



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TÍTULO**

Desarrollo de un sistema de automatización conforme a la norma ANSI/ISA-101.01-2015, destinado a facilitar la operación de apertura y cierre remoto de las electroválvulas de ingreso a los tanques de almacenamiento en la estación Santo Domingo, perteneciente al poliducto Esmeraldas-Quito

**AUTOR**

**Lalaleo Saltos, Kleber Fabián**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del grado académico en  
**MAGÍSTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**TUTOR**

**Novillo Parales, Francisco Vicente**

**Santa Elena, Ecuador**

**Año 2025**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.  
COORDINADORA DEL  
PROGRAMA**

---

**Ing. Francisco Novillo Parales, Ph.D.  
TUTOR**

---

**Ing. Junior Figueroa Olmedo, Msc.  
DOCENTE  
ESPECIALISTA**

---

**Ing. Sendey Vera González, Msc.  
DOCENTE  
ESPECIALISTA**

---

**Abg. María Rivera González, Mgtr.  
SECRETARIA GENERAL  
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Kleber Fabián Lalaleo Saltos, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización.

**TUTOR**

---

**Ing. Francisco Novillo Parales, Ph. D.**

**Santa Elena, 31 de octubre de 2024**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Kleber Fabián Lalaleo Saltos**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, Desarrollo de un sistema de automatización conforme a la norma ANSI/ISA-101.01-2015, destinado a facilitar la operación de apertura y cierre remoto de las electroválvulas de ingreso a los tanques de almacenamiento en la estación Santo Domingo, perteneciente al poliducto Esmeraldas-Quito previo a la obtención del título en Magíster en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Santa Elena, 31 de octubre de 2024

**EL AUTOR**

---

**Kleber Fabián Lalaleo Saltos**





**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO**

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Desarrollo de un sistema de automatización conforme a la norma ANSI/ISA-101.01-2015, destinado a facilitar la operación de apertura y cierre remoto de las electroválvulas de ingreso a los tanques de almacenamiento en la estación Santo Domingo, perteneciente al poliducto Esmeraldas-Quito, presentado por el estudiante, Kleber Fabián Lalaleo Saltos fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 8%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

**INFORME DE ANÁLISIS**  
mgjster

**Kleber Lalaleo - Examen Complexivo**  
r4 29-10-24

**8%**  
Trazos sospechosos

□ en. Similitudes  
□ en. similitudes entre  
comillas  
+ % entre las fuentes  
mencionadas  
⚡ % Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Kleber Lalaleo - Examen Complexivo r4 29-10-24.docx	Depositante: FRANCISCO VICENTE NOVILO PARRALES	Número de palabras: 10.162
ID del documento: 22644382729642056bb875dec96d47f35cd5	Fecha de depósito: 29/10/2024	Número de caracteres: 69.484
Tamaño del documento original: 15,74 MB	Tipo de carga: interface	
Autores: []	Fecha de fin de análisis: 29/10/2024	

**TUTOR**

---

**Ing. Francisco Novillo Parales, Ph. D.**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Kleber Fabián Lalaleo Saltos**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo de examen complejo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo de examen complejo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, 31 de octubre de 2024

**EL AUTOR**

---

**Kleber Fabián Lalaleo Saltos**

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que me acompañaron en este viaje académico. En primer lugar, a mi madre, cuyo amor y apoyo incondicional me han impulsado a seguir adelante.

A mis compañeros de trabajo, quienes me brindaron su apoyo para cumplir con mis tareas y clases, ayudándome a mantener el equilibrio sin descuidar mis responsabilidades laborales.

A mis grandes amigos Holguer, Pablo, Ray, Germy, Paul, Alex, quienes compartieron su conocimiento y consejos durante todo este proceso de estudio.

A Josué y Tania, compañeros y amigos con quienes iniciamos esta aventura. El apoyo que nos brindamos mutuamente fue fundamental para cumplir la meta y finalizar con éxito nuestros estudios.

La ayuda y presencia de todos han hecho que este proyecto sea aún más significativo.

*Kleber Fabián, Lalaleo Saltos*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo final a mi madre, cuyo amor y fortaleza han sido mi inspiración constante. A pesar de los desafíos que ha enfrentado con su salud, siempre ha creído en mis sueños, brindándome su apoyo incondicional, su amor y cuidándome en cada paso del camino. Recuerdo cuando me gradué de la universidad y me dijo que quería verme alcanzar una maestría. Hoy, al llegar a este día, espero llenarle de felicidad y orgullo. Gracias, mamá, por ser mi apoyo incondicional y por enseñarme el valor de perseverar

*Kleber Fabián, Lalaleo Saltos*

## ÍNDICE GENERAL

TÍTULO .....	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO .....	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
DEDICATORIA .....	VIII
ÍNDICE GENERAL .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS.....	5
DESARROLLO .....	6
METODOLOGÍA.....	24
SIMULACION .....	43
PROGRAMACION Y HMI.....	46
RESULTADOS .....	53
CONCLUSIONES .....	56
REFERENCIAS .....	57
ANEXOS.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Tanques de almacenamiento de productos limpios .....	2
<b>Tabla 2</b> Tiempo de maniobras de apertura y cierre de válvulas motorizadas .....	3
<b>Tabla 3</b> Ventajas de Factory I/O para el entorno virtual de la apertura/cierre de válvulas motorizadas .....	8
<b>Tabla 4</b> Características de controladores lógicos programables .....	9
<b>Tabla 5</b> Ventajas del uso de Logix Designer para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios .....	11
<b>Tabla 6</b> Ventajas del uso de Logix Designer para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios .....	12
<b>Tabla 7</b> Ventajas del uso de Logix Emulate para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios .....	14
<b>Tabla 8</b> Ventajas del uso de FactoryTalk View para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios .....	15
<b>Tabla 9</b> Ventajas del uso de PlantPAx para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios .....	16
<b>Tabla 10</b> Señales Digitales de válvulas motorizadas (MCV) .....	28
<b>Tabla 11</b> Señales de alarma de válvulas motorizadas (MCV) .....	29
<b>Tabla 12</b> Señales analógicas de válvulas motorizadas (MCV) .....	29
<b>Tabla 13</b> Señales digitales de válvulas motorizadas (MCV) .....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Diagrama de tanques y válvulas motorizadas .....	2
<b>Figura 2</b> Cadena de suministro de productos refinados.....	7
<b>Figura 3</b> Interfaz en Factory I/O .....	8
<b>Figura 4</b> Ecosistema Rockwell Automation .....	10
<b>Figura 5</b> Programación Logix Studio .....	11
<b>Figura 6</b> Interfaz RS Linx.....	13
<b>Figura 7</b> Interfaz de Logix Emulate.....	14
<b>Figura 8</b> Interfaz HMI en FactoryTalk View.....	15
<b>Figura 9</b> PlantPAX.....	16
<b>Figura 10</b> HMI con recomendaciones de la norma ANSI/ISA-101.01-2015 .....	17
<b>Figura 11</b> Tarjeta de comunicación Prosoft MVI56E-MNETR .....	18
<b>Figura 12</b> Configuración en Prosoft Configuration Builder .....	19
<b>Figura 13</b> Válvula motorizada .....	20
<b>Figura 14</b> Red entre válvulas motorizadas.....	22
<b>Figura 15</b> Tabla Modbus Entradas digitales .....	23
<b>Figura 16</b> Tabla modbus (Alarmas).....	24
<b>Figura 17</b> Arquitectura.....	25
<b>Figura 18</b> Comunicación entre Master Station y PLC.....	26
<b>Figura 19</b> Cable marca Belden modelo 121872A.....	27
<b>Figura 20</b> Configuración de tarjeta.....	28
<b>Figura 21</b> Diagrama de flujo.....	30
<b>Figura 22</b> Curvas de llenado de tanques .....	32
<b>Figura 23</b> Curvas de descarga de tanques.....	38

<b>Figura 24</b> Comparación de cambios de filtros entre modo automático y manual (durante un año) .....	42
<b>Figura 25</b> Entorno de los tanques de almacenamiento .....	43
<b>Figura 26</b> Entorno de componentes para un tanque de almacenamiento.....	44
<b>Figura 27</b> Tablero de control de tanque de almacenamiento.....	45
<b>Figura 28</b> Faceplate P_Ain de PlantPax .....	46
<b>Figura 29</b> Configuración de faceplate de entradas analógicas.....	47
<b>Figura 30</b> Faceplates de alarmas y tendencia en tiempo real.....	48
<b>Figura 31</b> Configuración de entradas analógicas (nivel) .....	49
<b>Figura 32</b> Faceplate de válvula motorizada.....	49
<b>Figura 33</b> Faceplate con configuración para válvula motorizada.....	50
<b>Figura 34</b> Estadísticas de funcionamiento de válvula motorizada.....	51
<b>Figura 35</b> Faceplate de diagnóstico de válvulas .....	51
<b>Figura 36</b> Configuración de parámetros de válvulas motorizadas.....	52
<b>Figure 37</b> Entorno del proceso desarrollado en el software factory I/O.....	54
<b>Figure 38</b> HMI desarrollado en el software Factorytalk View utilizando PlantPax.....	55



## RESUMEN

Este proyecto presenta el desarrollo de un sistema de automatización basado en la norma ANSI/ISA-101.01-2015, destinado a mejorar la eficiencia operativa en la apertura y cierre remoto de válvulas motorizadas en tanques de almacenamiento de productos en estaciones de despacho. El objetivo es optimizar el tiempo de operación mediante una comunicación eficiente entre la Master Station y el controlador de proceso, logrando una sincronización precisa y una interfaz gráfica de usuario (HMI) que minimice los errores operativos. La metodología incluye un análisis comparativo entre los modos manual y automático en la operación de válvulas, demostrando que el modo automático reduce el tiempo de operación y el consumo energético.

Los resultados evidencian que el modo automático es más eficiente energéticamente, con un ahorro de 849.79 kWh en el llenado de los tanques y 567.22 kWh en la descarga, en comparación con el modo manual. Además, se redujo el mantenimiento del sistema, disminuyendo la frecuencia de cambio de filtros de cinco a dos veces al año. Se concluye que la implementación de este sistema de control automatizado mejora significativamente la eficiencia operativa, contribuyendo a un proceso más sostenible y fiable.

**Palabras clave:** ANSI/ISA-101.01-2015, PlantPax, Válvulas motorizadas, HMI, Automatización.

## ABSTRACT

This project presents the development of an automation system based on the ANSI/ISA-101.01-2015 standard, aimed at improving operational efficiency in the remote opening and closing of motorized valves in product storage tanks at dispatch stations. The objective is to optimize operation time through efficient communication between the Master Station and the process controller, achieving precise synchronization and a graphical user interface (HMI) that minimizes operational errors. The methodology includes a comparative analysis between manual and automatic modes in valve operation, demonstrating that the automatic mode reduces operation time and energy consumption.

The results show that the automatic mode is more energy efficient, with a saving of 849.79 kWh when filling the tanks and 567.22 kWh when discharging, compared to the manual mode. In addition, system maintenance was reduced, reducing the frequency of filter changes from five to two times a year. It is concluded that the implementation of this automated control system significantly improves operational efficiency, contributing to a more sustainable and reliable process.

**Keywords:** *ANSI/ISA-101.01-2015, PlantPAx, Motorized valves, HMI, Automation*

## INTRODUCCIÓN

Las terminales de productos limpios conocidos también como terminales de almacenamiento de productos refinados, son instalaciones utilizadas para recibir, almacenar y distribuir productos refinados y limpios, como combustibles que han sido procesados y refinados para su uso final. Estas terminales son parte fundamental de la cadena de suministro de productos refinados, ya que permiten la distribución eficiente de estos productos a clientes finales, estaciones de servicio, industrias y otros usuarios. Una característica común de una terminal de productos limpios son los tanques de almacenamiento. (Ghenaati & Aghaei, 2019)

En el ámbito de las terminales de productos limpios, la eficiencia operativa y la seguridad son aspectos cruciales para garantizar un funcionamiento óptimo. En este contexto, se presenta el diseño y simulación para manipular las válvulas motorizadas de ingreso a los tanques de almacenamiento de manera eficiente y segura a través de un control automatizado (Tammaruckwattana et al., 2022). Comúnmente, en las terminales de productos limpios la manipulación de las válvulas motorizadas de ingreso en cada tanque requiere que el operador se desplace físicamente. Sin embargo, el acceso a los tanques no es seguro, y se han registrado incidentes de caídas, especialmente en días lluviosos. Bajo estas circunstancias, el operador debe adherirse a la planificación para las maniobras de las válvulas motorizadas de ingreso. Es esencial que cierre una válvula motorizada y abra otra con la mayor celeridad para dar continuidad al servicio de despacho de combustible.

La apertura y cierre manual de las válvulas motorizadas provoca retrasos en el tiempo de almacenamiento de productos limpios, lo que afecta el cronograma establecido en la planificación. Estos retrasos en el almacenamiento pueden impactar negativamente en el programa de despacho de camiones tipo tanquero destinados al transporte de dichos productos (Tammaruckwattana et al., 2022). Además, la manipulación manual incrementa el tiempo de operación de las bombas booster de ingreso y descarga, resultando en un mayor gasto energético y un desgaste acelerado de los componentes de las bombas. En las condiciones actuales, es necesario que al menos un operador esté presente en todo momento para manejar las válvulas motorizadas.

En este trabajo se considera un total de 7 tanques de almacenamiento indicados en la Tabla 1, distribuidos de la siguiente manera: 2 para Diesel premium, 2 para Diesel 2, 2

para gasolina extra y 1 para gasolina súper, cada uno dispone de una válvula motorizada para ingreso de producto y una válvula motorizada para despacho del producto.

**Tabla 1**

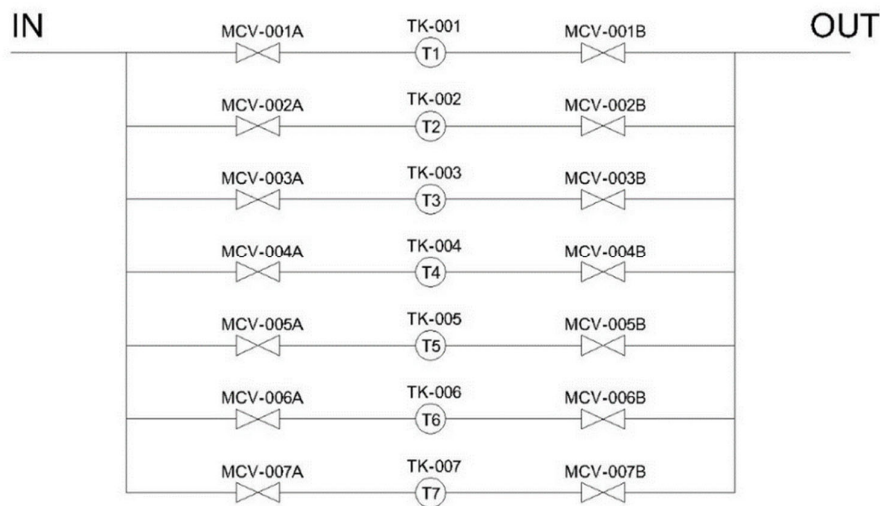
*Tanques de almacenamiento de productos limpios*

<b>TANQUE</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>CAPACIDAD (m3)</b>
TK-001	DIESEL PREMIUM	6289.38
TK-002	DIESEL PREMIUM	4770
TK-003	DIESEL 2	736
TK-004	DIESEL 2	1107
TK-005	GASOLINA EXTRA	2324
TK-006	GASOLINA EXTRA	4770
TK-007	GASOLINA SUPER	2755

Cada tanque está equipado con una válvula motorizada para el ingreso y otra para el despacho. El ingreso y despacho se realiza a través de una línea de tubería de 10 pulgadas de diámetro, en la Figura 1 se indica el diagrama de las válvulas motorizadas y tanques. Para el ingreso de productos desde los tanques, se utiliza una bomba booster de 500 HP, que proporciona un caudal de 1000 BPH. En cuanto al despacho de productos, se emplea una bomba de 500 HP con un caudal de 1500 BPH

**Figura 1**

*Diagrama de tanques y válvulas motorizadas*



*Nota.* La figura representa el diagrama de tubería, válvulas motorizadas y tanques

En las condiciones actuales, el operador debe seguir las acciones detalladas en la Tabla 2. Es importante destacar que por lo general se requiere abrir una válvula motorizada en un tanque y cerrar otra válvula motorizada en un tanque diferente

**Tabla 2**

*Tiempo de maniobras de apertura y cierre de válvulas motorizadas*

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo</b>
<b>Maniobra en la primera válvula</b>	
Movilización del operador desde cuarto de control al área de tanques	4 min
Movilización a la válvula que debe realizar la maniobra	2 min
Maniobra en la válvula	45 sg
<b>Maniobra en la segunda válvula</b>	
Movilización a la válvula	2 min
Maniobra en la válvula	45 sg
Retorno del operador al cuarto de control	6 min

De acuerdo a los valores indicados en la Tabla 2 el operador mínimo requiere de 6 minutos con 45 segundos para realizar la primera maniobra en la primera válvula motorizada, mientras que para la segunda maniobra requiere de al menos 2 minutos 45 segundos y posterior a esto debe regresar a la sala control, tiempo en el cual la bomba de ingreso y salida permanecerán encendidas.

Para esta actividad se requiere mínimo de dos operadores uno que permanezca en la sala de control y uno que realice las maniobras en campo.

Con el objetivo de optimizar los tiempos de apertura y cierre de las válvulas motorizadas, se propone realizar estas operaciones de manera remota. Esto implica la integración de las válvulas motorizadas de los tanques a los sistemas de control existentes, con la incorporación de animaciones en una interfaz gráfica (HMI) para facilitar la manipulación desde un cuarto de control (Xibin et al., 2011). Esta mejora además busca ampliar la visualización y supervisión para el operador, registrar un historial para facilitar el seguimiento de su uso y permitir la planificación de mantenimientos preventivos. Para ello, se pretende simular el proceso en la plataforma Factory I/O para verificar y garantizar el funcionamiento óptimo, evitando posibles retrasos en la apertura y cierre de las válvulas motorizadas que podrían resultar en pérdidas económicas para la empresa, además, realizar la programación y HMI en Logix Designer y FactoryTalk view

(PlantPax) respectivamente pertenecientes a la marca Allen Bradley (Adamo et al., 2007).

Finalmente, se propone implementar un diseño remoto conforme a la norma ANSI/ISA-101.01-2015, que permita controlar las válvulas motorizadas de los tanques de almacenamiento de manera segura y eficiente desde un cuarto de control. Esta solución no solo busca optimizar los tiempos de apertura y cierre de las válvulas motorizadas, sino también mejorar la seguridad operativa, reducir errores y facilitar la toma de decisiones para el personal encargado.

Este documento presenta un desarrollo que abarca diferentes aspectos del proyecto. Comienza con un marco teórico que introduce los conceptos fundamentales relacionados con el proyecto. La metodología detallada describe el proceso completo de simulación, programación e implementación de la interfaz HMI, ofreciendo una guía paso a paso sobre cómo se lleva a cabo cada etapa del proyecto.

Los resultados obtenidos se presentan destacando tanto los logros alcanzados como los beneficios derivados de estos resultados. Finalmente, las conclusiones del documento ofrecen una evaluación reflexiva y crítica de los resultados obtenidos. Se realiza un análisis de los hallazgos, identificando tanto las fortalezas como las posibles áreas de mejora. Estas conclusiones proporcionan una visión clara sobre el estado actual del proyecto y las posibles direcciones futuras que podrían darse

### **Formulación del problema de investigación**

¿Cómo influye la implementación de un sistema de automatización, basado en la norma ISA 101, en la operación de apertura y cierre de

las válvulas de ingreso y salida de los tanques de almacenamiento de productos limpios, en la reducción de tiempos de operación, consumo energético y frecuencia de mantenimiento, mejorando la sostenibilidad y confiabilidad del proceso en comparación con el método manual?

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Desarrollar un sistema de automatización de apertura y cierre remoto de las electroválvulas de ingreso a los tanques de almacenamiento en la Estación Santo Domingo, perteneciente al poliducto Esmeraldas-Quito, este sistema se fundamentará en la comunicación Modbus TCP, estableciendo una conexión eficiente entre la Master Station (tablero de electroválvulas) y el controlador de procesos existente. Además, se llevará a cabo la integración de la animación garantizando la optimización de recursos para el despacho de productos limpios

### **Objetivos Específicos**

- Mejorar la eficiencia en el tiempo de apertura y cierre de las electroválvulas esencial para garantizar un funcionamiento óptimo y normal del sistema. A través de la implementación de comunicación Modbus TCP entre la Master Station y el controlador de proceso existente en la planta, asegurando una sincronización eficaz y un rendimiento fluido del sistema
- Crear una interfaz gráfica de usuario (HMI) siguiendo las recomendaciones de la norma ANSI/ISA-101.01-2015, con la finalidad de disminuir errores operativos, mejorando la eficiencia y facilitando la toma de decisiones
- Instalar y configurar la tarjeta de comunicación Prosoft en el rack del controlador de procesos para establecer la comunicación Modbus TCP con la Master Station. Este proceso incluirá la conexión mediante cableado en duro, utilizando cable 4 pares 23AWG

### **Planteamiento hipotético**

La implementación de un sistema de automatización basado en la norma ANSI/ISA-101.01-2015 en la operación de válvulas reduce los tiempos de operación, el consumo energético y la frecuencia de mantenimiento, mejorando la sostenibilidad y confiabilidad del proceso en comparación con el modo manual

## DESARROLLO

### Marco teórico

#### Terminales de productos limpios

Las terminales de productos limpios conocidos también como terminales de almacenamiento de productos refinados, son instalaciones utilizadas para recibir, almacenar y distribuir productos refinados y limpios, como combustibles que han sido procesados y refinados para su uso final. La Figura 2 muestra un terminal de productos limpios, y a continuación, se indican sus partes principales. (Empresa Pública EP Petroecuado, 2021)

1.- Recepción de productos: Este proceso se lleva a cabo mediante un conjunto de tuberías conocido como Poliducto, diseñado específicamente para transportar productos procesados desde refinerías como Diesel 2, Diesel Premium, Gasolina Extra y Gasolina Super.

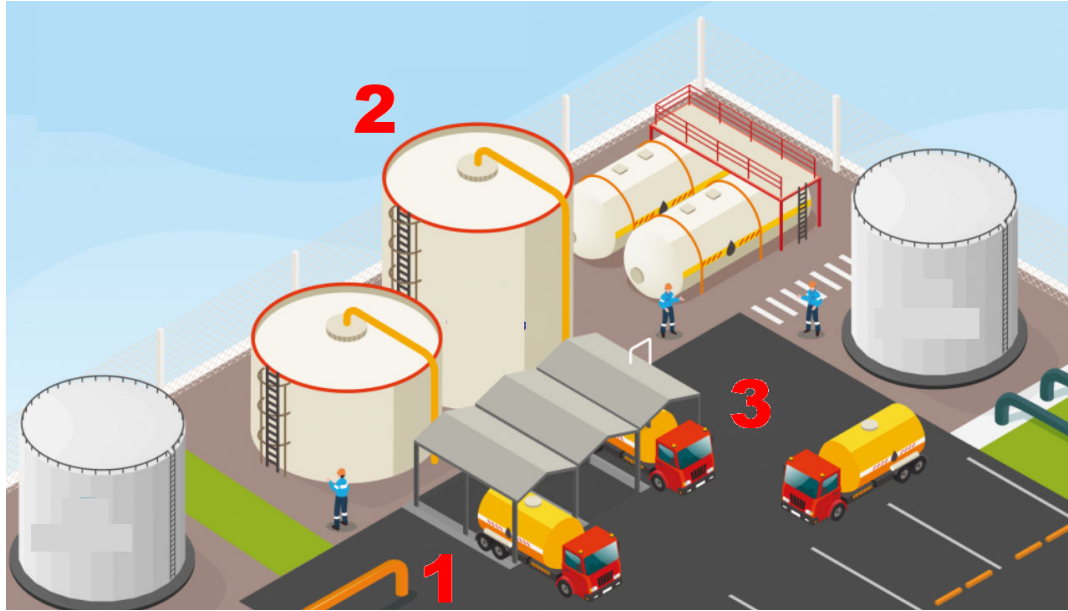
2.- Almacenamiento del producto: Dentro del terminal de productos limpios, se dirige cada tipo de producto (Diesel 2, Diesel Premium, Gasolina Extra y Gasolina Super) a su tanque correspondiente mediante un sistema de tuberías. Este proceso se lleva a cabo mediante la apertura y cierre de válvulas manuales o motorizadas. Los tanques de almacenamiento son de gran capacidad para contener los productos refinados. Estos tanques pueden ser de diferentes tamaños y están diseñados para almacenar productos de manera segura.

3.. Distribución del producto: Según el cronograma establecido, se distribuyen Diesel 2, Diesel Premium, Gasolina Extra y Gasolina Super en camiones tipo tanquero hacia clientes finales, estaciones de servicio, industrias y otros usuarios, cubriendo las diferentes áreas destinadas a recibir el suministro del terminal de productos limpios. Los tanques de almacenamiento suelen ser de gran capacidad y diferentes tamaños para contener los productos refinados y son diseñados para asegurar un almacenamiento seguro de los productos.



## Figura 2

*Cadena de suministro de productos refinados*



*Nota.* Adaptado de Empresa Pública EP Petroecuador Noticias [Fotografía], por EP Petroecuador, EP Petroecuador (<https://www.eppetroecuador.ec/?p=11836>)

### **Factory I/O**

Es un software de simulación utilizado en la industria de la automatización para crear entornos virtuales que representan sistemas de producción reales (Azra'ai et al., 2023). Permite simular y probar programas de control en un entorno seguro y virtual antes de implementarlos en el entorno físico de una planta (Thangatamilan et al., 2023), en la Figura 3 se indica una interfaz realizada en Factory I/O (Factory I/O, 2024), mientras que en la Tabla 3 se indica las ventajas del uso de este software en el proyecto.

**Tabla 3**

*Ventajas de Factory I/O para el entorno virtual de la apertura/cierre de válvulas motorizadas*

<b>Ventaja</b>	<b>Descripción</b>
<b>Creación de una interfaz que simula la realidad</b>	Permite visualizar los tanques con sus válvulas motorizadas de ingreso y salida, mostrando en tiempo real cómo varía el nivel del tanque al abrir o cerrar las válvulas.  Permitir la visualización del nivel actual de cada tanque en un indicador de nivel. Este valor se comparará con el que se muestra en el HMI.
<b>Indicadores LED de estado de válvulas</b>	El sistema muestra el estado de las válvulas mediante LEDs, indicando si están abiertas o cerradas, así como cualquier posible falla, lo que facilita la monitorización y seguridad.

**Figura 3**

*Interfaz en Factory I/O*



*Nota.* Adaptado de Manual Factory I/O [Fotografía], por Factory I/O, Factory I/O (<https://docs.factoryio.com/manual/scenes/sorting-station/>)

Existen varias opciones para realizar la integración y programación del sistema actual del terminal de productos limpios. A continuación, se presentan las opciones disponibles y se determina que la marca Allen-Bradley es la que mejor se adapta a las condiciones del terminal de productos limpios. Esta preferencia se basa en que la mayoría de los

terminales de productos limpios en el país están desarrollados utilizando tecnologías de Rockwell Automation, lo que facilita una integración más fluida con Allen-Bradley.

En la Tabla 4 se presentan las principales características de tres marcas de PLCs (Controladores Lógicos Programables). Entre estas opciones, Allen-Bradley destaca como la mejor opción debido a sus superiores características y desempeño

**Tabla 4**

*Características de controladores lógicos programables*

<b>Características</b>	<b>Allen-Bradley</b>	<b>Siemens</b>	<b>Schneider Electric</b>
<b>Compatibilidad</b>	(compatibilidad con productos Rockwell Automation)	(buena integración con productos Siemens)	(buena compatibilidad con productos Schneider y otros sistemas)
<b>Facilidad de Uso</b>	(Studio 5000 intuitivo)	(TIA Portal, más complejo para nuevos usuarios)	(EcoStruxure Control Expert fácil de aprender)
<b>Soporte Técnico</b>	(gran red de distribuidores y centros de servicio)	(soporte global, variable según la región)	(bueno, con atención personalizada)
<b>Desarrollo de Software</b>	(entorno unificado y fácil de aprender)	(curva de aprendizaje más pronunciada)	(poderoso y bien documentado)
<b>Estabilidad y Fiabilidad</b>	(altamente estable y fiable en aplicaciones críticas)	(fiable, pero con problemas reportados en configuraciones complejas)	(muy fiable y estable)
<b>Actualización y Escalabilidad</b>	(opciones flexibles para actualización y expansión)	(escalabilidad buena, pero actualizaciones más costosas)	(buena escalabilidad a costo razonable)
<b>Integración de Redes</b>	(soporte para <i>Ethernet/IP</i> )	( <i>Profinet</i> robusto, posible necesidad de hardware adicional)	( <i>Modbus y Ethernet/IP</i> soportados)
<b>Costos</b>	(más alto, justificado por soporte y fiabilidad)	(opciones económicas, pero costos totales pueden aumentar)	(competitivo con buen equilibrio entre precio y funcionalidad)
<b>Documentación y Recursos</b>	(amplia documentación, y recursos accesibles)	(buena documentación)	(documentación clara y accesible)
<b>Customización</b>	(buena personalización y opciones avanzadas)	(flexible pero técnica)	(buena personalización con opciones avanzadas)
<b>Interoperabilidad</b>	(excelente interoperabilidad con otros sistemas)	(buena interoperabilidad, pero puede necesitar configuración adicional)	(buena interoperabilidad con diversos sistemas)

## Ecosistema Rockwell Automation

Rockwell Automation ofrece un ecosistema de software robusto, denominado Studio 5000, diseñado para el diseño, control, monitoreo y gestión de sistemas de automatización industrial. Este ecosistema indicado en la Figura 4 incluye varias herramientas destacadas como *Logix Designer*, *Logix Emulate*, *RS Linx* y *FactoryTalk View*, que son fundamentales para la configuración y programación de sistemas de control industrial.

**Figura 4**

*Ecosistema Rockwell Automation*



*Nota.* La figura representa la forma de enlazar las herramientas de STUDIO 5000

Cada herramienta está diseñada para integrarse perfectamente, proporcionando una solución completa y eficiente para la automatización industrial. A continuación, se indican los beneficios de cada una de las herramientas utilizadas en este proyecto

### **Logix Designer**

Logix Designer indicado en la Figura 5 es un software de ingeniería utilizado para diseñar y programar controladores lógicos programables (PLC) de la marca Rockwell Automation, anteriormente conocido como RSLogix 5000. En el proyecto, este software nos proporciona asistencia en los aspectos indicados en la Tabla 5

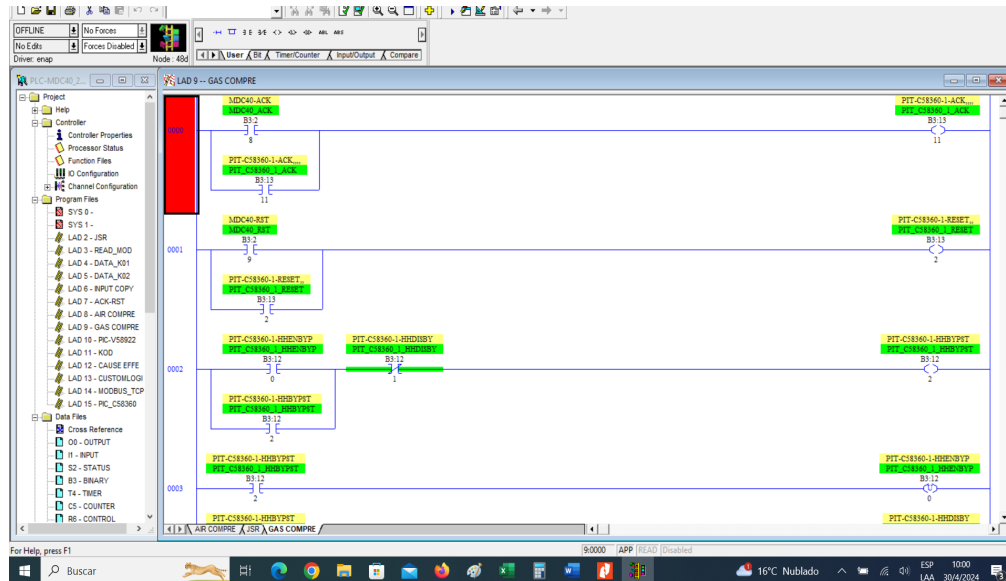
**Tabla 5**

*Ventajas del uso de Logix Designer para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios*

<b>Ventaja</b>	<b>Descripción</b>
<b>Facilita el diseño y la programación del PLC</b>	Utiliza lenguajes de programación como Ladder y diagrama de bloques funcionales, simplificando la creación y gestión del controlador lógico programable.
<b>Configuración eficiente de lectura/escritura de datos</b>	Permite configurar la escritura y lectura de datos de las válvulas motorizadas de manera eficiente, asegurando un monitoreo y control efectivo de las operaciones.
<b>Integración con sistemas HMI</b>	Facilita la creación de una interfaz intuitiva para el control de las válvulas motorizadas y la supervisión general del proceso a través de la integración con sistemas HMI.
<b>Capacidades avanzadas de simulación</b>	Ofrece simulaciones avanzadas que permiten validar el funcionamiento del sistema antes de su implementación, minimizando riesgos y optimizando el rendimiento operativo.

**Figura 5**

*Programación Logix Studio*



*Nota.* La figura representa la elaboración de una lógica de programación

## RS Linx

RS Linx indicado en la Figura 6 es una herramienta fundamental para la configuración y gestión de comunicaciones en entornos industriales que utilizan productos de automatización de Rockwell Automation, los beneficios para el proyecto se indican en la Tabla 6.

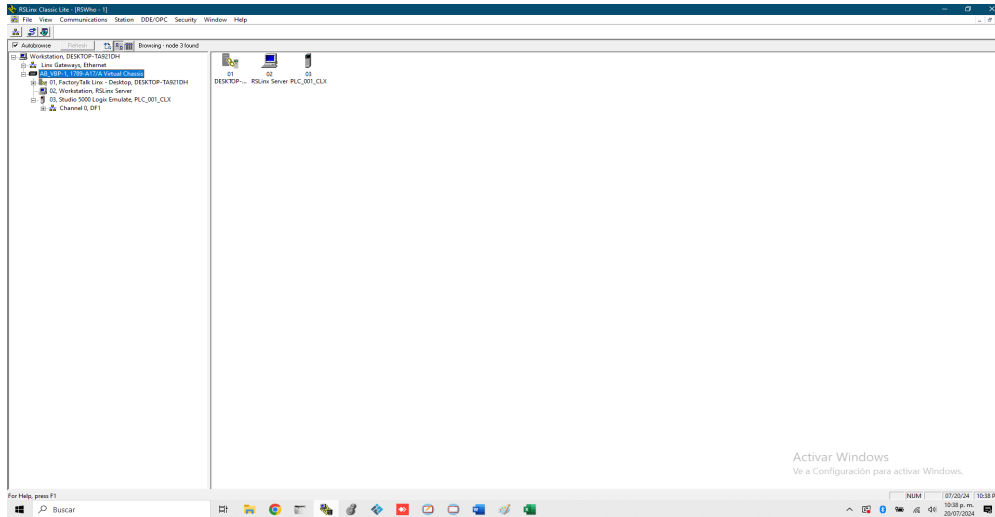
**Tabla 6**

*Ventajas del uso de Logix Designer para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios*

<b>Ventaja</b>	<b>Descripción</b>
<b>Facilita la comunicación entre Logix Emulate, Logix Designer y FactoryTalk View</b>	Asegura una integración efectiva del sistema de control de las válvulas motorizadas, optimizando el funcionamiento y garantizando una gestión eficiente y segura del proceso.
<b>Gestión eficiente de conexiones entre componentes de Rockwell Automation</b>	Garantiza una integración fluida y una operación coordinada del sistema de apertura y cierre de válvulas motorizadas en los tanques de almacenamiento de productos limpios.
<b>Interfaz gráfica intuitiva</b>	Simplifica la configuración y el monitoreo de dispositivos conectados a la red, con un enfoque especial en el controlador virtual utilizado en la simulación.
<b>Herramientas de diagnóstico avanzadas</b>	Proporciona capacidades para identificar y resolver rápidamente problemas de comunicación, minimizando así el tiempo de inactividad del sistema.

## Figura 6

### Interfaz RS Linx



*Nota.* La figura representa la configuración para la comunicación del PLC con las herramientas de Studio 5000

### Logix Emulate

Logix Emulate indicado en la Figura 7 es una herramienta de software proporcionada por Rockwell Automation que permite la simulación de controladores programables (PLCs) basados en la plataforma Logix en un entorno virtual es decir sin necesidad de hardware físico real, los beneficios en el presente proyecto se detallan en la Tabla 7.

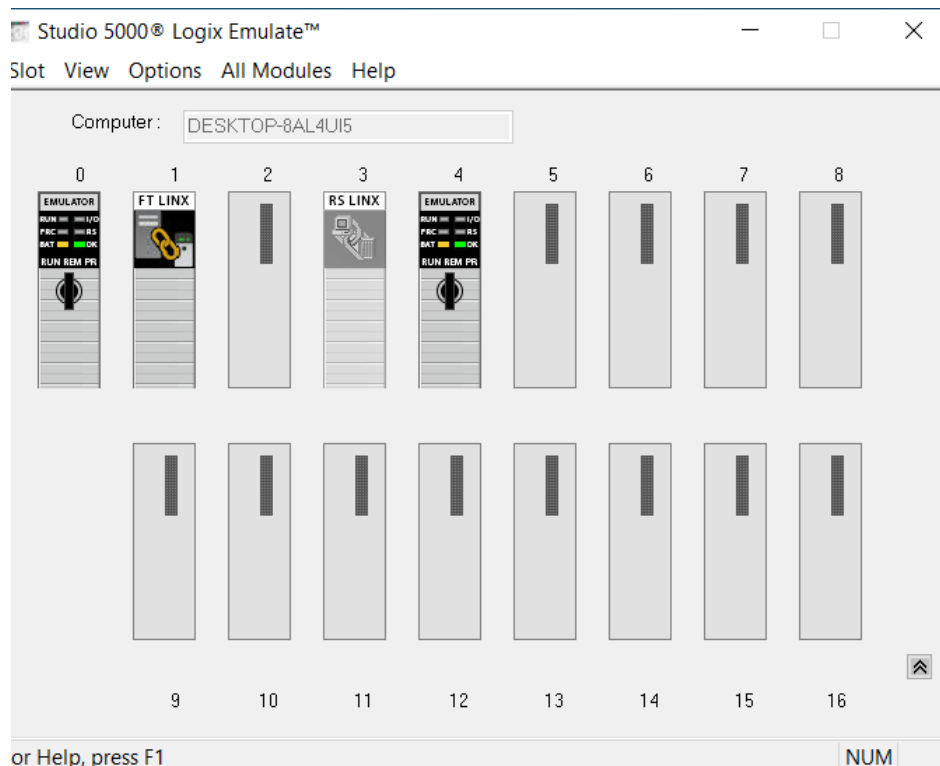
**Tabla 7**

*Ventajas del uso de Logix Emulate para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios*

<b>Ventaja</b>	<b>Descripción</b>
<b>Simulación de entradas/salidas digitales y analógicas</b>	Permite replicar el comportamiento de las válvulas motorizadas conectadas al controlador en un entorno virtual, facilitando pruebas exhaustivas antes de la implementación real.
<b>Simulación del sistema</b>	Facilita la simulación de la apertura y cierre de las válvulas, permitiendo una validación completa del sistema antes de llevarlo al entorno real.
<b>Identificación y corrección anticipada de problemas</b>	Ayuda a detectar y corregir posibles problemas de funcionamiento, minimizando el riesgo de fallos operativos y asegurando una puesta en marcha efectiva del sistema automatizado.

**Figura 7**

*Interfaz de Logix Emulate*



*Nota.* La figura representa la interfaz de Logix Emulate



## FactoryTalk View

*FactoryTalk View* indicado en la Figura 8 (Rockwell Automation, 2024) es una plataforma de software desarrollada por *Rockwell Automation* utilizada en la industria de la automatización para crear sistemas de visualización y supervisión de procesos industriales (Chen et al., 2021), en el proyecto los beneficios se indican en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Ventajas del uso de FactoryTalk View para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios*

Ventaja	Descripción
<b>Creación de interfaces gráficas intuitivas</b>	Permite diseñar interfaces para supervisar y controlar la apertura/cierre de las válvulas motorizadas en terminales de productos limpios, facilitando la operación.
<b>Visualización de datos en tiempo real</b>	Proporciona a los operadores una vista integral y detallada del sistema, mejorando la capacidad para monitorear operaciones y ajustar parámetros en tiempo real para optimizar el rendimiento.
<b>Aumento de la seguridad operativa</b>	Ofrece una interfaz clara y fácil de usar, que facilita la toma de decisiones informadas y rápidas durante operaciones críticas, mejorando la seguridad en la operación de válvulas.

**Figura 8**

*Interfaz HMI en FactoryTalk View*



*Nota.* Adaptado de *Modern HMI Software*[Fotografía], por *Rockwell Automation* 2020, *Rockwell Automation* (<https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/factorytalk/operationsuite/view.html>)

## PlantPax y ANSI/ISA-101-2015

PlantPax indicado en la Figura 9 es una solución de automatización desarrollada por Rockwell Automation que está diseñada para la industria de procesos (Rockwell Automation, 2024). Es un sistema integrado que combina hardware, software y servicios específicamente adaptados para mejorar la eficiencia operativa en plantas industriales, los principales beneficios para el proyecto se indican en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Ventajas del uso de PlantPax para la automatización de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios*

<b>Ventaja</b>	<b>Descripción</b>
<b>Implementación de directrices ISA-101</b>	Mejora la eficiencia operativa durante el proceso de almacenamiento y despacho, especialmente en la operación de válvulas motorizadas en terminales de productos limpios.
<b>Interfaces HMI intuitivas y efectivas</b>	Ofrece una supervisión y control continuo del proceso mediante interfaces claras y detalladas, permitiendo que los operadores tomen decisiones de forma ágil y exacta.
<b>Mejora de la seguridad y eficiencia operativa</b>	Permite minimizar los tiempos de respuesta y optimizar el flujo de trabajo, asegurando un despacho eficiente y seguro de productos limpios, cumpliendo con los estándares de calidad y rendimiento.

**Figura 9**

*PlantPax*

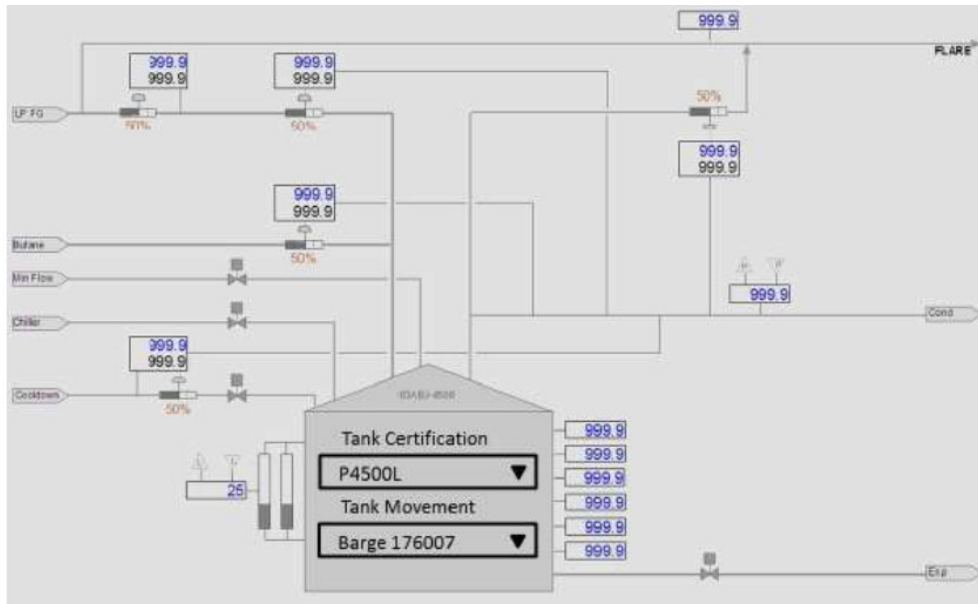


*Nota.* PlantPax 5.0 Technical Features [Fotografía], por Rockwell automation 2024, Rockwell Automation (<https://www.rockwellautomation.com/en-us/capabilities/process-solutions/process-systems/plantpax-distributed-control-system/plantpax-5-0-technical-features-video-playlist.html>)

En la Figura 10 se indica una interfaz gráfica diseñada bajo las recomendaciones de la norma ANSI/ISA-101.01-2015 (International Society of Automation, 2015, p. 45)

### Figura 10

HMI con recomendaciones de la norma ANSI/ISA-101.01-2015



*Nota.* Adaptado de Human Machine Interfaces for Process Automation Systems (p. 45), por International Society of Automation, 2015

Para aprovechar las ventajas de compartir datos a través de la comunicación proporcionada por las válvulas motorizadas, es necesario utilizar una tarjeta de la marca Prosoft para la integración con los controladores lógicos programables de Rockwell Automation, a continuación, se indica la Tarjeta de comunicación Modbus Prosoft MVI56E-MNETR

### Tarjeta Prosoft MVI56E-MNETR

El módulo de comunicación cliente/servidor Modbus TCP/IP con datos reducidos facilita la conexión entre los procesadores ControlLogix de Rockwell Automation y dispositivos que son compatibles con Modbus TCP/IP, como controladores programables y diversos instrumentos y dispositivos que utilizan este protocolo (Control Tech Supply, 2024)

El MVI56E-MNETR, mostrado en la Figura 11 (Control Tech Supply, 2024), emplea un bloque de datos de entrada/salida (E/S) simplificado para enviar y recibir información

con un procesador ControlLogix. Esta característica de datos reducidos lo convierte en una opción excelente para aplicaciones remotas.

### **Figura 11**

*Tarjeta de comunicación Prosoft MVI56E-MNETR*



*Nota.* Adaptado de *MVI56E-MNETR Datasheet* [Fotografía], por Prosoft Technology 2022, Prosoft Technology [https://mx.prosoft-technology.com/prosoft/download/2945/22619/file/MVI56E-MNETR\\_Datasheet](https://mx.prosoft-technology.com/prosoft/download/2945/22619/file/MVI56E-MNETR_Datasheet))

Las actualizaciones del MVI56E-MNETR incluyen la capacidad de configurar y diagnosticar tanto de manera local como remota a través del puerto Ethernet del módulo, además de un servidor web incorporado que facilita el acceso a la documentación y a los archivos de programación del módulo (Control Tech Supply, 2024).

ProSoft ha desarrollado una herramienta denominada Configuration Builder (PCB) destinada a la configuración gráfica para una gestión rápida y sencilla de la configuración del módulo y archivos, así como ver información de comunicación y diagnóstico del módulo, En esta herramienta se realiza la configuración necesaria para la lectura y escritura de los datos de las válvulas motorizadas, se indica en la Figura 12, lo que permite obtener la información requerida para el HMI

**Figura 12**

*Configuración en Prosoft Configuration Builder*

Name	Status	Information
✓ MVI56E-MCMR_S3	Configured	MVI56E-MCMR
MVI56E	MCMR	2.04
Backplane Configuration	Values OK	
MCM Port 1	Values OK	
MCM Port 2	Values OK	
Comment	Values OK	
WATTCP	Values OK	

Last Change: Aug. 25, 2023 07:47  
Last Download: Sep. 21, 2023 19:16

---

[Modbus Port 1 commands]

#	Enable	Internal Address	Poll Interval	Reg Count	Swap Code	Node Address	ModBus Function
START							
1	Yes	0	0	50	No Change	1	FC 3 - Read Holding Registers(4X)
2	Yes	100	0	50	No Change	2	FC 3 - Read Holding Registers(4X)
3	Yes	200	0	99	No Change	3	FC 3 - Read Holding Registers(4X)
END							

[Modbus Port 2]

Enabled : Yes  
Type : Master  
Protocol : RTU  
Baud Rate : 19200  
Parity : None  
Data Bits : 8  
Stop Bits : 1  
RTS On : 0  
RTS Off : 0  
Use CTS Line : No  
Enron-Daniels : No  
Minimum Command Delay : 0  
Command Error Pointer : 500  
Error Delay Counter : 0  
Response Timeout : 1000  
Retry count : 3

[Modbus Port 2 commands]

#	Enable	Internal Address	Poll Interval	Reg Count	Swap Code	Node Address	ModBus Function
START							
1	Yes	10	0	2	No Change	1	FC 6 - Preset (write) Single Register(4X)
2	Yes	12	0	2	No Change	2	FC 6 - Preset (write) Single Register(4X)
3	Yes	14	0	2	No Change	3	FC 6 - Preset (write) Single Register(4X)
END							

[Module comment]  
# Put Comment Here

*Nota.* La figura representa la configuración en la tarjeta Prosoft MVI56E-MNETR

**Protocolos de comunicación**

Los protocolos de comunicación en automatización industrial permiten la transferencia de datos entre diferentes dispositivos y sistemas, facilitando la integración y el control eficientes de procesos industriales. Modbus, en particular, es una excelente opción debido a su simplicidad, compatibilidad y versatilidad, lo que lo convierte en una solución robusta y flexible para numerosas aplicaciones industriales.

**Modbus**

Modbus es un protocolo de comunicación abierto y muy común en el ámbito de la automatización industrial (AUMA Iberia, 2024). Originalmente desarrollado por Modicon (*Schneider Electric*), permite la comunicación entre dispositivos como PLCs, sensores, actuadores y sistemas de supervisión. Tal como se indicó antes, la transmisión de datos de las válvulas motorizadas se llevará a cabo mediante Modbus, utilizando el Configuration Builder y la tarjeta Prosoft MVI56E-MNETR

## Válvulas motorizadas

Las válvulas motorizadas indicada en la Figura 13 (Rotork, 2024), son dispositivos electromecánicos utilizados en sistemas de control de flujo, especialmente en aplicaciones industriales (Steinman et al., 2004). Estas válvulas brindan soluciones de automatización para una variedad de industrias, incluyendo petróleo, gas, energía, agua y aguas residuales, entre otras.

### Figura 13

*Válvula motorizada*



*Nota.* Adaptado de Rotork adds new features to the intelligent IQ3 Pro range [Fotografía], por ROTORK 2024, ROTORK (<https://www.rotork.com/en/media/latest-news/rotork-adds-new-features-to-the-intelligent-iq3-pro-range>)

Las válvulas motorizadas funcionan mediante la combinación de componentes eléctricos y mecánicos para controlar el flujo de líquidos o gases en una tubería o sistema. Estas válvulas pueden abrir o cerrar el flujo, así como regularlo en diferentes proporciones según las necesidades del proceso.

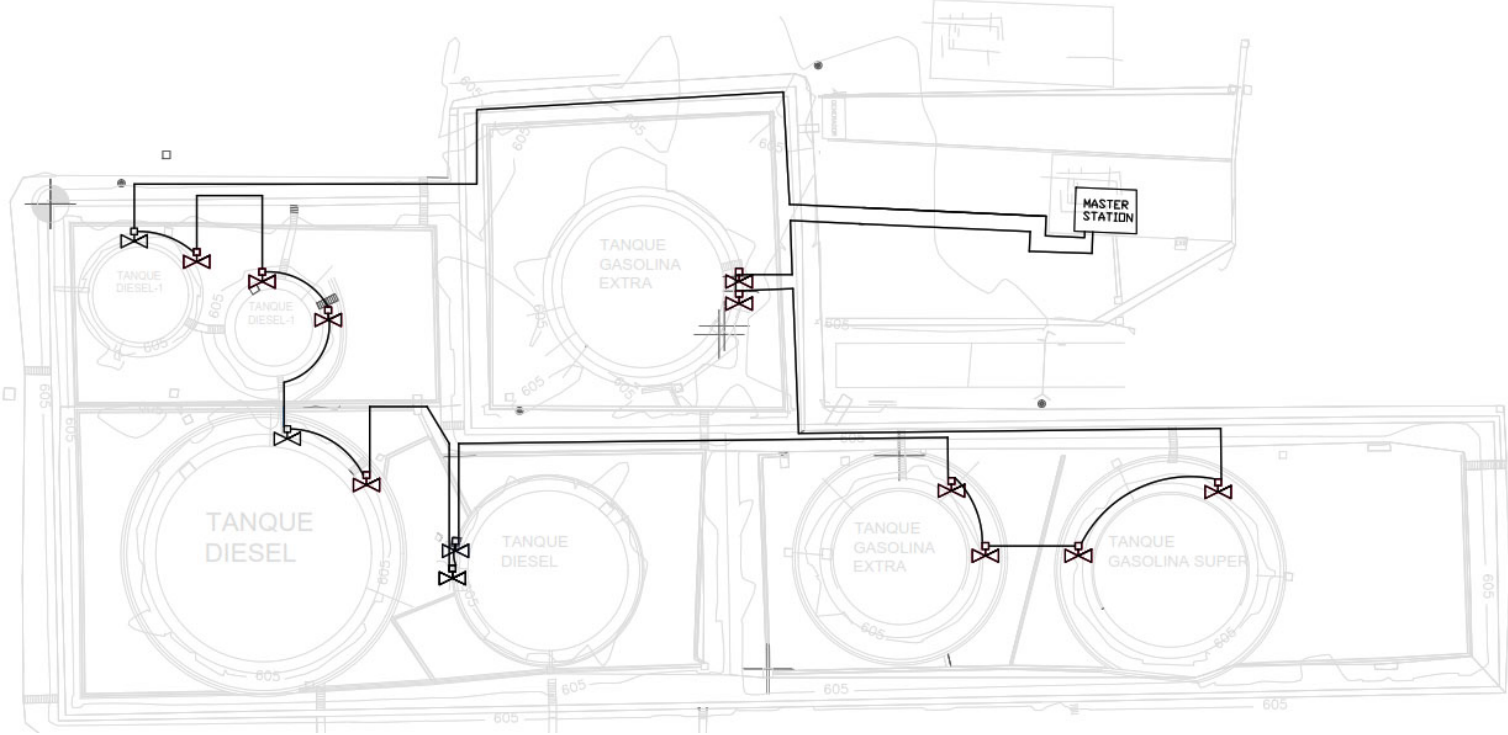
La elección de las válvulas motorizadas depende de diversos factores, como el tipo de fluido que se está controlando, la presión y temperatura del sistema, así como los requisitos de automatización y control del proceso. Estas válvulas suelen ser parte integral de sistemas más grandes de automatización y control industrial.

La mayoría de las válvulas motorizadas utilizan un protocolo propietario que permite el control remoto de actuadores y válvulas mediante un par de cables trenzados. Este protocolo incorpora redundancia automática en la red de campo, asegurando el control incluso en caso de fallos en los equipos o en el cableado (ROTORK, 2024)

El protocolo propietario suele tener la capacidad de controlar hasta 240 actuadores y otros dispositivos de campo, agrupándolos en un Tablero (master station). El cable de datos de campo puede alcanzar una longitud de hasta 20 km, lo que permite incorporar fácilmente numerosas válvulas motorizadas distantes a la red sin necesidad de repetidores, a continuación, en la Figura 14, se indica la red entre los 7 tanques y la estación master (Rotork, 2024).

**Figura 14**

*Red entre válvulas motorizadas*



*Nota.* La figura representa la red de *válvulas motorizadas* entre los tanques de almacenamiento de un terminal de productos limpios



Las señales de las válvulas motorizadas pueden integrarse mediante comunicación utilizando la tabla Modbus proporcionada por cada fabricante. En las Figura 15 y 16 se muestra una tabla Modbus de una válvula motorizada (Rotork, n.d.).

**Figura 15**

*Tabla Modbus Entradas digitales*

Block 2 – Digital Input Block (accessed with Modbus function code 02, 03 or 04)										Register Location			
Parameter 0	RO	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	1216	1217	-	1275
										Discrete Location			
Bit 0	RO	AUX 1	R (AUX1*)	DIN 1	R	R	AUX 1	R	R	1920	1936	-	2864
Bit 1	RO	AUX 2	R (AUX2*)	DIN 2	R	BAKPWR	AUX 2	R	R	1921	1937	-	2865
Bit 2	RO	OAS	OAS	DIN 3	OAS	OAS	OAS	OAS	R	1922	1938	-	2866
Bit 3	RO	CAS	CAS	DIN 4	CAS	CAS	CAS	CAS	R	1923	1939	-	2867
Bit 4	RO	STOP	STOP	DIN 5	STOP	STOP	STOP	R	R	1924	1940	-	2868
Bit 5	RO	MOVE	MRUN	DIN 6	MRUN	MOVE	Travelling	MOVE	R	1925	1941	-	2869
Bit 6	RO	MRO	MRO	DIN 7	MRO	TRO	TRO	R	R	1926	1942	-	2870
Bit 7	RO	MRC	MRC	DIN 8	MRC	TRC	TRC	R	R	1927	1943	-	2871
Bit 8	RO	AUX 3	EXT (AUX3*)	R	EXT	R	AUX 3	R	R	1928	1944	-	2872
Bit 9	RO	AUX 4	R (AUX4*)	R	R	R	AUX 4	R	R	1929	1945	-	2873
Bit 10	RO	LBON	LBON	LBON	LBON	LBON	LBON	LBON	LBON	1930	1946	-	2874
Bit 11	RO	NALRM	NALRM	NALRM	NALRM	NALRM	NALRM	NALRM	NALRM	1931	1947	-	2875
Bit 12	RO	ALRM	ALRM	ALRM	ALRM	ALRM	ALRM	ALRM	ALRM	1932	1948	-	2876
Bit 13	RO	BATT	R	R	R	BAKBATT	R	R	R	1933	1949	-	2877
Bit 14	RO	Remote **	R	R	R	R	R	R	R	1934	1950	-	2878
Bit 15	RO	R	R	R	R	R	R	R	R	1935	1951	-	2879
										Register Location			
Parameter 1 - 7	-	R	R	R	R	R	R	R	R	1276	1277	-	1695

Key to Digital Input Labels:  
 AUX 1-4 - Aux Input 1-4  
 OAS - Open limit switch  
 CAS - Close limit switch  
 STOP - Actuator stopped in mid travel  
 MOVE - IQ/IQT valve moving  
 MRUN - Motor running  
 MRO - Motor running open direction  
 MRC - Motor running close direction  
 Travelling - Actuator moving  
 BAKPWR - Under battery back-up power  
 Notes: (AUXn\*) ROMpak only, \*\* IQ3 only

TRO - Travelling open direction  
 TRC - Travelling close direction  
 DIN 1 to 8 - Digital inputs 1 to 8  
 EXT - External contact input  
 LBON - Loopback on  
 NALM - New alarm flag  
 ALARM - Any alarm present on this FCU  
 BATT - Battery Low Indication  
 Remote - remote selected  
 BAKBATT - Back-up battery low indication

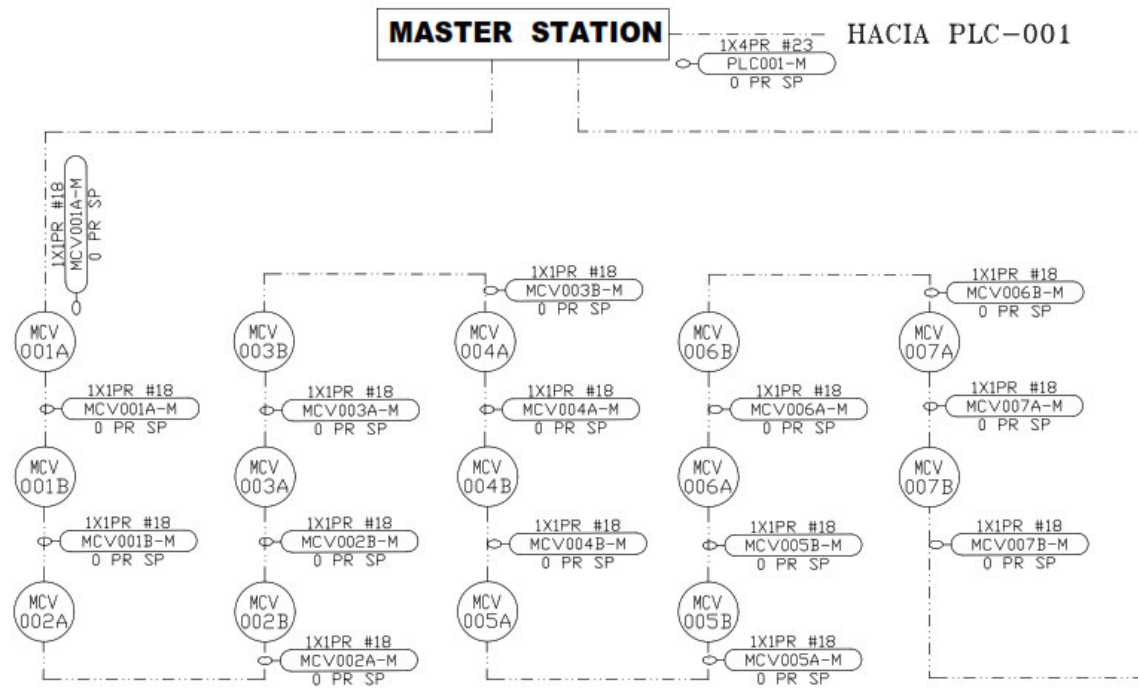
Note: When using the GPFCU (GP) for pump control the following arrangement is used:  
 DIN1 - Represents Monitor2  
 DIN2 - Represents Monitor3  
 DIN3 - Represents Motor Running  
 DIN4 - Not assigned  
 DIN5 - Represents Motor Stopped  
 DIN6 - Represents Monitor1  
 DIN7 & 8 - Not assigned  
 all other allocations are unchanged

Generic and Honeywell EPLCG Protocols

*Nota.* Adaptado de Rotork Modbus RTU Serial and TCP/IP Communication Specification for Pakscan P3 and P3F Master Station [Fotografía], por ROTORK, ROTORK ([https://www.rotork.com/uploads/documents-versions/20213/1/pub059-003-00\\_0115.pdf](https://www.rotork.com/uploads/documents-versions/20213/1/pub059-003-00_0115.pdf))



**Figura 17**  
*Arquitectura*



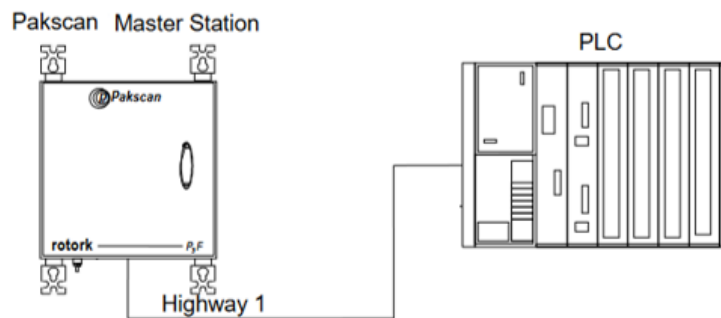
*Nota.* La figura representa la arquitectura de la propuesta

Se propone establecer una comunicación desde la estación principal (Master station) para transmitir las señales de las válvulas motorizadas y así integrarlas al PLC a través de una tarjeta de comunicación Prosoft MVI56E-MNETR. Esto permitirá una visualización final en el HMI del cuarto de control, brindando una solución completa y eficiente, Figura 18

Es importante destacar que se ha optado por realizar la integración mediante comunicación en lugar de cableado en duro, debido a la considerable reducción de recursos necesarios. Por ejemplo, en el caso del cableado en duro, sería necesario realizar al menos dos corridas de cable desde cada válvula motorizada para transmitir las señales digitales y analógicas. Además, se requeriría la instalación de una o dos cajas de conexión para agrupar estas señales, desde donde se enviarían mediante cableado multiconductor y pares de conductores hacia el PLC para su conexión a las tarjetas existentes, siempre y cuando haya disponibilidad. En caso contrario, sería necesario añadir tarjetas adicionales o, en el peor de los casos, instalar un nuevo PLC o RIO. Por estas razones, se ha seleccionado la opción de comunicación, que se reduce a un solo cable y una tarjeta adicional en el PLC

### Figura 18

*Comunicación entre Master Station y PLC*



*Nota.* La figura representa la comunicación entre la Master Station y el PLC

Para la comunicación entre la Master station y el PLC, se propone utilizar un cable armado de 4 pares trenzados (4PR) de calibre 23 AWG de la marca Belden Modelo 121872A indicado en la Figura 19 (Belden, 2024). Este cable ingresará al Tablero del PLC para conectarse a la tarjeta ProSoft MVI56E-MNETR, que será responsable de gestionar la comunicación.

La tarjeta ProSoft MVI56E-MNETR permitirá la comunicación mediante el protocolo Modbus TCP/IP, facilitando la adquisición de datos de las válvulas motorizadas. Este protocolo será utilizado para leer y escribir datos en las válvulas motorizadas, garantizando una transmisión eficiente y confiable de la información necesaria para el control y monitoreo del sistema

**Figura 19**

*Cable marca Belden modelo 121872A*

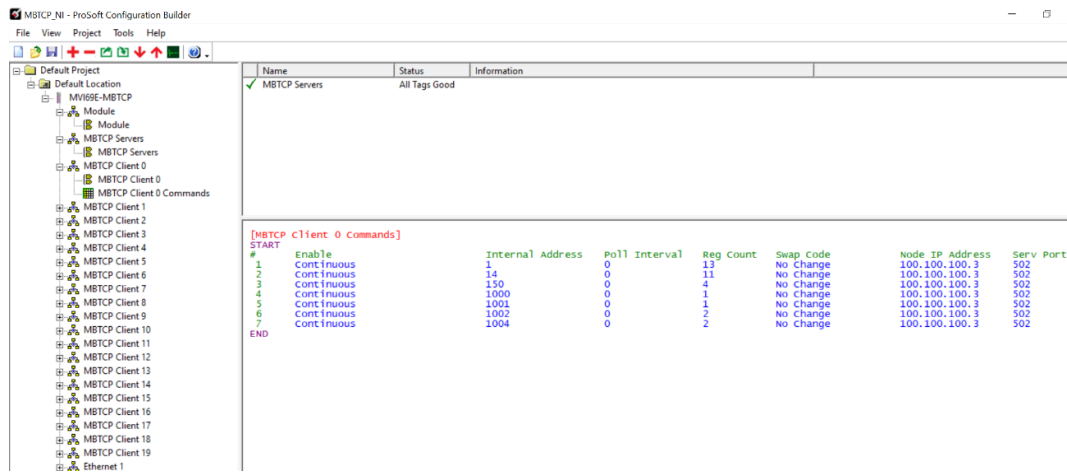


*Nota.* Adaptado de *Belden /Products / Cables* [Fotografía], por BELDEN 2024, BELDEN (<https://www.belden.com/products/Cable/Ethernet-Cable/Category-6-Cable/121872A>)

Se debe configura la tarjeta Prosoft MVI56E-MNETR, para leer los registros desde la master station de las válvulas motorizadas en el controlador, a continuación, en la Figura 20 se indica parte de la configuración de la tarjeta mediante el programa Prosoft Configuration Builder

**Figura 20**

*Configuración de tarjeta*



*Nota.* La figura representa la configuración de la tarjeta Prosoft MVI56E-MNETR

Las señales digitales que se van a utilizar en las válvulas motorizadas de ingreso y despacho de tanques de almacenamiento se indican en la Tabla 10

**Tabla 10**

*Señales Digitales de válvulas motorizadas (MCV)*

<b>BIT</b>	<b>SEÑAL</b>	<b>ABREVIACION</b>	<b>REGISTRO</b>	<b>TAG</b>
2	ESTADO ABIERTO DE VALVULA MOTORIZADA	OAS		MCV-01A/ MCV-01B / MCV-02A/ MCV-02B / MCV-03A/ MCV-03B / MCV-04A/ MCV-04B / MCV-05A/ MCV-05B / MCV-06A/ MCV-06B / MCV-07A/ MCV-07B /
3	ESTADO CERRADO DE VALVULA MOTORIZADA	CAS	1216 / 1217 / 1218 / 1219 / 1220 / 1221 / 1222 / 1223 / 1224 / 1225 / 1226 / 1227 / 1228 / 1229	
6	VALVULA EN MOVIMIENTO DIRECCION APERTURA	MRO		
7	VALVULA EN MOVIMIENTO DIRECCION DE CIERRE	MRC		

Las señales de alarma que se van a utilizar en las válvulas motorizadas de ingreso y despacho a tanques de almacenamiento se indican en la Tabla 11

**Tabla 11**

*Señales de alarma de válvulas motorizadas (MCV)*

BIT	SEÑAL	ABREVIACION	REGISTRO	TAG
0	FALLA DE MEMORIA RAM/ROM	MEMF	1696 / 1697 / 1698 / 1699 / 1700 / 1701 / 1702 / 1703 / 1704 / 1705 / 1706 / 1707 / 1708 / 1709	MCV-01A/ MCV-01B / MCV-02A/ MCV-02B / MCV-03A/ MCV-03B / MCV-04A/ MCV-04B / MCV-05A/ MCV-05B / MCV-06A/ MCV-06B / MCV-07A/ MCV-07B /
1	FALLA DE COMUNICACIÓN	COMMS		
2	TRIP DE TERMOSTATO	THERM		

Las señales de entradas analógicas que se van a utilizar en las válvulas motorizadas de ingreso y despacho de los tanques de almacenamiento se indican en la Tabla 12

**Tabla 12**

*Señales analógicas de válvulas motorizadas (MCV)*

SEÑAL	RANGO	REGISTRO	TAG
POSICIÓN DE ELECTROVÁLVULA	0-100%	2176 / 2177 / 2178 / 2179 / 2180 / 2181 / 2182 /2183 /2184 / 2185 /2186 /2187 /2188 /2189	MCV-01A/ MCV-01B / MCV-02A/ MCV-02B / MCV-03A/ MCV-03B / MCV-04A/ MCV-04B / MCV-05A/ MCV-05B / MCV-06A/ MCV-06B / MCV-07A/ MCV-07B

Las señales de salidas digitales que se van a utilizar en las válvulas motorizadas de ingreso y despacho de los tanques de almacenamiento se indican en la Tabla 13

**Tabla 13**

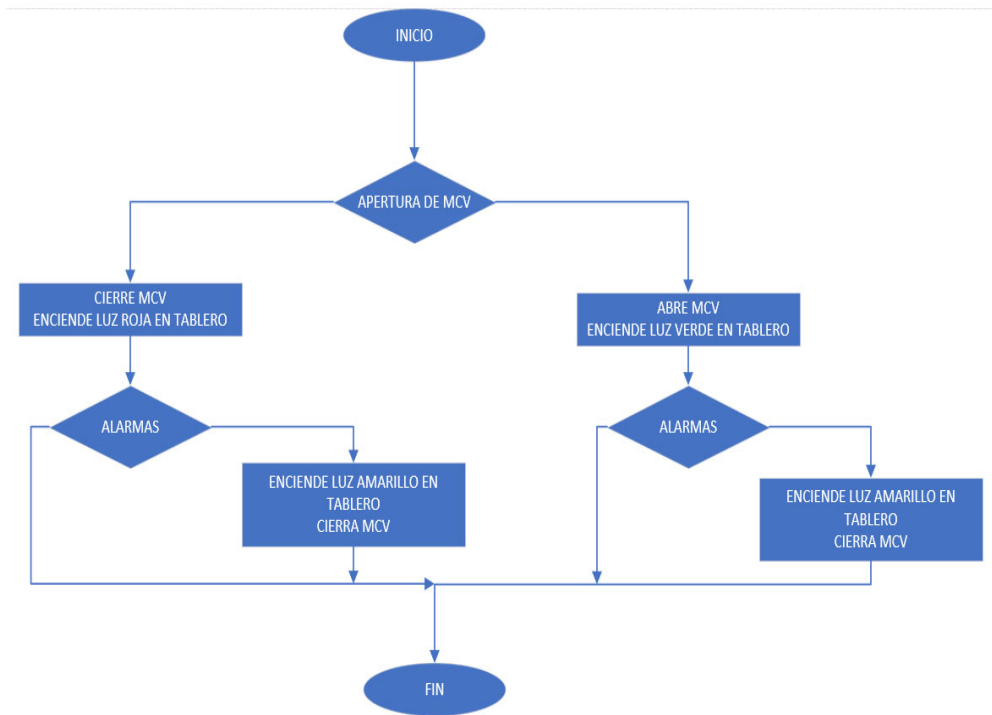
*Señales digitales de válvulas motorizadas (MCV)*

COMANDO	REGISTRO	TAG
APERTURA	3196 / 3197 / 3198 / 3199 / 3200 / 3201 / 3202 / 3203 / 3204 / 3205 / 3206 / 3207 / 3208 / 3209	MCV-01A/ MCV-01B / MCV-02A/ MCV-02B / MCV-03A/ MCV-03B / MCV-04A/ MCV-04B / MCV-05A/ MCV-05B / MCV-06A/ MCV-06B / MCV-07A/ MCV-07B /
CIERRE	3316 / 3317 / 3318 / 3319 / 3320 / 3321 / 3322 / 3323 / 3324 / 3325 / 3326 / 3327 / 3328 / 3329	MCV-01A/ MCV-01B / MCV-02A/ MCV-02B / MCV-03A/ MCV-03B / MCV-04A/ MCV-04B / MCV-05A/ MCV-05B / MCV-06A/ MCV-06B / MCV-07A/ MCV-07B /

La lógica de programación para el procesamiento de los datos obtenidos de las válvulas motorizadas se implementa a través del software Logix Designer. En la Figura 21 se muestra el diagrama de flujo

**Figura 21**

*Diagrama de flujo*



*Nota.* La figura representa el diagrama de flujo para el desarrollo de la programación



## **Llenado de tanques**

A continuación, se describe el procedimiento ideal para el llenado de tanques, tanto en modo automático como manual:

### **1. Inicio del Proceso:**

- El proceso comienza con el primer tanque.

### **2. Llenado del Primer Tanque:**

- Cuando el nivel del primer tanque alcance el 20% de su capacidad, se abrirá la válvula motorizada de ingreso del primer tanque.
- La válvula permanecerá abierta hasta que el nivel del tanque llegue al 80%.

### **3. Transición al Segundo Tanque:**

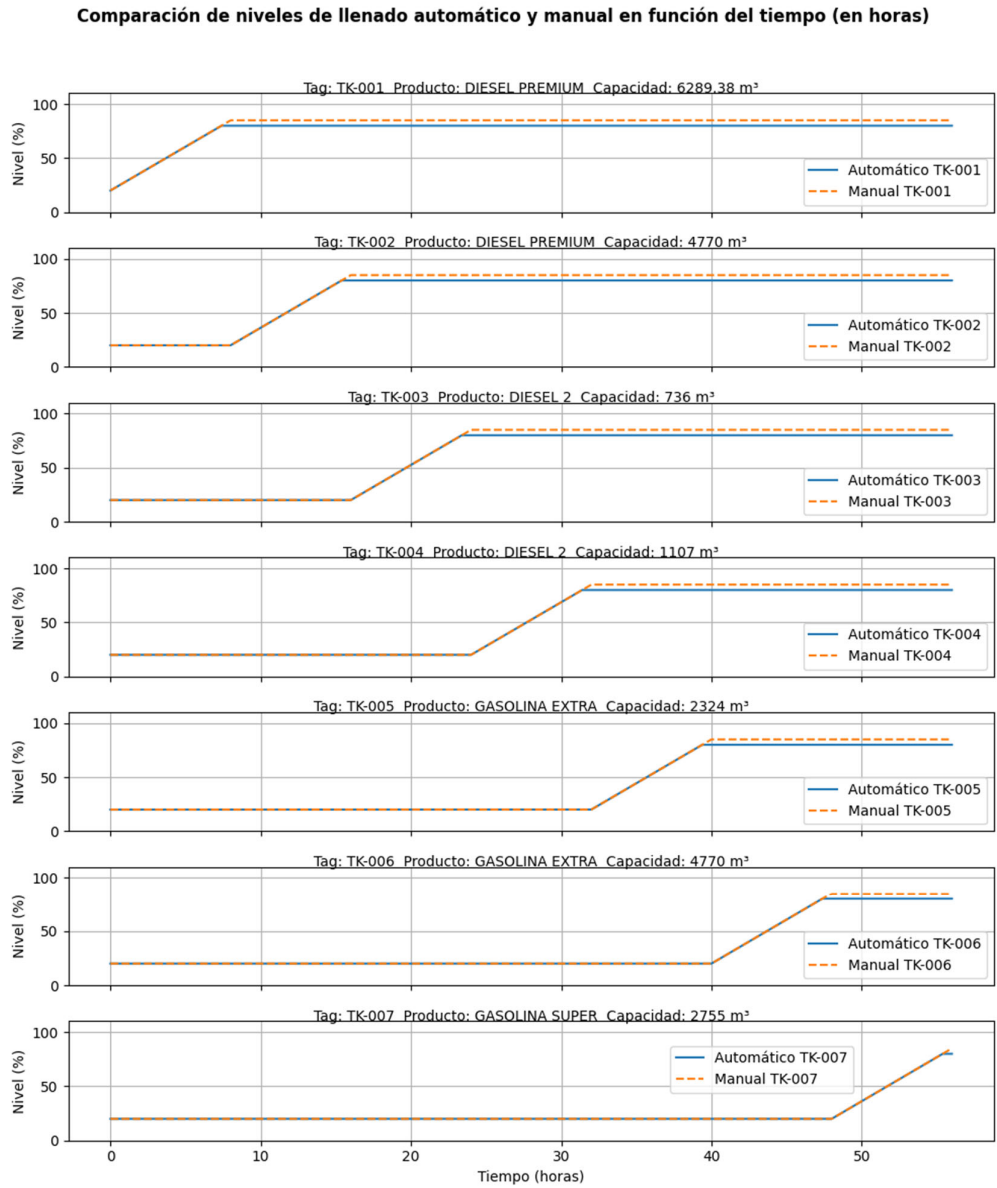
- Una vez que el primer tanque alcance el 80%, se cerrará la válvula motorizada de ingreso del primer tanque.
- Simultáneamente, se abrirá la válvula motorizada de ingreso del segundo tanque.

### **4. Proceso Repetitivo:**

- Este procedimiento se repetirá en cada tanque subsecuente, siguiendo el mismo patrón de llenado y transición. En la Figura 22 se muestran las curvas de llenado tanto en modo manual como automático en función del nivel y el tiempo. Se observa que el modo manual requiere un tiempo mayor para ejecutar la apertura o cierre de las válvulas motorizadas en comparación con el modo automático.

**Figura 22**

*Curvas de llenado de tanques*



*Nota.* La figura representa las curvas de llenados de tanques generado en Phytton

De acuerdo con la figura 22, es posible determinar el tiempo necesario para que la bomba booster de ingreso llene los 7 tanques, tanto en modo automático como manual. A continuación, se detalla esta información.

### Llenado automático

Se considera que cada tanque comienza a llenarse desde el 20% de su capacidad y se llena hasta el 80%

#### Volumen a llenar por tanque en modo automático

$$V_{auto}(i) = Vi * (0.80 - 0.20) = Vi * 60$$

#### Tiempo para llenar un tanque (q=caudal)

$$T_{auto}(i) = \frac{V_{auto}(i)}{q} = \frac{Vi * 60}{q}$$

Tiempo total que la bomba estará encendida en modo automático para los 7 tanques

$$T_{bomba\_auto} = \sum_{i=1}^7 T_{auto}(i) = \sum_{i=1}^7 \frac{Vi * 60}{q}$$

$$T_{bomba\_auto} = \frac{0.60}{q} \sum_{i=1}^7 Vi$$

### Llenado manual

Se considera que cada tanque comienza a llenarse desde el 15% de su capacidad y se llena hasta el 85%

#### Volumen a llenar por tanque en modo manual

$$V_{manual}(i) = Vi * (0.85 - 0.15) = Vi * 70$$

#### Tiempo para llenar un tanque

$$T_{manual}(i) = \frac{V_{manual}(i)}{q} = \frac{Vi * 70}{q}$$

Tiempo total que la bomba estará encendida en modo manual para los 7 tanques

$$T_{bomba\_manual} = \sum_{i=1}^7 T_{manual}(i) = \sum_{i=1}^7 \frac{Vi * 70}{q}$$

$$T_{bomba\_manual} = \frac{0.70}{q} \sum_{i=1}^7 Vi$$

Como resultado, se obtienen las siguientes ecuaciones para determinar el tiempo de llenado en modo automático y manual

**Ecuación del tiempo de llenado en modo automático:**

$$T_{bomba\_auto} = \frac{0.60}{q} \sum_{i=1}^7 V_i$$

**Ecuación del tiempo de llenado en modo manual:**

$$T_{bomba\_manual} = \frac{0.70}{q} \sum_{i=1}^7 V_i$$

Estas ecuaciones permitirán calcular el tiempo total durante el cual la bomba estará en funcionamiento en ambos modos de operación, teniendo en cuenta el volumen de los tanques y el caudal de la bomba. Se observa que el tiempo en el modo manual será mayor, debido al mayor porcentaje de volumen que se llena en cada tanque

A continuación, se indican los datos del proceso para el cálculo del tiempo de llenado para cada caso

**Datos:**

**Caudal:**  $q = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$

**Volúmenes de tanques:**

$$V_1 = 6289.38 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 4770 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 736 \text{ m}^3$$

$$V_4 = 1107 \text{ m}^3$$

$$V_5 = 2324 \text{ m}^3$$

$$V_6 = 4770 \text{ m}^3$$

$$V_7 = 2755 \text{ m}^3$$

**Llenado automático**

$$T_{bomba\_auto} = \frac{0.60}{q} \sum_{i=1}^7 V_i$$

$$T_{bomba\_auto} = \frac{0.60}{1000} * (6289.38 + 4770 + 736 + 1107 + 2324 + 4770 + 2755)$$

$$T_{bomba\_auto} = \frac{0.60}{1000} * 22751.38$$

$$T_{bomba\_auto} \approx 13.6508 \text{ horas}$$

### Llenado manual

$$T_{bomba\_manual} = \frac{0.70}{q} \sum_{i=1}^7 V_i$$

$$T_{bomba\_manual}$$

$$= \frac{0.70}{1000} * (6289.38 + 4770 + 736 + 1107 + 2324 + 4770 + 2755)$$

$$T_{bomba\_manual} = \frac{0.70}{1000} * 22751.38$$

$$T_{bomba\_manual} \approx 15.926 \text{ horas}$$

El modo manual tomará más tiempo, aproximadamente 15.93 horas, mientras que el modo automático tomará alrededor de 13.65 horas para completar el llenado de los tanques. Por lo tanto, la bomba permanecerá encendida más tiempo en el modo manual.

Para comparar la energía consumida en los modos automático y manual, vamos a calcular la energía en kilovatios-hora (kWh) consumida en ambos escenarios.

#### Datos:

**Potencia de la bomba:** P= 500 HP

**Conversión de HP a kW:** 1HP=0.7457 kW

$$P_{kW} = 500 * 0.7457 = 372.85kW$$

$$T_{bomba\_auto} \approx 13.6508 \text{ horas}$$

$$T_{bomba\_manual} \approx 15.926 \text{ horas}$$

### **Energía consumida en modo automático**

$$E_{auto} = P_{kW} * T_{bomba\_auto} = 372.85 * 13.6508 \text{ kWh}$$

$$E_{auto} \approx 5086.64 \text{ kWh}$$

### **Energía consumida en modo manual**

$$E_{manual} = P_{kW} * T_{bomba\_manual} = 372.85 * 15.926 \text{ kWh}$$

$$E_{manual} \approx 5936.43 \text{ kWh}$$

El modo automático es más eficiente energéticamente, consumiendo menos energía (aproximadamente 5086.64 kWh) en comparación con el modo manual, que consume aproximadamente 5936.43 kWh. Esto demuestra que el modo automático es más eficiente, ahorrando aproximadamente 849.79 kWh

### **Descarga de tanques**

A continuación, se describe el procedimiento ideal para la descarga de tanques, tanto en modo automático como manual:

#### **1. Inicio del Proceso:**

- El proceso comienza con el primer tanque.

#### **2. Descarga del Primer Tanque:**

- Cuando el nivel del primer tanque alcance el 80% de su capacidad, se abrirá la válvula motorizada de descarga del primer tanque.
- La válvula permanecerá abierta hasta que el nivel del tanque llegue al 20%.

#### **3. Transición al Segundo Tanque:**

- Una vez que el primer tanque alcance el 20%, se cerrará la válvula motorizada de descarga del primer tanque.
- Simultáneamente, se abrirá la válvula motorizada de descarga del segundo tanque.

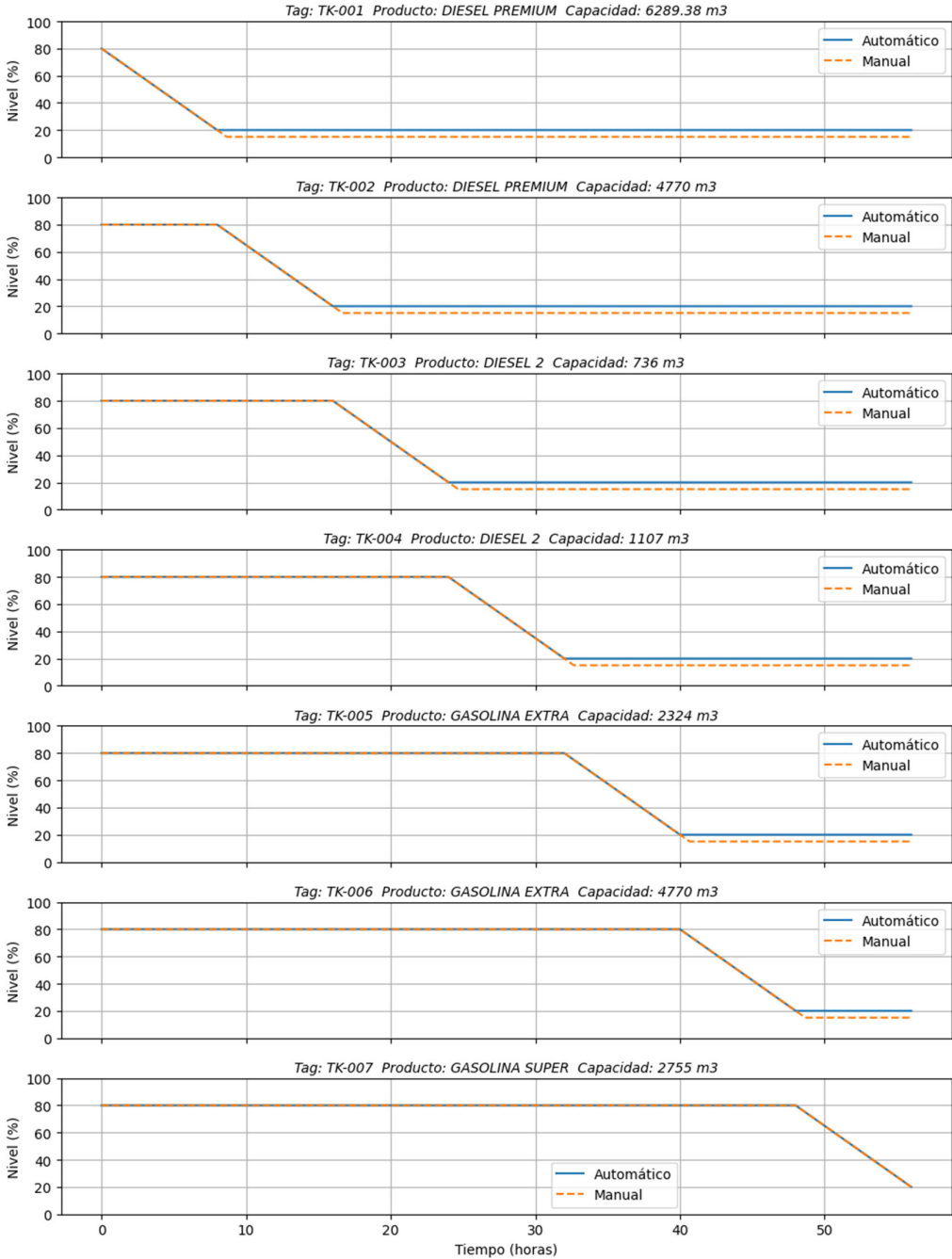
#### **4. Proceso Repetitivo:**

- Este procedimiento se repetirá en cada tanque subsecuente, siguiendo el mismo patrón de descarga y transición. En la Figura 23 se muestran las curvas de descarga tanto en modo manual como automático en función del nivel y el tiempo. Se observa que el modo manual requiere un tiempo mayor para ejecutar la apertura o cierre de las válvulas motorizadas en comparación con el modo automático.

**Figura 23**

*Curvas de descarga de tanques*

**Comparación de niveles de descarga automático y manual en función del tiempo (en horas)**



*Nota.* La figura representa las curvas de descarga de tanques generado en Phython



De acuerdo con la figura 23, es posible determinar el tiempo necesario para que la bomba de descarga vacíe los 7 tanques, tanto en modo automático como manual. A continuación, se detalla esta información con los siguientes datos:

**Datos:**

**Caudal:**  $q = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$

**Potencia de la bomba:**  $P = 500 \text{ HP}$

**Conversión de HP a kW:**  $1\text{HP} = 0.7457 \text{ Kw}$

$P_{kW} = 500 * 0.7457 = 372.85 \text{ kW}$

**Volúmenes de tanques**

$V_1 = 6289.38 \text{ m}^3$

$V_2 = 4770 \text{ m}^3$

$V_3 = 736 \text{ m}^3$

$V_4 = 1107 \text{ m}^3$

$V_5 = 2324 \text{ m}^3$

$V_6 = 4770 \text{ m}^3$

$V_7 = 2755 \text{ m}^3$

**Descarga automática**

Se considera que cada tanque comienza a descargar desde el 80% de su capacidad y se vacía hasta el 20%

**Volumen a descargar por tanque en modo automático**

$$V_{auto}(i) = V_i * (0.80 - 0.20) = V_i * 60$$

**Tiempo para descargar un tanque**

$$T_{auto}(i) = \frac{V_{auto}(i)}{q} = \frac{V_i * 60}{1500}$$

**Tiempo total que la bomba estará encendida en modo automático para los 7 tanques**

$$T_{bomba\_auto} = \sum_{i=1}^7 T_{auto}(i) = \sum_{i=1}^7 \frac{V_i * 60}{q}$$

$$T_{bomba\_auto} = \frac{0.60}{1500} \sum_{i=1}^7 V_i$$

$$T_{bomba\_auto} = \frac{0.60}{1500} * (6289.38 + 4770 + 736 + 1107 + 2324 + 4770 + 2755)$$

$$T_{bomba\_auto} = \frac{0.60}{1500} * 22751.38$$

$$T_{bomba\_auto} \approx 9.1006 \text{ horas}$$

### **Descarga manual**

Se considera que cada tanque comienza a descargar desde el 85% de su capacidad y se vacía hasta el 15%

### **Volumen a descargar por tanque en modo manual**

$$V_{auto}(i) = V_i * (0.85 - 0.15) = V_i * 70$$

### **Tiempo para descargar un tanque**

$$T_{auto}(i) = \frac{V_{auto}(i)}{q} = \frac{V_i * 70}{1500}$$

**Tiempo total que la bomba estará encendida en modo manual para los 7 tanques**

$$T_{bomba\_manual} = \sum_{i=1}^7 T_{auto}(i) = \sum_{i=1}^7 \frac{V_i * 70}{q}$$

$$T_{bomba\_manual} = \frac{0.60}{1500} \sum_{i=1}^7 V_i$$

$$T_{bomba\_manual} = \frac{0.70}{1500} * (6289.38 + 4770 + 736 + 1107 + 2324 + 4770 + 2755)$$

$$T_{bomba\_manual} = \frac{0.70}{1500} * 22751.38$$

$$T_{bomba\_auto} \approx 10.6173 \text{ horas}$$

### **Energía consumida**

#### **Energía consumida en modo automático**

$$E_{auto} = P_{kW} * T_{bomba\_auto} = 372.85 * 9.1006 \text{ kWh}$$

$$E_{auto} \approx 3394.55 \text{ kWh}$$

#### **Energía consumida en modo manual**

$$E_{manual} = P_{kW} * T_{bomba\_manual} = 372.85 * 10.6173 \text{ kWh}$$

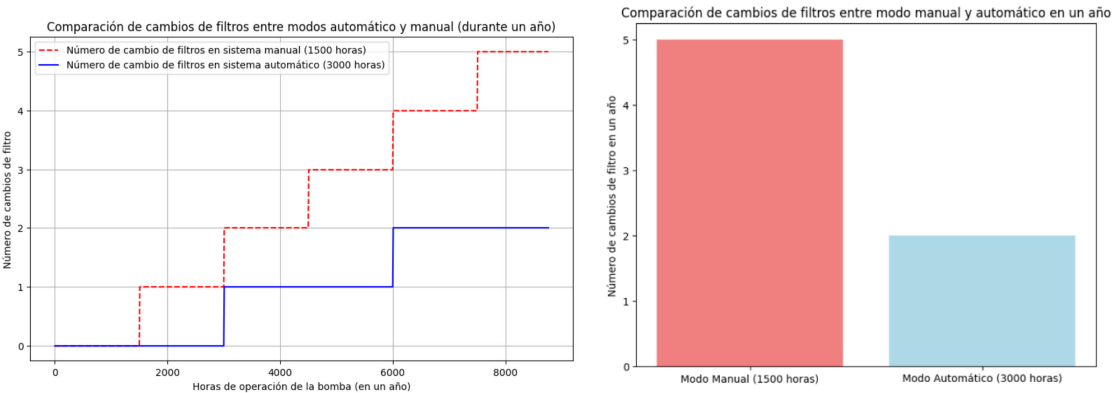
$$E_{manual} \approx 3961.77 \text{ kWh}$$

El modo automático es más eficiente energéticamente, consumiendo menos energía (aproximadamente 3394.55 kWh) en comparación con el modo manual, que consume aproximadamente 3961.77 kWh. Esto demuestra que el modo automático es más eficiente, ahorrando aproximadamente 567.22 kWh

Un objetivo adicional de mantener un set de bajo nivel es reducir la entrada de elementos ajenos que puedan afectar la vida útil de los filtros instalados en la tubería de succión y en la bomba. Estos filtros suelen cambiarse cada 3000 horas, utilizando válvulas motorizadas de forma manual, que se ajustan un poco por debajo del set. Sin embargo, el sistema automático asegura que el nivel bajo se mantenga siempre en un mínimo del 20%. De este modo, se minimiza la entrada de contaminantes a los filtros, lo que prolonga su vida útil y permite realizar el cambio cada 5000 horas. A continuación, en la Figura 24 se representa el cambio anual de filtros en un sistema de válvulas motorizadas, tanto en su versión sin automatizar como en la automatizada.

**Figura 24**

*Comparación de cambios de filtros entre modo automático y manual (durante un año)*



*Nota.* La figura representa el cambio anual de filtros en un sistema de válvulas motorizadas de descarga de tanques automático y manual generado en Phytton

Como se muestra en la Figura 24, en un sistema de válvulas motorizadas con apertura y cierre manual en la descarga de tanques, el cambio de filtros se realiza 5 veces al año. En contraste, al implementar un sistema automático para la apertura y cierre, se reduce significativamente la entrada de sedimentos, logrando que el cambio de filtros se realice únicamente dos veces al año.

## SIMULACION

La simulación que refleja el entorno real se lleva a cabo en el programa Factory I/O. En esta simulación, se han dispuesto siete tanques de almacenamiento para productos limpios, junto con válvulas motorizadas para la entrada y salida en cada uno de ellos, así como un Tablero de control correspondiente a cada tanque. A continuación, en la Figura 25, se muestra el entorno mencionado.

### Figura 25

*Entorno de los tanques de almacenamiento*



*Nota.* La figura representa el entorno de los tanques de almacenamiento de productos limpios desarrollado en el software factory I/O

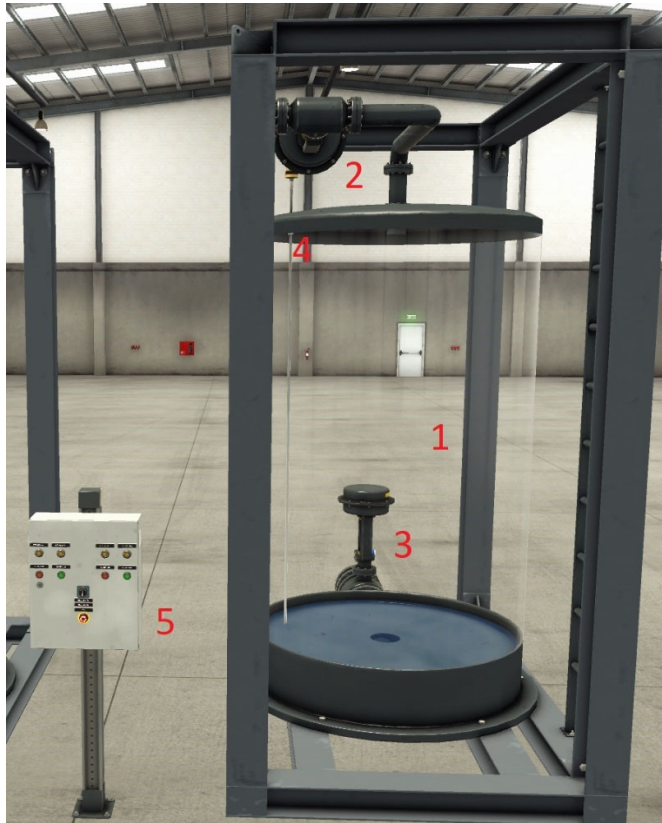
En la Figura 26 se presentan, de forma individual para cada tanque, los componentes que lo conforman, que son los siguientes:

- 1 Tanque de almacenamiento
- 2 Válvula motorizada de ingreso
- 3 Válvula motorizada de salida
- 4 Nivel del tanque

- 5 Tablero de control, que incluye luces indicativas de apertura y cierre, alarmas, un selector de modo automático o manual, y un botón de parada de emergencia.

### Figura 26

*Entorno de componentes para un tanque de almacenamiento*



*Nota.* La figura representa los componentes de cada tanque de almacenamiento de productos limpios en el software factory I/O

En la Figura 27 se presentan las opciones disponibles en el Tablero de control para cada tanque, que incluyen lo siguiente:

- Dos luces indicativas de color amarillo para señalar fallas en la válvula motorizada de ingreso de producto.
- Dos luces indicativas de color amarillo para señalar fallas en la válvula de descarga de producto.
- Luz indicativa de color verde que indica que la válvula motorizada de ingreso de producto está en posición abierta.

- Luz indicativa de color rojo que indica que la válvula motorizada de ingreso de producto está en posición cerrada.
- Luz indicativa de color verde que señala que la válvula motorizada de despacho de producto está en posición abierta.
- Luz indicativa de color rojo que señala que la válvula motorizada de despacho de producto está en posición cerrada.
- Selector de modo manual o automático.
- Botón de paro de emergencia.

**Figura 27**

*Tablero de control de tanque de almacenamiento*



*Nota.* La figura representa las opciones que dispone el Tablero de control de un tanque de almacenamiento en el software factory I/O

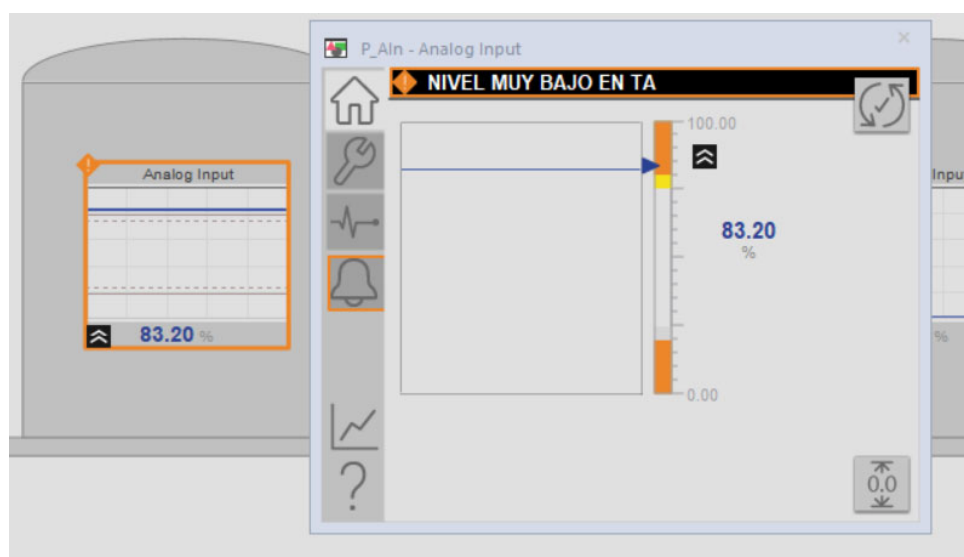
## PROGRAMACION Y HMI

La programación y la interfaz hombre-máquina (HMI) se han desarrollado utilizando las plataformas de Rockwell Automation, específicamente Studio 5000 para la programación y FactoryTalk View para el HMI. Este desarrollo sigue las recomendaciones de la ISA 101, incorporando el uso de PlantPax.

A continuación, en la Figura 28, se presenta el faceplate para entradas analógicas proporcionado por PlantPax (P\_AIn). Este faceplate se ha configurado para la adquisición de datos sobre el nivel de los tanques de almacenamiento. En él, se puede observar el porcentaje del nivel del tanque en formato numérico, así como de manera gráfica en una barra y su tendencia en la mitad del tanque en el HMI principal.

**Figura 28**

*Faceplate P\_Ain de PlantPax*



*Nota.* La figura representa el faceplate para entradas analógicas que brinda PlantPax en el software FactoryTalk View

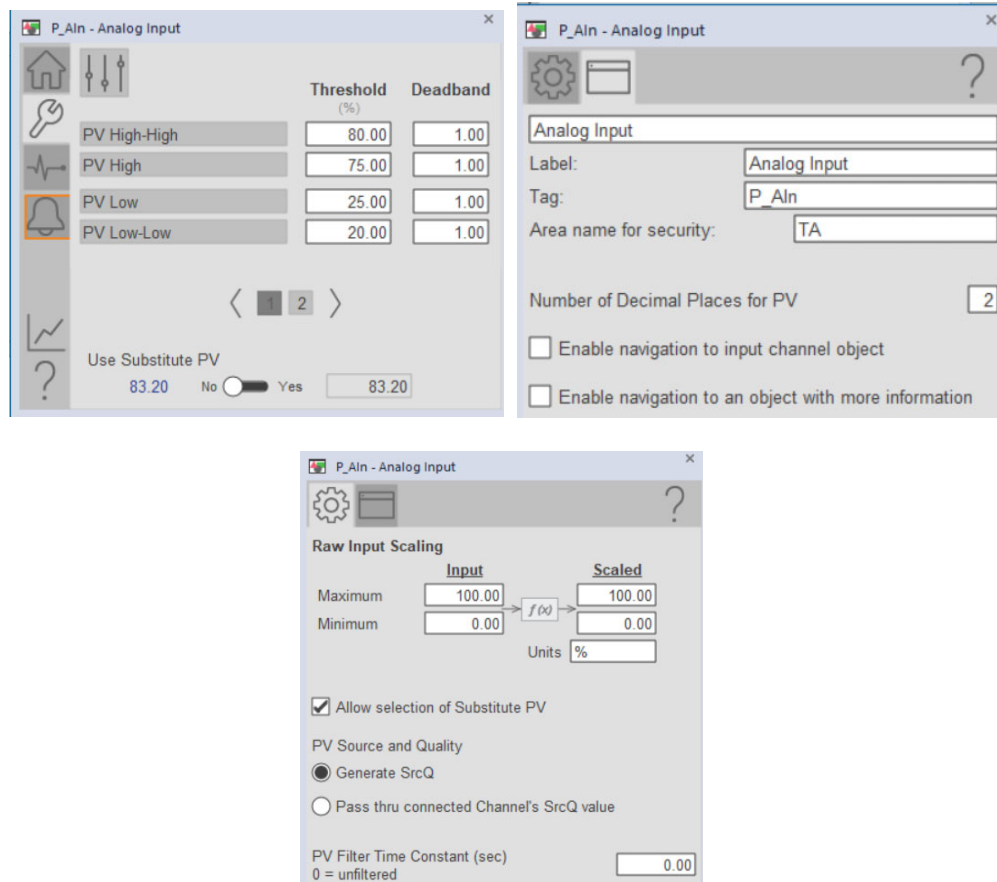
Dentro del faceplate, se incluye la opción de mantenimiento se observa en la Figura 29, que se utilizó para configurar los conjuntos de alarmas para los niveles de muy bajo, bajo, alto y muy alto. Es importante señalar que el rango de operación de los tanques es del 20 % al 80 %. En esos niveles, se envían señales para cerrar las válvulas motorizadas de ingreso y despacho, respectivamente. Además, se ha designado un área específica que



permite que solo el personal autorizado tenga acceso para realizar cambios. También se ha implementado un escalamiento del nivel de 0 % a 100 %.

**Figura 29**

*Configuración de faceplate de entradas analógicas*

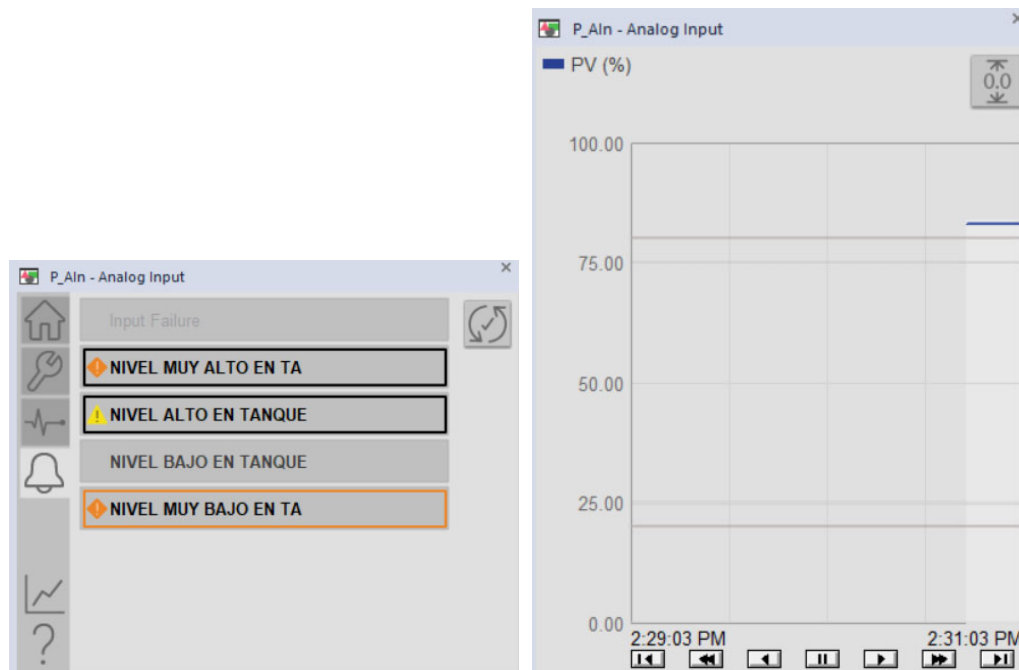


*Nota.* La figura representa la configuración realizada en el faceplate de entradas analógicas

En la Figura 30, se muestran las alarmas, junto con la opción de reconocerlas mediante un botón en la parte superior derecha. Además, se incluye un gráfico que muestra la tendencia del nivel.

**Figura 30**

*Faceplates de alarmas y tendencia en tiempo real*

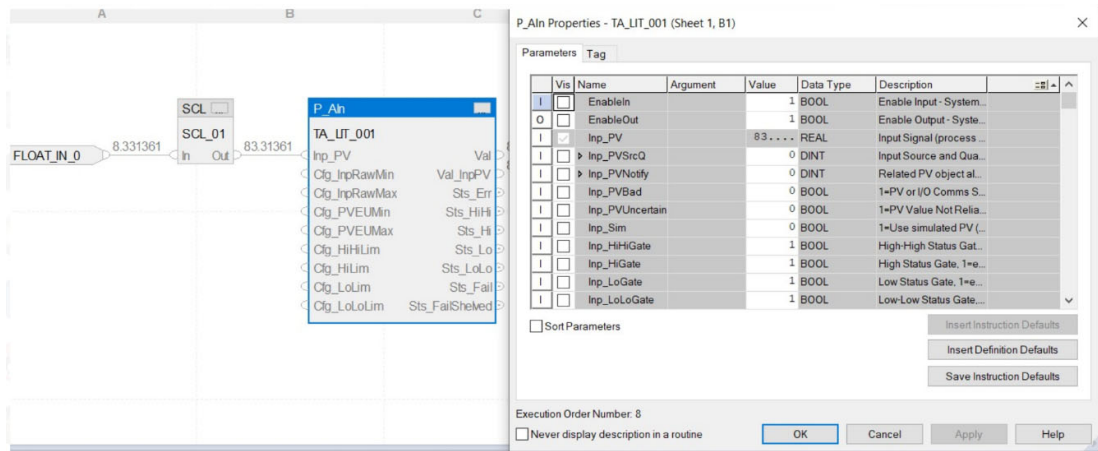


*Nota.* La figura representa las alarmas generadas y la tendencia en tiempo real del nivel del tanque

En la Figura 31 se indica el bloque para la configuración de entradas analógicas, el cual es utilizado para adquirir la señal de nivel proveniente del software Factory I/O. Esta señal, que varía de 0 a 10, se escala para proporcionar una visualización en el rango de 0 a 100.

**Figura 31**

*Configuración de entradas analógicas (nivel)*

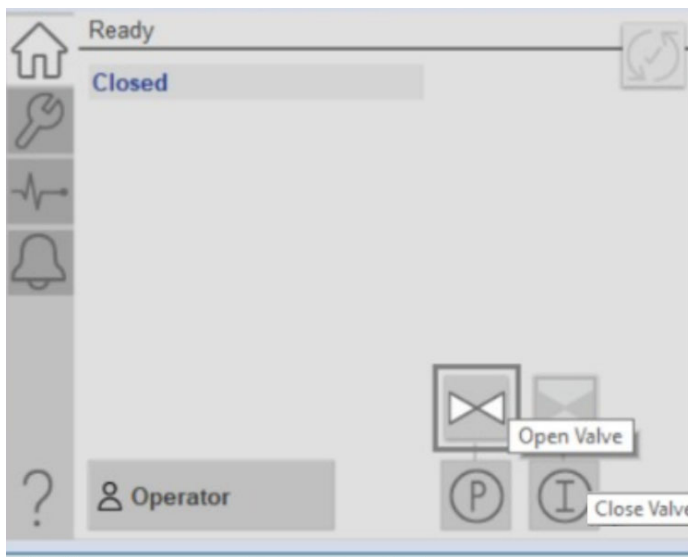


*Nota.* La figura representa los bloques de programación de la entrada analógica (nivel) de un tanque de almacenamiento de productos limpios

A continuación, en la Figura 32, se presenta el faceplate utilizado para las válvulas motorizadas P\_ValveSO. A través de este faceplate, el operador puede monitorear el estado de las válvulas y abrirlas o cerrarlas según sea necesario

**Figura 32**

*Faceplate de válvula motorizada*

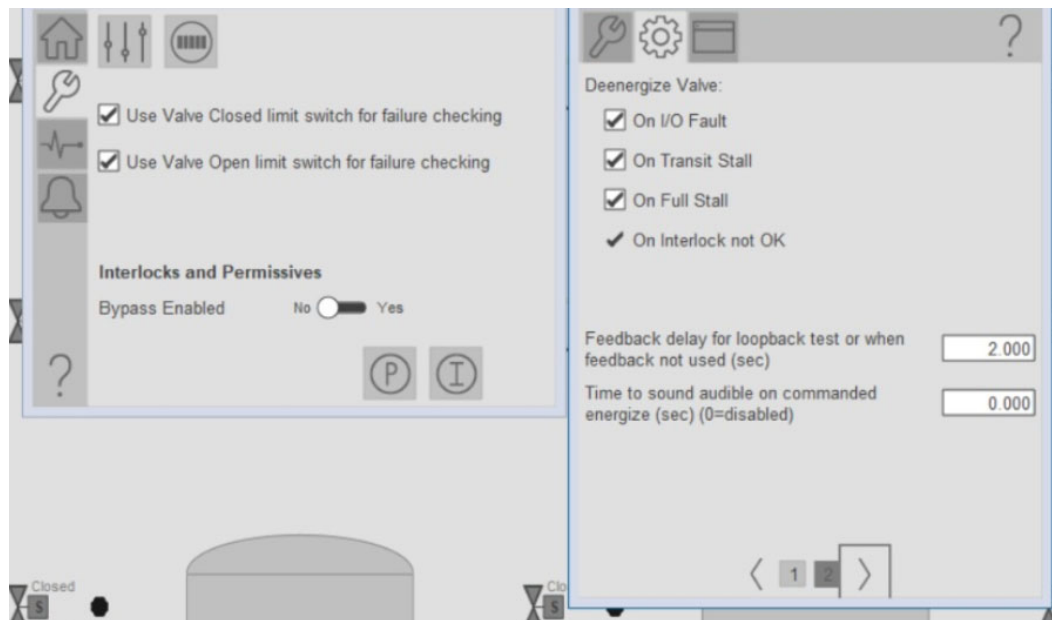


*Nota.* La figura representa el faceplate para válvulas motorizadas en PlantPax

En la Figura 33, se muestra la configuración realizada, que indica que la válvula motorizada cuenta con interruptores de posición, la opción para que el operador pueda realizar un reset en caso de una falla o alarma y las alarmas que se pueden generar

### Figura 33

*Faceplate con configuración para válvula motorizada*

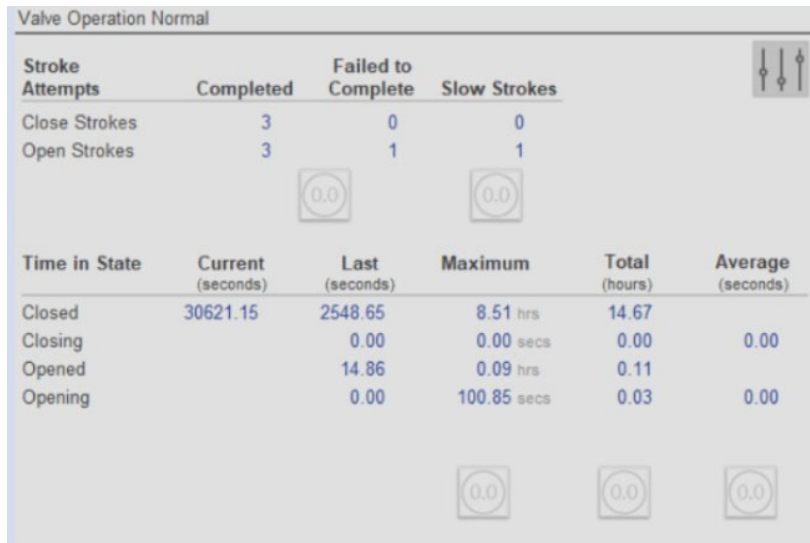


*Nota.* La figura representa el faceplate con configuración de parámetros para la válvula motorizada

A continuación, en la Figura 34, se presentan las estadísticas de la válvula, que incluyen el número de aperturas, el número de cierres, el número de aperturas o cierres fallidos, y el tiempo que permaneció abierta o cerrada. Estos datos son fundamentales para realizar un mantenimiento preventivo efectivo de las válvulas, garantizando su buen funcionamiento

**Figura 34**

*Estadísticas de funcionamiento de válvula motorizada*



The screenshot shows a table titled "Valve Operation Normal" with the following data:

Stroke Attempts	Completed	Failed to Complete	Slow Strokes
Close Strokes	3	0	0
Open Strokes	3	1	1

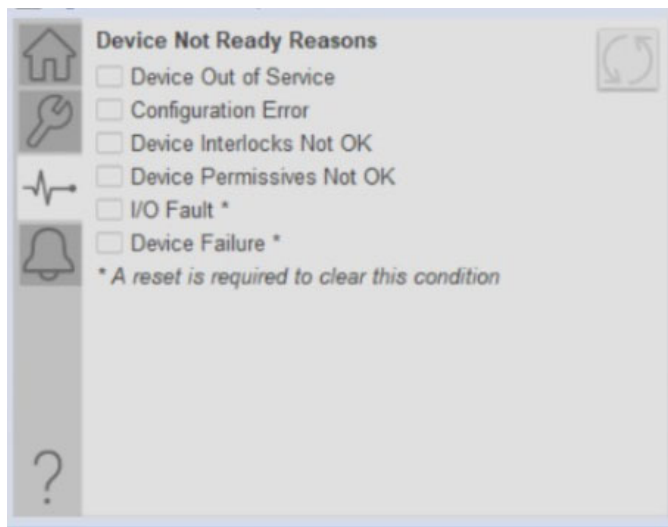
  

Time in State	Current (seconds)	Last (seconds)	Maximum	Total (hours)	Average (seconds)
Closed	30621.15	2548.65	8.51 hrs	14.67	
Closing		0.00	0.00 secs	0.00	0.00
Opened		14.86	0.09 hrs	0.11	
Opening		0.00	100.85 secs	0.03	0.00

*Nota.* La figura representa las estadísticas de funcionamiento de la válvula motorizada. Además, se dispone de un faceplate de diagnóstico, mostrado en la Figura 35, que presenta las fallas e interlocks necesarios para obtener el permiso de funcionamiento.

**Figura 35**

*Faceplate de diagnóstico de válvulas*

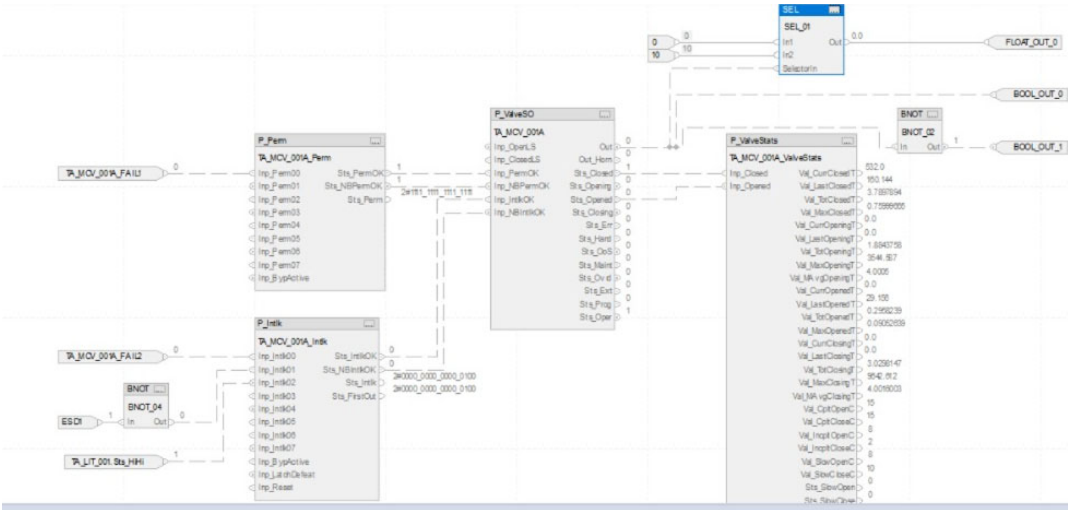


*Nota.* La figura representa los interlocks y fallas de la válvula motorizada.

En la Figura 36 se presenta el bloque disponible para la programación de válvulas motorizadas, donde se configuran las fallas e interlocks necesarios para otorgar el permiso de funcionamiento, así como la obtención de datos para estadísticas

**Figura 36**

*Configuración de parámetros de válvulas motorizadas*



*Nota.* La figura representa los bloques de programación para válvulas de PlantPax en Studio 5000

## RESULTADOS

Se ha implementado un sistema donde la apertura o cierre de las válvulas motorizadas se efectúa desde el cuarto de control. Esto elimina la necesidad de que el operador se desplace físicamente al lugar de acción. Como resultado, se reduce significativamente el tiempo necesario para llevar a cabo la operación en las válvulas motorizadas, en comparación con el tiempo que anteriormente requería el operador para desplazarse al sitio

Anteriormente, no se contaba con la capacidad de monitorear de forma remota el estado de las válvulas motorizadas, ya sea abiertas o cerradas. Sin embargo, gracias a la implementación del HMI en el cuarto de control, ahora es posible visualizar en todo momento la posición actual de cada válvula motorizada

La aplicación HMI, diseñada en base a la norma ANSI/ISA-101.01-2015, sigue las pautas recomendadas por dicha normativa en cuanto a la disposición de la información, el uso de colores, la presentación de alarmas y la navegación del sistema. Todo esto se logra gracias a la plataforma PlantPAX, diseñada específicamente para adherirse a los estándares de la industria y garantizar una experiencia óptima y conforme a las mejores prácticas en la interfaz de usuario

Se han añadido faceplates al HMI que muestran los datos estadísticos de las válvulas motorizadas, así como posibles fallas que antes el operador no podía visualizar de ninguna manera remotamente. Esta incorporación proporciona al operador una visión clara de la situación, lo que facilita la toma de decisiones informadas en tiempo real.

El control automático de apertura y cierre de las válvulas motorizadas en los tanques de almacenamiento genera un ahorro energético. Al permitir que las válvulas se abran y cierren con mayor rapidez, las bombas de ingreso y despacho funcionan durante menos tiempo, resultando en una reducción del consumo energético

En el llenado de producto en los siete tanques El modo automático es más eficiente energéticamente, consumiendo menos energía (aproximadamente 5086.64 kWh) en comparación con el modo manual, que consume aproximadamente 5936.43 kWh. Esto demuestra que el modo automático es más eficiente, ahorrando aproximadamente 849.79 kWh

En la descarga de producto en los siete tanques El modo automático es más eficiente energéticamente, consumiendo menos energía (aproximadamente 3394.55 kWh) en comparación con el modo manual, que consume aproximadamente 3961.77 kWh. Esto demuestra que el modo automático es más eficiente, ahorrando aproximadamente 567.22 kWh

En cuanto al mantenimiento, el cambio de filtros se ha reducido de cinco a dos veces al año, minimizando la entrada de sedimentos y prolongando la vida útil del sistema

En un sistema de válvulas motorizadas con apertura y cierre manual en la descarga de tanques resulta en un cambio de filtros cinco veces al año. Sin embargo, al adoptar un sistema automático para la apertura y cierre, se reduce drásticamente la entrada de sedimentos, basura permitiendo que el cambio de filtros se realice únicamente dos veces al año, lo que optimiza el mantenimiento y prolonga la vida útil del sistema.

En la Figura 37 se indica el entorno del proceso desarrollado en el software factory I/O

### **Figure 37**

*Entorno del proceso desarrollado en el software factory I/O*



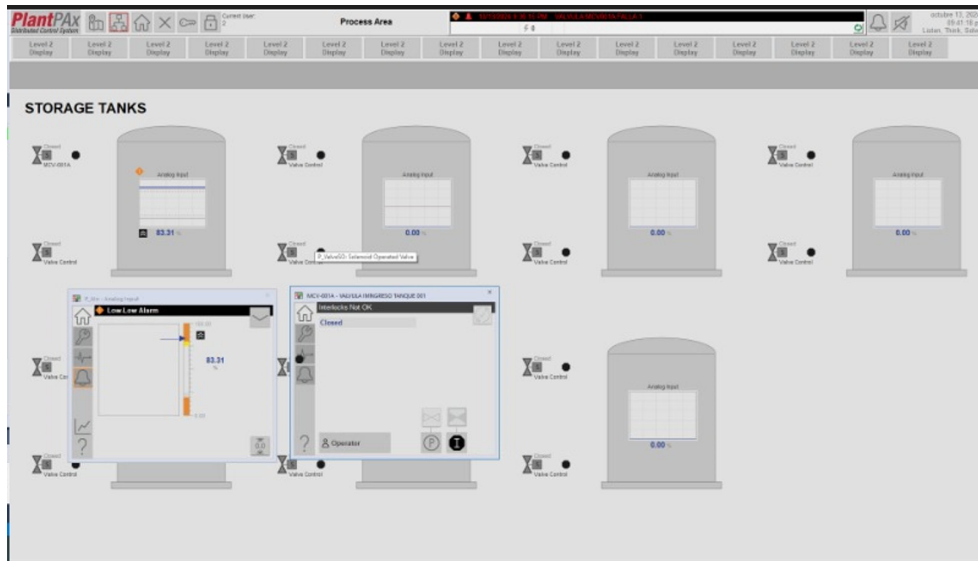
*Nota.* La figura representa el proceso simulado en el software factory I/O



En la Figura 38 se indica el HMI desarrollado en el software FactoryTalk View utilizando PlantPax

**Figure 38**

*HMI desarrollado en el software Factorytalk View utilizando PlantPax*



*Nota.* La figura representa el HMI para la apertura y cierre de válvulas motorizadas de tanques de almacenamiento de productos limpios

## CONCLUSIONES

La implementación de un sistema que permite el control remoto de las válvulas motorizadas desde el cuarto de control ha resultado en una reducción significativa del tiempo necesario para realizar las operaciones relacionadas con las mismas. Esto se traduce en una mejora notable en la eficiencia operativa, ya que elimina la necesidad de que el operador se desplace físicamente al lugar de acción

Anteriormente, la falta de capacidad para monitorear remotamente el estado de las válvulas motorizadas representaba una limitación significativa. Sin embargo, con la implementación del HMI en el cuarto de control, ahora es posible visualizar en tiempo real la posición actual de cada electroválvula, lo que brinda al operador una mayor capacidad de monitoreo y control del proceso.

La aplicación HMI desarrollada en PlantPax en base a la norma ANSI/ISA-101.01-2015 demuestra un compromiso con los estándares de la industria en cuanto a la disposición de la información, el uso de colores, la presentación de alarmas y la navegación del sistema. Esto garantiza una experiencia de usuario consistente y conforme a las mejores prácticas, lo que contribuye a la eficacia y seguridad de las operaciones.

La adición de faceplates al HMI, que muestran datos estadísticos y posibles fallas de las válvulas motorizadas, brinda al operador una visión más completa y detallada de la situación. Esto facilita la toma de decisiones informadas en tiempo real, permitiendo una respuesta más rápida y eficiente ante cualquier eventualidad o problema que pueda surgir en el proceso industrial.

Con un sistema automático de apertura y cierre de válvulas motorizadas, se garantiza un cierre rápido que mantiene un nivel mínimo del 20% en los tanques. Esto asegura que haya suficiente líquido para que la bomba de descarga funcione adecuadamente, al mismo tiempo que previene que la basura y los sedimentos superen este nivel, evitando que los filtros se saturen de impurezas prematuramente

## REFERENCIAS

- Adamo, F., Attivissimo, F., Cavone, G., & Giaquinto, N. (2007). SCADA/HMI Systems in Advanced Educational Courses. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 56(1), 4-10. <https://doi.org/10.1109/TIM.2006.887216>
- AUMA Iberia. (2024). *Modbus en sistemas de automatización industrial*. Obtenido de <https://aumaiberia.com/modbus-en-sistemas-de-automatizacion-industrial/>
- Azra'ai, M. A. H., Janin, Z., Sam, R., & Masrie, M. (2023). Automation of Parcel Sorting and Handling System Using Factory I/O and Control by TIA Portal. *2023 IEEE 9th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA)*, 205-210. <https://doi.org/10.1109/ICSIMA59853.2023.10373455>
- Belden. (2 de Agosto de 2024). *Belden /Products / Cables*. Obtenido de <https://www.belden.com/products/cable/ethernet-cable/category-6-cable/121872a>
- Chen, B., Yang, X., & Thomson, G. P. (2021). Research on real time monitoring system of alumina transportation based on factorytalk view. *2021 IEEE 3rd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT)*, 770-772. <https://doi.org/10.1109/ICCASIT53235.2021.9633487>
- Control Tech Supply. (13 de Septiembre de 2024). *ProSoft MVI56E-MNETR Modbus TCP/IP cliente/servidor*. Obtenido de <https://www.controltech-supply.com/es/products/prosoft-mvi56e-mnetr-modbus-tcp-ip-cliente-server-modulo-de-interfaz-de-red-mejorado>

Ghenaati, S. H., & Aghaei, S. (2019). Modeling and MPC-based Method for Planning Transportation of Multiple Oil Products in Pipeline Network. *2019 27th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 1145-1150.  
<https://doi.org/10.1109/IranianCEE.2019.8786581>

Empresa Pública EP Petroecuado. (19 de Octubre de 2021). *Empresa Pública EP Petroecuado*. Obtenido de <https://www.eppetroecuador.ec/?p=11836>

Factory I/O. (12 de Julio de 2024). *Manual Factory I/O*. Obtenido de <https://docs.factoryio.com/manual/scenes/sorting-station/>

International Society of Automation. (2015). *Human machine interfaces for process automation systems*.

Rockwell Automation. (22 de Septiembre de 2024). *Modern HMI Software*. Obtenido de <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/factorytalk/operationsuite/view.html>

Rockwell Automation. (1 de octubre de 2024). *PlantPAx 5.0 technical futures*. Obtenido de <https://www.rockwellautomation.com/en-us/capabilities/process-solutions/process-systems/plantpax-distributed-control-system/plantpax-5-0-technical-features-video-playlist.html>

Rotork. (16 de Enero de 2024). *Rotork*. Obtenido de <https://www.rotork.com/en/media/latest-news/rotork-adds-new-features-to-the-intelligent-iq3-pro-range>

- Rotork. (s.f.). *Modbus RTU Serial and TCP/IP*. Obtenido de [https://www.rotork.com/uploads/documents-versions/20213/1/pub059-003-00\\_0115.pdf](https://www.rotork.com/uploads/documents-versions/20213/1/pub059-003-00_0115.pdf)
- ROTORK. (12 de AGOSTO de 2024). *ROTORK*. Obtenido de <https://www.rotork.com/es/products-and-services/control-networks/control-networks-legacy-products/pakscan>
- Steinman, R. L., Horvath, D. A., & Wylie, M. J. (2004). Standardization of EQ program limiter torque valve actuator configurations. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 51(4), 1857-1859. <https://doi.org/10.1109/TNS.2004.832980>
- Tammaruckwattana, S., Vichachuai, E., & Petchmaneelumka, W. (2022). Automatic Control Crude Oil Feeder System. *Int. Conf. Control, Autom. Syst.*, 2022-November, 488-492. Scopus. <https://doi.org/10.23919/ICCAS55662.2022.10003887>
- Xibin, W., Guohong, L., & Xuejie, W. (2011). PLC-based SCADA system for oil storage and application. *2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering*, 1539-1541. <https://doi.org/10.1109/ICEICE.2011.5777205>

## ANEXOS

Anexo 1: El código representa las curvas de llenados de tanques generado en Python

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Configuración inicial
n_tanques = 7
tiempo_total_horas = 56 # 7 tanques * 8 horas cada uno
inicial_porcentaje_lleno = 20 # Porcentaje inicial de llenado
final_porcentaje_lleno_auto = 80 # Porcentaje final de llenado automático
final_porcentaje_lleno_manual = 85 # Porcentaje final de llenado manual
tiempo_por_tanque_horas = tiempo_total_horas / n_tanques # Tiempo en horas por tanque

tiempo_horas = np.linspace(0, tiempo_total_horas, 1000) # Tiempo en horas

# Generar los datos de llenado
porcentajes_automatico_lleno_final = []
porcentajes_manual_lleno_final = []

for i in range(n_tanques):
    t_inicio = i * tiempo_por_tanque_horas
    t_fin_auto = t_inicio + tiempo_por_tanque_horas * (final_porcentaje_lleno_auto - inicial_porcentaje_lleno)
    t_fin = (i + 1) * tiempo_por_tanque_horas

    # Llenado automático que se estabiliza en 80%
    porcentaje_automatico_lleno = np.piecewise(
        tiempo_horas,
        [tiempo_horas < t_inicio,
         (tiempo_horas >= t_inicio) & (tiempo_horas <= t_fin_auto),
         (tiempo_horas > t_fin_auto)],
        [inicial_porcentaje_lleno,
         lambda t: inicial_porcentaje_lleno + (final_porcentaje_lleno_auto - inicial_porcentaje_lleno) * ((t - t_inicio) / (t_fin_auto - t_inicio)),
         final_porcentaje_lleno_auto]
    )
    porcentajes_automatico_lleno_final.append(porcentaje_automatico_lleno)

    # Llenado manual que sigue la curva del auto hasta 80% y luego continúa suavemente hasta el 85%
    pendiente_manual = (final_porcentaje_lleno_manual - final_porcentaje_lleno_auto) / (t_fin - t_fin_auto)
    porcentaje_manual_lleno = np.piecewise(
        tiempo_horas,
        [tiempo_horas < t_inicio,
         (tiempo_horas >= t_inicio) & (tiempo_horas <= t_fin_auto),
         (tiempo_horas > t_fin_auto) & (tiempo_horas <= t_fin),
         tiempo_horas > t_fin],
        [inicial_porcentaje_lleno,
         lambda t: inicial_porcentaje_lleno + (final_porcentaje_lleno_auto - inicial_porcentaje_lleno) * ((t - t_inicio) / (t_fin_auto - t_inicio)),
         lambda t: final_porcentaje_lleno_auto + pendiente_manual * (t - t_fin_auto),
         final_porcentaje_lleno_manual]
    )
    porcentajes_manual_lleno_final.append(porcentaje_manual_lleno)
```

```

# Información de los tags, productos y capacidades para cada tanque
tag_info_list = [
    "Tag: TK-001 Producto: DIESEL PREMIUM Capacidad: 6289.38 m³",
    "Tag: TK-002 Producto: DIESEL PREMIUM Capacidad: 4770 m³",
    "Tag: TK-003 Producto: DIESEL 2 Capacidad: 736 m³",
    "Tag: TK-004 Producto: DIESEL 2 Capacidad: 1107 m³",
    "Tag: TK-005 Producto: GASOLINA EXTRA Capacidad: 2324 m³",
    "Tag: TK-006 Producto: GASOLINA EXTRA Capacidad: 4770 m³",
    "Tag: TK-007 Producto: GASOLINA SUPER Capacidad: 2755 m³"
]

# Graficar las curvas de llenado y añadir la información en cada tanque
fig, axes = plt.subplots(n_tanques, 1, figsize=(10, 12), sharex=True)

for i in range(n_tanques):
    # Graficar las curvas de llenado ajustadas
    axes[i].plot(tiempo_horas, porcentajes_automatiko_lleno_final[i], label=f'Automático {tag_info_list[i]}')
    axes[i].plot(tiempo_horas, porcentajes_manual_lleno_final[i], label=f'Manual {tag_info_list[i]}')

    # Añadir el tag, producto y capacidad más arriba en el gráfico
    axes[i].text(0.5 * tiempo_total_horas, 108, tag_info_list[i], fontsize=10, ha='center')

    axes[i].set_ylim(0, 110)
    axes[i].set_ylabel('Nivel (%)')
    axes[i].grid(True)

    # Ajustar la posición de la leyenda para el tanque 7
    if i == 6:
        axes[i].legend(loc=(0.65, 0.4))
    else:
        axes[i].legend(loc='lower right')

axes[-1].set_xlabel('Tiempo (horas)')

# Título principal en negrilla
plt.suptitle('Comparación de niveles de llenado automático y manual en función del tiempo')
plt.tight_layout(rect=[0, 0, 1, 0.96])
plt.show()

```

## Anexo 2: El código representa las curvas de descarga de tanques generado en Python

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Datos de configuración
n_tanques = 7
tiempo_total_horas = 56 # 7 tanques * 8 horas cada uno
inicial_porcentaje = 80 # Porcentaje inicial de llenado
final_porcentaje = 20 # Porcentaje final de vaciado
manual_final_porcentaje = 15 # Porcentaje final de vaciado para manual
tiempo_por_tanque_horas = tiempo_total_horas / n_tanques # Tiempo en horas que se vacía cada tanque

# Generar los datos para cada tanque en el caso automático y manual
porcentajes_automatico_final = []
porcentajes_manual_final = []

tiempo_horas = np.linspace(0, tiempo_total_horas, 1000) # Tiempo en horas

for i in range(n_tanques):
    t_inicio = i * tiempo_por_tanque_horas
    t_fin = (i + 1) * tiempo_por_tanque_horas

    # Vaciado automático que se estabiliza en 20%
    t_estabiliza_auto = t_inicio + tiempo_por_tanque_horas * (inicial_porcentaje - final_porcentaje)

    porcentaje_automatico_final = np.piecewise(
        tiempo_horas,
        [tiempo_horas < t_inicio,
         (tiempo_horas >= t_inicio) & (tiempo_horas < t_estabiliza_auto),
         (tiempo_horas >= t_estabiliza_auto)],
        [80,
         lambda t: inicial_porcentaje - (inicial_porcentaje - final_porcentaje) * (t - t_inicio) / (t_estabiliza_auto - t_inicio),
         final_porcentaje]
    )
    porcentajes_automatico_final.append(porcentaje_automatico_final)

    # Vaciado manual que se estabiliza en 15%
    t_estabiliza_manual = t_inicio + tiempo_por_tanque_horas * (inicial_porcentaje - manual_final_porcentaje)

    porcentaje_manual_final = np.piecewise(
        tiempo_horas,
        [tiempo_horas < t_inicio,
         (tiempo_horas >= t_inicio) & (tiempo_horas < t_estabiliza_manual),
         (tiempo_horas >= t_estabiliza_manual)],
        [80,
         lambda t: inicial_porcentaje - (inicial_porcentaje - manual_final_porcentaje) * (t - t_inicio) / (t_estabiliza_manual - t_inicio),
         manual_final_porcentaje]
    )
    porcentajes_manual_final.append(porcentaje_manual_final)
```



```

# Datos para Tag, Producto y Capacidad
tags = ["TK-001", "TK-002", "TK-003", "TK-004", "TK-005", "TK-006", "TK-007"]
productos = ["DIESEL PREMIUM", "DIESEL PREMIUM", "DIESEL 2", "DIESEL 2", "GASOLINA EXTRA",
capacidades = ["6289.38 m3", "4770 m3", "736 m3", "1107 m3", "2324 m3", "4770 m3", "2755 m3"]

# Graficar cada tanque en su propia subgráfica, incluyendo las etiquetas en forma horizontal
fig, axes = plt.subplots(n_tanques, 1, figsize=(10, 14), sharex=True)

for i in range(n_tanques):
    axes[i].plot(tiempo_horas, porcentajes_automatico_final[i], label=f'Automático')
    axes[i].plot(tiempo_horas, porcentajes_manual_final[i], label=f'Manual', linestyle='--')
    axes[i].set_ylim(0, 100)
    axes[i].set_ylabel('Nivel (%)')
    axes[i].grid(True)
    if i == n_tanques - 1:
        axes[i].legend(loc=(0.55, 0.05)) # Ajustar la posición de la leyenda para el tanque
    else:
        axes[i].legend(loc='upper right')

    # Agregar las etiquetas en forma horizontal con los nuevos datos
    axes[i].text(0.5, 1.05, f'Tag: {tags[i]} Producto: {productos[i]} Capacidad: {capacidades[i]}',
        transform=axes[i].transAxes, fontsize=10, ha='center', style='italic')

axes[-1].set_xlabel('Tiempo (horas)')

plt.suptitle('Comparación de niveles de descarga automático y manual en función del tiempo')
plt.tight_layout(rect=[0, 0, 1, 0.96])
plt.show()

```

Anexo 3: El código representa el número de cambios de filtros al año en un sistema de apertura y cierre de válvulas motorizadas en la descarga de tanques, tanto en modo manual como automático, y ha sido generado en Python

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Definir el tiempo de un año en horas (1 año = 365 días * 24 horas)
horas_anio = 365 * 24 # Horas en un año

# Actualizar los intervalos de cambio de filtro
horas_cambio_manual = 1500 # Cada cuántas horas se cambia el filtro en modo manual
horas_cambio_automatico = 3000 # Cada cuántas horas se cambia el filtro en modo automático

# Generar los puntos de tiempo para un año (eje X)
horas = np.linspace(0, horas_anio, 1000)

# Calcular el número de cambios de filtro (eje Y)
cambios_filtro_manual = horas // horas_cambio_manual # División entera para contar cambio
cambios_filtro_automatico = horas // horas_cambio_automatico # División entera para contar

# Graficar los resultados para un año
plt.Figura(figsize=(10, 6))

# Etiquetas solicitadas para las líneas
plt.plot(horas, cambios_filtro_manual, label='Número de cambio de filtros en sistema manual')
plt.plot(horas, cambios_filtro_automatico, label='Número de cambio de filtros en sistema automático')

# Añadir etiquetas y título
plt.xlabel('Horas de operación de la bomba (en un año)')
plt.ylabel('Número de cambios de filtro')
plt.title('Comparación de cambios de filtros entre modos automático y manual (durante un año)')

# Añadir leyenda
plt.legend()

# Mostrar la gráfica
plt.grid(True)
plt.show()

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Definir el tiempo de un año en horas (1 año = 365 días * 24 horas)
horas_anio = 365 * 24 # Horas en un año

# Actualizar los intervalos de cambio de filtro
horas_cambio_manual = 1500 # Cada cuántas horas se cambia el filtro en modo manual
horas_cambio_automatico = 3000 # Cada cuántas horas se cambia el filtro en modo automático
```

```
# Valores para los cambios de filtro en un año
cambios_filtro_manual_total = horas_anio // horas_cambio_manual
cambios_filtro_automatico_total = horas_anio // horas_cambio_automatico

# Etiquetas para el eje X
etiquetas = ['Modo Manual (1500 horas)', 'Modo Automático (3000 horas)']
valores = [cambios_filtro_manual_total, cambios_filtro_automatico_total]

# Crear el gráfico de barras con colores pasteles
plt.Figura(figsize=(8, 6))
plt.bar(etiquetas, valores, color=['lightcoral', 'lightblue'])

# Añadir etiquetas y título
plt.ylabel('Número de cambios de filtro en un año')
plt.title('Comparación de cambios de filtros entre modo manual y automático en un año')

# Mostrar la gráfica
plt.show()
```