



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL SEK

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

Implementación de módulo didáctico para el uso de PLC's, Redes Industriales y HMI

Realizado por:

Jorge Alejandro Morejon Mena

Director del Proyecto:

M.Sc Gabriela Mancheno. Ing.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título Pregrado en Ingeniería Mecatrónica

Quito, 20 de Julio de 2023

Declaración juramentada

Yo, Jorge Alejandro Morejon Mena, con cedula de identidad 172318883-3, declaro bajo juramentola veracidad del trabajo aquí desarrollado consignado con el título “Implementación de modulo didáctico para el uso de PLC´s, Redes Industriales y HMI”, ya que es de mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este mismo documento.



Jorge Alejandro Morejon Mena

C.I. 172318883-3

Declaración del director de tesis

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gabriela Mancheno', is written over a horizontal dashed line. The signature is stylized and cursive.

M.Sc. María G. Mancheno. Ing.

Los profesores informantes:

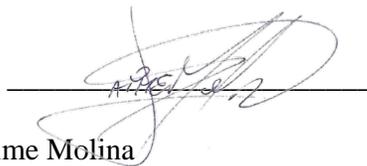
Ing. Diego Bustamante, Msc

Ing. Jaime Molina, PhD.

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.



Ing. Diego Bustamante



Ing. Jaime Molina

Dedicatoria

Dedico principalmente este trabajo a Dios ya que me ha ayudado a superar todo problema o circunstancia de mi vida y me ha bendecido y protegido en cada paso que doy.

A mis padres quienes han sacrificado mucho porque yo sea alguien profesional en la vida y me han brindado su apoyo moral y emocional para no darme por vencido nunca a pesar de la distancia que nos separa.

A mi familia en general que me han sabido aconsejar siempre y me han apoyado de igual manera en cada etapa de mi vida.

Agradecimiento

Agradezco a Dios que me ha ayudado a sobrepasar los obstáculos y las barreras que se han interpuesto en mi camino para llegar a la meta de esta etapa de mi vida la cual es graduarme y ser un ingeniero.

A mis padres quienes han sido mi fuente de inspiración y mi gran ejemplo de vida, ya que ellos han estado en cada etapa y momento importante de mi vida brindándome su apoyo incondicional, consejos para mejorar día a día y sobre todo a enseñarme que la vida no es fácil pero que nada es imposible si uno se propone a hacerlo con dedicación y amor a lo que hace.

Al finalizar esta fase, deseo demostrar mi aprecio hacia todos aquellos que contribuyeron con su respaldo, asistencia, comprensión y más; aquellos que me animaron a alcanzar este maravilloso objetivo.

Resumen

El objetivo principal de este trabajo de Titulación es desarrollar un módulo didáctico que permita a los estudiantes aprender y mejorar sus habilidades y conocimientos sobre el uso de PLC's, redes industriales y HMI. Este proyecto tiene el propósito de suministrar una herramienta educativa, interactiva y práctica la cual permita a los estudiantes comprender los conceptos teóricos de la automatización industrial y aplicarlos en un entorno controlado. El módulo didáctico ha sido diseñado desde cero partiendo desde un prototipo realizado en un software de diseño asistido por computador, a partir del mismo se inició con la construcción del módulo haciendo uso de instrumentación mecatrónica, posteriormente ha sido programado para que este sea capaz de controlar la temperatura de agua en un tanque, así como también tomar decisiones basándose en el nivel de líquido y visualizar estas variables de temperatura, nivel y caudal mediante el HMI. Se realizaron también prácticas de laboratorio con los estudiantes de ingeniería mecatrónica lo que les permitió reforzar sus conocimientos de programación de PLCs, conocer el funcionamiento de una red de comunicación industrial y la configuración del HMI para el monitoreo y control de procesos. Este trabajo contribuye con el avance de la educación en el campo de la automatización industrial al brindar a los estudiantes una herramienta eficaz para su formación. Se espera que el módulo resultante sea utilizado en la Universidad Internacional SEK para fortalecer la enseñanza y la comprensión de los sistemas de control industrial, y apoyar a la formación de profesionales altamente capacitados en este campo.

Palabras claves: PLC, redes industriales, sensores digitales y analógicos, HMI, automatización industrial, control de procesos industriales, profesionales capacitados.

Abstract

The main objective of this degree work is to develop a didactic module that allows students to learn and improve their skills and knowledge about the use of PLC's, industrial networks, and HMI. This project aims to provide an educational, interactive, and practical tool which allows students to understand the theoretical concepts of industrial automation and apply them in a controlled environment. The didactic module has been designed from scratch starting from a prototype made in a computer-aided design software, from it began with the construction of the module using mechatronic instrumentation, later it has been programmed so that it is able to control the temperature of water in a tank, as well as make decisions based on the level of liquid and visualize these temperature variables, level and flow through the HMI. Laboratory practices were also carried out with mechatronics engineering students, which allowed them to reinforce their knowledge of PLC programming, learn about the operation of an industrial communication network and the configuration of the HMI for monitoring and process control. This work contributes to the advancement of education in the field of industrial automation by providing students with an effective tool for their training. The resulting module is expected to be used at SEK International University to strengthen the teaching and understanding of industrial control systems and support the training of highly trained professionals in this field.

Keywords: PLC, industrial networks, digital and analog sensors, HMI, industrial automation, industrial process control, trained professionals.

Tabla de Contenido

Declaración juramentada	2
Dedicatoria	5
Agradecimiento.....	6
Resumen.....	7
Abstract	8
Tabla de Contenido	9
Lista de Figuras.....	12
Lista de Tablas	15
Capítulo I	17
Introducción	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema.....	18
Justificación.....	19
Hipótesis.....	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos.....	20
Capítulo II.....	21
Estado del Arte.....	21
PLC (Programmable Logic Controller)	24
Redes Industriales	25
Modbus RS-485	26
HMI (Human-Machine Interface)	27

	10
Sistema Hidráulico	28
NPSH y Cavitación.	28
Sensores y Actuadores del sistema hidráulico.	30
Identificación de modelos de módulos didácticos disponibles en la actualidad.	32
Capítulo III.....	36
Metodología	36
Identificación de los instrumentos y equipos necesarios para la construcción del módulo didáctico	37
Diseño del prototipo del módulo didáctico en software Inventor Professional.	45
.....	47
Cálculos de NPSH y cavitación en la bomba.	48
Conexión física de PLC y HMI vía comunicación Modbus RS-485	51
Comunicación desde PLC DVP20SX2 a HMI DOP Series.....	52
.....	54
Conexión de sensores y actuadores al PLC.....	56
Programación de PLC y HMI	59
Programación en ISPSOft de Sensor de temperatura PT100	59
Programación en ISPSOft de Sensores flotadores de nivel del tanque.....	61
Programación en ISPSOft de encendido de la Bomba.....	62
Programación en ISPSOft de Calentador Eléctrico	63
Programación en ISPSOft de electroválvula.....	64
Programación del HMI en DOPSOft	65
.....	69

	11
Control y monitoreo de pantalla HMI desde dispositivo móvil con VNC Viewer	70
Prácticas de laboratorio con estudiantes	72
Capítulo IV.....	88
Resultados y discusión.....	88
Discusión.....	92
Capítulo V.....	95
Conclusiones	95
Recomendaciones.....	96
Referencias.....	97
Anexos	104
Anexo A	104
.....	104
Anexo B	107
Anexo C	110
Anexo D	112
D1: Programación PLC. Redes de programación del PLC	112
Anexo E.....	114
Guías de prácticas de laboratorio	114

Lista de Figuras

Figura 1. PLC Delta DVP-SX2.....	39
Figura 2. HMI DOP series 103WQ.....	40
Figura 3. Vista frontal modulo diseñado en Software Inventor.....	45
Figura 4. Vista panel de control en Software Inventor	46
Figura 5. Vista 3D panel de control en Software Inventor ¡Error! Marcador no definido.	46
Figura 6. Plano con medidas reales diseñado en Inventor	47
Figura 7. Módulo didáctico construido.....	88
Figura 8. Diagrama de comunicación entre PLC y HMI Modbus RS-485.....	51
Figura 9. Programa comunicación Modbus RS-485 en ISPSOft.....	52
Figura 10. Selección de HMI en DOPSOft.....	53
Figura 11. Selección de tipo de comunicación de HMI y PLC en DOPSOft	54
Figura 12. Asignación de Variables en DOPSOft	55
Figura 13. Selección de graficas de interacción de HMI en DOPSOft.....	55
Figura 14. Diagrama de Entradas Digitales del PLC	56
Figura 15. Diagrama de Salidas Digitales del PLC	57
Figura 16. Diagrama de borneras de control para riel DIN	57
Figura 17. Diagrama de entrada analógica de transmisor de temperatura.....	58
Figura 18. Red de programación 1.....	59
Figura 19. Red de programación 2.....	60
Figura 20. Red de programación 3.....	61
Figura 21. Red de programación 5.....	62
Figura 22. Red de programación 7.....	63

Figura 23. Red de programación 8.....	63
Figura 24. Red de programación 9.....	63
Figura 25. Red de programación 10.....	64
Figura 26. Red de programación 11.....	64
Figura 27. Red de programación 12.....	65
Figura 28. Asignación de variables de temporizadores de tanques en HMI.....	65
Figura 29. Asignación de variables de caudalímetro en HMI.	66
Figura 30. Asignación de variables de sensor de nivel en HMI.	67
Figura 31. Asignación de variables de calentador eléctrico en HMI.....	67
Figura 32. Asignación de variables de sensor de temperatura en HMI.	68
Figura 33. Asignación de variables encendido y apagado electroválvula en HMI.....	68
Figura 34. Asignación de variables encendido y apagado bomba en HMI.	69
Figura 35. Monitor HMI completado.....	69
Figura 36. Control y monitoreo de HMI desde dispositivo móvil.....	71
Figura 37. Dominio en la programación de PLC.....	78
Figura 38. Capacidad para configurar y utilizar HMI.....	78
Figura 39. Conocimiento en la integración y configuración de sensores.	79
Figura 40. Habilidad para controlar y monitorear el nivel de agua.	80
Figura 41. Competencia en el control de la temperatura del agua.....	81
Figura 42. Capacidad para medir el caudal de agua.	82
Figura 43. Habilidad para interpretar y utilizar datos en tiempo real.	83
Figura 44. Dominio en la interpretación de temporizadores y contadores.	84
Figura 45. Competencia en la visualización y establecimiento de parámetros.....	85

Figura 46. Competencia de configurar comunicación desde PLC a HMI.	86
Figura 47. Conocimiento general en el control industrial.....	87
B1: Figura 48. Datasheet PLC DVP-SX2.....	107
B2: Figura 49. Datasheet HMI DOP-103WQ.....	108
B3: Figura 50. Datasheet Bomba Evans presurizada.....	109
C1: Figura 51. Plano diagrama eléctrico.....	110
C2: Figura 52. Plano módulo didáctico.	111

Lista de Tablas

Tabla 1. Listado de señales analógicas y digitales.....	37
Tabla 2. Listado de entradas digitales al PLC.....	38
Tabla 3. Listado de características del PLC Delta DVP-SX2.....	39
Tabla 4. Listado de características de HMI DOP series 103WQ.....	40
Tabla 5. Listado de sensores	41
Tabla 6. Listado de características fuente de alimentación 24VDC	42
Tabla 7. Lista de materiales	43
Tabla 8. Listado de materiales Modulo 1.....	33
Tabla 9. Listado de materiales Módulo 2.....	34
Tabla 10. Contenido de prácticas de laboratorio	72
Tabla 11. Aprendizajes obtenidos a través de prácticas de laboratorio	73
Tabla 12. Encuesta de destrezas y habilidades adquiridas con las 5 prácticas de laboratorio	76
Tabla 13. Porcentaje pregunta 1.....	77
Tabla 14. Porcentaje pregunta 2.....	78
Tabla 15. Porcentaje pregunta 3.....	79
Tabla 16. Porcentaje pregunta 4.....	80
Tabla 17. Porcentaje pregunta 5.....	81
Tabla 18. Porcentaje pregunta 6.....	82
Tabla 19. Porcentaje pregunta 7.....	83
Tabla 20. Porcentaje pregunta 8.....	84
Tabla 21. Porcentaje pregunta 9.....	85

Tabla 22. Porcentaje pregunta 10.....	86
Tabla 23. Porcentaje pregunta 11.....	87
A1: Tabla 24. Disminución de la presión atmosférica.....	104
A2: Tabla 25. Altura de agua debido a la presión de vapor.....	105
A3: Tabla 26. Perdidas por fricción en accesorios	105
A4: Tabla 27. Resistencia adquirida por temperatura en PT100.	106

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

En el campo de la automatización industrial, los controladores lógicos programables (PLC) se han utilizado ampliamente para el control y monitores de procesos en diversas industrias. Estos dispositivos proporcionan una interfaz de usuario intuitiva y programable que permite a los ingenieros y técnicos controlar el flujo de datos y señales en sistemas complejos. Además, los PLC se integran en redes industriales y HMI (Human-Machine Interface) para facilitar la monitorización de procesos y el control remoto.

La formación en el uso de PLC's, redes industriales y HMI es fundamental para los estudiantes de ingeniería y tecnología, ya que este conocimiento es necesario en el campo de la automatización industrial. Sin embargo, los recursos de aprendizaje disponibles suelen ser caros y limitados en funcionalidad y accesibilidad. El objetivo principal de este módulo es ayudar a los estudiantes a adquirir conocimientos y habilidades prácticas en estas áreas, demostrando al mismo tiempo que un proyecto de esta escala se puede implementar a un costo mínimo.

El módulo didáctico propuesto se enfoca en la medición de caudal, temperatura y nivel de fluidos, ya que estas son variables comunes en muchos procesos industriales. Estas mediciones son necesarias para el control y monitoreo de procesos en tiempo real y para proporcionar a los estudiantes experiencia práctica en la implementación de PLC, redes industriales y HMI.

Hay muchos estudios y proyectos en la literatura relacionados con el uso de lógicas, redes industriales y HMI. Por ejemplo, Shamsuddin et al. (2018) presentó un sistema de monitoreo y control de nivel de agua mediante PLC y red industrial. Este sistema permite a los usuarios monitorear y controlar el nivel de agua en tiempo real a través de una interfaz de usuario amigable.

Además, en otro estudio realizado por Kumarasamy et al. (2017) se desarrolló un sistema de monitoreo y control de temperatura utilizando un PLC y una red industrial. Este sistema permite a los usuarios establecer y controlar de manera precisa y confiable la temperatura del proceso industrial.

Un caso relevante de aplicaciones de la Interfaz Humano-Máquina (HMI) es presentado en el trabajo de Trumpler et al. (2019). En este estudio, se desarrolló una HMI para supervisar y gestionar en tiempo real una planta de tratamiento de agua. Gracias a este sistema, fue posible monitorizar constantemente variables cruciales como el flujo de agua, la temperatura y el nivel del agua, lo que simplificó la toma de decisiones basada en información actualizada al instante.

En cuanto a los costos, es importante mencionar a Daizo Ichikawa et al. (2016), quien presento un enfoque para reducir costos en proyectos de automatización industrial utilizando PLC de bajo costo y software de código abierto. Este enfoque mostro que la funcionalidad necesaria se puede lograr a un bajo costo, lo cual es esencial para un proyecto de desarrollo de módulos didácticos.

Se puede afirmar que el desarrollo de un módulo didáctico para el uso de PLC's, redes industriales y HMI, con énfasis en la medición de caudal, temperatura y nivel de fluido, es un proyecto educativo muy importante sobre la automatización industrial. Los presentes antecedentes muestran la factibilidad e importancia de estos dispositivos en aplicaciones prácticas. Además, la reducción de costos mediante el uso de PLC's de bajo costo y un software de código abierto que permite demostrar que un proyecto de esta escala puede implementarse con un precio más asequible, lo que es una ventaja importante para su aplicación en el sector educativo.

Planteamiento del problema

El campo de la educación en automatización industrial requiere módulos de enseñanza accesibles y funcionales que permitan a los estudiantes aprender sobre el uso de PLC, redes industriales y HMI. Además, se debe demostrar que es posible ejecutar un proyecto de esta escala a un costo mínimo. Los equipos y materiales necesarios para este trabajo en la actualidad son de alto costo y tienen una funcionalidad limitada, lo que dificulta el aprendizaje práctico. Es necesario desarrollar módulos educativos asequibles y fáciles de usar que integren sensores industriales. Esto permite a los estudiantes obtener una experiencia integral en el control de procesos industriales y constatar que es factible implementar este tipo de proyectos sin incurrir en altos gastos.

Justificación

En el contexto de la educación en automatización industrial es importante contar con los recursos educativos adecuados para ayudar a los estudiantes en la adquisición de conocimientos. Las herramientas educativas en la actualidad tienen limitaciones en términos de accesibilidad, funcionalidad y costos que dificultan el aprendizaje efectivo de los estudiantes y por consiguiente limitan su experiencia práctica.

El desarrollo de un módulo de enseñanza económico y fácil de usar que integra sensores industriales de nivel, temperatura y flujo de fluido ofrece una solución a estas limitaciones. Este módulo permite a los estudiantes enfrentar situaciones del mundo real y adquirir experiencia práctica en el control y monitoreo de procesos industriales, lo cual es esencial para el desarrollo profesional.

La relevancia de este proyecto está respaldada por estudios previos como los de Ichikawa et al. (2016) demuestran la viabilidad e importancia de utilizar PLC de bajo costo en aplicaciones prácticas. Por otro lado, respecto a la integración de un HMI en la gestión de aguas residuales,

Trumpler et al. (2019) destacan la importancia de esta integración en la optimización de procesos. Además, como señalaron Saravanan et al. (2017) se ha demostrado que los sistemas PLC y HMI son capaces de controlar y monitorear automáticamente la temperatura.

Hipótesis

Con base a los objetivos que se mencionan a continuación, el presente trabajo de titulación se postula como una estrategia efectiva para mejorar y complementar la preparación de los alumnos. Se sostiene que, al proporcionar un espacio adecuado para el aprendizaje y la práctica de estas tecnologías, se fomentará el desarrollo de las habilidades necesarias para su aplicación en el ámbito estudiantil y laboral. Esta hipótesis se basa en la premisa de que la construcción de un módulo didáctico a partir de una investigación exhaustiva y la utilización de materiales de fácil adquisición y bajo costo permitirá optimizar la capacitación de los estudiantes en automatización industrial. Se espera que esta iniciativa conduzca a una mejor utilización de los recursos disponibles y contribuya a aumentar la competitividad estudiantil en este campo.

Objetivo General

Implementar un módulo didáctico para el uso de PLC's, redes industriales y HMI para reforzar el aprendizaje de estas tecnologías con los estudiantes.

Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema mecatrónico del módulo en el software Inventor de Autodesk para tener una guía de la construcción en físico.

- Construir el módulo didáctico haciendo uso de instrumentación industrial.
- Desarrollar 5 prácticas de laboratorio para el uso del módulo didáctico con los estudiantes de ingeniería.
- Comparar el módulo didáctico con modelos existentes en la actualidad para identificar la relación precio calidad en la elección de productos.

Capítulo II

Estado del Arte

La implementación de un centro de entrenamiento especializado en la formación y capacitación de personal en el uso de PLCs, redes industriales y HMI se ha convertido en una necesidad imperante en el ámbito industrial. La formación de los trabajadores en estas tecnologías permite una mejor eficiencia y competitividad en las empresas, y contribuye a la adaptación de la industria 4.0. Por esta razón, se ha venido desarrollando un cuerpo de investigación enfocado en el diseño y la simulación de centros de entrenamiento especializados para la formación en el uso de estas tecnologías. A continuación, se presentará una revisión del estado del arte de algunos estudios relevantes sobre el diseño de un centro de entrenamiento para PLCs, redes industriales y HMI, con el fin de identificar las mejores prácticas y estrategias para su implementación.

Uno de los estudios más recientes y relevantes en esta área es el trabajo de Alves et al. (2021), en el que se describe el diseño y la implementación de un centro de entrenamiento para PLCs, redes industriales y HMI en una universidad de Brasil. Este centro cuenta con una plataforma de simulación y entrenamiento, así como con una estructura física que permite la práctica de los conocimientos adquiridos. Los autores destacan la importancia de la formación en

estas tecnologías para la eficiencia de los procesos industriales, y señalan que la implementación de centros de entrenamiento especializados puede contribuir significativamente a la formación de profesionales capacitados en estas áreas. Los resultados del estudio indican que el centro de entrenamiento ha mejorado significativamente la formación de los estudiantes en estas áreas, lo que sugiere que el diseño y la implementación de estos centros pueden ser una estrategia efectiva para la formación y capacitación en el uso de PLCs, redes industriales y HMI.

Otro estudio relevante en esta área es el trabajo de Martínez-Sibaja et al. (2018), en el que se analiza la importancia de la capacitación y el entrenamiento en el uso de PLCs y HMI para la eficiencia de los procesos industriales. Los autores proponen un modelo de capacitación basado en la práctica y la simulación, que permita a los usuarios aprender a través de la experiencia directa. El modelo propuesto incluye la implementación de un centro de entrenamiento especializado, que permita la simulación de escenarios reales y la práctica de las habilidades adquiridas. Los resultados del estudio indican que el modelo propuesto es efectivo para la formación en el uso de PLCs y HMI, y que la implementación de centros de entrenamiento especializados puede mejorar significativamente la eficiencia y competitividad de las empresas.

Por su parte, Callejón-Ferre et al. (2019) sugieren que la implementación de centros de entrenamiento especializados puede contribuir significativamente a la formación de profesionales capacitados en estas áreas. En este sentido, proponen una metodología basada en la destreza, que incluya la simulación de escenarios reales y la práctica de habilidades en un entorno controlado. Los autores destacan la importancia de la formación en estas tecnologías para el desarrollo de la industria 4.0, y sugieren que la implementación de centros de entrenamiento especializados puede contribuir a la adaptación de las empresas a los nuevos desafíos tecnológicos.

Los estudios revisados también han resaltado la importancia de la capacitación y el

entrenamiento en el uso de PLCs y HMI para la eficiencia de los procesos industriales, así como el desafío que representan éstos en la era de la industria 4.0. Por tanto, la implementación de centros de entrenamiento especializados no solo puede contribuir a la formación de profesionales capacitados en estas áreas, sino que también puede mejorar la eficiencia y competitividad de las empresas.

Es importante destacar que la implementación de un centro de entrenamiento especializado debe estar en consonancia con las necesidades y objetivos específicos de la empresa o institución en la que se va a implementar. Por ejemplo, en una universidad, el centro de entrenamiento puede estar enfocado en la formación de estudiantes y en la investigación en estas áreas, mientras que, en una empresa, puede estar enfocado en la capacitación del personal y en la mejora de los procesos productivos. Por tanto, es necesario considerar que es una inversión rentable a largo plazo para las instituciones que buscan mejorar su eficiencia y competitividad en un mundo cada vez más digitalizado.

La combinación de programación de PLCs (Controladores Lógicos Programables) y sistemas de monitorización y control con HMI (human-machine interface) es fundamental en la automatización industrial. El diseño de sistemas mecatrónicos empleando PLC y HMI juega un papel importante en la formación de profesionales capacitados en el uso de estas tecnologías. Con esto en mente, es importante investigar a fondo y revisar la literatura existente para comprender las tendencias, los avances y las mejores prácticas en el diseño de estos sistemas mecatrónicos.

En un artículo de referencia de Ben-Hadji et al. (2018), se presenta un enfoque innovador que utiliza un enfoque híbrido que combina hardware real y software simulado para el entrenamiento de PLC. Este enfoque permite a los estudiantes adquirir conocimientos prácticos

sin necesidad de costosos equipos físicos, lo que reduce los costos y los hace más accesibles.

Otro estudio relacionado es el de Huang et al. (2019) aquí se propone un sistema mecatrónico para entrenar HMI. El sistema integra elementos físicos y virtuales para permitir que los estudiantes operen de manera segura y efectiva entornos de control y monitoreo de procesos industriales.

PLC (Programmable Logic Controller)

Los controladores lógicos programables (PLC) son dispositivos electrónicos centrales para la automatización y control de procesos industriales, sin los cuales es imposible imaginar la industria moderna. Pueden monitorear y controlar de manera efectiva varias aplicaciones, lo que lo convierte en una herramienta indispensable en la industria. Un PLC consiste en un dispositivo programable con memoria dedicada para almacenar instrucciones y realizar varias funciones de control. Rahman et al. (2019) afirman que consta de un procesador, memoria de programa, almacenamiento de datos y varios módulos de entrada/salida digitales y analógicos que se conectan a sensores, actuadores y otros periféricos.

El funcionamiento básico de los PLC se basa en ciclos de exploración continuos. Primero se obtiene la entrada del sistema, luego el PLC procesa los datos de acuerdo con las instrucciones almacenadas en la memoria del programa. Creadas por programadores, estas instrucciones secuenciales y lógicas determinan el comportamiento del PLC en función de las condiciones de entrada. A medida que se procesan las entradas y se ejecutan los comandos del programa, el PLC actualiza las salidas correspondientes. Estas salidas controlan y activan actuadores como motores, válvulas y relés, lo que permite un control y monitoreo rápidos y precisos de los procesos industriales.

No se puede negar la importancia de los PLC en la automatización industrial. Entre otros, Velázquez et al. (2021) destacan su flexibilidad en cuanto a reprogramabilidad y adaptabilidad a diferentes aplicaciones. Estos dispositivos pueden optimizar procesos, reducir costos, aumentar la productividad y mejorar la calidad del producto final. Además, el uso industrial garantiza una mayor seguridad del operador y eficiencia energética. En conjunto, los PLC han demostrado ser herramientas valiosas y versátiles en el campo de la automatización industrial.

Redes Industriales

Las redes industriales son sistemas de comunicación específicamente diseñados para su uso en entornos industriales, jugando un papel fundamental en la automatización y control de procesos, permitiendo la conexión de dispositivos y sistemas para intercambiar información y facilitando el control eficiente. Según Renuka et al. (2016), las estructuras de redes industriales incluyen nodos, cables, protocolos de comunicación y software de gestión. Estas redes permiten la transmisión de datos y el control en tiempo real de los dispositivos, facilitando el seguimiento y control de los procesos industriales.

El funcionamiento de las redes industriales se basa en la transmisión de datos entre dispositivos conectados. Se comunican a través de protocolos de comunicación estándar como Industrial Ethernet, Modbus y Profibus. Estos protocolos definen reglas y formatos para los datos transmitidos para garantizar una comunicación confiable y eficiente. En términos de conectividad, las redes industriales utilizan varias topologías para conectar dispositivos. La topología más común es la topología de bus, donde todos los dispositivos están conectados a un cable central. Las topologías en anillo también se utilizan cuando los dispositivos se conectan para formar un anillo cerrado. Adicionalmente, se encuentran disponibles topologías en estrella y árbol, dependiendo de las necesidades específicas de cada aplicación.

La importancia de las redes industriales radica en su capacidad para mejorar la eficiencia y el rendimiento de los procesos industriales. Habilitar la comunicación en tiempo real facilita la supervisión y el control del dispositivo. Según Cusido et al. (2020), las redes industriales garantizan una mayor visibilidad de los procesos, optimización de la producción, detección temprana de problemas y una mejor toma de decisiones. Además, permite la integración de sistemas y dispositivos dispares, aumentando la interoperabilidad y la flexibilidad en entornos industriales.

Modbus RS-485

Modbus RS485 es un protocolo de comunicación ampliamente empleado en la automatización industrial, que permite la transferencia de datos entre dispositivos electrónicos. Este protocolo utiliza la interfaz RS485, la cual posibilita la transmisión de datos en serie mediante un par de cables, siendo especialmente adecuada para aplicaciones a larga distancia (National Instruments Corporation, 2021).

En la industria, el protocolo Modbus se ha convertido en un estándar para el intercambio de información entre dispositivos de control como PLC (controladores lógicos programables), sensores, actuadores y otros dispositivos electrónicos (Schneider Electric, 2021). La operación de Modbus RS485 involucra un dispositivo maestro y uno o más dispositivos esclavos. El maestro inicia la comunicación y solicita datos a los dispositivos esclavos, quienes responden a estas solicitudes proporcionando la información requerida (Phoenix Contact, 2021).

La comunicación en Modbus RS485 se basa en mensajes de solicitud y respuesta. El maestro envía una solicitud al esclavo especificando su dirección y el tipo de operación deseada, como lectura o escritura de datos. Una vez procesada la solicitud, el esclavo envía una respuesta al maestro con los datos solicitados o el resultado de la operación (Schneider Electric, 2021).

Los datos se transmiten en forma de bits a través de las líneas de la interfaz RS485 y se agrupan en bytes según las estructuras de datos específicas del protocolo Modbus, tales como registros de entrada, registros de salida y registros de retención. Estas estructuras organizan y representan la información de manera ordenada (Moxa, 2021).

HMI (Human-Machine Interface)

Las Interfaces Hombre-Máquina (HMI) son elementos esenciales en los sistemas de control y automatización industrial, posibilitando la comunicación y la interacción entre operadores humanos y los sistemas. Su función principal radica en simplificar la supervisión y el control de los procesos industriales.

Las HMI consisten en interfaces gráficas especialmente diseñadas para facilitar la interacción entre los operadores humanos y los sistemas de control presentes en los entornos industriales. Conforme a Xiong et al. (2020), estas interfaces pueden adoptar diversas formas, como pantallas táctiles, computadoras industriales, tabletas u otros dispositivos que muestran información en tiempo real para que los operadores puedan monitorear y controlar los procesos industriales. El funcionamiento de la HMI se basa en recopilar datos del sistema de control y presentar información relevante al operador. Se conectan a los controladores u otros dispositivos mediante protocolos de comunicación estándar como OPC y Modbus. Estos protocolos aseguran la transferencia de datos en tiempo real entre el sistema de control y la HMI.

Las HMI presentan información a los operadores a través de gráficos, indicadores, alarmas y otras representaciones visuales. Estas interfaces permiten monitorear el estado del proceso, monitorear tendencias, recibir alertas y tomar decisiones basadas en la información presentada. Además, las HMI también permiten que los operadores interactúen con el sistema de control a través de acciones como ingresar comandos, configurar parámetros y ajustar variables.

Estas interfaces mejoran la eficiencia y la seguridad de los procesos al mostrar claramente la información relevante. Según Abdellatif et al. (2021) un HMI permite una comprensión más profunda del proceso, una respuesta ágil al cambio y una detección temprana de problemas.

Sistema Hidráulico

El proceso de usar un fluido bajo presión constante para accionar un dispositivo mecánico o una máquina para llenar un tanque se llama sistema hidráulico con una bomba para cargar. La bomba hidráulica juega un papel fundamental en este sistema. Su función es convertir la energía mecánica producida por el motor principal en energía hidráulica. Esta energía se convierte en un flujo continuo de fluido a través del sistema, lo que permite el funcionamiento de cilindros y otros dispositivos. Elementos del sistema hidráulico (Servicio Hidráulico Industrial, 2020).

La cavitación en las bombas hidráulicas debe evitarse a toda costa ya que esta anomalía puede dañar la bomba y reducir su rendimiento. La cavitación ocurre cuando la presión en la entrada de la bomba es demasiado baja, formando pequeñas bolsas de vapor en el líquido. Estas burbujas pueden colapsar y dañar la bomba, provocando una falla prematura del sistema hidráulico.

NPSH y Cavitación.

NPSH (Altura de succión positiva neta) es un parámetro clave en el diseño y operación de sistemas de bombas industriales, ya que determina la energía disponible en la entrada de la bomba para superar la caída de presión y evitar la cavitación. NPSH se calcula restando la presión de vapor líquido a la temperatura de funcionamiento de la presión absoluta en la entrada de la bomba. Es importante garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de la bomba. La presión absoluta

en la entrada de la bomba, la presión del vapor líquido, la pérdida de presión en las tuberías y los componentes del sistema y las características de la bomba se tienen en cuenta al calcular el NPSH.

Como señalan Jolayemi y Tijani (2020), el NPSH se calcula mediante una ecuación específica que tiene en cuenta la geometría de la bomba, la velocidad del fluido y las propiedades del fluido. NPSH juega un papel fundamental en la prevención de la cavitación de la bomba. La cavitación ocurre cuando la presión en el punto de succión de la bomba cae por debajo de la presión de vapor del líquido, lo que hace que se formen y colapsen burbujas de vapor. Este fenómeno puede dañar la bomba, reducir la eficiencia y afectar el rendimiento general del sistema. Por lo tanto, garantizar un NPSH suficiente es fundamental para evitar la cavitación y mantener un rendimiento óptimo de la bomba.

La cavitación es un fenómeno que puede ocurrir en bombas y sistemas de flujo de fluidos cuando la presión de succión de la bomba está por debajo de la presión de vapor del fluido provoca que la caída de presión forme burbujas de vapor o vacíos en el líquido que colapsan cuando el líquido regresa a la región de alta presión. Cuando la burbuja de vapor colapsa, crea ondas de choque, altas temperaturas y grandes fuerzas de impacto que pueden dañar los componentes de la bomba y afectar su rendimiento.

La cavitación puede afectar negativamente a los sistemas de bombeo. En primer lugar, pueden producirse daños en los componentes de la bomba, como las palas del impulsor, debido a las grandes fuerzas de impacto generadas durante el colapso de la burbuja. Esto puede provocar desgaste prematuro de la bomba, erosión y reducción de la eficiencia. Además, la presencia de burbujas de vapor en el líquido puede reducir la capacidad de la bomba para transferir energía, reduciendo el flujo y la presión. Como se mencionó anteriormente, garantizar una altura de succión neta (NPSH) adecuada es fundamental para evitar la cavitación. NPSH es una medida de la energía

disponible al cebar la bomba para superar la caída de presión y evitar la cavitación. Muy poco NPSH puede provocar la formación de bolsas de vapor y cavitación.

Sensores y Actuadores del sistema hidráulico.

Sensores

Un sensor de caudal el cual es un dispositivo utilizado para medir la cantidad de agua que fluye a través de un sistema hidráulico se llama sensor de flujo de agua. Estos dispositivos juegan un papel importante para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema hidráulico y detectar cualquier inconveniente o anomalía dentro del sistema. Los sensores de flujo de agua se utilizan en una variedad de aplicaciones, desde sistemas de riego hasta sistemas de refrigeración de motores (HYDAC, s.f).

El sensor de temperatura se clasifica como un tipo de sensor discreto que detecta la temperatura producida por la unión de dos metales. Esa respuesta se convierte en una pequeña señal de voltaje que es directamente proporcional al valor de la temperatura. También requiere de circuitos de conexión para su funcionamiento. Muy preciso y sensible a las fluctuaciones, pero es más probable que se use en escenarios de demanda moderada. Los sensores de temperatura SPS se utilizan junto con otros sensores y dispositivos para monitorear y controlar procesos industriales. La unidad central de procesamiento (CPU) del PLC ejecuta programas almacenados en la memoria. Las entradas de PLC capturan señales generadas por sensores y otros dispositivos, y las salidas envían señales que controlan actuadores, motores y otros componentes del sistema. A través de esta combinación de entradas y salidas, el PLC interactúa con el entorno y realiza acciones específicas (Vester Training, 2018).

Por último, los sensores flotadores de nivel son dispositivos los cuales se basan en el

principio de flotabilidad, donde el movimiento del flotador y las fuerzas que se ejercen sobre él son causados por la diferencia de densidad entre el flotador y el líquido. La posición del sensor de nivel del flotador cambia con el nivel del líquido y envía esta información a través de un enlace mecánico a una salida. Estos sensores se utilizan en PLC's para detectar y monitorear los niveles de líquido en los tanques. Los sensores están conectados al PLC a través de entradas digitales. El sensor envía una señal al PLC cuando el nivel de líquido alcanza un valor predefinido (LibreTexts Español, 2022).

Actuadores

La bomba hidráulica es un dispositivo mecánico diseñado para convertir energía mecánica en energía hidráulica. Esta forma de energía hidráulica se utiliza para impulsar fluidos a través de tuberías y canales. Las bombas hidráulicas juegan un papel vital en una amplia variedad de aplicaciones, desde sistemas de riego hasta equipos pesados.

Según la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME), una bomba hidráulica es "un dispositivo que convierte la energía mecánica en energía hidráulica por la acción de un fluido en movimiento". (ASME, 2018)

Hay varias clases de bombas hidráulicas, incluidas las bombas de desplazamiento positivo y las bombas centrífugas. Una bomba de desplazamiento positivo crea una presión positiva en el líquido, mientras que una bomba centrífuga crea una fuerza centrífuga en el líquido. (Instituto de Investigaciones Hidroeléctricas, 2019)

Una electroválvula es un tipo de válvula que se controla mediante un campo eléctrico. Estas válvulas se utilizan comúnmente en sistemas de control de fluidos, como en la industria alimentaria, la industria química y la industria del petróleo y el gas.

Según la norma ISO 5599-1:2018, una electroválvula es "una válvula que se controla mediante un campo eléctrico y que se utiliza para controlar el flujo de fluidos en un sistema". (ISO, 2018)

Las electroválvulas se componen de una bobina y un núcleo móvil que se desplaza cuando se aplica una corriente eléctrica a la bobina. Este movimiento del núcleo móvil abre o cierra la válvula, permitiendo o deteniendo el flujo de fluido a través del sistema.

Por último, según la norma IEC 60335-2-21:2020, un calentador eléctrico se define como "un dispositivo que emplea una resistencia eléctrica para elevar la temperatura del agua". (IEC, 2020)

La resistencia eléctrica en un calentador de agua está diseñada para generar calor al recibir una corriente eléctrica. Normalmente, estas resistencias se confeccionan con materiales de alta resistividad, como níquel-cromo o acero inoxidable, capaces de soportar elevadas temperaturas sin degradarse. Cuando la corriente eléctrica fluye por la resistencia, esta se calienta y transfiere el calor al agua circundante. El agua aumenta gradualmente su temperatura hasta llegar al valor deseado.

Identificación de modelos de módulos didácticos disponibles en la actualidad.

En el siguiente apartado se hizo una ardua investigación sobre módulos didácticos de entrenamiento disponibles en el mercado y diseñados para otros proyectos de tesis en los cuales se puede comprobar los precios y cada equipo utilizado para la construcción del módulo.

El primer módulo que se identifico es el del proyecto de titulación desarrollado por Arias,

(2013) con el título de “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL APLICANDO BUSES DE CAMPO PARA LA EMPRESA ECUAINSETEC” de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito en el cual se plantea la aplicación de un módulo de entrenamiento aplicando buses de campo para poder optimizar tiempo y conocimiento en el uso de sistemas de automatización. Para el diseño de este módulo se requirió de la adquisición de los siguientes equipos.

Tabla 1.

Listado de materiales Modulo 1

Listado de materiales y precios	
Equipo	Precio
PLC conexión profibus y ethernet con módulos de entradas, salidas analogicas y digitales marca wago	\$2,500.00
Plc ethernet modular marca wago 750483	\$600.00
Sensores inductivos, capacitivos, barrera reflex, marca sick	\$800.00
Termoelemento pt100	\$100.00
Caudalímetros	\$400.00
Valvula on-off	\$250.00
Valvula proporcional	\$1,200.00
Calentador de agua	\$40.00
Sensor de nivel on-off	\$200.00
Sensor de nivel ultrasonico continuo	\$900.00
Bomba hidraulica	\$200.00
Presostato	\$800.00
Tanque de pruebas con accesorios de conexión	\$500.00
Accesorios electricos y neumaticos	\$400.00

TOTAL	\$8,890.00
--------------	-------------------

La tabla 1 presenta un detallado listado de diversos equipos y componentes junto con sus respectivos precios. Estos materiales son utilizados en una variedad de aplicaciones industriales, desde automatización hasta control de procesos. El total de la lista asciende a \$8,890.00, lo que proporciona una estimación de los costos involucrados en la adquisición de estos elementos esenciales para implementar sistemas de control y automatización en entornos industriales. La lista incluye desde PLCs, sensores, válvulas y bombas, hasta accesorios eléctricos y neumáticos, proporcionando una visión completa de los recursos necesarios y sus respectivos costos.

Otro proyecto de titulación es el de la ESCUELA POLITECNICA DEL LITORAL desarrollado por Sancan y Puero, (2018) con el título de proyecto “Diseño e Implementación de una red MODBUS utilizando PLC’S y VFD’S” en el cual proponen implementar la red MODBUS haciendo uso de PLC’S y variador de frecuencia el cual se controla mediante un web server en el sistema SCADA del software Visual Studio. Tomando como referencia maestro esclavo en el cual el PLC envía mensajes al variador para que cumpla con diferentes funciones. En la siguiente tabla se presentan los equipos y costos que se necesitaron para este módulo.

Tabla 2.
Listado de materiales Módulo 2

Listado de materiales y precios	
Equipo	Precio
Sinamics Siemens V20 VFD	\$292.00
ABB ACS355 MACHINERY VFD	\$240.24
Simatic Siemens S7-1200 AC/DC/Rly	\$497.00

Allen Bradley Micro 850 24QBB	\$250.00
CM1241 RS232	\$270.00
Módulo 2080 SERIALISOL	\$46.80
FMBA01/ABB	\$182.78
ADAM 4520	\$65.00
Router TP-LINK N-150Mbps	\$18.00
TIA PORTAL	\$700.00
Connected Components Workbench	\$0
Eltima Serial Port	\$0
TOTAL	\$2,561.82

La tabla 2 presenta una comparación de equipos y componentes electrónicos junto con sus respectivos precios. Estos elementos son esenciales en el ámbito de la automatización y el control de procesos industriales. El total de la lista asciende a \$2,561.82, lo que proporciona una estimación de los costos involucrados en la adquisición de estos elementos clave. Algunos de los elementos notables en la lista incluyen variadores de frecuencia (VFD) de Siemens y ABB, PLCs de Siemens y Allen Bradley, así como otros dispositivos de comunicación y software de programación. Esta comparación facilita la identificación de productos y precios competitivos para proyectos de automatización industrial y control de maquinaria.

El Programmable Logic Controls Training System 26 H de la empresa LEARNLAB (GRAINGER, 2020) es un módulo de entrenamiento para PLC práctico para solucionar problemas de programación. Este módulo de entrenamiento incluye los siguientes materiales.

1. Un plan de estudios estructurado y fácil de seguir para el software de programación de

PLC.

2. Un panel de capacitación práctica que utiliza el software de programación de PLC.
3. Una guía del instructor que proporciona instrucciones detalladas sobre el uso del software de programación de PLC.
4. Un curso complementario en línea disponible para ampliar los conocimientos sobre el software de programación de PLC.
5. Una presentación de PowerPoint que abarca los conceptos clave del software de programación de PLC.
6. Una guía del estudiante que acompaña al software de programación de PLC, brindando apoyo y ejercicios prácticos para el aprendizaje.

Este módulo fue encontrado en la página GRAINGER por un valor de \$3358.26, pero como bien se especifica este módulo no controla fluido y tampoco incluye HMI o redes industriales así que es un poco diferente al proyecto planteado para la titulación.

Cada módulo analizado dispone de diferentes tipos de equipos y cumplen con diferentes funciones, pero al momento de la enseñanza siguen teniendo el mismo objetivo de brindar conocimientos a los estudiantes sobre estas tecnologías.

Capítulo III

Metodología

En este capítulo se presenta procesos y metodologías de Investigación y Desarrollo (I+D) basados en la ingeniería de sistemas. Este enfoque sistemático implica la selección y descripción de elementos (materiales, equipos, sensores, etc.) destinados a la construcción del módulo didáctico. Los pasos metodológicos incluyen exploración de componentes, formulación del diseño del sistema, desarrollo de software de simulación, creación de prototipos, pruebas y validación,

optimización y documentación detallada. Para de esta forma obtener un módulo didáctico que sea capaz de detectar el caudal de agua que pasa por una tubería y a su vez la temperatura y nivel de agua dentro del tanque de llenado de dicho sistema.

Identificación de los instrumentos y equipos necesarios para la construcción del módulo didáctico

Listado de Señales

A continuación, se realiza un listado de señales digitales y analógicas con el fin de tener un registro completo y organizado de todas las señales o variables que intervienen en el sistema controlado por el PLC.

Tabla 3.

Listado de señales analógicas y digitales

LISTADO DE SEÑALES ANALOGICAS Y DIGITALES			
ITEM	DIGITAL MPUT	DESCRIPCION	TAG
1	C0	Sensor de Fluido de Agua de ingreso al Tanque	FT
2	C1	Sensor de Temperatura dentro del Tanque	TT
3	C2	Sensor de nivel dentro del Tanque	LT
4	C3	Canal de entrada de refacción 1	CR-1
5	C4	Canal de entrada de refacción 2	CR-2

En la tabla 3 se proporciona una lista detallada de señales analógicas y digitales utilizadas en un sistema de control o monitoreo. Cada entrada se describe mediante un número de ítem, una designación digital (DIGITAL MPUT), una descripción de la señal y un TAG que identifica su función específica en el sistema, se especifican también los canales en los cuales se conectan los

sensores industriales (caudal, temperatura y nivel del agua).

Tabla 4.

Listado de entradas digitales al PLC

ITEM	DIGITAL IMPUT	DESCRIPCION	TAG
1	C0	Bomba de Agua ON	BA-ON
2	C1	Bomba de Agua OFF	BA-OFF
3	C2	Electroválvula ON	SOL-ON
4	C3	Electroválvula OFF	SOL-OFF
5	C4	Resistencia eléctrica	RES-ON-OFF

En esta tabla 4 se demuestran las entradas digitales que necesita el PLC en las cuales se definen los canales en los que van conectados

Una vez obtenido el listado de señales analógicas y digitales se pudo comenzar con la definición de los materiales que se van a utilizar para este módulo didáctico en los cuales se pudo determinar el componente más importante el cual es el PLC, el mismo debe integrar mínimo 4 entradas analógicas, 5 o más entradas digitales y un mínimo de 4 salidas digitales, además el PLC debe ser compatible con comunicación Modbus RS-485 ya que este será el protocolo que se utilizara para hacer la comunicación entre el PLC y el HMI que fue asignado para el monitoreo del módulo. .

Después de hacer una ardua investigación sobre costos y características de distintos PLC's en el mercado se pudo definir al PLC Delta DVP-SX2 el cual fue la mejor opción para este proyecto ya que cumple con las características que se necesitan y además este tiene un bajo costo para todo lo que ofrece, este PLC posee las siguientes características:

Tabla 5.

Listado de características del PLC Delta DVP-SX2

PLC Delta DVP-SX2	
Características	Descripción
Entradas - Salidas	2O (8DI/6DO, 4AI/2AO)
I/O máximas	494 (14 + 480)
Puertos COM	16k steps
Expansion	RS-232, RS-485 y USB integrados, compatibilidad con Modbus ASCII/RTU
Velocidad de salida de impulsos	2 puntos (Y0, Y2) de 100kHz máx. y 2 puntos (Y1, Y3) de 10kHz máx.

En la tabla 5 se demuestran las características del PLC escogido para este proyecto el cual tiene un total de 20 puntos de entrada/salida (I/O). Está configurado con 8 entradas digitales (DI), 6 salidas digitales (DO), 4 entradas analógicas (AI) y 2 salidas analógicas (AO). Esto permite al PLC interactuar con una variedad de dispositivos y sensores en el sistema. Además de tener compatibilidad con la red de comunicación Modbus RS-485 y RS-232.

Figura 1.
PLC Delta DVP-SX2



Recuperado de: (Delta Programmable Logic Controller DVP Series, 2010).

Por consiguiente, se determinó un HMI Delta 103WQ el cual de la misma manera tiene compatibilidad con protocolo Modbus RS-485 para de esta forma establecer la comunicación entre el PLC y el HMI.

Tabla 6.

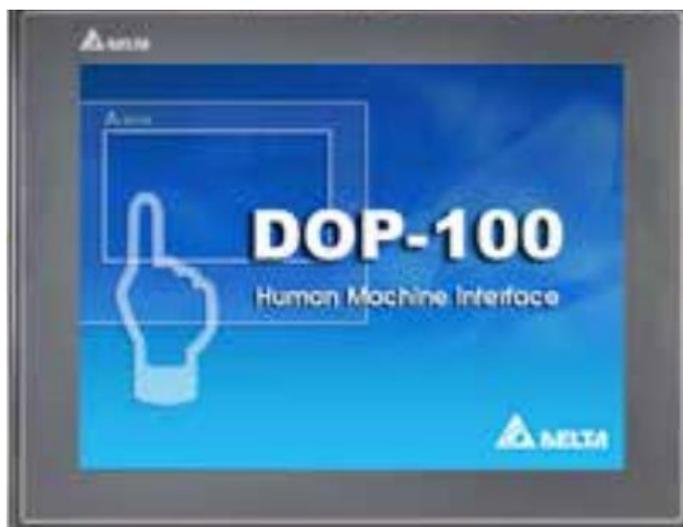
Listado de características de HMI DOP series 103WQ

HMI Delta 103WQ	
Características	Descripción
Pantalla	4.3" (480x272) TFT, 65, 536 colores
CPU	Cortex - A8 800MHz
Memoria RAM	512 MB
Memoria ROM	256MB
Certificaciones	CE/UL

La tabla 6 describe las características principales del HMI Delta 103WQ, un panel de interfaz hombre-máquina utilizado en aplicaciones de control y supervisión industrial. Aquí tienes una descripción de cada característica.

Figura 2.

HMI DOP series 103WQ



Recuperado de: (Delta Advanced Ethernet Human Machine Interface DOP-100 Series, 2010).

Una vez definidos el PLC y el HMI se pudo considerar los sensores que se utilizarán para medir el nivel, caudal y temperatura de agua del módulo, para esto se toma en cuenta que se hará una lectura de nivel en un tanque de capacidad de 100 litros y en el mismo se colocará un sensor de temperatura. Se medirá también el nivel de flujo o caudal que pasa por la tubería que lleva el agua desde la bomba hasta el tanque de llenado.

Se empleará una lógica de programación para que el sistema apague la bomba instantáneamente cuando el tanque de llenado haya llegado a su límite, a su vez cuando el tanque se encuentre vacío la bomba volverá a encenderse para de esta forma mantener el agua del tanque siempre en el mismo nivel.

Tomando en cuenta esto se definieron los siguientes sensores:

Tabla 7.
Listado de sensores

Sensores y Actuadores	
Item	Modelo

Sensor de Fluido de Agua de ingreso al Tanque	Sensor Taidacent FS400A DN25 5V-24V
Transmisor de Temperatura dentro del Tanque	Sensor PT100 24VDC 2-20mA
Sensor de nivel dentro del Tanque	Sensor flotador REF 52920
Bomba de Agua presurizada	Bomba presurizada Evans BP120 120W 1/2"
Electroválvula	110VAC
Resistencia Eléctrica	110VAC

La tabla 7 "Sensores y Actuadores" enumera varios componentes utilizados en un sistema o proceso industrial. Estos sensores y actuadores desempeñan funciones esenciales en un sistema o proceso industrial, permitiendo la monitorización y el control de variables clave como el flujo de agua, la temperatura y el nivel de líquido. Cada componente contribuye a la operación eficiente y precisa del sistema en su conjunto.

Para este módulo se necesitará una fuente de 24V la cual proporcionará de energía a todo el sistema es por esto por lo que cada equipo debe ser compatible con la alimentación 24VDC, además esta necesitara un relé y fusible como protecciones en caso de sobrecarga.

Tabla 8.
Listado de características fuente de alimentación 24VDC

Fuente de Alimentación 24VDC	
Características	Valor
Modelo	DR-75-24
Tipo	Fuente de poder
Voltaje de entrada	100-240 VAC
Frecuencia de entrada	47-63 VAC
Corriente de entrada	1.6A (115VAC) / 0.9a (230VAC)
Voltaje de salida	24VDC

Corriente de Salida	3.2A
Potencia de salida	76.8W

De esta forma se definieron todos los equipos electrónicos que se necesitan para el diseño del módulo didáctico. Para la parte hidráulica se utilizarán accesorios PVC de 1/2" como tuberías y llaves de paso además de dos tanques de plástico con capacidad de 100 litros los cuales serán usados uno para dispensar de agua a la bomba y el otro será el tanque de llenado de agua.

A partir de los siguientes datos se desarrolló la siguiente tabla la cual especifica los equipos y costos de cada uno para el desarrollo del módulo didáctico.

Tabla 9.
Lista de materiales

Lista de materiales para el módulo didáctico			
Item	Cantidad	Costo c/u \$	Total
PLC Delta DVP SX-2	1	\$293.00	\$293.00
HMI Delta 103WQ	1	\$250.00	\$250.00
Fuente 24VDC	1	\$100.00	\$100.00
Bomba Centrífuga 120W 1/2"	1	\$109.00	\$109.00
Transmisor de Fluido de Agua FS400A	1	\$13.50	\$13.60
Sensor de temperatura PT100	1	\$95.00	\$95.00
Módulo Transmisor de Temperatura	1	\$105.00	\$105.00
Sensor Flotador de nivel	1	\$20.00	\$20.00
Electroválvula	1	\$9.60	\$9.61
Calentador eléctrico 110V	1	\$5.00	\$5.00
Breaker 24Amp 2P	1	\$50.00	\$50.00

Relé 24VDC	3	\$13.70	\$41.10
Bases Relé	3	\$2.50	\$7.50
Fusible 24VDC 0.5Amp	3	\$11.00	\$33.00
Cables Modbus RS-485	1	\$15.00	\$15.00
Luces	8	\$4.50	\$36.00
Interruptores	8	\$3.50	\$28.00
Cables y accesorios	1	\$77.00	\$77.00
Contactador	1	\$15.15	\$15.16
Selector 3 posiciones	1	\$5.50	\$5.60
Bornera unipolar	12	\$5.00	\$60.00
Caja de unión	1	\$15.00	\$15.00
Accesorios PVC	1	\$167.00	\$167.00
Tanque 25L	2	\$30.00	\$60.00
Riel DIN	2	\$3.10	\$6.20
Canaleta 1.20m	1	\$22.00	\$22.00
Tubos de acero cuadrados 60cm	6	\$8.00	\$48.00
Láminas de acero 20x30cm	2	\$6.50	\$13.00
TOTAL			\$1.601

La tabla 9 enumera los componentes y costos para crear un módulo didáctico. Los materiales más importantes incluyen el PLC Delta DVP SX-2, HMI Delta 103WQ, bomba centrífuga, sensor de temperatura, electroválvula y otros elementos esenciales. Los materiales más costosos son el PLC y el HMI, que tienen un costo de \$293.00 y \$250.00, respectivamente. Estos componentes son cruciales para la funcionalidad y la interfaz del sistema. En resumen, la lista proporciona una visión completa de los materiales necesarios y sus costos para el módulo

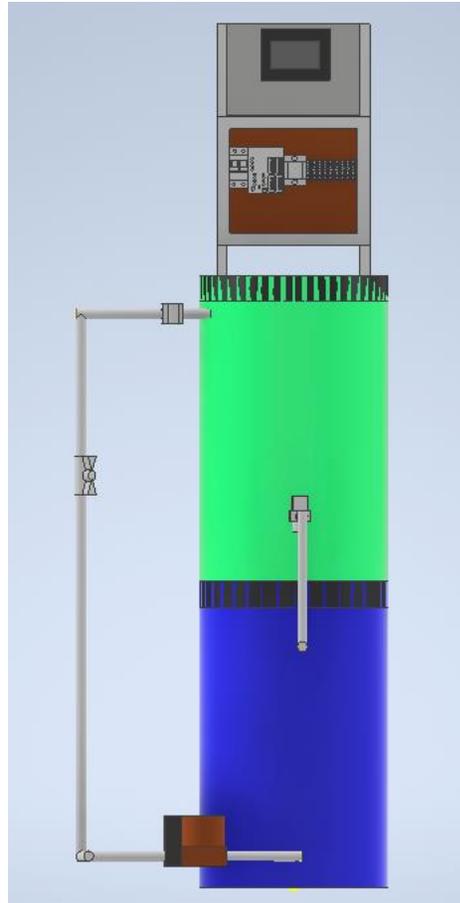
didáctico.

Diseño del prototipo del módulo didáctico en software Inventor Professional.

Para el diseño del prototipo de este módulo se utilizaron como referencia los materiales con sus medidas exactas para tener un plano específico de cómo será desarrollado en físico, para esto se utilizó el software de diseño y simulación Inventor Professional de Autodesk. Se comenzó por hacer un bosquejo de cada material en 3D con sus dimensiones exactas y como sería la disposición de éstos en el módulo, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para posteriormente hacer los planos con las cotas necesarias para la construcción de este.

Figura 3.

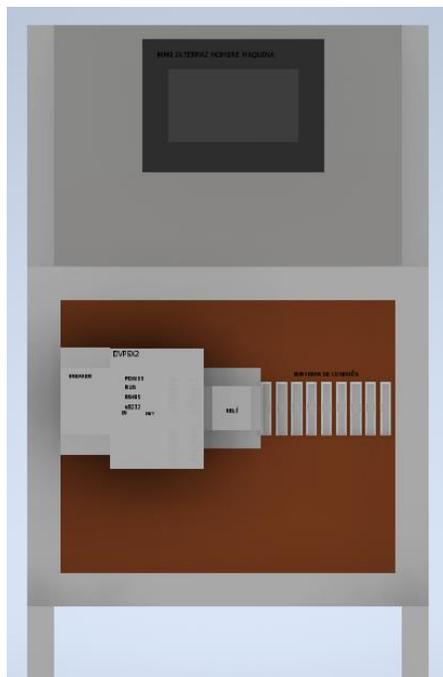
Vista frontal modulo diseñado en Software Inventor



En la siguiente figura
módulo el cual tiene
HMI, el breaker y el relé
bomba además de las borneras del mismo.

se muestra el plano del
implementado el PLC y
para poder encender la

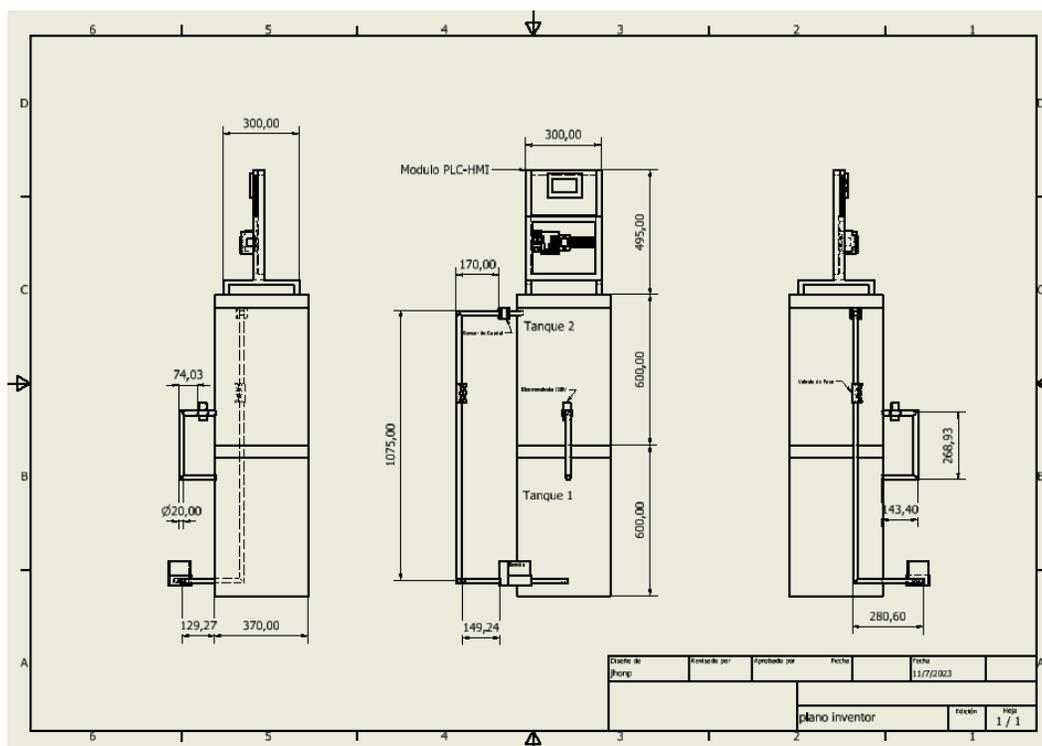
Figura 4.
Vista panel de control en Software Inventor



En la siguiente imagen se podrá observar un plano de la cara frontal con todas las medidas exactas en milímetros a escala 0,1:1.

Figura 5.

Plano con medidas reales diseñado en Inventor



A partir de este plano se pudo comenzar con el desarrollo del proyecto en físico tomando en cuenta que el tanque de llenado debe estar suspendido a una altura de 610mm para así poder recircular el fluido hasta el tanque de vaciado desde la parte de arriba del mismo.

Cálculos de NPSH y cavitación en la bomba.

A partir de los planos de diseño del módulo se pudo comenzar con el cálculo de NPSH o altura de aspiración de la bomba para así poder analizar si se produce el fenómeno de cavitación. Dado que el nivel más alto del agua en el tanque 1 se encuentra a unos 50cm de la bomba es necesario hacer estos cálculos y así saber si la bomba elegida es capaz de superar las pérdidas de carga y operar sin cavitación.

Para calcular el NPSH de la bomba primeramente se aplicó la fórmula de NPSH disponible

el cual es la diferencia de altura entre el nivel más alto del fluido y la entrada de succión de la bomba, se aplica la siguiente fórmula:

$$NPSH_{disp} = H_s + H_a - H_{vp} - H_f$$

Donde:

H_s = presión estática del fluido

H_a = altura respecto al nivel del fluido de la bomba

H_{vp} = presión de vapor

H_f = pérdidas de la tubería de succión

Desarrollo:

$H_s = 7.3$ (dado que la ciudad de Quito está a 2750msnm) tomado de *Tabla 24*.

$H_a = 0.5\text{m}$

$H_{vp} = 0.2388\text{mcda}$ (dado que se toma la temperatura ambiente del agua 20°) tomado de *Tabla 25*.

H_f = pérdidas debido a longitud de la tubería + pérdidas debido a codo de 90°

Pérdidas debido a la longitud de la tubería:

$$H_f = k \cdot Q^n$$

Donde:

k = coeficiente de resistencia a la fricción del agua

Q = caudal "0.0001m³/s"

n = coeficiente "2" de Darcy-Weisbach

Ecuación de Darcy-Weisbach:

$$k = \frac{0.08264 \cdot f \cdot L}{D^5}$$

Donde:

f = coeficiente de fricción

L = longitud de la tubería de succión

D = diámetro de la tubería

Desarrollo:

$$f = 0.00225$$

$$L = 0.26m$$

$$D = 0.0127m$$

$$k = \frac{0.08263 \cdot 0.0225 \cdot 0.26m}{(0.0127m)^5}$$

$$k = 1463103.38m$$

$$H_f = 1463103m \cdot \left(1 \cdot \frac{10^{-4}m^3}{s}\right)^2$$

$$H_f = 0.014m$$

Perdidas debido a codo de 90°:

En tubería de ½" se obtiene una pérdida de fricción de 0.3m por cada 100m de tubería tomado de *Tabla 26*.

Para calcular este valor con la longitud que se tiene por tubería de succión de 0.26m se hizo la siguiente regla de tres.

$$0.26m \text{ ----- } 100m$$

$$Xm \text{ ----- } 0.3m$$

$$Xm = \frac{0.3m \cdot 0.26m}{100m} = 7.8 \times 10^{-4}m$$

Teniendo estos valores se procedió con el cálculo de las perdidas por tubería de succión H_f .

$$H_f = 0.014 + 7.8 \cdot 10^{-4}m = 0.01478$$

Por consiguiente, se pudo realizar el cálculo del NPSH disponible

$$NPSH = 7.28m + 0.5m - 0.2388m_{cda} - 0.01478m = 7.52m$$

$$NPSH_{disponible} = 7.52m$$

Luego de esto se calculó un margen de error del 10% del NPSH disponible para así saber si es mayor al NPSH requerido y poder saber si se produce cavitación.

$$NPSH_{disp} = \frac{7.52m}{1.1} = 6.84m$$

Sabiendo que la altura de succión de la bomba utilizada para este proyecto es de 0.6m se pudo concluir que el NPSH disponible es mayor que el NPSH requerido por lo tanto no se produce el fenómeno de cavitación.

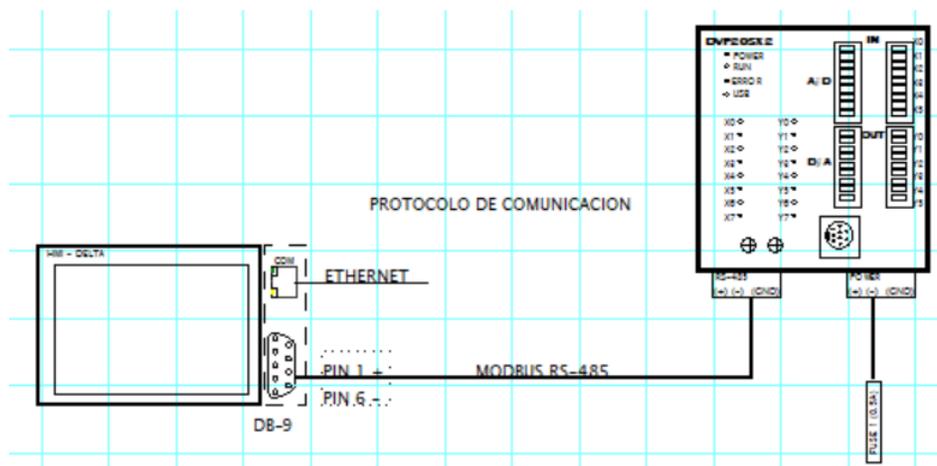
$$\frac{NPSH_{disp}}{6.84m} \geq \frac{NPSH_{req}}{0.6m}$$

Conexión física de PLC y HMI vía comunicación Modbus RS-485

Para la conexión física vía Modbus RS-485 del PLC al HMI se utilizaron los cables de comunicación de Modbus RS-485 desde el puerto DB-9 COM 2 del HMI hasta el puerto RS-485 del PLC además de un fusible de 0.5A a fuente como muestra en el siguiente diagrama eléctrico diseñado en el programa ProfiCad.

Figura 6.

Diagrama de comunicación entre PLC y HMI Modbus RS-485

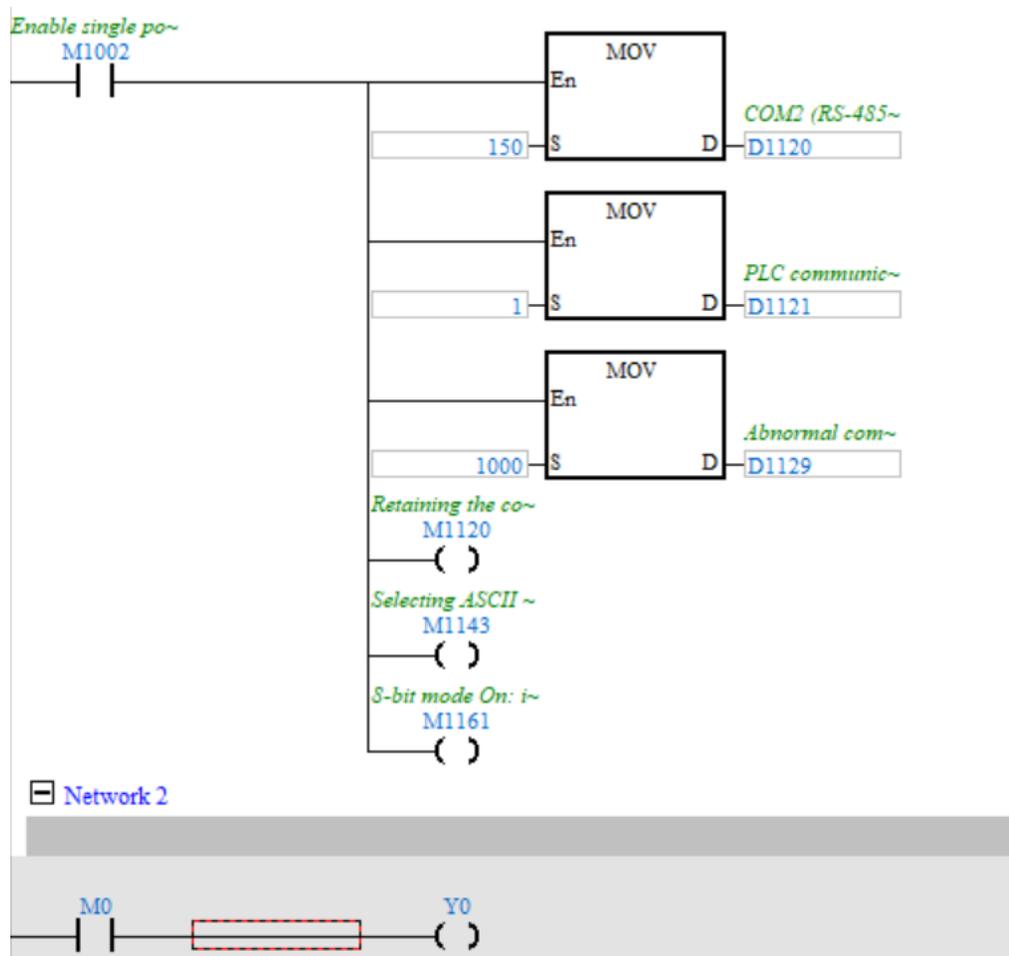


Comunicación desde PLC DVP20SX2 a HMI DOP Series

En primer lugar, se instalaron los softwares de programación para PLC y HMI Delta los cuales son ISPSOft 3.16 para PLC y DOPSOft 4.00.11 para el HMI desde los cuales se inicia la comunicación con el protocolo Modbus de estos.

Se creo y se cargó el siguiente programa en el software de programación ISPSOft, a la vez que se ajustaron los parámetros de comunicación del PLC, tales como velocidad de transmisión (baud rate) y el formato de datos.

Figura 7.
Programa comunicación Modbus RS-485 en ISPSOft



En este código se estableció la comunicación Modbus RS-485 desde el PLC al HMI en el cual se configuró el puerto para la comunicación, el tipo de comunicación, la velocidad de transmisión y número de bits del encendido, así como una entrada y una salida digital para poder encender y apagar un foco cambiando el estado de la entrada, por último, se compiló el programa para verificar que no haya errores en la programación.

Posteriormente se desarrolló el programa en el software DOPSoft para el HMI, se escogieron los parámetros de comunicación, así como el modelo del HMI que se está utilizando, así como se muestran en las siguientes figuras.

Figura 8.

Selección de HMI en DOPSoft

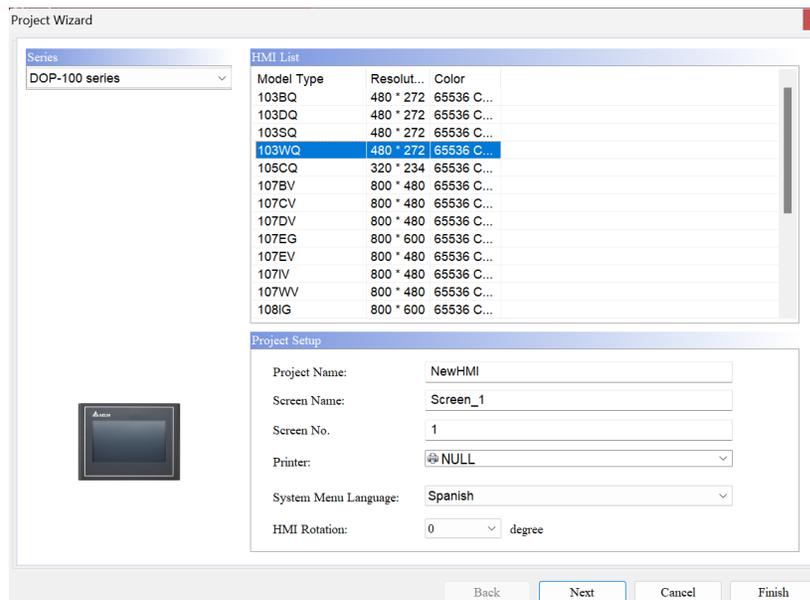
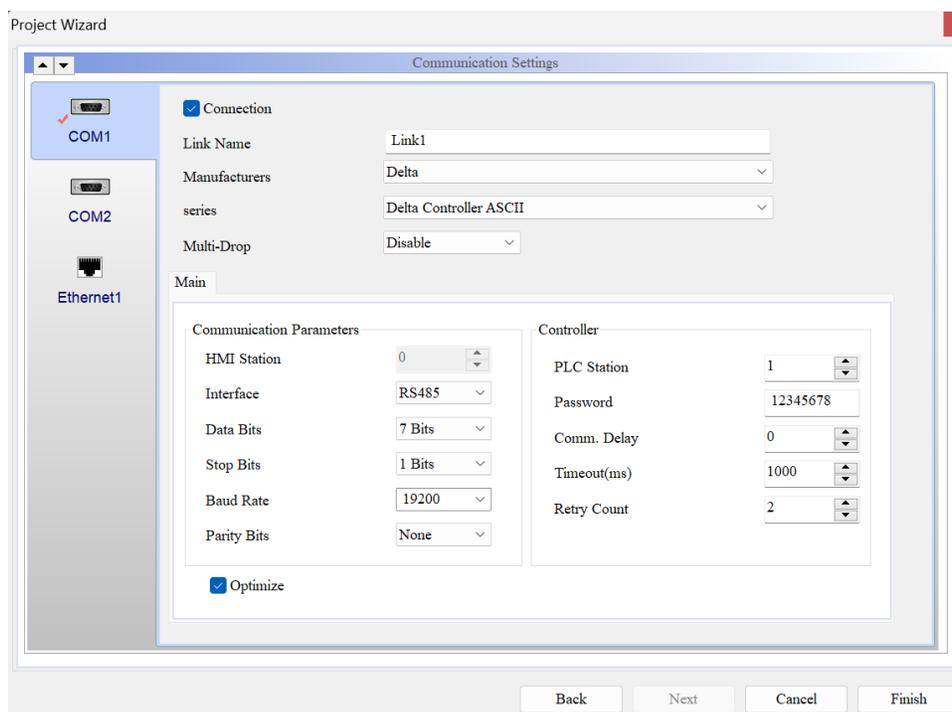


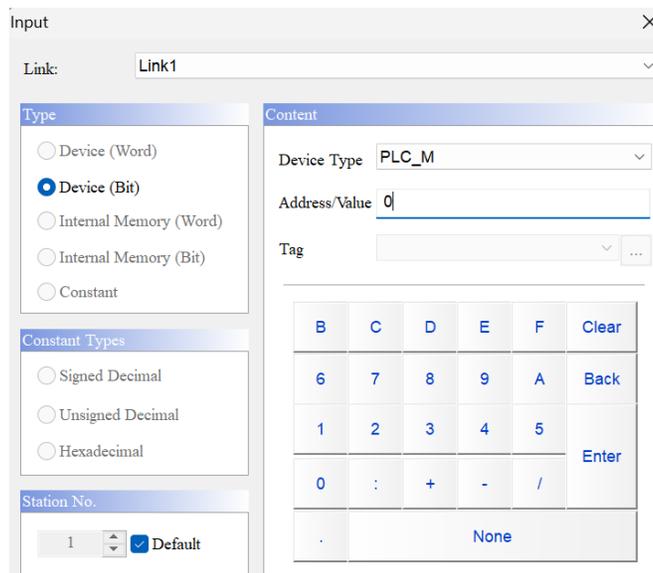
Figura 9.
Selección de tipo de comunicación de HMI y PLC en DOPSoft



Posteriormente se crean dos indicadores multi estado los cuales van a ser la entrada y salida del PLC y se asignan las mismas memorias que se asignaron en el PLC en el apartado de Address

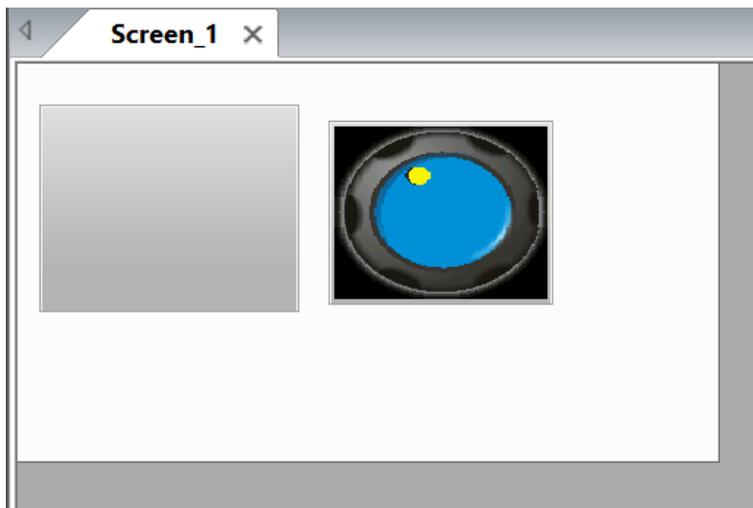
Value.

Figura 10.
Asignación de Variables en DOPSoft



Luego se le asignó la función de luz azul para cuando está encendido y luz roja cuando esta apagado al segundo indicador para que al presionar el primer indicador éste se encienda y se apague.

Figura 11.
Selección de graficas de interacción de HMI en DOPSoft



Por último, se compilaron los dos programas creados en ISPSOft y DOPSOft en los cuales se verificó primero el puerto COMMGR del PLC para poder entrar a modo en línea y poder subir los programas.

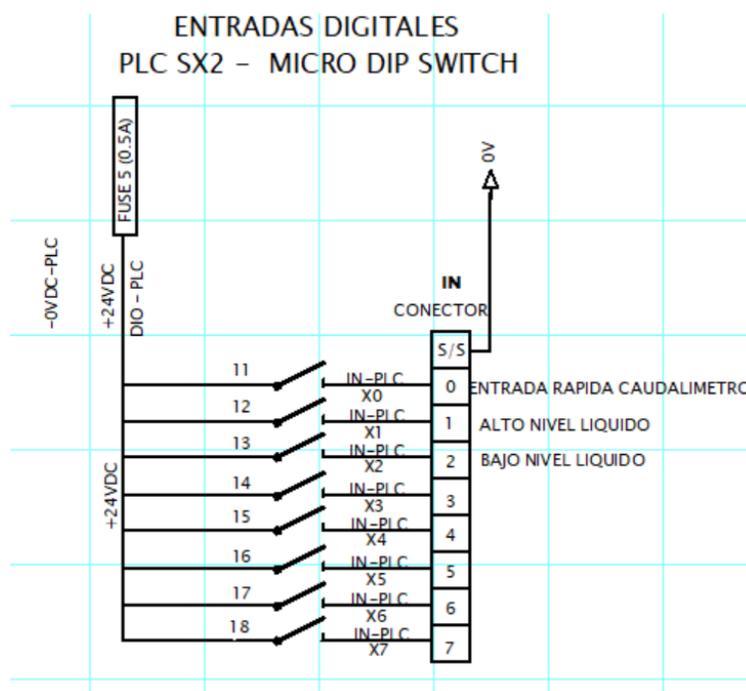
Conexión de sensores y actuadores al PLC

Para la conexión de los sensores y actuadores al controlador lógico programable primero se hicieron los siguientes diagramas electrónicos en el software ProfiCad para posteriormente saber cómo conectar a las entradas y salidas analógicas y digitales del PLC.

En el siguiente diagrama se muestran las entradas digitales las cuales envían la información al PLC, estas entradas son los sensores de nivel de líquido alto, bajo y caudalímetro que entrarían en X0, X1 y X2, todas estas entradas se conectaron a un fusible de 24VDC a 0.5A y posteriormente a la fuente de 24VDC.

Figura 12.

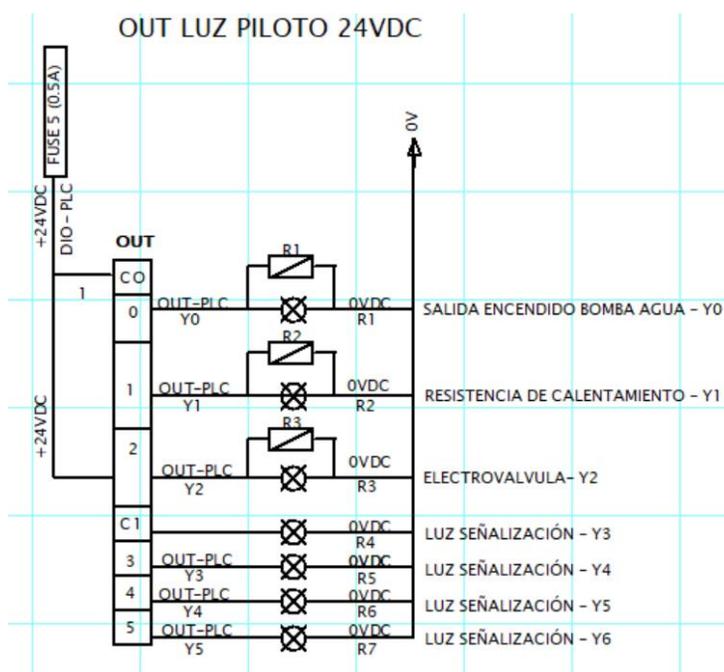
Diagrama de Entradas Digitales del PLC



Para las salidas digitales del PLC se diseñó el siguiente diagrama en el que, en este caso, las salidas a las que el PLC envía la información del programa son el encendido de la bomba, resistencia de calentamiento de agua y la electroválvula con sus respectivos relés y luces de señalización en las salidas Y3, Y4, Y5 y Y6.

Figura 13.

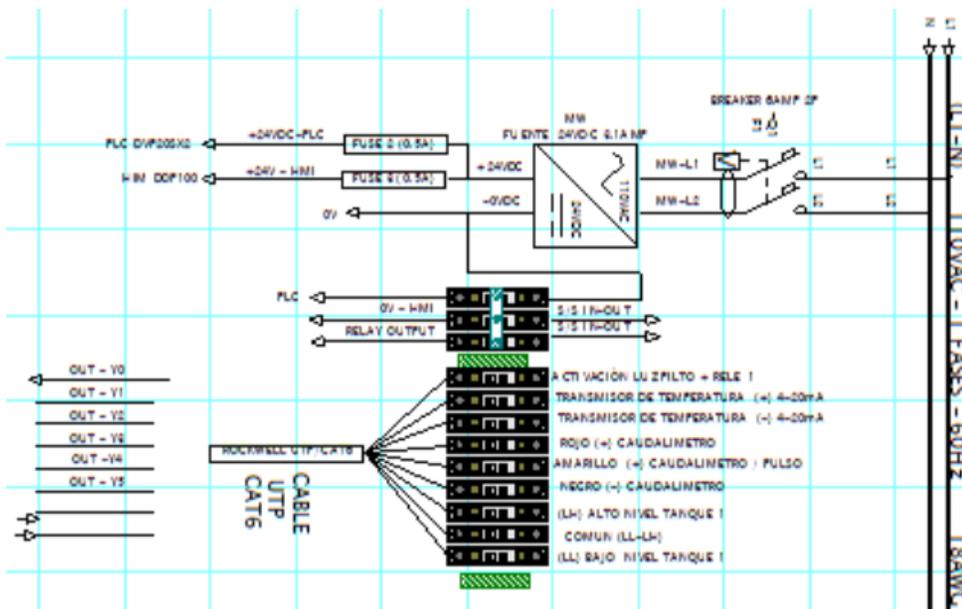
Diagrama de Salidas Digitales del PLC



En el siguiente diagrama se muestran las conexiones desde las borneras de unión en las cuales se conectan todos los sensores y actuadores utilizados hasta la fuente de 24VDC y 3.1A que está conectada a un breaker de 6ª y esta fuente se conecta a los 110VAC de los tomacorrientes convencionales, además del PLC y el HMI con sus respectivos fusibles de 24V a 0.5A.

Figura 14.

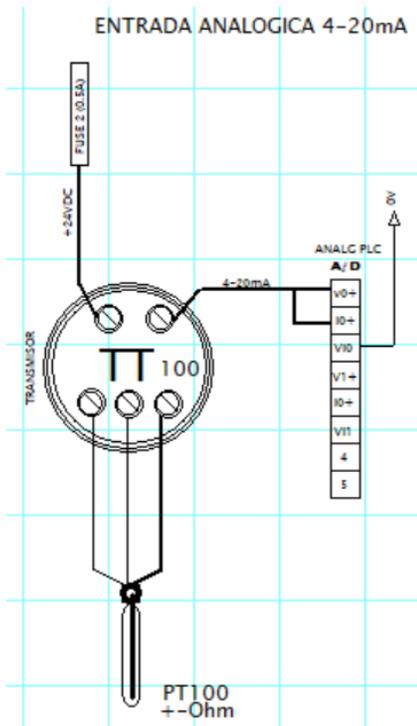
Diagrama de borneras de control para riel DIN



Por último, se diseñó el diagrama para la única entrada analógica la cual es la entrada de información desde el sensor de temperatura PT 100 hasta el PLC el cual al igual se conecta a través de un fusible de 0.5A hasta la fuente de 24VDC.

Figura 15.

Diagrama de entrada analógica de transmisor de temperatura



Una vez habiendo obtenido todos los diagramas de conexiones electrónicas con entradas y salidas del PLC además de conexiones a fuente mediante fusibles y relés y puesta a tierra se pudo comenzar con las conexiones del módulo en físico siguiendo igualmente como referencia el módulo diseñado previamente en software Inventor Professional comenzando por las conexiones de PLC y HMI incluyendo los fusibles, breaker y relés para los respectivos sensores y actuadores, tomando las medidas reales que se hicieron en Inventor.

Programación de PLC y HMI

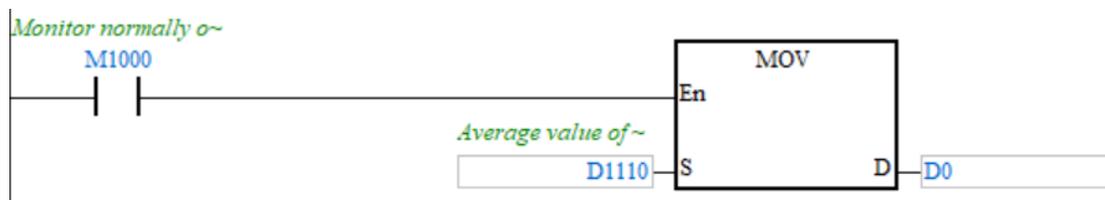
Para el código de programación que se utilizó en el PLC se realizó mediante el lenguaje de comunicación Ladder el cual es ampliamente utilizado en la programación de controladores lógicos programables en la industria. Este lenguaje se emplea para representar esquemáticamente los circuitos de relés que tradicionalmente se utilizan en el control de procesos.

Programación en ISPSOft de Sensor de temperatura PT100

Se comenzó por la programación del PLC en software ISPSOft en el cual primeramente se crea un direccionamiento de variables con un contacto normalmente abierto en una memoria M1000 la cual se queda siempre activada cuando el PLC está en modo run y un MOV con la variable de direccionamiento de temperatura D1110 en S donde se digita el valor de entrada, en la cual se lee la entrega analógica de la temperatura en el canal 1 del PLC y posteriormente el valor de 1110 se mueve a una variable D0 la cual es la variable de salida para poder utilizar la variable D0 en la siguiente línea de programación.

Figura 16.

Red de programación 1



En la siguiente línea de programación se hace un escalamiento de señal analógica para el sensor de temperatura en el que se convierte la medida física detectada por el sensor a un valor digital o binario compatible con el PLC, para esto se utilizó la ecuación de la recta de la temperatura para escalar el dato físico en dato binario para los bits de programación. Se utilizó la siguiente formula en la programación del sensor de temperatura.

$$y = m \cdot x - b$$

y= pendiente (0°C-100°C)

m= constante (valor de multiplicación a escalar)

x= valor de variable del PLC D1110

b= nivel de resistencia según temperatura

De los cuales se tienen dos puntos p1 y p2 los cuales muestran el nivel de ohmios según la temperatura del agua.

P1= (0 °C, 125.6Ω) tomado de tabla 27

P1= (100 °C, 138.5Ω) tomado de tabla 27

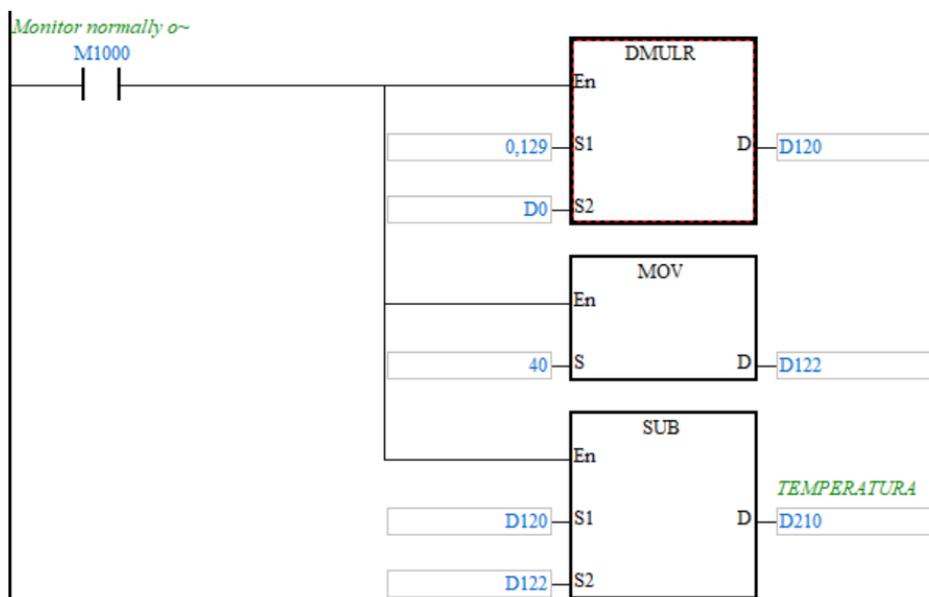
Reemplazando valores:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{138,5 - 125.6}{100 - 0} = 0.129$$

Este valor de pendiente se reemplaza en la red de programación del PLC.

Figura 17.
Red de programación 2



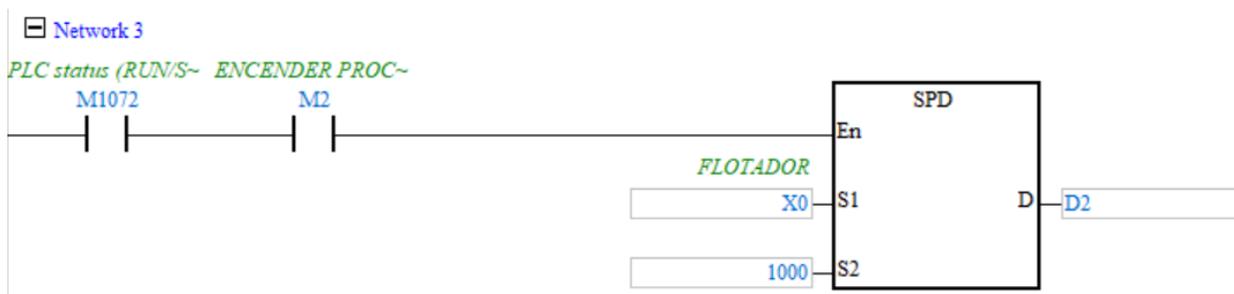
En esta línea de programación se hizo la multiplicación mediante un DMULR en el cual se multiplica el valor de la entrada S1 por el valor de la entrada D0 para obtener un valor de salida D120 y posteriormente se resta con un MOV el valor de la salida D122 menos un valor de entrada de 40. Con un SUB se obtiene el valor de la resta de las variables de entrada D120 y D122 obteniendo como respuesta de la temperatura en la variable D210.

Programación en ISPSOft de Sensores flotadores de nivel del tanque

En la siguiente línea de programación se programaron las entradas digitales de los sensores de nivel alto y nivel bajo para lo cual se creó un contacto normalmente abierto en una memoria M1072 para que el sensor se encienda cuando este en modo run y una memoria M2 para que posteriormente sea leída en la siguiente línea de programación, además se añadió un SPD a la entrada X0 y a la entrada 1000 con una salida D2.

Figura 18.

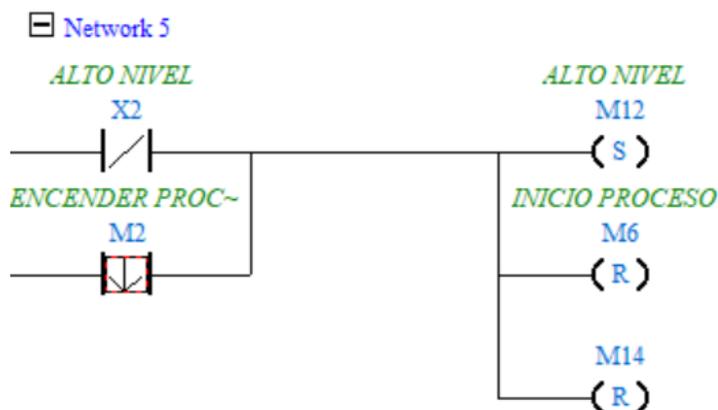
Red de programación 3



Posterior a esto se creó un contacto normalmente abierto para el sensor de nivel bajo con la variable X1 la cual es la entrada digital del PLC y una bobina con salida a la memoria M10. También se creó un contacto normalmente cerrado para la entrada del sensor de nivel alto con variable X2 esto y una bobina con un set en la memoria M12, un reset en la memoria M6 y en la memoria M7. Este código hará que el sensor de nivel alto se encienda cuando el agua llegue a él y así poder apagar la bomba cuando este se active.

Figura 19.

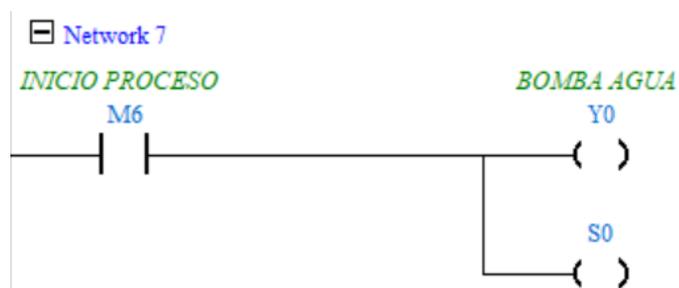
Red de programación 5



Programación en ISPSOft de encendido de la Bomba

En la siguiente línea de programación se creó un contacto normalmente abierto para la memoria M6 y una bobina a la salida Y0 y S0. esto para que la bomba se pueda encender mediante la salida Y0.

Figura 20.
Red de programación 7



Por consiguiente, se programó un temporizador con la entrada de tiempo T0 en un tiempo de 2000 milisegundos, este sensor será utilizado para el llenado y vaciado de un tanque a otro en el tiempo establecido y así saber cuánta agua ha pasado por los mismos.

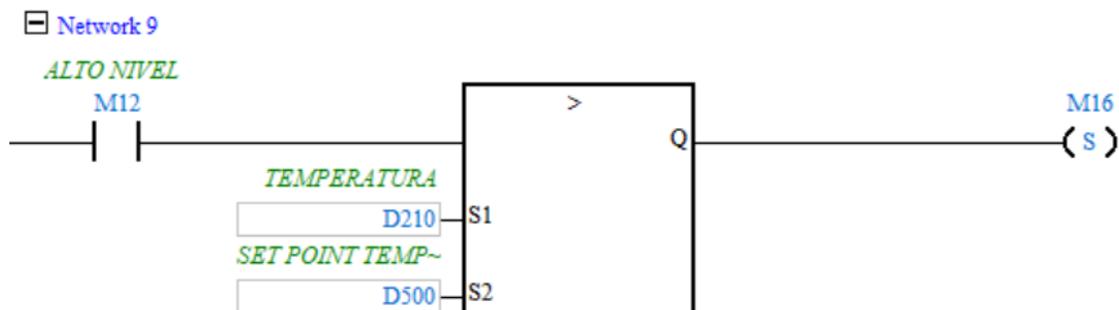
Figura 21.
Red de programación 8



Programación en ISPSOft de Calentador Eléctrico

En la red 9 se inició a programar la resistencia para calentamiento de agua la cual se enciende cuando la memoria M12 esta encendida la cual es el nivel alto del tanque, además se seteó para que esta siga encendida hasta que la temperatura del tanque sea mayor a la temperatura seteada en el HMI con un set point D500 y la variable de entrada D210 la cual es la variable de la salida del valor de temperatura programado en la red 2.

Figura 22.
Red de programación 9

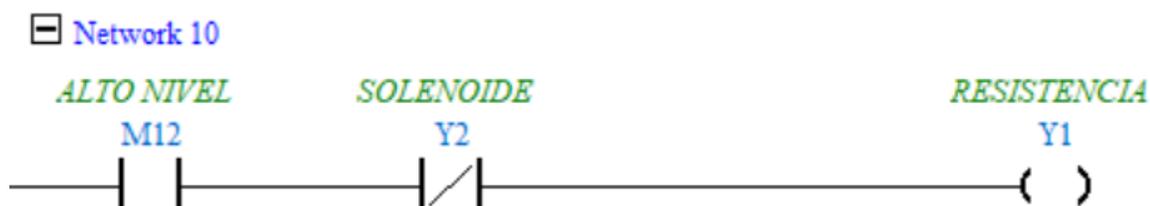


Programación en ISPSOft de electroválvula

En la red 10 se programó la memoria 12 del sensor de nivel alto para que la salida Y2 en la cual se conectó la electroválvula, esté cerrada cuando la salida Y1 de la resistencia siga encendida.

Figura 23.

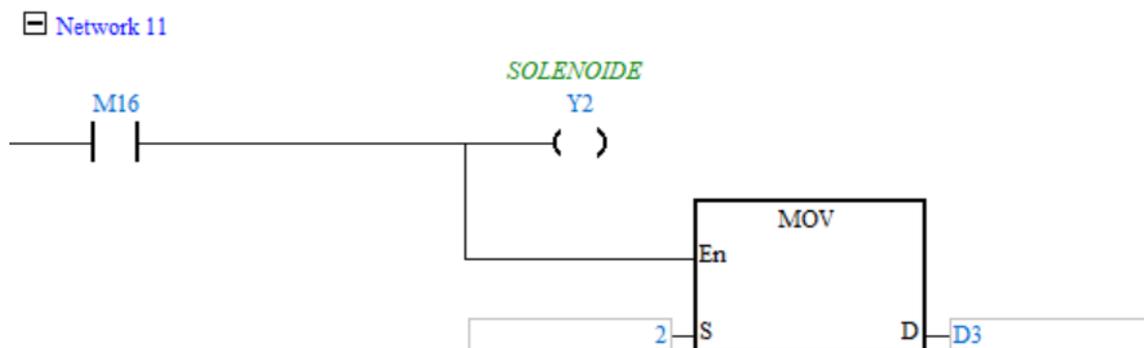
Red de programación 10



En la siguiente red se agregó un contacto normalmente abierto con la memoria M16 para que cuando el agua llegue a la temperatura deseada esta encienda al solenoide en la salida Y2 que se agrega con una bobina y un MOV con entrada S2 y salida D3.

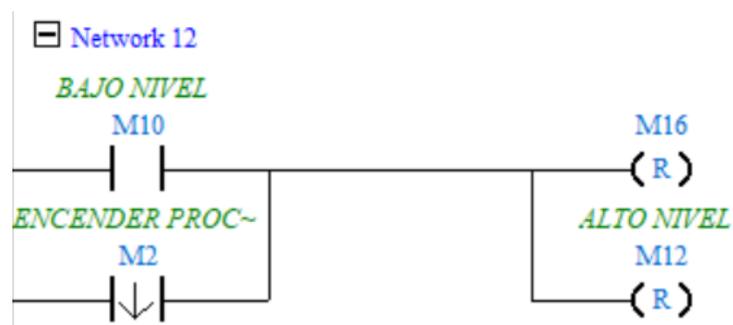
Figura 24.

Red de programación 11



Para la última red de programación se agregó un contacto normalmente abierto para la memoria M10 la cual es la del nivel bajo del tanque para que cuando se apague esta de la misma forma apague a la memoria M16 del solenoide con un reset.

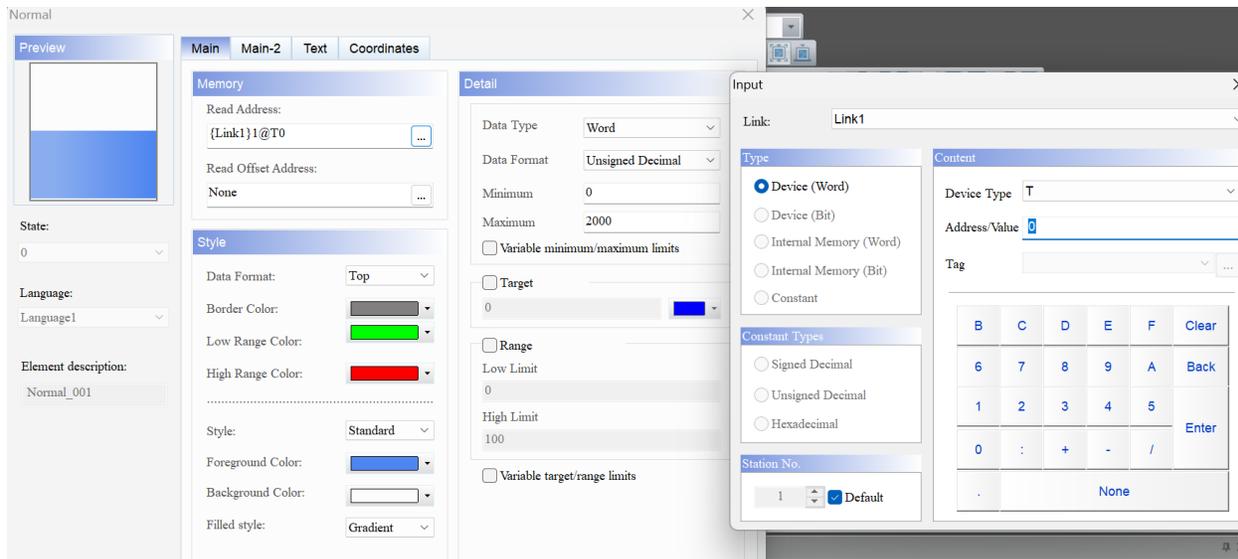
Figura 25.
Red de programación 12



Programación del HMI en DOPSoft

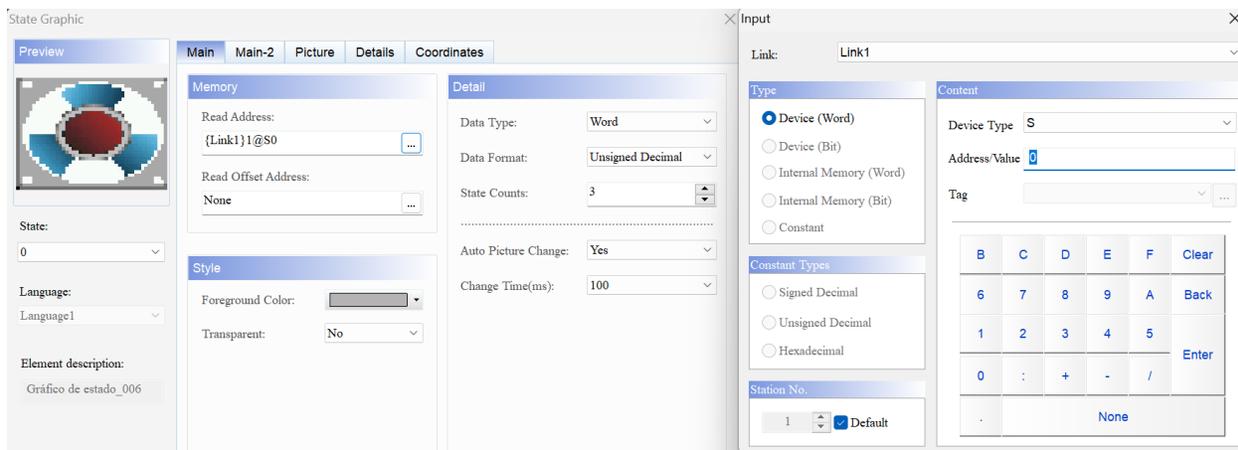
Para la siguiente programación primero se colocaron los tanques conectados por dos tuberías, una de llenado y otra de vaciado en los cuales se les asignan las variables de T0 que se utilizaron para la programación en ISPSOft para el llenado de los tanques agregando un tiempo máximo de 2000 milisegundos y un mínimo de 0.

Figura 26.
Asignación de variables de temporizadores de tanques en HMI.



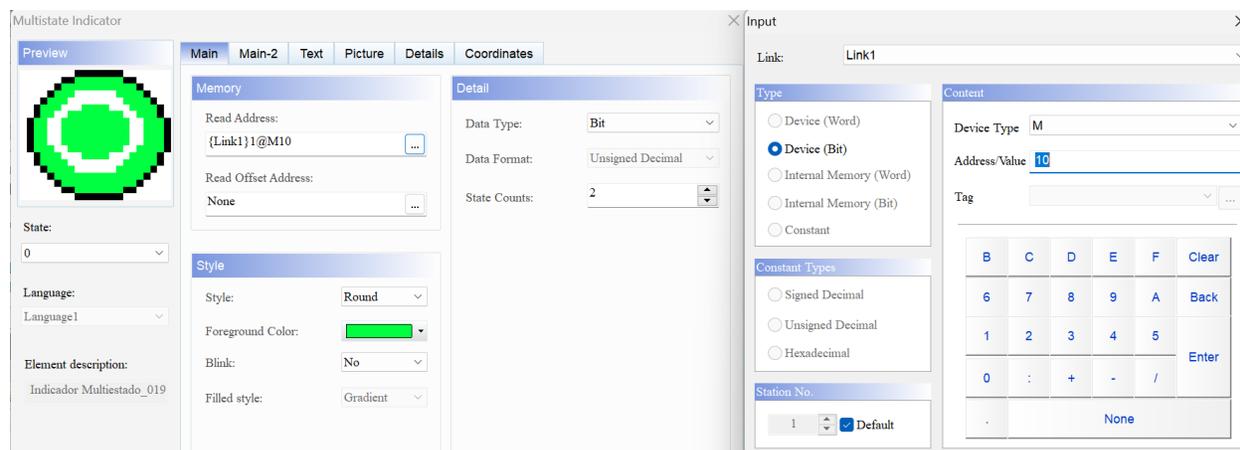
De la misma forma se agregó un totalizador el cual es el marcador de caudal en ml con la variable asignada anteriormente en ISPSOft la cual es S0, además se le asigna una cuenta de estado 3 y un cambio de tiempo de 100 milisegundos. Como se muestra en la siguiente figura.

Figura 27.
Asignación de variables de caudalímetro en HMI.



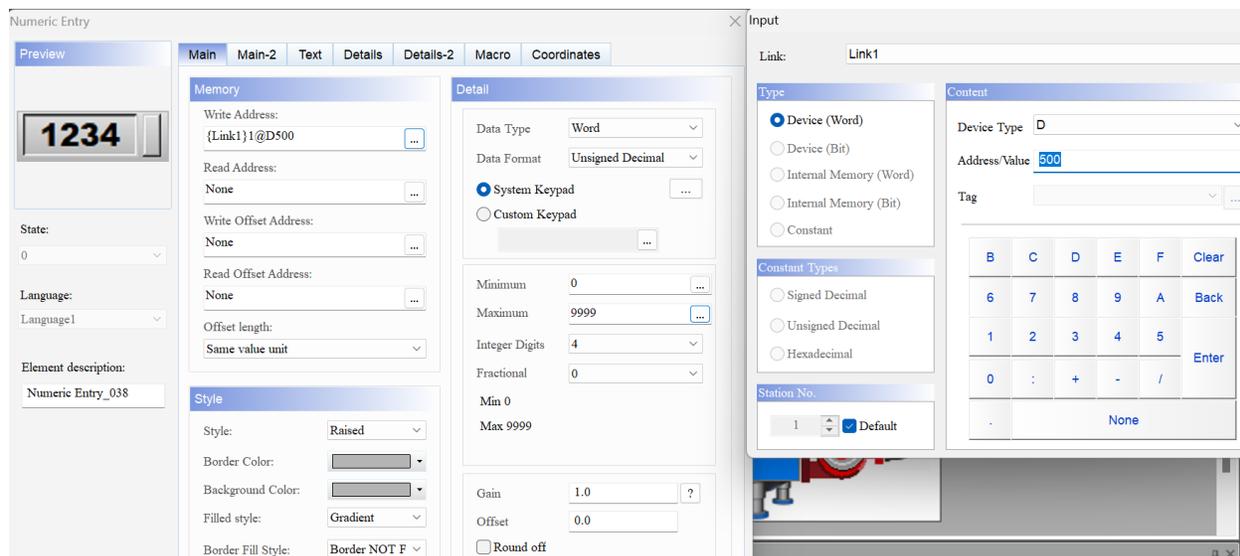
Se agregaron los dos sensores de nivel alto y bajo, para los cuales se configuraron las memorias M10 y M12 que son las que se establecieron anteriormente en ISPSOft para que así se lean los bits de encendido o apagado del sensor de nivel.

Figura 28.
Asignación de variables de sensor de nivel en HMI.



Posterior a esto se creó un teclado para poder controlar a que temperatura se quiere que llegue el agua mediante el calentador eléctrico asignándole la variable D500 para que así cuando se llegue a la temperatura deseada este mismo calentador se apague y permita el encendido de la electroválvula.

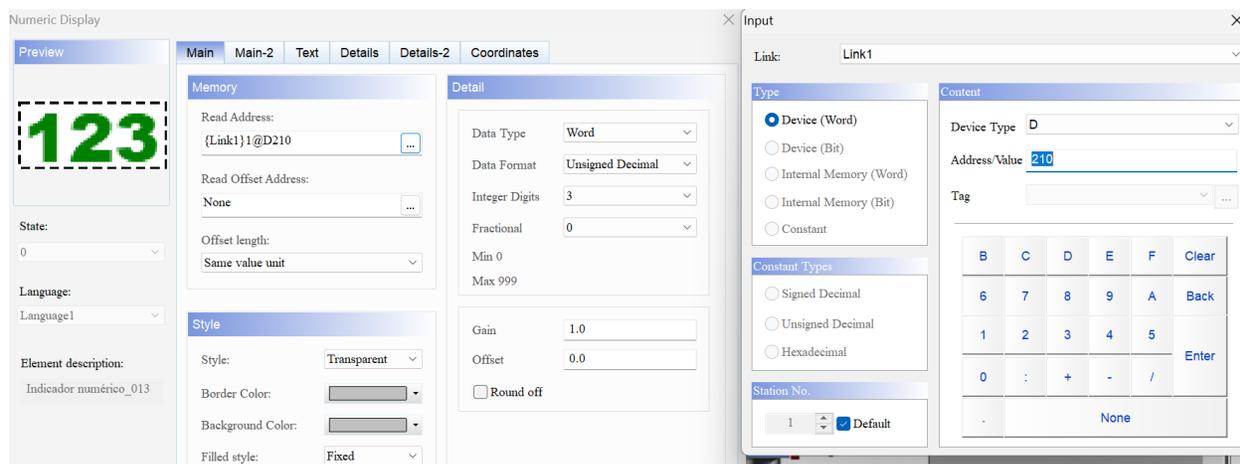
Figura 29.
Asignación de variables de calentador eléctrico en HMI.



Se agregó un indicador numérico para que se refleje el valor de la temperatura de la

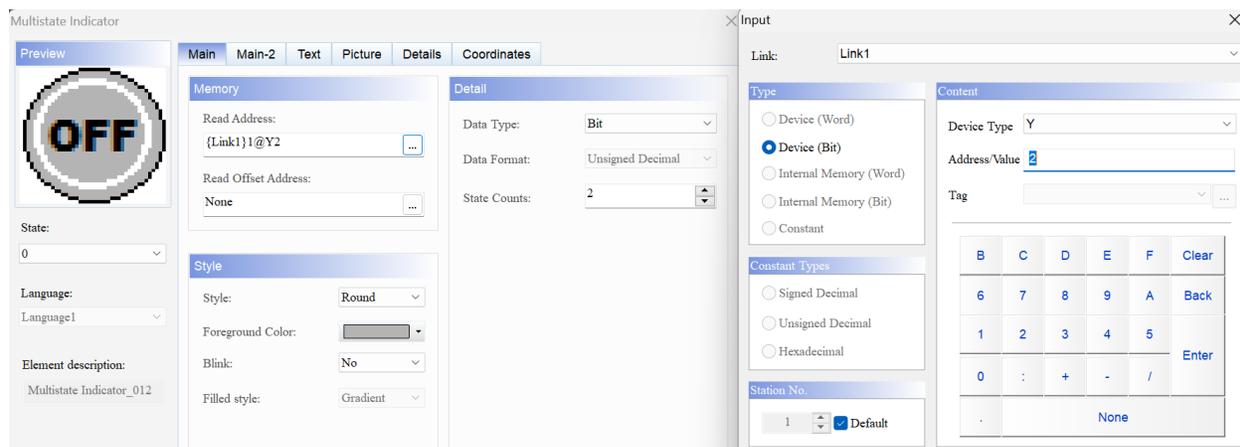
memoria D210 del sensor PT100 y así poder observar a que temperatura está el agua dentro del tanque y así ver como sube cuando se enciende el calentador eléctrico.

Figura 30.
Asignación de variables de sensor de temperatura en HMI.



Luego fue añadido un indicador de encendido y apagado con su dirección de lectura en la salida Y2 la cual es la salida de la electroválvula y así saber cuándo esta está apagada o encendida desde el HMI.

Figura 31.
Asignación de variables encendido y apagado electroválvula en HMI.

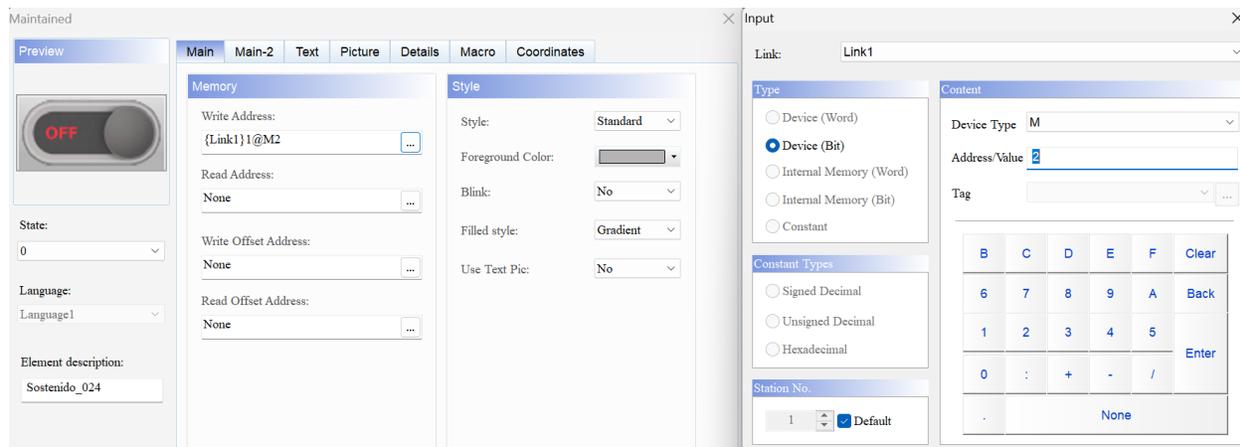


Por último, se agregó un switch de encendido y apagado para la bomba en el cual igualmente se agregó su valor de lectura en la memoria M2 para así poder encender y apagar la

bomba desde el mismo.

Figura 32.

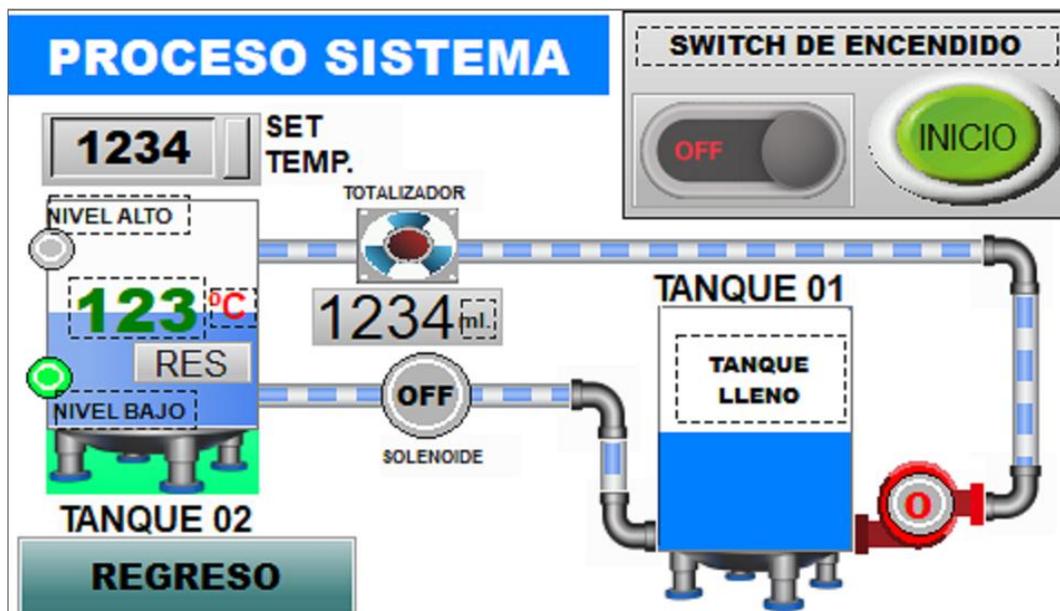
Asignación de variables encendido y apagado bomba en HMI.



Una vez habiendo agregado todos los sensores y actuadores al monitor, se agregaron textos de información de cada sensor y actuador, así como también de los tanques y un título para el monitor creado.

Figura 33.

Monitor HMI completado.



Estos códigos fueron usados para comprobar el funcionamiento correcto del módulo y de esta manera poder comenzar con las prácticas de laboratorio destinadas para este proyecto y así poder reforzar el conocimiento de los estudiantes y capacitarlos para que puedan dominar el uso de estas tecnologías.

Control y monitoreo de pantalla HMI desde dispositivo móvil con VNC Viewer

VNC Viewer es una aplicación de software que habilita a los usuarios para supervisar y controlar interfaces HMI (Interfaz Hombre-Máquina) desde una computadora o dispositivo móvil. Según Rockwell Automation (2018) el funcionamiento de VNC Viewer se basa en la utilización del protocolo RFB (Remote Frame Buffer) para transferir datos de píxeles de pantalla de una computadora a otra mediante una red, enviando eventos de control en respuesta.

En relación con su compatibilidad con redes industriales, VNC Viewer puede emplearse para acceder a interfaces HMI en dicho entorno. No obstante, es fundamental tener en cuenta que la seguridad es una preocupación primordial al utilizar VNC Viewer en redes industriales, por lo que se deben implementar las medidas adecuadas para proteger la red y los dispositivos conectados.

Por otro lado, según Laumayer (2021) para conectar VNC Viewer a un teléfono móvil o a una serie HMI DOP, es necesario descargar e instalar VNC Viewer en el dispositivo móvil, así como VNC Server en la computadora que está vinculada a la serie HMI DOP que se desea controlar. Una vez completada la instalación de ambos programas, es necesario configurar el servidor VNC en la computadora para permitir el acceso remoto.

Posteriormente, se debe abrir un visor VNC en el dispositivo móvil, ingresar la dirección IP de la computadora donde está instalado el servidor VNC y hacer clic en Conectar para establecer

una nueva conexión.

Finalmente, si es necesario, se deben ingresar los datos de inicio de sesión de la computadora. De este modo, se habilita la visualización y el control de la interfaz HMI de la serie HMI DOP desde el dispositivo móvil.

Figura 34.

Control y monitoreo de HMI desde dispositivo móvil.



Prácticas de laboratorio con estudiantes

En el siguiente apartado se desarrollaron 5 prácticas de laboratorio en las cuales se puede comprender el uso de las memorias, entradas y salidas digitales y analógicas, contadores y timers del PLC, además de la programación de un HMI donde se le asignan sus respectivas variables y cómo funciona una red industrial de comunicación Modbus RS-485, para establecer la comunicación del PLC al HMI. Estas prácticas han sido tomadas en cuenta según su nivel de complejidad en el cual en cada practica se aprende sobre un nuevo elemento ya sea sensor o actuador y sobre cómo es su funcionalidad a través del PLC y el HMI.

Tabla 1.

Contenido de prácticas de laboratorio

Práctica de Laboratorio	Duración Estimada	Contenidos
Primera práctica	2 horas	Control industrial utilizando PLC y HMI de una bomba y electroválvula. Programación del PLC para encender y apagar la bomba mediante pulsadores en el HMI. Implementación de un sistema de temporización. Uso de un contador para limitar el número de veces que la bomba puede ser encendida.
Segunda práctica	1.5 horas	Uso de un sensor flotador de nivel para controlar el nivel de agua en el tanque. El PLC actúa en función de las señales del sensor de nivel para mantener un nivel constante de agua en el tanque.

Tercera práctica	1.5 horas	Integración de un sensor de temperatura PT100 para medir y visualizar la temperatura del tanque en tiempo real en el HMI. Programación del PLC para controlar la electroválvula en función de la temperatura.
Cuarta práctica	2 horas	Incorporación de un sensor de caudal FS400A para medir la velocidad del flujo de agua en el tanque. Monitoreo en tiempo real del caudal de agua en el HMI.
Quinta práctica	2.5 horas	Uso de dos sensores de nivel flotadores para controlar los niveles bajo y alto de agua en el tanque. Programación del PLC para controlar la bomba y la resistencia eléctrica de calentamiento de agua. Monitoreo del nivel, la temperatura y el caudal en el HMI.

La tabla 10 detalla las prácticas de laboratorio que se centran en el control industrial mediante el uso de PLC y HMI. Estas prácticas varían en duración y contenido, abordando aspectos como la programación de PLC, el control de sensores de nivel y temperatura, la medición del caudal de agua y el monitoreo en tiempo real. Cada práctica ofrece a los estudiantes la oportunidad de adquirir habilidades prácticas y conocimientos esenciales en el campo de la automatización industrial, permitiéndoles aplicar conceptos teóricos en entornos prácticos y aplicados.

A través de estas cinco prácticas de laboratorio se ha podido abordar diversos aspectos relacionados con el control industrial utilizando PLCs, HMI y los diferentes sensores y actuadores para el control de un sistema hidráulico. A continuación, se explicará los principales aprendizajes obtenidos a lo largo de estas prácticas:

Tabla 2.
Aprendizajes obtenidos a través de prácticas de laboratorio

Práctica de Laboratorio	Aprendizajes
Práctica 1	Programación del PLC para encender y apagar una bomba mediante pulsadores del HMI.
	Implementación del control de una electroválvula utilizando otros pulsadores del HMI
	Uso de temporizadores y contadores para controlar los tiempos de encendido y apagado de la bomba.
Práctica 2	Incorporación de sensores flotadores de nivel para controlar el nivel del agua en el tanque.
	Interpretación de las señales del sensor en el PLC para controlar la electroválvula.
Práctica 3	Interpretación de señales analógicas del sensor PT100 hacia el PLC.
	Visualización de la temperatura y el caudal del agua en el HMI para un monitoreo completo del sistema.
Práctica 4	Uso del sensor de caudal FS400A para medir el flujo de agua en el sistema.
	Monitoreo y control del nivel de agua utilizando sensores de nivel flotadores.
	Visualización de la temperatura y el caudal del agua en el HMI para un monitoreo completo del sistema.
Práctica 5	Reforzamiento del control de nivel utilizando sensores de nivel alto y bajo.
	Monitoreo y control de la temperatura del agua utilizando el sensor PT100.

	Establecimiento de una temperatura deseada y control de la activación de la electroválvula al alcanzar esa temperatura.
--	---

A lo largo de estas prácticas de laboratorio, se aprendió a programar PLCs, configurar HMI y utilizar diversos sensores y actuadores para el control de nivel, temperatura y caudal del agua en sistemas industriales adquiriendo habilidades en la programación de PLC, la integración de sensores y la visualización de datos en HMI. Estos conocimientos han ayudado a los estudiantes a prepararse para afrontar desafíos más complejos en el campo del control industrial y les han brindado una base sólida para futuros proyectos.

Encuesta de satisfacción

A partir de las cinco prácticas de laboratorio hechas con los estudiantes de 6to y 8vo semestre de la carrera de Mecatrónica de la UNIVERSIDAD PARTICULAR INTERNACIONAL SEK se hizo una encuesta para valorar el nivel de destreza y habilidades adquiridas, además de una serie de preguntas para los 12 estudiantes que participaron en las prácticas de laboratorio hechas con el módulo didáctico diseñado en el presente proyecto de titulación.

En la tabla 12 se prueba el nivel de aprendizaje que obtuvieron los estudiantes a partir de las prácticas de laboratorio desarrolladas con el módulo didáctico. tomando en cuenta una escala de calificación numérica del 1 al 5 para que así los estudiantes puedan evaluar su nivel de dominio en estas diferentes áreas.

1 = nivel de aprendizaje bajo

2 = nivel de aprendizaje bajo moderado

3 = nivel de aprendizaje promedio

4 = nivel de aprendizaje alto moderado

5 = nivel de aprendizaje alto

Tabla 3.

Encuesta de destrezas y habilidades adquiridas con las 5 prácticas de laboratorio

Encuesta de habilidades y destrezas obtenidas					
Destrezas y habilidades	1	2	3	4	5
¿En qué medida los estudiantes reforzaron su conocimiento en PLC?				16.7%	93.3%
¿Qué impacto tuvieron las prácticas de laboratorio en el refuerzo del conocimiento en configuración de HMI?				25%	75%
Conocimiento en la integración y configuración de sensores				25%	75%
Habilidad para controlar y monitorear el nivel de agua				16.7%	83.3%
Competencia en el control de la temperatura del agua				25%	75%
Capacidad para medir el caudal de agua				8.3%	91.7%
Habilidad para interpretar y utilizar datos en tiempo real				16.7%	83.3%
Dominio en la implementación de temporizadores y contadores				25%	75%
Competencia en la visualización y establecimiento de parámetros				8.3%	91.7%

¿En qué medida se reforzó su conocimiento en configuración de redes industriales?			8.3%	8.3%	83.3%
Conocimiento general en el control industrial				33.3%	66.7%

En la tabla 12 se proporciona una evaluación cuantitativa de cómo las prácticas de laboratorio han contribuido al desarrollo de habilidades y conocimientos en áreas específicas, como el control de PLC, configuración de HMI, uso de sensores, control de variables como el nivel y la temperatura del agua, implementación de temporizadores y contadores, configuración de redes industriales y conocimiento general en el campo del control industrial. Los porcentajes indican el grado de éxito en el refuerzo de estas habilidades y conocimientos.

Por consiguiente, se formó las siguientes tablas en donde se muestra la frecuencia y los porcentajes de aprendizaje adquiridos por los estudiantes, para una clara visualización de los resultados obtenidos se realizaron también diagramas de barras.

Tabla 4.
Porcentaje pregunta 1

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	2	16,7%
alta	10	83,3%
TOTAL	12	100%

Figura 35.
Dominio en la programación de PLC.

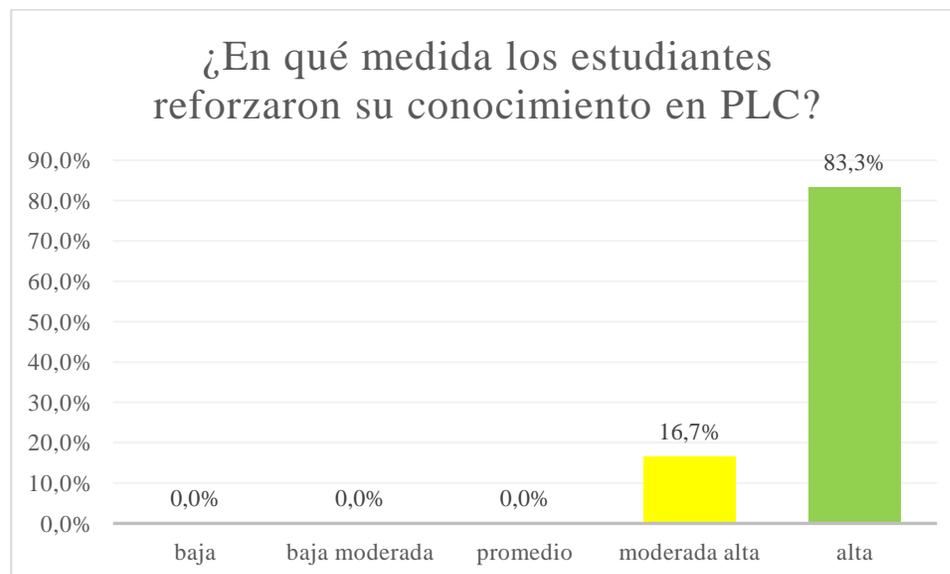


Tabla 5.
Porcentaje pregunta 2

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	3	25,0%
alta	9	75,0%
TOTAL	12	100%

Figura 36.
Capacidad para configurar y utilizar HMI.

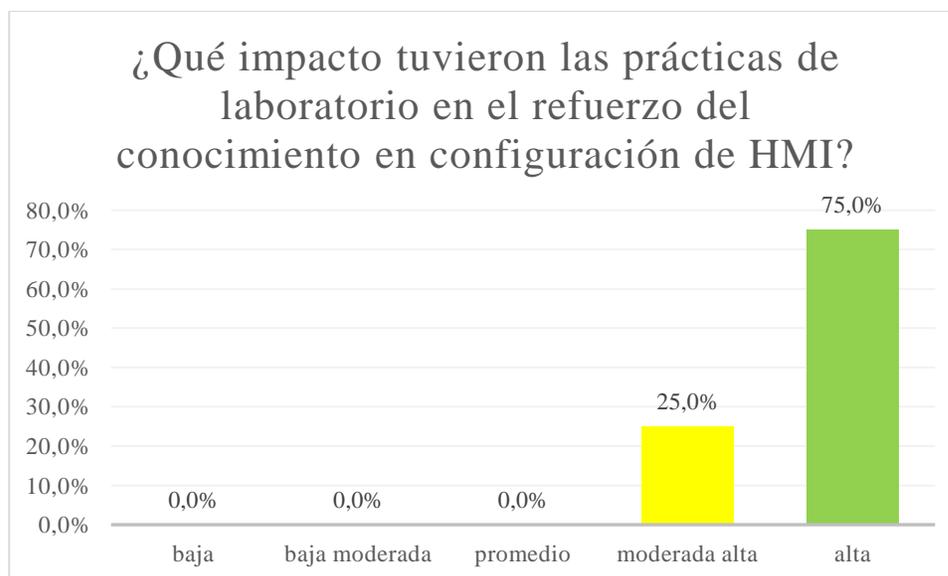


Tabla 6.
Porcentaje pregunta 3

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	3	25,0%
alta	9	75,0%
TOTAL	12	100%

Figura 37.
Conocimiento en la integración y configuración de sensores.

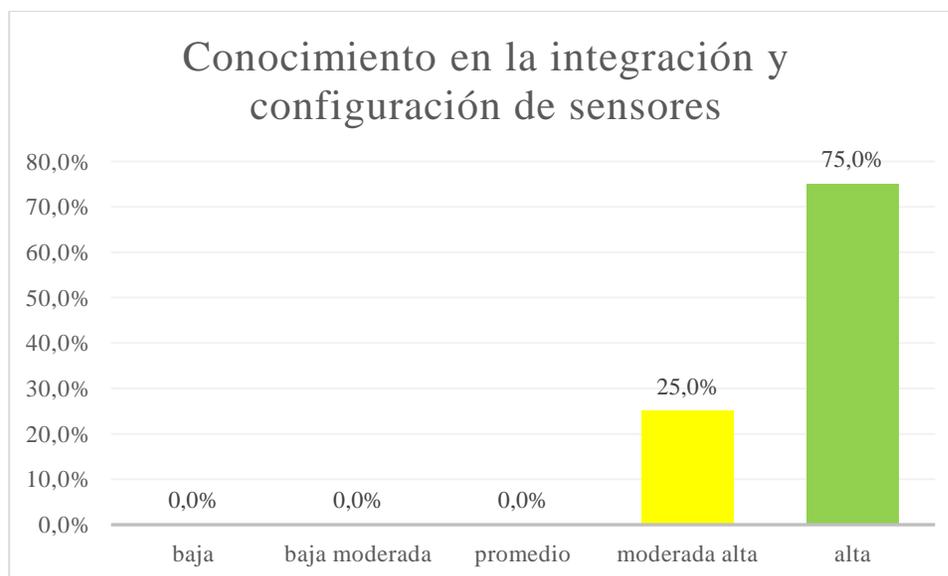


Tabla 7.
Porcentaje pregunta 4

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	2	16,7%
alta	10	83,3%
TOTAL	12	100%

Figura 38.
Habilidad para controlar y monitorear el nivel de agua.

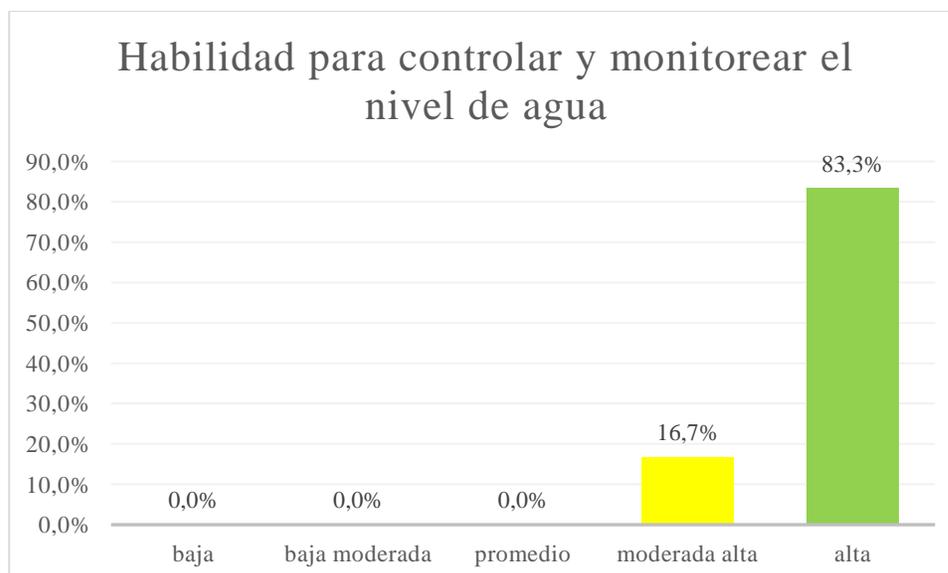


Tabla 8.
Porcentaje pregunta 5

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	3	25,0%
alta	9	75,0%
TOTAL	12	100%

Figura 39.
Competencia en el control de la temperatura del agua.

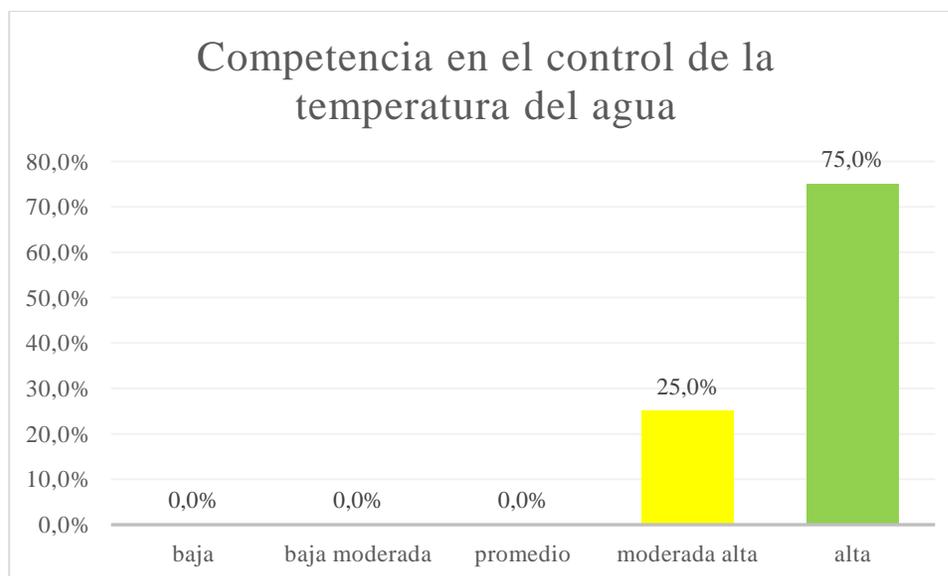


Tabla 9.
Porcentaje pregunta 6

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	1	8,3%
alta	11	91,7%
TOTAL	12	100%

Figura 40.
Capacidad para medir el caudal de agua.

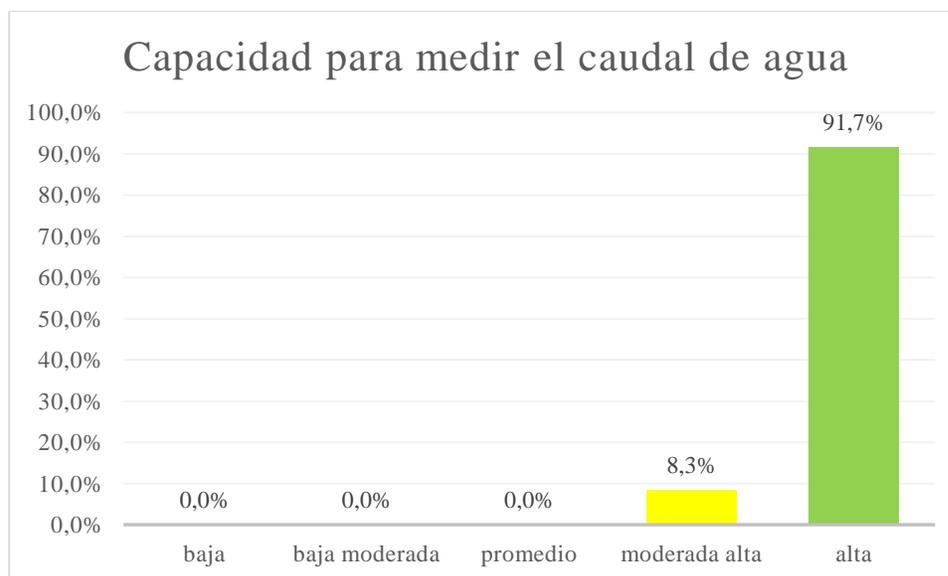


Tabla 10.
Porcentaje pregunta 7

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	2	16,7%
alta	10	83,3%
TOTAL	12	100%

Figura 41.
Habilidad para interpretar y utilizar datos en tiempo real.

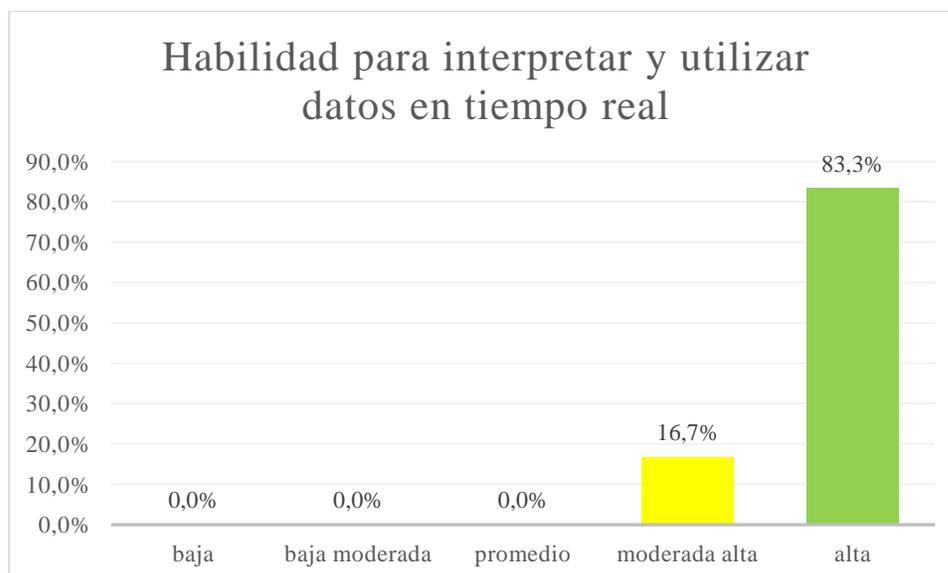


Tabla 11.
Porcentaje pregunta 8

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	3	25,0%
alta	9	75,0%
TOTAL	12	100%

Figura 42.
Dominio en la interpretación de temporizadores y contadores.

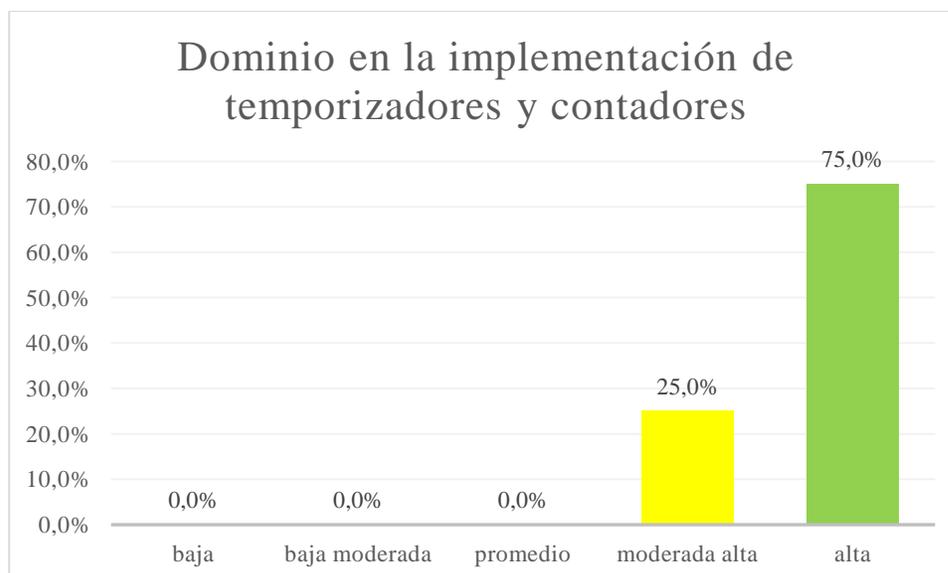


Tabla 12.
Porcentaje pregunta 9

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	1	8,3%
alta	11	91,7%
TOTAL	12	100%

Figura 43.
Competencia en la visualización y establecimiento de parámetros.

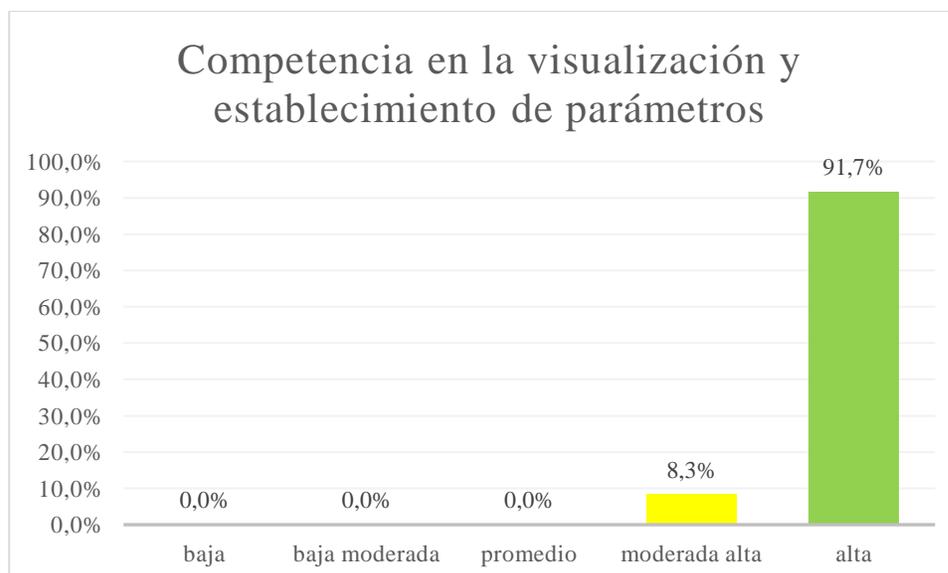


Tabla 13.
Porcentaje pregunta 10

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	1	8,3%
moderada alta	1	8,3%
alta	10	83,3%
TOTAL	12	100%

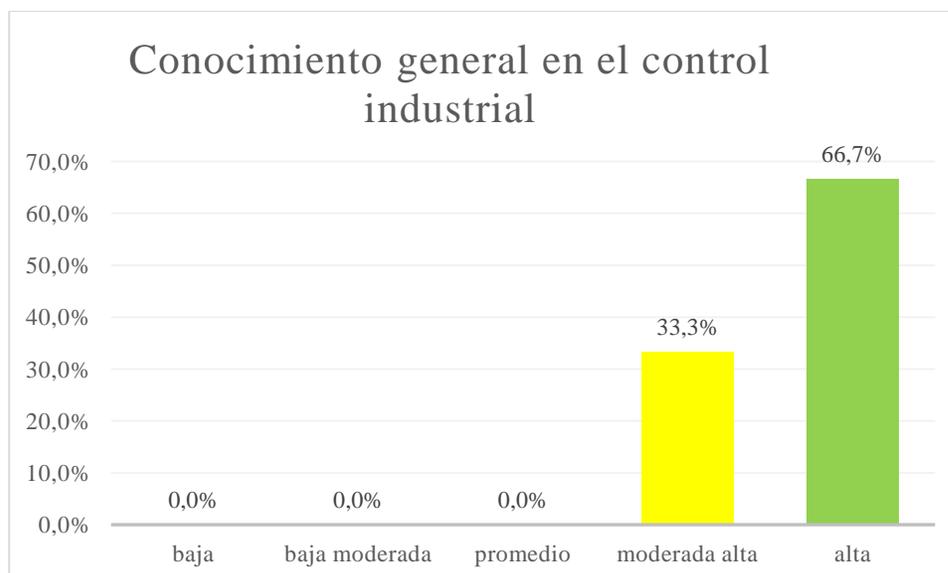
Figura 44.
Competencia de configurar comunicación desde PLC a HMI.



Tabla 14.
Porcentaje pregunta 11

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
baja	0	0,0%
baja moderada	0	0,0%
promedio	0	0,0%
moderada alta	4	33,3%
alta	8	66,7%
TOTAL	12	100%

Figura 45.
Conocimiento general en el control industrial.



Capítulo IV

Resultados y discusión

El diseño e implementación del módulo didáctico planteado para este proyecto de titulación se centra como un equipo de practicas dentro de la Universidad Internacional SEK, el cual permite a los estudiantes reforzar su nivel de aprendizaje en cuanto a programación de PLC y configuración de redes industriales y HMI.

Figura 46.

Módulo didáctico construido.



En cuanto a programación de PLC's este modulo les permite a los estudiantes relacionarse con sensores, como el sensor de caudal, sensor de nivel y el transmisor de temperatura, además de actuadores como la bomba de agua y la electroválvula solenoide.

Para la configuración de redes industriales este módulo ayuda a los estudiantes a obtener conocimientos sobre la configuración de la comunicación entre un PLC y HMI a través de la red de comunicación industrial Modbus RS-485, a demás de permitirles a los estudiantes interactuar con el modulo desde el celular con la aplicación RVNC Viewer al estar conectados a una red Ethernet.

A su vez, este módulo permite a los estudiantes fortalecer su aprendizaje practico en cuanto a la configuración del HMI a través de pulsadores digitales y acondicionamiento de variables

dentro del mismo.

Para comprobar estos resultados se hicieron 5 practicas de laboratorio con los estudiantes en las cuales se evaluaron los siguientes temas:

- Control de bomba y electroválvula utilizando un PLC y HMI.
- Control de nivel de agua haciendo uso de un sensor flotador.
- Control de nivel de agua y visualización de temperatura utilizando un sensor PT100.
- Control de nivel y monitoreo de temperatura y caudal de agua.
- Control de nivel y temperatura de agua con PLC y HMI.

Por último, se realizó un análisis de costos el cual proporciona una comprensión detallada de como se distribuye los recursos de este proyecto y así gestionar el presupuesto y recursos para el mismo.

- El costo total del módulo es de \$1601.16
- Los elementos mas costosos con el PLC y HMI que juntos representan \$543.00 (34% del total).
- Los componentes eléctricos (PLC, HMI, Fuente; relés, breakers, etc.) son los principales contribuyentes del costo total.
- Los accesorios PVC y cables también tienen un impacto significativo en el costo total, ya que representan \$244.00 en total (15% del total).
- Elementos como luces e interruptores tienen costos relativamente bajos en comparación con otros componentes.

En cuanto a la comparación de costos de los módulos existentes en la actualidad se pudo

concluir lo siguiente:

Módulo de Arias (2013):

- Precio Total: \$8,890.00
- Enfoque: Control de la temperatura de un fluido mediante el uso de redes industriales.
- Características Destacadas: Control de temperatura, aplicaciones en redes industriales.
- Observaciones: Es el módulo más costoso de los tres, pero se centra en aplicaciones específicas de control de temperatura y redes industriales.

Proyecto de Titulación de Sancan y Puerto (2018):

- Precio Total: \$2,551.00
- Enfoque: Implementación de la red Modbus utilizando PLC y variador de frecuencia, controlados por un sistema SCADA.
- Características Destacadas: Uso de PLC, variador de frecuencia, SCADA y protocolo Modbus.
- Observaciones: Este módulo se enfoca en la integración de tecnologías y la automatización de procesos industriales a un costo más accesible.

PLC Training System 26H de Learnlab:

- Valor de Mercado: \$3,358.26
- Enfoque: Control de un sistema neumático utilizando PLC.
- Características Destacadas: Formación en PLC y control de sistemas neumáticos.
- Observaciones: Aunque tiene un precio intermedio, este módulo se centra en el control de sistemas neumáticos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en este

campo específico.

Modulo del presente proyecto de titulación realizado por Morejon (2023):

- Precio Total: \$1,601
- Enfoque: Control de nivel y temperatura de un fluido y monitoreo en tiempo real de caudal y temperatura.
- Características Destacadas: Uso de PLC, red de comunicación industrial Modbus RS-485 y HMI.
- Observaciones: Este módulo se enfoca en la integración de sensores y actuadores para poder tener un control de un sistema industrial hidráulico.

Discusión

- ¿En qué medida los estudiantes reforzaron su conocimiento en PLC?

El 83.3% de los estudiantes ha demostrado un nivel alto de conocimiento y dominio en la programación de PLC. Estos resultados indican que la mayoría de los estudiantes han adquirido una sólida comprensión de este tema y están bien preparados para realizar tareas avanzadas de programación en PLC.

- ¿Qué impacto tuvieron las prácticas de laboratorio en el refuerzo del conocimiento en configuración de HMI?

Si bien el 75% de los estudiantes obtuvo una calificación alta, el 25% restante alcanzo una calificación moderada alta, lo que sugiere que la mayoría de los estudiantes están cómodos con la configuración y uso de HMI, pero un grupo puede beneficiarse de una mayor práctica o formación en esta área.

- Conocimiento en la integración y configuración de sensores:

El 75% de los estudiantes ha demostrado un buen conocimiento en esta área, estos resultados indican que la mayoría de los estudiantes comprende como integrar y configurar sensores en un sistema de control, lo que es esencial para las aplicaciones industriales.

- Habilidad para controlar y monitorear el nivel del agua en un tanque:

Al igual que en el caso anterior el 83.3% de los estudiantes ha demostrado un nivel alto en la habilidad del control y monitoreo de nivel de agua. Esto es vital para el funcionamiento adecuado de sistemas de control de nivel en aplicaciones industriales y demuestra una comprensión satisfactoria por parte de la mayoría de los estudiantes.

- Competencia en el control de la temperatura del agua:

Los resultados reflejan que el 75% de los estudiantes ha alcanzado un nivel alto de competencia en el control de la temperatura del agua. Estos estudiantes han demostrado habilidades para implementar sistemas de control de temperatura efectivos.

- Capacidad para medir el caudal de agua:

Un alto porcentaje de 91.7% de los estudiantes ha demostrado un excelente nivel de habilidad en la medición de caudal de agua. Estos resultados sugieren que la mayoría de los estudiantes están bien preparados para implementar sistemas de caudal en aplicaciones industriales.

- Habilidad para interpretar y utilizar datos en tiempo real:

El 83.3% de los estudiantes ha demostrado una alta habilidad para interpretar y utilizar datos en tiempo real. Esto es fundamental para la toma de decisiones efectiva en sistemas industriales basados en datos en tiempo real.

- Dominio en la implementación de temporizadores y contadores:

Al igual que en los casos anteriores, el 75% de los estudiantes ha demostrado un buen

dominio en la implementación de temporizadores y contadores. Estos estudiantes están capacitados para utilizar estas funciones de manera efectiva en un sistema de control.

- Competencia en la visualización y establecimiento de parámetros:

Un alto porcentaje de 91.7% de los estudiantes ha alcanzado una alta competencia en la visualización y establecimiento de parámetros. Estos resultados reflejan que la mayoría de los estudiantes son capaces de configurar y utilizar eficientemente la interfaz de visualización HMI.

- ¿En qué medida se reforzó su conocimiento en configuración de redes industriales?:

Los resultados indican que un 8.3% de los estudiantes obtuvo una calificación promedio y otro 8.4% una calificación moderada alta, mientras que el 83.3% restante una calificación alta. Estos resultados sugieren que algunos estudiantes podrían mejorar en esta área. Esto se debe a que los estudiantes de 6to semestre de Mecatrónica aun no tienen experiencia previa con redes industriales, por lo tanto, la falta de familiaridad con los ajustes y configuraciones necesarias generó que un 10% de estudiantes tengan dificultades en este aspecto.

- Conocimiento general en el control industrial:

El 66.7% de los estudiantes ha demostrado un nivel alto de conocimiento general en el control industrial. Estos resultados indican que la mayoría de los estudiantes han adquirido una comprensión sólida de los conceptos básicos en este campo.

Las tres preguntas fundamentales para identificar que los estudiantes han reforzado sus conocimientos con respecto a la programación de PLC's, configuración de redes industriales y configuración de HMI son:

- ¿En qué medida los estudiantes reforzaron su conocimiento en PLC?
- ¿Qué impacto tuvieron las prácticas de laboratorio en el refuerzo del conocimiento en

configuración de HMI?

- ¿En qué medida se reforzó su conocimiento en configuración de redes industriales?

De las cuales se obtuvo resultados satisfactorios en los que los estudiantes demostraron aumentar su conocimiento en estas áreas en donde se fomentó el desarrollo de habilidades necesarias para la aplicación de estas tecnologías en el ámbito estudiantil.

Además, se hizo una comparación entre el modulo diseñada en el presente proyecto de titulación y módulos existentes en el mercado en la cual se puede deducir que el costo de todos estos módulos que se investigaron es demasiado elevado en comparación con el trabajo desarrollado para este proyecto de titulación el cual tuvo un valor de 1616USD en total.

Capítulo V

Conclusiones

El proyecto del módulo didáctico se implementó con éxito y logró las metas establecidas. Primero, se utilizó el software Autodesk Inventor para diseñar el sistema mecatrónico del módulo, este software proporcionó una herramienta importante para diseñar una réplica a escala permitiendo una representación clara y precisa del diseño. Luego, el módulo fue construido haciendo uso de la instrumentación industrial lo cual garantizó la calidad y precisión del módulo y el control de este mediante un HMI.

Después de completar la construcción del módulo, se desarrollaron cinco prácticas de laboratorio para ayudar a los estudiantes a adquirir conocimientos y habilidades en áreas como programación de PLC, configuración de redes comunicación industrial y uso de HMI. Estas prácticas fueron estructuradas para ayudar a aplicar los conceptos teóricos aprendidos en clase, permitiendo comprender los temas tratados de manera más efectiva y clara.

Finalmente, se hizo una comparación del módulo didáctico con otros modelos existentes en la actualidad, donde se pudo deducir que el módulo fabricado en el presente proyecto de titulación es un 455.27% más económico que el módulo más costoso y comparado con el módulo más económico es un 60% más económico, logrando así obtener un módulo eficiente haciendo uso de equipos de alta calidad a un precio más asequible.

Recomendaciones

Se recomienda utilizar una bomba trifásica y un variador de frecuencia el cual recibe señales de control desde el PLC para de esta manera poder controlar la potencia, velocidad, encendido/apagado y dirección de rotación de la bomba modificando la frecuencia y el voltaje suministrados al motor de la bomba a través del variador de frecuencia y así tener un control óptimo de caudal.

Además, también se recomienda utilizar enfriadores de aire los cuales utilizan el aire enfriado para reducir la temperatura en el agua del tanque para de esta manera poder tener un control de una temperatura estable de agua en el tanque y de esta manera poder enfriar y calentar el agua a la vez.

Por último, se recomienda hacer un curso intensivo en el área de redes industriales con los estudiantes para de esta manera poder reforzar sus habilidades con el módulo didáctico diseñado en el presente proyecto de titulación.

Referencias

- Aguilar, R., & Ortí, C. (2017). Diseño e implementación de un sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada basado en OPENHAB. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas [ESPE]. 19 de julio de 2023, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13466>
- Bonilla, I., Tavizon, A., Morales, M., Guajardo, L., & Laines, C. (16 de mayo de 2016). IOT, El internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones. Vincula Téctica, 2(1), 2448-5101. 19 de julio de 2023, de <http://www.web.facpya.uanl.mx/Vinculatectica/Revistas/R2/2313-2340%20-%20Iot,%20El%20Internet%20De%20Las%20Cosas%20Y%20La%20Innovacion%20De%20Sus%20Aplicaciones.pdf>
- Callejón-Ferre, A. J., García-Sánchez, A. J., & García-Sánchez, E. (2019). Formación de profesionales en tecnologías de la industria 4.0 mediante la implementación de centros de entrenamiento especializados. Revista de Investigación Académica, 56, e2317. 19 de julio del 2023, de <https://revistainvestigacionacademicauabc.mx/index.php/investigacion/article/view/2317/1835>
- Dongha, L., Chulho, P., Nam, H., Sang-Hoo, K., & Yun, S. (17 de septiembre de 2014). Algoritmo de detección de caídas que usa aceleración de 3 ejes: combinación con umbral simple y modelo de Markov oculto. Revista de Matemáticas Aplicadas, 1-9. 20 de julio de 2023, de <https://doi.org/10.1155/2014/896030>
- Eagle, N., Lazer, D., & Pentland, A. (8 de septiembre de 2009). Inferir la estructura de

- la redde amistad mediante el uso de datos de teléfonos móviles. PNAS, 106(36), 15274- 15278. 20 de julio de 2023, de <https://doi.org/10.1073/pnas.0900282106>
- Espinosa, B., & Orellana, M. (2021). Desarrollo de aplicaciones de monitoreo y control basadas en IoT a través de la plataforma Ubidots. Aplicaciones a sistemas de automatización bajo entornos de simulación. Universidad Politécnica Salesiana. 20 de julio de 2023, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20298/1/UPS-CT009142.pdf>
- Rahman, S., Shaik, B. A., & Majhi, S. (2019). PLC-Based Industrial Automation in Control Engineering Education: A Hands-On Case Study. In 2019 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC) (pp. 1-5). IEEE.
- Velázquez, R., González, R., & Salgado, O. (2021). Diseño de un Sistema de Control Basado en PLC para la Automatización de un Molino de Trigo. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 20(3), 1073-1086.
- Cusido, J., Povedano-Molina, J., & Jiménez-Caballero, J. L. (2020). A Review of Industrial Network Architectures for Industrial IoT. Sensors, 20(12), 3363.
- Devi, K. R., Latha, D. G., & Ramesh, M. V. (2016). Industrial Automation Based on Internet of Things. In 2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI) (pp. 1566-1572). IEEE.
- Abdellatif, T., Alnaymat, A., & Raman, A. (2021). A Systematic Review of Human-Machine Interface Design in Industrial Control Rooms. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 69, 104483.

Xiong, C., Tang, F., & He, Y. (2020). Human-Machine Interface Design for Intelligent Manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 1347-1361.

Modbus-IDA. (2020). Modbus over Serial Line Specification and Implementation Guide. 20 de julio de 2023, de https://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf

Chen, Y., & Wang, C. (2020). An Intelligent Programming System for Ladder Diagram. *Journal of Physics: Conference Series*, 1556, 012024.

Zhang, Q., & Yan, J. (2018). Design of Low-Cost and High-Efficiency Industrial Control System Based on Ladder Diagram Programming. *Journal of Physics: Conference Series*, 1004, 012034.

Daizo Ichikawa, Kazuhiko Terashima y Shozo Nakano. (2016). Automatización fiable y de bajo coste para integradores de sistemas en países emergentes. 2016 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS).

J. Trumpler, F. Pechriggl y H. El-Sayed. (2019). Integración de SCADA y CPS en el área de gestión de aguas residuales. 2019 14ª Conferencia IEEE sobre Electrónica Industrial y Aplicaciones (ICIEA).

Kumarasamy Saravanan, Seenuvasan Rajesh Kumar y Ganesan Raja. (2017). Control automático de temperatura mediante PLC y SCADA. Conferencia Internacional sobre Innovaciones en Sistemas de Información, Embebidos y Comunicación 2017 (ICIIECS).

Siti Mariyam Shamsuddin, Khairuddin Osman y Ali Selamat. (2018). Un control mejorado del sistema de nivel de agua utilizando el controlador PID. 2018 IEEE

5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA).

Jolayemi, J. T., & Tijani, J. O. (2020). Evaluation of Net Positive Suction Head (NPSH) and its effect on Cavitation in Centrifugal Pump Operation. *International Journal of Energy and Environmental Research*, 5(1), 15-27.

Said, Z., Al-Enezi, A., & Al-Ansari, Y. (2016). Net Positive Suction Head (NPSH) as an Effective Tool for Preventing Cavitation in Centrifugal Pumps. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4(1), 114-118.

Arias, M. (2013). Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico en la Automatización Industrial Aplicando Buses de Datos de Campo para la Empresa ECUAINSETEC. [Trabajo de titulación de Ingeniería Eléctrica]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. 20 de julio de 2023, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6548/6/UPS-KT00060.pdf>

Sancan, J., & Puero, B. (2018). Diseño e Implementación de una red MODBUS utilizando PLC's y VFD's. [Proyecto Integrador]. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 20 de julio de 2023, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/47485/1/D-CD106640.pdf>

Moxa. (2021). Modbus Protocol Tutorial. 30 de julio de 2023, de <https://www.moxa.com/en/article/what-is-modbus>

National Instruments Corporation. (2021). RS485 Communication. Recuperado el 30 de julio de 2023, de <https://www.ni.com/en-us/support/documentation/supplemental/18/rs485-communication.html>

Phoenix Contact. (2021). RS-485 Communication. 30 de julio de 2023, de https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=wcm%3Apath%3A/use%3An/web/main/products/subcategory_pages/RS-485_communication_P-01-08-01-01/7d9f3d4f-7b9b-4d5d-9c6f-1f1c9b5d6f6d

GRAINGER. (21 de mayo de 2020). *LEARNLAB Training System*. 30 de julio de 2023, de https://www.grainger.com/product/52JR64?cm_mmc=PPC:Google-_-GlobalExport-_-EC-_-Acquisition-_-2020012&gclid=CjwKCAjwIJimBhAsEiwA1hrp5uXpqOXOIitZyFlh66lQ6u4Lv0bj238Gtb_KvG9CEJajK9fCHdHEFcBoC9kIQAvD_BwE

Thcchoanghoatham.badinh.edu.vn. (2023). Arriba 59+ imagen modelo matematico de la presion atmosferica. 20 de julio de 2023, de <https://thcshoanghoatham-badinh.edu.vn/arriba-59-imagen-modelo-matematico-de-la-presion-atmosferica/>

RotorPump. (2022). Fricción en cañerías. 20 de julio del 2023, de <http://www.rotorump.com/pdf/tabla-perdidas-por-friccion.pdf>

Robert, L. (2006). Mecánica de fluidos Sexta edición. 20 de julio del 2023, de <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

Laumayer. (2021). VNN (VIRTUAL NETWORK COMPUTING) APP PERMITE TENER ACCESO Y TRABAJAR EN PANTALLAS DOP-100 DELTA. 31 de julio del 2023, de <https://laumayer.com/novedades-y-publicaciones/2021-mayo/vnc-virtual-network-computing-app-permite-acceso-trabajar-pantallas-dop-100-delta/>

- Rockwell Automation. (2018). Soluciones de visualización. 31 de julio del 2023, de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/view-iew-sg001_-es-p.pdf
- Delta. (2010). Delta Programmable Logic controller DVP Series. 3 de julio del 2023, de file:///C:/Users/jhonp/Downloads/DELTA_IA-PLC_DVP_TP_C_EN_20210916.pdf
- Delta. (2010). Delta Advanced Ethernet Human Machine Interface DOP-100 Series. 3 de julio del 2023, de Delta. (2010). Delta Programmable Logic controller DVP Series. 3 de julio del 2023, de file:///C:/Users/jhonp/Downloads/DELTA_IA-PLC_DVP_TP_C_EN_20210916.pdf
- Schneider Electric. (2021). What is Modbus and How does it work?. 2 de julio del 2023, de <https://www.se.com/us/en/faqs/FA168406/>
- Evans. (2023). Bomba presurizada de 120 W y 1/2" succión y descarga. 3 de julio del 2023, de <file:///C:/Users/jhonp/Downloads/BP120W15-090.pdf>
- Martínez-Sibaja, A., Hernández-Guzmán, V. M., & García-Alcaraz, J. L. (2018). Importance of training and practice in the use of PLCs and HMIs for the efficiency of industrial processes. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 1-10.
- Ben-Hadji, M., Ben-Hadji, A., & Ben-Hadji, H. (2018). Hybrid approach for PLC training using real hardware and simulated software. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.28), 1-5.
- Servicio Hidráulico Industrial. (2020, 23 de junio). ¿Qué es un sistema hidráulico?. 8 de agosto de <https://www.bombas-hidraulicas.com.mx/sistema-hidraulico/>

- Bezares México. (2019, 06 de marzo). ¿Qué es una bomba hidráulica?. 8 de agosto del 2023, de <https://bezares.com/es-mx/que-es-una-bomba-hidraulica/>
- HYDAC. (s.f.). Sensores de caudal. 8 de agosto del 2023, de <https://www.hydac.com/shop/es-es/sensores/sensores-de-caudal>
- LibreTexts Español. (2022, 30 de octubre). Sensores de nivel. 8 de agosto del 2023, de [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Industrial_y_de_Sistemas/Libro%3A_Din%C3%A1mica_y_Control_de_Procesos_Qu%C3%ADmicos_\(Woolf\)/03%3A_Sensores_y_Actuadores/3.04%3A_Sensores_de_nivel](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Industrial_y_de_Sistemas/Libro%3A_Din%C3%A1mica_y_Control_de_Procesos_Qu%C3%ADmicos_(Woolf)/03%3A_Sensores_y_Actuadores/3.04%3A_Sensores_de_nivel)
- Vester Training. (2018, 13 de agosto). ¿Cuáles son los sensores de un PLC?. 8 de agosto del 2023, de <https://vestertraining.com/blog/sensores-plc/>
- American Society of Mechanical Engineers. (2018). ASME B73.1-2018: Specification for Horizontal End Suction Centrifugal Pumps for Chemical Process. ASME International. Hydraulic Institute. (2019). Pump Types. 8 de agosto del 2023. de <https://www.pumps.org/knowledge-center/pump-types>
- International Electrotechnical Commission. (2020). IEC 60335-2-21:2020 - Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-21: Particular requirements for storage water heaters. IEC.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 5599-1:2018 - Fluid power systems and components -- Vocabulary -- Part 1: General. ISO.
- ARIAN Control & Instrumentación. (s.f). Pt100, su operación, instalación y tablas. 8 de agosto del 2023. de <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

Anexos

Anexo A

A1: Tabla 15.*Disminución de la presión atmosférica.*

Altitud (m)	Presión (atm)
0	1
250	0.971
500	0.942
750	0.914
1000	0.887
1250	0.86
1500	0.834
1750	0.809
2000	0.785
2250	0.756
2500	0.737
2750	0.714
3000	0.692
3250	0.67
3500	0.649
3750	0.628
4000	0.608
4250	0.589
4500	0.57
4750	0.551
5000	0.533
5250	0.516
5500	0.498
5750	0.482

Recuperado de: (Modelo Matemático de la Presión Atmosférica, 2023).

A2: Tabla 16.

Altura de agua debido a la presión de vapor.

Temperatura °C	Presión de vapor KPa (abs)	Peso específico (KN/mt ³)	Carga de presión de vapor (mt)
0	0.6105	9.806	0.06226
5	0.8722	9.807	0.08894
10	1.228	9.804	0.1253
20	2.338	9.789	0.2388
30	4.243	9.765	0.4345
40	7.376	9.731	0.7580
50	12.33	9.690	1.272
60	19.92	9.642	2.066
70	31.16	9.589	3.250
80	47.34	9.530	4.967
90	70.10	9.467	7.405
100	101.3	9.399	10.78

Recuperado de: (Mecánica de fluidos, 2006).

A3: Tabla 17.

Perdidas por fricción en accesorios.

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS
(LONGITUD EQUIVALENTE DE CAÑO RECTO DEL MISMO DIAMETRO EN METROS)

Diámetro nominal de los caños normales		 Válvula esclusa totalmente abierta	 Válvula globo totalmente abierta	 Válvula ángulo totalmente abierta	 Válvula de retención	 Codo normal o Te de 6 mm de reducción	 Curva normal o Te normal	 Te normal
mm.	Pulg.							
12	1/2	0,12	5,18	2,44	1,22	0,46	0,30	1,00
19	3/4	0,15	6,71	3,36	1,83	0,61	0,45	1,37
25	1	0,18	8,24	4,27	2,44	0,82	0,52	1,74
32	1 1/4	0,24	11,00	5,49	3,66	1,07	0,70	2,32
38	1 1/2	0,30	13,12	6,71	4,27	1,31	0,82	2,74
51	2	0,36	16,78	8,24	5,80	1,68	1,07	3,66
63	2 1/2	0,43	20,43	10,06	7,01	1,98	1,28	4,27
76	3	0,52	25,01	12,50	9,76	2,44	1,59	5,18
102	4	0,70	33,55	16,16	13,12	3,36	2,14	6,71
127	5	0,88	42,70	21,35	17,69	4,27	2,74	8,24
152	6	1,07	51,85	24,40	20,74	4,88	3,36	10,00
203	8	1,37	68,02	36,60	—	6,10	4,27	13,12
254	10	1,77	85,40	42,70	—	7,93	5,18	16,16
305	12	2,07	100,65	48,80	—	9,76	6,10	20,74
356	14	2,44	115,90	58,00	—	11,28	7,32	23,79
406	16	2,74	134,20	67,10	—	12,81	8,24	26,84

Recuperado de: (Fricción en cañerías, 2022).

A4: Tabla 18.*Resistencia adquirida por temperatura en PT100.*

Pt 100 ohms	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190		22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96
-180		27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20
-170		31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44
-160		35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66
-150		39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87
-140		43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06
-130		47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20
-120		52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32
-110		56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43
-100		60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52
-90		64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60
-80		68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64
-70		72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66
-60		76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67
-50		80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66
-40		84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65
-30		88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62
-20		92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58
-10		96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53
0		100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47
0		100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10		103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20		107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30		111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40		115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50		119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60		123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70		127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80		130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90		134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100		138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110		142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120		146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130		149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140		153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150		157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68
160		161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39
170		164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10
180		168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190		172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200		175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210		179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81
220		183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45
230		186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09
240		190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72
250		194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33
260		197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94
270		201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53
280		204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11
290		208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67
°C		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Recuperado de: (Pt100, su operación instalación y tablas, 2022).

Anexo B

B1: Figura 47.

Datasheet PLC DVP-SX2.

Analog I/O Slim PLC DVP-SX2

Analog model with highly efficient PID control function

- ▶ 32-bit CPU for high-speed processing
- ▶ Program capacity: 16 k steps
- ▶ Data register: 10 k words
- ▶ Max. execution speed of basic instructions: 0.35 μ s
- ▶ Built-in 4 analog inputs / 2 analog outputs
- ▶ Built-in mini USB, RS-232 and RS-485 ports (Master/Slave)
- ▶ Supports standard Modbus ASCII/RTU protocol and PLC Link function
- ▶ PID Auto Tuning function for highly efficient PID control
- ▶ No battery required; RTC function operates for at least one week after power off (hardware version 2.0 and above)
- ▶ Supports DVP-S Series modules (left-side and right-side)

Motion Control Functions

- ▶ 4 points of high-speed pulse output: 100 kHz / 2 points, 10 kHz / 2 points
- ▶ 8 points of high-speed pulse input: 100 kHz / 2 points, 10 kHz / 6 points
- ▶ Supports 2-axis linear and arc interpolation

Built-in Analog I/O			
Analog Input		Analog Output	
Channels	4	Channels	2
Resolution	12-bit	Resolution	12-bit
Spec.	-20 ~ 20 mA or -10 ~ 10 V or 4 ~ 20 mA	Spec.	0 ~ 20 mA or -10 V ~ 10 V or 4 ~ 20 mA

Recuperado de: (Delta Programmable Logic Controller DVP Series, 2010).

B2: Figura 48.
Datasheet HMI DOP-103WQ.

Model		DOP-103WQ	DOP-107WV	DOP-110WS
LCD Module	Display	4.3" TFT LCD	7" TFT LCD	10.1" TFT LCD
	Color	65,536		
	Resolution (Pixels)	480 x 272	800 x 480	1024 x 600
	Back Light	LED Back Light		
	Back Light Brightness (cd/m ²)	400	450	450
	Back Light Life (Hour) ^(Note 1)	10,000	30,000	30,000
MCU		ARM Cortex-A8 (800MHz)		
Flash ROM (Bytes)		256 MB		
RAM (Bytes)		512 MB		
Touch Panel		Four-wire resistor, over 10,000,000 pressing times		
Buzzer		Multi-Tone Frequency (2K ~ 4K Hz) / 80dB		
Ethernet Interface		1 Port ^(Note 2) , 10/100 Mbps auto-sensing		
USB		1 USB Slave Ver 2.0 / 1 USB Host Ver 2.0		
SD		N/A	N/A	SD x 1
Serial COM Port	COM1	RS-232 (supports hardware flow control) / RS-485 ^(Note 2)	RS-232 (supports hardware flow control)	
	COM2	RS-422 / RS-485 ^(Note 2)	RS-232 (supports hardware flow control) / RS-485 ^(Note 2)	
	COM3	N/A	RS-422 / RS-485 ^(Note 2)	
RTC		Yes		
Cooling		Nature air circulation		
Certification		CE / UL		
Waterproof		IP65 / NEMA4 / UL Type 4X (indoor use only)		
Operation Voltage ^(Note 3)		DC +24V (-15% ~ +15%) ^(Note 2)		
Voltage Endurance		A599V for 1 minute (between charging DC24 terminal and FG terminals)		
Power Consumption ^(Note 5)		5.8 W (Max)	8.4W (Max)	11 W (Max)
Backup Battery		3V lithium battery CR2032 × 1		
Backup Battery Life		Depends on the temperature used and the conditions of usage, usually about 3 years or more at 25° C		
Operation Temperature		0°C ~ 50°C		
Storage Temperature		-20°C ~ +60°C		
Ambient Humidity		10% ~ 90% RH (0 ~ 40° C), 10% ~ 55% RH (41 ~ 50° C), Pollution Degree 2		
Vibration		IEC 61131-2 compliant 5Hz ~ 8.3Hz = Continuous: 3.5mm, 8.3Hz ~ 150Hz = Continuous: 1.0g		
Shock		IEC 60068-2-27 compliant 15g peak for 11ms duration, X, Y, Z, directions for 6 times		
Dimensions (W) x (H) x (D) mm		137 x 103 x 37.1	196 x 136 x 39	270 x 180.9 x 47.75
Dimensions (W) x (H) mm		118.8 x 92.8	186.8 x 126.8	255.5 x 170.5
Weight		280g	560g	1,100g

Recuperado de: (Delta Advanced Ethernet Human Machine Interface DOP-100 Series, 2010).

B3: Figura 49.*Datasheet Bomba Evans presurizada.*

MOTOR	
Tipo de Motor	Eléctrico
Marca del motor	EVANS
Potencia del Motor	0.16 HP
RPM del Motor	3450 RPM
Encendido	Automático / manual
Voltaje	127 V
Fases del motor	Monofásica
Corriente	1.1 A
Protección termica	Sí
Longitud de cable	1.15 m

BOMBA	
Tipo de Bomba	Centrífuga
Flujo Optimo	26.00 LPM
Altura Optima	5.00 m
Numero de etapas	1 etapas
Diametro de succion	0.50 pulg
Diametro de descarga	0.50 pulg
Tipo de impulsor	Cerrado
Material del cuerpo	Hierro fundido.
Material del impulsor	Policarbonato.
Temperatura Maxima del Agua	95° C
Incluye	Llave para mantenimiento y adaptadores macho. Manual de propietario. Póliza de garantía.

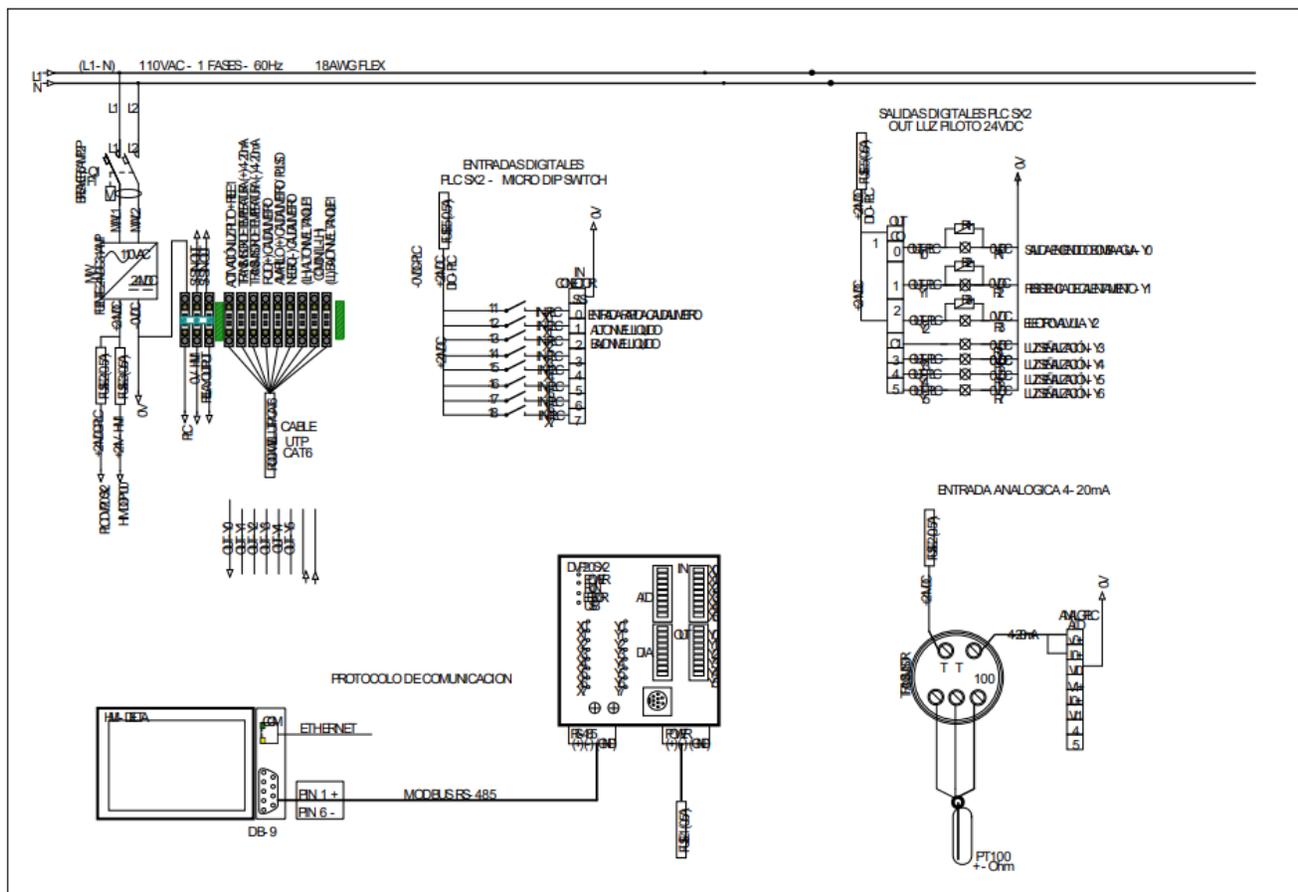
INFORMACION ADICIONAL	
Dimensiones de empaque	15.00 X 19.00 X 15.00 cm
Garantia	1 año
Peso neto	3.00 kg

Recuperado de: (Bomba presurizada 120W y 1/2" succión y descarga, 2023).

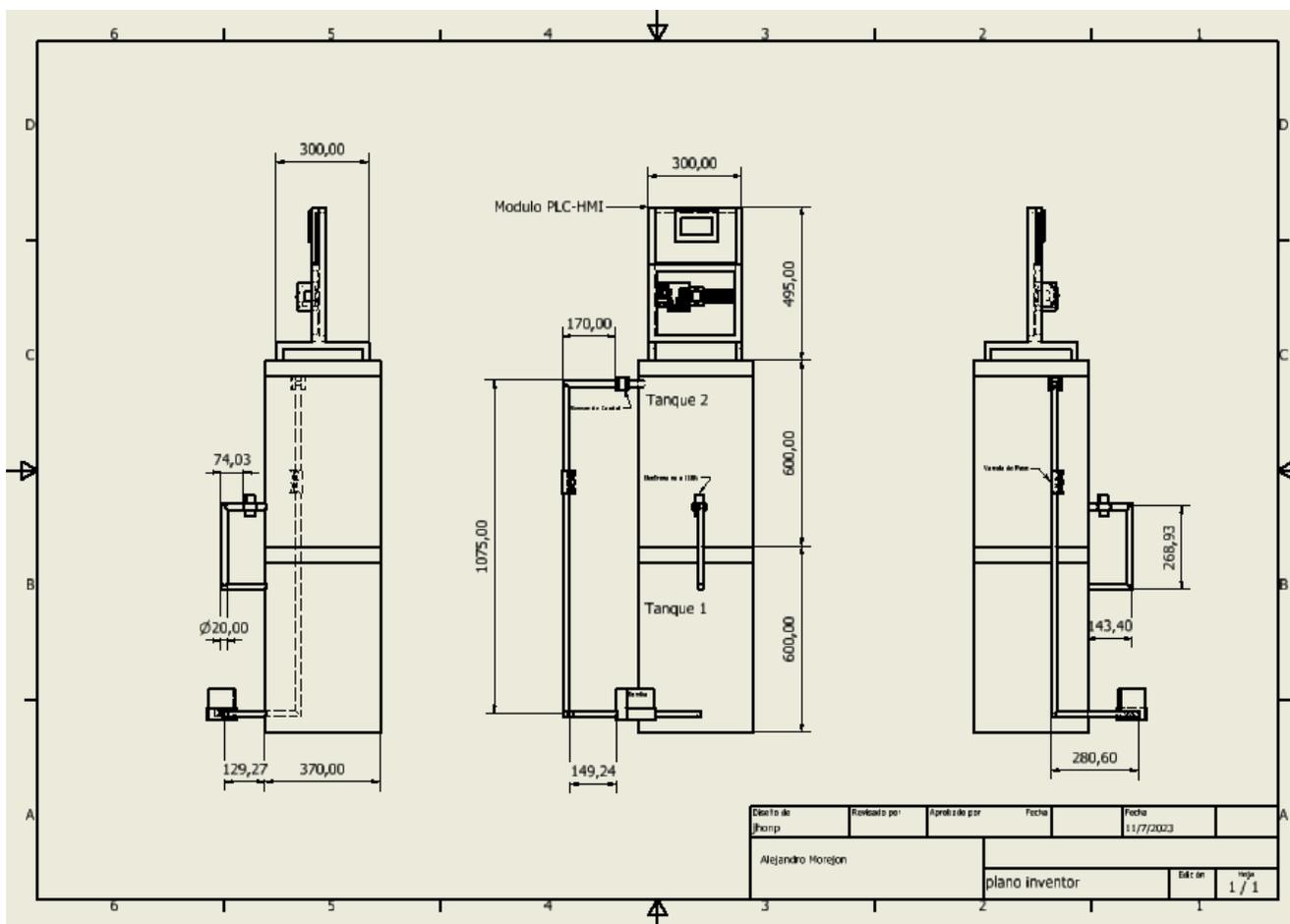
Anexo C

C1: Figura 50.

Plano diagrama eléctrico.



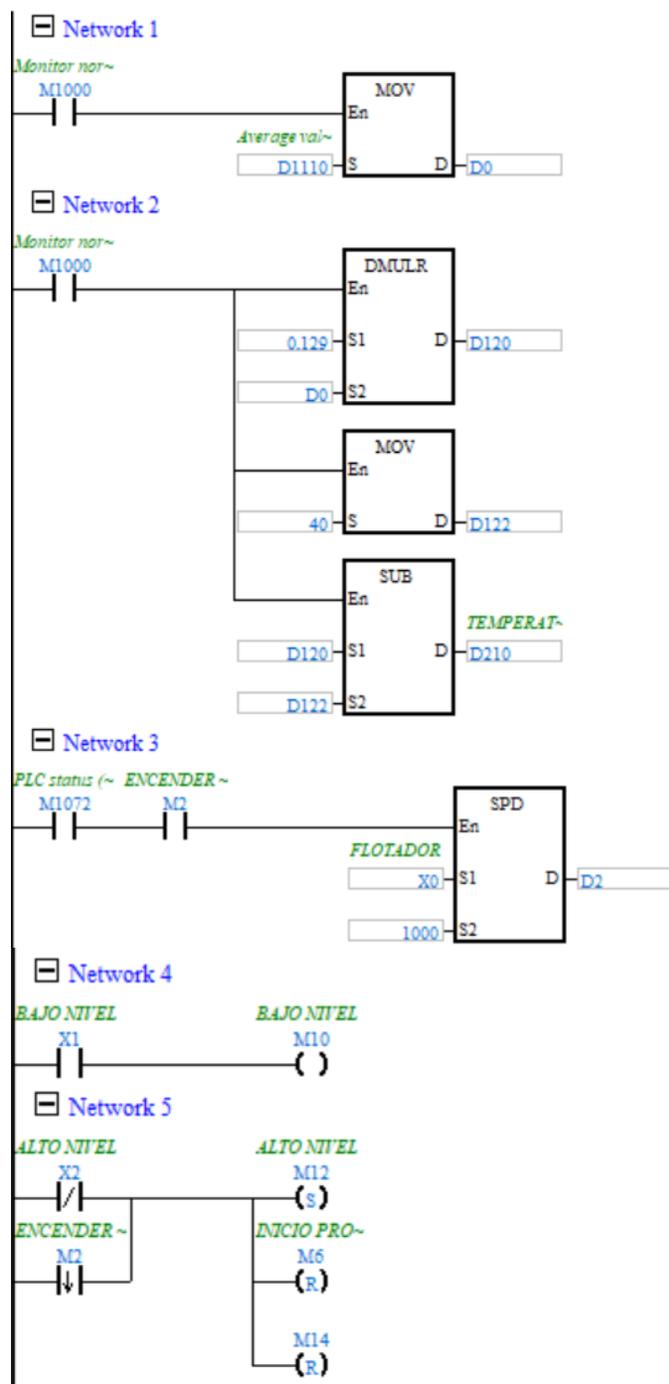
C2: Figura 51.
Plano módulo didáctico.

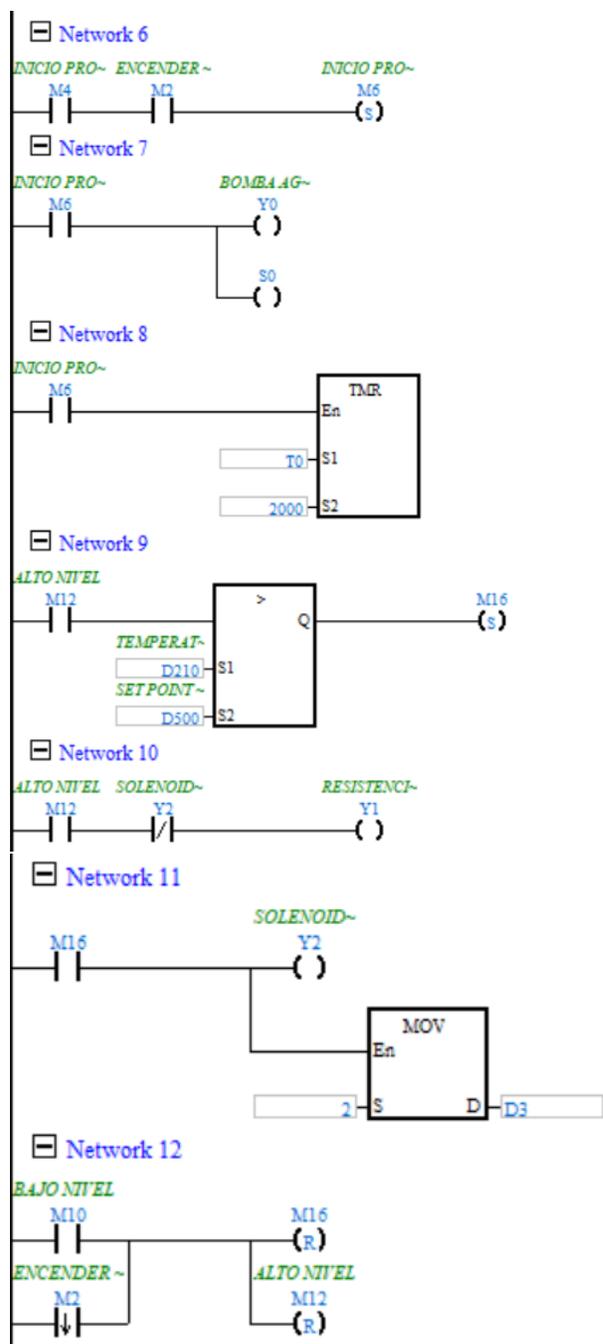


Anexo D

D1: Programación PLC.

Redes de programación del PLC





Anexo E

Guías de prácticas de laboratorio



PRÁCTICA DE LABORATORIO 1

Título: Control de bomba y electroválvula utilizando un PLC y HMI

1. Introducción:

En esta práctica de laboratorio, utilizaremos un módulo didáctico para PLC Delta, un módulo didáctico para HMI Delta y otros componentes para controlar una bomba y una electroválvula. Aprenderemos a programar el PLC para encender y apagar la bomba utilizando un HMI con pulsadores, así como controlar la electroválvula. También implementaremos un temporizador y un contador para controlar el tiempo de encendido de la bomba y limitar el número de veces que puede ser encendida. Esta práctica nos permitirá adquirir conocimientos sobre programación de PLC, configuración de HMI y control de dispositivos en un entorno industrial.

2. Objetivos:

Diseñar un programa de PLC para controlar el encendido y apagado de una bomba mediante un HMI utilizando pulsadores.

Implementar el control de una electroválvula utilizando un HMI y memorias.

Utilizar un temporizador para encender la bomba durante un tiempo específico.

Limitar el número de encendidos de la bomba utilizando un contador.

Reiniciar el contador a 0 utilizando un pulsador en el HMI.

3. Materiales y equipos:

- Módulo didáctico para PLC Delta
- Módulo didáctico para HMI Delta
- Bomba
- Electroválvula
- Pulsadores digitales en el HMI
- Temporizador T0 en el PLC
- Contador C0 en el PLC

4. Problema por desarrollar:

Controlar una bomba y una electroválvula utilizando un PLC Delta y un HMI Delta. La bomba se encenderá y apagará mediante un HMI con pulsadores, y se podrá apagar de la misma manera. Además, se utilizarán pulsadores en el HMI para encender y apagar la electroválvula. La bomba solo podrá ser encendida durante 1000 milisegundos mediante un temporizador T0, y se limitará el número de veces que puede ser encendida utilizando un contador C0. El contador se reiniciará a 0 mediante un pulsador en el HMI.

5. Procedimiento:

- 1) Conectar el módulo didáctico para PLC Delta, el módulo didáctico para HMI Delta y los componentes (bomba, electroválvula, pulsadores digitales en el HMI, temporizador T0 en el PLC, contador C0 en el PLC) según las instrucciones proporcionadas por Delta.
- 2) Configurar el módulo didáctico para PLC Delta y el módulo didáctico para HMI Delta según las especificaciones del fabricante.
- 3) Programar el PLC utilizando el lenguaje de programación compatible con el software de programación del PLC. A continuación, se muestra un ejemplo de programa en lenguaje Ladder para el control de la bomba:
 - I. Lógica de encendido de la bomba:

Utilizar una memoria en el HMI con un pulsador para iniciar el encendido de la bomba.

Utilizar una bobina en serie con el temporizador T0 para activar la salida Y0 y encender la bomba durante 1000 milisegundos.
 - II. Lógica de apagado de la bomba:

Utilizar una memoria en el HMI con un pulsador para apagar la bomba.
 - III. Lógica de reinicio del contador:

Utilizar una memoria en el HMI con un pulsador para reiniciar el contador a 0.
 - IV. Lógica de límite de encendidos de la bomba:

Utilizar una red de contactos normalmente cerrados (NC) del contador para controlar el número de encendidos permitidos.

Utilizar una bobina en serie con la salida Y0 y el pulsador digital de encendido para activar el contador cuando la bomba se enciende.

- 4) En el HMI, utilizar el software DOPSoft de Delta para configurar la interfaz gráfica con los pulsadores y memorias correspondientes.
- 5) Descargar el programa del PLC al módulo didáctico para PLC Delta utilizando el software ISPSoft.
- 6) Descargar la configuración del HMI al módulo didáctico para HMI Delta utilizando el software DOPSoft.
- 7) Verificar la comunicación Modbus RS-485 entre el PLC Delta y el HMI Delta, y asegurarse de que todos los componentes estén correctamente conectados.
- 8) Probar el funcionamiento del sistema utilizando los pulsadores en el HMI para encender y apagar la bomba, encender y apagar la electroválvula, y reiniciar el contador.
- 9) Realizar pruebas adicionales para verificar el correcto funcionamiento del sistema, ajustando los parámetros si es necesario.

6. Definiciones de equipos y materiales:

PLC Delta: Un controlador lógico programable utilizado para el control y automatización de procesos industriales.

HMI Delta: Una interfaz de usuario gráfica utilizada para interactuar con el PLC y mostrar información sobre el sistema.

Bomba: Un dispositivo utilizado para transportar líquidos o gases a través de un sistema.

Electroválvula: Una válvula controlada eléctricamente que regula el flujo de un fluido.

Pulsadores digitales: Dispositivos de entrada en el HMI utilizados para enviar señales al PLC cuando se presionan.

Temporizador T0: Un componente del PLC que permite controlar el tiempo de encendido o apagado de una salida.

Contador C0: Un componente del PLC que cuenta las veces que una condición se cumple.

7. Preguntas sobre lo aprendido:

¿Cuál es la función de un HMI en un sistema de control industrial?

¿Cómo se programa un temporizador en un PLC Delta?

¿Cuál es la diferencia entre una memoria y un pulsador en el HMI?

¿Cómo se utiliza un contador en un PLC para limitar el número de veces que un dispositivo puede ser activado?

¿Cuál es la importancia de reiniciar el contador a 0 utilizando un pulsador en el HMI?

3. Conclusiones:

En esta práctica de laboratorio, hemos aprendido a controlar una bomba y una electroválvula utilizando un PLC Delta y un HMI Delta. Hemos programado el PLC para encender y apagar la bomba mediante pulsadores en el HMI, controlando el tiempo de encendido con un temporizador y limitando el número de veces que puede ser encendida mediante un contador. También hemos utilizado el HMI para encender y apagar la electroválvula. Esta práctica nos ha permitido adquirir conocimientos sobre programación de PLC, configuración de HMI y control de dispositivos en un entorno industrial.



PRÁCTICA DE LABORATORIO 2

Título: Control de nivel de agua haciendo uso de un sensor flotador

1. Introducción:

En esta práctica de laboratorio, utilizaremos un módulo didáctico para PLC Delta, un módulo didáctico para HMI Delta y otros componentes para controlar el nivel de agua en un tanque. En lugar de utilizar botones digitales en el HMI, controlaremos una electroválvula mediante un sensor flotador de nivel. Cuando el sensor esté activado, la electroválvula se encenderá y permitirá el flujo de agua al tanque. Cuando el sensor se desactive, la electroválvula se apagará y el flujo de agua se detendrá. De esta manera, mantendremos el nivel del agua constante en el tanque. Esta práctica nos permitirá adquirir conocimientos sobre el control de nivel utilizando sensores y la programación de PLC y HMI.

2. Objetivos:

Diseñar un programa de PLC para controlar el nivel de agua en un tanque utilizando un sensor flotador y una electroválvula.

Configurar el HMI para visualizar el nivel de agua y permitir la interacción con el sistema.

Implementar la lógica de control en el PLC para encender y apagar la electroválvula según el estado del sensor flotador.

Mantener el nivel del agua constante en el tanque controlando el flujo de agua mediante la electroválvula.

3. Materiales y equipos:

- Módulo didáctico para PLC Delta
- Módulo didáctico para HMI Delta
- Tanque de agua
- Sensor flotador de nivel
- Electroválvula
- PLC Delta compatible con entradas y salidas digitales
- HMI Delta compatible con la visualización de niveles y la interacción con el usuario

4. Problema a desarrollar:

Controlar el nivel de agua en un tanque utilizando un PLC Delta, HMI Delta, sensor flotador de nivel y una electroválvula. La electroválvula se encenderá cuando el sensor flotador esté activado, permitiendo que el agua fluya al tanque. Cuando el sensor flotador se desactive, la electroválvula se apagará y se detendrá el flujo de agua. El objetivo es mantener el nivel del agua constante en el tanque.

5. Procedimiento:

- 1) Conectar el módulo didáctico para PLC Delta, el módulo didáctico para HMI Delta y los componentes (tanque de agua, sensor flotador de nivel, electroválvula) según las instrucciones proporcionadas por Delta.
- 2) Configurar el módulo didáctico para PLC Delta y el módulo didáctico para HMI Delta según las especificaciones del fabricante.
- 3) Utilizando el software ISPSOft de Delta, programar el PLC para controlar el nivel de agua en el tanque. Utilizar Ladder como lenguaje de programación adecuado para el PLC.

I. Lógica de encendido de la bomba:

Utilizar una memoria en el HMI con un pulsador para iniciar el encendido de la bomba.
Utilizar una bobina en serie con el temporizador T0 para activar la salida Y0 y encender la bomba durante 1000 milisegundos.

II. Lógica de apagado de la bomba:

Utilizar una memoria en el HMI con un pulsador para apagar la bomba.

III. Lógica de control de la electroválvula:

Utilizar una bobina en serie con el sensor flotador de nivel de agua en la salida Y2 para activar la electroválvula cuando el sensor se activa.
Utilizar una bobina en paralelo con el sensor flotador de nivel de agua en la salida Y2 para desactivar la electroválvula cuando el sensor se desactiva.

IV. Lógica de reinicio del contador:

Utilizar una memoria en el HMI con un pulsador para reiniciar el contador a 0.

V. Lógica de límite de encendidos de la bomba:

Utilizar una red de contactos normalmente cerrados (NC) del contador para controlar el número de encendidos permitidos.

Utilizar una bobina en serie con la salida Y0 y el pulsador digital de encendido para activar el contador cuando la bomba se enciende.

- 4) Configurar las entradas y salidas digitales del PLC para el sensor flotador y la electroválvula.
- 5) En el HMI, utilizar el software DOPSoft de Delta para configurar la visualización del nivel de agua y permitir la interacción con el usuario.
- 6) Descargar el programa del PLC al módulo didáctico para PLC Delta utilizando el software ISPSoft.
- 7) Descargar la configuración del HMI al módulo didáctico para HMI Delta utilizando el software DOPSoft.
- 8) Verificar la comunicación entre el PLC Delta y el HMI Delta, y asegurarse de que todos los componentes estén correctamente conectados.
- 9) Probar el funcionamiento del sistema llenando el tanque de agua y observando cómo la electroválvula se enciende cuando el sensor flotador está activado y se apaga cuando el sensor se desactiva.
- 10) Realizar ajustes en el programa del PLC y en la configuración del HMI según sea necesario para mantener el nivel del agua constante en el tanque.

6. Definiciones de equipos y materiales:

PLC Delta: Un controlador lógico programable utilizado para el control y automatización de procesos industriales.

HMI Delta: Una interfaz de usuario gráfica utilizada para interactuar con el PLC y mostrar información sobre el sistema.

Sensor flotador de nivel: Un sensor que detecta el nivel de líquido en un tanque mediante un flotador que se mueve con los cambios de nivel.

Electroválvula: Una válvula controlada eléctricamente que regula el flujo de un fluido.

Tanque de agua: Un recipiente utilizado para almacenar agua.

7. Preguntas sobre lo aprendido:

¿Cuál es la función de un sensor flotador de nivel en el control de nivel de agua?

¿Cómo se programa un PLC Delta para controlar una electroválvula basándose en el estado de un sensor flotador?

¿Cómo se configura un HMI Delta para visualizar el nivel de agua en un tanque?

¿Cuál es la importancia de mantener el nivel de agua constante en un sistema industrial?

¿Qué otros sensores podrían utilizarse para el control de nivel de agua en lugar de un sensor flotador?

8. Conclusiones:

En esta práctica de laboratorio, hemos aprendido a controlar el nivel de agua en un tanque utilizando un PLC Delta, HMI Delta, sensor flotador de nivel y una electroválvula. Hemos programado el PLC para encender y apagar la electroválvula según el estado del sensor flotador, permitiendo así mantener el nivel del agua constante en el tanque. También hemos configurado el HMI para visualizar el nivel de agua y permitir la interacción con el usuario. Esta práctica nos ha permitido adquirir conocimientos sobre el control de nivel utilizando sensores, así como la programación y configuración de PLC y HMI.



PRÁCTICA DE LABORATORIO 3

Título: Control de nivel de agua y visualización de temperatura utilizando un sensor PT100

1. Introducción:

En esta práctica de laboratorio, utilizaremos un módulo didáctico para PLC Delta, un módulo didáctico para HMI Delta y otros componentes para controlar el nivel de agua de un tanque y visualizar la temperatura de este. Utilizaremos un sensor flotador de nivel para encender y apagar una electroválvula y mantener el tanque siempre al mismo nivel. También implementaremos un sensor de temperatura PT100 para medir la temperatura del tanque y visualizarla en el HMI. Esta práctica nos permitirá adquirir conocimientos sobre el control de nivel de agua, la lectura de sensores y la visualización de datos en un entorno industrial.

2. Objetivos:

Utilizar un sensor flotador de nivel para encender y apagar una electroválvula y controlar el nivel de agua en un tanque.

Implementar un sensor de temperatura PT100 para medir la temperatura del tanque.

Visualizar la temperatura del tanque en el HMI Delta.

Configurar alarmas en el HMI para alertar sobre condiciones fuera de rango de nivel de agua y temperatura.

3. Materiales y equipos:

- Módulo didáctico para PLC Delta
- Módulo didáctico para HMI Delta
- Electroválvula
- Sensor flotador de nivel
- Sensor de temperatura PT100
- HMI Delta
- Cables y conexiones según las especificaciones del fabricante

4. Problema a desarrollar:

Controlar el nivel de agua en un tanque utilizando un sensor flotador de nivel y una electroválvula controlada por un PLC Delta y visualizar la temperatura del tanque utilizando un sensor de temperatura PT100 en un HMI Delta.

5. Procedimiento:

- 1) Conectar el módulo didáctico para PLC Delta, el módulo didáctico para HMI Delta y los componentes (electroválvula, sensor flotador de nivel, sensor de temperatura PT100) según las instrucciones proporcionadas por Delta.
- 2) Configurar el módulo didáctico para PLC Delta y el módulo didáctico para HMI Delta según las especificaciones del fabricante.
- 3) Programar el PLC Delta utilizando el software ISPSOft de Delta. Configurar las entradas y salidas correspondientes al sensor flotador de nivel, la electroválvula y el sensor de temperatura PT100.
 - I. Lógica de encendido y apagado de la bomba:

Utilizar una memoria en el HMI con un pulsador para iniciar y detener el encendido de la bomba.

Utilizar una bobina en serie con el temporizador T0 para activar la salida Y0 y encender la bomba durante 1000 milisegundos.
 - II. Lógica de encendido y apagado de la electroválvula:

Utilizar el estado del sensor flotador de nivel de agua (conectado a la salida Y2 del PLC) para activar y desactivar la electroválvula.
 - III. Lógica de conversión de temperatura PT100:

Utilizar una instrucción MOV para mover el valor del sensor de temperatura PT100 de la dirección D1110 a la dirección D0.

Utilizar una memoria M1000 para realizar la ecuación de la recta de la temperatura $m = a \cdot x + b$ y convertir el valor binario del sensor PT100 a un valor real de temperatura.

- 4) En el HMI Delta, utilizar el software DOPSoft de Delta para configurar la interfaz gráfica y visualizar la temperatura del tanque. Configurar una pantalla que muestre la temperatura del tanque en tiempo real utilizando el sensor de temperatura PT100.
- 5) Implementar la lógica de control en el PLC para encender y apagar la electroválvula en función del estado del sensor flotador de nivel. Cuando el nivel de agua es bajo, el sensor flotador activará la electroválvula para llenar el tanque. Cuando el nivel de agua es alto, el sensor flotador desactivará la electroválvula.
- 6) Asegurarse de que el sensor de temperatura PT100 esté correctamente conectado al PLC y configurado en el HMI para mostrar la temperatura en grados Celsius.
- 7) Descargar el programa del PLC al módulo didáctico para PLC Delta utilizando el software ISPSOft.
- 8) Descargar la configuración del HMI al módulo didáctico para HMI Delta utilizando el software DOPSoft.
- 9) Verificar la comunicación entre el PLC Delta y el HMI Delta, y asegurarse de que todos los componentes estén correctamente conectados.
- 10) Realizar pruebas para verificar el funcionamiento del sistema. Observar cómo la electroválvula se enciende y apaga en función del nivel de agua detectado por el sensor flotador. Verificar la visualización correcta de la temperatura del tanque en el HMI.

6. Definiciones de equipos y materiales:

PLC Delta: Un controlador lógico programable utilizado para el control y automatización de procesos industriales.

HMI Delta: Una interfaz de usuario gráfica utilizada para interactuar con el PLC y mostrar información sobre el sistema.

Electroválvula: Una válvula controlada eléctricamente que regula el flujo de un fluido.

Sensor flotador de nivel: Un dispositivo utilizado para detectar el nivel de un líquido mediante un flotador que se mueve con el cambio de nivel.

Sensor de temperatura PT100: Un sensor resistivo utilizado para medir la temperatura, basado en la resistencia del platino a diferentes temperaturas.

7. Preguntas sobre lo aprendido:

¿Cómo se utiliza un sensor flotador de nivel para controlar el llenado de un tanque?

¿Cuál es la función de un sensor de temperatura PT100 en un sistema de control?

¿Cómo se configura y visualiza la temperatura del tanque en el HMI Delta?

¿Cuál es la importancia de configurar alarmas en el HMI para detectar condiciones fuera de rango de nivel de agua y temperatura?

8. Conclusiones:

En esta práctica de laboratorio, hemos aprendido a controlar el nivel de agua en un tanque utilizando un sensor flotador de nivel y una electroválvula controlada por un PLC Delta. También hemos implementado un sensor de temperatura PT100 para medir y visualizar la temperatura del tanque en un HMI Delta. Esta práctica nos ha permitido adquirir conocimientos sobre el control de nivel de agua, la lectura de sensores y la visualización de datos en un entorno industrial.



PRÁCTICA DE LABORATORIO 4

Título: Control de nivel y monitoreo de temperatura y caudal de agua

1. Introducción:

En esta práctica de laboratorio, utilizaremos un módulo didáctico para PLC Delta, un módulo didáctico para HMI Delta y otros componentes para controlar el nivel de agua en un tanque y monitorear la temperatura y el caudal del agua. En lugar de utilizar botones digitales en el HMI, controlaremos una electroválvula mediante un sensor flotador de nivel. Cuando el sensor esté activado, la electroválvula se encenderá y permitirá el flujo de agua al tanque. Cuando el sensor se desactive, la electroválvula se apagará y el flujo de agua se detendrá. Además, utilizaremos un sensor de temperatura PT100 para medir la temperatura del agua y un sensor de caudal FS400A para medir el caudal de agua. Estos valores se visualizarán en el HMI para su monitoreo. Esta práctica nos permitirá adquirir conocimientos sobre el control de nivel utilizando sensores, así como la programación de PLC, configuración de HMI y monitoreo de variables en un entorno industrial.

2. Objetivos:

Diseñar un programa de PLC para controlar el nivel de agua en un tanque utilizando un sensor flotador y una electroválvula.

Configurar el HMI para visualizar el nivel de agua, temperatura y caudal, y permitir la interacción con el usuario.

Implementar la lógica de control en el PLC para encender y apagar la electroválvula según el estado del sensor flotador.

Utilizar un sensor de temperatura PT100 para medir la temperatura del agua y mostrarla en el HMI.

Utilizar un sensor de caudal FS400A para medir el caudal de agua y mostrarlo en el HMI.

3. Materiales y equipos:

- Módulo didáctico para PLC Delta
- Módulo didáctico para HMI Delta
- Tanque de agua

- Sensor flotador de nivel
- Electroválvula
- Sensor de temperatura PT100
- Sensor de caudal FS400A
- PLC Delta DVP SX20
- HMI Delta DOP Series

4. Problema a desarrollar:

Controlar el nivel de agua en un tanque utilizando un PLC Delta, HMI Delta, sensor flotador de nivel y una electroválvula. La electroválvula se encenderá cuando el sensor flotador esté activado, permitiendo que el agua fluya al tanque. Cuando el sensor flotador se desactive, la electroválvula se apagará y se detendrá el flujo de agua. Además, utilizaremos un sensor de temperatura PT100 para medir la temperatura del agua y un sensor de caudal FS400A para medir el caudal de agua. Estos valores se visualizarán en el HMI para su monitoreo y control.

5. Procedimiento:

- 1) Conectar el módulo didáctico para PLC Delta, el módulo didáctico para HMI Delta y los componentes (tanque de agua, sensor flotador de nivel, electroválvula, sensor de temperatura PT100, sensor de caudal FS400A) según las instrucciones proporcionadas por Delta.
- 2) Configurar el módulo didáctico para PLC Delta y el módulo didáctico para HMI Delta según las especificaciones del fabricante.
- 3) Utilizando el software ISPSoft de Delta, programar el PLC para controlar el nivel de agua en el tanque y la activación de la electroválvula mediante el sensor flotador. Implementar la lectura del sensor de temperatura PT100 y del sensor de caudal FS400A. Utilizar el lenguaje de programación adecuado para el PLC.

I. Lógica de encendido y apagado de la bomba:

Utilizar memorias en el HMI con pulsadores para iniciar y detener la bomba.
Utilizar una bobina en serie con el temporizador T0 para activar la salida Y0 y encender la bomba durante 1000 milisegundos.

II. Lógica de control de la electroválvula con sensor flotador de nivel de agua:

Utilizar una entrada en el PLC para leer el estado del sensor flotador de nivel de agua.

Utilizar una bobina en serie con la salida Y2 para activar la electroválvula cuando el sensor esté activado y desactivarla cuando esté desactivado.

III. Lógica de medición de temperatura con sensor PT100:

Leer el valor analógico del sensor de temperatura PT100 en el canal 1 del PLC.

Utilizar una instrucción MOV para transferir el valor analógico a una memoria del PLC.

Utilizar una memoria para realizar el cálculo de la ecuación de la recta de temperatura: $m = a.x + b$, donde "a" y "b" son constantes.

IV. Lógica de medición de caudal con sensor FS400A:

Configurar la comunicación con el sensor de caudal FS400A en el HMI.

Leer el valor del caudal del agua en el HMI y visualizarlo en pantalla.

- 4) Configurar las entradas y salidas digitales y analógicas del PLC para el sensor flotador, la electroválvula, el sensor de temperatura y el sensor de caudal.
- 5) En el HMI, utilizar el software DOPSoft de Delta para configurar la visualización del nivel de agua, temperatura y caudal, y permitir la interacción con el usuario.
- 6) Descargar el programa del PLC al módulo didáctico para PLC Delta utilizando el software ISPSoft.
- 7) Descargar la configuración del HMI al módulo didáctico para HMI Delta utilizando el software DOPSoft.
- 8) Verificar la comunicación entre el PLC Delta y el HMI Delta, y asegurarse de que todos los componentes estén correctamente conectados.

- 9) Probar el funcionamiento del sistema llenando el tanque de agua y observando cómo la electroválvula se enciende cuando el sensor flotador está activado y se apaga cuando el sensor se desactiva. Monitorear la temperatura del agua y el caudal a través del HMI.

- 10) Realizar ajustes en el programa del PLC y en la configuración del HMI según sea necesario para mantener el nivel del agua constante en el tanque y visualizar correctamente la temperatura y el caudal en el HMI.

6. Definiciones de equipos y materiales:

PLC Delta: Un controlador lógico programable utilizado para el control y automatización de procesos industriales.

HMI Delta: Una interfaz de usuario gráfica utilizada para interactuar con el PLC y mostrar información sobre el sistema.

Sensor flotador de nivel: Un sensor que detecta el nivel de líquido en un tanque mediante un flotador que se mueve con los cambios de nivel.

Electroválvula: Una válvula controlada eléctricamente que regula el flujo de un fluido.

Sensor de temperatura PT100: Un sensor que mide la temperatura utilizando la variación de la resistencia eléctrica de un elemento de platino.

Sensor de caudal FS400A: Un sensor utilizado para medir el caudal de un fluido en una tubería.

7. Preguntas sobre lo aprendido:

¿Cuál es la función de un sensor de temperatura PT100 en un sistema de control de nivel de agua?

¿Cómo se programa un PLC Delta para leer y mostrar la temperatura y el caudal utilizando sensores analógicos?

¿Cuál es la importancia de monitorear el nivel, temperatura y caudal del agua en un sistema industrial?

¿Cómo se configura un HMI Delta para mostrar la información de nivel, temperatura y caudal de agua en tiempo real?

¿Qué otros sensores podrían utilizarse para monitorear variables adicionales en un sistema de control de nivel de agua?

3. Conclusiones:

En esta práctica de laboratorio, hemos aprendido a controlar el nivel de agua en un tanque utilizando un PLC Delta, HMI Delta, sensor flotador de nivel y una electroválvula. También hemos utilizado un sensor de temperatura PT100 y un sensor de caudal FS400A para medir y monitorear la temperatura y el caudal del agua. Hemos programado el PLC para encender y apagar la electroválvula según el estado del sensor flotador y hemos configurado el HMI para visualizar el nivel, temperatura y caudal en tiempo real. Esta práctica nos ha permitido adquirir conocimientos sobre el control de nivel utilizando sensores, así como la programación de PLC, configuración de HMI y monitoreo de variables en un entorno industrial.



PRÁCTICA DE LABORATORIO 5

Título: Control de nivel y temperatura de agua con PLC y HMI

1. Introducción:

En esta práctica de laboratorio, utilizaremos un módulo didáctico para PLC Delta, un módulo didáctico para HMI Delta, sensores de nivel flotadores (X1 y X2) y un sensor de temperatura PT100 para controlar el nivel y la temperatura del agua. Implementaremos un programa en el PLC utilizando timers y contadores para encender la bomba y controlar los niveles de agua. Cuando el nivel alcance el punto alto, se apagará la bomba y se activará una resistencia eléctrica para calentar el agua. Desde el HMI, podremos observar la temperatura del agua y establecer una temperatura deseada. Cuando el agua alcance la temperatura establecida, se activará una electroválvula para permitir que el agua caliente regrese. También podremos visualizar el caudal y el nivel de agua utilizando los sensores flotadores. Esta práctica nos permitirá adquirir conocimientos sobre control de nivel y temperatura en un sistema de agua utilizando PLC y HMI.

2. Objetivos:

Diseñar un programa de PLC para controlar el nivel de agua utilizando sensores flotadores.

Implementar el control de temperatura del agua utilizando un sensor PT100 y una resistencia eléctrica.

Establecer una temperatura deseada desde el HMI y controlar la activación de una electroválvula cuando se alcance esa temperatura.

Visualizar el nivel y el caudal de agua desde el HMI.

Utilizar timers y contadores para controlar los tiempos de encendido y apagado de la bomba, y para contar el tiempo de calentamiento del agua.

3. Materiales y equipos:

- PLC DVP series
- HMI DOP series
- Sensores flotadores de nivel
- Sensor de temperatura PT100
- Resistencia eléctrica

- Electroválvula
- Bomba
- Caudalímetro
- Pulsadores y memorias en el HMI

4. Problema a desarrollar:

Controlar el nivel y la temperatura del agua utilizando un PLC, un HMI, sensores flotadores de nivel, un sensor de temperatura PT100, una resistencia eléctrica y una electroválvula. La bomba se encenderá cuando el nivel de agua esté por debajo del punto alto. Al alcanzar el nivel alto, se apagará la bomba y se activará la resistencia eléctrica para calentar el agua. Desde el HMI, se establecerá una temperatura deseada y se controlará la activación de la electroválvula cuando el agua alcance dicha temperatura. También se visualizará el nivel y el caudal de agua desde el HMI.

5. Procedimiento:

- 1) Conectar el módulo didáctico para PLC Delta, el módulo didáctico para HMI Delta, los sensores flotadores de nivel, el sensor de temperatura PT100, la resistencia eléctrica, la electroválvula y la bomba según las instrucciones proporcionadas por Delta.
- 2) Configurar el módulo didáctico para PLC Delta y el módulo didáctico para HMI Delta según las especificaciones del fabricante.
- 3) Utilizando el software ISPSoft de Delta, programar el PLC para controlar el nivel y la temperatura del agua. Utilizar timers y contadores para gestionar los tiempos y realizar las comparaciones necesarias con los sensores y la temperatura establecida.

I. Lógica de control del nivel de agua:

Utilizar el sensor flotador de nivel bajo para detectar si el nivel de agua está por debajo del nivel deseado.

Utilizar el sensor flotador de nivel alto para detectar si el nivel de agua ha alcanzado el nivel máximo permitido.

Utilizar un timer para controlar el tiempo de encendido de la bomba cuando el nivel de agua está por debajo del nivel alto.

Utilizar un contador para contar el número de veces que la bomba ha estado encendida.

II. Lógica de control de temperatura:

Utilizar el sensor de temperatura PT100 para medir la temperatura del agua.

Utilizar un comparador para comparar la temperatura actual con la temperatura deseada establecida desde el HMI.

Utilizar un timer para controlar el tiempo de encendido de la resistencia eléctrica cuando la temperatura está por debajo de la deseada.

Utilizar un contador para contar el tiempo de encendido de la resistencia eléctrica.

III. Lógica de control de la electroválvula:

Utilizar un contacto en serie con el contador del tiempo de encendido de la resistencia eléctrica para activar la electroválvula cuando la temperatura alcanza la deseada.

Utilizar un contacto en serie con el sensor flotador de nivel bajo para cerrar la electroválvula cuando el nivel de agua está por debajo del nivel bajo.

IV. Lógica de medición de caudal:

Configurar la comunicación con el sensor de caudal en el HMI.

Leer el valor del caudal de agua proporcionado por el sensor y visualizarlo en el HMI.

V. Lógica de medición de nivel de agua:

Utilizar los sensores flotadores de nivel bajo y alto para detectar el nivel de agua.

Visualizar el nivel de agua detectado por los sensores en el HMI.

- 4) Configurar la interfaz gráfica en el HMI utilizando el software DOPSoft de Delta. Visualizar el nivel y el caudal de agua, y establecer una temperatura deseada.
- 5) Descargar el programa del PLC al módulo didáctico para PLC Delta utilizando el software ISPSoft.
- 6) Descargar la configuración del HMI al módulo didáctico para HMI Delta utilizando el software DOPSoft.

- 7) Verificar la comunicación entre el PLC Delta y el HMI Delta, y asegurarse de que todos los componentes estén correctamente conectados.
- 8) Probar el funcionamiento del sistema. Verificar que la bomba se encienda cuando el nivel esté por debajo del punto alto (X2), que se apague cuando se alcance el nivel alto (X2) y se active la resistencia eléctrica, y que la electroválvula se active cuando se alcance la temperatura deseada.
- 9) Realizar pruebas adicionales para verificar el correcto funcionamiento del sistema, ajustando los parámetros si es necesario.

6. Definiciones de equipos y materiales:

PLC Delta: Un controlador lógico programable utilizado para el control y automatización de procesos industriales.

HMI Delta: Una interfaz de usuario gráfica utilizada para interactuar con el PLC y mostrar información sobre el sistema.

Sensores flotadores de nivel: Sensores utilizados para detectar el nivel de líquido en un tanque o contenedor.

Sensor de temperatura PT100: Un sensor de temperatura resistivo utilizado para medir la temperatura.

Resistencia eléctrica: Un dispositivo que convierte la energía eléctrica en calor.

Electroválvula: Una válvula controlada eléctricamente que regula el flujo de un fluido.

Bomba: Un dispositivo utilizado para transportar líquidos o gases a través de un sistema.

7. Preguntas sobre lo aprendido:

¿Cómo se utiliza un sensor flotador de nivel para detectar el nivel de agua en un tanque?

¿Cuál es la función de un sensor PT100 en el control de temperatura del agua?
¿Cómo se utiliza un timer en el PLC para controlar los tiempos de encendido y apagado de la bomba y la resistencia eléctrica?

¿Qué tipo de comparaciones se pueden realizar en el PLC para activar o desactivar la electroválvula y controlar la temperatura del agua?

¿Cuál es la importancia de visualizar el nivel y el caudal de agua en el HMI?

8. Conclusiones:

En esta práctica de laboratorio, hemos aprendido a controlar el nivel y la temperatura del agua utilizando un PLC Delta, un HMI Delta y sensores. Hemos programado el PLC utilizando timers y contadores para encender la bomba, controlar el nivel de agua y gestionar la temperatura mediante una resistencia eléctrica y una electroválvula. También hemos