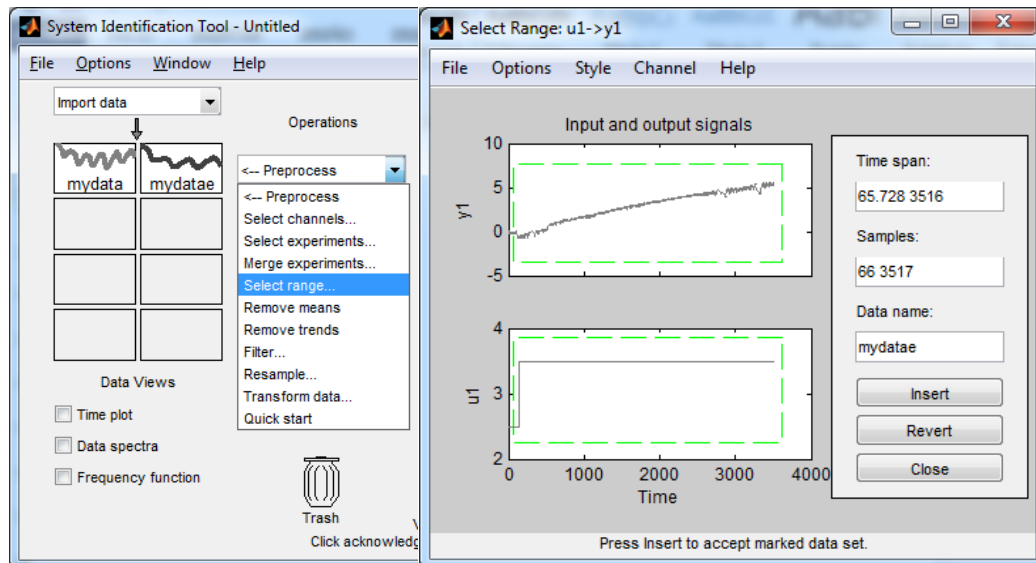


Figura 4.55 Selección de Datos Temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Luego el valor de *My data* se lo arrastra hasta *Working data* y *Validation data*:

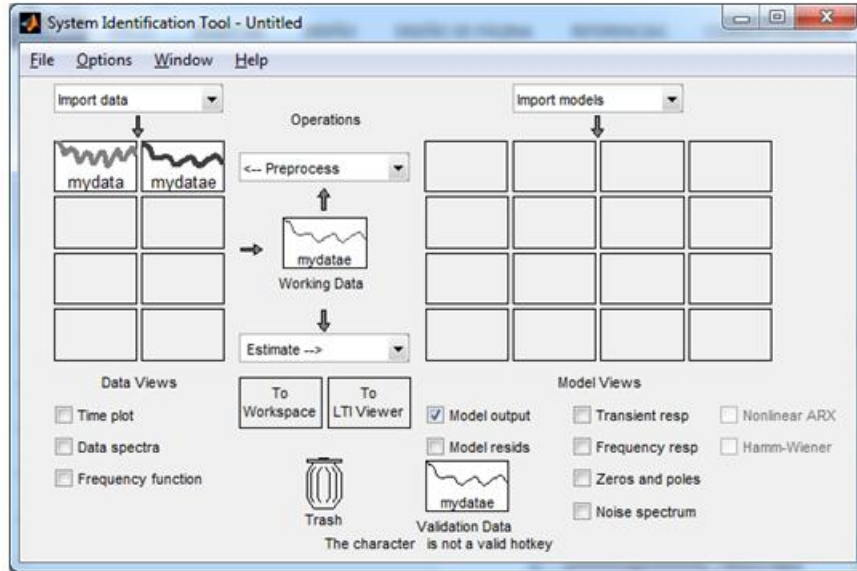


Figura 4.56 Validación de datos Temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Luego debemos realizar la estimación de la función de transferencia dando click en *Estimate* luego en *Polynomial Models*; nos aparecerá un cuadro donde presionaremos *Estimate*:

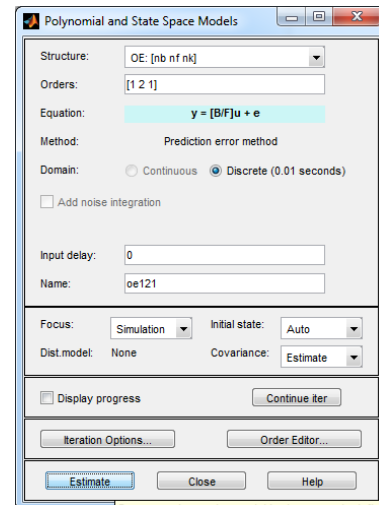
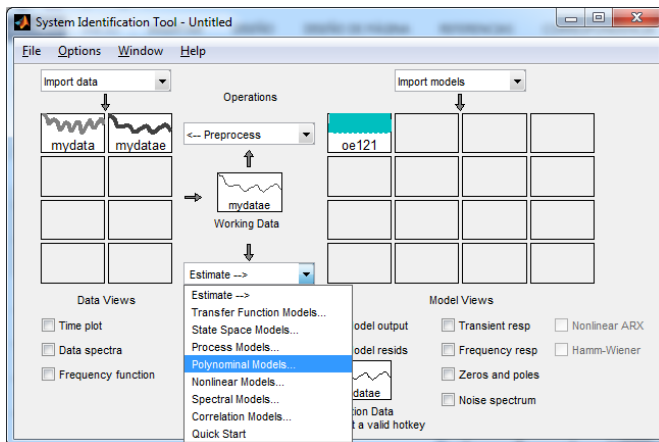


Figura 4.57 Estimación polinomial Figura 4.58 Estimación del modelo

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Finalmente validamos el modelo habilitando la opción *Model output*:

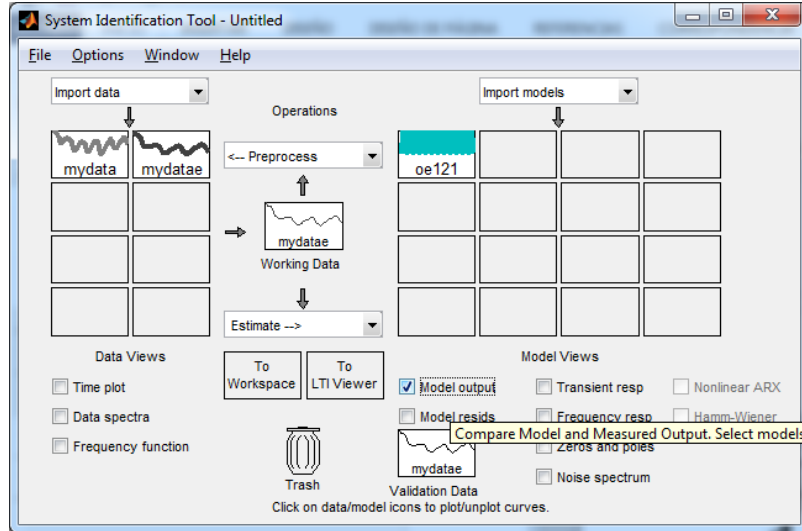


Figura 4.59 Validación de Modelo Temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Obteniendo un modelo estimado con un 90.57% de similitud a los datos reales:

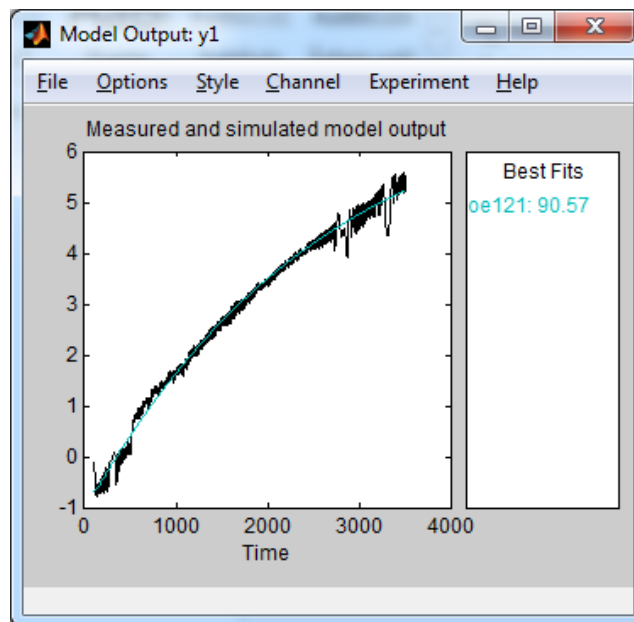


Figura 4.60 Modelo Estimado Temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Luego de esto se debe exportar el modelo al *Workspace* arrastrando el modelo al recuadro de “*To Workspace*” y ahora si procede a realizar la construcción del modelo como función de transferencia en Matlab.

```
>> sys = tf(d2c(oe121))
```

```
sys =
```

```
From input "u1" to output "y1":
```

```
0.0008129 s^2 + 0.00401 s + 0.008021
```

```
-----
```

```
s^3 + 0.002105 s^2 + 9.87 s + 0.003743
```

```
Continuous-time transfer function.
```

Finalmente al igual que en el modelo de nivel se desarrolla en *Sisotool* el controlador del proceso

```
>>sisotool(sys)
```

Quedando lo siguiente:

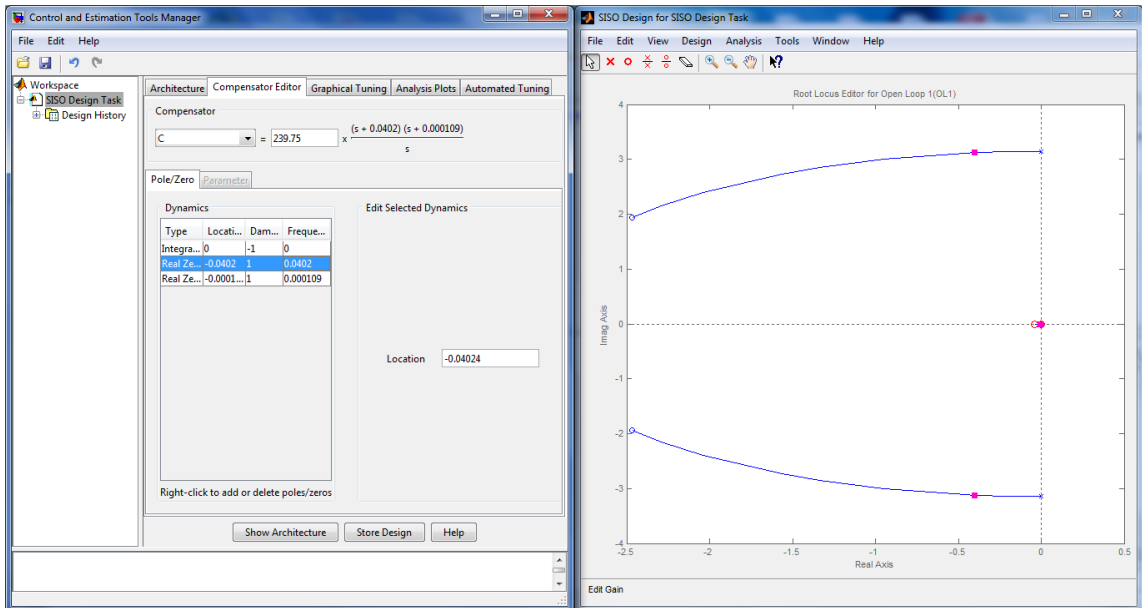


Figura 4.61 Sisotool Controlador de Temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

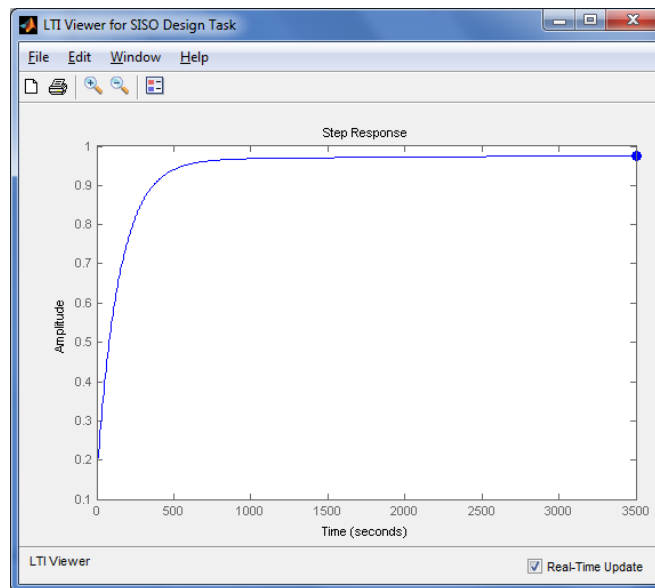


Figura 4.62 Respuesta de planta Temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Siendo el segundo compensador:

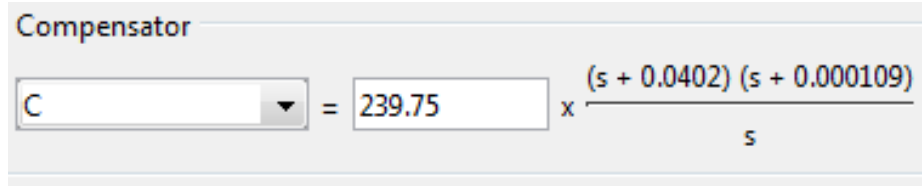


Figura 4.63 Función de Controlador Temperatura

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Adecuando la función del controlador sería la siguiente:

$$\frac{239.75(s^2 + 0.000109s + 0.0402s + 0.0000043818)}{s}$$

$$\frac{239.75(s^2 + 0.040309s + 0.0000043818)}{s}$$

$$9.6729 + \frac{0.00105473}{s} + 239.75s$$

El controlador PID tiene la forma

$$Kp + \frac{Ki}{s} + Kds$$

Por lo tanto:

$$Kp = 9.6729$$

$$Ki = 0.00105473 \Rightarrow \text{en el PLC se ingresa como } t_i = \frac{1}{Ki} = \frac{1}{0.00105473} = 948.1085$$

$$Kd = 239.75 \Rightarrow \text{en el PLC se ingresa como } t_d = 239.75$$

Este sistema tiene una función de transferencia de orden 3 por lo tanto el controlador PID no logra controlar con exactitud el sistema ya que se obtiene un tiempo de estabilización alto debido a que el sistema es muy lento, por lo tanto la mayoría del tiempo el sistema presenta un pequeño porcentaje de error en

estado estacionario que esta dentro de los rangos aceptables pero que después de un tiempo considerable se convierte en 0%.

4.5. PROGRAMACIÓN DEL PLC

La programación de este proyecto se realizó mediante el programa TIA PORTAL V12 para Siemens S7 1200.

Para realizar la programación del PLC primeramente se detalla en que entradas y salidas serán conectadas la señales para así poder identificar mas fácil y rápidamente las señales dentro del programa.

Tabla 7:

Entradas para la programación

Variable	Canal
Sensor de nivel análogo	AI 0.0
Sensor de temperatura	RTD
Sensor de nivel digital bajo	DI 0.0
Sensor de nivel digital alto	DI 0.1

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Tabla 8:

Salidas para la programación

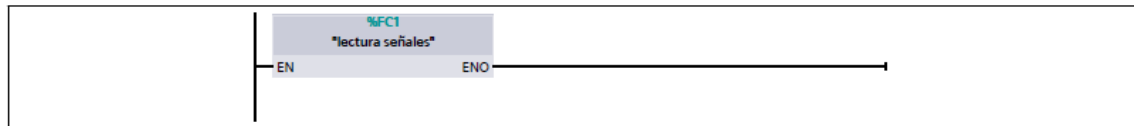
Variable	Canal
Señal de control del variador	AQ 0.0
Señal de control del SSR	AQ 0.1
Control de relé para bobina de contactor	DQ 0.0
Control de relé para electroválvula	DQ 0.1

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Main [OB1]

Main Propiedades					
General					
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB.ProgramCycle
Idioma	KOP				
Información					
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario	
Familia		Versión	0.1	ID personalizada	
Nombre	Tipo de datos	Offset	Comentario		
Temp					

Segmento 1:



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"lectura señales"	%FC1	Block_FC	

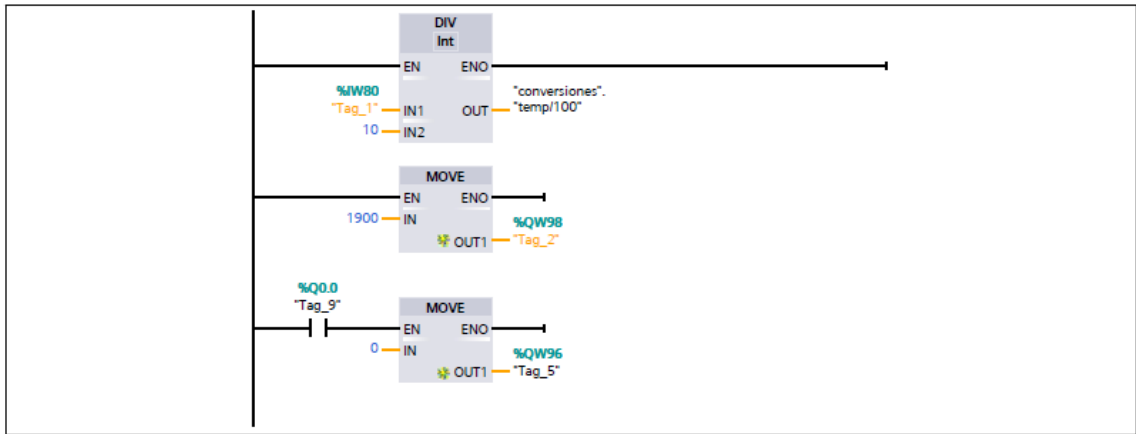
lectura señales [FC1]

lectura señales Propiedades					
General					
Nombre	lectura señales	Número	1	Tipo	FC
Idioma	KOP				
Información					
Título		Autor		Comentario	
Familia		Versión	0.1	ID personalizada	
Nombre	Tipo de datos	Offset	Comentario		
Input					
Output					
InOut					
Temp					
▼ Return					
lectura señales	Void				

Figura 4.64 Programación PLC (1)

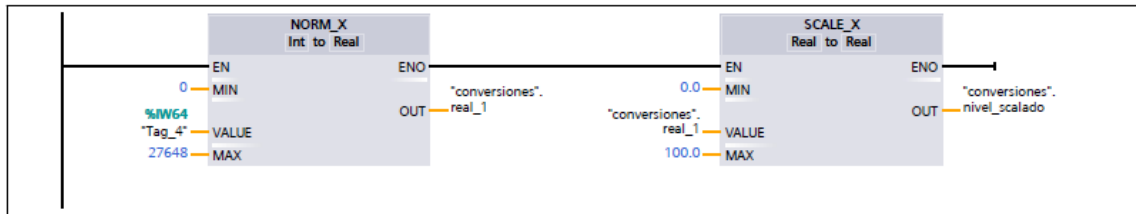
Fuente: Autor (Dave Méndez)

Segmento 1:



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Tag_1"	%IW80	Word	
"conversions"	%DB1	Block_DB	
"conversions".temp/100"		Int	
10	10	Int	
"Tag_5"	%QW96	Word	
"Tag_9"	%Q0.0	Bool	
0	0	Word	
1900	1900	Word	
"Tag_2"	%QW98	Word	

Segmento 2: nivel

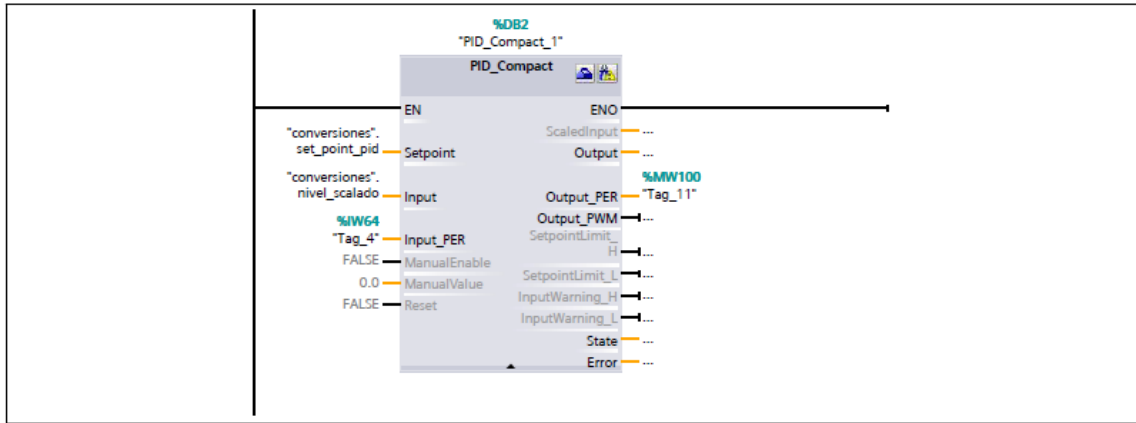


Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"conversions"	%DB1	Block_DB	
"Tag_4"	%IW64	Int	
27648	27648	Int	
0	0	Int	
"conversions".real_1		Real	
0.0	0.0	Real	
100.0	100.0	Real	
"conversions".nivel_scalado		Real	

Figura 4.65 Programación PLC (2)

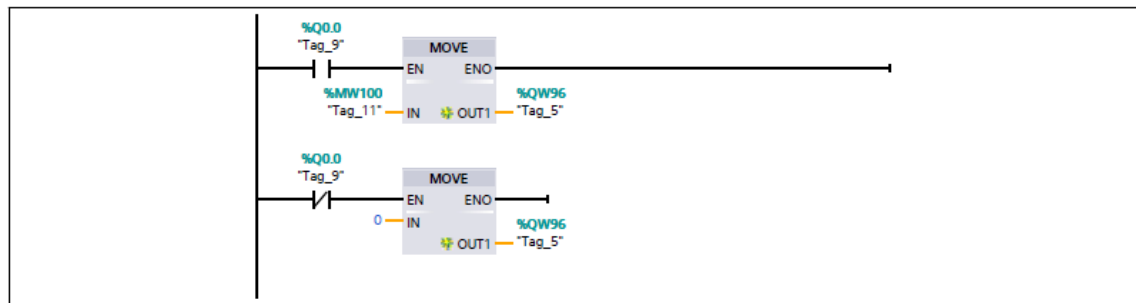
Fuente: Autor (Dave Méndez)

Segmento 3:



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"conversiones"	%DB1	Block_DB	
"Tag_4"	%IW64	Int	
"conversiones".nivel_scalado		Real	
"PID_Compact_1"	%DB2	Block_FB	
"Tag_11"	%MW100	Word	
"conversiones".set_point_pid		Real	

Segmento 4:

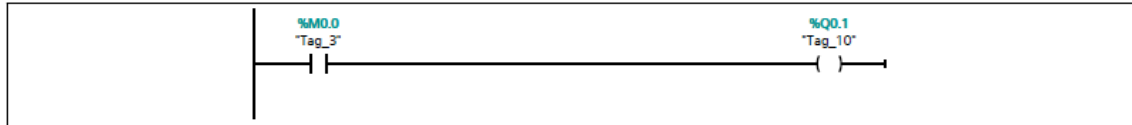


Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Tag_5"	%QW96	Word	
"Tag_9"	%Q0.0	Bool	
0	0	Word	
"Tag_11"	%MW100	Word	

Figura 4.66 Programación PLC (3)

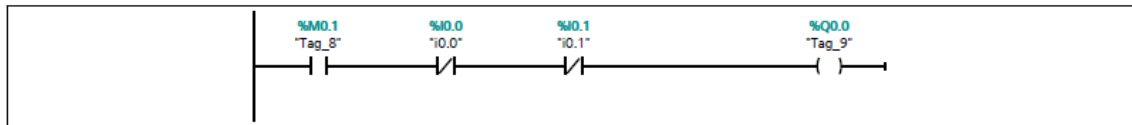
Fuente: Autor (Dave Méndez)

Segmento 5:

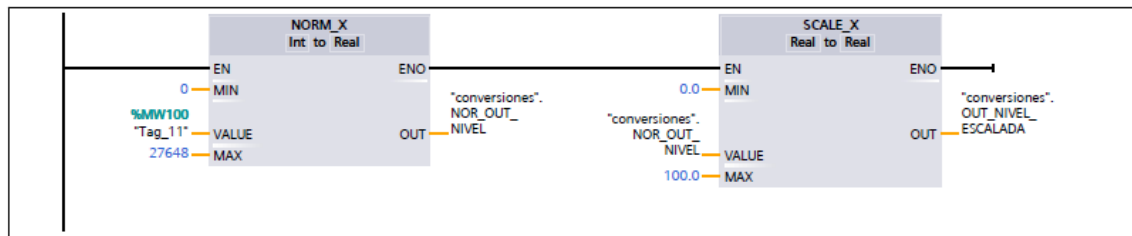


Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Tag_3"	%M0.0	Bool	
"Tag_10"	%Q0.1	Bool	

Segmento 6:



Segmento 7:

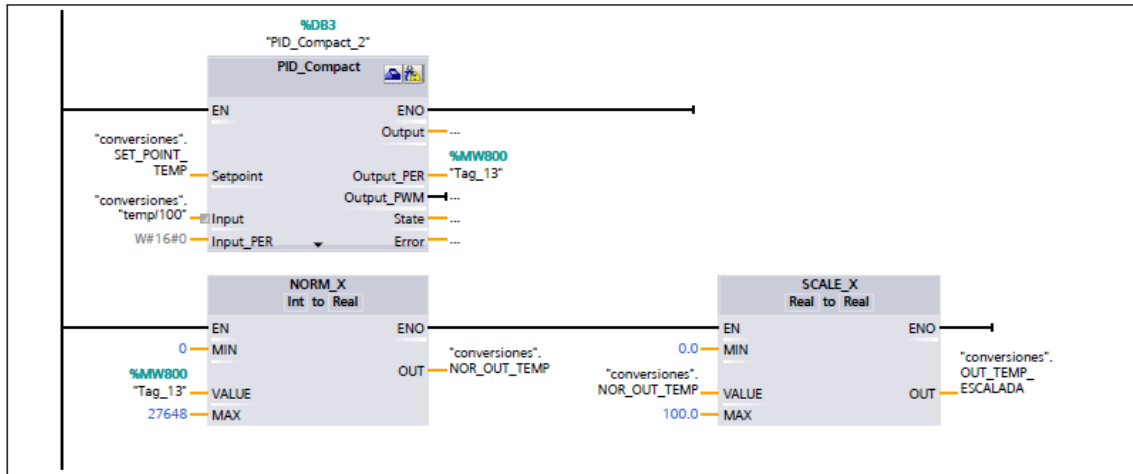


Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"conversiones"	%DB1	Block_DB	
27648	27648	Int	
0	0	Int	
0.0	0.0	Real	
100.0	100.0	Real	
"Tag_11"	%MW100	Word	
"conversiones".NOR_OUT_NIVEL		Real	
"conversiones".OUT_NIVEL_ESCALADA		Real	

Figura 4.67 Programación PLC (4)

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Segmento 8: PID TEMP



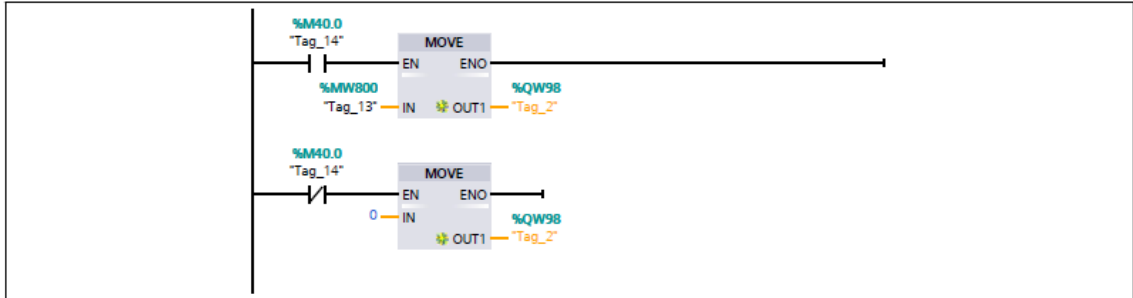
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"conversiones"	%DB1	Block_DB	
"conversiones".temp/100"		Int	
27648	27648	Int	
0	0	Int	
0.0	0.0	Real	
100.0	100.0	Real	
"PID_Compact_2"	%DB3	Block_FB	
"conversiones".SET_POINT_TEMP		Real	

Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Tag_13"	%MW800	Word	
"conversiones".NOR_OUT_TEMP		Real	
"conversiones".OUT_TEMP_ESCALADA		Real	

Figura 4.68 Programación PLC (5)

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Segmento 9:



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
0	0	Word	
"Tag_2"	%QW98	Word	
"Tag_13"	%MW800	Word	
"Tag_14"	%M40.0	Bool	

conversiones [DB1]

conversiones Propiedades					
General					
Nombre	conversiones	Número	1	Tipo	DB
Idioma	DB				
Información					
Título		Autor		Comentario	
Familia		Versión	0.1	ID personalizada	

conversiones								
Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranque	Remanencia	Accesible desde HMI	Visible en HMI	Valor de ajuste	Comentario
▼ Static								
temperatura_tanque	Real		0.0	True	True	True	False	
temp_taque_nor	Real		0.0	False	True	True	False	
temp/100	Int		0	False	True	True	False	
real_1	Real		0.0	False	True	True	False	
int_1	Int		0	False	True	True	False	
nivel_scalado	Real		0.0	False	True	True	False	
set_point_pid	Real		0.0	False	True	True	False	
NOR_OUT_NIVEL	Real		0.0	False	True	True	False	
OUT_NIVEL_ESCALADA	Real		0.0	False	True	True	False	
SET_POINT_TEMP	Real		0.0	False	True	True	False	
NOR_OUT_TEMP	Real		0.0	False	True	True	False	
OUT_TEMP_ESCALADA	Real		0.0	False	True	True	False	

Figura 4.69 Programación PLC (6)

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.6. PROGRAMACIÓN PANTALLA HMI

El control de mando del proyecto se realiza mediante la pantalla HMI en la cual se visualizan tanto el proceso de nivel como el de temperatura, las gráficas de *setpoint*, respuesta del controlador y de la planta; además de poseer los botones para activar, controlar y desactivar los procesos.

A continuación se presentan las pantallas de la HMI:

Tabla 9:

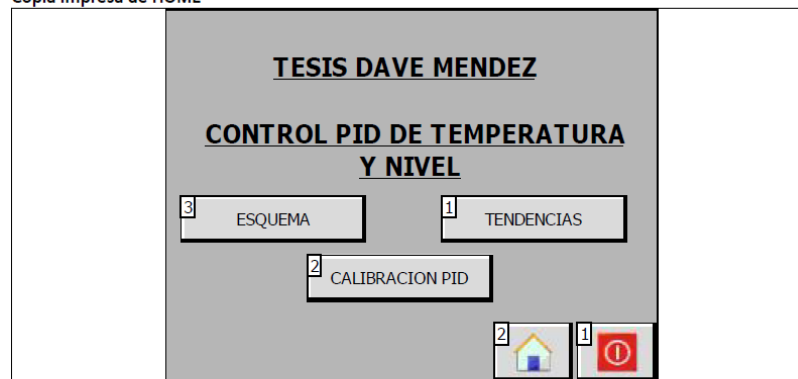
Variables estándar HMI

Tabla de variables estándar							
Nombre	Tipo	Conexión	Nombre PLC	Variable PLC	Dirección	Modo de acceso	Ciclo de adquisición
conversiones_nivel_scalado	Real	Conexión_H...	PLC_1	conversiones.nivel_scalado		<Acceso simbólico...>	1 s
conversiones_OUT_NIVEL_ESCALADA	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	conversiones.OUT_NIVEL_ESCALADA		<Acceso simbólico>	1 s
conversiones_OUT_TEMP_ESCALADA	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	conversiones.OUT_TEMP_ESCALADA		<Acceso simbólico>	1 s
conversiones_set_point_pid	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	conversiones.set_point_pid		<Acceso simbólico>	1 s
conversiones_SET_POINT_TEMP	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	conversiones.SET_POINT_TEMP		<Acceso simbólico>	1 s
conversiones_temp/100	Int	Conexión_HMI_1	PLC_1	conversiones."temp/100"		<Acceso simbólico>	1 s
Número_imagen_variable	Uint	<Variable intern...		<No definido>			1 s
PID_Compact_1_Output_PER	Word	Conexión_HMI_1	PLC_1	PID_Compact_1.Output_PER		<Acceso simbólico>	1 s
PID_Compact_1_sBackUp_r_Gain	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	PID_Compact_1.sBackUp_r_Gain		<Acceso simbólico>	1 s
PID_Compact_1_sBackUp_r_Td	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	PID_Compact_1.sBackUp_r_Td		<Acceso simbólico>	1 s
PID_Compact_1_sBackUp_r_Ti	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	PID_Compact_1.sBackUp_r_Ti		<Acceso simbólico>	1 s
PID_Compact_1_Setpoint	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	PID_Compact_1.Setpoint		<Acceso simbólico>	1 s
PID_Compact_2_sBackUp_r_Gain	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	PID_Compact_2.sBackUp_r_Gain		<Acceso simbólico>	1 s
PID_Compact_2_sBackUp_r_Td	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	PID_Compact_2.sBackUp_r_Td		<Acceso simbólico>	1 s
PID_Compact_2_sBackUp_r_Ti	Real	Conexión_HMI_1	PLC_1	PID_Compact_2.sBackUp_r_Ti		<Acceso simbólico>	1 s
Tag_10	Bool	Conexión_HMI_1	PLC_1	Tag_10		<Acceso simbólico>	1 s
Tag_14	Bool	Conexión_HMI_1	PLC_1	Tag_14		<Acceso simbólico>	1 s
Tag_3	Bool	Conexión_HMI_1	PLC_1	Tag_3		<Acceso simbólico>	1 s
Tag_8	Bool	Conexión_HMI_1	PLC_1	Tag_8		<Acceso simbólico>	1 s
Tag_9	Bool	Conexión_HMI_1	PLC_1	Tag_9		<Acceso simbólico>	1 s

Fuente: Autor (Dave Méndez)

HOME

Copia impresa de HOME



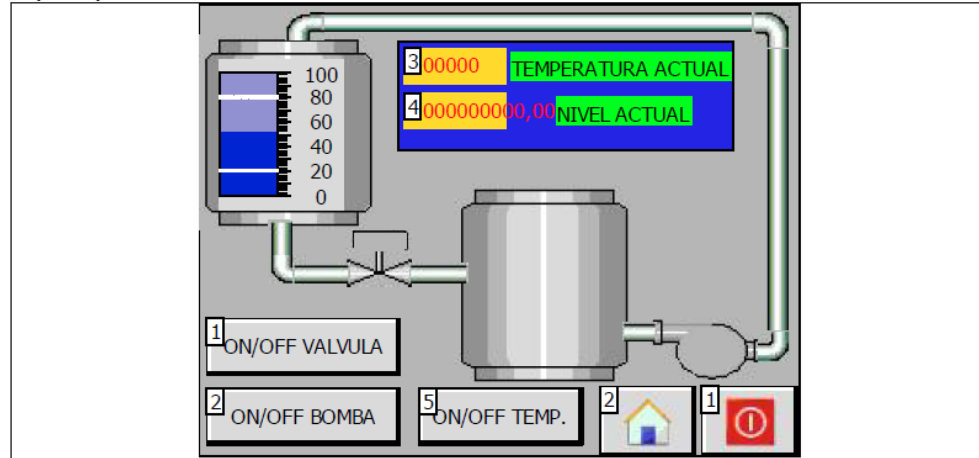
General			
Nombre	HOME	Color de fondo	182; 182; 182
Color Cuadrícula	0; 0; 0	Número	2
Plantilla	Plantilla_1	Tooltip	
Niveles			
Nivel activo	0		

Figura 4.70 Pantalla 1 HMI

Fuente: Autor (Dave Méndez)

ESQUEMA

Copia impresa de ESQUEMA



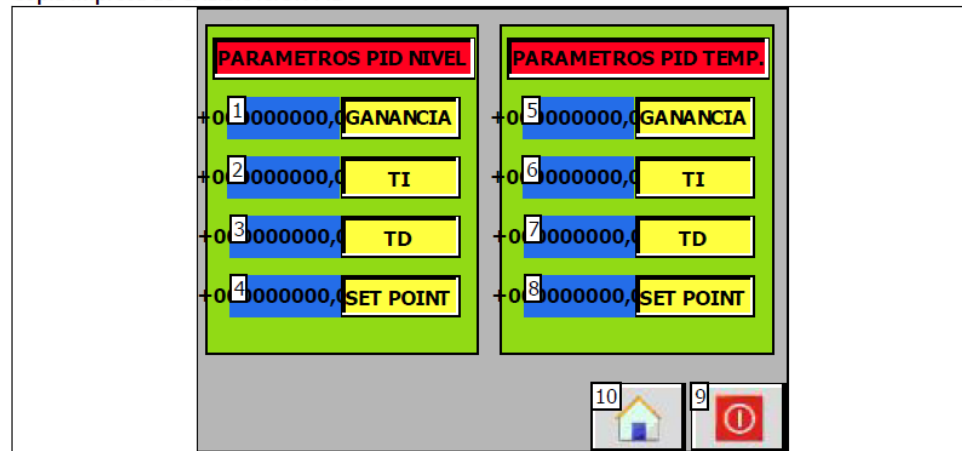
General			
Nombre	ESQUEMA	Color de fondo	182; 182; 182
Color Cuadrícula	0; 0; 0	Número	3
Plantilla	Plantilla_1	Tooltip	
Niveles			
Nivel activo	0		

Figura 4.71 Pantalla 2 HMI

Fuente: Autor (Dave Méndez)

CALIBRACION PID

Copia impresa de CALIBRACION PID



General			
Nombre	CALIBRACION PID	Color de fondo	182; 182; 182
Color Cuadrícula	0; 0; 0	Número	4
Plantilla		Tooltip	
Niveles			
Nivel activo	0		

Figura 4.72 Pantalla 3 HMI

Fuente: Autor (Dave Méndez)

TENDENCIAS

Copia impresa de TENDENCIAS



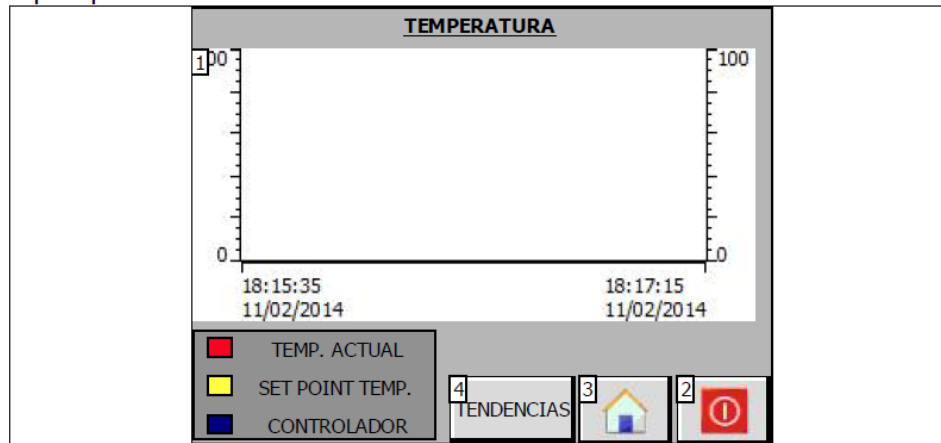
General			
Nombre	TENDENCIAS	Color de fondo	182; 182; 182
Color Cuadrícula	0; 0; 0	Número	1
Plantilla		Tooltip	
Niveles			
Nivel activo	0		

Figura 4.73 Pantalla 4 HMI

Fuente: Autor (Dave Méndez)

TENDENCIAS 2

Copia impresa de TENDENCIAS 2



General			
Nombre	TENDENCIAS 2	Color de fondo	182; 182; 182
Color Cuadrícula	0; 0; 0	Número	5
Plantilla		Tooltip	
Niveles			
Nivel activo	0		

Figura 4.74 Pantalla 5 HMI

Fuente: Autor (Dave Méndez)

Conexiones

Conexión_HMI_1

Nombre	Conexión_HMI_1	Driver de comunicación	SIMATIC S7 1200
Comentario		Online	Verificado
Estación	S7-1200 station_1	Interlocutor	PLC_1
Nodo	CPU 1212C AC/DC/Rly, Interfaz PROFINET (R0/S1)	Modo sincronización horaria HMI	None

Parámetros

Panel de operador			
Interfaz	PROFINET (X1)	Dirección	192.168.0.2
Punto de acceso	S7ONLINE		
Controlador			
Dirección	192.168.0.1		

Figura 4.75 Conexiones HMI

Fuente: Autor (Dave Méndez)

4.7. PRESUPUESTO DE MÓDULO DE CONTROL

En siguiente tabla se detalla el presupuesto del módulo de control:

Tabla 10:

Presupuesto de módulo de control

Cant	Und	Material	Costo Unitario	Costo Total
1	unidad	Starter Kit 1200 + Simatic HMI KTP600	\$ 1.660,00	\$ 1.660,00
2	unidades	Tanques de acero inoxidable	\$ 200,00	\$ 400,00
1	unidad	Modulo signal board para RTD SB1221	\$ 175,00	\$ 175,00
1	unidad	Modulo de salidas analógicas SM1232	\$ 344,00	\$ 344,00
1	unidad	Sensor de temperatura RTD PT100	\$ 80,00	\$ 80,00
1	unidad	Variador de velocidad siemens G110 220VAC	\$ 230,00	\$ 230,00
1	unidad	Electroválvula 1/2 pulgada	\$ 55,00	\$ 55,00
1	unidad	Relé de estado solido Carlos Gavazzi	\$ 250,00	\$ 250,00
4	unidades	Relees 24V DC	\$ 9,00	\$ 36,00
1	unidad	Fuente Sitop Siemens 24 V DC 5A	\$ 250,00	\$ 250,00
1	unidad	bomba de agua 110 VAC	\$ 50,00	\$ 50,00
1	global	Rebobinado de bomba de monofásica a trifásica	\$ 50,00	\$ 50,00
2	unidades	Sensores de nivel digital	\$ 13,00	\$ 26,00
1	unidad	Panel metálico para control	\$ 150,00	\$ 150,00
1	unidad	Válvula cheque 1/2 pulgada	\$ 15,00	\$ 15,00
24	unidades	Borneras para cable 16	\$ 2,50	\$ 60,00
10	unidades	Borneras para cable 12	\$ 3,50	\$ 35,00

Cant	Und	Material	Costo Unitario	Costo Total
3	unidades	Borneras de tierra	\$ 2,00	\$ 6,00
5	unidades	Separadores de bornera	\$ 0,75	\$ 3,75
10	metros	Cable 12	\$ 1,00	\$ 10,00
50	metros	Cable 16	\$ 0,50	\$ 25,00
1	unidad	Potenciómetro 20 k	\$ 0,50	\$ 0,50
2	unidades	Borneras porta fusibles	\$ 3,50	\$ 7,00
2	unidades	Fusibles	\$ 0,25	\$ 0,50
1	unidad	Contactador 220 VAC	\$ 18,00	\$ 18,00
2	unidades	Abrazaderas acero inoxidable	\$ 7,00	\$ 14,00
1	global	Estructura metálica	\$ 80,00	\$ 80,00
1	unidad	Breaker sobrepuesto 1 polo 16 A para riel DIN	\$ 6,40	\$ 6,40
1	unidad	Breaker sobrepuesto 1 polo 32 A para riel DIN	\$ 7,40	\$ 7,00
1	unidad	Breaker sobrepuesto 1 polo 25 A para riel DIN	\$ 7,00	\$ 7,00
3	unidades	Interruptores termomagnéticos 3 ^a	\$ 12,00	\$ 36,00
2	metros	Tubos de 1/2 pulgada Pvc	\$ 5,00	\$ 10,00
7	unidades	Uniones de 1/2 pulgada	\$ 1,35	\$ 9,45
8	unidades	Codos de 1/2 pulgada	\$ 1,50	\$ 12,00
2	unidades	Conectores de 1/2 pulgada	\$ 4,00	\$ 8,00
1	unidad	Resistencia calefactora 5200 W	\$ 10,00	\$ 10,00
1	unidad	Boya para censado de nivel de tanque de gasolina	\$ 12,00	\$ 12,00
2	unidades	Válvulas de agua tipo L	\$ 8,00	\$ 16,00
6	unidades	Prensaestopas para cable	\$ 2,00	\$ 12,00
1	unidad	Teflón	\$ 0,50	\$ 0,50
5	metros	Canaleta plástica	\$ 5,00	\$ 25,00
1	unidad	Cable Ethernet	\$ 8,00	\$ 8,00
1	unidad	Tomacorriente 110 VAC	\$ 3,50	\$ 3,50
TOTAL			\$	4.213,60

Fuente: Autor (Dave Méndez)

CAPITULO 5

PRÁCTICAS DE CONTROL

5.1. PRACTICAS CON EL MÓDULO DE CONTROL Y NIVEL

Las prácticas se van a realizar en la materia de control de procesos; en este caso serán prácticas que permitan conocer como funciona el control PID en los procesos de control de temperatura y nivel, de manera que se identifique como responde el sistema a los aumentos o disminuciones en las constantes proporcional, integral o derivativa; además de identificar el tiempo de estabilización, error y sobrenivel porcentual del proceso haciendo una estimación visual de los gráficos de la HMI. Los controladores PID son estudiados en la clase de control de procesos; estas prácticas permitirán al estudiante visualizar en un sistema real, tangible físicamente cuales serán las tendencias del sistema al cambiar estas constantes del controlador, ya que la HMI del módulo posee una pantalla en la cual se ingresan los valores para el *setpoint* y las constantes del controlador; además posee una pantalla en donde se visualizan las gráficas de las respuestas del controlador y de la planta según el *setpoint* escogido.

Se realizará una práctica para el proceso de nivel y una para el proceso de temperatura.

5.1.1. Práctica en el proceso de nivel

Tema: Identificación de respuestas del sistema de nivel al realizar variaciones en las constantes PID del controlador del PLC.

Objetivos:

- ✚ Visualizar y entender el funcionamiento de un sistema de control de nivel.
- ✚ Modificar las constantes PID del sistema de nivel.

- ✚ Identificar las tendencias del sistema al modificar la constante proporcional del controlador
- ✚ Identificar las tendencias del sistema al modificar la constante integral del controlador
- ✚ Identificar las tendencias del sistema al modificar las constante derivativa del controlador
- ✚ Definir la consecuencia de la modificación de la constante proporcional en el sistema
- ✚ Definir la consecuencia de la modificación de la constante integral en el sistema
- ✚ Definir la consecuencia de la modificación de la constante derivativa en el sistema

Instrucciones:

- ✚ Antes de conectar el módulo verificar el voltaje de entrada 240 voltios entre las fases, el neutro y tierra, seguidamente poner todos los interruptores del módulo en OFF y conectar el equipo.
- ✚ Medir el voltaje en los *breakers* principales, si el voltaje es correcto (240 Voltios) subir todos los *breakers*.
- ✚ En la pantalla HMI presionar el botón que dice calibración PID y aparecerá una pantalla donde se ingresa el *setpoint* y las constantes PID que deben estar configuradas con un valor; seguidamente se seleccionará un *setpoint* de nivel del 50 % y se presionará el botón de home para regresar a la pantalla principal.
- ✚ En la pantalla principal se presionará el botón esquema y se mostrara los visualizadores y los botones que activan el control; seguidamente se presionará ON/OFF BOMBA para activar el proceso de nivel y ON/OFF válvula para activar la electroválvula, que en este caso simula la carga

del proceso; luego de esto se regresará la pantalla principal presionando el botón Home.

- ✚ En la pantalla principal se presionará el botón tendencias y se podrá visualizar la respuesta del controlador, el *setpoint* y la respuesta del sistema.
- ✚ Se regresa a la pantalla principal y se presiona calibración PID para modificar los parámetros proporcional, integral, derivativo en ese orden respectivamente para posteriormente visualizar el efecto de cada parámetro en las respuestas.
- ✚ Luego de modificar los parámetros PID se regresa a la pantalla principal y se escoge la opción tendencias para visualizar los cambios en las graficas.
- ✚ Se deben realizar los cambios en los parámetros que se necesiten hasta que se identifique la respuesta frente al cambio de cada parámetro.

Desarrollo de la práctica:

Durante el desarrollo de la práctica a medida que se van metiendo parámetros se debe ir llenando la tabla de reacción de los parámetros PID, primeramente se debe probar con valores del parámetro proporcional, luego se varían los valores del parámetro integral y finalmente los del parámetro derivativo. A medida que se varían esos parámetros se vera la respuesta de la planta en la Pantalla TENDENCIAS de la HMI Y se deberá llenar la tabla de la siguiente manera:

Según sus análisis de como reacciona el sistema a las variaciones en los parámetros PID llene la siguiente tabla:

Tabla 11:

Reacción de parámetros PID

	Kp aumenta	Ti disminuye	Td aumenta
Estabilidad	Se reduce	Disminuye	Aumenta
Velocidad	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Error estacionario	No eliminado	Eliminado	No eliminado
Área del error	Se reduce	Disminuye hasta cierto punto	Se reduce
Perturbación control	Aumenta bruscamente	Aumenta gradualmente	Aumenta bruscamente
Frecuencia lazo	No afecta hasta cierto punto	Disminuye	Aumenta

Fuente: <http://control-pid.wikispaces.com/>

Conclusiones:

- ✚ Conocer de los parámetros PID es muy importante para el control de procesos.
- ✚ Poder visualizar las respuestas de los cambios en los parámetros en un módulo tangible permite comprender mejor el funcionamiento de los mismos en la realidad.

5.1.2. Práctica en el proceso de temperatura

Tema: Identificación de parámetros obtenidos mediante el controlador en el proceso de temperatura.

Objetivos:

- ✚ Visualizar y entender el funcionamiento de un sistema de control de temperatura
- ✚ Identificar el tiempo de estabilización del sistema de temperatura
- ✚ Identificar el sobrenivel porcentual del sistema de temperatura
- ✚ Identificar el error del sistema de temperatura

Instrucciones:

- ✚ Antes de conectar el módulo verificar el voltaje de entrada 240 voltios entre las fases, el neutro y tierra, seguidamente poner todos los interruptores del módulo en OFF y conectar el equipo.
- ✚ Medir el voltaje en los *breakers* principales, si el voltaje es correcto (240 Voltios) subir todos los *breakers*.
- ✚ En la pantalla HMI presionar el botón que dice calibración PID y aparecerá una pantalla donde se ingresan el *setpoint* y las constantes PID, que deben estar configuradas con un valor; seguidamente se seleccionará un *setpoint* de nivel del 30% y un *setpoint* de temperatura de 35 grados y se presionará el botón de home para regresar a la pantalla principal.
- ✚ En la pantalla principal se presionará el botón esquema y se mostrara los visualizadores y los botones que activan el control; seguidamente se presionará ON/OFF BOMBA para activar el proceso de nivel, ON/OFF TEMP para activar el proceso de temperatura y ON/OFF válvula para activar la electroválvula, que en este caso simula la carga del proceso;

luego de esto se regresará la pantalla principal presionando el botón Home.

- ✚ En la pantalla principal se presionará el botón tendencias y luego el botón tendencias 2 donde se podrá visualizar la respuesta del controlador, el *setpoint* y la respuesta del sistema de temperatura.
- ✚ Analizando el gráfico de la respuesta del sistema se estimarán el sobrenivel porcentual u *overshoot*, el error y el tiempo de estabilización.

Desarrollo de la práctica:

En la pantalla de tendencias 2 que posee las gráficas del proceso de temperatura se logran ver las gráficas del *setpoint*, del sensor y del controlador donde se puede estimar visualmente lo siguiente:

El sobrenivel porcentual se lo estima viendo en cuanto sobrepasa la gráfica roja que es la gráfica del sensor a la gráfica amarilla que es la gráfica del *setpoint*.

El tiempo de estabilización se lo estima identificando en cuanto tiempo la gráfica roja, que es la gráfica del sensor, alcanza el mismo valor que la gráfica amarilla que es el *setpoint* del proceso

El error se lo estima viendo la diferencia entre la gráfica roja cuando se ha estabilizado, que es la gráfica de la temperatura tomada por el sensor, con la gráfica amarilla, que es la temperatura indicada en el *setpoint* del proceso.

En el siguiente gráfico se muestra como estimar visualmente el sobrenivel porcentual, el error y el tiempo de estabilización:

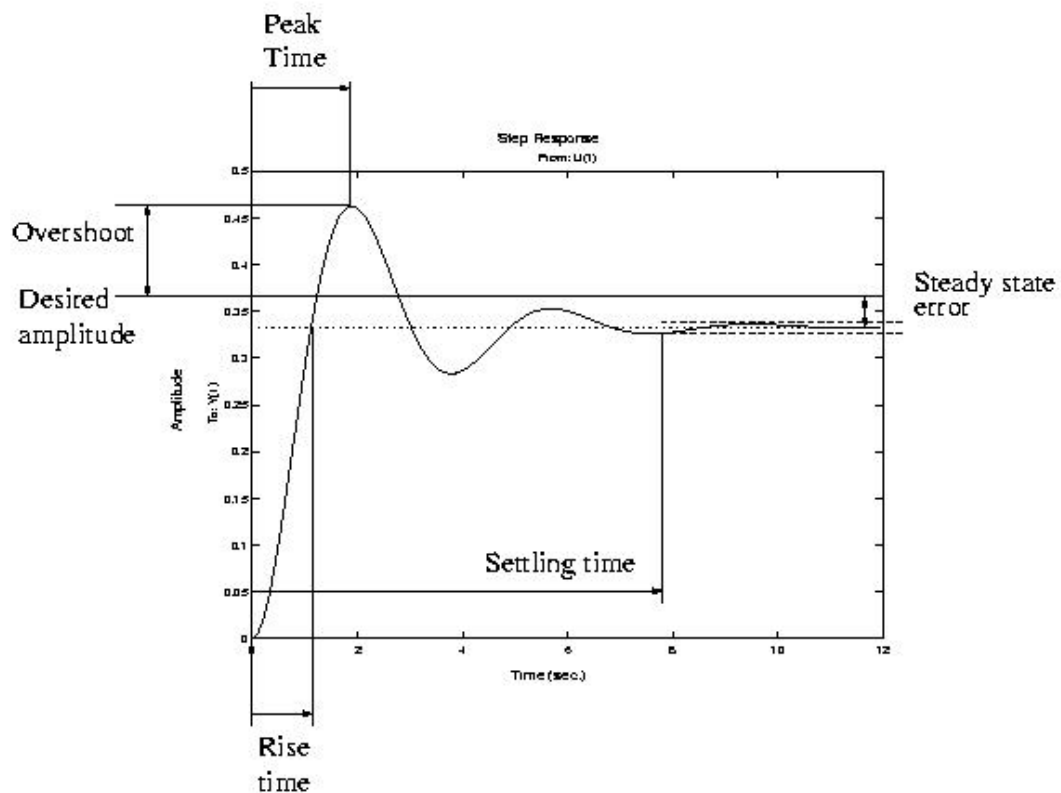


Figura 5.1 Práctica 2 Parámetros

Fuente: <http://controls.ame.nd.edu/ame437/S2003/hw1/specifications.jpg>

Conclusiones:

- ✚ Poder identificar el tiempo de estabilización, *overshoot* o sobrenivel porcentual y error visualmente da un mayor dominio al estudiante sobre el control de procesos.
- ✚ El tiempo de estabilización en un proceso de temperatura es alto.

CONCLUSIONES

En la implementación de un sistema de control de nivel y temperatura hay que tener muy claro como funciona el controlador PID para que el sistema responda como se desea, hay que tener muy en cuenta la calibración de los sensores, ya que si los sensores no están bien calibrados pueden dar muchos problemas en la afinación; además la transformación de la señal de control a la potencia del actuador debe ser manejada mediante los dispositivos adecuados para que el sistema pueda responder rápida y eficazmente a las exigencias del controlador.

En conclusión el módulo de control de nivel y temperatura que se ha implementado es de gran ayuda para los estudiantes de la materia de control de procesos de la Facultad Técnica de la Universidad de Santiago de Guayaquil debido a que este módulo les permite desarrollar sus capacidades de razonamiento frente a un sistema de control real; logrando una mejor preparación en el ámbito práctico y que la materia de control de procesos sea más didáctica; permitiendo ampliar los conocimientos de los estudiantes de como trabaja un control PID y de como controlar procesos mediante controladores lógicos programables o PLC ya que el módulo implementado es una muy buena simulación a escala de los procesos de la vida real en las industrias, lo cual permite que los estudiantes se familiaricen con lo que pueden encontrarse en la vida laboral y obtengan mas herramientas para que sean profesionales altamente preparados y de esta manera se logre aumentar aun más el prestigio de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Finalmente también se puede concluir que los sistemas de grado mayor a 2 son difícilmente controlados por un control PID tradicional ya que necesitan un control mas complejo y avanzado pero con un control PID se lo puede manejar obteniendo menos exactitud en el sistema. Por esta razón este trabajo de graduación incita al estudiante a seguirse preparando porque existen muchas

formas de controlar sistemas y la utilizada en este trabajo es una de las más utilizadas en el campo laboral; pero no es la solución a todos los tipos de sistemas a controlar por esta razón esta es la puerta para que los estudiantes se interesen por el tema, les agrade la parte práctica del control de procesos y se incentiven a estudiar mas a fondo todo lo que refiere a sistemas de control.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evitar usar la bomba de agua a baja frecuencia por tiempos muy prolongados debido a que puede sobrecalentarse ya que al funcionar a baja frecuencia el ventilador enfriador de la bomba funciona a baja velocidad evitando que se ventile lo suficiente; además en el control de temperatura no sobrepasar los 70 grados centígrados debido a que los sensores de nivel análogos que tienen contacto con el agua solo soportan hasta 85 grados centígrados.

Se recomienda también aumentar la cantidad de módulos de control en la Facultad Técnica para el desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil para los diferentes tipos de procesos que existen como velocidad, presión, posición, etc. De manera que los estudiantes se preparen para el mundo laboral que les espera y que ya tengan conocimientos prácticos y hayan trabajado con equipos similares a los que se utilizan en la industria para que se adapten fácilmente al trabajo y no les cueste tanto relacionar los conocimientos teóricos con los conocimientos prácticos; es decir este tipo de módulos hasta cierto punto les da experiencia practica a los alumnos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bc, E. (2010). *Electricas Bc*. Retrieved Diciembre 15, 2013, from <http://www.electricasbc.com/articulo/contenido/15-reles-de-estado-solido>
- Control, R. L. (2008). *Remote Laboratory of Automatic Control*. Retrieved Diciembre 16, 2013, from <http://ira.unileon.es/es/book/export/html/268>
- Cruz, P., Maza, D., & Villamagua, L. (2010). *Scribd.com*. Retrieved Diciembre 16, 2013, from <http://es.scribd.com/doc/84126151/Control-de-Temperatura-y-Nivel-Con-PLC>
- Cusidó, A. R. (2002). *Control de procesos*. Mexico: Alfaomega.
- Electrifor. (2009). *Electrifor*. Retrieved Diciembre 15, 2013, from <http://www.electricfor.es/es/16523/Resistencias-para-inmersion.htm>
- Electroindustria. (2013, Marzo). *Revista Electro industria (One Touch)*. Retrieved Diciembre 15, 2013, from <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2020>
- Electronica Facil . (2004). *Electronica Facil*. Retrieved diciembre 15, 2013, from <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/EI-rele.php>
- Electronica Facil. (2004). *Electronica Facil*. Retrieved Diciembre 15, 2013, from <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Contactor.php>
- Electrónica, M. o. (2012). *Monografías o Apuntes de Tecnología Electrónica*. Retrieved Diciembre 16, 2013, from http://www.viasatelital.com/proyectos_electronicos/amplificador_operacional.htm
- Goodwine, B. (2002, Enero 17). *Control Systems Engineering*. Retrieved Diciembre 16, 2013, from <http://controls.ame.nd.edu/ame437/S2003/hw1/specifications.jpg>
- Harper, G. E. (2000). *El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales*. Mexico: Limusa.

- IGME. (2012). *Info Igme*. Retrieved Diciembre 16, 2013, from http://www.igme.es/internet/divulgacion_didactica/guia_didactica/pdf_carteles/cartel4/CARTEL%204_4-4.pdf
- Morales, G. (29 de julio de 2008). *Gabriela/Mediciones*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2013, de <http://gabrielamorales.wordpress.com/sensores-resistivos/>
- Omega. (2003). *Omega*. Retrieved Diciembre 16, 2013, from <https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>
- PID, C. (2013). *Control PID*. Retrieved Diciembre 16, 2013, from <http://control-pid.wikispaces.com/>
- Quiminet. (2011, Junio 16). *Quiminet.com*. Retrieved Diciembre 15, 2013, from <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>
- S.A., L. (2009). *Logicbus*. Retrieved Diciembre 15, 2014, from <http://www.logicbus.com.mx/RTD.php>
- Sánchez, J. A. (2003). *Control Avanzado de Procesos: (Teoría y Práctica)*. Mexico: Díaz de Santos.
- Sánchez, J. A. (2006). *Instrumentacion y control básico de procesos*. Mexico: Díaz de Santos.
- Siemens. (2010). *Siemens support*. Retrieved Diciembre 16, 2013, from <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/S71200%20-%20SM1231RTC.PDF>
- Smith, C. A., & Corripio, A. B. (2000). *Control automático de procesos: teoría y práctica*. C.V.: Limusa S.A.
- V.C., A. T. (2012). *Altec*. Retrieved Diciembre 15, 2013, from <http://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>
- Wikimedia, F. (2013, Noviembre 29). *Wikipedia*. Retrieved Diciembre 15, 2013, from http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable

GLOSARIO

Automatización: La palabra Automatización proviene del termino griego auto y significa el desarrollo de un proceso por medios propios, en donde la materia es transformada o cambiada. Contiene una gran variedad de sistemas.

Bomba trifásica: Maquina que permite movilizar de fluidos con la ayuda de un motor trifásico como actuador.

Breaker: Es un dispositivo que puede conmutar un circuito eléctrico cuando la corriente eléctrica que circula por el mismo excede el limite permitido, debido a algún cortocircuito, de tal manera que se protegen los aparatos eléctrico conectados a él.

Controlador: Aparato que permite controlar un proceso mediante secuencias lógicas y lenguajes de programación.

Control de Procesos: Es una rama de la ingeniería que mezcla, a la vez, varias especialidades como instrumentación, automatización, y electrónica. El principal objetivo es el análisis, diseño y automatización de sistemas y procesos en la industria.

Contacto eléctrico: Son las partes conductoras de electricidad que pueden conectarse para permitir el flujo de la intensidad de corriente. La acción de conexión, incluso cuando no fue requerida y en puntos no requeridos, también se llama contacto.

Función de transferencia: es un modelo matemático que mediante un cociente relaciona la respuesta de un sistema modelado a una señal de entrada o excitación.

Frecuencia: es la magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

GND: es la tierra o masa de un circuito, es decir la referencia.

HMI: Interfaz hombre maquina se trata de la conexión entre el ser humano y las tecnologías modernas.

Overshoot: Sobrenivel porcentual de la respuesta de un sistema controlado en relación a la consigna o *setpoint* de sistema.

PID: es un mecanismo de control con realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el un valor que se desea obtener, para aplicar correcciones que mejoren el sistema.

PLC: Un controlador lógico programable, también llamado PLC, es un ordenador utilizado en la automatización de procesos industriales, que permite automatizar sistemas electromecánicos, como el control de maquinarias eléctricas y mecánicas en un proceso de fabricación industrial.

PWM: La modulación por ancho de pulsos de una señal es un proceso en el que se modifica la frecuencia de una señal periódica.

RTD: Los RTD o termómetros de resistencia son transductores de temperatura, tienen como fundamento la variación de la resistencia de un material a medida que se varía la temperatura en el mismo

Sobrecarga eléctrica: Se dice que en un circuito o instalación hay sobrecarga o está sobrecargada, cuando la suma de la potencia de los aparatos que están a él conectados, es superior a la potencia para la cual está diseñado el circuito de la instalación.

Sensor analógico: Es un sensor que en su salida, trasmite una señal comprendida por un rango de valores instantáneos que varían a través del tiempo, y son proporcionales a los efectos que se están midiendo.

Sensor digital: es un dispositivo que puede adoptar únicamente dos valores de salida; 1 -0, encendido o apagado, sí o no; los estados de un sensor digital son

absolutos y únicos, y se usan donde se desea verificar estados de "verdad" o "negación" en un sistema automatizado.

SSR: Los SSR o relés de estado sólido también conocidos como *Solid State Relays*, son aparatos muy usados en la interrupción de cargas resistivas según señales de corriente directa o alterna de control.

Setpoint: es la consigna o valor de referencia de un sistema de control.

ANEXOS