

**Desarrollo de una maquinaria avanzada de inyección de líquidos con control de volumen
y caudal**

Andrés Felipe Patiño Anaya

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecatrónico

Director

Luis Rodrigo Mancilla López

Especialista en Automatización Industrial

Codirector

Daniel Felipe Chaparro

Master of Science

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Mecatrónica

2023

Dedicatoria

En este emotivo momento que marca el final de mi periodo académico, deseo con profundo agradecimiento dedicar este trabajo y su culminación a mi amada madre y mi padre. Sin su apoyo inquebrantable y su aliento constante, nada de esto hubiera sido posible. A mi madre, por su amor inquebrantable y sabios consejos que siempre han sido mi guía en tiempos de duda y desafío. A mi querida nona y hermana, cuyo apoyo incansable y aliento constante han sido un faro de inspiración. Sus voces y su amor han sido el motor detrás de mis esfuerzos y el combustible de mi perseverancia. Este logro es también el suyo.

Contenido

Introducción	11
1. Desarrollo de una maquinaria avanzada de inyección de líquidos con control de volumen y caudal	12
1.1 Planteamiento del problema.....	12
1.2 Justificación.....	13
1.3Objetivos	13
1.3.1 Objetivo general	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
2. Descripción de la empresa	14
2.1 Nombre.....	14
2.2 Misión.....	14
2.3 Visión	15
2.4 Infraestructura y equipos:.....	15
2.5 Fabricación y manufactura	16
2.6 Estructura orgánica.....	17
3.Marco referencial	18
3.1Marco teórico	18
3.2 Marco conceptual	19
4. Despliegue de actividades.....	22
4.1 El control preciso de la inyección de líquidos mediante la configuración de motor NEMA y driver OK2D86BH, además de la configuración de la velocidad del motor y control preciso en el sistema de inyección.....	23

4.2 Configuración de velocidad del motor y control preciso en el sistema de inyección	30
4.3 Control de flujo en un proyecto de inyección con electroválvulas festo	32
4.4 Interfaz kinco: control preciso de volumen y caudal en un proceso de inyección de líquidos	35
4.4 Funcionamiento y aplicación del sensor de presión MBS 3000 en un sistema de inyección de líquidos	42
4.5 Sistema de seguridad con finales de carrera en el proceso de inyección de líquidos	44
5. Resultados.....	47
6. Conclusiones.....	58
Referencias.....	63

Tablas

Tabla 1. <i>Listado de pruebas realizadas en la inyección de la maquina</i>	48
--	----

Listas de figuras

Figura 1. <i>Listado de la estructura de empresas</i>	18
Figura 2. <i>Diagrama de conexiones Driver, Motor y PLC</i>	23
Figura 3. <i>Conexiones físicas entre los diferentes componentes</i>	24
Figura 4. <i>Calculo para respuesta de volumen deseado</i>	25
Figura 5. <i>Cálculo de velocidad y conversión float-int</i>	25
Figura 6. <i>Driver OK2D86BH</i>	26
Figura 7. <i>Motor NEMA 34</i>	27
Figura 8. <i>Registros de memoria PLC Delta</i>	28
Figura 9. <i>Configuración bloque DPLSY</i>	28
Figura 10. <i>Variables de Velocidad de motor y cantidad de vueltas</i>	29
Figura 11. <i>Interfaz de Usuario</i>	29
Figura 12. <i>Bloque DPLSY</i>	30
Figura 13. <i>Relación de engranajes</i>	31
Figura 14. <i>Caja reductora</i>	32
Figura 15. <i>Electroválvulas Festo</i>	33
Figura 16. <i>Diagrama Conexiones físicas entre PLC y Electroválvula</i>	33
Figura 17. <i>Electroválvulas y PLC delta DVP</i>	34
Figura 18. <i>Interfaz KINCO – Menú inicio</i>	35
Figura 19. <i>Interfaz KINCO – Botones Volumen y Caudal</i>	36
Figura 20. <i>Interfaz KINCO – Indicadores de Válvulas</i>	36
Figura 21. <i>Interfaz KINCO – Barra de volumen inyectado</i>	36
Figura 22. <i>Interfaz KINCO – presión del Cilindro</i>	37

Figura 23. <i>Interfaz KINCO –Volumen en Tiempo Real</i>	37
Figura 24. <i>Interfaz KINCO –Segundo Modo Caudal Constante</i>	37
Figura 25. <i>Interfaz KINCO –Volumen presente en el segundo modo</i>	38
Figura 26. <i>Interfaz KINCO –Menú general</i>	38
Figura 27. <i>Interfaz KINCO –Menú mantenimiento</i>	38
Figura 28. <i>Interfaz KINCO –Parámetros de visualización</i>	39
Figura 29. <i>Interfaz KINCO –Botón Historial</i>	39
Figura 30. <i>Interfaz KINCO –Botón Grafica</i>	40
Figura 31. <i>Pantalla KINCO Green Series</i>	41
Figura 32. <i>Variables retentivas</i>	41
Figura 33. <i>Sensor de presión</i>	42
Figura 34. <i>Implementación del sensor de presión en la Maquina</i>	43
Figura 35. <i>Finales de carrera</i>	45
Figura 36. <i>Finales de carrera y tornillo de indicación de proceso</i>	45
Figura 37. <i>Conexiones físicas de los diferentes componentes</i>	46
Figura 38. <i>Diagrama de conexiones de los diferentes componentes</i>	47
Tabla 1. <i>Listado de pruebas realizadas en la inyección de la maquina</i>	48
Figura 39. <i>Imagen de Fluido inyectado</i>	49
Figura 40. <i>Imagen de Fluido inyectado con aire</i>	50
Figura 41. <i>Diseño de pantalla Kinco</i>	52
Figura 42. <i>Lectura del sensor de presión en PSI</i>	53
Figura 43. <i>Diagrama P&ID</i>	55
Figura 44. <i>Diagrama de programación PLC</i>	56

Resumen

El presente documento tiene como finalidad relatar y documentar el periodo de prácticas laborales realizado en la empresa Multiservicios Industriales Ltda., como parte de la formación académica en el campo de la automatización industrial para obtener el título de "ingeniero mecatrónico". El contenido se centra en la implementación de estrategias de automatización y control industrial, cumpliendo estrictamente con las normas de seguridad y regulaciones correspondientes. Se aborda la resolución de desafíos específicos relacionados con la producción y control de máquinas, con el propósito de mejorar la eficiencia y la calidad en procesos automatizados. Este informe refleja la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante la formación académica en el ámbito de la automatización industrial.

Palabras clave: Automatización industrial, PLC (Controlador Lógico Programable), Inyección de líquidos, Regulaciones de seguridad, Mejora de procesos automatizados

Abstract

The purpose of this document is to report and document the period of internship carried out at Multiservicios Industriales Ltda., as part of academic training in the field of industrial automation to obtain the title of "mechatronics engineer." The content focuses on the implementation of industrial automation and control strategies, strictly adhering to safety standards and relevant regulations. It addresses the resolution of specific challenges related to the production and control of machinery, with the aim of improving efficiency and quality in automated processes. This report reflects the practical application of knowledge acquired during academic training in the field of industrial automation.

Keywords: Industrial automation, PLC (Programmable Logic Controller), Liquid injection, Safety regulations, Industrial control, Improvement of automated processes.

Glosario

PLC (Controlador Lógico Programable): dispositivo electrónico programable utilizado para controlar procesos industriales. En el contexto del proyecto, se utiliza para automatizar el proceso de inyección de líquidos.

Caudal: cantidad de líquido que fluye por unidad de tiempo, medido en cc/min (centímetros cúbicos por minuto).

Volumen: espacio tridimensional ocupado por el líquido, medido en cc (centímetros cúbicos).

Interfaz de Usuario: plataforma que permite a los operadores configurar y monitorear el proceso de inyección de líquidos de manera intuitiva.

Sensor de Presión: dispositivo utilizado para medir la presión en el cilindro y determinar si es adecuada para la inyección de líquido.

Control de Velocidad: ajuste preciso de la velocidad de inyección mediante el PLC y el controlador de motor.

Motor NEMA 34: tipo de motor utilizado para mover el mecanismo de inyección con alta precisión.

Driver OK2D86BH: componente que controla el motor NEMA 34 y se configura para un cierto número de pulsos por revolución.

Electroválvulas Festo: dispositivos utilizados para controlar el flujo de líquido en el sistema de inyección.

Modo de Caudal: configuración que mantiene un caudal constante durante el proceso de inyección.

Introducción

En un entorno industrial en constante evolución, la eficiencia y precisión en los procesos de inyección de líquidos son de vital importancia. Este proyecto se enfoca en el desarrollo de una maquinaria de inyección de líquidos con control de volumen y caudal, un desafío significativo en un mundo cada vez más digitalizado y orientado a la automatización.

La maquinaria de inyección se ha convertido en un componente esencial en diversas aplicaciones industriales, desde la fabricación de productos farmacéuticos hasta la producción de dispositivos electrónicos. La capacidad de dosificar con precisión volúmenes específicos de líquido a tasas de flujo controladas es crucial para garantizar la calidad y eficiencia en estos procesos.

Durante el desarrollo de este proyecto, se abordarán aspectos técnicos y tecnológicos clave para lograr esta precisión. Se explorarán temas como el control de motores, la programación de PLC, la instrumentación avanzada y la interfaz de usuario. Además, se integrarán prácticas de seguridad industrial y se aplicarán estándares de calidad para asegurar un rendimiento óptimo y un entorno de trabajo seguro.

Este proyecto representa un paso significativo en la búsqueda de soluciones innovadoras para los desafíos industriales actuales. La combinación de conocimientos adquiridos durante la formación universitaria con la experiencia práctica en el campo de la ingeniería y la automatización contribuirá a la mejora de los procesos industriales y la eficiencia operativa en un mundo altamente competitivo y digitalizado.

1. Desarrollo de una maquinaria avanzada de inyección de líquidos con control de volumen y caudal

1.1 Planteamiento del problema

En la empresa Multiservicios Industriales Ltda., se enfrenta un desafío crítico en el área de automatización y control de procesos industriales, específicamente en el proceso de inyección de líquidos. La falta de un sistema de dosificación preciso genera problemas de uniformidad en la dosificación, lo que puede afectar la calidad del producto y los costos de producción.

En este contexto, el proyecto de desarrollo de una maquinaria avanzada de inyección de líquidos con control de volumen y caudal, respaldada por un sistema electrónico que regula el volumen y el caudal de los líquidos inyectados, surge como respuesta a la necesidad de mejorar la operación y el control en el proceso de inyección de líquidos en aplicaciones industriales y fortalecer el área de mantenimiento y automatización industrial. Esta solución tecnológica apunta a superar los desafíos mencionados, contribuyendo a la calidad del producto final, la reducción de costos y el cumplimiento de estándares de seguridad.

En diversos entornos industriales, el proceso de inyección de líquidos se enfrenta a desafíos críticos en cuanto a su precisión y uniformidad. La falta de una dosificación confiable conlleva el riesgo de obtener productos defectuosos y acarrea costos adicionales en la producción. Además, estos procedimientos aumentan el peligro de errores humanos y plantea preocupaciones de seguridad laboral. La carencia de sistemas de control avanzados y de una automatización eficiente agrava esta problemática. Por tanto, surge una necesidad urgente de optimizar este proceso a través de la implementación de soluciones tecnológicas que posibiliten una inyección precisa y automatizada de líquidos, garantizando la uniformidad en la dosificación y mejorando la eficiencia

operativa en diversas aplicaciones industriales. Este proyecto se presenta como respuesta a estos desafíos, con el propósito de ofrecer un enfoque integral y avanzado para el control y la automatización del proceso de inyección de líquidos.

1.2 Justificación

Este proyecto se basa en la demanda creciente de procesos industriales precisos y eficientes en la inyección de líquidos. La falta de uniformidad en esta etapa puede provocar problemas de calidad y aumentar los costos. Mediante la implementación de tecnologías avanzadas, como sistemas de medición de caudal, algoritmos de control y automatización, se busca mejorar la calidad del producto, la eficiencia operativa y la competitividad de las empresas. Esta optimización responde a las necesidades actuales de la industria, promoviendo la innovación y la sostenibilidad al reducir el desperdicio de recursos y energía en los procesos productivos. Para que estas tecnologías avanzadas sean efectivas, es necesario que sean fáciles de usar y comprender por parte de los usuarios. Una interfaz de usuario intuitiva para facilitar la interacción con las tecnologías, lo que permitirá a los usuarios aprovechar al máximo sus beneficios.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una interfaz de usuario que controle un PLC Delta DVP para la automatización de un proceso de inyección de líquidos que permita obtener un caudal mínimo de 0.01cc/min mediante el programa interactivo de kinco.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar un Diagrama P&ID que muestre el proceso, los equipos, instrumentos y actuadores del proceso de inyección de líquidos a controlar mediante el programa CAD.

Parametrizar los actuadores y sensores que hacen parte del proceso para su funcionamiento óptimo y se adapten a las necesidades de inyección a través de la función de variables retentivas.

Calcular la relación de engranajes necesaria para ajustar el sistema de inyección al caudal mínimo requerido(0.01cc/min) con la finalidad de controlar el llenado y vaciado del cilindro por medio de cálculos analíticos.

Ajustar el sensor de presión en el cilindro con el fin de determinar si la presión presente es la adecuada para la inyección del líquido con el proceso de ajuste calibrando el sensor de presión instalado en el cilindro

Programar un sistema de control automatizado en el proceso de inyección utilizando un PLC y una interfaz de pantalla para la adquisición y visualización de datos en tiempo real.

2. Descripción de la empresa

2.1 Nombre

Multiservicios Industriales Ltda.

2.2 Misión

Somos una organización que ofrece soluciones integrales a las necesidades de los sectores petrolero, energético y gas; basados en la investigación, diseño, ingeniería y comercialización de equipos tecnológicos, adaptándonos a la dinámica cambiante, retos, desafíos y oportunidades del

mercado; apoyados por un talento humano multidisciplinario e idóneo; cumpliendo con los más altos estándares de calidad, responsabilidad medioambiental y fomentando la seguridad y salud en el trabajo en cada uno de nuestros procesos, generando la rentabilidad, confianza y satisfacción para nuestros clientes [1].

2.3 Visión

Para el año 2025, seremos líderes a nivel departamental en investigación, diseño e innovación de equipos tecnológicos para el sector Petrolero, gas y energético; manteniendo los altos estándares de calidad que nos caracterizan, cumpliendo con los tiempos establecidos para cada proyecto, logrando siempre un desarrollo sostenible con responsabilidad social a través de la calidad de nuestros productos y servicios, la salud integral de nuestros trabajadores y responsabilidad con el medio ambiente [1].

2.4 Infraestructura y equipos:

La empresa cuenta con una infraestructura de vanguardia en dos ubicaciones estratégicas. En la ciudad de Bucaramanga, disponemos de 2500 metros cuadrados dedicados a operaciones clave. Además, en el Municipio de Girón, se ha establecido una instalación de 1200 metros cuadrados especialmente diseñada para llevar a cabo procesos de Sanblasting, pintura y ensamble. La planta de procesos metalmecánicos está equipada con tecnología de punta, que incluye torno vertical de 4 metros, torno CNC, centro CNC, alesadoras, rectificadoras y servicios de balanceo dinámico. Para garantizar la calidad y precisión en nuestros procesos, se cuenta con un laboratorio de instrumentación. Además, las operaciones administrativas se gestionan desde nuestras oficinas dedicadas. En cuanto a equipos, nuestra flota para izaje y movimiento de cargas incluye grúas

como la Terex T750, LinkBelt HTC 8660 y Stinger de 18 Toneladas, junto con grúas articuladas Elliott de 15, 10 y 7 Toneladas, y tractocamiones con camas altas y bajas. Para actividades que requieren levantamiento mecánico de personas, tenemos disponibles las plataformas JGL 600S y JGL 450S. Este conjunto de infraestructura y equipo de alta tecnología nos permite ofrecer soluciones integrales y servicios de primera calidad en el campo de la automatización y la industria metalmecánica [1].

2.5 Fabricación y manufactura

En nuestra empresa, destacamos en mecanizados gracias a nuestro avanzado equipamiento, que incluye un Centro de Mecanizado CNC, torno CNC, alesadora, mandrinadora, torno vertical de 4 metros y rectificadora de superficies. Además, ofrecemos soluciones de fabricación para una variedad de estructuras utilizadas en diversas industrias, como plataformas, soportes, escaleras, barandas, patines y marcos "H". También somos expertos en el diseño, fabricación y mantenimiento de instalaciones electromecánicas en el sector petroquímico, abordando aspectos como filtración, separación, mezclado, agitación, decantación, drenajes, confinamiento, inyección de fluidos, sistemas de calentamiento, spools, termopozos y elevación de carga. En cuanto a procesos de soldadura, aplicamos técnicas como SMAW, GMAW, GTAW y SAW, siguiendo los procedimientos WPS, PQR y WPQ según normas rigurosas como ASME, API y AWS. Además, ofrecemos la fabricación de recipientes a presión, incluyendo tanques, separadores CPI, core holders, vasijas e intercambiadores de calor, así como reactores para diversas aplicaciones industriales [1].

2.6 Estructura orgánica

- Director general: Omar Gaviria Aguirre fundador y propietario de la empresa desde su constitución en 1997 hasta la actualidad. Ha sido fundamental en el crecimiento y dirección de la empresa a lo largo de dos décadas [1].
- Gerencia: Marlon Gaviria hijo del fundador, asume el rol de gerente actualmente. Lidera la gestión general de la empresa y es responsable de la toma de decisiones estratégicas [1].
- Coordinación de gestión integral: Marggy Gaviria encargada de coordinar la gestión integral de la empresa, asegurando la calidad en los procesos y productos tecnológicos. Trabaja estrechamente con los equipos para la innovación y mejora continua [1].
- Coordinación administrativa financiera: Liliana Gaviria responsable de la coordinación administrativa y financiera de la empresa. Maneja aspectos financieros, contables y administrativos para garantizar el funcionamiento efectivo de la organización [1].
- Equipo administrativo y de producción: incluye un talento humano diversificado que contribuye al funcionamiento de la empresa. Este equipo abarca roles como producción, logística, recursos humanos y otras áreas vitales para el éxito de Multindustrial® [1].
- Reconocimientos y alianzas: la empresa ha obtenido reconocimientos, como el reconocimiento por parte de Ecopetrol a la Excelencia por Desempeño en 2012, lo que indica la calidad de su trabajo y su posición como proveedor de confianza. Además, ha establecido alianzas estratégicas con empresas del sector energético y otras instituciones, como la Universidad Industrial de Santander (UIS) [1].

Figura 1. Listado de la estructura de empresas

Adaptado de [1].

3. Marco referencial

3.1 Marco teórico

El proyecto de desarrollo de una maquinaria avanzada de inyección de líquidos con control de volumen y caudal se encuentra arraigado en una serie de factores técnicos esenciales. Esto incluye la rigurosa adherencia a normativas y estándares industriales para garantizar la operación segura y eficiente de la maquinaria. Los componentes y sistemas que conforman la maquinaria, como los sistemas de control, actuadores, cilindros, válvulas y sistemas de medición, deben seleccionarse y diseñarse cuidadosamente para garantizar un funcionamiento coherente y eficaz. Además, las pruebas y validaciones exhaustivas son esenciales para asegurar la calidad y la seguridad del equipo, incluyendo pruebas de carga y pruebas de funcionamiento real con diversos líquidos. Este enfoque técnico es crucial para lograr una maquinaria de inyección de líquidos que cumpla con los estándares de rendimiento y calidad requeridos en aplicaciones industriales. Para identificar los trabajos relevantes, se implementó una estrategia de búsqueda en varias fuentes, incluyendo repositorios académicos y bases de datos industriales. Los criterios de inclusión se centraron en la fecha de publicación y la relevancia temática en automatización industrial, control de volumen y caudal, normativas industriales y desarrollo tecnológico. Los trabajos fueron seleccionados en base a su contribución significativa a los objetivos del proyecto.

- Criterios de inclusión: los criterios de inclusión se centraron en los siguientes aspectos, fecha de publicación, se incluyeron trabajos publicados desde 2010 hasta la fecha actual para asegurar la relevancia de las tecnologías actuales. Relevancia temática, los trabajos debían abordar temas relacionados con la automatización industrial, el control de volumen y caudal, las normativas industriales y el desarrollo tecnológico.
- Análisis del aporte: cada uno de los trabajos seleccionados proporcionó una contribución valiosa a la investigación, ya que abordó aspectos clave relacionados con la automatización de procesos de inyección de líquidos. Los trabajos identificados presentaron soluciones tecnológicas innovadoras, enfoques de inyección avanzado y estrategias para garantizar la calidad y seguridad de la inyección. Además, se examinaron las normativas y estándares industriales, proporcionando orientación sobre el cumplimiento necesario. Los estudios de casos y las investigaciones técnicas respaldaron los objetivos del proyecto, sirviendo como base para la programación de la maquinaria avanzada de inyección de líquidos.

3.2 Marco conceptual

Considerando que la especialización se encuentra en la automatización se centra en los conceptos clave relacionados con la maquinaria de inyección de líquidos con control de volumen y caudal. Esto implica la comprensión profunda de la automatización industrial, que abarca la implementación de sistemas de control avanzados para garantizar la precisión en la inyección. Además, se considera la importancia de cumplir con las normativas y estándares industriales en cuanto a seguridad y calidad. La selección adecuada de componentes y sistemas, así como la realización de pruebas exhaustivas, son elementos esenciales para asegurar el rendimiento óptimo de la maquinaria. Este marco conceptual proporciona las bases teóricas para el diseño y desarrollo

de la maquinaria de inyección, abordando los desafíos técnicos y tecnológicos inherentes a este proceso industrial.

- **Automatización Industrial:** la automatización industrial se refiere a la aplicación de tecnología para controlar y supervisar procesos industriales. En este contexto, implica la implementación de sistemas automatizados en la maquinaria de inyección de líquidos para mejorar la precisión y la uniformidad en los procesos [2].
- **Control de volumen y caudal:** el control de volumen se refiere a la capacidad de ajustar y mantener un volumen específico de líquido inyectado, mientras que el control de caudal se relaciona con la gestión de la velocidad a la que se suministra el líquido. Ambos son fundamentales para garantizar la dosificación precisa en la inyección de líquidos [2].
- **Normativas Industriales:** estas son reglas y estándares establecidos por la industria para garantizar la calidad, la seguridad y el rendimiento de los equipos y procesos industriales. En este proyecto, se deben seguir las normativas aplicables para asegurar que la maquinaria cumpla con los requisitos y regulaciones industriales [3].
- **Componentes y sistemas:** estos son los elementos que componen la maquinaria, como el sistema de control, los actuadores, los cilindros, las válvulas y los sistemas de medición. La selección y el diseño adecuados de estos componentes y sistemas son cruciales para el funcionamiento eficiente y seguro de la maquinaria [4].
- **Pruebas y validación:** las pruebas y validaciones son procesos de evaluación que se llevan a cabo para garantizar que la maquinaria funcione correctamente. Esto incluye pruebas de carga, pruebas de resistencia y pruebas de inyección con diferentes líquidos para verificar la capacidad de la maquinaria para cumplir con sus objetivos [5].

- Calidad del producto: la calidad del producto se refiere a la uniformidad y la precisión en la dosificación de líquidos durante el proceso de inyección. Garantizar la calidad del producto es esencial para reducir los desperdicios y los costos en la producción industrial [5].
- Eficiencia operativa: la eficiencia operativa se relaciona con la capacidad de la maquinaria para realizar sus funciones de manera eficiente, minimizando el consumo de recursos y maximizando la productividad [6].
- Desarrollo tecnológico: en este proyecto, se explora el desarrollo de tecnologías avanzadas para la inyección de líquidos, lo que implica la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras para abordar los desafíos en el proceso de inyección [7].
- Este proyecto busca automatizar y optimizar el proceso de inyección de líquidos en entornos industriales, garantizando la precisión y el cumplimiento de los estándares de la industria con un enfoque en los siguientes ejes prioritarios:
- Diseño y desarrollo de maquinaria avanzada: el proyecto busca crear una maquinaria de inyección de líquidos altamente eficiente y precisa [7].
- Implementación de control automatizado: se desarrollará un sistema de control automatizado utilizando un PLC Delta DVP para garantizar un funcionamiento preciso y consistente [8].
- Optimización de procesos de inyección: se trabajará en mejorar la uniformidad y la eficiencia en el proceso de inyección de líquidos, permitiendo una dosificación más precisa y reduciendo costos de producción [9].

- Cumplimiento de normativas y estándares: el proyecto se llevará a cabo cumpliendo estrictamente con las normativas y estándares de seguridad y calidad aplicables en la industria [10].

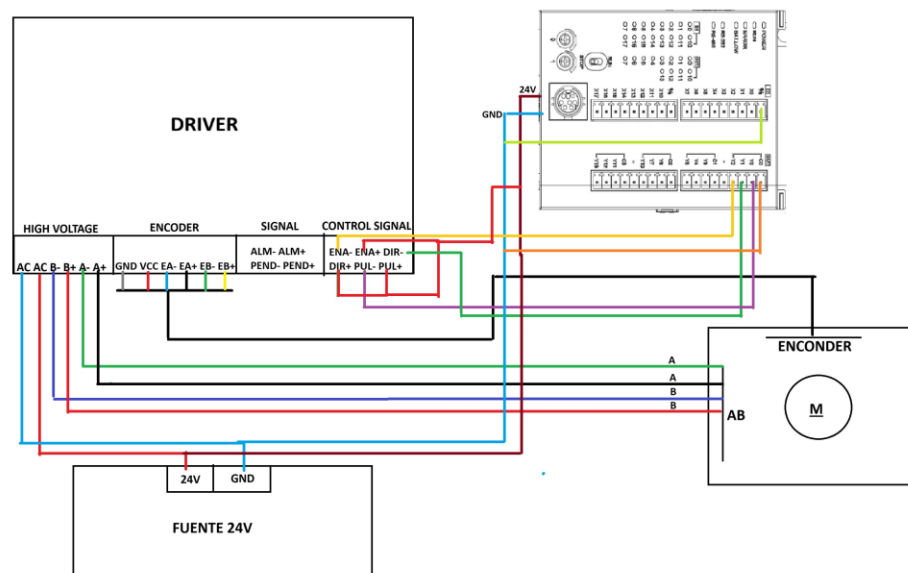
4. Despliegue de actividades

Durante el desarrollo de este proyecto, se llevaron a cabo una serie de actividades estratégicas para alcanzar con éxito los objetivos propuestos. Estas actividades se enfocaron en el área de automatización y control industrial en la empresa Multiservicios Industriales Ltda. A lo largo de este proyecto, se llevaron a cabo actividades distribuidas en tres fases fundamentales. En la fase de Diseño y Desarrollo, se enfocaron en la creación del diseño conceptual, abordando la distribución de componentes, sistemas de control, así como la programación del HMI. La Fase de Construcción y Montaje se centró en la ejecución del diseño validado, implementando componentes, realizando el ensamblaje, implementando sistemas de control, y llevando a cabo pruebas de funcionamiento. En la última fase, Pruebas y Ajustes, se verificó la precisión del sistema, se calibraron los parámetros de control y se realizaron pruebas bajo diversas condiciones para asegurar el cumplimiento de estándares de calidad y eficiencia. Estas actividades son esenciales para garantizar que la maquinaria de inyección de líquidos alcance los niveles requeridos de calidad y precisión para operaciones industriales exitosas. A continuación, se describen las principales actividades planificadas:

4.1 El control preciso de la inyección de líquidos mediante la configuración de motor NEMA y driver OK2D86BH, además de la configuración de la velocidad del motor y control preciso en el sistema de inyección

- Actividad: en la Figura 2 y 3 se presenta el motor nema 34 y el driver OK2D86BH utilizados junto con la figura 4 que representa el bloque de programa para el control del motor. En el proyecto de inyección de líquidos, se empleó un motor NEMA 34 junto con el driver OK2D86BH, configurado para operar con 5000 pasos por vuelta. Este motor desempeña un papel fundamental al mover el mecanismo necesario para llevar a cabo la inyección de líquidos con precisión y control. El control y la programación del motor se llevaron a cabo mediante el PLC Delta DVP, que ofrece la capacidad de enviar pulsos y establecer la frecuencia necesaria para controlar la velocidad del motor. (100% de cumplimiento).

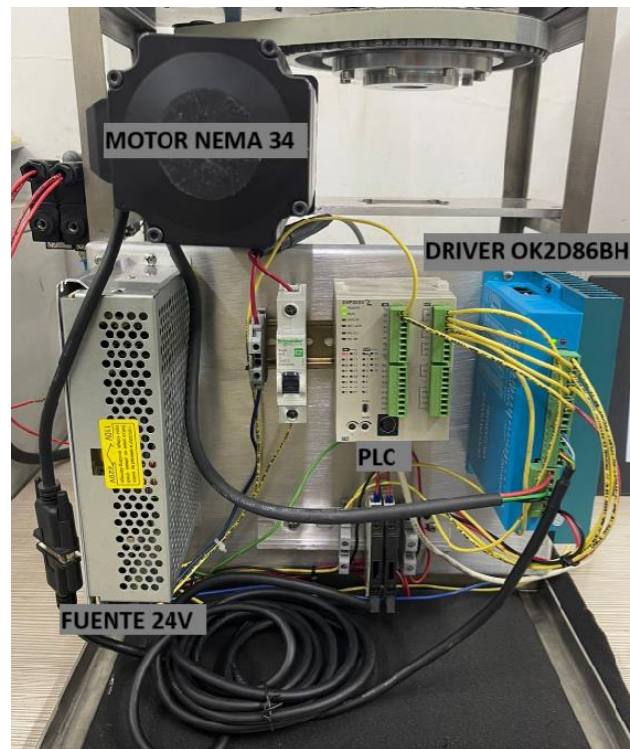
Figura 2. Diagrama de conexiones Driver, Motor y PLC



Nota. La figura 2 hace referencia a las conexiones físicas realizadas entre el motor NEMA y el Driver junto con el PLC delta DVP.

La configuración física se ajustó siguiendo las recomendaciones del fabricante, asegurando conexiones eléctricas adecuadas entre el motor, el driver y el PLC. Esto incluye la conexión de cables de alimentación y señales de control esenciales.

Figura 3. Conexiones físicas entre los diferentes componentes

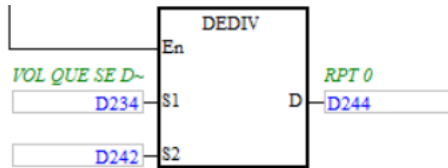


Nota. La figura 3 presenta la configuración y conexión física adecuadas entre el motor, el driver y el PLC.

Para lograr un control preciso del motor, se generaron pulsos desde el controlador utilizando el software de programación del PLC Delta DVP. El programa del PLC se diseñó para ajustar la frecuencia de estos pulsos, lo que permite controlar la velocidad del motor de acuerdo con los requisitos específicos del proceso de inyección. Además, se definió la dirección del motor en el programa, determinando si esta gira en sentido horario o antihorario (inyección o succión), en función de las necesidades de la aplicación. Se definió el volumen que se desea inyectar y los

pulsos mínimos, lo cual se define como $D234 = \text{volumen deseado}$ y $D242 = \text{Pulsos mínimos}$ “83 pulsos”.

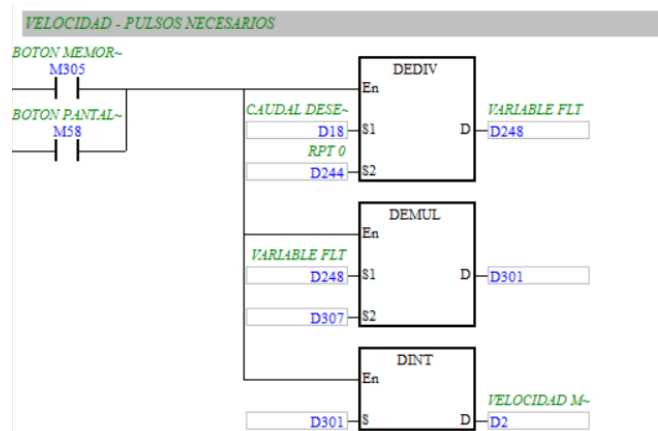
Figura 4. Calculo para respuesta de volumen deseado



Nota. La figura 4 muestra el cálculo del volumen que se desea inyectar. Este cálculo se realiza utilizando el bloque de división y las variables definidas como el volumen deseado y los pulsos mínimos, con lo que se obtiene la respuesta del volumen requerido.

Por último, se efectúa el cálculo necesario para determinar el caudal requerido con el fin de desplazar el volumen deseado, lo cual se define como: $(\text{Caudal Deseado}) / \text{RPT} = \text{Velocidad Motor}$, se realiza la conversión del valor obtenido con el bloque DINT ya que el bloque DPLSY no recibe valores flotantes.

Figura 5. Cálculo de velocidad y conversión float-int



Nota. La figura 5 muestra el cálculo de la velocidad necesaria. Este cálculo se realiza utilizando un botón RUN y la variable M58. Al presionar el botón, se ejecuta la operación matemática, que comienza con la división del caudal deseado ingresado en la pantalla por el valor de la respuesta

del volumen. El resultado, definido como la variable D248, se multiplica luego por una constante y, por último, se convierte de valor flotante a uno entero.

El ciclo de control programado en el PLC se encarga de enviar los pulsos y ajustar la frecuencia en respuesta a las señales de entrada requeridas para el proceso de inyección. Esto proporciona un control completo sobre la velocidad y la dirección del motor para garantizar la precisión y la uniformidad en la dosificación de líquidos. Después de configurar y programar adecuadamente el sistema, se realizaron pruebas para verificar que el motor funcionara de acuerdo con las especificaciones deseadas. Durante esta fase, se realizaron ajustes en la programación según fuera necesario para alcanzar la velocidad y la precisión requeridas en el proceso de inyección. Finalmente, se implementaron medidas de seguridad para garantizar que el sistema del motor operara dentro de parámetros seguros y para proteger el sistema en caso de situaciones inesperadas. Este enfoque integral de configuración y programación permitió utilizar eficazmente el motor NEMA 34 y el driver OK2D86BH en conjunto con el PLC Delta DVP para lograr una inyección de líquidos precisa y controlada en la aplicación industrial deseada.

Figura 6. Driver OK2D86BH



Nota. La figura 6 representa el driver utilizado para controlar la cantidad de pulsos.

El driver del motor, configurado a 5000 pulsos por vuelta, desempeña un papel crucial en el control de la precisión y la velocidad del motor NEMA 34 en el proceso de inyección de líquidos. Esta configuración significa que, por cada vuelta completa del motor, se generan y envían 5000 pulsos eléctricos al motor. Estos pulsos se utilizan para controlar la cantidad de giro y la velocidad del motor de manera extremadamente precisa. Cuando se envían más pulsos en un período de tiempo, el motor gira más rápido, y cuando se envían menos pulsos, el motor gira más lentamente. Esta configuración es esencial para alcanzar la dosificación precisa requerida en la inyección de líquidos, ya que permite controlar con gran exactitud el desplazamiento del tornillo o pistón encargado de la inyección. Cada pulso representa una fracción minúscula de movimiento, lo que significa que se puede lograr una dosificación muy precisa incluso en volúmenes pequeños. Además, el driver del motor asegura una repetibilidad constante del proceso, lo que es fundamental para mantener la calidad del producto y la eficiencia en la operación.

Figura 7. Motor NEMA 34



Nota. La figura 7 representa el motor utilizado para el sistema de inyección.

En la figura 9 se presenta el bloque DPLSY. El bloque DPLSY en un PLC Delta DVP se puede utilizar para controlar un motor NEMA configurando la velocidad y la cantidad de giros de la siguiente manera:

- Configura registros de memoria: en primer lugar, se establecen registros de memoria para almacenar la velocidad deseada y la cantidad de giros requeridos.

Figura 8. Registros de memoria PLC Delta

Registro DRegistro CRegistro C(32bits)Registro T

TransferirEliminar TodoTitulo Funcion

Longitud Dato

- 16 bits
- 32 bits

Formato Dato

- Decimal
- Hexadecimal
- Binario
- Float

Ir aDIr

	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
D0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. La figura 8 representa el bloque de memoria que se maneja en el PLC delta DVP.

- Utiliza el bloque DPLSY: Se utiliza el bloque DPLSY para copiar estos valores desde los registros de memoria a registros especiales destinados a controlar el motor.

Figura 9. Configuración bloque DPLSY

Num API57Nombre APIDPLSYOK

Comentario:Pulso de SalidaCancelar

S1DValor Compone2Indic

S2DValor Compone74Indic

DYValor Compone0Indic

	P	I	N	X	Y	M	S	K	H	KnX	KnY	KnM	KnS	T	C	D
S1								*	*	@	@	@	@	@	@	@
S2								*	*	@	@	@	@	@	@	@
D					*											

Nota. La figura 9 se presenta la configuración y declaración de variables.

- Implementa la lógica de control del motor: se desarrolla la lógica de control del motor para utilizar estos valores copiados y regular la velocidad y la posición de acuerdo con las especificaciones del usuario.

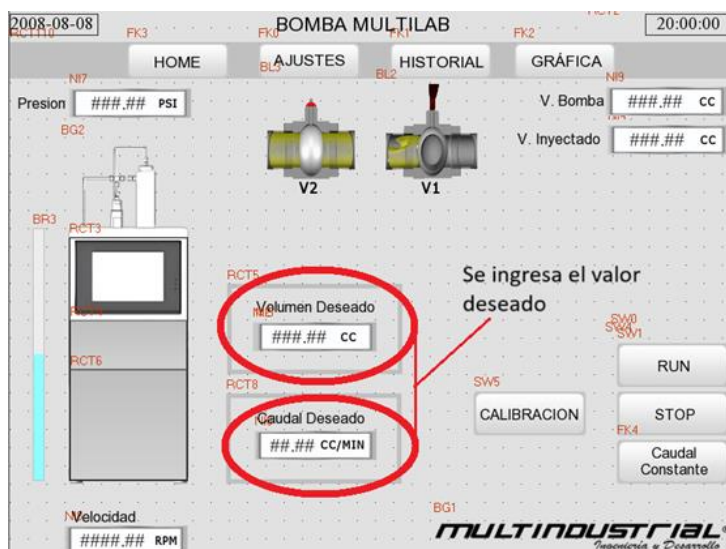
Figura 10. Variables de Velocidad de motor y cantidad de vueltas

S1	D	▼	Valor Compone	2	▲▼
S2	D	▼	Valor Compone	74	▲▼
D	Y	▼	Valor Compone	0	▲▼

Nota. La figura 10 representa los variables que se utilizan para manejar la velocidad y cantidad de vueltas necesarias para un volumen deseado. Donde S1 se define como la frecuencia de pulsos de salida, S2 como el número de pulsos de salida y D dispositivo de pulso de salida o señal de funcionamiento.

- Proporciona una interfaz de usuario: se crea una interfaz de usuario que permite al usuario ingresar los valores deseados de velocidad y giros.

Figura 11. Interfaz de Usuario

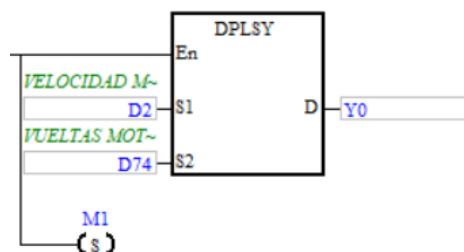


Nota. La Figura 11 muestra la interfaz de usuario diseñada para operar la máquina de inyección. La interfaz comienza con una barra de menús principales en la parte superior, que incluye botones

de inicio, configuración, un historial de datos y una gráfica que refleja la capacidad del cilindro. En el centro de la pantalla, se encuentra un recuadro que indica la presión actual en el cilindro en psi. Además, la interfaz presenta dos indicadores visuales que muestran el estado de las electroválvulas y dos cuadros que indican tanto la cantidad inyectada por la máquina como la capacidad de la bomba para inyectar. En la parte inferior, se disponen dos cuadros para ingresar los valores deseados de caudal y volumen, junto con un botón de "caudal constante" para llenar y vaciar el cilindro de manera continua. Finalmente, se incluyen botones de "RUN" y "STOP" para controlar el proceso.

- Permite el monitoreo y ajuste en tiempo real: la interfaz de usuario también permite el monitoreo y ajuste en tiempo real de los parámetros según las necesidades.

Figura 12. Bloque DPLSY



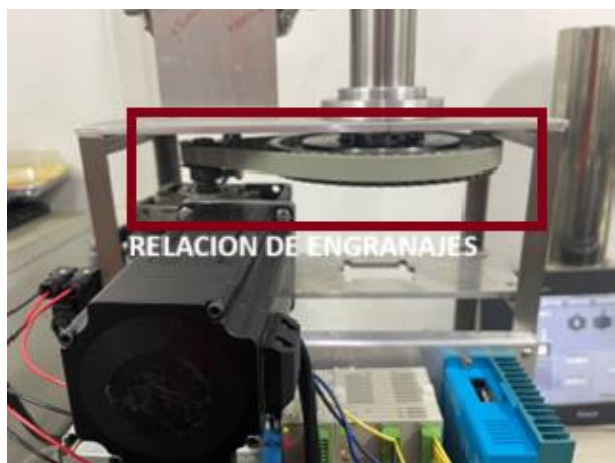
Nota. La figura 12 representa el bloque que se utiliza en el PLC delta DVP para manejar la frecuencia. Las variables se definen de la siguiente manera, $D2 = \text{velocidad Motor}$ y $D74 = \text{Cantidad de vueltas}$.

4.2 Configuración de velocidad del motor y control preciso en el sistema de inyección

En la Figura 13 y 14 se presenta la caja reductora junto con la relación de engranajes empleada para lograr una inyección de 0.01 (cc/min) . Para determinar esta relación de engranajes necesaria, se llevó a cabo un proceso de cálculo meticuloso basado en la relación fundamental

entre volumen, área y desplazamiento. En un principio, se estableció la meta de alcanzar un caudal de 0.01 cc/min y se formuló la ecuación $Volumen = \text{Área} * \text{Desplazamiento}$, considerando un volumen deseado de 0.01 cc . A partir de esta ecuación, se despejó el valor del desplazamiento como $\text{Desplazamiento} = Volumen / \text{Área}$. Con el valor del volumen deseado (0.01 cc/min) y el área calculada (5.067 cm^2), se obtuvo un desplazamiento de 0.0197 cm . Este cálculo permitió definir con precisión el desplazamiento del tornillo. A continuación, se procedió a calcular la relación de engranajes necesaria. Dado que el paso del engranaje era de 0.5 cm y el desplazamiento era de 0.0197 cm , la relación de engranajes se determinó como $0.5 \text{ cm} / 0.0197 \text{ cm}$, lo que resultó en 0.00394 cm . Haciendo un despeje adicional, se obtuvo que la relación de engranajes necesaria era de $x = 1 / 0.00394$, lo que equivale a 253 . Lo cual para lograr un caudal de 0.01 cc/min , se requeriría una relación de engranajes de 253 en el sistema de inyección. Esta relación fue calculada con precisión mediante un proceso detallado que tuvo en cuenta las variables fundamentales del sistema.

Figura 13. Relación de engranajes



Nota. La figura 13 muestra la relacion de entrانjes utilizada para mover el piston del cilindro.

Figura 14. Caja reductora

Nota. La figura 14 muestra la caja reductora que en conjunto con los engranajes cumplen con la relación necesaria para mover el caudal mínimo necesario.

4.3 Control de flujo en un proyecto de inyección con electroválvulas festo

En la figura 15 y 16 se presenta la electroválvula utilizada. En el proyecto, se han implementado electroválvulas de la marca Festo, específicamente las denominadas V1 y V2, como componentes cruciales para controlar el flujo de líquido durante el proceso de inyección. La configuración y el control precisos de estas electroválvulas son esenciales para garantizar el funcionamiento eficiente de la inyección. La electroválvula V1 se utiliza cuando se requiere la inyección de líquido. En esta situación, la V1 se encuentra en su estado "abierta". Esto significa que permite que el líquido fluya desde su fuente hacia el sistema de inyección. La razón detrás de mantener la V2 en su estado "cerrada" en este momento es crítica. Si la V2 se abriera accidentalmente durante la inyección, el líquido podría desviarse hacia un recipiente o una dirección no deseada, lo que interrumpiría el proceso de inyección y podría causar problemas no deseados. Por otro lado, cuando es necesario el proceso de succión, la electroválvula V1 se encuentra en su estado "cerrada" para evitar el flujo de líquido. Mientras tanto, la V2 se encuentra en su estado "abierta". Esto permite que el cilindro se vacíe, creando un espacio adecuado para su posterior llenado. En otras palabras, cuando la V1 está cerrada y la V2 está abierta, se permite que

el líquido sea succionado hacia el cilindro, preparándolo para el próximo ciclo de inyección. Este control preciso de las electroválvulas Festo, en conjunto con otros componentes del sistema, asegura que el proceso de inyección se realice de manera eficiente y controlada, evitando cualquier desviación no deseada del líquido y garantizando que el cilindro esté en las condiciones adecuadas para cada fase del ciclo de inyección.

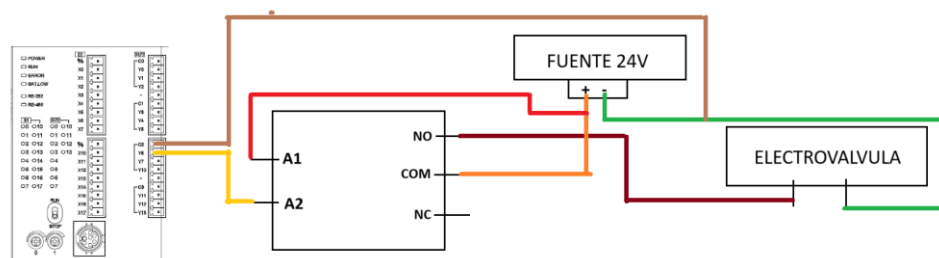
Figura 15. Electroválvulas Festo



Nota. En la figura 15 se muestra la electroválvula Festo las cuales son dispositivos electromecánicos utilizados en sistemas de automatización industrial para controlar el flujo de líquidos o gases. Estas válvulas se caracterizan por su alta precisión y capacidad de respuesta.

Las electroválvulas Festo están conectadas a los puertos digitales de un PLC (Controlador Lógico Programable) para permitir un control preciso sobre su funcionamiento. El PLC actúa como el cerebro del sistema y coordina las acciones de las electroválvulas para lograr el proceso de inyección y succión deseado.

Figura 16. Diagrama Conexiones físicas entre PLC y Electroválvula

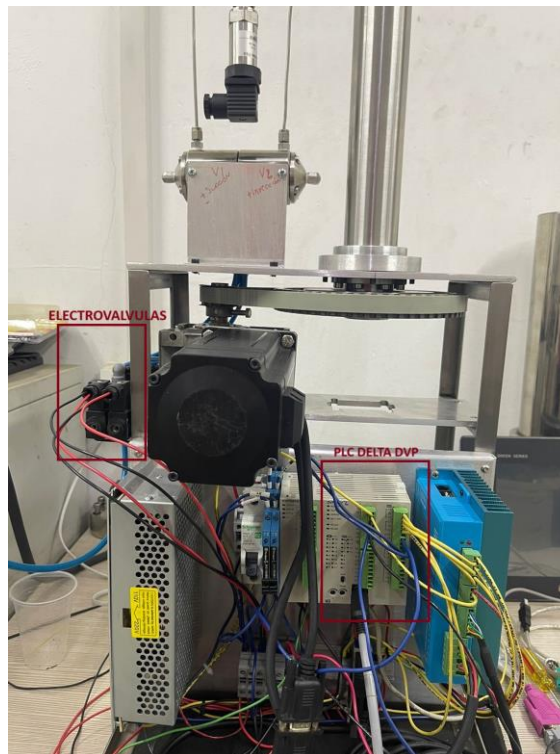


Nota. En la figura 16 se muestra la conexión física de las electroválvulas junto con el relevador tipo clema 6A bobina 24v al PLC lo cual implico la utilización de cables y conectores adecuados.

Cada electroválvula tiene dos estados posibles: "abierta" o "cerrada", y estos estados se controlan mediante señales eléctricas. Con los puertos digitales del PLC generan estas señales eléctricas para activar o desactivar las electroválvulas según el requerimiento.

El PLC está programado para enviar señales específicas a través de los puertos digitales en función de la lógica de control que se haya diseñado. Como lo es en el caso, cuando se requiere que la electroválvula V1 esté "abierta" para la inyección, el PLC enviará una señal eléctrica al puerto correspondiente que activará la electroválvula V1. Del mismo modo, cuando se necesita que la electroválvula V1 esté "cerrada" durante la succión, el PLC enviará una señal diferente para desactivarla. Esta programación del PLC se basa en la secuencia de operación deseada para el proceso de inyección y succión. El programa define cuándo y cómo deben cambiarse los estados de las electroválvulas en función de las necesidades de la aplicación.

Figura 17. Electroválvulas y PLC delta DVP

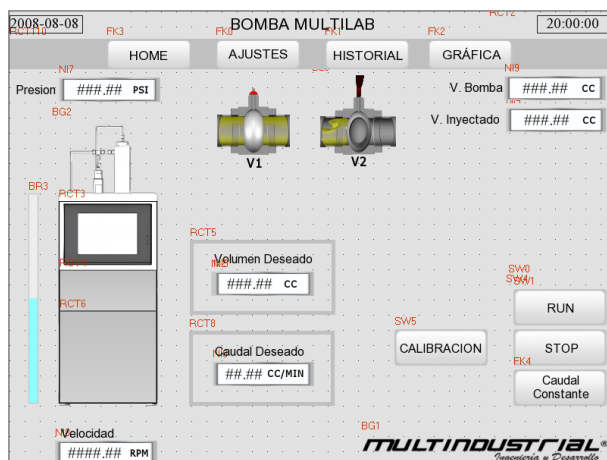


Nota. La figura 17 representa las conexiones físicas realizadas.

4.4 Interfaz kinco: control preciso de volumen y caudal en un proceso de inyección de líquidos

En el diseño de la pantalla Kinco, se ha creado una interfaz de usuario altamente funcional y versátil que desempeña un papel fundamental en el control y monitoreo del proceso de inyección de líquidos en la máquina. Esta pantalla proporciona a los operadores un control completo sobre los parámetros de inyección, como el volumen y el caudal, y ofrece una visualización en tiempo real de datos críticos para la operación eficiente de la máquina.

Figura 18. Interfaz KINCO – Menú inicio



El primer modo de manejo, denominado "Volumen y Caudal", permite a los usuarios ingresar tanto el volumen deseado como el caudal deseado para la inyección de líquido. Esto brinda flexibilidad al proceso, ya que se pueden ajustar estos parámetros según las necesidades específicas de la aplicación. Además, la pantalla proporciona información esencial sobre la presión en el sistema, el volumen inyectado y el volumen disponible de la bomba. Los indicadores visuales de estado de las válvulas (abiertas o cerradas) son una característica importante para el control y la

seguridad del proceso. Además, la barra visual que muestra el volumen inyectado en tiempo real ofrece una representación gráfica intuitiva de la operación.

Figura 19. Interfaz KINCO – Botones Volumen y Caudal



Figura 20. Interfaz KINCO – Indicadores de Válvulas

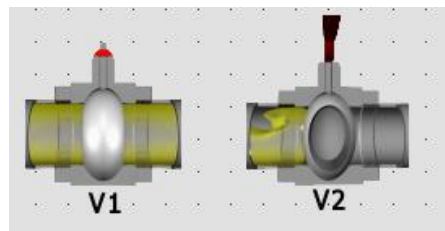


Figura 21. Interfaz KINCO – Barra de volumen inyectado

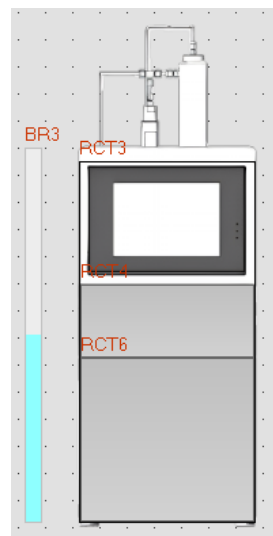


Figura 22. Interfaz KINCO – presión del Cilindro**Figura 23.** Interfaz KINCO –Volumen en Tiempo Real

El segundo modo de manejo, llamado "Caudal Constante", simplifica el proceso al permitir que los usuarios ingresen solo el caudal deseado. Cuando se activa este modo y se presiona el botón "Run", el sistema se llena y se vacía de manera continua y repetitiva, posee una barra que resalta de color amarillo que indica cuanto volumen se está desplazando en ese método, lo que puede ser útil en ciertas aplicaciones específicas.

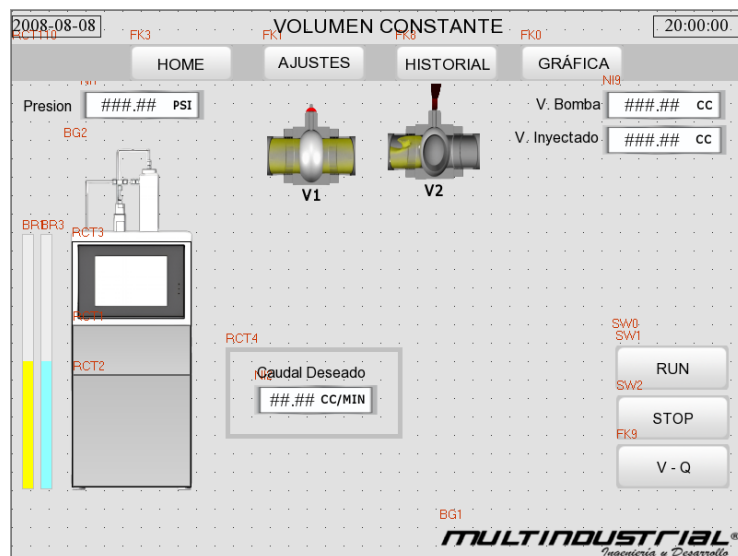
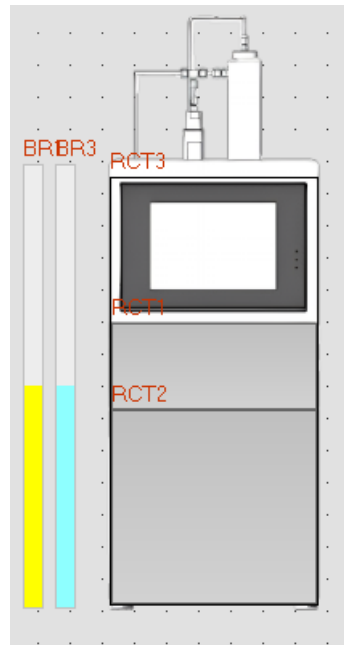
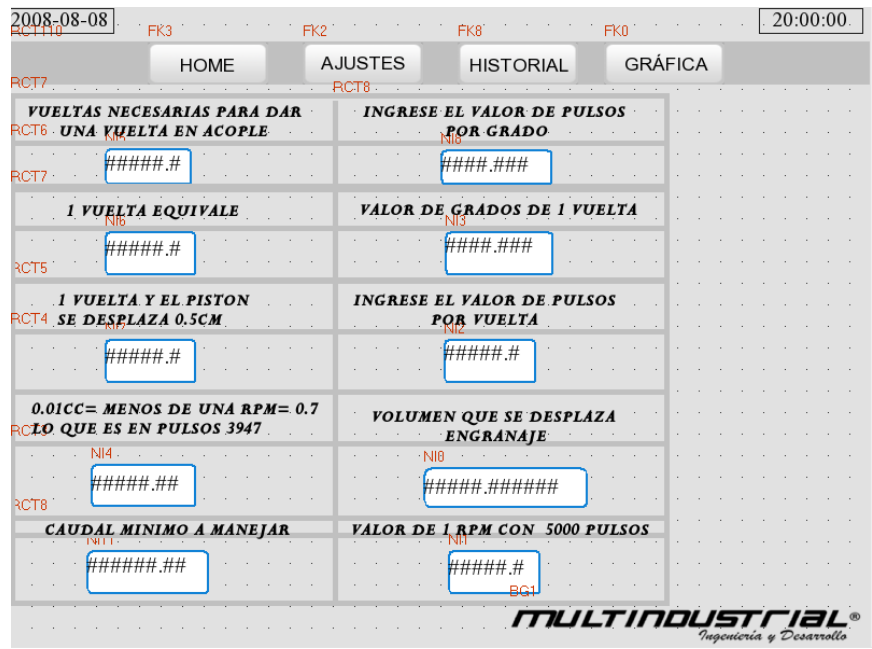
Figura 24. Interfaz KINCO –Segundo Modo Caudal Constante

Figura 25. Interfaz KINCO –Volumen presente en el segundo modo

La sección de "Ajustes" es vital para la configuración y el control del sistema. Aquí, se pueden ajustar parámetros como el radio, el diámetro y la altura del cilindro, así como los pulsos configurados en el driver del motor NEMA. La inclusión de una contraseña para esta sección garantiza que solo el personal de mantenimiento autorizado pueda acceder y realizar ajustes importantes en el sistema.

Figura 26. Interfaz KINCO –Menú general**Figura 27.** Interfaz KINCO –Menú mantenimiento

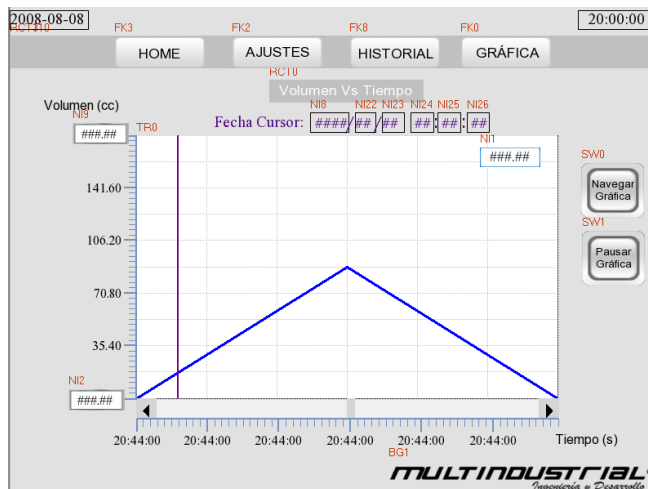
Figura 28. Interfaz KINCO –Parámetros de visualización



El botón de "Historial" proporciona un registro de los volúmenes inyectados, lo que permite un seguimiento y una auditoría de la operación a lo largo del tiempo. Por último, la función "Gráfica" ofrece una representación visual de la relación entre el volumen y el tiempo, lo que facilita la comprensión de los patrones de inyección y el rendimiento del sistema.

Figura 29. Interfaz KINCO –Botón Historial



Figura 30. Interfaz KINCO –Botón Grafica

En conjunto, esta pantalla Kinco no solo brinda un control completo sobre el proceso de inyección, sino que también ofrece herramientas de monitoreo y ajuste para garantizar la eficiencia y la confiabilidad operativa de la máquina. Su diseño intuitivo y accesible proporciona a los operadores la capacidad de optimizar y supervisar fácilmente la inyección de líquidos de acuerdo con los requerimientos específicos de la aplicación.

Las variables retentivas en la pantalla y el PLC son elementos fundamentales en proyectos industriales, como la inyección de líquidos, ya que garantizan la conservación de configuraciones críticas y datos relevantes incluso después de apagar o reiniciar el sistema. Esto agiliza la operación al evitar la necesidad de reconfiguración constante, mantiene registros de datos históricos para auditoría y diagnóstico, refuerza la seguridad mediante contraseñas y accesos restringidos, mejora la eficiencia operativa al reducir tiempos de inactividad y asegura la integridad del proceso al mantener configuraciones precisas. En resumen, las variables retentivas son esenciales para la consistencia, seguridad y eficiencia en aplicaciones industriales críticas.

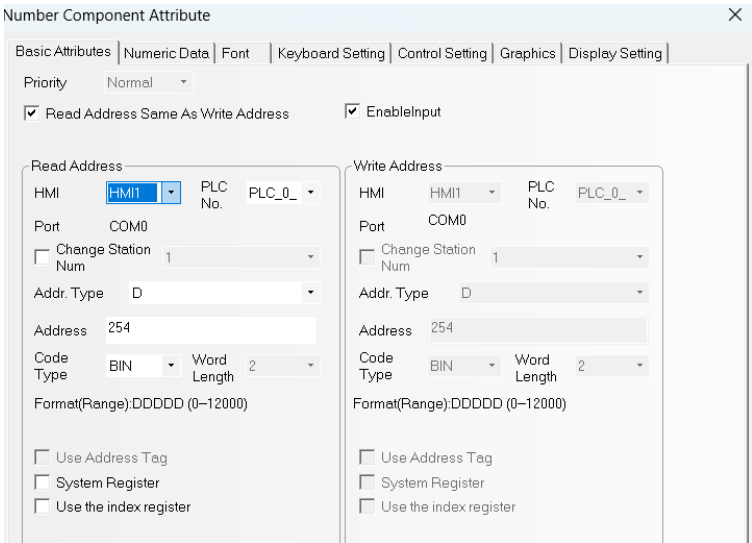
Figura 31. Pantalla KINCO Green Series



Nota. En la figura 31 se muestra el programa ya subido en la pantalla KINCO, el cual cuenta con las características mencionadas de la figura 11.

En el PLC Delta DVP28SV, las variables retentivas comienzan desde R2FF y pueden llegar hasta R2FFF, lo que proporciona un rango de 4096 registros retentivos para almacenar datos y configuraciones que persisten incluso después de apagar o reiniciar el PLC.

Figura 32. Variables retentivas



4.4 Funcionamiento y aplicación del sensor de presión MBS 3000 en un sistema de inyección de líquidos

El sensor de presión MBS 3000 series, que se utiliza en el proyecto, es un dispositivo fundamental diseñado para medir la presión en el cilindro del sistema de inyección de líquidos. Este sensor opera convirtiendo las variaciones de presión en su entorno en una señal eléctrica que se puede interpretar para supervisar y controlar el proceso.

Su funcionamiento es esencial para el control y monitoreo precisos del sistema de inyección. Cuando el cilindro se llena o se vacía, el sensor MBS 3000 detecta los cambios de presión y los convierte en datos eléctricos. Estos datos son cruciales para garantizar que la presión interna del cilindro se mantenga dentro de límites seguros durante la inyección, evitando problemas como fugas o daños al equipo.

Figura 33. Sensor de presión



La conexión del sensor de presión MBS 300R al módulo analógico en el sistema controlado por el PLC Delta DVP junto con el módulo analógico DVP04AD es altamente versátil y puede manejar múltiples canales de entrada analógica, generalmente en formatos de corriente (4-20 mA) o voltaje (0-10 V). Esto significa que puede medir una amplia gama de variables, como temperatura, presión, nivel, velocidad y muchas otras, dependiendo de los sensores conectados. Las señales analógicas convertidas se transmiten al PLC, donde pueden ser utilizadas para tomar

decisiones de control, monitorear procesos y asegurar la calidad del producto, es esencial para medir y controlar de manera precisa la presión en el proceso de inyección de líquidos. Esta configuración permite que el sensor traduzca las variaciones de presión en una señal eléctrica continua, ya sea en forma de voltaje o corriente, la cual puede ser interpretada por el módulo analógico y, posteriormente, por el PLC. Utilizar el módulo analógico es fundamental, ya que este componente está diseñado específicamente para capturar y acondicionar señales analógicas, garantizando una lectura precisa y estable de la presión. Además, al convertir la señal analógica en datos digitales, el PLC puede procesar esta información y tomar decisiones en función de los valores de presión, lo que contribuye a un control más efectivo y seguro del proceso de inyección de líquidos.

Figura 34. Implementación del sensor de presión en la Maquina



Se realizó una serie de transformaciones en un valor de presión recibido ya que los valores recibidos en el PLC eran datos desde -385 hasta 32000. Con lo cual comienza con un valor de presión, representado por `valor_recibido`, que se encuentra en un rango original de -385 a 32000.

- Reemplaza el valor X con el valor que se reciba del sensor de -385 a 32000.

$$valor_recibido = X$$

- Rango original (-385 a 32000) convertido a (0 a 400)

$$rango_original_min = -385$$

$$rango_original_max = 32000$$

$$rango_deseado_min = 0$$

$$rango_deseado_max = 400$$

Luego, utiliza una fórmula de interpolación para ajustar este valor al nuevo rango deseado, que va de 0 a 400.

- Ajusta el valor al nuevo rango

$$valor_ajus = \left(\frac{valor_recibido - rango_original_min}{rango_original_max - rango_original_min} \right) * (rango_deseado_max - rango_deseado_min) + rango_deseado_min$$

Después de esta adaptación, el código convierte el valor ajustado de bar a psi, utilizando el factor de conversión estándar de 14.5038.

- Convierte el valor de bar a psi

$$valor_psi = valor_ajustado * 14.5038$$

Finalmente, muestra el valor resultante en psi en la consola. En esencia, este código es útil para re-escalar y convertir valores de presión de un rango a otro, lo que puede ser esencial en aplicaciones industriales donde se requiere una representación específica de la presión.

4.5 Sistema de seguridad con finales de carrera en el proceso de inyección de líquidos

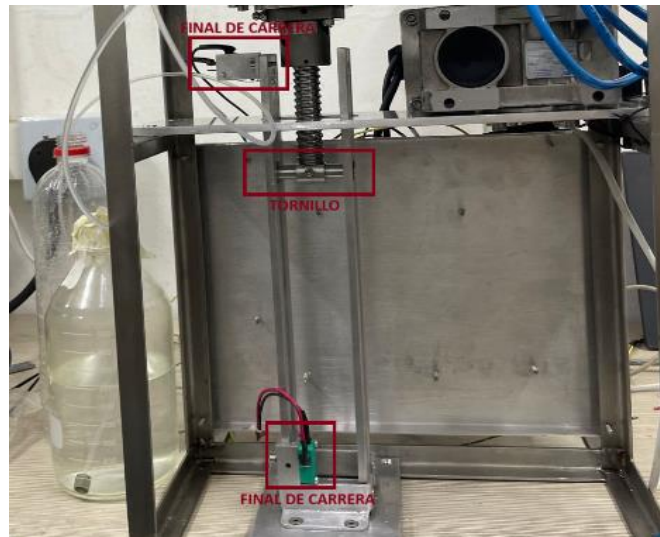
En el sistema de inyección de líquidos, se implementa un sistema de seguridad crucial que se basa en finales de carrera. Estos finales de carrera están estratégicamente ubicados para asegurar un funcionamiento seguro y preciso del proceso. En la parte superior del sistema, se encuentra un

final de carrera que, cuando es activado, envía una señal que indica que el tornillo ha alcanzado su límite de succión. Esto evita cualquier movimiento adicional que pueda dañar el equipo o comprometer la calidad del proceso. Del mismo modo, en la parte inferior del sistema se coloca otro final de carrera con la misma función de seguridad. Su activación garantiza que el proceso de llenado o vaciado del cilindro no supere sus límites permitidos, reduciendo así el riesgo de accidentes y daños en la maquinaria. Estos finales de carrera son componentes esenciales para mantener la integridad y la seguridad en la operación de la máquina de inyección de líquidos.

Figura 35. Finales de carrera



Figura 36. Finales de carrera y tornillo de indicación de proceso



Nota. En la figura 36 podemos observar los dos finales de carrera que están situados en ambos límites del tornillo, para de esta manera el tornillo al tocar el sensor finalice la operación, indicando que llegó a su límite.

El uso de un taco con borneras en un entorno industrial desempeña un papel fundamental. Estas borneras organizan y protegen las conexiones eléctricas de componentes críticos como el PLC, el driver y la fuente de alimentación. Proporcionan orden y facilitan la identificación de cables, lo que simplifica el mantenimiento y la resolución de problemas. Además, actúan como una capa de protección contra factores ambientales adversos, como polvo y humedad, que podrían dañar los componentes electrónicos. La disposición ordenada de los cables reduce los riesgos de cortocircuitos y contactos accidentales, promoviendo un entorno de trabajo seguro. Además, el etiquetado de borneras simplifica la documentación y la identificación de conexiones, lo que es esencial para el mantenimiento eficiente y una rápida solución de problemas en entornos industriales donde la eficiencia y la seguridad son de suma importancia.

Figura 37. Conexiones físicas de los diferentes componentes

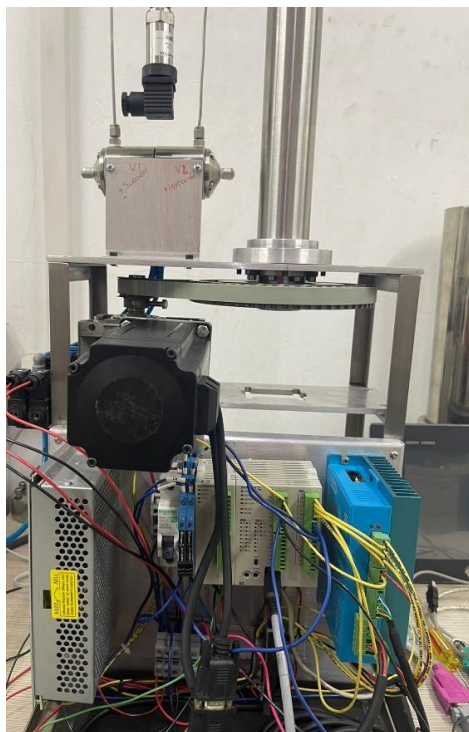
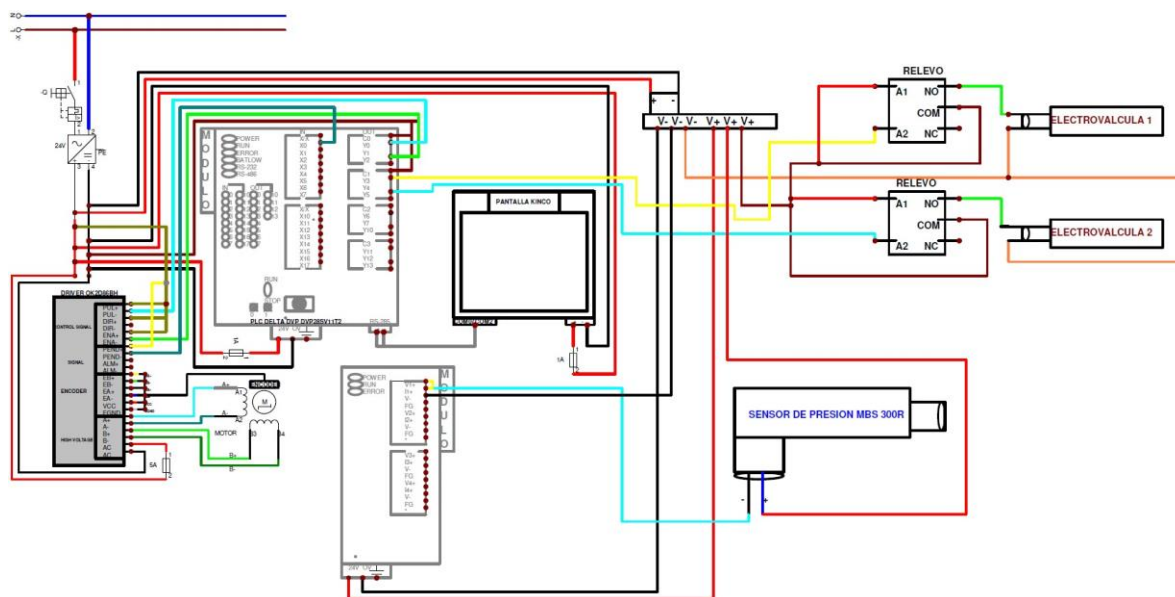


Figura 38. Diagrama de conexiones de los diferentes componentes

Nota. En la figura 38 se presenta el diagrama de conexiones completo del PLC, modulo analógico del PLC, sensor de presión, las dos electroválvulas, la pantalla kinco, motor nema y driver.

5. Resultados

A lo largo de la fase de prácticas, una de las responsabilidades fundamentales consistió en la creación de una interfaz de usuario destinada a controlar un PLC Delta DVP con el propósito de automatizar un proceso de inyección de líquidos y lograr un caudal mínimo de 0.01cc/min utilizando el programa interactivo Kinco. Además, se elaboró un Diagrama P&ID detallado que representaba el proceso, equipos, instrumentos y actuadores necesarios para el control del proceso de inyección de líquidos a través de software CAD. También se llevó a cabo un ajuste preciso del sensor de presión en el cilindro para determinar su idoneidad en el proceso de inyección, calibrando el sensor según las especificaciones. Una de las tareas más críticas fue el cálculo de la relación de engranajes necesaria para adecuar el sistema de inyección al caudal mínimo requerido (0.01cc/min) mediante rigurosos cálculos analíticos, lo que garantizó el control preciso del llenado y vaciado del cilindro para alcanzar el caudal mínimo deseado.

Tabla 1. Listado de pruebas realizadas en la inyección de la maquina

PRUEBA	CAUDAL DESEADO	VOLUMEN DESEADO	VOLUMEN REAL	TIEMPO (MIN)	% ERROR
1	0.01CC	0.5CC	0.5	50 MINUTOS	0%
2	0.01CC	0.5CC	0.48	50 MINUTOS	-4%
3	0.01CC	0.5CC	0.5	50 MINUTOS	0%
4	0.1CC	0.5CC	0.48CC	5 MINUTOS	-4%
5	0.1CC	0.5CC	0.49CC	5 MINUTOS	-2%
6	0.1CC	0.5CC	0.48CC	5 MINUTOS	-4%
7	2CC	2CC	1.98CC	1 MINUTO	-1%
8	2CC	2CC	2CC	1 MINUTO	0%
9	2CC	2CC	2CC	1 MINUTO	0%
10	3CC	5CC	5CC	1.6 MINUTOS	0%
11	3CC	5CC	5CC	1.6 MINUTOS	0%
12	3CC	5CC	5CC	1.6 MINUTOS	0%
13	8CC	20CC	20CC	2.5 MINUTOS	0%
14	8CC	20CC	20CC	2.5 MINUTOS	0%
15	8CC	20CC	20CC	2.5 MINUTOS	0%

Nota. La tabla 1 corresponde a un listado de pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento de la maquina y que relación teníamos sobre el volumen deseado y el volumen real. La clasificación de las pruebas realizadas tiene un enfoque experimental, se seleccionaron variables clave, incluyendo caudal deseado, volumen deseado, volumen real, tiempo y el porcentaje de error. Diversos escenarios de prueba se establecieron para evaluar diferentes combinaciones de caudales y volúmenes deseados. Cada prueba se llevó a cabo siguiendo un procedimiento estandarizado, operando la máquina con las configuraciones de caudal y volumen deseados y registrando datos precisos. El análisis de estos datos permitió calcular el porcentaje de error, evaluando así la precisión del sistema en inyectar volúmenes específicos. Además, al observar pequeñas variaciones debidas al líquido residual, se introdujo un botón de calibración para abordar este problema y mejorar aún más la precisión, esta metodología ha demostrado ser efectiva para evaluar y mejorar la precisión del sistema de inyección de líquidos, con conclusiones valiosas que respaldan la optimización continua del proceso.

En general, los resultados muestran que la máquina es capaz de inyectar volúmenes muy cercanos a los deseados dentro del rango de caudal establecido en un tiempo razonable. Esto demuestra que el sistema de control y la calibración funcionan efectivamente para alcanzar los objetivos de caudal y volumen en la inyección de líquidos. También es importante mencionar que los resultados no pueden ser exactos debido a la presencia de líquido residual en las mangueras, lo que puede impedir que todo el fluido llegue al recipiente de destino. Esta es una consideración válida en los procesos de inyección y puede explicar las pequeñas variaciones observadas en los

resultados, especialmente en las pruebas con caudales y volúmenes muy bajos. Estas variaciones son comunes en sistemas de inyección y pueden gestionarse mediante ajustes y calibraciones. Es relevante destacar que, para abordar esta situación y mejorar la precisión, se implementó un botón de calibración en el sistema. Este botón tiene la función de eliminar el aire atrapado en las mangueras, lo que reduce el error causado por el líquido residual. El procedimiento de calibración implica purgar el sistema, asegurando que el fluido fluya de manera uniforme y que el caudal y el volumen inyectados sean más precisos. Esta característica demuestra el compromiso del proyecto con la optimización de la inyección de líquidos y la obtención de resultados más confiables.

Para calcular el error en cada una de las pruebas respecto al volumen deseado, se realizó lo siguiente:

$$Error (\%) = [(Volumen Real - Volumen Deseado) / Volumen Deseado] \times 100$$

Al aplicar la fórmula a los datos de prueba, como se puede evidenciar en el siguiente cálculo del error en la prueba:

- Prueba:

$$Error (\%) = [(0.5 - 0.5) / 0.5] \times 100 = 0\%$$

Figura 39. Imagen de Fluido inyectado



Nota. En la figura 39 podemos observar el líquido inyectado del sistema.

Figura 40. Imagen de Fluido inyectado con aire

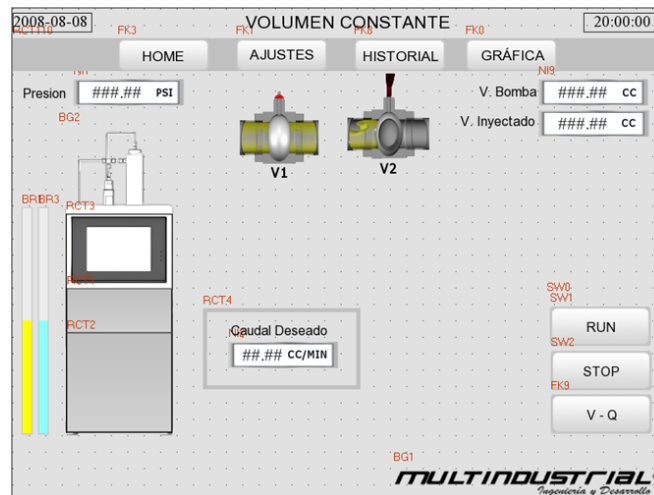


Nota. Como se observa en la figura 40 la línea posee aire ya que la evidencia fue tomada antes de hacer la calibración, lo cual nos demuestra la eficiencia de hacer dicha calibración para mejorar los resultados.

Gracias a un cálculo meticuloso de la relación de engranajes necesario para el sistema de inyección, se logró asegurar que la inyección de líquidos cumple con el caudal mínimo requerido de 0.01 cc/min. La relación de engranajes calculada, que resultó en 253, se ajustó estratégicamente a 250 para facilitar la disponibilidad de componentes en el mercado. Esto garantiza que el sistema funcione con precisión y que el volumen inyectado sea consistente con los objetivos del proyecto. Este cálculo preciso demuestra que la inyección de líquidos se realiza adecuadamente y que se cumplen los requisitos de caudal mínimo, lo que es esencial para la eficiencia y la calidad del proceso de inyección.

El desarrollo del objetivo general de este proyecto, que consistía en crear una interfaz de usuario para controlar un PLC Delta DVP y automatizar el proceso de inyección de líquidos, ha resultado en un sistema altamente funcional y versátil. El proyecto se ha enfocado en proporcionar una solución que permite a los usuarios controlar tanto el volumen como el caudal deseado para la inyección de líquidos, brindando así una flexibilidad excepcional. La interfaz KINCO diseñada incluye un modo de manejo denominado "Volumen y Caudal", que permite a los usuarios ajustar los parámetros de operación de manera precisa. Este modo no solo permite ingresar el volumen y el caudal deseados, sino que también proporciona información crítica sobre la presión del sistema,

el volumen inyectado y el volumen disponible de la bomba. Los indicadores visuales del estado de las válvulas (abiertas o cerradas) son fundamentales para garantizar el control y la seguridad del proceso. Además, la barra visual que muestra el volumen inyectado en tiempo real brinda una representación gráfica intuitiva de la operación, facilitando la supervisión y el control. El segundo modo de manejo, conocido como "Caudal Constante", simplifica el proceso al permitir que los usuarios ingresen solo el caudal deseado. Al activar este modo y presionar el botón "Run", el sistema se llena y se vacía de manera continua y repetitiva, proporcionando una opción eficiente para aplicaciones específicas. La sección de "Ajustes" es esencial para la configuración y el control del sistema, permitiendo la modificación de parámetros críticos, como el radio, el diámetro y la altura del cilindro, así como la configuración de pulsos en el driver del motor NEMA. La inclusión de una contraseña para esta sección garantiza la seguridad y el acceso restringido a personal autorizado para realizar ajustes en el sistema, el botón "Historial" proporciona un registro detallado de los volúmenes inyectados, permitiendo un seguimiento y auditoría precisos de la operación a lo largo del tiempo. Por último, la función "Gráfica" ofrece una representación visual de la relación entre el volumen y el tiempo, lo que facilita la comprensión de los patrones de inyección y el rendimiento del sistema, el proyecto ha logrado con éxito su objetivo general al desarrollar una interfaz de usuario altamente funcional que satisface las necesidades de control de caudal y volumen en el proceso de inyección de líquidos. La interfaz KINCO proporciona flexibilidad, manejo preciso y seguridad, lo que la convierte en una solución efectiva como se logra observar en la figura 18 a 31 donde se evidencia el diseño de la interfaz. El diseño de la pantalla se ha convertido en una herramienta valiosa para la gestión y optimización del proceso de inyección de líquidos.

Figura 41. Diseño de pantalla Kinco

Nota. Como se puede observar en la figura 41 la metodología empleada en el desarrollo de la interfaz se puede dividir en ocho etapas clave. En primer lugar, se definieron los requisitos del sistema, estableciendo los objetivos y necesidades específicas para el control de inyección de líquidos. Luego, se procedió al diseño de la interfaz KINCO, creando una plataforma de usuario intuitiva y funcional. Dos modos de manejo se implementaron: "Volumen y Caudal" y "Caudal Constante", brindando flexibilidad y simplicidad en el proceso. Sección de Ajustes se configuró para permitir cambios en parámetros críticos del sistema, restringiendo el acceso con una contraseña. Además, se incorporaron funciones de monitoreo y registro, incluyendo un "Historial" y una "Gráfica", para un seguimiento detallado del proceso. Se realizaron pruebas exhaustivas para evaluar la eficiencia y precisión del sistema en diversas configuraciones y aplicaciones industriales. La optimización y calibración fueron fundamentales, incorporando una función de calibración para abordar las variaciones y errores causados por líquido residual. Finalmente, los resultados se analizaron, y se definió que la interfaz KINCO opera eficazmente, contribuyendo al manejo preciso del proceso de inyección de líquidos.

El uso de finales de carrera como sistema de seguridad ha demostrado ser fundamental en el proyecto de inyección de líquidos. Estos dispositivos aseguran que el proceso se detenga automáticamente al alcanzar el punto final deseado, lo que no solo evita el desperdicio de líquido y energía, sino que también garantiza la integridad de los componentes y la seguridad del proceso en sí. Además, la inclusión de un sensor de presión ha resultado igualmente esencial. Este sensor monitorea constantemente la presión presente en el sistema, asegurando que se mantenga dentro de los límites seguros y que no exceda el máximo soportado por el cilindro, que es de 5000 psi.

De esta manera, se ha logrado un nivel adicional de seguridad y control que contribuye significativamente al funcionamiento seguro y eficiente del proceso de inyección de líquidos.

Figura 42. Lectura del sensor de presión en PSI



Nota. La figura 42 se puede apreciar el funcionamiento del sensor de presión en el cilindro el cual nos indica que está en rangos operativos para la inyección del líquido, ya que no supera el límite del cilindro de 5000psi.

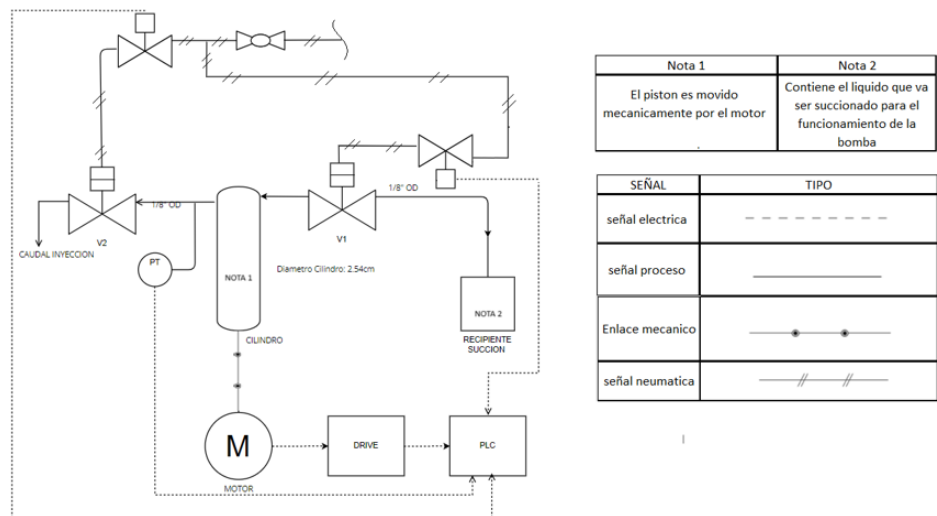
El sensor de presión fue parametrizado de manera precisa, permitiendo que los datos recibidos se ajusten adecuadamente a un rango de 0 a 400 PSI, a pesar de que los valores originales variaban desde -385 hasta 32000. Esto se logró mediante una fórmula de interpolación que se puede observar en el apartado “4.4 Funcionamiento y aplicación del sensor de presión MBS 3000 en un sistema de inyección de líquidos” que adaptó con éxito el valor del sensor al nuevo rango deseado. Además, para garantizar un monitoreo confiable, el valor se convirtió de bar a psi con el factor de conversión estándar. La importancia de este proceso radica en la detección de condiciones críticas: si la presión en el cilindro excede los 5000 PSI, el sistema se detiene automáticamente para permitir la despresurización, lo que mejora significativamente la seguridad y el funcionamiento del proceso de inyección, como se logra evidenciar en la figura 42 el funcionamiento del sensor. Es esencial destacar la importancia de los finales de carrera, elementos

cruciales para garantizar la seguridad del sistema. Cuando se activan y envían una señal, indican que el pistón ha alcanzado su límite y detienen el motor antes de que el pistón pueda colisionar con el cilindro. Estos finales de carrera, estratégicamente ubicados y representados en la Figura 36, proporcionan una alerta crucial y desactivan el motor de manera automática, desempeñando un papel fundamental en la prevención de posibles accidentes.

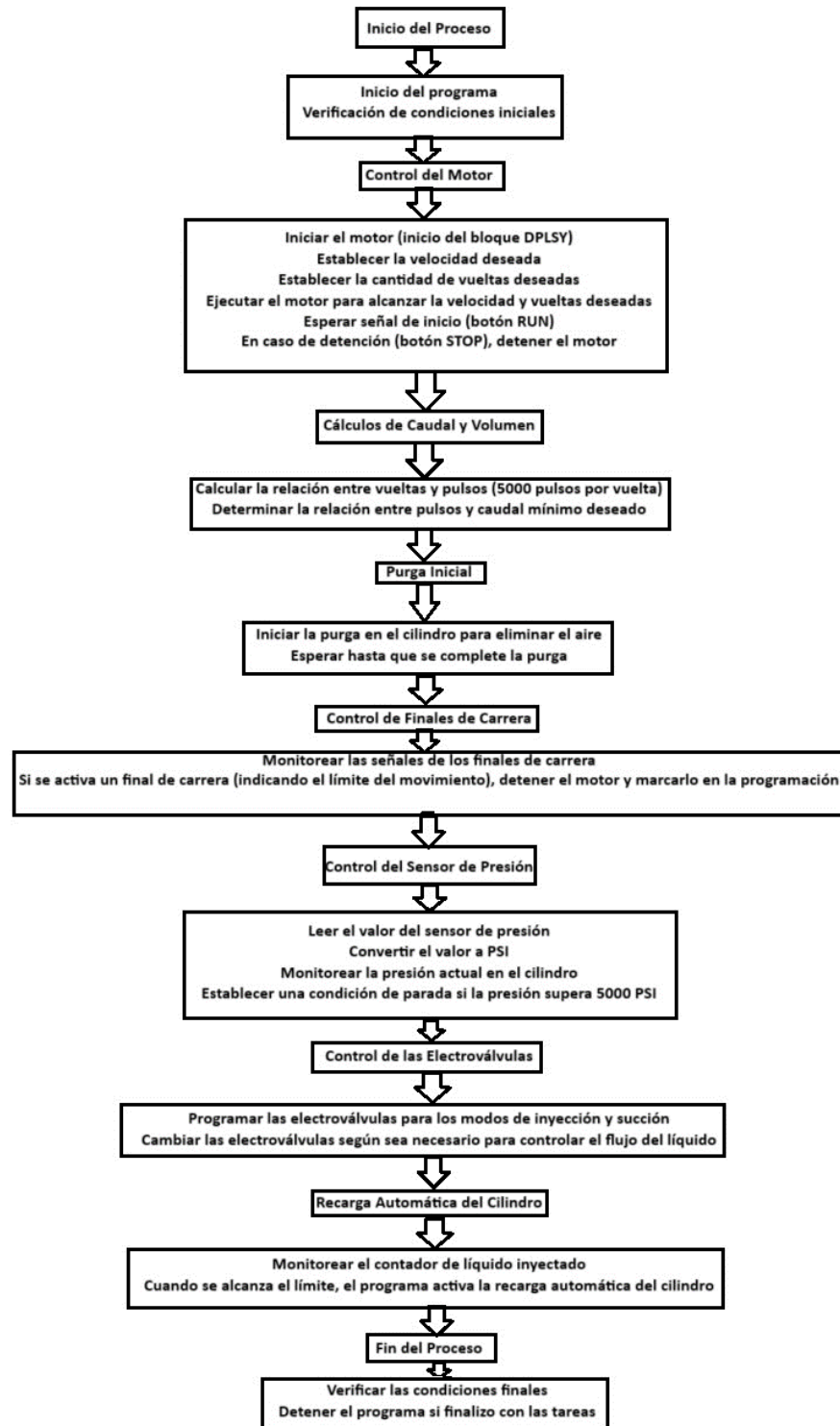
La parametrización del motor paso a paso NEMA 34 en el proyecto resultó fundamental para lograr movimientos precisos en el sistema de inyección. Este motor ofrece una versatilidad notable, con la capacidad de realizar movimientos desde amplios ángulos de 90° hasta pequeños pasos de solo 1.8° . La posibilidad de dividir un giro completo de 360° en 200 pasos permitió un control muy fino de la posición del pistón en el proceso de inyección, lo que es esencial para alcanzar caudales tan bajos como 0.01 cc/min . Además, el motor NEMA 34 presenta un torque significativo de 85 Kg/Cm , lo que es adecuado para el líquido en el proceso. Para el control del motor paso a paso, se utilizó el driver OK2D86BH. Este componente desempeñó un papel crucial en la operación del motor. El driver generó la secuencia de pulsos necesaria para activar las bobinas del motor en el orden adecuado, lo que a su vez permitió controlar la velocidad, dirección y posición con gran precisión. La cooperación entre el motor y el driver aseguró que el sistema de inyección funcionara de manera eficiente y confiable, cumpliendo con los requerimientos de caudal y precisión del proyecto, como se logra observar en la figura 3. Además de su contribución al control preciso del motor, el driver también ofreció una protección valiosa para el motor paso a paso, ayudando a prevenir daños no deseados, la elección de este motor y su driver fue esencial para alcanzar los objetivos del proyecto y garantizar un rendimiento óptimo en el proceso de inyección de líquidos.

Uno de los objetivos fundamentales de este proyecto era la creación de un Diagrama P&ID (Diagrama de Tuberías e Instrumentación) que representara de manera precisa y detallada el proceso de inyección de líquidos. Este objetivo se ha cumplido con éxito, y el Diagrama P&ID resultante se ha convertido en una herramienta esencial para comprender y supervisar el proceso. El Diagrama P&ID no solo muestra las tuberías y la disposición de los componentes, sino que también indica claramente las partes y los instrumentos involucrados en el proceso de inyección. Cada válvula, actuador, sensor y elemento de control se ha identificado y etiquetado de manera coherente, lo que facilita la comprensión y la toma de decisiones.

Figura 43. Diagrama P&ID



Nota. En la Figura 43 se pueden apreciar las conexiones de la máquina de inyección. Cuando la máquina opera en modo de inyección, el motor gira en sentido horario y se encuentra mecánicamente vinculado al cilindro que aloja el pistón, permitiendo que este se desplace hacia arriba durante la inyección. La programación correspondiente en este modo activa la electroválvula V2 para permitir el flujo del líquido, mientras que la electroválvula V1 se cierra, manteniendo el cilindro bajo presión y permitiendo el monitoreo de sus rangos de funcionamiento. La válvula de bola se encuentra en posición abierta, lo que permite la señal neumática este activa. En contraste, cuando la máquina se encuentra en el modo de succión, el motor sigue conectado al cilindro, pero su giro es antihorario, lo que hace que el pistón se desplace hacia abajo para su llenado. La programación correspondiente en este modo activa la electroválvula V1 para permitir la succión del líquido desde el recipiente, mientras que la electroválvula V2 se cierra para evitar que el líquido salga por la sección de inyección.

Figura 44. Diagrama de programación PLC

En la programación del PLC, se ha logrado establecer un proceso de control detallado para la máquina de inyección. El bloque DPLSY, responsable de controlar el motor paso a paso NEMA

34, desencadena el proceso. Este bloque es capaz de recibir la cantidad de pulsos necesarios para alcanzar una velocidad y una cantidad de vueltas definidas por el operador. La interfaz del sistema proporciona botones de inicio (RUN) y detención (STOP) en una pantalla de control. Para realizar los cálculos de caudal y volumen deseados, se considera que una vuelta equivale a 5000 pulsos y se determina la relación entre pulsos y caudal mínimo requerido en función de la cantidad de grados que representan una RPM. Un paso crucial en el proceso es la purga inicial del cilindro, que se ejecuta al inicio para eliminar cualquier aire presente en el sistema. Además, se han programado finales de carrera estratégicamente ubicados para detener el motor cuando se alcanza el límite de movimiento. Estos finales de carrera envían señales digitales que, al ser detectadas, desencadenan la parada del motor. Se ha establecido una variable en la programación, denominada X1 y X2, que permite controlar las condiciones necesarias para la desactivación de la máquina. La programación también contempla el cálculo y monitoreo de la presión en el cilindro, convirtiendo los valores recibidos en PSI. Se ha establecido una condición de parada automática si la presión en el cilindro supera los 5000 PSI. Se han programado las electroválvulas para gestionar los diferentes modos de operación, como inyección y succión. Además, se ha creado una condición que activa la recarga automática del cilindro cuando se agota, lo que permite estar listo para la siguiente operación. Esto se logra a través del seguimiento de un contador del líquido inyectado, la programación detallada en el PLC garantiza el control preciso y eficiente del proceso de inyección, abordando tanto aspectos de seguridad como de rendimiento. El sistema se encuentra en condiciones de operar de manera autónoma, lo que mejora la eficiencia y precisión en las operaciones de inyección.

6. Conclusiones

El resultado obtenido de la implementación de la interfaz KINCO para el control de un PLC Delta DVP en el proceso de inyección de líquidos demuestra un alto nivel de conformidad con los objetivos y expectativas del proyecto. Esta conclusión se basa en la observación y evaluación de las características clave de la interfaz, su funcionamiento y su capacidad para satisfacer las necesidades de control y automatización industrial. En primer lugar, la incorporación del modo "Volumen y Caudal" proporciona a los usuarios un control preciso sobre los parámetros de operación, lo que brinda una flexibilidad inigualable. La posibilidad de ajustar tanto el volumen deseado como el caudal deseado ha demostrado ser fundamental para adaptar el sistema a las necesidades específicas de diferentes aplicaciones. La presentación de información esencial, como la presión del sistema, el volumen inyectado y el volumen disponible de la bomba, asegura una supervisión efectiva del proceso. Los indicadores visuales de las válvulas (abiertas o cerradas) son componentes críticos para mantener un control seguro y preciso. La inclusión de un segundo modo de manejo, el "Caudal Constante", agiliza aún más el proceso al permitir que los usuarios ingresen únicamente el caudal deseado. Esto es especialmente útil en aplicaciones específicas que requieren un flujo constante de líquido. la interfaz KINCO cumple con éxito su objetivo de proporcionar una solución efectiva para el control y la automatización del proceso de inyección de líquidos. Su flexibilidad, facilidad de uso y capacidad para ofrecer información esencial hacen que sea una herramienta valiosa en aplicaciones industriales. La inclusión de características como la calibración y la purga del sistema demuestran el compromiso del proyecto con la optimización de la inyección de líquidos y la obtención de resultados confiables, lo cual ha demostrado su conformidad con el funcionamiento esperado y es una contribución significativa al éxito del proyecto, brindando un control preciso y versatilidad en el proceso de inyección de líquidos.

Basándonos en los resultados de las pruebas realizadas, podemos concluir lo siguiente, en general, las pruebas muestran un buen grado de precisión en el proceso de inyección de líquidos, ya que la mayoría de los errores son bastante bajos o incluso cercanos al cero por ciento. Las pruebas con caudales más bajos (0.01CC) muestran un ligero error negativo, lo que indica que el volumen real inyectado es ligeramente menor que el volumen deseado. Esto podría deberse a factores como la viscosidad del líquido y la resistencia en el sistema de tuberías. Las pruebas con caudales más altos (2CC y 3CC) también muestran errores bajos, lo que indica una buena precisión incluso a caudales mayores. Es importante destacar que, en todas las pruebas, se mencionó que hay un cierto volumen de líquido que queda en la manguera y no llega al recipiente. Esto puede afectar ligeramente la precisión de las mediciones. La implementación del botón de calibración, diseñado para purgar el aire del sistema, muestra una mejora en la precisión y podría reducir aún más los errores, los resultados indican que el sistema de inyección de líquidos tiene un buen desempeño y que la implementación de medidas adicionales, como el purgado del aire, puede contribuir a una mayor precisión en las futuras pruebas. Estos resultados respaldan el cumplimiento de los objetivos del proyecto relacionados con el control preciso del caudal y volumen de inyección de líquidos.

El cálculo preciso de la relación de engranajes necesario para alcanzar un caudal mínimo de 0.01 cc/min en el sistema de inyección de líquidos ha sido un paso fundamental en el desarrollo de este proyecto. Gracias a este cálculo meticuloso, se determinó que una relación de engranajes de 250 era la adecuada. Esta decisión no solo se basó en cálculos teóricos, sino también en la disponibilidad de componentes en el mercado, lo que hizo que esta relación fuera práctica y fácilmente implementable. Como resultado, hemos logrado inyectar líquidos de manera precisa y

consistente, cumpliendo con los requisitos más exigentes de caudal, lo que representa un logro significativo en términos de control y eficiencia en el proceso de inyección.

El diseño de la interfaz de usuario ha sido una parte crucial de este proyecto. Hemos creado una pantalla que no solo es funcional sino también altamente intuitiva para el operador. Esta pantalla proporciona toda la información necesaria de manera clara y accesible, lo que facilita enormemente la supervisión y el control del proceso de inyección de líquidos. Los elementos visuales, como gráficos y alarmas visuales, han mejorado la experiencia del usuario y han contribuido a una operación más eficiente y segura. Este enfoque en el diseño de la pantalla ha demostrado ser un éxito, ya que ha simplificado la interacción entre el operador y la maquinaria, permitiendo un control preciso y una toma de decisiones informada.

La incorporación de sensores y finales de carrera en el sistema de inyección de líquidos ha resultado ser una estrategia de seguridad y manejo efectivos. Estos dispositivos han añadido un nivel adicional de confiabilidad al proceso al asegurar que se detenga de inmediato cuando se alcance el punto final deseado. Los sensores de presión, por su parte, han desempeñado un papel crucial al monitorear constantemente la presión del sistema, lo que garantiza que se mantenga dentro de los límites seguros y evita la posibilidad de daño al cilindro debido a presiones excesivas. Además, el motor NEMA 34, como parte integral del sistema, ha demostrado ser esencial para lograr un control preciso de la velocidad y la cantidad de vueltas requeridas en el proceso de inyección. En conjunto, estos componentes han contribuido a un funcionamiento más seguro, confiable y eficiente del proceso de inyección de líquidos. El ajuste y calibración del sensor de presión en el cilindro, así como la configuración adecuada del motor NEMA 34, se revelan como pasos cruciales en el proceso de inyección de líquidos. Estos procedimientos permiten evaluar con precisión la presión en el cilindro y asegurar que sea óptima para lograr una dosificación

controlada, mientras se mantiene una inyección exacta de la velocidad y las vueltas. La calibración no solo corrige posibles desviaciones en las mediciones del sensor y ajustes en el motor, sino que también mejora la seguridad y la eficiencia operativa, reduciendo el riesgo de inyectar volúmenes incorrectos de líquido. Esto refleja el cumplimiento exitoso del objetivo específico del proyecto, "Parametrizar los actuadores y sensores que hacen parte del proceso para su funcionamiento óptimo y adaptarse a las necesidades de inyección a través de la función de variables retentivas", subrayando el compromiso del proyecto con la optimización de la inyección de líquidos y la obtención de resultados confiables.

La implementación de componentes clave en el proyecto de automatización del sistema de inyección de líquidos han sido altamente satisfactorios. La parametrización y el escalado del sensor de presión permitieron supervisar la presión en tiempo real y establecer una condición de seguridad que detiene el proceso si la presión excede los 5000 psi, lo que es fundamental para la integridad del cilindro. Los finales de carrera desempeñaron un papel crucial al marcar los límites del movimiento del pistón, agregando un nivel adicional de seguridad y evitando colisiones no deseadas. Además, el motor paso a paso NEMA 34, junto con su driver, demostró ser una elección acertada al proporcionar movimientos precisos y controlables, permitiendo ajustar con precisión la inyección de líquidos. En conjunto, estos resultados subrayan la eficiencia y efectividad del sistema de control y automatización implementado en el proyecto.

La programación en el PLC y la implementación de diferentes componentes de control, se ha logrado que el sistema de inyección funcione de manera óptima. Cada elemento programado, desde el control del motor paso a paso hasta la monitorización de la presión y la gestión de las electroválvulas, contribuye a la eficiencia y precisión del proceso. La purga inicial asegura que el sistema esté libre de aire, lo que es esencial para una inyección precisa y uniforme. Los finales de

carrera y las condiciones de seguridad se encargan de detener la máquina en caso de alcanzar límites críticos, lo que garantiza la seguridad de la operación. La conversión y visualización de la presión en PSI brinda un control adicional sobre el proceso y permite detectar situaciones potencialmente peligrosas. Las electroválvulas se programaron para responder de manera efectiva a los diferentes modos de operación, facilitando el proceso de inyección y succión. La condición de recarga automática del cilindro asegura que el sistema esté siempre listo para la siguiente operación, eliminando tiempos muertos y mejorando la eficiencia en el trabajo. En conjunto, esta programación integral garantiza que el sistema de inyección funcione de manera correcta y precisa, cumpliendo con los requerimientos y estándares de calidad esperados. El sistema es capaz de operar de manera autónoma, lo que es esencial en aplicaciones industriales donde se requiere una alta precisión y repetibilidad en la inyección de líquidos.

Sin duda, la representación de las conexiones del *Diagrama P&ID* que se muestra en la Figura 43 demuestra el cumplimiento exitoso de uno de los objetivos específicos de este proyecto en el diseño de la máquina de inyección. La programación y el funcionamiento de la máquina se han optimizado de manera que su modo de operación en inyección y succión sea eficiente y controlado. Cuando la máquina opera en modo de inyección o succión, la ejecución precisa de estos modos de operación demuestra que la máquina de inyección ha sido diseñada y programada de acuerdo a las especificaciones y metas establecidas. El sistema está operativo, controlando de forma eficiente el proceso de inyección y succión, lo que representa un logro significativo en la consecución de los objetivos de este proyecto.

Referencias

- [1] D. Creativo, “Multindustrial - Diseño, fabricación, ensamble, soldadura, montaje y reparación de piezas para el sector metalmecánico,” Multindustrial.com. [En línea]. Disponible: <https://www.multindustrial.com/index.php>.
- [2] A. Duque Betancur, J. F. Hernández Orozco, and J. C. Vargas Ramírez, “Módulo de servomotor PLC por pulsos,” Medellín, Colombia, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://abcd.pascualbravo.edu.co/handle/pascualbravo/231>
- [3] J. Cervera Bravo, “Cálculo de estructuras y resistencia de materiales: origen y desarrollo histórico de los conceptos utilizados”, Arquitectura, 2022. Archivo Digital UPM. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/850/>
- [4] E. D. De La Cruz Intriago, J. A. García Betancourt, y Y. F. director. “Diseño de una dosificadora de líquidos automática con caudalímetros para el cálculo de volumen de envasado, controlado por un PLC y HMI”, ESPOL. FIMCP, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56141>
- [5] N. E. A. Luna Alemán, "Diseño y simulación de un controlador de ciclos de tiempo por PLC para controlar el ciclo de inyección en pozos petroleros," 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4607>
- [6] F. A. Chaparro Alvarez y L. F. Quintero Polanco, "Implementación PLC Allen Bradley en bombas de inyección de agua PAD 3 Quifa," 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5076>
- [7] B. Nanda, "Automatic Sorting Machine Using Delta PLC," International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, vol. 1, no. 7, pp. 235-242, 2014.

- [8] O. S. Llano Ruíz, "Diseño del proyecto para la implementación del control y monitoreo del sistema de refrigeración de agua en la empresa SI Plásticos," 2021. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/23099>
- [9] "Cinemática de fluidos: caudal-velocidad-aceleración. El teorema de arrastre de Reynolds," Escuela Técnica Superior d'Enginyers Industrials, U. P. De València, 9 de noviembre de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/38625>
- [10]"Resistencia de materiales," s. f. EDU. Mx. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/article/download/2361/2363?inline=1>