



POSGRADOS

MAESTRÍA EN _____ ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

RPC-SO-30-No.507-2019

OPCIÓN DE
TITULACION:

PROYECTO DE DESARROLLO

TEMA:

SIMULACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DESPACHO DE COMBUSTIBLES Y MONITOREO MEDIANTE UNA PLATAFORMA BASADA EN IOT PARA UN TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS DE EPPETROECUADOR

AUTORES:

DIEGO ROBERTO FREIRE QUIROGA
DAVID SANTIAGO HIDALGO OJEDA

DIRECTOR:

VICTOR DAVID LARCO TORRES

GUAYAQUIL - ECUADOR
2024

Autores:

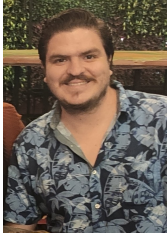


Diego Roberto Freire Quiroga

Ingeniero Telecomunicaciones con mención en Gestión Empresarial en Telecomunicaciones

Candidato a Magíster en Electrónica y Automatización, Mención en Informática Industrial por la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil.

dfreireq@est.ups.edu.ec



David Santiago Hidalgo Ojeda

Ingeniero Mecánico Automotriz

Candidato a Magíster en Electrónica y Automatización, Mención en Informática Industrial por la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil.

dhidalgoo@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Víctor David Larco Torres

Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica y Automatización Industrial

Magister en Administración de Empresas.

Docente-Investigador de la Universidad Politécnica Salesiana

vlarco@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2024 Universidad Politécnica Salesiana.

GUAYAQUIL – ECUADOR – SUDAMÉRICA

DIEGO ROBERTO FREIRE QUIROGA

DAVID SANTIAGO HIDALGO OJEDA

***SIMULACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
DESPACHO DE COMBUSTIBLES Y MONITOREO MEDIANTE
UNA PLATAFORMA BASADA EN IOT PARA UN TERMINAL DE
PRODUCTOS LIMPIOS DE LA EP PETROECUADOR***

Agradecimiento

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a cada uno de ustedes por ser las personas excepcionales que son. Vuestra presencia y apoyo han sido pilares fundamentales en mi vida, especialmente durante este emocionante viaje académico de mi tesis de maestría.

Mami Gladys, tu amor incondicional, sabiduría y aliento constante han sido mi roca, mi fuente de inspiración. Tus sacrificios y dedicación han allanado el camino para que yo persiga mis sueños académicos, y por eso te estoy eternamente agradecido.

Papi Eloy, Aunque ya no estás físicamente conmigo, tu influencia sigue guiando mi camino. Inicié este proceso de maestría con tu inspiración y sabiduría en mi corazón. Tu partida temprana no ha sido fácil, pero cada logro es un tributo a tu legado.

Santiago, mi hermano querido, tus palabras de aliento y tu apoyo constante me han dado la fuerza necesaria para enfrentar los desafíos académicos. Tu presencia siempre positiva ha sido un faro en mi camino, guiándome hacia el éxito.

Mylena, mi amada esposa, tu paciencia, comprensión y amor incondicional han sido mi refugio durante este exigente proceso. Tu apoyo constante me ha dado la motivación necesaria para superar los obstáculos y perseverar para la culminación de este sueño.

Diego Roberto Freire Quiroga

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi amada esposa e hijos.

Gracias por ser mi apoyo constante y fuente de inspiración. Su amor, comprensión, alegría y paciencia han sido la fuerza impulsora para lograr esta meta.

Este logro es nuestro, gracias por ser mi mayor motivación y por estar siempre a mi lado.

David Santiago Hidalgo Ojeda

Índice general

Índice de Figuras	VI
Índice de Tablas	VIII
Resumen	IX
Abstract	IX
1. Introducción	1
1.1. Descripción del Problema	3
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo general	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Contribuciones	6
1.4. Organización del manuscrito	7
2. Marco Teórico	8
2.1. Estado del Arte	9
2.2. Definiciones Previas	10
2.2.1. Internet de las Cosas (IoT)	10
2.2.2. Industria Petróleo y Gas	11
2.2.3. Node-Red	12
2.2.4. TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal)	12
2.2.5. Variador de Frecuencia	13
2.2.6. Motores de Inducción	14
2.2.7. Accuload	15
2.2.8. Derivados del Petróleo	16
2.2.9. Controlador PID	16
2.2.10. Caudal	17
2.2.11. Presión	17
2.2.12. Temperatura	17
2.2.13. Conexión S7	18
3. Desarrollo del proyecto	20
3.1. Desarrollo del Diseño	21
4. Resultados y discusión	67
4.1. Resultados	68
4.2. Pantallas de sistema SCADA	68

4.3. Pantalla de plataforma IoT	69
4.4. Comparativa entre el proceso manual y el automatizado.	70
5. Conclusiones y recomendaciones	73
5.1. Conclusiones	74
5.2. Recomendaciones	74

Índice de Figuras

1.1. Ubicación de Terminal de Productos Limpios Cuenca	2
1.2. Terminal Cuenca	3
1.3. Válvula de diafragma	4
1.4. Diafragma dañado por presión excesiva	4
1.5. Manómetro reventado por presión excesiva	5
1.6. Cambio de válvulas solenoides	5
2.1. Sectores de la Industria Petrolera y de Gas	11
2.2. Área de trabajo de Node-Red	12
2.3. Área de Trabajo de TIA Portal	13
2.4. Variador de Frecuencia G120	14
2.5. Acculoads	16
2.6. Conexión S7 utilizadas en el proyecto	19
3.1. Cuarto Eléctrico	21
3.2. Islas de despacho de Productos Limpios	22
3.3. Acculoads	22
3.4. Área de Bombas (1)	23
3.5. Área de Bombas (2)	23
3.6. Botonera de accionamiento de bombas	24
3.7. Válvula de control y unidad de medición	24
3.8. Situación Actual del despacho de combustible	25
3.9. Requerimiento para el despacho de 1 brazo de un producto	26
3.10. Requerimiento para el despacho de varios brazos de un producto	27
3.11. Vista de redes del desarrollo de la solución	30
3.12. Agregar Dispositivo	31
3.13. Configuración de Direcciones de red	32
3.14. Mecanismo de Conexión para acceso Vía PUT/GET.	32
3.15. Configuración de hardware de sistema PC.	33
3.16. Variables del PLC 1	34
3.17. Variables del PLC 2	34
3.18. Variables del PLC 3	34
3.19. Variables del PLC Master	35
3.20. Agregar nuevo bloque	36
3.21. Variables de Entrada y Salida de Interfaz de Bloque	37
3.22. Escalado de canales analógicos de entrada a través de variables de interfaz de bloque	38
3.23. Escalado de canal analógico de salida	39
3.24. Control de encendido de bomba	40

3.25. Bloque de función para control de bomba	41
3.26. Agregar bloque de interrupción cíclica	42
3.27. Instrucción PID Compact	43
3.28. Tipo de regulación	43
3.29. Parámetros de entrada y salida	44
3.30. Límite de valor real	44
3.31. Límite de valor de salida.	45
3.32. Parámetros PID con entrada manual.	45
3.33. Marcas de ciclo PLC Máster.	46
3.34. Contador para distribución de la comunicación	46
3.35. Propiedades GET PLC 1	47
3.36. Propiedades GET PLC 2	47
3.37. Propiedades GET PLC 3	48
3.38. GET PLC 1	49
3.39. GET PLC 2	49
3.40. GET PLC 3	50
3.41. Estructura de menú de configuración Sinamics V20	50
3.42. Placa de motor ABB del Cuarto de Bombas de la Terminal de Productos Limpios de Cuenca	51
3.43. Cableado de macro de conexión CN002	52
3.44. Agregar dispositivo HMI	53
3.45. Brazo 1	54
3.46. Brazo 2	54
3.47. Brazo 3	55
3.48. Circuito diesel	55
3.49. Brazo 4	56
3.50. Circuito de Gasolina Super	56
3.51. Brazo 5	57
3.52. Brazo 6	57
3.53. Circuito de gasolina Ecopaís	58
3.54. Imagen principal SCADA	59
3.55. Formato de imagen emergente	59
3.56. Imagen emergente mostrada durante la ejecución del SCADA.	60
3.57. Barra de menú Node-RED.	61
3.58. Administrador de paletas.	62
3.59. Conexión S7 Node-RED.	63
3.60. Variables de PLC1 en Node-RED.	64
3.61. Interconexión de nodo S7 IN con gauge y chart.	64
3.62. Configuración de nodo Gauge y sus límites.	65
3.63. Dashboards del proyecto	66
4.1. Imagen emergente mostrada durante la ejecución del SCADA.	68
4.2. Circuito de gasolina Eco País	69
4.3. Brazo 1	69
4.4. Dashboards del proyecto	70
4.5. Sistema con 3 bombas funcionando y presión controlada dentro de rango.	71

Índice de Tablas

3.1. Tabla de datos de ajuste del motor	51
3.2. Tabla de datos de Conexión Sinamics V20	52
3.3. Tabla de parámetros comunes Sinamics V20	53

Resumen

En la actualidad existen diversas herramientas tecnológicas que facilitan el manejo y operación óptimo de terminales dedicados al almacenamiento y despacho de combustibles alrededor del todo el mundo. En el Ecuador la EP Petroecuador como empresa pública dedicada a la extracción, refinación, transporte, almacenamiento y distribución de combustibles desde hace poco más de 50 años, cuenta con infraestructura tecnológica que de a poco ha venido migrando con el tiempo hacia tecnologías actuales. En este proyecto se aborda puntualmente la Terminal de Productos limpios Cuenca con más de 30 años de antigüedad, el cuál pese a tener una gran parte de sus instalaciones y procesos nuevos con herramientas tecnológicas de última generación, también existe la parte que aún no ha sido modernizada llamada islas de carga, en la cual se despachan los combustibles hacia los autotanques para su distribución. En esta zona se cuenta con grupos de bombeo de accionamiento manual y sin variadores, computadores de flujo modernos (ACCULOAD), los cuales no han sido enlazados a los grupos de bombeo, volviéndolo un sistema manual ON/OFF, sin la capacidad de tener control sobre las variables más importantes del proceso.

Este hecho motiva a realizar una propuesta de automatización basada en una plataforma Siemens S7-1500 monitoreada por un sistema SCADA y la implementación de una plataforma IoT mediante Node-Red para la gestión de datos en la nube, en la cual todos los sistemas se integren y se logre un control general del proceso de despacho, implementando variadores de velocidad en los grupos de bombeo tomando en cuenta variables relevantes como la presión y el flujo, que determinen las condiciones de operación ideales por medio de controladores PID, eliminando errores humanos y condiciones inseguras de operación las cuales se traducen en costos elevados de mantenimientos principalmente correctivos.

Abstract

Currently, there are various technological tools that facilitate the optimal management and operation of terminals dedicated to the storage and dispatch of fuels around the world. In Ecuador, EP Petroecuador, as a public company dedicated to the extraction, refining, transportation, storage and distribution of fuels for just over 50 years, has technological infrastructure that has slowly been migrating over time towards current technologies. In this project we specifically address the Cuenca Clean Products Terminal, which is more than 30 years old, which despite having a large part of its facilities and processes new with state-of-the-art technological tools, there is also the part that has not yet been modernized. called loading islands, in which fuels are dispatched to tankers for distribution. In this area there are manually operated pumping groups without variators, modern flow computers (ACCULOAD), which have not been linked to the pumping groups, turning them into a manual ON/OFF system, without the ability to have control. . on the most important variables of the process.

This fact motivates us to make an automation proposal based on a Siemens S7-1500 platform monitored by a SCADA system and the implementation of an IoT platform through Node-Red for data management in the cloud, in which all systems are integrated and A general control of the dispatch process is achieved, implementing variable speed drives in the pumping groups, taking into account relevant variables such as pressure and flow, which determine the ideal operating conditions through PID controllers, eliminating human errors and unsafe conditions. . of operation which translate into high costs of mainly corrective maintenance.

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad el despacho de combustibles desde las Terminales hidrocarburíferas tiene un impacto importante en el desarrollo económico del país, ya que los derivados que se distribuyen son utilizados para la generación de energía utilizada por las industrias y personas en general para el desarrollo normal de sus actividades. En el año 2022, en el Ecuador se despacharon un total de 53,4 millones de galones de combustibles solo para el campo automotriz (página oficial de Petroecuador) distribuidos de la siguiente manera:

- 44 % en Diesel
- 27 % en Ecopaís.
- 23 % en Extra.
- 6 % en Super

Dando un volumen promedio diario de despacho de 170.607 galones en las 8 terminales de despacho de PETROECUADOR a nivel nacional. Estos datos nos reflejan la relevancia del proceso de despacho, y la necesidad de que este proceso se realice de forma correcta, bajo la normativa técnica y estándares de calidad establecidos por la industria.

En nuestro país la empresa pública EP PETROECUADOR cuenta con 8 terminales de productos limpios a nivel nacional (EP PETROECUADOR, 2019), entre ellos están:

- Terminal de Productos Limpios El Beaterio en la ciudad de Quito
- Terminal de Productos Limpios Ambato
- Terminal de Productos Limpios Riobamba
- Terminal de Productos Limpios La Troncal
- Terminal de Productos Limpios Pascuales en la ciudad de Guayaquil
- Terminal de Productos Limpios Cuenca
- Terminal de Productos Limpios Barbasquillo en la ciudad de Manta
- Terminal de Productos Limpios Baltra en la Isla Santa Cruz.

El presente trabajo de titulación está enfocado en la mejora del proceso de despacho de la Terminal de Productos Limpios Cuenca, ubicada en el sector de Challuabamba, desde

donde se abastece de combustibles al sur del país sin incluir la Provincia de el Oro. Ver Figura 1.



Figura 1.1: Ubicación de Terminal de Productos Limpios Cuenca

1.1. Descripción del Problema



Figura 1.2: Terminal Cuenca

En la figura 1.2 se muestra la Terminal de Productos Limpios Cuenca, el despacho de combustibles se encuentra implementado de forma manual no automatizada. La falta de automatización genera una serie de desafíos importantes que impactan directamente en la eficiencia operativa y la seguridad de los procesos involucrados. Este problema es crítico y requiere una solución inmediata.

El problema principal radica en la ausencia de comunicación entre los computadores de flujo (Accuload's) de cada isla y las bombas de despacho. La falta de comunicación da como resultado un proceso fragmentado sin un control adecuado de parámetros. Esta problemática puede provocar retrasos en el despacho de combustibles por daños en los equipos, lo que tendrá un impacto negativo en la cadena de suministro que puede resultar en desabastecimiento de combustible en la zona.

La falta de variadores de velocidad en las bombas de despacho acarrea un problema adicional, la ausencia de estos equipos impide un control preciso en el encendido, en la rampa de aceleración según la necesidad y el apagado de la bomba. Sin estos equipos el funcionamiento actual de las bombas se vuelve demasiado forzado, ya que, sin importar el volumen a despachar, estas se mantienen bombeando a su máxima capacidad, llegando a presurizar las líneas. En las figuras 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6 se muestra como esta operación continua e ineficiente causa desgaste prematuro de las piezas y componentes de las bombas, de la misma manera de las válvulas de control, aumentando la periodicidad de mantenimientos correctivos, que se traducen en tiempo y dinero perdidos.



Figura 1.3: Válvula de diafragma



Figura 1.4: Diafragma dañado por presión excesiva



Figura 1.5: Manómetro reventado por presión excesiva



Figura 1.6: Cambio de válvulas solenoides
1.6

Actualmente, la operación de despacho es manual, y únicamente se la puede hacer desde el campo, lo que también introduce un elemento adicional de riesgo. La falta de sistemas adecuados de control y monitoreo aumenta la probabilidad de que se cometan errores involuntarios, lo que puede provocar graves incidentes de seguridad y retrasos en las entregas.

Según información recabada, los errores más comunes incluyen, ingreso incorrecto de volumen a despachar en los computadores de flujo que muchas de las veces termina en un sobrellenado y rebose de producto en el autotanque, despacho de productos equivocados en compartimentos de autotanques, sobrepresiones en las líneas cuando un brazo finaliza

el despacho y las bombas continúan encendidas, desconocimiento del estado de equipos averiados que no se encuentran a la vista del operador, entre otros.

Con estos antecedentes queda clara la necesidad de abordar estos desafíos y desarrollar soluciones que optimicen el proceso de despacho de combustible en la terminal. La implementación de sistemas eficientes de control y monitoreo, así como la introducción de variadores de velocidad en las bombas, son pasos importantes para aumentar la eficiencia, reducir los costos operativos y garantizar la seguridad en este proceso.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una propuesta para la automatización del proceso de despacho de combustibles en una terminal de productos limpios, integrando una plataforma basada en IoT por medio del uso de herramientas tecnológicas e informáticas especializadas para la operación y monitoreo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte mediante la revisión de documentos científicos sobre los diferentes métodos de automatización, control, plataformas basadas en IoT y sistemas ya diseñados, con la finalidad de tener bases conceptuales y metodológicas para el desarrollo del proyecto.
- Definir los requerimientos de diseño, mediante el análisis del proceso de despacho, con el fin de identificar las variables involucradas para la automatización.
- Implementar un sistema automatizado y una plataforma basada en IoT en un entorno simulado mediante el uso de herramientas tecnológicas e informáticas especializadas y en función de los requerimientos de diseño, con la finalidad de volver más eficiente el proceso de despacho de combustibles y su gestión de datos.
- Validar el sistema de automatización y plataforma basada en IoT, mediante la comparación de datos obtenidos del proceso no automatizado y su contrastación con los datos obtenidos de la simulación del proceso automatizado

1.3. Contribuciones

La implementación de un sistema automatizado y la adquisición de datos mediante IoT del proceso de despacho de combustibles generará beneficios que lo volverán más eficiente. Al tener todo el sistema automatizado y comunicado, el sistema SCADA podrá obtener información del funcionamiento de los equipos para llevar un riguroso plan de mantenimiento preventivo y correctivo, monitoreo remoto de los datos, variables de despacho y capacidad de operación remota en caso de requerir. La adquisición de datos mediante IoT facilitará las labores de análisis del proceso incluyendo herramientas para una gestión centralizada, sincronizada y automática de los datos, que contribuyan con la integridad y seguridad de la información

Todas estas mejoras se traducen en beneficios para las operaciones de la terminal como son:

- **Optimización de la eficiencia operativa:** La automatización del proceso de entrega de combustible permitirá operaciones más fluidas y precisas. Al eliminar el encendido y apagado manual de cada equipo por separado y la implementación de variadores de velocidad, se reducirán los tiempos de respuesta, se minimizarán los errores humanos y se logrará una mayor coherencia en las operaciones de despacho. Esto da como resultado un despacho más fluido y eficiente.
- **Disminución de gastos de mantenimiento:** La implementación de la automatización y la adquisición de datos en tiempo real permite un monitoreo constante de los equipos y la detección de parámetros anormales antes de que se produzca una falla. Al tener acceso a información detallada sobre el proceso en general, se puede crear un plan de mantenimiento preventivo. Esto conduce a una reducción de los costos asociados con el mantenimiento correctivo, evitando pérdida de tiempo y recursos.
- **Mayor seguridad en el proceso:** La automatización no solo reduce la posibilidad de errores humanos, sino que también mejora la seguridad operativa en la terminal. Al contar con un sistema automatizado y comunicado, los controladores PID se encargan de suavizar el proceso manteniendo los parámetros dentro de rango de operación, adicional se pueden configurar alarmas para los parámetros que salgan de rango y con todo esto implementar protocolos de seguridad más estrictos para prevenir situaciones peligrosas. La opción de operación remota también brinda un medio seguro para el operador, alejándolo del ambiente contaminado con vapores de combustibles al que está expuesto, reduciendo así el riesgo de incidentes graves.
- **Mejora en la gestión de datos y toma de decisiones:** La adquisición de datos a través de IoT ofrece una imagen más completa y precisa del proceso de entrega. Estos datos son importantes para el análisis y la toma de decisiones. La capacidad de recopilar información en tiempo real y almacenarla de forma centralizada facilita la identificación de tendencias, la generación de informes y la optimización continua de los procesos. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la integridad y seguridad de los datos, lo cual es importante en entornos altamente regulados como la industria petrolera.

En resumen, las contribuciones de este proyecto están enfocadas en la necesidad urgente de mejorar la eficiencia y seguridad en el proceso de entrega de combustible en la terminal de productos limpios de EP Petroecuador.

1.4. Organización del manuscrito

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera:

- Capítulo 1: Introducción.
- Capítulo 2: Marco Teórico.
- Capítulo 3: Desarrollo del proyecto.
- Capítulo 4: Resultados del Desarrollo
- Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

Al final del documento se encontrará la respectiva bibliografía con sus referencias.

Capítulo 2

Marco Teórico

En esta sección, se lleva a cabo un análisis del estado del arte, donde se realiza un estudio detallado de diversas investigaciones previas que arrojan luz sobre el proyecto en cuestión. Además, se proporciona una exposición de conceptos y definiciones esenciales que tienen una influencia significativa en el desarrollo y comprensión de la iniciativa. Este enfoque permite construir una base sólida de conocimiento y contextualizar adecuadamente el trabajo en el contexto de investigaciones y conceptos existentes.

2.1. Estado del Arte

La industria del petróleo y el gas (P&G) es la industria altamente regulada y de gran inversión de capital que genera un papel fundamental en la satisfacción de la demanda mundial de energía. A pesar de las iniciativas en todo el mundo para implementar fuentes de energía verde, se considera que la petición global de petróleo crudo siga siendo alta durante mucho tiempo [Wanasinghe et al., 2020].

La persistente baja de los precios del petróleo y las crecientes restricciones impuestas por regulaciones representan un desafío para los actores de la industria del petróleo, como operadores, empresas de servicios y proveedores. Para cumplir con las metas a largo plazo, estos actores se ven impulsados a fomentar la innovación en diversas áreas [Noshi et al., 2018].

Estos objetivos comerciales abarcan la reducción de riesgos en salud, seguridad y medio ambiente, la prolongación de la vida útil de los yacimientos, la minimización de los costos de inversión y operación, la mejora de la confiabilidad y operatividad del equipo para reducir los gastos de mantenimiento y el tiempo de inactividad de las instalaciones, así como el fortalecimiento de la gobernanza y el cumplimiento de las regulaciones, y el aumento de la producción y los ingresos [Temer and Pehl, 2017].

La cuarta revolución industrial, también reconocida como Industria 4.0, introduce una gama de tecnologías digitales que tienen el potencial de generar un cambio fundamental en el panorama industrial y social en su conjunto [Ben-Daya et al., 2019], este cambio afectará a industrias extractivas, como la del petróleo y el gas. Se llevó a cabo una encuesta a nivel mundial entre profesionales dedicados a la exploración y producción en la industria de P&G para identificar las tendencias en la transformación digital.

Los resultados de la encuesta destacaron que la industria de la P&G ha invertido y continuará invirtiendo en tecnologías clave como dispositivos móviles, Internet de las cosas (IoT), nube computacional, inteligencia artificial, robótica y drones, dispositivos portátiles, colaboración y herramientas sociales [Temer and Pehl, 2017]. La implementación de estas tecnologías digitales tiene como objetivo permitir a la industria de P&G tomar decisiones más rápidas y eficientes, incluso en tiempo real, para una gestión más efectiva de sus activos [Rahmanifard and Plaksina, 2019]. Se anticipa que estas tecnologías digitales impulsarán la productividad, la participación de la fuerza laboral y la capacitación de manera significativa.

La recolección, análisis y representación de datos juegan un papel esencial en la revolución digital. La autonomía en la recopilación de datos, seguida de su procesamiento en tiempo real, casi en tiempo real o posterior, no es algo nuevo en la industria P&G. Un ejemplo de esto es la utilización de sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA) que la industria P&G ha empleado durante muchas décadas para supervisar sus activos [Ehrenreich and May, 2001]. Además, se han explorado enfoques basados en redes de sensores inalámbricos (WSN) para la recolección y monitoreo de datos en diversas aplicaciones relacionadas con la exploración, el transporte y la refinación [Al Janaby, 2020].

La introducción de sistemas SCADA y WSN convencionales plantea diversos obstáculos. En el caso de los sistemas SCADA, los componentes de hardware y software suelen ser incompatibles entre sí; los costos asociados a la adquisición y el mantenimiento son elevados y no se pueden adaptar eficazmente debido a la falta de densidad en términos de tiempo y espacio; llevar a cabo cambios o actualizaciones en los protocolos de comunicación o

las herramientas de software resulta sumamente desafiante y conlleva una considerable latencia [Ehrenreich and May, 2001].

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) no son uniformes y suelen carecer de una comunicación coordinada y de claridad tanto dentro de sus zonas de operación como entre procesos [Kathiriya et al., 2020]. Gracias a los avances recientes en tecnologías de la información y las comunicaciones, junto con los sistemas microelectromecánicos (MEMS), el Internet de las cosas (IoT) ha surgido como una solución a las limitaciones asociadas con los sistemas SCADA y WSN convencionales [Nguyen-Hoang and Vo-Tan, 2019].

El Internet de las Cosas es una red de componentes que están integrados en dispositivos inteligentes, como sensores y actuadores, conectados a Internet, lo que permite la conectividad en cualquier momento y lugar, accesible por cualquier persona y cualquier cosa. Un sistema típico de IoT incluye sensores, actuadores, infraestructura de red y herramientas de análisis de datos para recopilar y procesar información [Al Janaby, 2020].

Actualmente, se están considerando soluciones para procesar datos en el borde, en la niebla y en la nube, con el propósito de reducir la latencia, mejorar la escalabilidad y facilitar el acceso a la información, lo que permite tomar decisiones más eficaces y rápidas a partir de los datos capturados por dispositivos habilitados para IoT [Chakravarthi, 2021].

Se han introducido varios otros conceptos y términos relacionados con el Internet de las cosas (IoT), como el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), Internet de Todo (IoE), Web de las Cosas (WoT), Nube de las Cosas (CoT), sistemas máquina a máquina (M2M), Internet de las Cosas a Nanoescala (IoNT) e Internet de las Cosas Móviles (IoMT). No se tiene como objetivo realizar un análisis exhaustivo de los estándares, arquitecturas, proyectos de investigación, iniciativas nacionales y otros conceptos relacionados con el IoT, sino evaluar su función en la industria de P&G [Chakravarthi, 2021].

Durante las últimas dos décadas, el concepto de IoT ha sido objeto de estudio, pruebas y aplicaciones en diversos sectores industriales, incluyendo la manufactura, el comercio minorista, las ciudades inteligentes, las viviendas inteligentes, la red eléctrica inteligente, el transporte, la atención médica y las industrias de recursos [Talari et al., 2017]. Las proyecciones sugieren que la tecnología IoT goza de una sólida adopción en el ámbito industrial y presenta un considerable potencial de mercado.

Los altos niveles de adopción industrial, junto con capacidades sin precedentes, tienen el potencial de alterar el modelo de negocio tradicional en muchas industrias. Hasta el momento, el sector de la fabricación industrial ha liderado la adopción de IoT, seguido de cerca por el comercio minorista, las telecomunicaciones, los productos de consumo, la energía y los servicios públicos, y la industria automotriz [Kaur and Kalra, 2016].

2.2. Definiciones Previas

En esta sección, se presentarán de forma resumida los conceptos fundamentales, las definiciones clave y una introducción teórica esencial para comprender el trabajo actual.

2.2.1. Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las cosas (IoT) representa una red de dispositivos interconectados que se enlazan y comparten información con otros dispositivos IoT y la nube. Estos dispositivos IoT suelen incorporar tecnología, como sensores y software, y pueden abarcar desde

máquinas tanto mecánicas como digitales hasta objetos de uso cotidiano [Madakam et al. \[2015\]](#).

Cada vez más, organizaciones de diversos sectores están empleando el IoT con el propósito de operar con mayor eficiencia, proporcionar un mejor servicio al cliente, optimizar la toma de decisiones y aumentar el valor de sus operaciones comerciales. Con la ayuda del IoT, los datos pueden transferirse a través de redes sin requerir interacciones directas entre personas o entre personas y computadoras.

2.2.2. Industria Petróleo y Gas

La industria de petróleo y Gas (P&G) tiene una operación compleja que se centra en tres sectores que se denominan Exploración y Producción, Transporte y Almacenamiento y Refinación y Distribución, como se muestra en la figura 2.1. [Elijah et al. \[2021\]](#)

Exploración y Producción se refiere a la primera etapa de la industria del petróleo y el gas. En esta fase, las empresas se dedican a la búsqueda y extracción de petróleo crudo y gas natural desde yacimientos subterráneos o bajo el lecho marino. Esto implica la perforación de pozos de petróleo y gas, la evaluación de la viabilidad de los yacimientos, la extracción de los recursos y su transporte a la superficie. Las actividades de Exploración y Producción son las que ponen en marcha todo el proceso de obtención de hidrocarburos y se consideran las más riesgosas y costosas [Elijah et al. \[2021\]](#).

Transporte y Almacenamiento abarca el transporte, almacenamiento y distribución de petróleo crudo y gas natural desde las instalaciones de producción (en la etapa "Exploración y Producción") hasta las instalaciones de refinación o procesamiento (en la etapa "Refinación y Distribución"). Esto implica el transporte a larga distancia a través de oleoductos, gasoductos, barcasas o ferrocarriles, así como el almacenamiento en terminales y depósitos intermedios. En esta etapa, los productos pueden ser sometidos a procesos de separación y tratamiento [Elijah et al. \[2021\]](#).

Refinación y Distribución se refiere al procesamiento, refinación y distribución de los productos finales derivados del petróleo crudo y del gas natural. Esto incluye la destilación del petróleo crudo en productos como gasolina, diésel, queroseno, entre otros, así como la producción de productos químicos y la generación de energía. Además, esta etapa involucra la distribución y venta de estos productos a consumidores y usuarios finales. Las actividades "Refinación y Distribución" tienen un enfoque significativo en la calidad y seguridad de los productos y en satisfacer la demanda del mercado [Elijah et al. \[2021\]](#).



Figura 2.1: Sectores de la Industria Petrolera y de Gas

2.2.3. Node-Red

Node-RED es un entorno de programación de código abierto basado en flujos y diseñado para la creación de aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) y de automatización. La figura 2.2 muestra la interfaz gráfica del cuadro de mando principal para conectar nodos y crear flujos de trabajo que permiten el intercambio y procesamiento de datos entre diferentes dispositivos y servicios. Node-RED es ampliamente utilizado para la integración de dispositivos IoT, la automatización del hogar, el procesamiento de datos en tiempo real y la creación de aplicaciones personalizadas [Garbev \[2022\]](#).

Su enfoque visual y su flexibilidad lo hacen una herramienta poderosa para desarrolladores y entusiastas de la IoT. Node-RED se ejecuta en Node.js y es extensible mediante el uso de paquetes y nodos personalizados [Garbev \[2022\]](#).

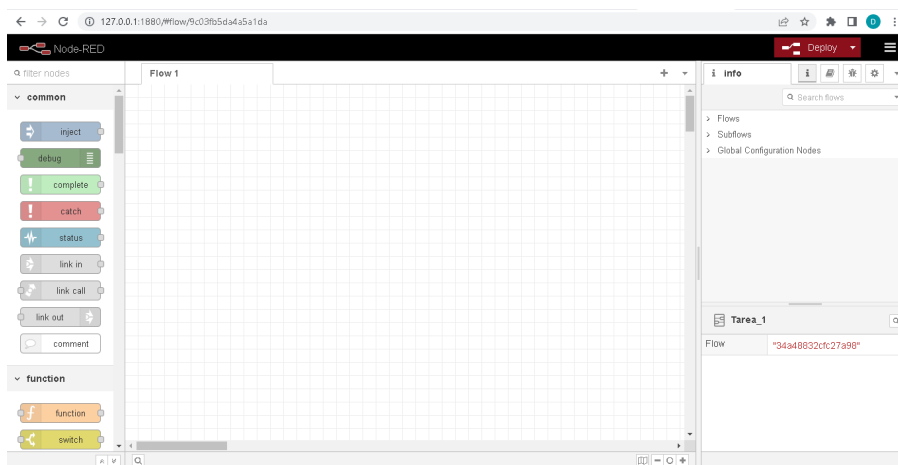


Figura 2.2: Área de trabajo de Node-Red

2.2.4. TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal)

Es una potente herramienta de desarrollo de software que simplifica la automatización industrial, la figura 2.3 se observa el entorno integrado y una amplia gama de características que permiten a los ingenieros programar, configurar y mantener sistemas de control de manera eficiente y segura [Salih et al. \[2017\]](#).

Características clave de TIA Portal:

Integración completa: TIA Portal proporciona una plataforma única e integrada para todas las tareas de ingeniería y programación en entornos de automatización industrial. Esto facilita la configuración y la programación de sistemas complejos al permitir a los ingenieros trabajar en un entorno unificado.

Soporte multiplataforma: TIA Portal es compatible con una amplia gama de hardware de Siemens, lo que brinda a los usuarios la flexibilidad de seleccionar el hardware más adecuado para sus aplicaciones.

Entorno de programación gráfica: El software utiliza lenguajes de programación gráfica como LAD (Diagrama de Contactos), FBD (Diagrama de Bloques de Funciones) y STL (Texto Estructurado) para la programación de PLC. Esto facilita la programación y el mantenimiento de sistemas de automatización.

Bibliotecas y reutilización: TIA Portal ofrece bibliotecas de funciones predefinidas y permite a los ingenieros crear y reutilizar sus propias bibliotecas personalizadas. Esto acelera el proceso de desarrollo y garantiza la consistencia en toda la aplicación.

Simulación y pruebas: Permite la simulación de programas antes de cargarlos en el hardware real, lo que ayuda a reducir errores y mejorar la calidad del software.

Conectividad: TIA Portal ofrece soporte para una amplia variedad de protocolos de comunicación y redes industriales, lo que facilita la integración de dispositivos y sistemas de diferentes fabricantes.

Diagnóstico y mantenimiento: Proporciona herramientas de diagnóstico avanzadas para identificar y solucionar problemas en el sistema de automatización.

Seguridad: Incluye características de seguridad que protegen los sistemas de automatización contra amenazas cibernéticas.

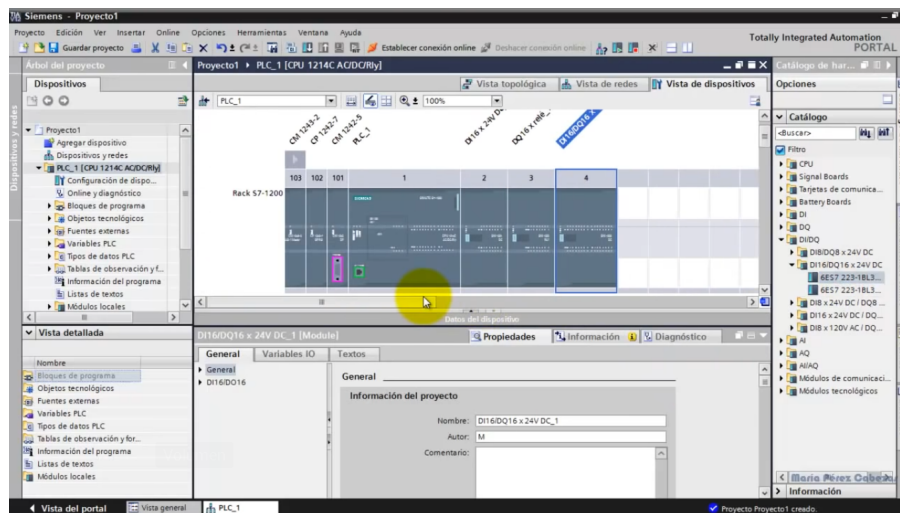


Figura 2.3: Área de Trabajo de TIA Portal

2.2.5. Variador de Frecuencia

La figura 2.4 muestra uno de los tantos Variadores de Frecuencia, también conocidos como Inversores de Frecuencia, los cuales son dispositivos electrónicos utilizados en sistemas de control de motores eléctricos para regular la velocidad y el par de salida del motor. Su función principal es variar la frecuencia y la tensión suministrada al motor, lo que permite un control preciso de su velocidad y, por lo tanto, una mayor eficiencia energética y flexibilidad en una amplia gama de aplicaciones industriales y comerciales [Khan et al. \[2019\]](#).

Características Principales:

Control de Velocidad: Los VFDs permiten una regulación precisa de la velocidad del motor, lo que es esencial en aplicaciones donde se requiere una velocidad variable, como transportadores, bombas, ventiladores y máquinas herramienta.

Ahorro de Energía: Al ajustar la velocidad del motor según las necesidades, los VFDs reducen el consumo de energía, lo que puede resultar en ahorros significativos de costos operativos.

Arranque Suave: Proporcionan un arranque gradual del motor, lo que disminuye el desgaste y la tensión en los componentes mecánicos y eléctricos.

Control de Par: Permiten el control preciso del par de salida del motor, lo que es valioso en aplicaciones de carga variable y alta exigencia.

Protección del Motor: Los VFDs monitorean y protegen el motor contra condiciones anormales, como sobrecorriente, sobretensión y sobrecalentamiento.

Control Remoto: Muchos VFDs son compatibles con sistemas de control remoto y redes de automatización industrial.

Reducción de Armónicos: Algunos VFDs están equipados con tecnología para minimizar la generación de armónicos y cumplir con los estándares de calidad de energía.

Aplicaciones Versátiles: Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde sistemas de climatización y elevadores hasta maquinaria industrial y transporte.

Compatibilidad: Son compatibles con motores de inducción trifásicos y otros tipos de motores eléctricos.



Figura 2.4: Variador de Frecuencia G120

2.2.6. Motores de Inducción

Los motores de inducción son dispositivos electromecánicos ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones industriales y comerciales para la conversión de energía eléctrica en energía mecánica. Estos motores se basan en principios de electromagnetismo y funcionan mediante la inducción electromagnética [Rubbo et al. \[2022\]](#)

Características de los motores de inducción:

Funcionamiento por Inducción: Los motores de inducción funcionan mediante el principio de la inducción electromagnética, en el cual un campo magnético giratorio es inducido en el rotor del motor sin necesidad de conexiones eléctricas directas. Esto elimina la necesidad de anillos deslizantes y escobillas, lo que los hace más confiables y de bajo mantenimiento.

Eficiencia: Son conocidos por su eficiencia, ya que pueden convertir una alta proporción de la energía eléctrica suministrada en energía mecánica útil. Esto los hace adecuados para una amplia gama de aplicaciones.

Tipos de Motores: Los motores de inducción pueden clasificarse en motores monofásicos (utilizados en aplicaciones de baja potencia y hogares), motores trifásicos (comunes en aplicaciones industriales y comerciales), y motores de jaula de ardilla (que son los más comunes y económicos).

Arranque: Muchos motores de inducción utilizan un mecanismo de arranque, como devanados auxiliares o condensadores, para superar la inercia inicial y comenzar a girar. Una vez que están en movimiento, funcionan de manera eficiente.

Conexiones Eléctricas: Los motores de inducción pueden estar conectados de varias maneras, incluyendo conexiones estrella, conexiones triángulo y conexiones dobles. Estas configuraciones se utilizan para controlar la velocidad y el par del motor en diferentes aplicaciones.

Amplia Aplicación: Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde sistemas de ventilación y bombas hasta cintas transportadoras y máquinas herramientas. También se encuentran en electrodomésticos como lavadoras y acondicionadores de aire.

2.2.7. Accuload

Es un dispositivo avanzado de control y gestión de carga diseñado para la automatización y supervisión precisa de procesos de carga en diversas aplicaciones industriales y comerciales. Este dispositivo se caracteriza por sus características de precisión y eficiencia, lo que lo convierte en una herramienta valiosa en entornos donde se requiere una medición exacta y un control riguroso de la carga. La figura 2.5 muestra el equipo instalado en un entorno de trabajo real.

Características de Accuload:

Medición Precisa: Accuload se destaca por su capacidad para medir con precisión el flujo y la cantidad de material cargado. Utiliza sensores y tecnología avanzada de medición para asegurarse de que la carga se realice de manera exacta y controlada.

Automatización: Este dispositivo permite la automatización de procesos de carga, lo que significa que puede programarse para realizar cargas de manera autónoma, sin intervención humana constante. Esto aumenta la eficiencia y reduce los errores.

Control de Carga: Accuload proporciona un control minucioso de la carga, lo que incluye la capacidad de detener, iniciar o ajustar la velocidad de la carga según las necesidades específicas de la aplicación. Esto es esencial en industrias como la alimentaria, química y de fabricación.

Compatibilidad Versátil: Accuload es versátil y puede utilizarse en una variedad de aplicaciones, desde la carga de materiales a granel en camiones o trenes hasta procesos de dosificación en la industria farmacéutica. Su capacidad de adaptarse a diferentes entornos lo convierte en una herramienta valiosa.

Pantalla y Visualización de Datos: El dispositivo suele estar equipado con una pantalla que muestra datos en tiempo real, como el flujo de carga, el peso acumulado, la

velocidad y otros parámetros relevantes. Esta visualización facilita el monitoreo y el ajuste en tiempo real.

Registro de Datos: Accuload suele tener la capacidad de registrar datos de carga a largo plazo, lo que es útil para el seguimiento, el análisis y la generación de informes. Esto es importante para el control de calidad y la documentación.



Figura 2.5: Acculoads

2.2.8. Derivados del Petróleo

Son productos químicos y compuestos que se obtienen a partir de la refinación del petróleo crudo. Estos derivados incluyen una amplia gama de productos, siendo dos ejemplos notables el Diesel y la Ecopaís (Gasolina), que son esenciales en el sector del transporte y desempeñan un papel crucial en la economía global y en la vida cotidiana de las personas.

2.2.9. Controlador PID

El controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo) es un tipo de controlador utilizado en sistemas de control automático para mantener una variable (como la temperatura, la presión, la velocidad, etc.) en un valor deseado [Ang et al. \[2005\]](#).

El controlador PID utiliza tres componentes para lograr esta tarea:

Control Proporcional (P): El término proporcional se refiere a la acción inmediata del controlador para reducir el error actual entre la variable medida y el valor deseado. El control proporcional multiplica el error por una constante llamada ganancia proporcional (K_p) y ajusta la señal de control de manera proporcional al tamaño del error. A medida que el error disminuye, la acción proporcional se reduce, lo que evita oscilaciones excesivas, pero puede llevar a un pequeño error en estado estacionario.

Control Integral (I): La acción integral es responsable de eliminar el error en estado estacionario. El control integral acumula el error a lo largo del tiempo y lo multiplica por

una constante llamada ganancia integral (K_i). Esto garantiza que, con el tiempo, el error disminuye hasta alcanzar cero. La acción integral es particularmente útil para eliminar el error en estado estacionario.

Control Derivativo (D): La acción derivativa actúa para prevenir oscilaciones excesivas en la respuesta del sistema. El control derivativo multiplica la tasa de cambio del error por una constante llamada ganancia derivativa (K_d). Esta acción ayuda a reducir la velocidad a la que el controlador responde a cambios bruscos en la variable controlada, lo que puede mejorar la estabilidad del sistema.

El controlador PID combina estas tres acciones de manera ponderada para generar la señal de control que ajusta el proceso y mantiene la variable controlada lo más cerca posible del valor deseado.

2.2.10. Caudal

El caudal, en el contexto de la ingeniería y la física, se refiere a la cantidad de un fluido (como líquido o gas) que fluye a través de un punto en un sistema en un período de tiempo específico. Se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo, como litros por segundo (L/s), metros cúbicos por hora (m^3/h), o galones por minuto (GPM), dependiendo de las unidades de medida utilizadas [Shetty et al. \[2020\]](#).

El caudal es una propiedad fundamental en una amplia variedad de aplicaciones en la industria, la ingeniería y la ciencia, y es de gran importancia en varios contextos, entre ellos:

Industria Petrolera y Gas: En la extracción de petróleo y gas, se mide el caudal de los fluidos producidos de un pozo. También es esencial en la distribución de combustibles y en la medición de gas natural.

Ingeniería de Procesos: En plantas industriales, el caudal se controla y mide para garantizar un funcionamiento eficiente en procesos químicos, de fabricación y tratamiento de aguas, entre otros.

Control de Procesos y Automatización: El caudal se utiliza en sistemas de control de procesos y automatización para regular el flujo de líquidos o gases y mantener las condiciones operativas adecuadas.

Instrumentación y Medición: Se emplean diversos tipos de medidores de caudal, como medidores de flujo volumétrico, medidores de flujo másico y medidores ultrasónicos, para medir el caudal en una amplia gama de aplicaciones.

2.2.11. Presión

La presión es una magnitud física fundamental que se utiliza para describir la fuerza ejercida sobre una unidad de superficie. Se mide en unidades como pascales (Pa), bares (bar), atmósferas (atm), o milímetros de mercurio (mmHg), entre otros [Muravyova et al. \[2022\]](#). La presión se encuentra en muchas aplicaciones y disciplinas, desde la física y la ingeniería hasta la meteorología y la medicina.

2.2.12. Temperatura

Se relaciona con la energía cinética promedio de las partículas en un sistema. Cuanto más alta es la temperatura, más rápido se mueven las partículas y, por lo tanto, mayor es

la energía cinética promedio. La temperatura se utiliza para describir el calor o frío de un objeto o sustancia.

La temperatura es una propiedad fundamental en la física y la termodinámica y tiene aplicaciones en diversas áreas, como la meteorología, la ciencia de materiales, la física, la química y la ingeniería.

Unidades de Temperatura:

Celsius (°C): Se utiliza comúnmente en todo el mundo y está relacionado con el punto de congelación y ebullición del agua.

Fahrenheit (°F): Utilizado principalmente en los Estados Unidos y algunas otras regiones.

Kelvin (K): La escala Kelvin es una escala absoluta de temperatura y se utiliza en ciencia y tecnología.

2.2.13. Conexión S7

Se refiere a la comunicación con sistemas de control basados en la familia de controladores SIMATIC S7 de Siemens. Estos sistemas se utilizan en aplicaciones de automatización industrial y control de procesos. Las conexiones S7 pueden establecerse a través de redes industriales y protocolos de comunicación específicos para permitir el monitoreo y control de dispositivos y procesos. La figura 2.6 muestra parte de la conexión S7 utilizada en el proyecto.

Aquí hay una descripción general de las conexiones S7 en automatización:

Hardware S7: Los controladores SIMATIC S7 son componentes clave en sistemas de automatización industrial. Estos controladores pueden ser variados en términos de capacidad y características según las necesidades del sistema.

Comunicación en Red: Para interactuar con los controladores S7, se utilizan redes industriales. Algunas redes comunes incluyen PROFINET, Profibus, y Ethernet industrial. Estas redes permiten la conexión de dispositivos como paneles HMI, sensores, actuadores y otros controladores.

Protocolos de Comunicación: Los protocolos de comunicación como OPC (OLE for Process Control), MODBUS, y el protocolo de comunicación industrial S7 (comúnmente utilizado con controladores Siemens) se emplean para transmitir datos entre el sistema de control y otros dispositivos.

Interfaz de Usuario: Los sistemas de automatización a menudo incluyen interfaces de usuario, como paneles de operador HMI (Interfaz Hombre-Máquina) que permiten a los operadores supervisar y controlar el sistema.

Software de Programación: Se utilizan entornos de programación específicos, como TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) de Siemens, para desarrollar la lógica de control y configurar la comunicación con los controladores S7.

Monitoreo y Control: Una vez configurada la comunicación, los operadores y los sistemas de control pueden monitorear y controlar dispositivos, procesos y máquinas de manera remota o local.

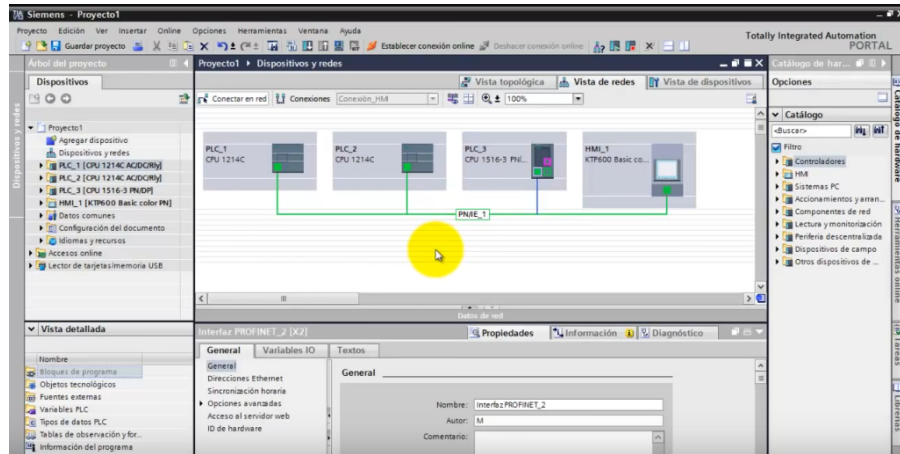


Figura 2.6: Conexión S7 utilizadas en el proyecto

Capítulo 3

Desarrollo del proyecto

En este capítulo se explica a detalle el diseño del sistema, se analizarán en profundidad los diversos programas empleados para simular el proyecto, se explorarán las configuraciones específicas de cada uno de ellos con el propósito de llevar a cabo la supervisión de variables y, finalmente, se abordará la visualización en el panel de control de Node-Red.

3.1. Desarrollo del Diseño

La definición de los requerimientos de diseño se inicia con una visita a las instalaciones de la terminal de productos limpios de la ciudad de Cuenca para conocer a detalle el lugar en donde se desea implementar el proyecto y hacer un levantamiento de equipos e instrumentación existentes. La figura 3.1 muestra el MCC existente en la terminal, el cuál no cuentan con variadores de velocidad para las bombas de islas de carga, pero se tiene el espacio para la implementación de los mismos.



Figura 3.1: Cuarto Eléctrico

Actualmente para el despacho de combustibles se tienen 4 islas de carga con un Accuload cada una, como se muestra en las figuras 3.2 y 3.3, cada Accuload tiene la capacidad de controlar 4 brazos de despacho, dando una capacidad total de control de hasta 16 brazos, en este caso 3 Accuload controlan 2 brazos y un Accuload controla 1 brazo, dando un total de 7 brazos, distribuidos de la siguiente manera.

- 4 brazos de Diésel Premium
- 2 brazos de Gasolina Ecopaís
- 1 brazo de Gasolina Súper



Figura 3.2: Islas de despacho de Productos Limpios



Figura 3.3: Acculoads

En las figuras 3.4 y 3.5 se muestra la sala de bombas, en la cual se tiene 13 bombas distribuidas de la siguiente manera:

- 3 bombas para Diésel Premium las cuales comparten tubería de succión y descarga
- 3 bombas para Premezcla las cuales comparten tubería de succión y descarga

- 1 bomba para Gasolina Súper
- 2 bombas de Etanol (alcohol que se mezcla con gasolina premezcla para dar como resultado la gasolina Ecopaís),
- 1 bomba de trasvase
- 1 bomba de respaldo



Figura 3.4: Área de Bombas (1)



Figura 3.5: Área de Bombas (2)

Tal como se muestra en la figura 3.6 todas ellas con accionamiento manual, todas ellas con accionamiento manual, sin variadores de velocidad ni comunicación con los computadores de flujo Accuload, esto quiere decir que cuando se inicia un batch de despacho, se debe encender las bombas manualmente desde las botoneras y por otro lado se debe dar inicio al computador de flujo, el cuál controla el volumen a despachar por medio de una unidad de medición y una válvula de diafragma las cuáles se muestran en la figura 3.7.



Figura 3.6: Botonera de accionamiento de bombas

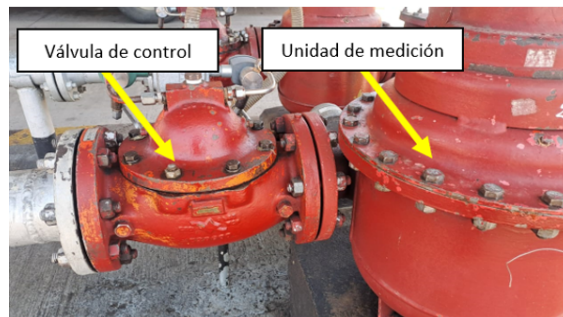


Figura 3.7: Válvula de control y unidad de medición

Mediante diagrama de flujo, en la figura 3.8 se muestra la situación actual del despacho de combustible.

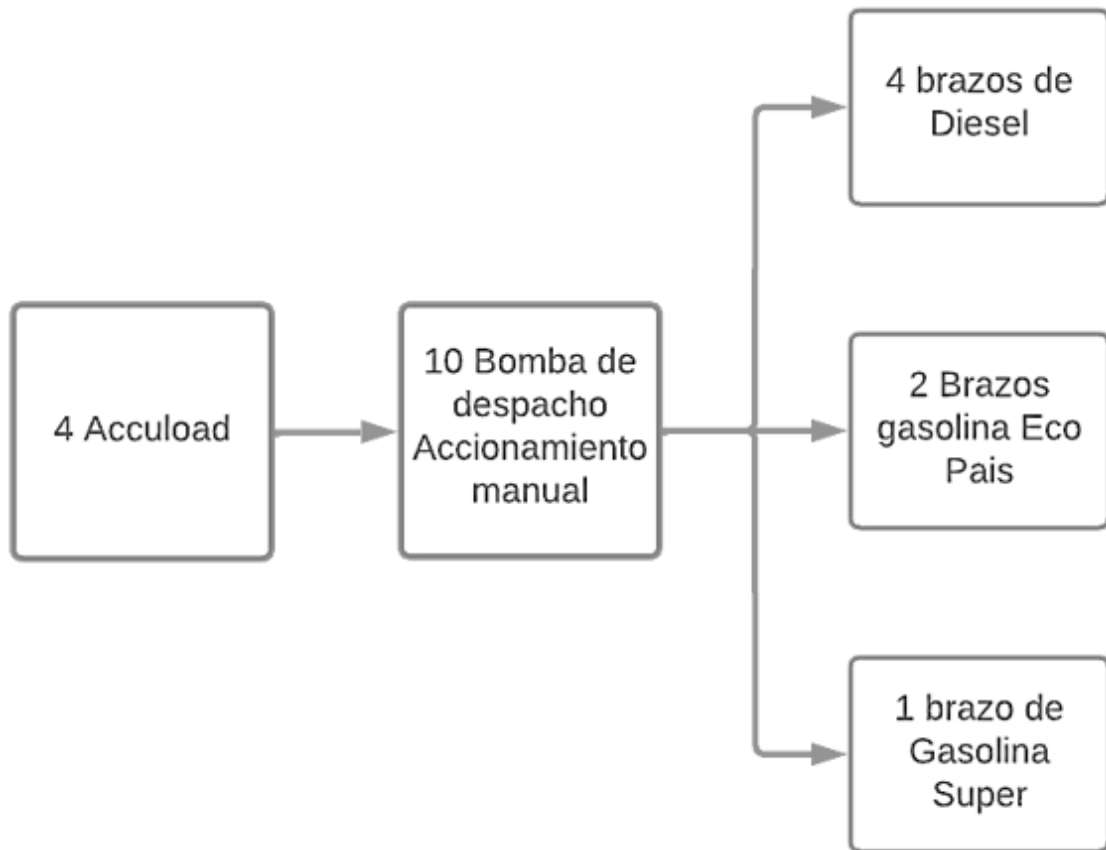


Figura 3.8: Situación Actual del despacho de combustible

Basándonos en la situación actual del control y analizando la operación, se concluye que existen 2 escenarios distintos en el proceso de despacho, por lo que se establecen las lógicas de control que se van a implementar de acuerdo a los siguientes criterios:

- Cuando 1 brazo de un producto despacha de inicio a fin:

Este proceso se ilustra a través de un diagrama de flujo, en la figura 3.9, el cual abarca desde el inicio de la operación hasta su culminación. El diagrama proporciona una representación visual detallada de todas las etapas y actividades involucradas en la entrega de combustible utilizando un único brazo dispensador.

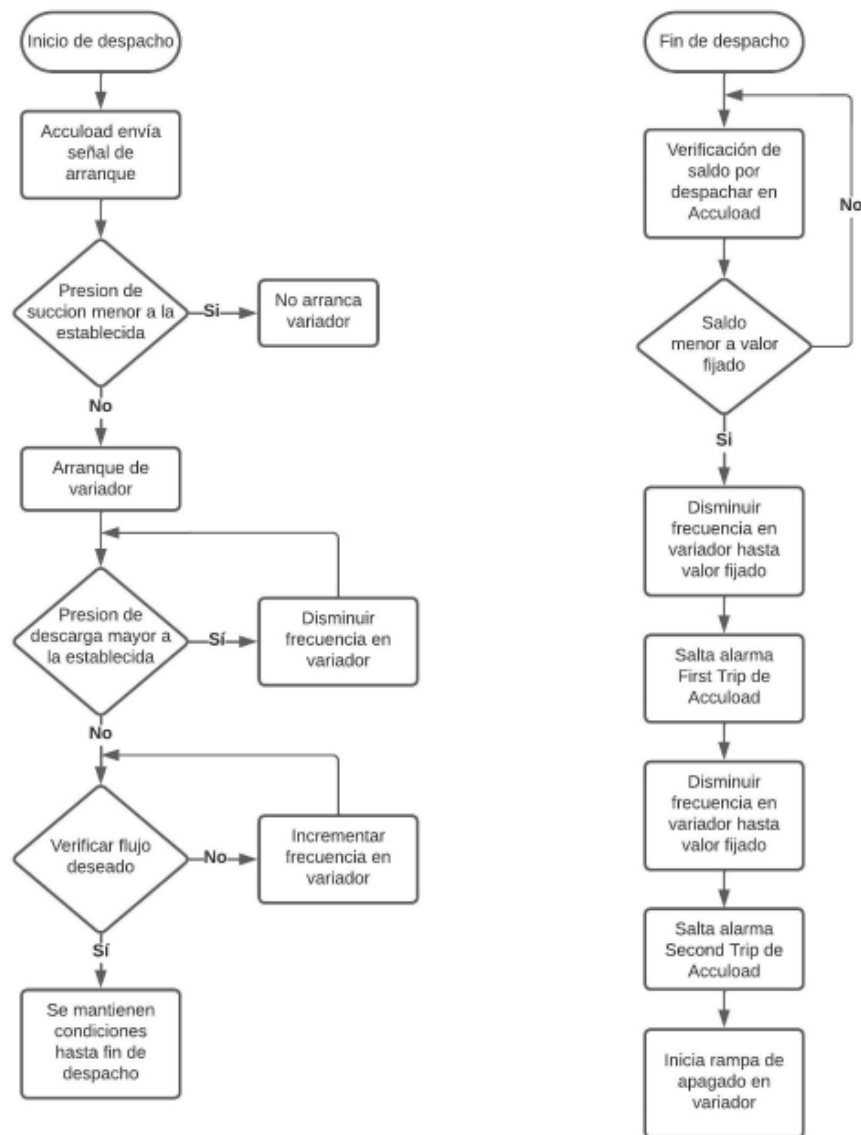


Figura 3.9: Requerimiento para el despacho de 1 brazo de un producto

- Cuando varios brazos del mismo producto despachan al mismo tiempo no necesariamente de inicio a fin:

Se presenta el requerimiento de despacho de combustible en el cual se emplean múltiples brazos para despachos del mismo producto simultáneamente. El proceso se detalla mediante un diagrama de flujo, referirse a la figura 3.10, que abarca el inicio de la operación hasta que finaliza. El diagrama proporciona una representación visual de todas las etapas y acciones implicadas en la entrega de combustible cuando varios brazos están en funcionamiento.

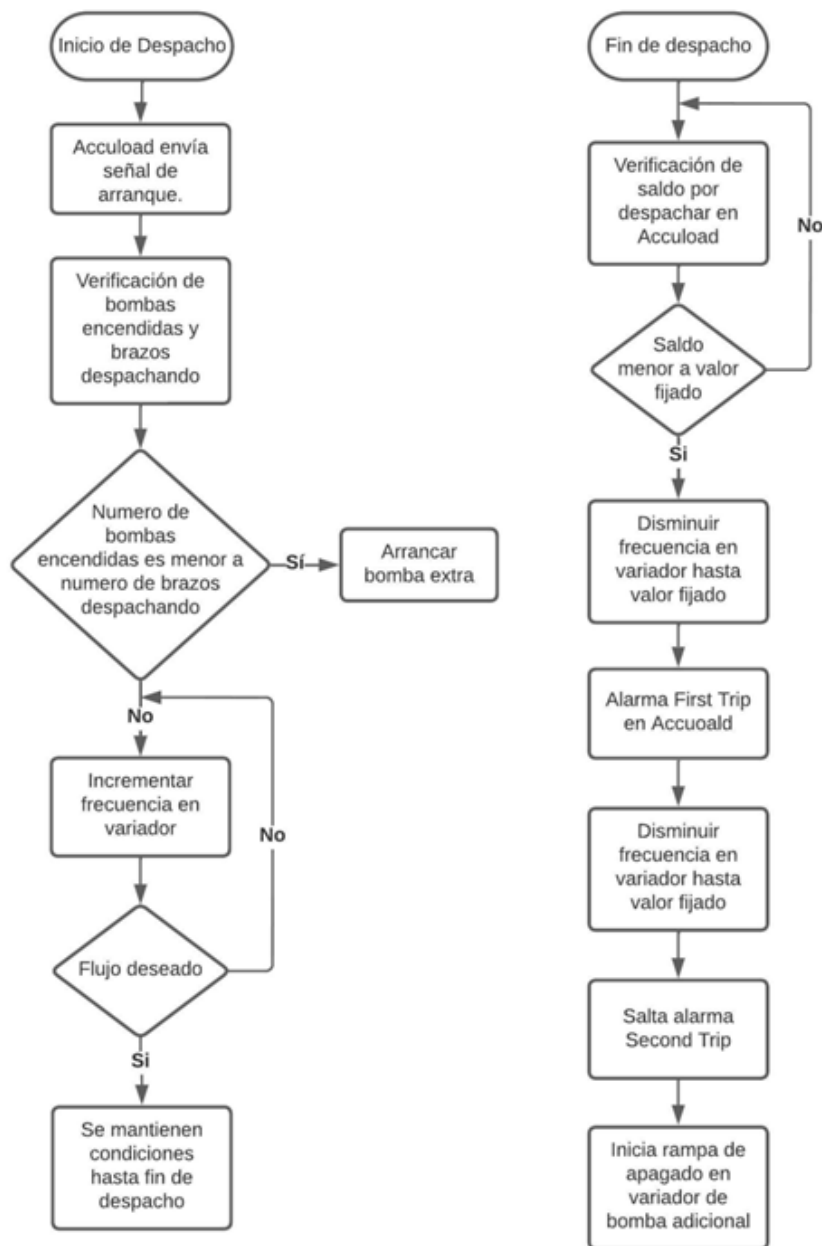


Figura 3.10: Requerimiento para el despacho de varios brazos de un producto

- Comportamiento de bombas de Etanol: En relación con el comportamiento de las bombas de Etanol, cuando se emite una orden de arranque específicamente perteneciente a Ecopaís, se espera que la bomba se comporte de manera similar a lo descrito previamente, con una diferencia importante. En este caso, la bomba no considerará el flujo como parámetro de referencia, sino que se centrará únicamente en la presión como el factor determinante para su funcionamiento.

Habiendo realizado el análisis inicial, se definen los componentes necesarios, así como las entradas y salidas principales que son esenciales para el correcto funcionamiento del sistema de control. A continuación, se detallan minuciosamente estos elementos, brindando

una visión integral de lo que se requiere para que el sistema cumpla con sus objetivos de manera eficiente y efectiva.

Componentes principales:

- PLC (Controlador Lógico Programable)
- Acculoads (Computadores de Flujo).
- CCM (Centro de Control de Motores).
- PIT´s (Transmisores de Presión).

Entradas:

Desde el Accuload

- Comunicación vía Ethernet
- Arranque de bomba
- Flujo
- Temperatura
- Alarma Zero Flow (Tomar el dato de que medidor corresponde en caso de Ecopaís si es de Premezcla o Etanol)
- Tamaño del batch ingresado
- Saldo de producto por despachar, en caso de gasolina Ecopaís tomar tanto el dato de Premezcla como de Etanol.
- First Trip (primer accionamiento y cierre definitivo para culminación de batch)
- Second Trip (Segundo accionamiento y cierre definitivo para culminación de batch)

Desde PIT´s

- Succión de bombas
- Descarga de bombas

Desde CCM

- Estado de los variadores

Salidas:

- Comando de los variadores
- Datos al HMI
 - Estado de cada brazo (reposo o despachando).
 - Flujo (en caso de estar despachando)
 - Temperatura.
 - Presiones en las líneas (succión y descarga).
 - Estado de cada bomba (encendida, apagada o desernegezada)
 - RPM y Frecuencia de cada motor (En caso de estar funcionando).

El proyecto se convirtió en una valiosa oportunidad para explotar de manera significativa los recursos disponibles en el laboratorio de Automatización Industrial 2 de la Universidad Politécnica Salesiana para la simulación de las señales tanto de entrada como de salida.

En este entorno, se logró establecer una red de comunicación altamente efectiva entre los dispositivos PLC SIMATIC S7-1500, aprovechando las capacidades del software TIA Portal V16 Professional. Este enfoque permitió una experiencia de aprendizaje enriquecedora y práctica, al tiempo que brindó la posibilidad de aplicar y perfeccionar habilidades fundamentales en el campo de la automatización industrial y la ingeniería de control.

A pesar de pertenecer a la categoría básica dentro de la línea de productos de Siemens, el variador SINAMICS V20 se destaca como un modelo contemporáneo. Aporta una configuración bastante sencilla, lo que lo hace accesible incluso para usuarios con menos experiencia en el campo de la automatización industrial. No obstante, lo que realmente lo distingue es su notable avance en cuanto a la precisión del control de velocidad en comparación con su predecesor, el G110. Este avance se traduce en un control más preciso y eficiente de los sistemas de accionamiento, lo que resulta en un mejor rendimiento y una mayor fiabilidad en una amplia gama de aplicaciones industriales.

La sintonización de un controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) resultó fundamental para lograr un control preciso de la velocidad de un motor en un entorno que simula cambios en la presión del sistema. Este escenario representa un ejemplo clásico de un sistema de control de lazo cerrado, donde la presión se convierte en la variable de retroalimentación clave. La sintonización del control PID permitió ajustar los parámetros del controlador de manera óptima para garantizar una respuesta rápida y estable ante las variaciones en la presión.

El control PID se destaca por su versatilidad, ya que la componente proporcional permite una respuesta inmediata a los errores, la componente integral corrige desviaciones a largo plazo y la componente derivativa minimiza la oscilación.

Esto se traduce en un control preciso de la velocidad del motor en función de la presión, lo que es esencial en aplicaciones donde mantener condiciones constantes es crucial para el funcionamiento del sistema. La sintonización adecuada del PID optimiza el rendimiento y garantiza que el motor responda de manera eficiente a las variaciones de presión, lo que es fundamental en numerosos escenarios industriales y de automatización.

En la figura 3.11 muestra parte de la interconexión de los Controladores Lógicos Programables (PLCs) mencionados, lo cuál representó un aspecto crucial en el diseño del sistema de control. Estos PLCs se comunicaron mediante una conexión Ethernet, implementando una topología en forma de estrella. Esta topología en estrella es un enfoque de red que involucra la conexión central de todos los dispositivos a un switch central. Cada PLC se conectó a este switch central a través de conexiones Ethernet, lo que permitió una comunicación efectiva y eficiente entre ellos. Además, para controlar los variadores de frecuencia, se utilizaron las salidas digitales y analógicas del PLC. Las salidas digitales permitieron controlar aspectos como el encendido/apagado y la dirección del movimiento de los variadores, mientras que las salidas analógicas permitieron ajustar y controlar con precisión la velocidad y otros parámetros relacionados con el funcionamiento de los variadores.

Esta configuración de red y control es fundamental en sistemas de automatización

industrial, ya que garantiza la comunicación fiable y el control preciso de los dispositivos en el sistema, lo que a su vez contribuye a la eficiencia y el rendimiento óptimo de los procesos industriales o de control. La topología de estrella y el uso de salidas digitales y analógicas son enfoques comunes en la implementación de sistemas de automatización que requieren una alta precisión y confiabilidad.

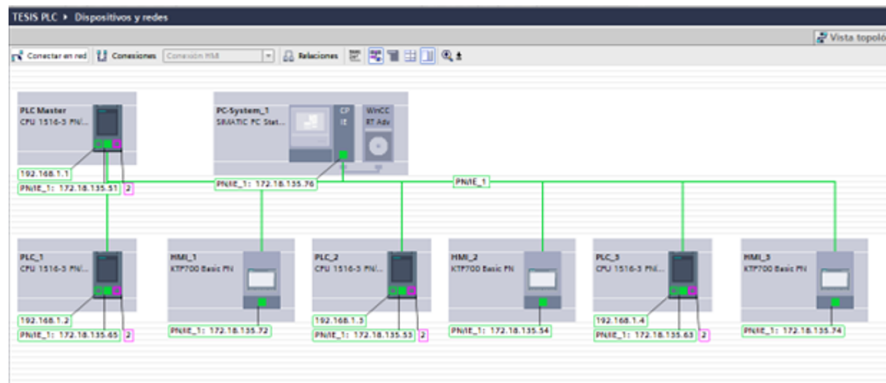


Figura 3.11: Vista de redes del desarrollo de la solución

Node-Red es una plataforma de programación visual que brinda una amplia gama de herramientas y recursos para la creación de flujos de trabajo y automatización de tareas. Dentro de su administrador de paletas, se encuentra disponible un nodo especialmente diseñado para la conexión con sistemas S7. Esta característica es de gran utilidad, ya que facilita la comunicación con controladores Siemens S7, comúnmente utilizados en entornos industriales para el control y monitoreo de procesos.

La inclusión de un nodo de conexión S7 en Node-Red permite a los usuarios establecer una comunicación directa con los dispositivos Siemens S7, lo que es esencial para la lectura y escritura de variables de proceso. Esto implica la capacidad de acceder y supervisar información crítica en tiempo real, como datos de sensores, estados de actuadores y otros parámetros relacionados con la operación industrial.

Al aprovechar este nodo de conexión S7, se simplifica el proceso de integración de dispositivos Siemens en una solución de automatización basada en Node-Red. Esto se traduce en una mayor eficiencia y versatilidad en la implementación de proyectos de automatización y control, ya que los datos de los dispositivos S7 se vuelven fácilmente accesibles y manipulables dentro de los flujos de trabajo de Node-Red.

A continuación, se procede a realizar los pasos ejecutados dentro del laboratorio de Automatización 2 de la Universidad Politécnica Salesiana para la simulación de la automatización del proceso de despacho de combustibles y monitoreo mediante una plataforma basada en IOT para un terminal de productos limpios

La capacidad de agregar dispositivos Simatic S7-1500 sin necesidad de especificarlos manualmente, determinarlos o detectarlos individualmente tal como muestra la figura 3.12, representa un salto significativo en la eficiencia y facilidad de integración en el ámbito de la automatización industrial. Esta función simplifica en gran medida el proceso de incorporar controladores S7-1500 a un sistema, ya que elimina la necesidad de configurar cada uno de los módulos y dispositivos de manera manual, lo que podría ser un proceso laborioso y propenso a errores.

Al permitir el reconocimiento automático de los dispositivos S7-1500 junto con sus módulos, se logra un ahorro de tiempo sustancial y se reduce la complejidad de la configuración. Esto es especialmente valioso en entornos industriales donde la agilidad y la eficiencia son críticas.

Al evitar la necesidad de agregar cada dispositivo desde un catálogo de hardware o configurarlos uno por uno, los ingenieros y operadores pueden centrarse en tareas más estratégicas y en la optimización de los procesos en lugar de tareas administrativas tediosas. Además, esta funcionalidad contribuye a la minimización de errores, ya que reduce la posibilidad de configuraciones incorrectas o incompletas.

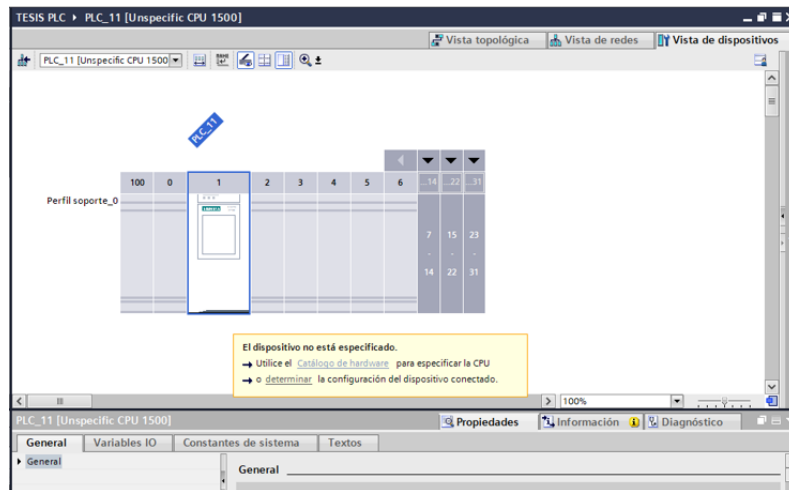


Figura 3.12: Agregar Dispositivo

La configuración de hardware de dispositivos PLC, en particular la asignación de direcciones IP, es una parte fundamental en la implementación de sistemas de automatización industrial, el uso del controlador Simatic S7-1500 con sus dos puertos de red independientes se convierte en una característica especialmente valiosa.

La asignación de direcciones IP a estos puertos de red permite establecer una comunicación eficaz y segura con otros dispositivos y sistemas en una red industrial. Al configurar cada puerto con su propio rango de direcciones IP como se muestra la figura 3.13, se garantiza la segregación de tráfico y la capacidad de dirigir los datos de manera específica. Esto es esencial para mantener la integridad y la eficiencia de la red, así como para garantizar que los datos críticos lleguen a su destino sin interferencias ni retrasos.

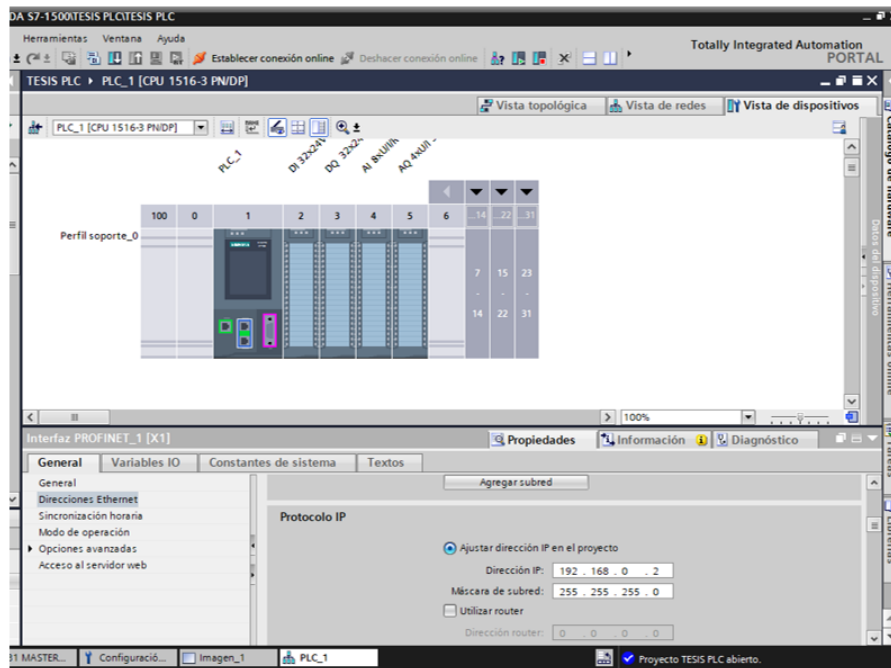


Figura 3.13: Configuración de Direcciones de red

En la figura 3.14 se muestra la habilitación del recurso de conexión vía PUT GET del interlocutor remoto, el cuál es una funcionalidad clave en la interacción de sistemas de control y monitoreo industrial. Esta opción permite la lectura y escritura de variables del PLC de forma remota, lo que facilita la integración y el intercambio de datos entre dispositivos en diferentes ubicaciones.

El PLC maestro adquiere un rol fundamental, ya que puede acceder y modificar variables en los PLCs esclavos. Esto posibilita la supervisión y control centralizado de múltiples puntos en la planta industrial o en un sistema más amplio. Además, esta funcionalidad facilita la comunicación con Node-Red, un entorno de programación visual utilizado en la automatización industrial.

Node-Red puede acceder a las variables del PLC a través de una conexión S7, lo que brinda la flexibilidad de diseñar flujos de trabajo y automatizar tareas en función de los datos proporcionados por el PLC. Esto simplifica el desarrollo de aplicaciones y soluciones personalizadas.

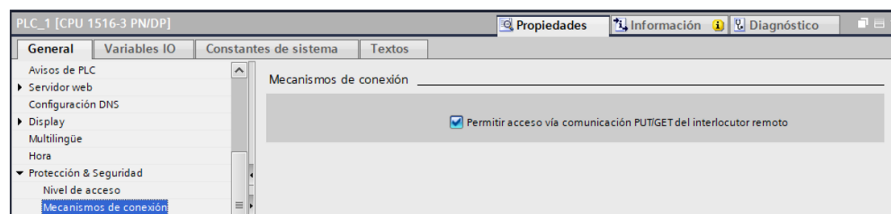


Figura 3.14: Mecanismo de Conexión para acceso Vía PUT/GET.

La incorporación de un sistema PC es un paso fundamental en el despliegue de un sistema de control y monitoreo en un entorno industrial. Este PC se convierte en la

plataforma desde la cual se ejecuta la interfaz gráfica SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), que desempeña un papel central en la visualización, supervisión y control de los procesos industriales.

La elección de un hardware adecuado para este PC es esencial para garantizar un rendimiento confiable y una comunicación eficiente con los dispositivos de campo. En este caso, se seleccionó una tarjeta de red Profinet, específicamente la tarjeta IE General como se muestra en la figura 3.15, para establecer la conectividad con los controladores y dispositivos de automatización. La elección de la tarjeta IE General, que corresponde a la tarjeta de red integrada del PC, es una decisión estratégica, ya que Profinet es un estándar de comunicación ampliamente utilizado en la automatización industrial.

La inclusión del sistema PC y la elección cuidadosa de hardware, como la tarjeta de red Profinet, son pasos esenciales para el despliegue exitoso de un sistema de control y monitoreo en un entorno industrial, lo que permite una gestión eficiente de los procesos y una mejora en la toma de decisiones operativas.

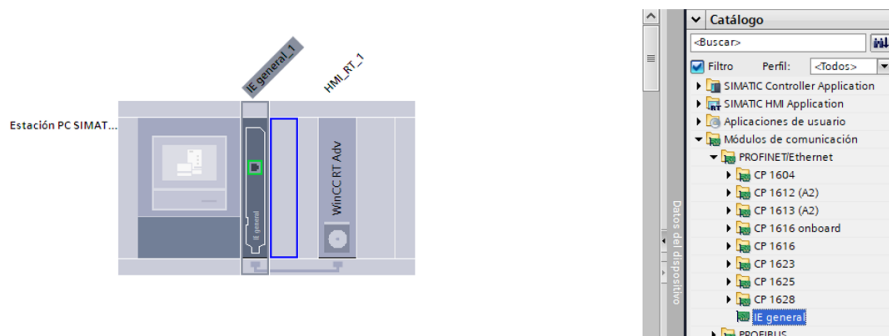


Figura 3.15: Configuración de hardware de sistema PC.

Las figuras 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19 muestran la creación de una tabla de variables que representa un componente fundamental en la configuración y operación del sistema de control industrial. Esta tabla actúa como un punto de referencia que relaciona las direcciones de las variables de los dispositivos esclavos con las ubicaciones en el dispositivo maestro donde se van a escribir o desde donde se leerán.

Este proceso es crucial para asegurar una comunicación efectiva entre los dispositivos y el PLC maestro, ya que establece una correspondencia clara entre las variables en diferentes partes del sistema. La asignación de direcciones permite que el PLC maestro sepa dónde encontrar y cómo interactuar con las variables en los dispositivos esclavos, lo que es esencial para el monitoreo y control de procesos.

Variables PLC								
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	Presion de linea disel	Tabla de variabl...	Real	%MD50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	V20 Bomba 1	Tabla de variables e..	Word	%QW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Salida %	Tabla de variables e..	Real	%MD54	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Inicio	Tabla de variables e..	Bool	%MO.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Transmisor de presion	Tabla de variables e..	Int	%IW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Transmisor de flujo	Tabla de variables e..	Int	%IW6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Caudal	Tabla de variables e..	Real	%MD58	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Set Caudal B1	Tabla de variables e..	Real	%MD62	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Bomba 1	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Encendido_manual_B1	Tabla de variables e..	Bool	%MO.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Consigna variadores	Tabla de variables e..	Int	%MW30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	V20 Bomba 2	Tabla de variables e..	Word	%QW6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	V20 Bomba 3	Tabla de variables e..	Word	%QW8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Bomba 2	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Bomba 3	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Caudal 2	Tabla de variables e..	Real	%MD68	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Caudal 3	Tabla de variables e..	Real	%MD72	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Caudal total	Tabla de variables e..	Real	%MD76	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Encendido_manual_B2	Tabla de variables e..	Bool	%MO.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	Encendido_manual_B3	Tabla de variables e..	Bool	%MO.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	Marca de arranque	Tabla de variables e..	Bool	%MO.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	Set_Caudal_B2	Tabla de variables e..	Real	%MD80	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	Set_Caudal_B3	Tabla de variables e..	Real	%MD84	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	Set_Caudal_total	Tabla de variables e..	Real	%MD88	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.16: Variables del PLC 1

Variables PLC								
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	Presion del brazo	Tabla de variabl...	Real	%MD50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	V20	Tabla de variables e..	Word	%QW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Salida %	Tabla de variables e..	Real	%MD54	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Inicio	Tabla de variables e..	Bool	%MO.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Transmisor de presion	Tabla de variables e..	Int	%IW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Transmisor de flujo	Tabla de variables e..	Int	%IW6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Caudal	Tabla de variables e..	Real	%MD58	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Set Caudal	Tabla de variables e..	Real	%MD62	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Bomba 4	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	VARIADOR	Tabla de variables e..	Real	%MD66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Encendido manual B4	Tabla de variables e..	Bool	%MO.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.17: Variables del PLC 2

Variables PLC								
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	Presion del brazo	Tabla de variabl...	Real	%MD50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	V20	Tabla de variables e..	Word	%QW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Salida %	Tabla de variables e..	Real	%MD54	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Inicio	Tabla de variables e..	Bool	%MO.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Transmisor de presion	Tabla de variables e..	Int	%IW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Transmisor de flujo	Tabla de variables e..	Int	%IW6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Caudal	Tabla de variables e..	Real	%MD58	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Set Caudal	Tabla de variables e..	Real	%MD62	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Bomba	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	% ETANOL	Tabla de variables e..	Real	%MD52	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.18: Variables del PLC 3

Variables PLC								
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	Presion PLC 1	Tabla de variabl...	Real	%MD10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	% V20_1	Tabla de variables e..	Real	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Caudal PLC 1	Tabla de variables e..	Real	%MD18	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Bomba PLC 1	Tabla de variables e..	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Presion PLC 2	Tabla de variables e..	Real	%MD22	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	% V20_2	Tabla de variables e..	Real	%MD26	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Caudal PLC 2	Tabla de variables e..	Real	%MD30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Bomba PLC 2	Tabla de variables e..	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Presion PLC 3	Tabla de variables e..	Real	%MD34	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	% V20_3	Tabla de variables e..	Real	%MD38	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Caudal PLC 3	Tabla de variables e..	Real	%MD42	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Bomba PLC 3	Tabla de variables e..	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Presion PLC 4	Tabla de variables e..	Real	%MD46	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	% V20_4	Tabla de variables e..	Real	%MD50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Caudal PLC 4	Tabla de variables e..	Real	%MD54	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Bomba PLC 4	Tabla de variables e..	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Presion PLC 5	Tabla de variables e..	Real	%MD58	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	% V20_5	Tabla de variables e..	Real	%MD62	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Caudal PLC 5	Tabla de variables e..	Real	%MD66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	Bomba PLC 5	Tabla de variables e..	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	Presion PLC 6	Tabla de variables e..	Real	%MD70	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	% V20_6	Tabla de variables e..	Real	%MD74	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	Caudal PLC 6	Tabla de variables e..	Real	%MD78	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	Bomba PLC 6	Tabla de variables e..	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	Presion PLC 7	Tabla de variables e..	Real	%MD82	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	% V20_7	Tabla de variables e..	Real	%MD86	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	Caudal PLC 7	Tabla de variables e..	Real	%MD90	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	Bomba PLC 7	Tabla de variables e..	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	Clock_Byte	Tabla de variables e..	Byte	%MB100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	Clock_10Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M100.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	Clock_5Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M100.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	Clock_2.5Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M100.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	Clock_2Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M100.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	Clock_1.25Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M100.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
35	Clock_1Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M100.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
36	Clock_0.625Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M100.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
37	Clock_0.5Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M100.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
38	RESET	Tabla de variables e..	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.19: Variables del PLC Master

En la figura 3.20 se muestra, la inclusión de un bloque de función en la arquitectura de control de un sistema industrial aporta una estructura organizada y altamente eficiente. Este enfoque permite gestionar y manipular variables de manera coherente y ordenada, lo que tiene un impacto positivo en la claridad y mantenibilidad del programa de control.

El bloque de función actúa como un módulo independiente que contiene una lógica específica para realizar ciertas tareas. En este caso, se utiliza para almacenar de manera permanente los valores de las variables de la plantilla. Cuando se llama a este bloque de función desde el bloque de orden superior OB1, se activa y ejecuta su lógica, lo que incluye la transferencia de datos desde las variables de la plantilla a un bloque de datos de instancia.

Esta estructura modular proporciona varias ventajas. En primer lugar, facilita la reutilización del código, lo que significa que la lógica de almacenamiento de variables solo se debe definir una vez en el bloque de función y se puede invocar desde diferentes partes del programa de control. Esto reduce la redundancia y el riesgo de errores en el código.

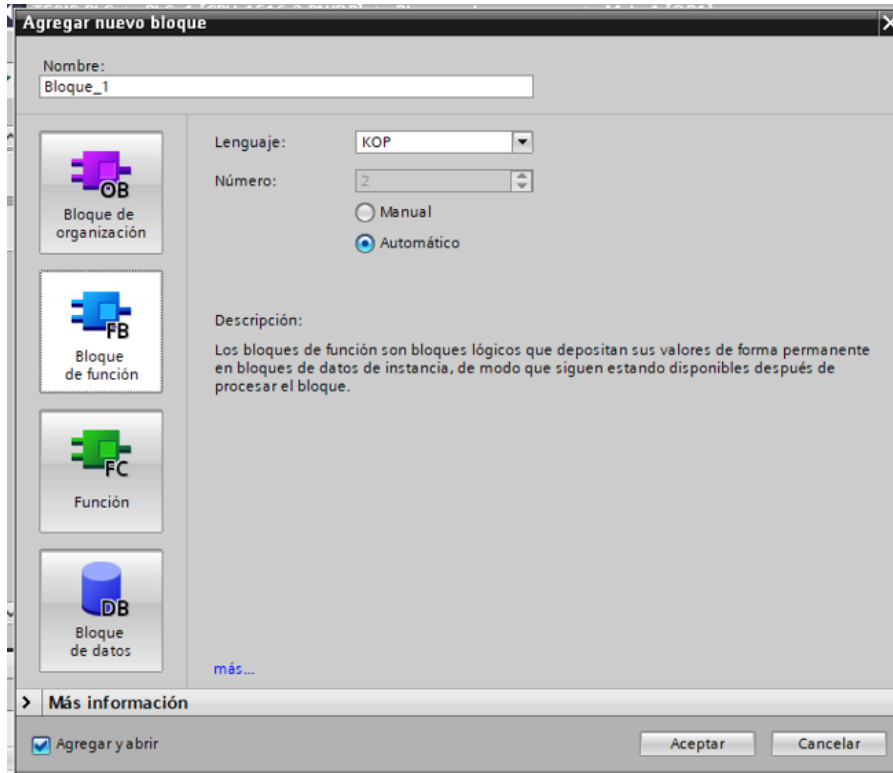


Figura 3.20: Agregar nuevo bloque

Además, esta arquitectura brinda una alta claridad y comprensión del programa, ya que la lógica específica se encuentra encapsulada en bloques de función dedicados. Esto facilita la depuración, el mantenimiento y las actualizaciones del software de control, ya que los cambios en la lógica se limitan a un lugar centralizado.

	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Retenencia	Acces
1	Input				
2	Transmisor de presion	Int	0	No rem...	
3	Transmisor de flujo	Int	0	No remane...	
4	Inicio	Bool	false	No remane...	
5	Set caudal	Real	0.0	No remane...	
6	Salida PID	Real	0.0	No remane...	
7	Output				
8	Norm 1	Real	0.0	No remane...	
9	Presion brazo 1	Real	0.0	No remane...	
10	Norm 2	Real	0.0	No remane...	
11	Caudal	Real	0.0	No remane...	
12	Flanco	Bool	false	No remane...	
13	Marcha variador	Bool	false	No remane...	
14	Norm 3	Real	0.0	No remane...	
15	Salida 0-10 V	Int	0	No remane...	
16	InOut				
17	<Agregar>				
18	Static				
19	<Agregar>				

Figura 3.21: Variables de Entrada y Salida de Interfaz de Bloque

En la figura 3.21 se muestra, el proceso de normalización y escalado de las entradas en un sistema de control, particularmente cuando se trabaja con PLCs Siemens, es un paso fundamental en la adquisición y procesamiento de datos analógicos. Este procedimiento es crucial para convertir las señales de entrada en formatos y rangos comprensibles y utilizables para el control y monitoreo de procesos industriales.

La normalización es el primer paso, donde los valores analógicos de entrada, en este caso, con un rango de 0 a 27648, se convierten en números reales. Esto es esencial para asegurarse de que las mediciones reflejen con precisión la magnitud de las variables físicas, como la presión y el caudal. La normalización generalmente involucra la conversión de una escala específica en una escala estándar que puede ser interpretada por el sistema de control.

Una vez que se han normalizado las entradas, el proceso de escalado entra en juego. El escalado implica la conversión de los valores normalizados a un rango específico que es relevante para las variables de proceso en el sistema. En este caso, se escala tanto la presión como el caudal de 0 a 100 en ambos canales analógicos, tal como se muestra en la figura 3.22. Esto significa que los valores normalizados se ajustan a un rango de 0 a 100, que es más comprensible y coherente con las unidades de medida y las necesidades del sistema de control.

Este proceso de normalización y escalado es esencial para garantizar que las señales analógicas se interpreten y utilicen de manera precisa en el sistema de control, lo que a su vez contribuye a una supervisión y control efectivos de los procesos industriales. Además, permite que el sistema de control realice comparaciones, cálculos y toma de decisiones

basados en datos coherentes y representativos de la realidad.

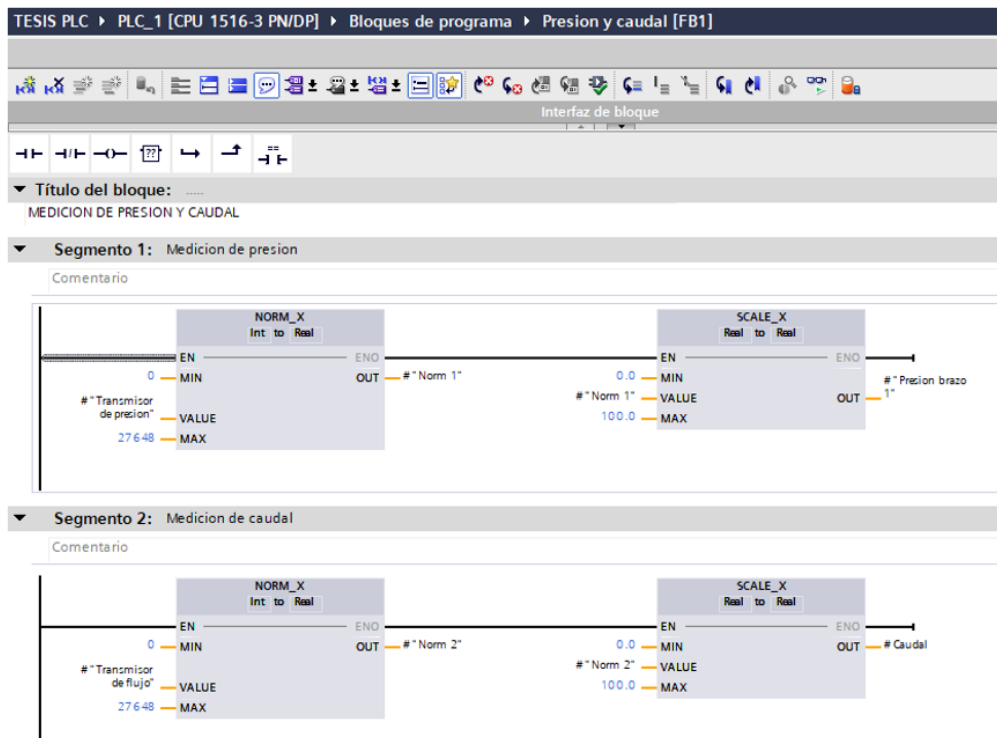


Figura 3.22: Escalado de canales analógicos de entrada a través de variables de interfaz de bloque

La normalización y el escalado en un canal analógico de salida representan una parte crucial en el control y la actuación de dispositivos en un sistema de automatización industrial. En este caso, el proceso de normalización y escalado se realiza en sentido inverso en comparación con las entradas, ya que se parte de un valor real para convertirlo en un número entero en un rango específico que corresponde a la señal de control.

La normalización de una salida implica la conversión de un valor real en un valor que se ajuste a un rango determinado. El valor real representa la señal de control para la velocidad del motor, que simula el comportamiento de una bomba. Para asegurarse de que el motor responda de manera coherente y predecible, es necesario normalizar el valor de salida a un rango de 0 a 27648 tal como muestra la figura 3.23.

El escalado convierte el valor real en un número entero dentro del rango deseado (0-27648) que corresponde a una señal analógica de 0-10 V. Este rango es comúnmente utilizado para controlar la velocidad de motores y otros dispositivos en la automatización industrial. En el contexto de una bomba simulada, el control preciso de la velocidad del motor es esencial para ajustar el flujo y la presión del sistema. Al normalizar y escalar la señal de salida de esta manera, se asegura un control preciso y predecible, lo que es crítico en aplicaciones donde las variables de proceso deben mantenerse dentro de rangos específicos para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

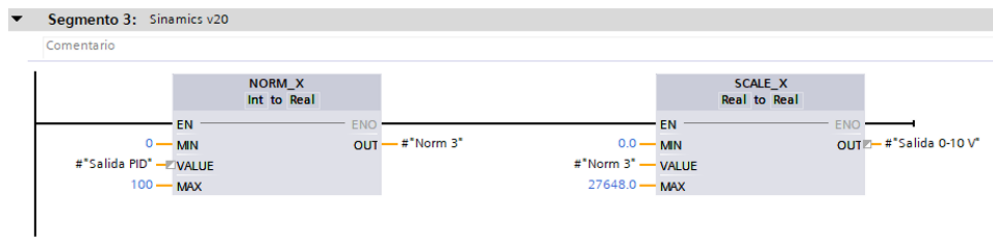


Figura 3.23: Escalado de canal analógico de salida

El control de encendido de una bomba es un aspecto crítico en la operación de sistemas de bombeo y flujo de fluidos, el control se realiza a través de una Interfaz de Usuario Humano-Máquina (HMI), que permite a los operadores configurar las consignas de presión y caudal para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

En primer lugar, la configuración de las consignas de presión, que se mantiene fija, es esencial para establecer los límites de funcionamiento del sistema. Esto permite definir cuál es la presión deseada a la que debe operar el sistema de bombeo.

En la figura 3.24 se muestra el control de arranque, que se inicia mediante un flanco negativo después de presionar y soltar un botón, brinda una forma segura y controlada de iniciar la bomba. Este enfoque evita arranques inesperados y asegura que el operador tenga un control total sobre el proceso.

Un elemento crucial del control es la verificación de la presión del sistema en comparación con la presión fija configurada. Si la presión en el sistema supera la presión configurada, el variador de frecuencia se desconecta, lo que es fundamental para evitar daños a la bomba o al sistema debido a una presión excesiva.

Si la presión en el sistema se mantiene por debajo del límite establecido, el variador de frecuencia se mantiene en funcionamiento y continúa operando hasta alcanzar el caudal configurado. Esto garantiza que la bomba suministre la cantidad de fluido requerida según las necesidades del proceso.

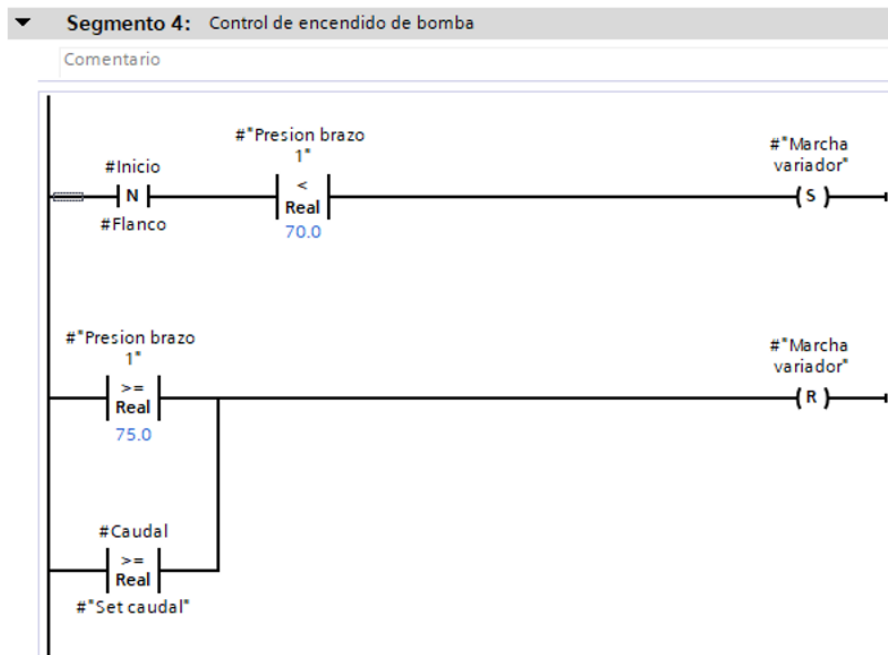


Figura 3.24: Control de encendido de bomba

La llamada a un bloque de función es una técnica comúnmente empleada en la programación de sistemas de control industrial para modularizar y estructurar el código de manera eficiente, el bloque de organización de orden superior, denominado OB1, se desempeña como el bloque de ciclo de programa principal que coordina la ejecución de todas las funciones y subrutinas del sistema.

La programación estructurada, que se destaca por su claridad y organización, permite una distribución ordenada de las variables en el bloque OB1 como muestra la figura 3.25. En la parte izquierda de este bloque se ubican las variables de entrada, es decir, las que contienen información que se toma del entorno o de otros dispositivos. Estas variables pueden incluir datos como lecturas de sensores, señales analógicas o cualquier otro tipo de información que influye en la lógica de control.

En el lado derecho del bloque OB1 se encuentran las variables de salida, que son aquellas que se utilizan para controlar dispositivos, actuadores o para tomar decisiones basadas en la lógica del programa. Estas variables de salida suelen representar órdenes de activación o desactivación de componentes del sistema, ajuste de parámetros o señales de control.

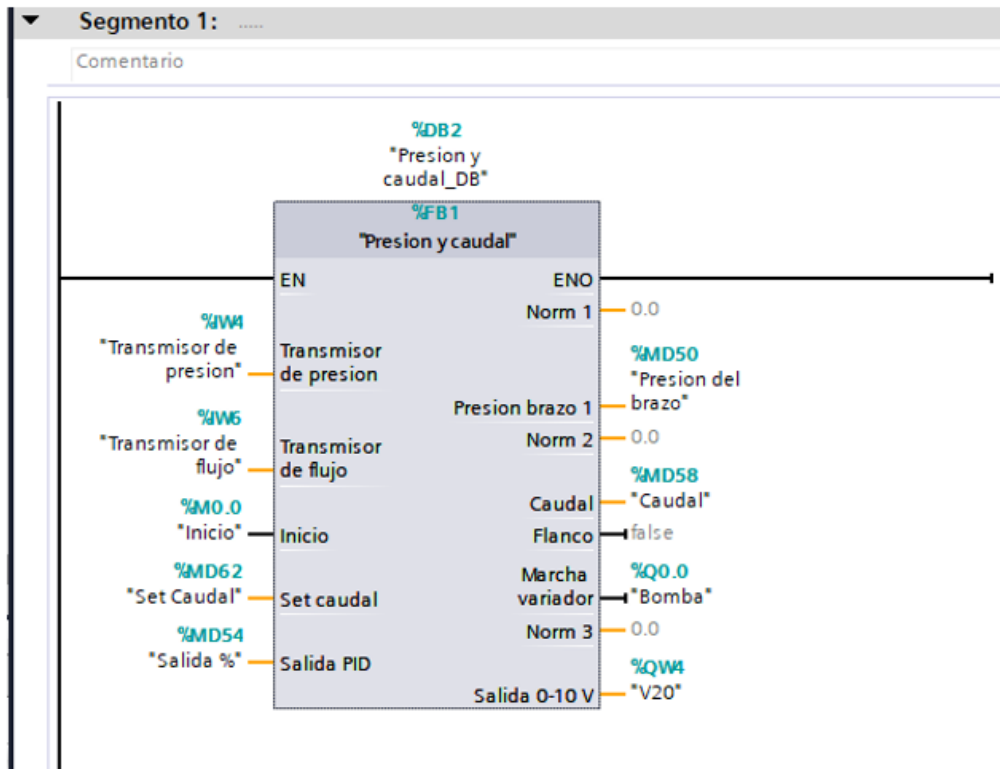


Figura 3.25: Bloque de función para control de bomba

El control PID permite ajustar automáticamente una variable de proceso para mantenerla en un valor de referencia deseado, lo que es crucial en una amplia variedad de aplicaciones. Se introduce un bloque de interrupción cíclica en la lógica de control como muestra la figura 3.26. Estos bloques de interrupción cíclica, también de orden superior, permiten programar la ejecución periódica de ciertas tareas.

La ventaja clave de estos bloques de interrupción cíclica es que el tiempo de ciclo se define por el usuario, lo que brinda flexibilidad para ajustar la frecuencia de procesamiento según las necesidades del sistema. La inclusión de estos bloques de interrupción cíclica es especialmente beneficiosa porque no es necesario llamarlos en el MAIN OB1, lo que simplifica la lógica del programa principal. En lugar de incluirlos en el programa principal, donde se ejecutan todas las tareas esenciales, los bloques de interrupción cíclica se configuran para funcionar de manera autónoma y periódica, lo que garantiza la estabilidad y la velocidad de respuesta del sistema.

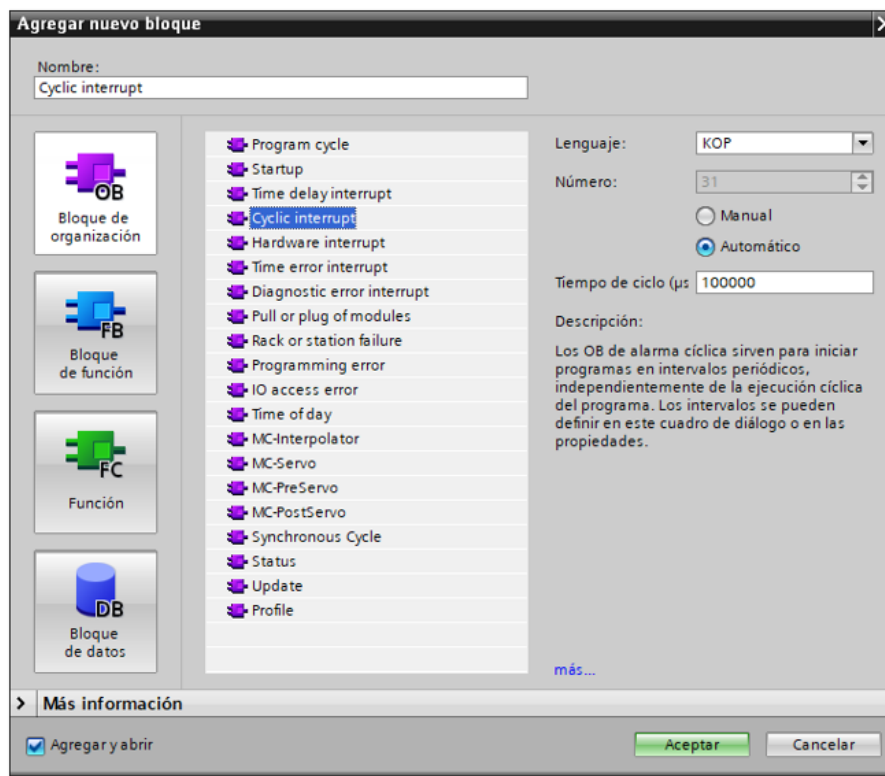


Figura 3.26: Agregar bloque de interrupción cíclica

La inclusión de la instrucción PID Compact dentro del bloque de interrupción cíclica representa un paso esencial para implementar un control en lazo cerrado en un sistema de automatización industrial. El control en lazo cerrado es un enfoque avanzado que permite ajustar automáticamente una variable de proceso (en este caso, la velocidad del motor) para que se mantenga lo más cerca posible de un valor de referencia deseado (el set point). Esto es fundamental para asegurar que la presión se mantenga en el nivel deseado en la aplicación.

En la figura 3.27 se muestra la configuración de la instrucción PID Compact, en la que se definen varios parámetros clave:

Set Point: Este parámetro representa la consigna de presión fija, que en este caso se estableció en 50 PSI. El set point es el valor al que se desea que la presión se mantenga. Cuando la presión se aleja de este valor de referencia, la instrucción PID Compact ajusta automáticamente la velocidad del motor para que la presión vuelva a acercarse al set point. Esto asegura un control preciso de la presión.

Input: En lugar de utilizar Input PER (normalizado), se optó por utilizar Input, lo que permite observar directamente el valor de la variable de proceso sin normalizar. Esto es beneficioso para comprender la situación real del sistema, ya que se muestra el valor en sus unidades físicas (en este caso, PSI), lo que facilita la interpretación y la toma de decisiones.

Output: En lugar de utilizar Output PER (normalizado), se seleccionó Output, lo que permite visualizar un valor de salida en porcentaje en lugar de un valor normalizado. Esto significa que el controlador ajusta la velocidad del motor en función de un valor de salida

expresado en porcentaje, lo que es más intuitivo y fácil de entender.

La combinación de estos elementos permite un control en lazo cerrado altamente efectivo de la presión en el sistema. Cuando la presión se desvía del set point, la instrucción PID Compact calcula automáticamente el ajuste necesario en la velocidad del motor para corregir la desviación y mantener la presión en el valor deseado. Esto se traduce en un control preciso y automático de la variable de proceso, lo que es fundamental para una operación eficiente y confiable.

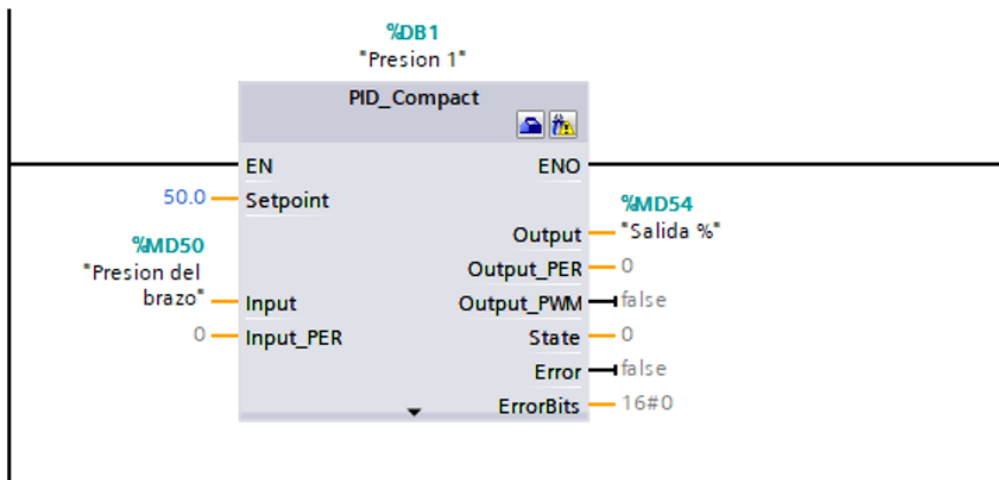


Figura 3.27: Instrucción PID Compact

La configuración de la instrucción de objeto tecnológico es un paso crítico en la implementación de un controlador PID en un sistema de automatización industrial. Esta configuración determina cómo se llevará a cabo el control y qué variables serán controladas. A continuación, ampliaré sobre los aspectos clave de esta configuración:

Tipo de regulación: En esta etapa, se define el tipo de regulación que se aplicará. Esto implica especificar qué variable se controlará y en qué unidades se expresará. Es importante seleccionar el tipo de regulación correcto para que el controlador PID actúe sobre la variable deseada y en las unidades apropiadas.

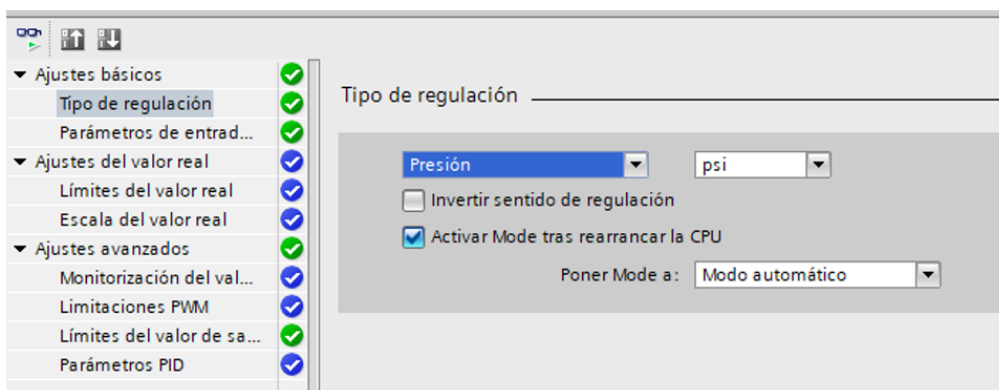


Figura 3.28: Tipo de regulación

Selección de variables: El primer paso en la configuración de la instrucción de objeto

tecnológico implica la selección de las variables que intervendrán en el algoritmo PID. Estas variables son esenciales para el funcionamiento del controlador como muestra la figura 3.29.

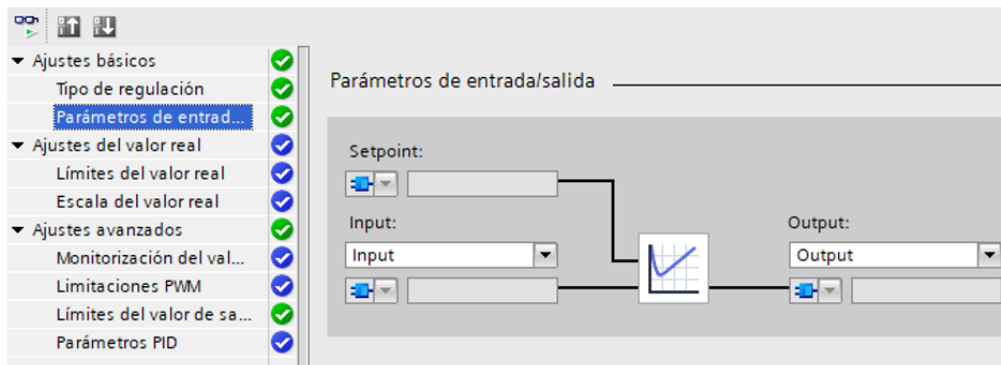


Figura 3.29: Parámetros de entrada y salida

Modo automático: Para que el controlador PID funcione de manera efectiva, es necesario activar el modo automático. Cuando el sistema entre en modo RUN, la instrucción de objeto tecnológico estará lista para operar automáticamente. En este modo, el controlador PID tomará decisiones y realizará ajustes de control según sea necesario para mantener la variable de proceso (en este caso, la presión) lo más cerca posible del valor de referencia establecido (el set point).

Límites del valor real: En todo control de variable de proceso es necesario establecer condiciones de seguridad, entre ellas los límites. En este caso como lo muestra la figura 3.30, definimos como valor mínimo 0 PSI y 120 PSI como valor máximo.

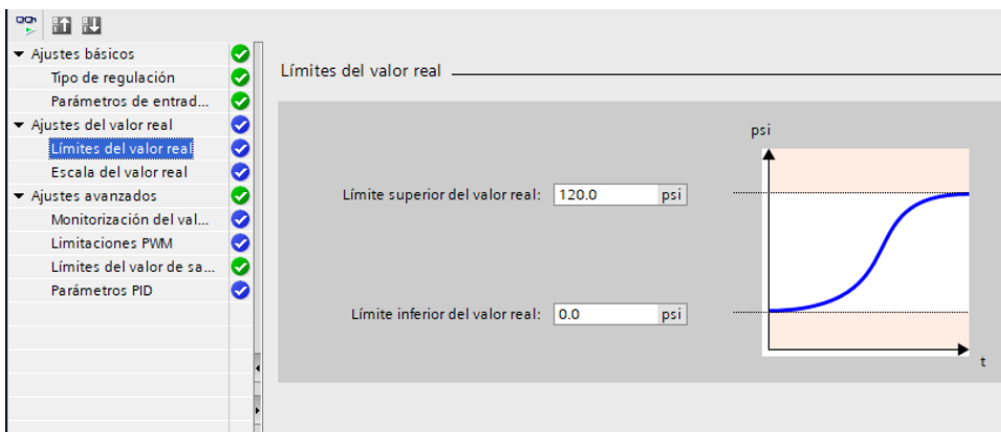


Figura 3.30: Límite de valor real

Límite de valor de salida: El rango de porcentaje de salida corresponde a la velocidad del motor, en la práctica se deben conocer los caudales de las bombas y el diámetro de las tuberías para poder definir el máximo, pero siempre es bueno comenzar con un valor máximo que no sea muy alto, para evitar la saturación o el sobre impulso en el control, En la figura 3.31 se muestra la configuración del Limite de valor de salida.

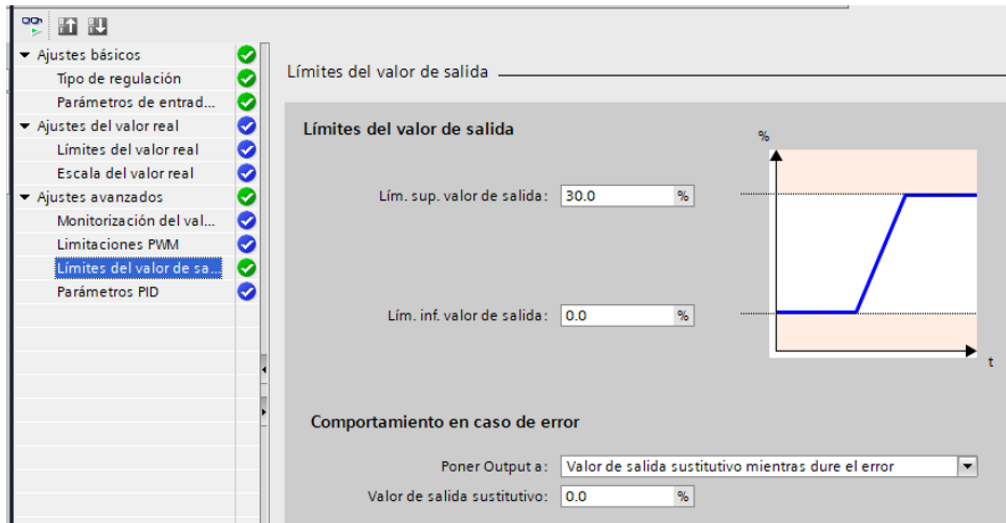


Figura 3.31: Límite de valor de salida.

Sintonización del PID: Se requiere sintonizar los parámetros del controlador PID para garantizar un rendimiento óptimo. Esto implica ajustar los valores de proporción, integral y derivativa para que el controlador responda de manera efectiva a las variaciones en la variable de proceso y minimice el error. La sintonización es un proceso iterativo que implica ajustar estos parámetros y observar cómo afectan el comportamiento del sistema. Cuando la respuesta es lenta se aumenta el valor proporcional, pero si hay sobre impulso se disminuye. Luego se ajusta el valor integral y el derivativo para reducir las oscilaciones sobre y debajo del valor de consigna. En la práctica esta forma de ajuste manual da mejores resultados que las optimizaciones del PID que tienen los PLCs Siemens como se muestra en la figura 3.32.

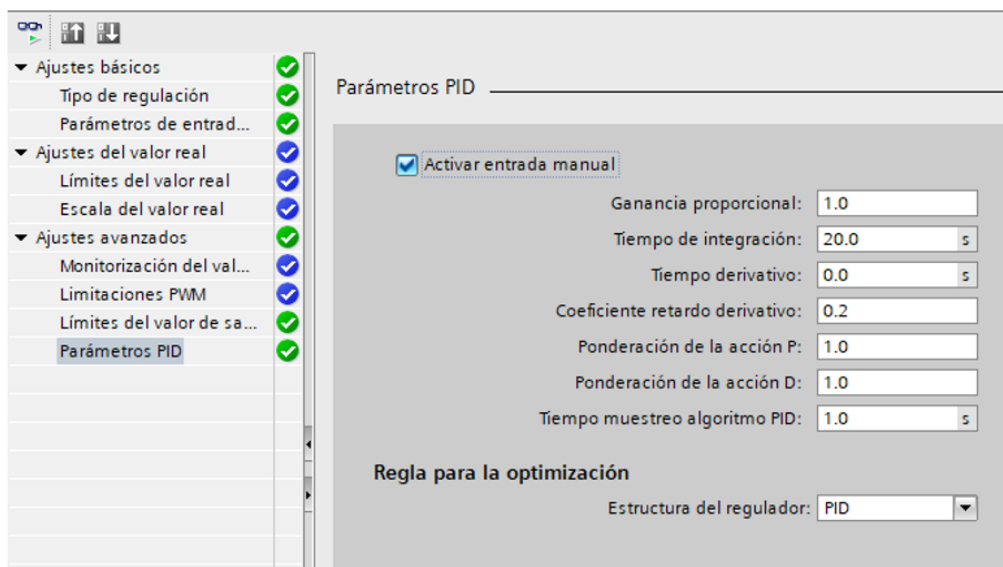


Figura 3.32: Parámetros PID con entrada manual.

Este tipo de configuraciones se realiza en los demás dispositivos autómatas

programables.

La activación de marcas de ciclo en un Controlador Lógico Programable máster, utilizando un byte específico, es una técnica común en la programación de sistemas de automatización industrial. Estas marcas de ciclo se utilizan para sincronizar y coordinar diversas operaciones dentro del sistema.

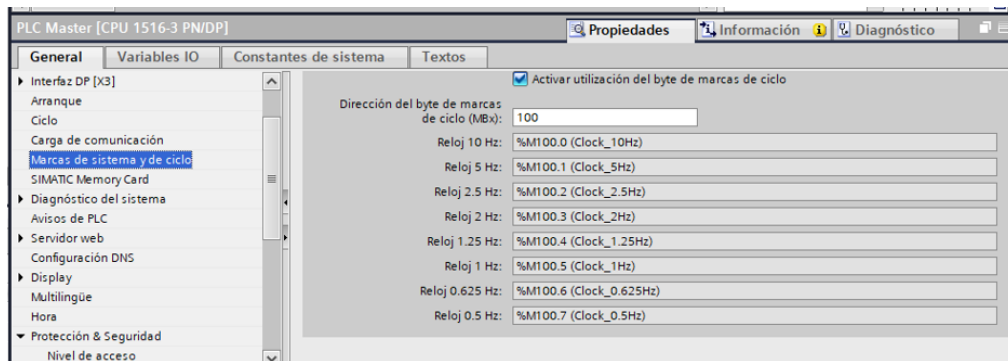


Figura 3.33: Marcas de ciclo PLC Máster.

La distribución de la comunicación en un sistema con varios autómatas programables es una parte crítica de la programación y el control. Cuando se manejan múltiples dispositivos esclavos desde un PLC máster, la coordinación eficiente de la comunicación es esencial para evitar conflictos y retrasos. La estrategia que utiliza un contador incrementado con una marca de ciclo y una frecuencia de 10 Hz, es la técnica efectiva para lograrlo.

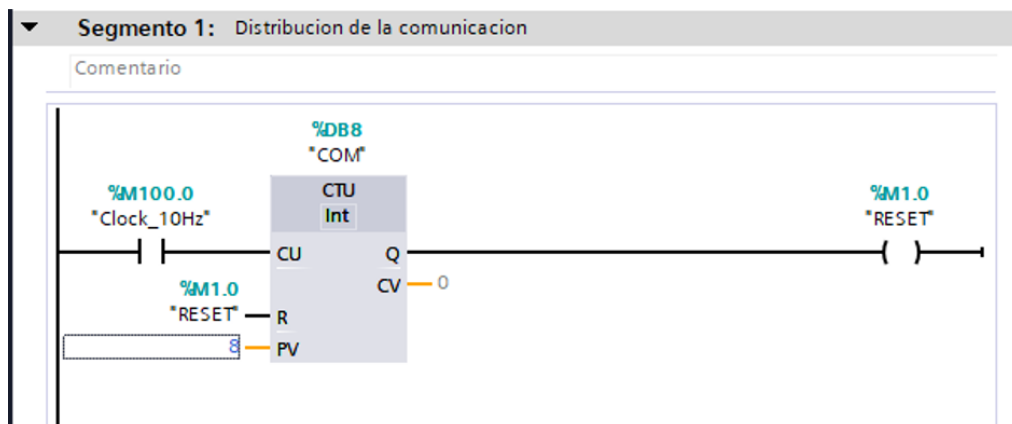


Figura 3.34: Contador para distribución de la comunicación

La lectura de CPUs remotas es esencial para obtener información y datos desde dispositivos ubicados en diferentes partes del proceso. Existen varias formas de lograrlo, y en este caso, se optó por la utilización de la instrucción GET debido a sus ventajas específicas.

La instrucción GET es una herramienta para leer datos desde CPUs remotas. Esta instrucción permite la lectura de hasta 4 datos por ejecución, lo que simplifica la programación y mejora la eficiencia de la comunicación. La instrucción GET facilita la

recepción de datos en áreas de memoria locales, lo que hace que los datos sean fácilmente accesibles para el PLC que realiza la lectura.

La generación de un requerimiento (REQ) para la lectura de datos se realiza a través de un contador. Este enfoque es destacado a una marca de ciclo debido a que evita colisiones y errores en la comunicación. Para llevar a cabo la lectura de datos desde CPUs remotas, es esencial identificar de manera precisa cada CPU remota, tal como se muestra en las figuras 3.35, 3.36 y 3.37.

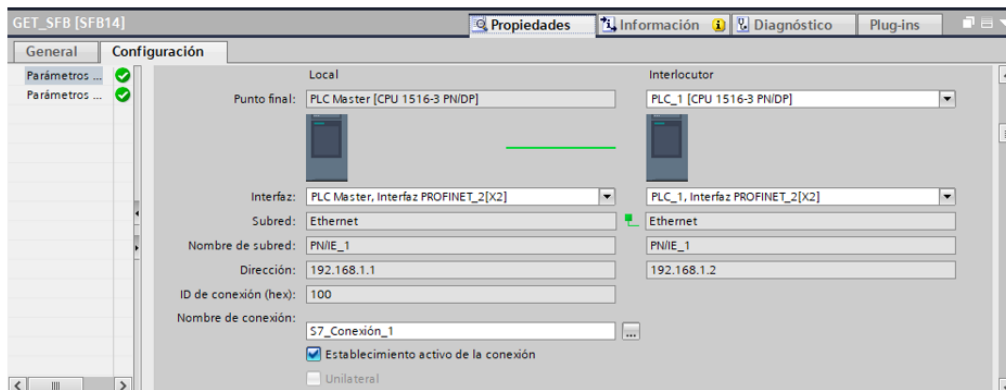


Figura 3.35: Propiedades GET PLC 1

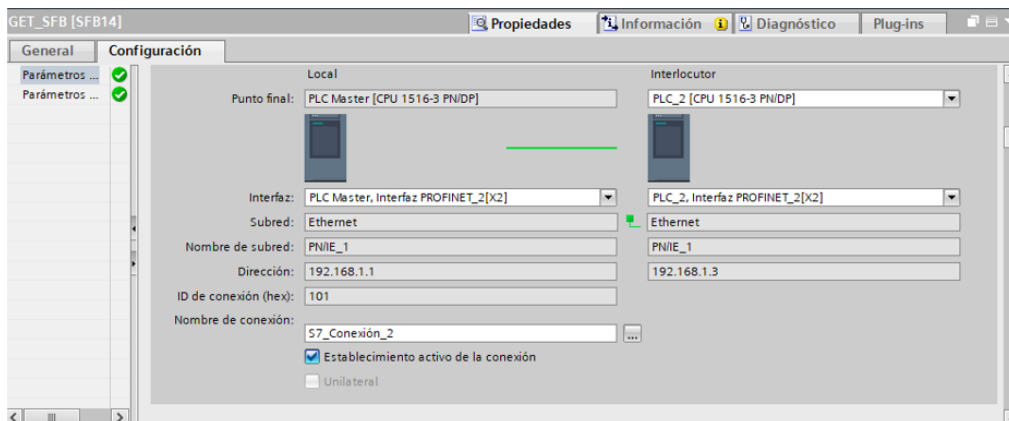


Figura 3.36: Propiedades GET PLC 2

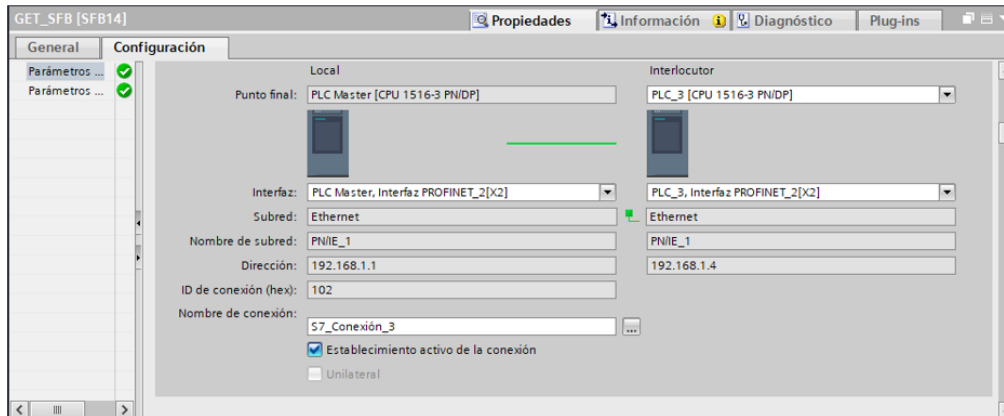


Figura 3.37: Propiedades GET PLC 3

Las figuras 3.38, 3.39 y 3.40 muestra la configuración detallada de las instrucciones GET para leer datos de CPUs remotas es esencial para garantizar una comunicación eficiente y precisa. Cada instrucción GET debe estar configurada de manera que coincida con la estructura de los datos que se leen y cómo se almacenan en las áreas de memoria locales.

Formato de escritura de variables remotas: es importante que las instrucciones GET estén configuradas para escribir las variables remotas en un formato específico. Este formato debe incluir la dirección, el tipo de dato y la longitud de la variable remota.

Variables leídas: Las instrucciones GET se utilizan para leer cuatro tipos de datos desde cada controlador remoto:

- Presión del sistema (REAL)
- Porcentaje de velocidad de la bomba (REAL)
- Caudal (REAL)
- Estado de la bomba (BOOL)

Configuración de instrucciones GET: Cada instrucción GET es configurado para leer uno de estos tipos de datos desde un controlador remoto específico y almacenarlos en áreas de memoria locales.

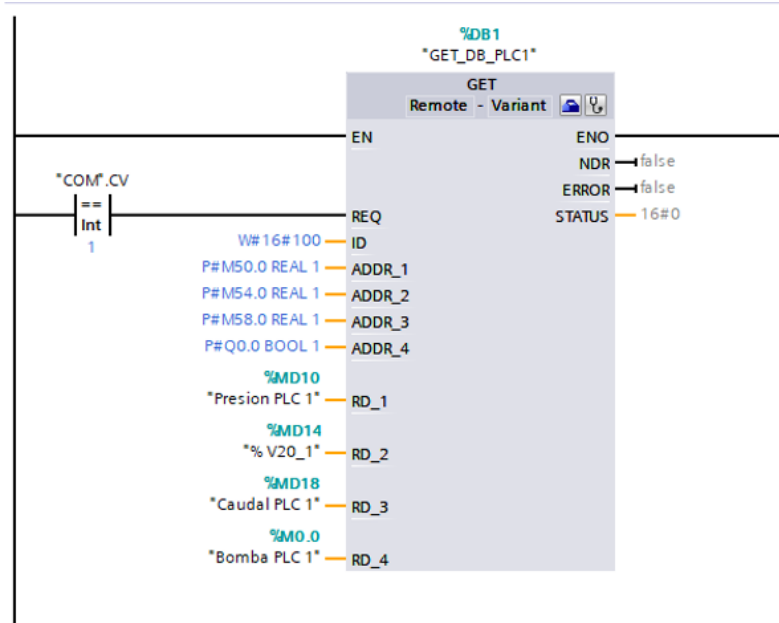


Figura 3.38: GET PLC 1

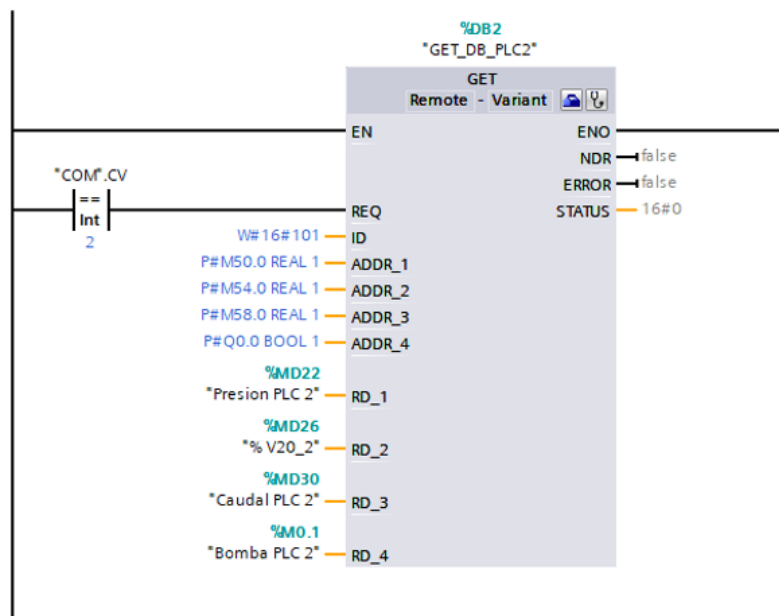


Figura 3.39: GET PLC 2

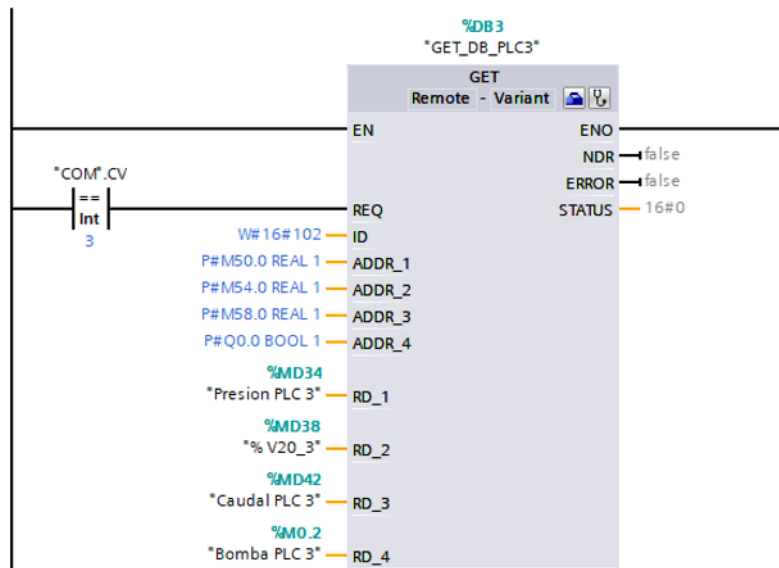


Figura 3.40: GET PLC 3

Los variadores SINAMICS V20 se configuraron utilizando la puesta en marcha rápida, lo que agiliza el proceso de configuración, se utilizan para controlar la velocidad de motores eléctricos.

Estructura del menú de configuración

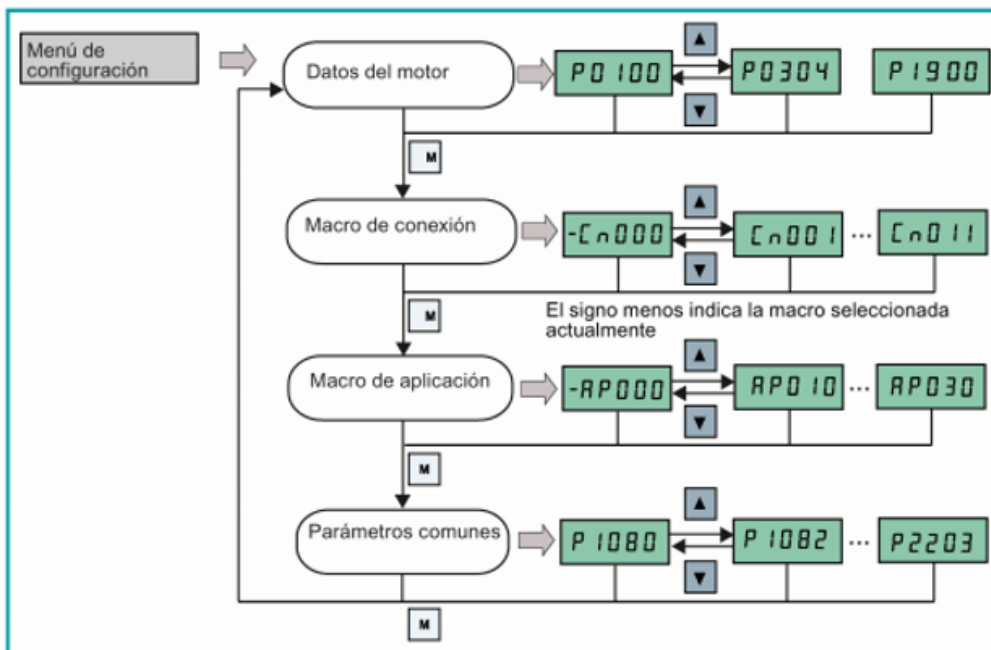


Figura 3.41: Estructura de menú de configuración Sinamics V20

Los parámetros del primer menú que se muestra en la figura 3.41 corresponden a los datos de placa del motor, importante activar el parámetro P1900 al final para identificación de datos durante el primer arranque del motor, en la figura 3.42 se muestra la placa de un



Figura 3.42: Placa de motor ABB del Cuarto de Bombas de la Terminal de Productos Limpios de Cuenca

motor ABB del cuarto de Bombas de la Terminal de productos limpios.

Tabla 3.1: Tabla de datos de ajuste del motor

Ajuste de datos del motor			
Parámetro	Descripción	Parámetro	Descripción
p0100	Selección de 50/60 Hz =0: Europa [kW], 50 Hz (valor predefinido de fábrica) =1: Norteamérica [hp], 60 Hz =2: Norteamérica [kW], 60 Hz	p0309[0]	• Eficiencia nominal del motor [%]
p0304[0]	• Tensión nominal del motor [V]	p0310[0]	• Frecuencia nominal del motor [Hz]
p0305[0]	• Corriente nominal del motor [A]	p0311[0]	• Velocidad nominal del motor [RPM]
p0307[0]	• Potencia nominal del motor [kW/hp]	p1900	Selección de la identificación de datos del motor = 0: Desactivada = 2: Identificación de todos los parámetros en parada
p0308[0]	• Factor de potencia del motor (cosφ)		

Los datos de placa de los motores que se encuentran en el laboratorio de Automatización 2 son:

- Voltaje: 230 V
- Corriente: 1.89 A
- Potencia: 0.5 HP
- Frecuencia: 60 Hz
- Velocidad: 1615 RPM

Una vez configurados los datos de motor, se procede a seleccionar el macro de conexión, el cual define la forma como se va a conectar el variador de frecuencia. Para el caso puntual fue el CN002 el cual habilita el eje con una entrada digital del variador de frecuencia y tiene como canal de consigna su entrada analógica de tensión.



Tabla 3.2: Tabla de datos de Conexión Sinamics V20

Macros de conexión				Macros de aplicación	
Cn000	No hay macro de conexión elegida.	Cn006	Control con pulsador externo.	AP000	Ajuste predeterminado de fábrica
Cn001	BOP como la única fuente de regulación.	Cn007	Pulsadores externos con control analógico.	AP010	Aplicaciones de bombas sencillas.
Cn002	Control desde los bornes (PNP/NPN).	Cn008	Regulación PID con referencia analógica.	AP020	Aplicaciones de ventiladores sencillas.
Cn003	Velocidades fijas.	Cn009	Regulación PID con referencia de valor fija.	AP021	Aplicaciones de compresores.
Cn004	Velocidades fijas en modo binario.	Cn010	Regulación USS.	AP030	Aplicaciones de cintas transportadoras
Cn005	Entrada analógica y frecuencia fija	Cn011	Regulación MODBUS RTU		

En la figura 3.43 se muestra el cableado de los bornes con el macro de conexión CN002 se realizó como se indica en el siguiente esquema.

Macro de conexión Cn002: Control desde los bornes (PNP/NPN)

Control externo: Potenciómetro con consigna

- Conmutador Hand/Auto entre el BOP y los bornes pulsando  + .
- Tanto NPN como PNP se pueden realizar con los mismos parámetros. Puede cambiar la conexión del borne común de entrada digital a 24 V o 0 V para decidir el modo.

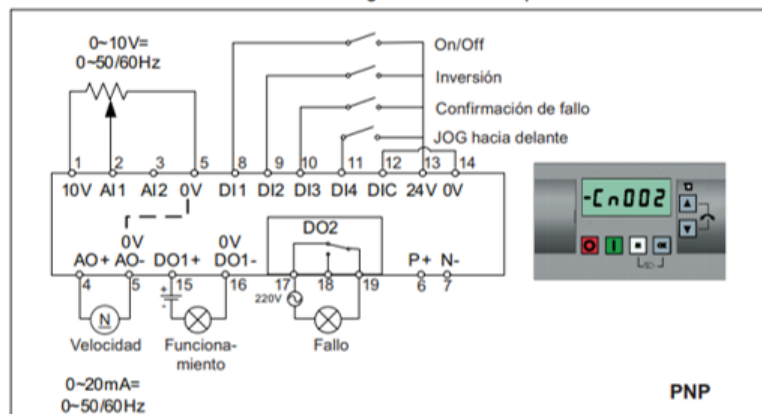


Figura 3.43: Cableado de macro de conexión CN002

Ajuste de parámetros comunes del variador de frecuencia.

- Frecuencia mínima: 0 Hz
- Frecuencia máxima: 60 Hz
- Aceleración: 5 segundos
- Desaceleración: 5 segundos

Tabla 3.3: Tabla de parámetros comunes Sinamics V20

Ajuste de parámetros comunes			
Parámetro	Descripción	Parámetro	Descripción
P1080[0]	Frecuencia mínima del motor	P1001[0]	Consigna para la frecuencia fija 1
p1082[0]	Frecuencia máxima del motor	P1002[0]	Consigna para la frecuencia fija 2
P1120[0]	Tiempo de aceleración	p1003[0]	Consigna para la frecuencia fija 3
P1121[0]	Tiempo de deceleración	p2201[0]	Consigna para la frecuencia PID fija 1
p1058[0]	Frecuencia JOG	p2202[0]	Consigna para la frecuencia PID fija 2
p1060[0]	Tiempo de aceleración JOG	p2203[0]	Consigna para la frecuencia PID fija 3
P1061[0]	Tiempo deceleración JOG		

Para la visualización y operación se incorpora un dispositivo HMI (Interfaz Hombre-Máquina) KTP 700 Basic Panel en cada controlador como se muestra en la figura 3.44, que permite habilitar la visualización y operación del despacho de combustible.

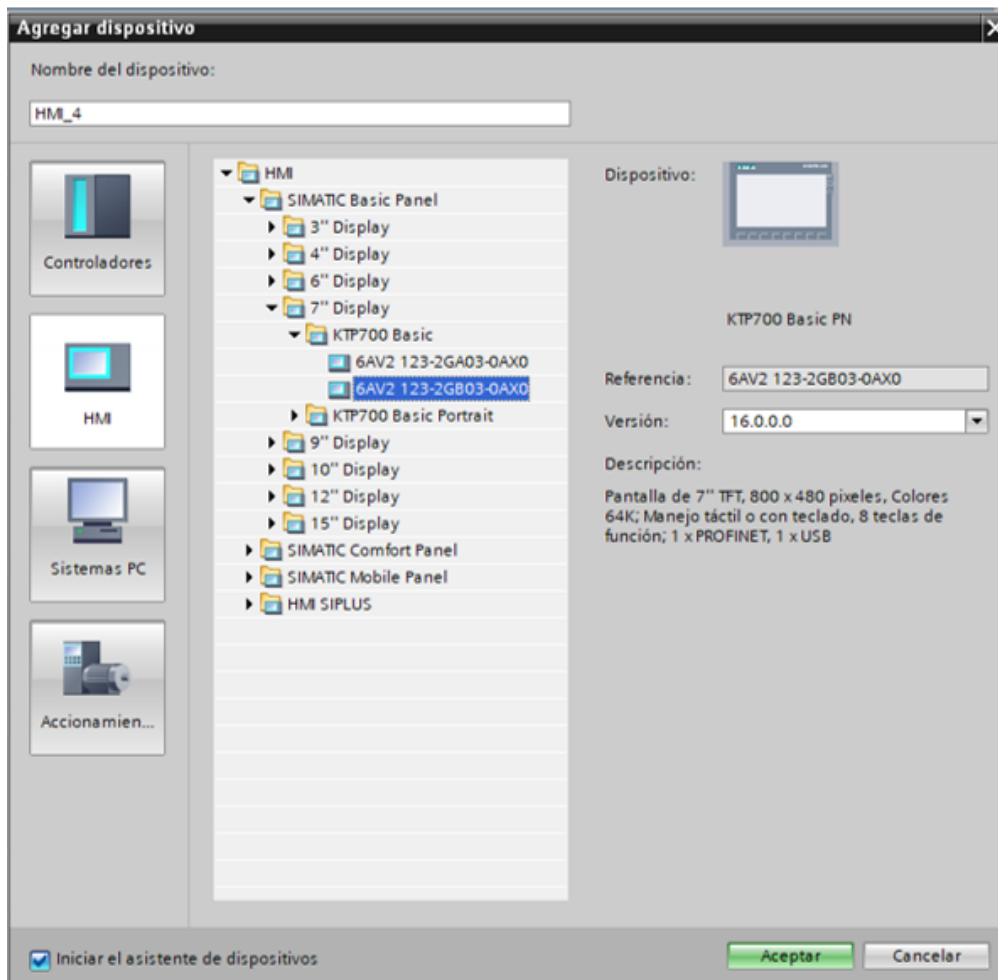


Figura 3.44: Agregar dispositivo HMI

El **Circuito de diésel** que involucra tres brazos y sus respectivos indicadores de presión de combustible, volumen despachado y velocidad de la bomba es una parte crítica de un sistema de control de despacho de combustible, los mismos que se muestran en las figuras 3.45, 3.46 y 3.47.

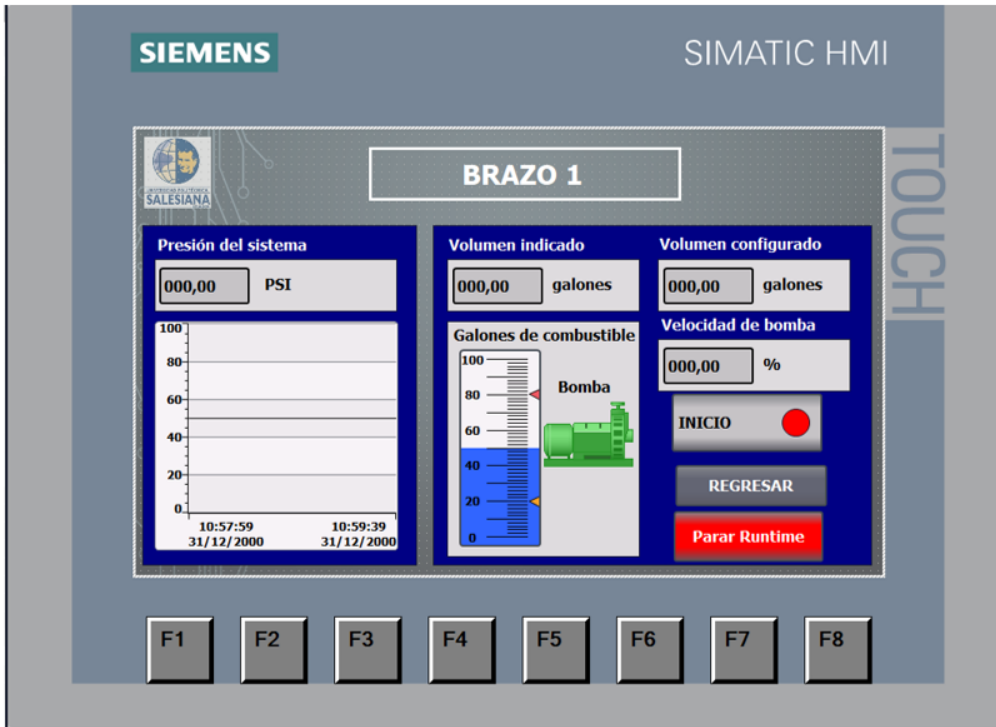


Figura 3.45: Brazo 1

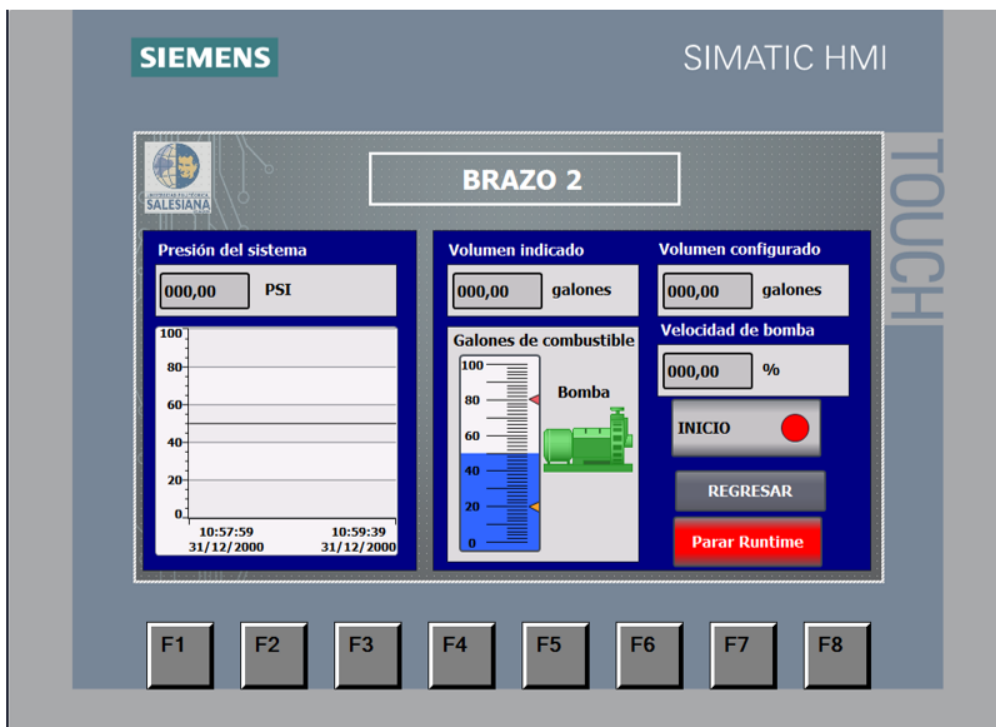


Figura 3.46: Brazo 2

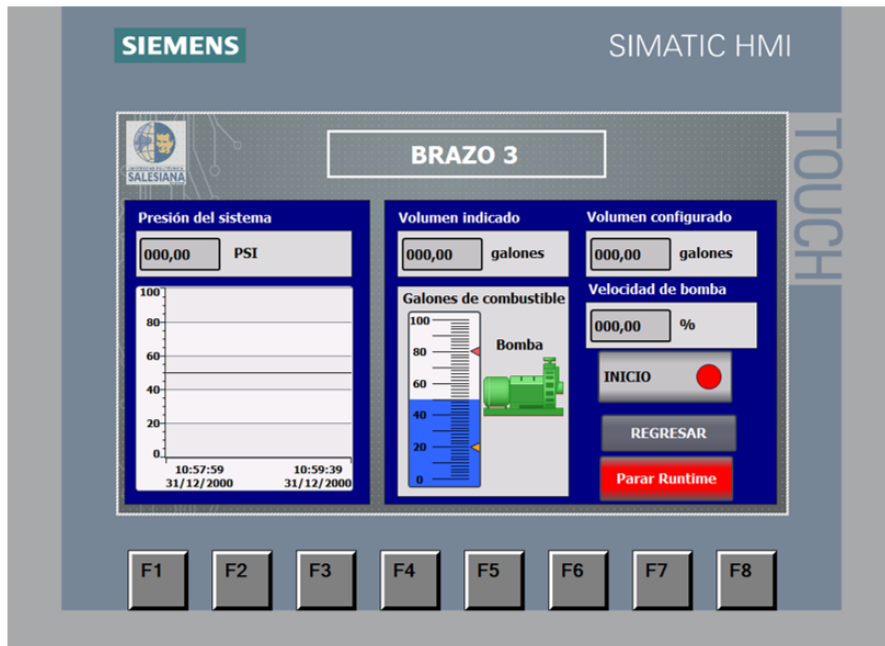


Figura 3.47: Brazo 3

Una vez creada las imágenes correspondientes a cada brazo, se procede a desarrollar la imagen de proceso que permite visualizar los 3 brazos al mismo tiempo como se muestra en la figura 3.48.

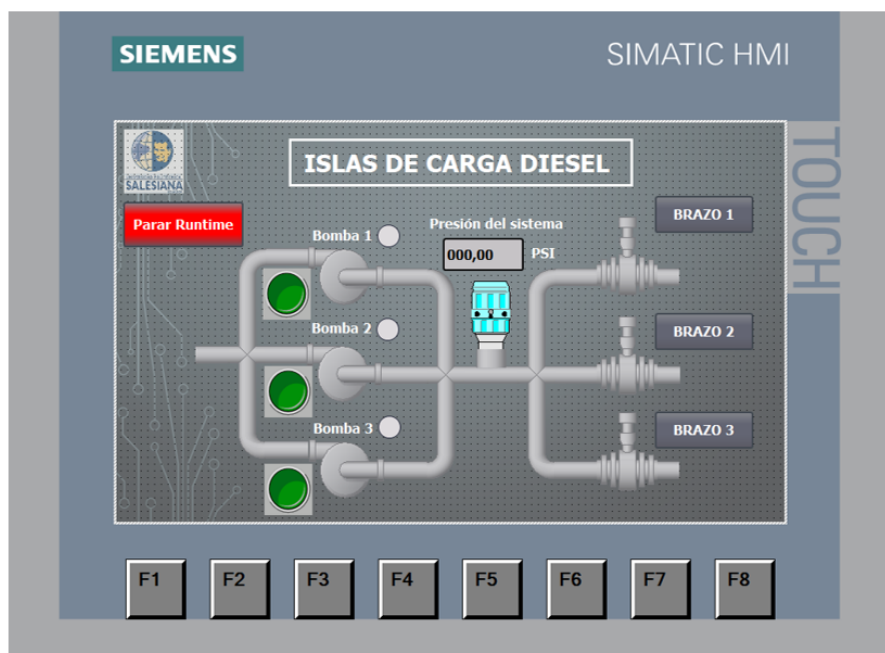


Figura 3.48: Circuito diesel

El **Circuito de Gasolina Super** cuenta con una única bomba y al igual que el circuito de diesel se requiere el poder ajustar la consigna de combustible, como se observa en la figura 3.49.

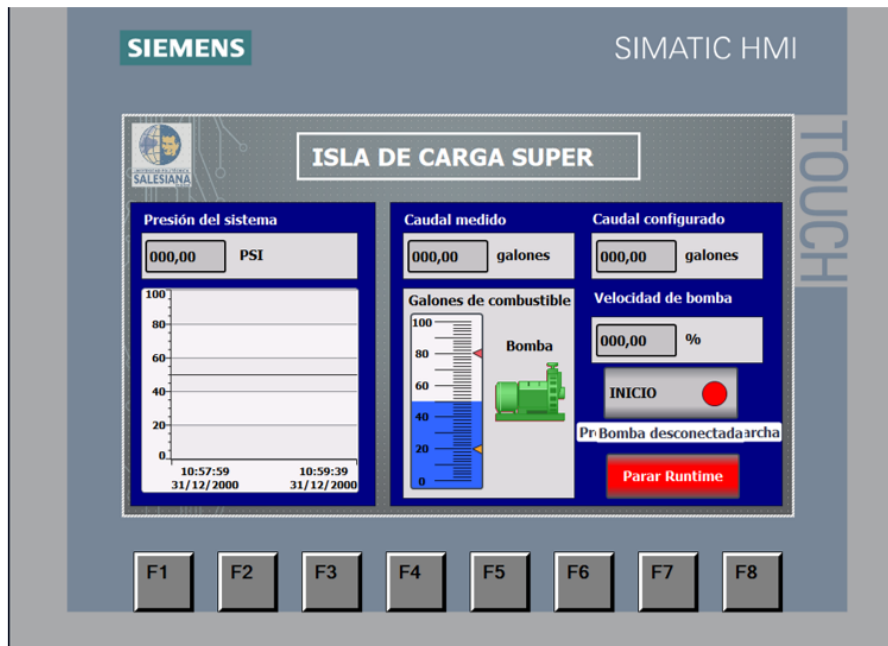


Figura 3.49: Brazo 4



Figura 3.50: Circuito de Gasolina Super

Posteriormente se observa el desarrollo de la imagen principal de la isla de carga de gasolina super en la figura 3.50, donde se representa el circuito de combustible, el estado de la bomba, la presión del sistema y adicionalmente un botón de accionamiento manual.

El **Circuito de Gasolina Ecopais** cuenta con 2 brazos para el despacho de combustible como se muestra en las figuras 3.51 y 3.52, pero adicionalmente una bomba para la mezcla con Etanol. Es decir, de que las bombas de combustible trabajan

paralelamente a la bomba de Etanol. Así como en las anteriores operaciones se debe de poder configurar el flujo a despachar y visualizar las siguientes variable , presión de combustible, volumen despachado, velocidad de la bomba.

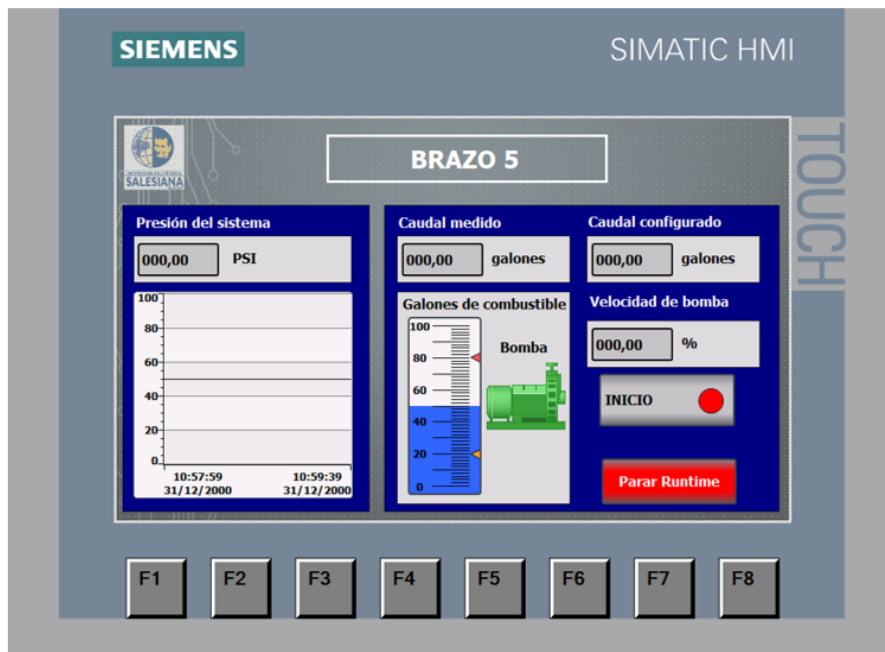


Figura 3.51: Brazo 5

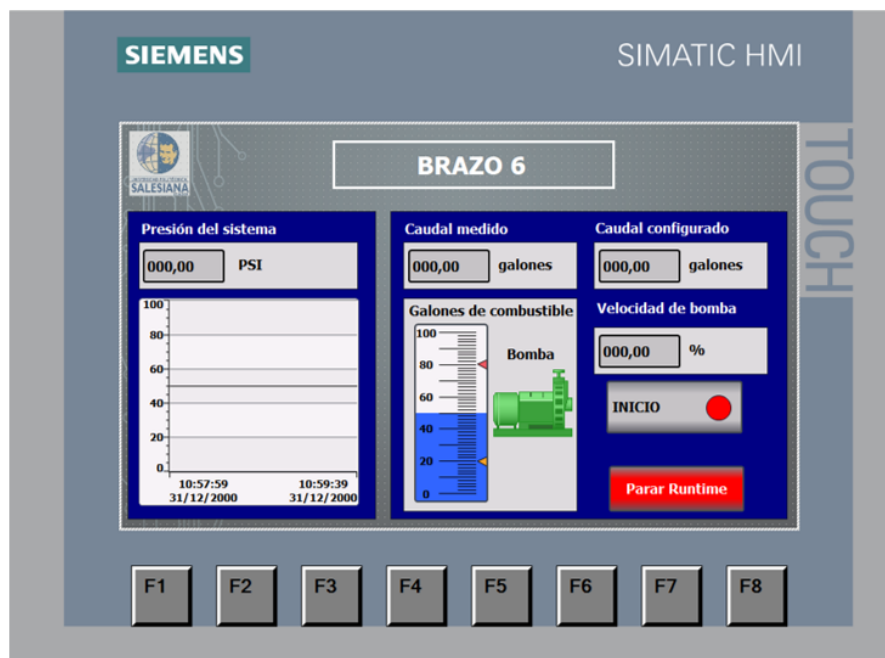


Figura 3.52: Brazo 6

La imagen principal, en la figura 3.53, representa el Circuito de Gasolina Ecopaís, permitiendo visualizar el estado funcional del mismo, la presión del sistema y también los

accionamientos manuales para cada una de las bombas.

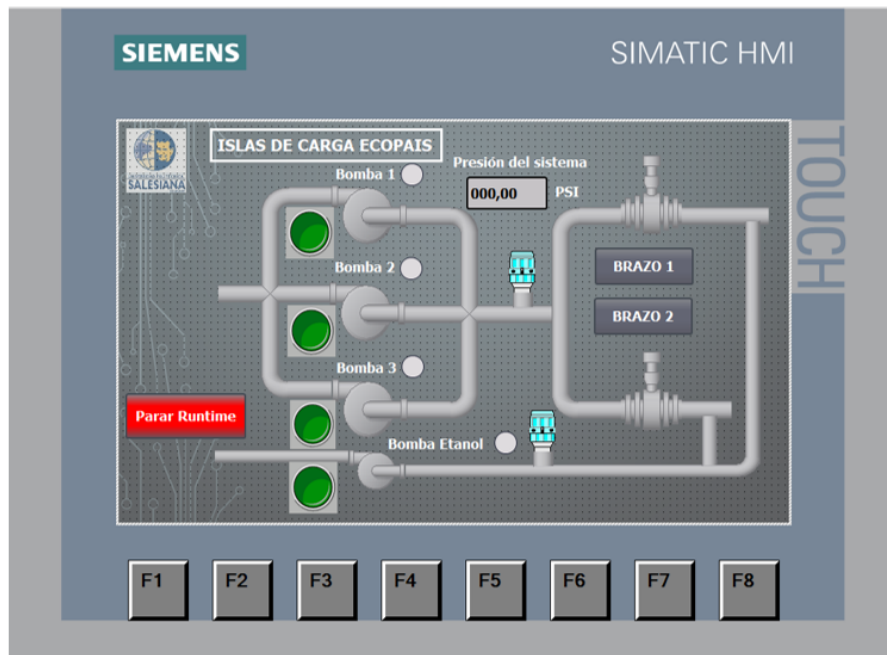


Figura 3.53: Circuito de gasolina Ecopaís

Sistema SCADA

En este sistema, se ha implementado una estructura de comunicación eficiente donde todos los controladores locales transfieren sus datos al controlador principal mediante instrucciones GET. El controlador principal desempeña un papel crucial al actuar como un punto de enlace con el sistema SCADA. Esto posibilita la supervisión y el control en tiempo real del proceso en su totalidad.

La interfaz gráfica proporcionada a través del SCADA tal como se muestra en la figura 3.54, ofrece una representación visual completa del sistema, lo que facilita la supervisión global. Se han incorporado imágenes emergentes que permiten realizar ajustes de consigna para cada brazo. Esto es de gran utilidad, ya que brinda a los operadores la capacidad de realizar cambios en las condiciones de funcionamiento sin necesidad de acceder físicamente a cada controlador o panel HMI local. Esta integración de datos y funcionalidades agiliza la operación y garantiza un control preciso en todo momento.

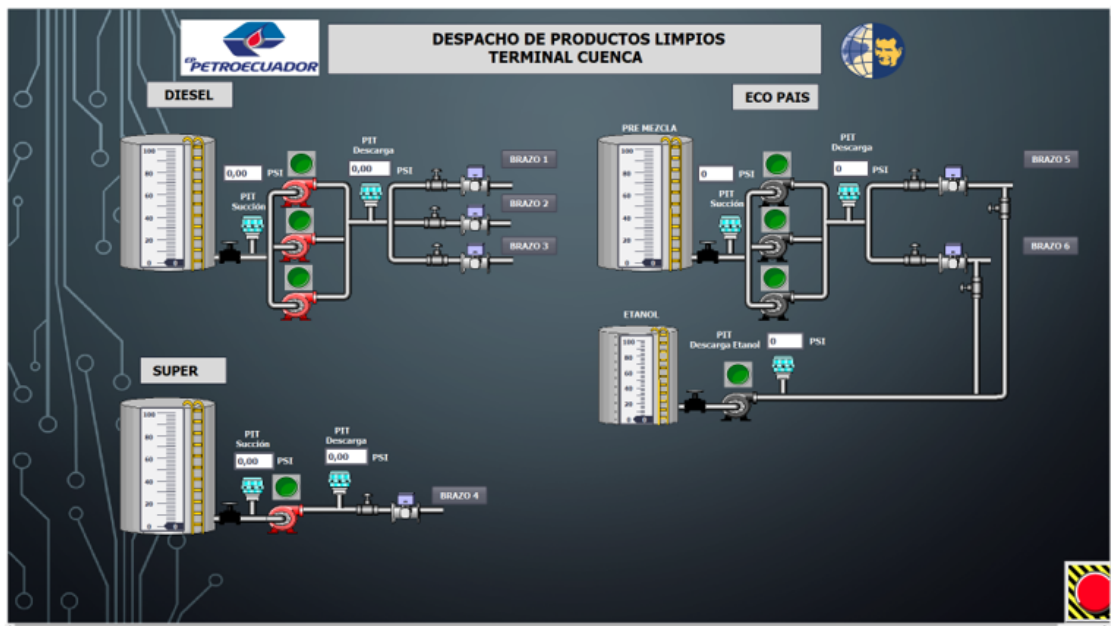


Figura 3.54: Imagen principal SCADA

Los botones correspondientes a cada brazo activan las imágenes emergentes que tienen el siguiente formato:

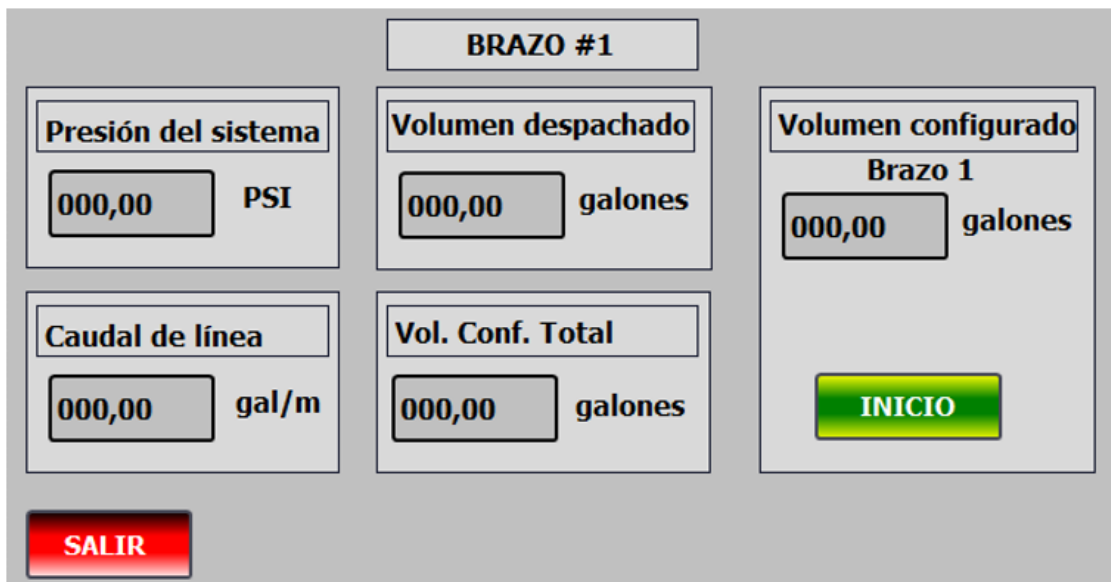


Figura 3.55: Formato de imagen emergente

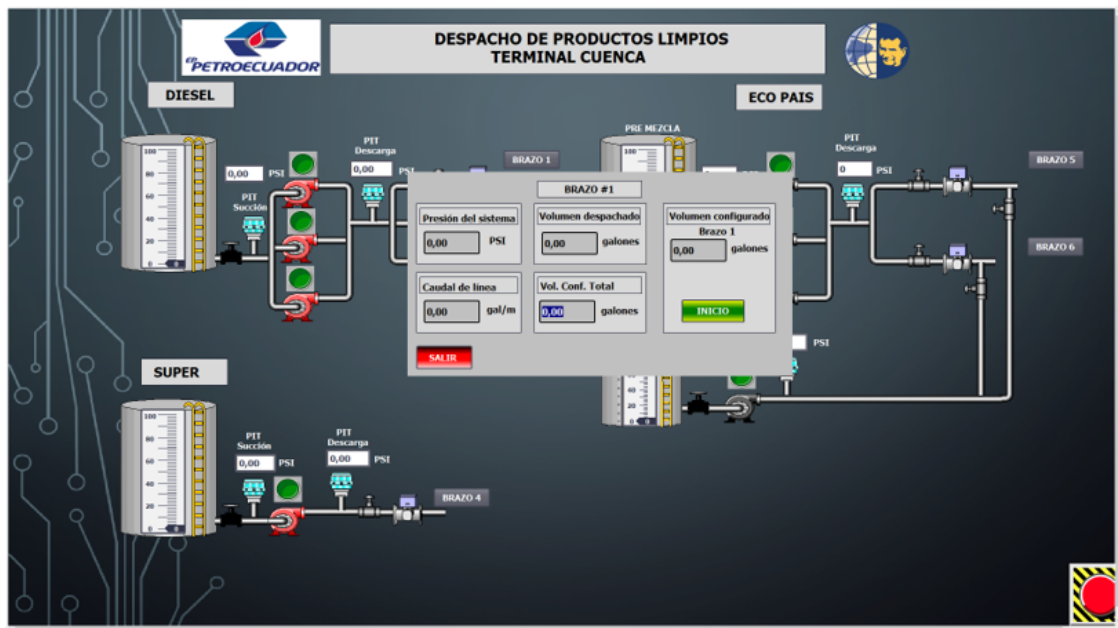


Figura 3.56: Imagen emergente mostrada durante la ejecución del SCADA.

Interfaz IOT

La elección de Node-RED como la herramienta de desarrollo para la interfaz IOT se basó en su versatilidad y su capacidad para funcionar de manera confiable en un entorno de automatización.

El proceso siguiente implica la instalación individual de cada nodo o herramienta que añade funcionalidades a la interfaz de programación basada en flujo. Esto se realiza accediendo al administrador de paletas y buscando e instalando uno a uno los nodos mencionados a continuación:

- node-red-contrib-calc
- node-red-contrib-remote
- node-red-contrib-s7
- node-red-contrib-ui-led
- node-red-contrib-ui-media
- node-red-contrib-whatsapp-cmb
- node-red-dashboard

Para instalar cada uno de los nodos, dirigirse a la esquina superior derecha como se muestra en la figura 3.57 y 3.58, seleccionar el administrador de paletas (Manage Palette), escribir el nombre del nodo e instalar.

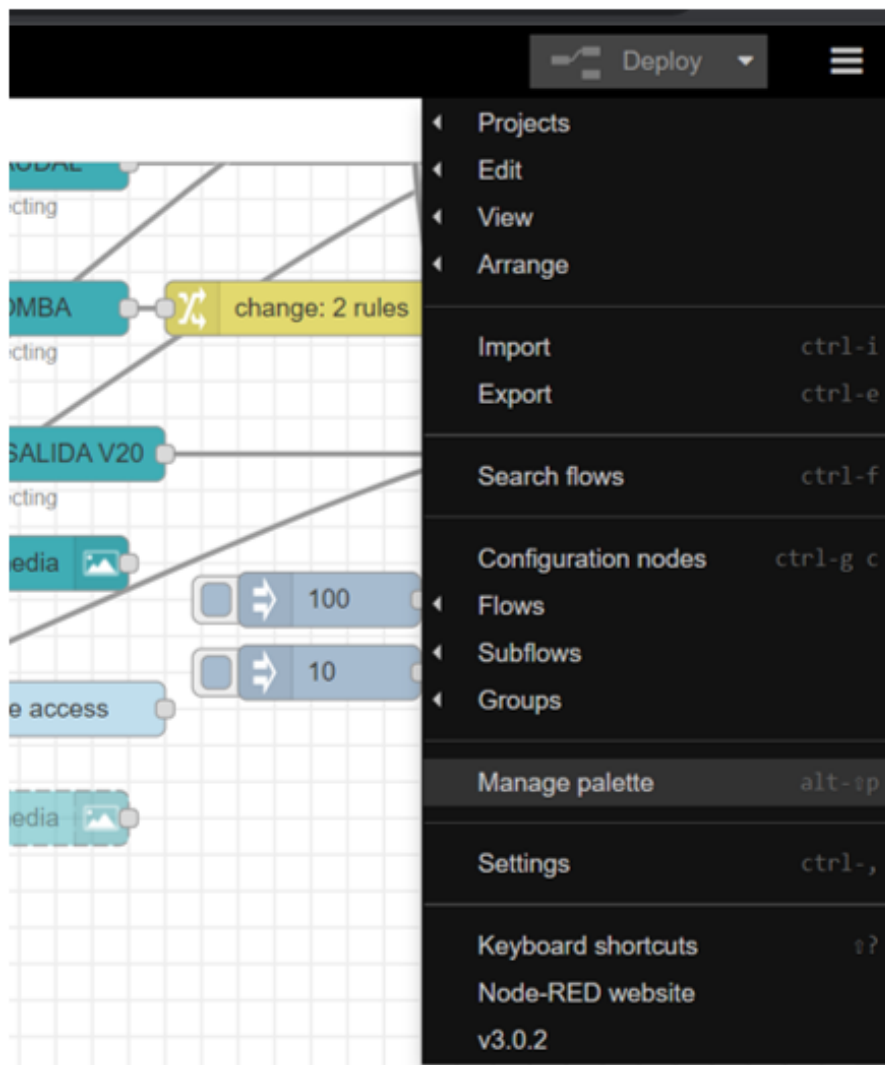


Figura 3.57: Barra de menú Node-RED.

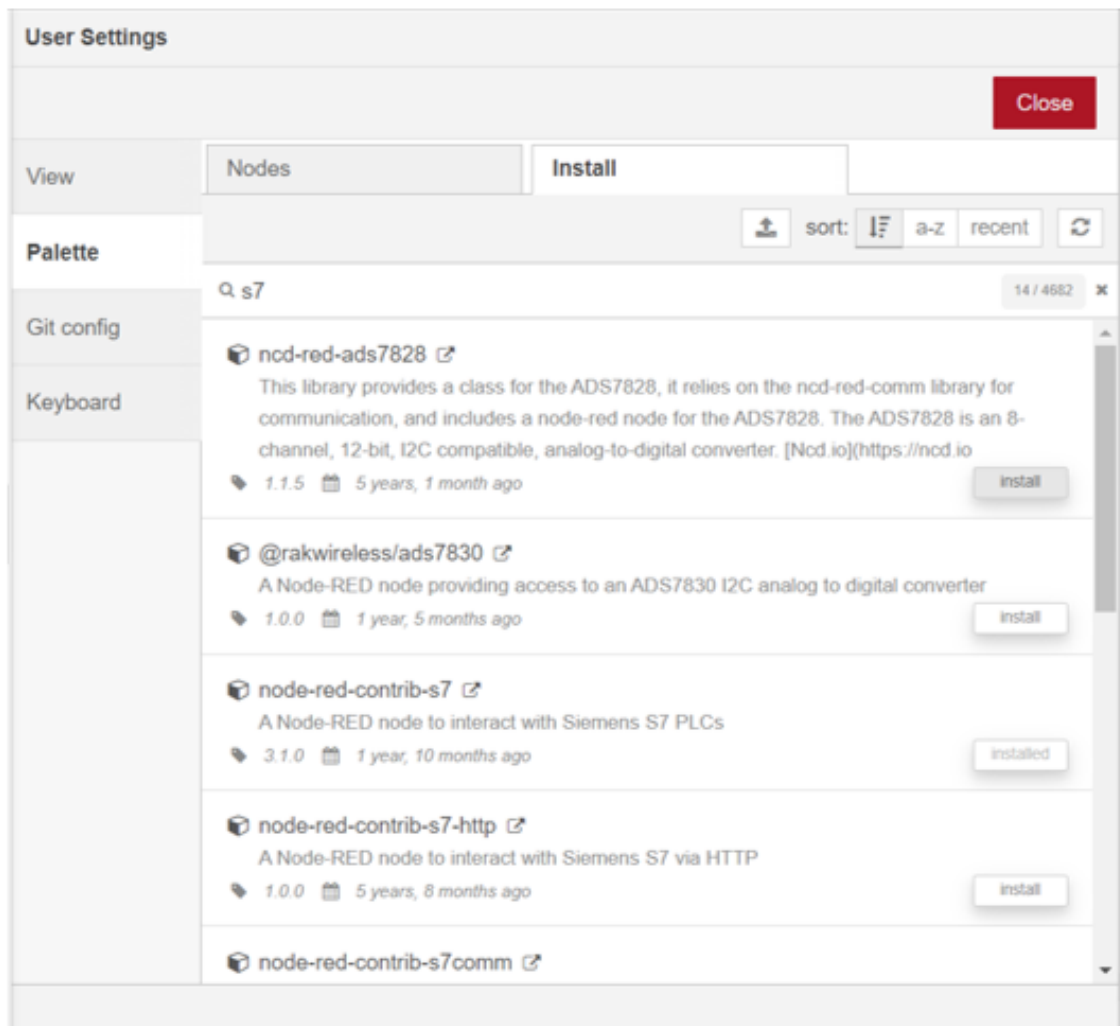


Figura 3.58: Administrador de paletas.

Después de la instalación de los nodos, se inicia la programación configurando la conexión S7 y añadiendo las variables de cada controlador. Esto se logra mediante la inclusión de nodos S7 IN en el flujo de trabajo, lo que permite acceder a la configuración y definir la dirección IP y las variables asociadas al controlador, tal como muestra la figura 3.59

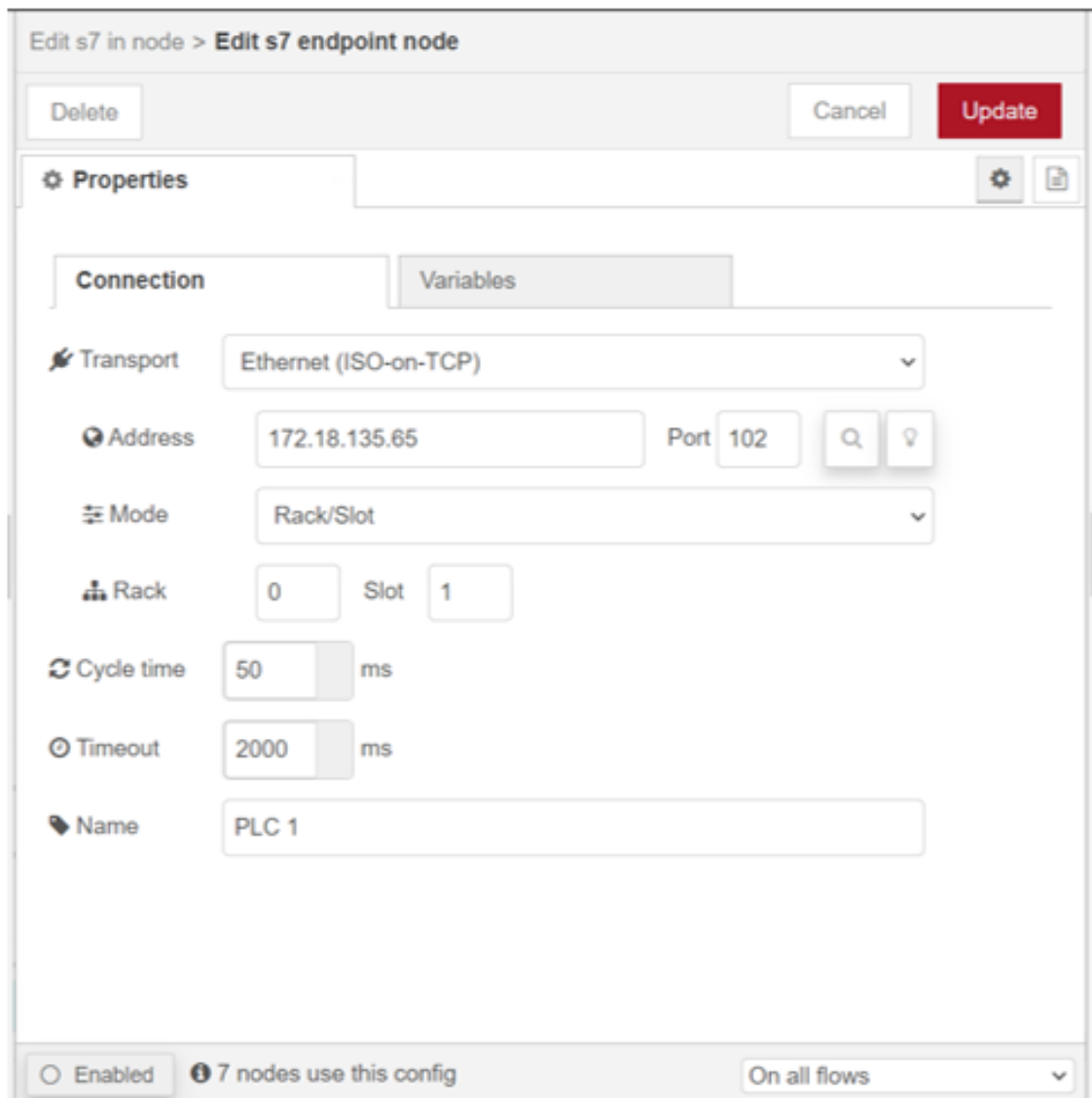


Figura 3.59: Conexión S7 Node-RED.

Una vez creada la conexión S7 entre el interlocutor PLC y Node-RED, en la figura 3.60 de muestra como se deben de agregar las diferentes variables que se quieren monitorear, en este caso son:

- Presión (Real)
- Caudal (Real)
- Bomba (Bool)
- Velocidad de bomba (Real)

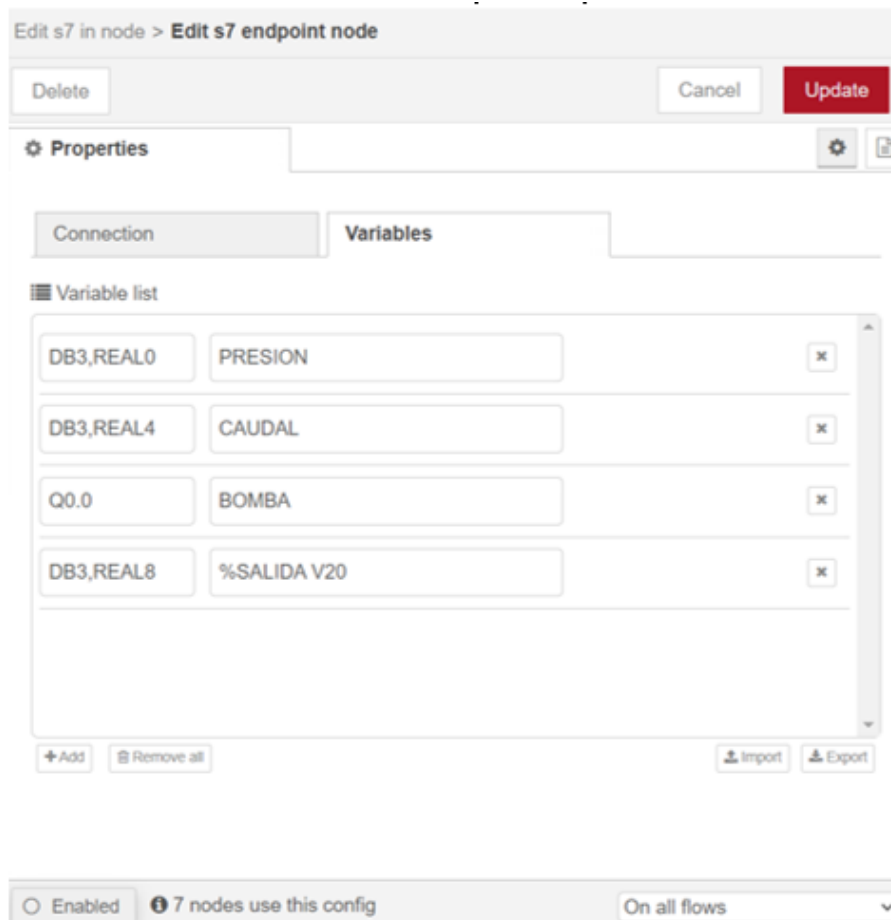


Figura 3.60: Variables de PLC1 en Node-RED.

La figura 3.61 y 3.62 se muestra como luego se interconecta el nodo S7 IN con un elemento gráfico que se representará en el dashboard (interfaz gráfica de visualización). En este caso para la presión un indicador de tipo Gauge donde se muestran los diferentes niveles a través de colores y para los caudales indicadores de tipo Chart o visor de curvas.

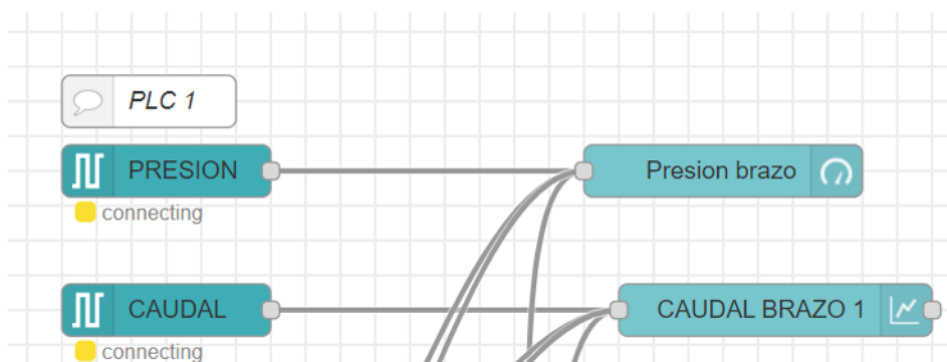


Figura 3.61: Interconexión de nodo S7 IN con gauge y chart.

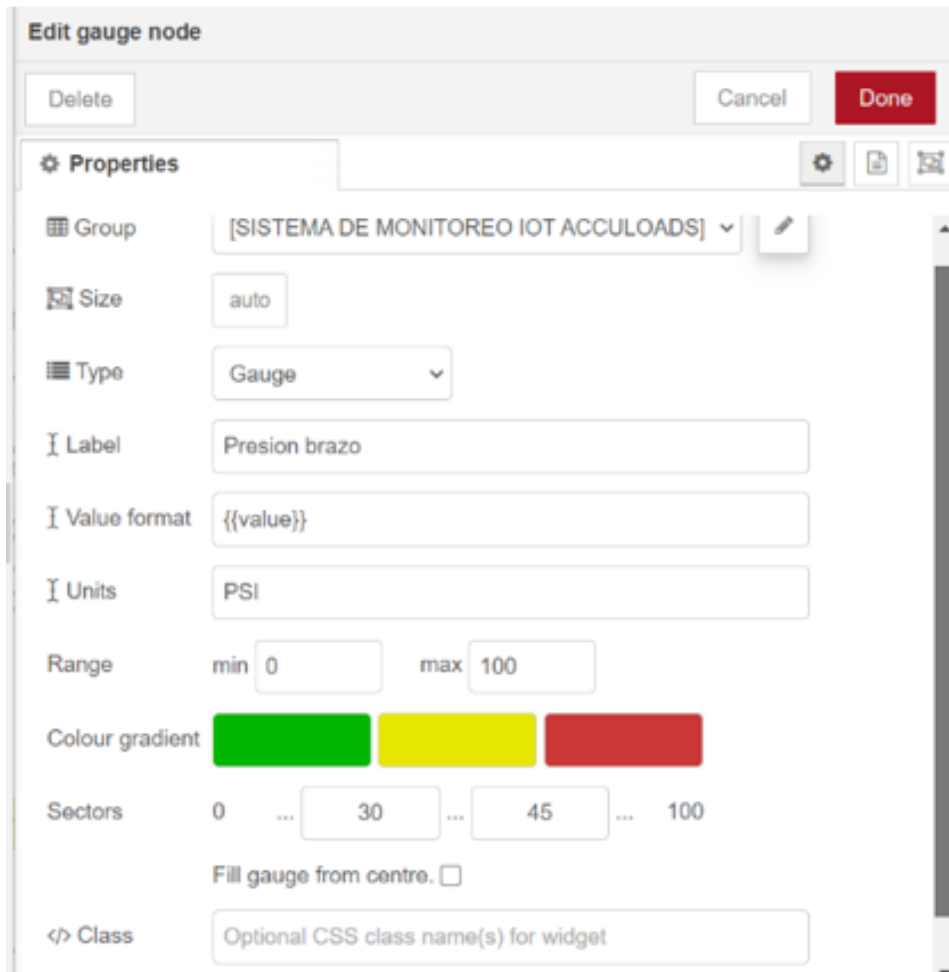


Figura 3.62: Configuración de nodo Gauge y sus límites.

Para finalizar, se realiza el mismo proceso con todas las variables de los diferentes controladores, conectándolas a su elemento gráfico correspondiente. Mostrando la siguiente apariencia, como se muestra en la figura 3.63:

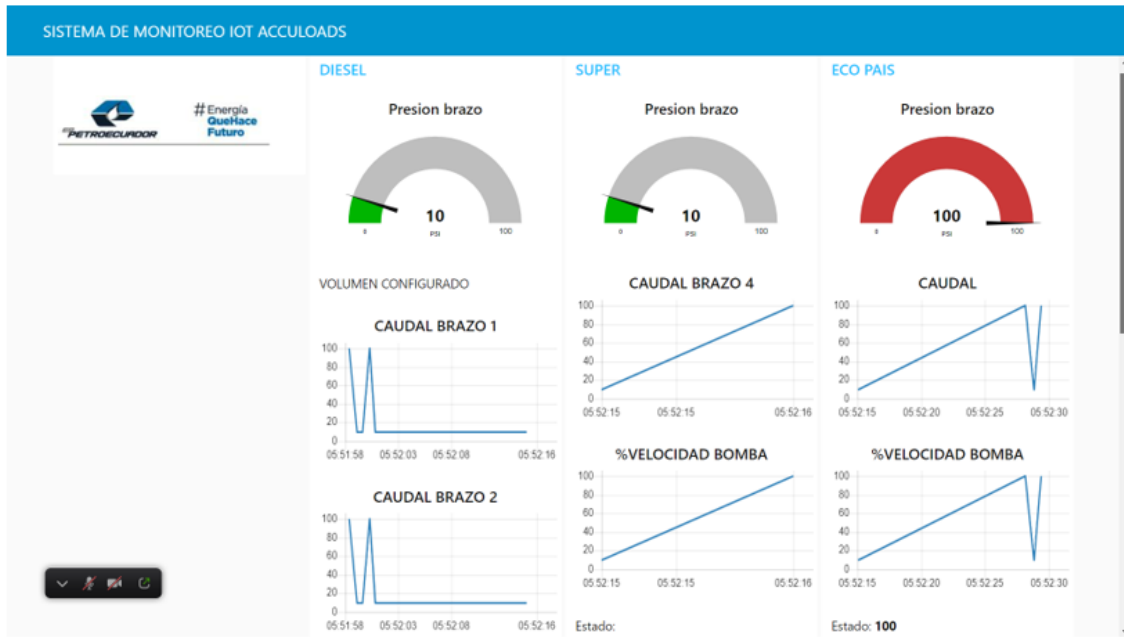


Figura 3.63: Dashboards del proyecto

Capítulo 4

Resultados y discusión

En este capítulo se explica a detalle el diseño del sistema, se analizarán en profundidad los diversos programas empleados para simular el proyecto, se explorarán las configuraciones específicas de cada uno de ellos con el propósito de llevar a cabo la supervisión de variables y, finalmente, se abordará la visualización en el panel de control de Node-Red.

4.1. Resultados

Una vez desarrollada la simulación, se puede verificar desde las pantallas del sistema SCADA todo el proceso de despacho, teniendo en cuenta que mantenemos los parámetros de operación trabajando dentro de los rangos establecidos, al mismo tiempo tenemos la opción de operar remotamente el despacho y a través de la plataforma IoT Node-Red obtener datos en tiempo real en cualquier dispositivo móvil para una mejor gestión de la información en los diferentes niveles jerárquicos.

4.2. Pantallas de sistema SCADA

En la pantalla principal del sistema SCADA se muestran las variables de todo el proceso de despacho, logrando un control centralizado del mismo mostrada en la figura 4.1. Por medio de esta pantalla se puede operar el proceso de despacho, encendiendo y apagando las bombas, adicional se puede verificar los niveles de producto existente en los tanques, logrando una integración de todos los procesos sub sistemas que influyen en el proceso de despacho.

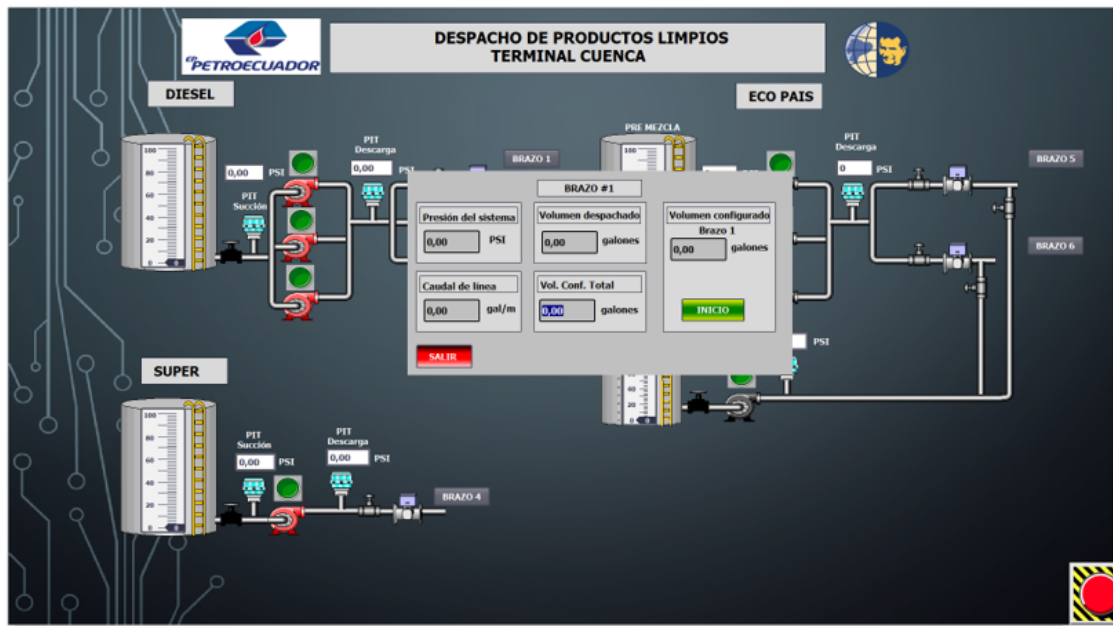


Figura 4.1: Imagen emergente mostrada durante la ejecución del SCADA.

Además, se tienen sub pantallas por cada producto, en las que podemos monitorear el estado de las bombas y la presión del sistema como se puede observar en las figuras 4.2 y 4.3, verificando que el sistema este trabajando en condiciones estables.

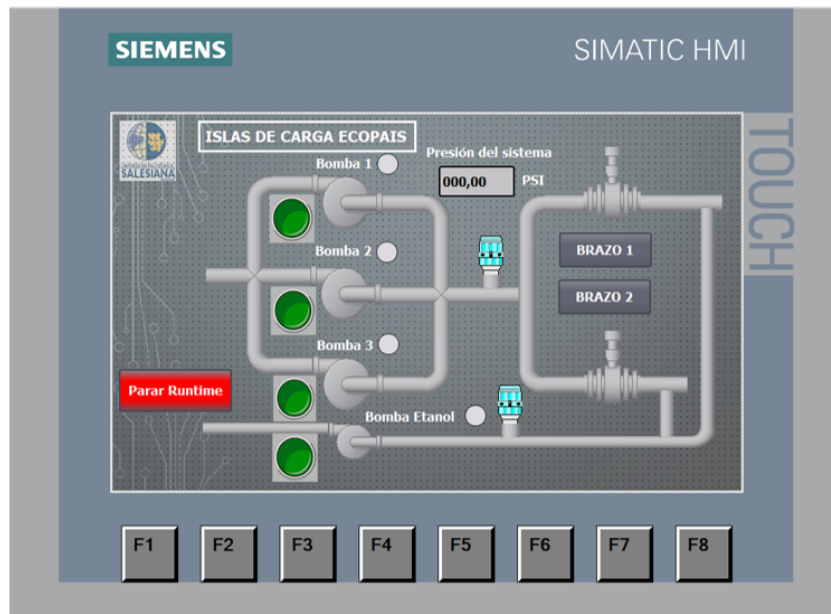


Figura 4.2: Circuito de gasolina Eco País

Dentro de esta pantalla podemos ingresar a cada brazo para verificar volumen de despacho configurado y remanente, flujo, presión de operación en línea, y velocidad de bomba expresada en porcentaje.

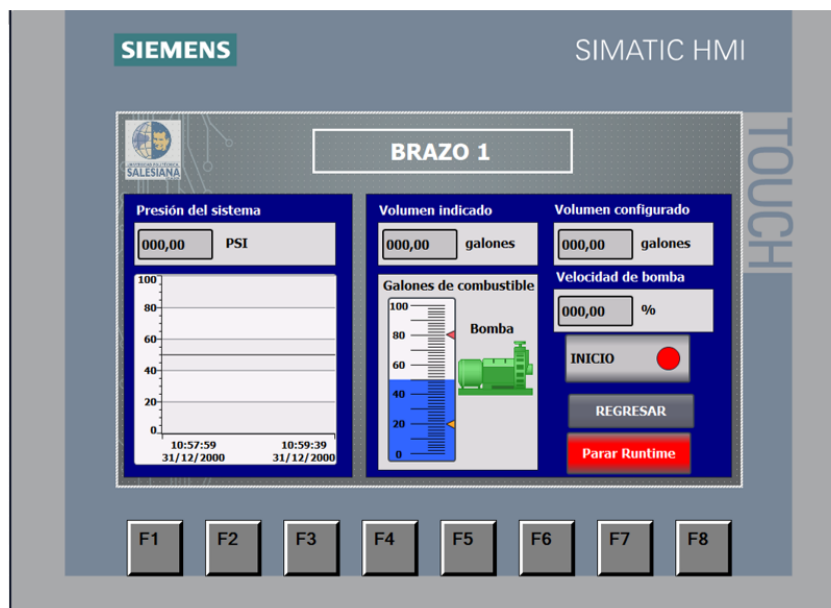


Figura 4.3: Brazo 1

4.3. Pantalla de plataforma IoT

Por medio de Node-Red se implementó una interface visual con los datos más relevantes del proceso de despacho, a la cuál se puede acceder desde cualquier dispositivo móvil con

4.4. COMPARATIVA ENTRE EL PROCESO MANUAL Y EL AUTOMATIZADO. 70

internet. Esto como parte de la plataforma IoT la cuál ayudará a mejorar la gestión de datos y toma de decisiones en distintos niveles jerárquicos de la organización como lo muestra la figura 4.4.

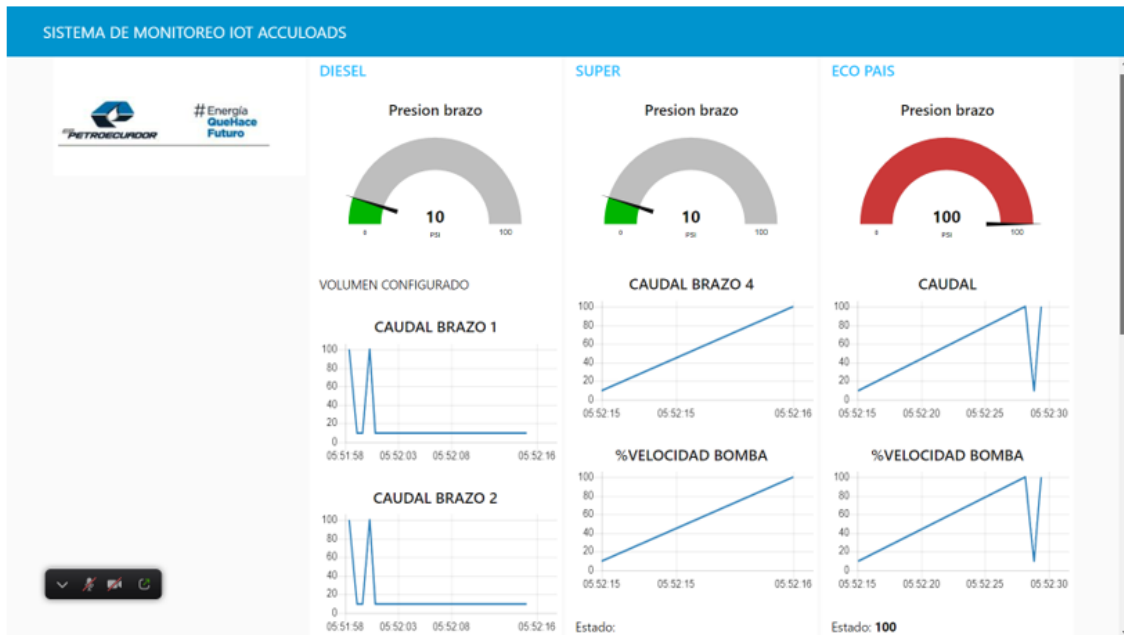


Figura 4.4: Dashboards del proyecto

4.4. Comparativa entre el proceso manual y el automatizado.

Se debe tomar en cuenta que en el proceso tal como se encuentra actualmente, el único dato que podemos tomar es la presión (tomada en campo desde un manómetro), la cual es clave para el desarrollo de este proyecto.

En una operación actual sin automatización las presiones varían entre los 60 y 160 psi dependiendo del número de bombas que se encuentren en funcionamiento y el total de brazos por los que se esté despachando, tomando en cuenta que la presión óptima debería encontrarse dentro del rango 50 – 60 psi.

Para el despacho de un auto tanque de 10.000 galones con un flujo aproximado de entre 450 a 500 galones por minuto, el tiempo de uso de las bombas es de aproximadamente de 20 a 25 minutos de un solo producto y de 40 a 50 minutos cuando se despachan dos productos; diariamente se despachan apropiadamente entre 20 a 25 auto tanques con la capacidad mencionada.

Tomando como referencia 25 minutos de un solo producto y 50 de dos productos y que se despache como mínimo 20 auto tanques diarios, el uso de las bombas ejerciendo presión variable es aproximadamente 9 horas diarias de un solo producto y 17 horas en el despacho de dos productos.

Durante las 9 horas de uso de la bomba de un solo producto y/o 17 horas de dos productos, como referencia la media de las presiones está en 120 psi, esta presión disminuye la vida útil del diafragma tomando como referencia el cambio de entre 5 a 6 veces al año

entre las diferentes islas de los productos.

Con la simulación de la automatización del proceso de despacho podemos destacar algunas comparativas relevantes con respecto al proceso no automatizado.

- La implementación de variadores de velocidad en las bombas y la correcta sintonización de un PID, logran mantener las presiones de operación dentro de parámetros (50-60 psi), sin que se den picos de presión cuando uno o varios brazos de un mismo producto están despachando y finalizan (Picos que alcanzan hasta 160 psi). En la figura 4.5 se muestra el sistema con 3 bombas funcionando y presión controlada dentro del rango.

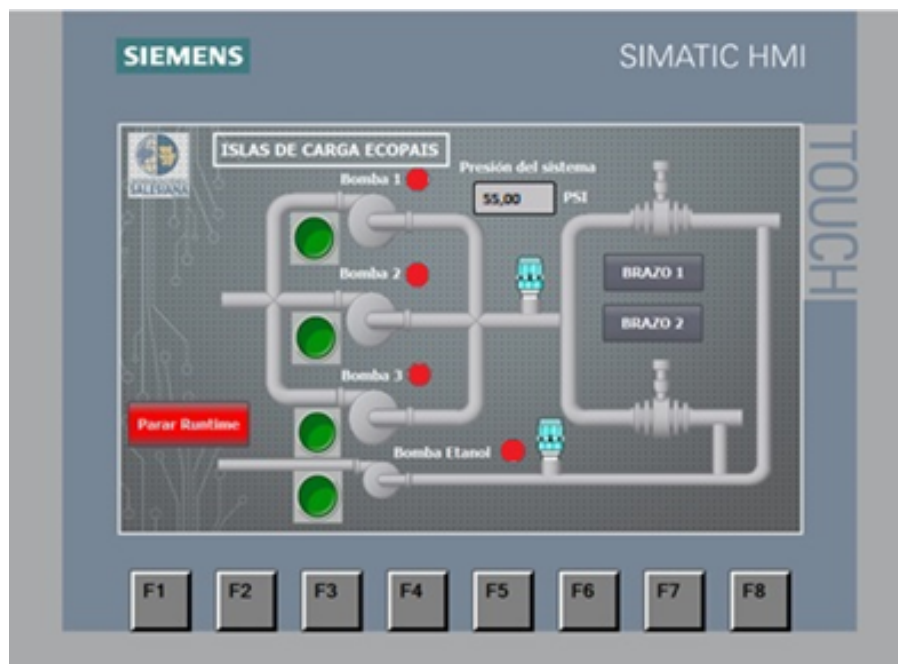


Figura 4.5: Sistema con 3 bombas funcionando y presión controlada dentro de rango.

- El cambio de válvulas de diafragma se esta considerando entre 0 a 2 en el año por las diferentes islas de despacho de productos ya que, al realizar la regularización de presiones de operación, la sobrepresión ya no seria la causa del cambio de las válvulas, sino mas bien el desgaste del uso o calidad del material, así mismo ya no se presentaría el daño de manómetros.
- La comunicación entre Accuload y bomba de despacho logran un funcionamiento del proceso más suave y estable logrando eliminar los sobre esfuerzos y daños en elementos principales del sistema.
- El sistema SCADA permite tener un mayor control sobre el proceso, incluyendo la operación remota del mismo.
- La conexión del hardware con los servicios en línea mediante Nod-Red permite acceder a la información del proceso en tiempo real desde cualquier dispositivo móvil para un mejor análisis y gestión de la información.
- Otra variable implícita en el despacho de combustibles es el mantenimiento de las bombas, ya que al laborar con variadores de frecuencia alarga la vida útil de las

mismas, el mantenimiento preventivo se puede realizar en tiempos mas alargados entre ellos y el mantenimiento correctivo realizarlo con mucha menos frecuencia, lo mismo que va a suceder con las válvulas de diafragma.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan los resultados del estudio, que incluye la exitosa propuesta de automatización del proceso de despacho de combustibles en una terminal de productos limpios mediante tecnología IoT. Además, se destacan los beneficios económicos y de seguridad asociados a la automatización de terminales similares. La plataforma IoT a través de Node-Red permite un despacho eficiente y controlado, respaldado por la validación en el laboratorio. Las recomendaciones adicionales enriquecen aún más la propuesta de automatización.

5.1. Conclusiones

Se cumplió con el objetivo general propuesto en el presente trabajo, con el desarrollar una propuesta para la automatización del proceso de despacho de combustibles en una terminal de productos limpios, integrando una plataforma basada en IoT por medio del uso de herramientas tecnológicas e informáticas especializadas para la operación y monitoreo.

Se han revisado otros trabajos investigativos, y como se detalló en el apartado de estado del arte, existen infinidad de herramientas tecnológicas para la automatización de terminales de despacho, destacando los beneficios principalmente económicos y de seguridad que estos representan, por lo que la implementación de un sistema automatizado par el Terminal de Cuenca se vuelve total mente necesario.

Se definieron los requerimientos del diseño mediante lógicas de control propuestas y se identificaron las variables principales del proceso, como presión, caudal y temperatura, definiendo a la presión como la variable principal del proceso con la que se diseñó el controlador PID para la implementación de variadores de velocidad en las bombas.

El sistema automatizado fue implementado en un entorno simulado dentro del laboratorio de automatización de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, con la ayuda del software Tía Portal V16 y PLC's Siemens S7-1500 interconectados por comunicación Ethernet, adicional se utilizaron variadores de frecuencia CN002 y motores de 0,5 HP. Para la plataforma IoT se utilizó la herramienta Node-Red con la que se creó el enlace del proceso con la nube. Dando como resultado un proceso eficiente y controlado de despacho de combustibles y su gestión de datos.

Finalmente, se pudo validar el sistema simulándolo en el laboratorio con elementos reales, lo cuál nos da una percepción mas clara de que la automatización realmente es una mejora que se debería implementar físicamente en la Terminal Cuenca para optimizar el proceso y reducir los riesgos que acarrea.

5.2. Recomendaciones

A modo de mejoras se pueden enumerar las siguientes recomendaciones:

Adicional a la implementación de la automatización del proceso propuesto se podría adicionar un sistema de monitoreo de niveles en los tanques, con los que se podría mejorar aun más el proceso, teniendo información en tiempo real de stock de productos en tanques y evitar que por errores involuntarios los tanques se queden vacíos al momento del despacho y las líneas de succión de las bombas se queden vacías, ocasionando cavitación en las mismas. De igual manera con este sistema se puede programas con anticipación los cambios de tanque y así evitar tiempos muertos.

Se puede recomendar también sistemas de control para llenado de auto tanques, lo cuál permite evitar sobrellenados por errores involuntarios de los operadores.

Un error poco común en el despacho de auto tanques es que el operador despache un producto equivocado en el compartimento equivocado, para este problema se podría recomendar también implementar un sistema automatizado de gestión de productos para el despacho en autotanques, en el cual el operador no tiene que digitar ningún volumen en el Accuload, si no que, por medio de una tarjeta magnética de cada autotanque, automáticamente el Accuload determina el volumen y el producto que corresponde a cada compartimento.

De la misma forma se recomienda cambiar los actuadores mecánicos por actuadores eléctricos en las salidas a despacho de los tanques, con el fin de poderlos incluir en el sistema de control y tener la capacidad de apertura y cierre de válvulas de tanques desde el cuarto de control de despacho ante cualquier emergencia.

Bibliografía

- A. O. Al Janaby. Smart fuel pump station controlled by IoT and WSN deployment. *IET Conference Publications*, 2020(CP777):487–491, 2020. doi: 10.1049/ICP.2021.0927.
- K. H. Ang, G. Chong, and Y. Li. PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(4):559–576, jul 2005. ISSN 10636536. doi: 10.1109/TCST.2005.847331.
- M. Ben-Daya, E. Hassini, and Z. Bahroun. Internet of things and supply chain management: a literature review. *International Journal of Production Research*, 57 (15-16):4719–4742, 2019. ISSN 1366588X. doi: 10.1080/00207543.2017.1402140.
- V. S. Chakravarthi. Industrial IoT (IIoT) Design Methodology. *Internet of Things and M2M Communication Technologies*, pages 47–60, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-79272-5_3. URL https://bibliotecas.ups.edu.ec:3401/chapter/10.1007/978-3-030-79272-5_3.
- D. Ehrenreich and D. May. Operating Benefits Achieved by Use of Advanced Data Communications for Oil and Gas SCADA Systems. *Society of Petroleum Engineers (SPE)*, mar 2001. doi: 10.2118/69464-MS.
- O. Elijah, P. A. Ling, S. K. A. Rahim, T. K. Geok, A. Arsad, E. A. Kadir, M. Abdurrahman, R. Junin, A. Agi, and M. Y. Abdulfatah. A Survey on Industry 4.0 for the Oil and Gas Industry: Upstream Sector. *IEEE Access*, 2021. ISSN 21693536. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3121302.
- A. Garbev. Possibilities for Visual Programming in Robotics via Node-RED. *International Conference Automatics and Informatics, ICAI 2022 - Proceedings*, pages 367–371, 2022. doi: 10.1109/ICAI55857.2022.9960113.
- H. Kathiriya, A. Pandya, V. Dubay, and A. Bavarva. State of Art: Energy Efficient Protocols for Self-Powered Wireless Sensor Network in IIoT to Support Industry 4.0. *ICRITO 2020 - IEEE 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)*, pages 1311–1314, jun 2020. doi: 10.1109/ICRITO48877.2020.9198036.
- M. Kaur and S. Kalra. A Review on IOT Based Smart Grid. *International Journal of Energy, Information and Communications*, 7(3):11–22, jun 2016. ISSN 20939655. doi: 10.14257/IJEIC.2016.7.3.02.
- M. H. Khan, M. R. Uddin, Z. Tasneem, and K. M. Salim. Power factor analysis of an energy efficient single phase VFD for industrial sewing machines. *2019 5th International Conference on Advances in Electrical Engineering, ICAEE 2019*, pages 800–803, sep 2019. doi: 10.1109/ICAEE48663.2019.8975645.

- S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi. Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 03(05):164–173, 2015. ISSN 2327-5219. doi: 10.4236/JCC.2015.35021.
- E. A. Muravyova, E. R. Enikeeva, and N. N. Alaeva. Pressure and Density of the Mixture - Parameters of the System of Monitoring and Control of the Operation Mode Oil Well. *Proceedings - International Ural Conference on Measurements, UralCon*, 2022-September:10–15, 2022. ISSN 27680797. doi: 10.1109/URALCON54942.2022.9906759.
- P. Nguyen-Hoang and P. Vo-Tan. Development an Open-Source Industrial IoT Gateway. *Proceedings - 2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT 2019*, pages 201–204, sep 2019. doi: 10.1109/ISCIT.2019.8905157.
- C. I. Noshi, A. I. Assem, and J. J. Schubert. The role of big data analytics in exploration and production: A review of benefits and applications. *Society of Petroleum Engineers - SPE International Heavy Oil Conference and Exhibition 2018, HOCE 2018*, 2018. doi: 10.2118/193776-MS.
- H. Rahmanifard and T. Plaksina. Application of artificial intelligence techniques in the petroleum industry: a review. *Artificial Intelligence Review*, 52(4):2295–2318, dec 2019. ISSN 15737462. doi: 10.1007/S10462-018-9612-8.
- G. E. Rubbo, M. B. Barbieri, and V. F. Corasaniti. Desconexión De Carga - Evaluación De La Reaceleración De Motores De Una Planta Industrial. *2022 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2022*, 2022. doi: 10.1109/ARGENCON55245.2022.9939794.
- H. Salih, H. Abdelwahab, and A. Abdallah. Automation design for a syrup production line using Siemens PLC S7-1200 and TIA Portal software. *Proceedings - 2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering, ICCCEE 2017*, feb 2017. doi: 10.1109/ICCCEE.2017.7866702.
- S. Shetty, A. Shetty, A. A. Hegde, A. B. Salian, Akshaya, P. Umesh, and K. V. Gangadharan. Experiential Learning of Strength of Materials and Fluid Mechanics using Virtual Labs. *Proceedings of CONECCT 2020 - 6th IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies*, jul 2020. doi: 10.1109/CONECCT50063.2020.9198678.
- S. Talari, M. Shafie-Khah, P. Siano, V. Loia, A. Tommasetti, and J. P. Catalão. A review of smart cities based on the internet of things concept. *Energies*, 10(4), mar 2017. ISSN 19961073. doi: 10.3390/EN10040421.
- E. Temer and H. J. Pehl. Moving toward smart monitoring and predictive maintenance of downhole tools using the industrial internet of things IIoT. *Society of Petroleum Engineers - SPE Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2017*, 2017-January, 2017. doi: 10.2118/188382-MS.
- T. R. Wanasinghe, R. G. Gosine, L. A. James, G. K. Mann, O. De Silva, and P. J. Warrian. The Internet of Things in the Oil and Gas Industry: A Systematic Review. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(9):8654–8673, sep 2020. ISSN 23274662. doi: 10.1109/JIOT.2020.2995617.