

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Automatización de la Línea de Mantenimiento de Cilindros en Planta
Comercializadora de Gas Licuado de Petróleo

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Magister en Automatización y Control

Presentado por:

Eduardo Luis Loyola Castillo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi hija, quien desde el primer día que llegó a mi vida me permitió sentir el amor más puro y verdadero correr por mis venas, dándole un sentido diferente a mi vida, y convirtiéndose en la fuerza que me impulsa a seguir adelante y tratar de ser mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco principalmente a mi esposa, por su infinita paciencia y predisposición a apoyarme en cada proyecto de crecimiento personal y profesional que decidimos realizar.

Expreso también mi más sincero agradecimiento a los ingenieros Richard Sánchez, Efrén Herrera y Juan Pablo Palacios por su invaluable ayuda para la realización de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Eduardo Luis Loyola Castillo y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Eduardo Loyola Castillo

COMITÉ EVALUADOR

.....
Ing. Richard Sánchez, Msc.

PROFESOR TUTOR

.....
Ph.D. Efrén Herrera Muentes.

PROFESOR EVALUADOR

RESUMEN

Este trabajo propone la puesta en operación de un sistema de automatización en una planta comercializadora de GLP, para su línea de mantenimiento de cilindros de quince kilogramos para uso doméstico. Incluye los procesos de pintado de taras, presurización, prueba de estanquidad y despresurización de cilindros. El objetivo es desarrollar un programa para PLC y un HMI que controle los procesos antes mencionados, con la finalidad de reducir las horas-hombre requeridas, y poder redireccionar ese recurso a otras áreas relacionadas con la comercialización de GLP.

Para el proceso de pintado de taras se empleó una plantilla circular que gira mediante un servomotor, accionado por un servodrive, gobernado por un PLC. Este determina la posición de la plantilla en función del peso del tanque, que es medido por una celda de carga y enviado al PLC a través de un transmisor de pesaje. La programación para los otros procesos se realizó definiendo lotes de seis cilindros en cada etapa, para lo cual se emplearon finales de carrera que permiten la contabilización del número de cilindros que ingresan y salen de cada proceso.

Con la puesta en marcha del sistema se logró reducir el cincuenta por ciento de las horas-hombre requeridas en estas etapas del proceso, lo que permitió un uso más eficiente del personal que permanecía subutilizado en estos procesos.

Se puede concluir que el programada para PLC y la interfaz hombre-máquina desarrollados funcionan de manera correcta, encargándose de las tareas repetitivas, permitiendo mover personal a otros procesos donde es requerido.

Palabras Clave: Servomotor, servodrive, controlador lógico programable, transmisor de pesaje, celda de carga.

ABSTRACT

This work proposes the start-up of an automation system in a LPG trading plant, for its maintenance line of fifteen kilogram cylinders for domestic use. It includes the processes of painting tare weight, pressurization, tightness test and depressurization of cylinders. The objective is to develop a program for PLC and an HMI that controls the aforementioned processes, in order to reduce the man-hours required, and to be able to redirect this resource to other areas related to the commercialization of LPG.

For the tare weight painting process, a circular template was used, it is rotated by a servomotor, activated by a servodrive, controlled by a PLC. This establishes the position of the template based on the weight of the tank, which is measured by a load cell and sent to the PLC through a weighing transmitter. The programming for the other processes was carried out defining lots of six cylinders in each stage, for this limit switches were used and they allow the counting of the number of cylinders entering and leaving each process.

Starting up the system it was possible to reduce fifty percent of the man-hours required in these process stages, allowing a more efficient use of the staff that was underutilized in these processes.

In conclusion the PLC program and the human-machine interface developed work properly, taking care of repetitive tasks, allowing the staff to move to other processes where they are required.

Keywords: *Servomotor, servodrive, programmable logic controller, weighing transmitter, load cell.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Mantenimiento de cilindros para comercialización de GLP.....	5
1.4.1.1 Proceso de pintado de taras.....	5
1.4.1.2 Proceso de presurizado de cilindros.....	6
1.4.1.3 Proceso de prueba de estanquidad.....	7
1.4.1.4 Proceso de despresurizado de cilindros	8
1.4.2 Automatización Industrial.....	8
1.4.2.1 Controlador lógico programable	9
1.4.2.2 Interfaz Hombre-Máquina.....	9

1.4.2.3	Detectores de proximidad.....	9
1.4.2.4	Finales de carrera.....	10
1.4.2.5	Servodrives y servomotores	10
1.4.2.6	Transmisores de peso	10
1.4.3	Sistemas SCADA.....	11
1.4.4	Servidores OPC	11
CAPÍTULO 2.....		13
2.	Metodología	13
2.1	Alternativas para automatización de procesos	13
2.2	Selección de alternativa para automatización	14
2.3	Diseño conceptual del sistema de automatización	15
2.3.1	Sistema para proceso de pintado de taras	15
2.3.2	Sistema para presurizado de cilindros	16
2.3.3	Sistema para prueba de estanquidad	16
2.3.4	Sistema para despresurizado de cilindros	17
2.4	Diseño detallado del sistema de automatización.....	17
2.4.1	Selección de controlador	18
2.4.2	Normalización y escalamiento de señal analógica.....	19
2.4.3	Objeto tecnológico en TIA Portal	20
2.4.4	Funciones para Motion Control	24
2.4.5	Función para determinar posición de giro	26
2.5	Sistema SCADA y conexión a PLC	27
2.5.1	Configuración de canal en KEPServerEX.....	27
2.5.2	Configuración de canal en Indusoft.....	28
CAPÍTULO 3.....		30
3.	Resultados y Análisis	30

3.1	Principales resultados del sistema de automatización	30
3.2	Análisis de costos.....	32
3.3	Análisis de resultados.....	34
CAPÍTULO 4.....		37
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	37
	Conclusiones.....	37
	Recomendaciones.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....		41
APÉNDICES.....		42
PLANOS.....		49

ABREVIATURAS

AI	Entrada analógica (Analogic Input)
AO	Salida analógica (Analogic Output)
DC	Corriente directa (Direct Current)
DI	Entrada digital (Digital Input)
DO	Salida digital (Digital Input)
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GLP	Gas Licuado de Petróleo
HMI	Interfaz hombre-máquina (Human-Machine Interfase)
HS	Salida de alta velocidad (High Speed Output)
Int	Entero
IP	Protocolo de internet (Internet Protocol)
MC	Control de movimiento (Motion Control)
NO	Normalmente abierto (Normally Open)
OLE	Object Linking and Embedded
OPC	OLE for Process Control
OT	Objeto tecnológico
PLC	Controlador lógico programable (Programmable Logic Controller)
PN	Profinet
PTO	Salida de tren de pulsos (Pulse Train Output)

SCADA Supervisión, control y adquisición de datos (Supervisory Control and Data Acquisition)

SIMBOLOGÍA

\$	Dólar estadounidense
%	Porcentaje
cil/hr	Cilindros por hora
Kg	Kilogramo
mA	Miliamperio
mm	Milímetro
mm/s	Milímetro por segundo
mm/s ²	Milímetro por segundo cuadrado
mV	Milivoltio
Psi	Libra por pulgada cuadrada
Pul/s	Pulsos por segundo
Rev/s	Revoluciones por segundo
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama de proceso para pintado de taras.....	5
Figura 1.2	Diagrama de proceso para presurizado.....	6
Figura 1.3	Diagrama de proceso para prueba de estanquidad.....	7
Figura 1.4	Diagrama de proceso para despresurizado.....	8
Figura 1.5	Diagrama funcional del sistema de automatización.....	9
Figura 2.1	Alternativas para automatización de marcado de taras.....	13
Figura 2.2	Algoritmo para proceso de pintado de tara.....	15
Figura 2.3	Algoritmo para proceso de presurizado.....	16
Figura 2.4	Algoritmo para proceso de prueba de estanquidad.....	16
Figura 2.5	Algoritmo para proceso de despresurizado.....	17
Figura 2.6	Proceso de normalización y escalonamiento de señal analógica.....	20
Figura 2.7	Parámetros básicos generales de un OT.....	21
Figura 2.8	Parámetros del drive para un OT.....	21
Figura 2.9	Parámetros mecánicos para un OT.....	22
Figura 2.10	Parámetros dinámicos para un OT.....	23
Figura 2.11	Parámetros para HOME de un OT.....	24
Figura 2.12	Bloque MC Power para Motion Control.....	24
Figura 2.13	Bloque MC Reset para Motion Control.....	25
Figura 2.14	Bloque MC Home para Motion Control.....	25
Figura 2.15	Bloque MC Move Absolute para Motion Control.....	26
Figura 2.16	Función para determinación de posición de giro (extendida).....	26
Figura 2.17	Bloque evaluador para determinación de posición de giro.....	27
Figura 2.18	Ingreso de variables de PLC en canal de servidor OPC.....	28
Figura 2.19	Ingreso de variables en Indusoft (cliente OPC).....	28

Figura 2.20	Pantalla desarrollada en Indusoft para leer y escribir variables.	29
Figura 3.1	Distribución de frecuencias del peso de los cilindros.	32
Figura 3.2	Vista panorámica del sistema implementado	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Datos de pintado de taras antes de implementación.....	6
Tabla 1.2	Datos de presurizado antes de implementación.....	7
Tabla 1.3	Datos de prueba de estanquidad antes de implementación.....	7
Tabla 1.4	Datos de despresurizado antes de implementación.....	8
Tabla 2.1	Matriz de selección para proceso de marcado de taras.....	14
Tabla 2.2	Resumen de señales por proceso.....	18
Tabla 2.3	Variables de entorno físico a ser consideradas.....	19
Tabla 3.1	Rendimientos de equipos y procesos antes y después.....	30
Tabla 3.2	Requerimiento de horas-hombre antes y después.....	31
Tabla 3.3	Productividad del personal.....	31
Tabla 3.4	Análisis de costos incurridos en la ejecución del proyecto.....	33

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Entradas y salidas digitales (variables PLC S7-1200 1214C)	50
PLANO 2	Entradas y salidas digitales (módulo SM1223)	51
PLANO 3	Entrada analógica (módulo SM1231)	52

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de mantenimiento de cilindros para almacenamiento de GLP de uso doméstico consta de varios subprocesos, siendo algunos de ellos actividades repetitivas que no requieren del criterio de un operador para su ejecución, por lo que con la puesta en marcha de este proyecto, se buscó mejorar la eficiencia de uso del recurso humano en una planta comercializadora de GLP, mediante el diseño y puesta en operación de un sistema de automatización que controle los procesos de pintado de taras, presurizado, prueba de estanquidad y despresurizado de cilindros, logrando así reasignar gran parte del recurso humano destinado a estas actividades, a otras en las que sí se requiere de un criterio evaluador o en las que el proceso es intermitente y no se justifica la contratación de personal adicional.

El desarrollo del presente proyecto de titulación ha sido estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se realiza la descripción del problema, la justificación de este, el planteamiento de los objetivos general y específicos, así como la elaboración de un marco teórico en el que se fundamentan los principales tópicos requeridos para la realización de este trabajo.

En el capítulo 2 se describe la metodología seguida para el desarrollo del proyecto, presentando diferentes alternativas de solución y seleccionando a la más factible. Se realiza también el diseño conceptual del sistema, planteamiento de requerimientos técnicos y la selección de equipos

En el capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos y los datos más representativos generados luego de la puesta en marcha del proyecto, acompañado de su respectivo análisis de costo y retorno de la inversión.

Finalmente, en el capítulo 4 se describen las conclusiones a las que fue posible llegar gracias a la ejecución de este proyecto, y las recomendaciones que se deben tener en cuenta en caso de querer realizar ampliaciones al alcance u objetivos propuestos.

1.1 Descripción del problema

El gas licuado de petróleo es un subproducto que resulta del proceso de refinación del petróleo. Está constituido por aproximadamente un 70% de propano y un 30% de butano [1]. El uso principal que se le da en nuestro país es de carácter doméstico, para cocción de alimentos; sin embargo, diversos sectores industriales, comerciales y agrícolas también hacen uso de cantidades considerables de este producto.

Las empresas dedicadas a la comercialización de GLP, dentro de sus actividades, brindan el servicio de envasado de cilindros con distintas capacidades de almacenamiento que dependen del uso que se le vaya a dar a dicho gas. El producto más comercializado son los cilindros envasados con quince kilogramos de GLP, y que están destinados únicamente para uso doméstico.

Las empresas comercializadoras de este tipo de productos están obligadas por ley a dar mantenimiento a sus cilindros [2], debido a que estos continuamente están circulando y en muchas ocasiones los usuarios finales los mantienen en condiciones de intemperie lo que provoca un deterioro en la pintura y particularmente en la base del cilindro.

El mantenimiento de cilindros es un proceso que involucra varias etapas y estaciones de trabajo; sin embargo, la etapa final del proceso, que consiste en pintar el peso del cilindro vacío, conocido comúnmente como tara, en el casquete superior, para posteriormente presurizar con aire lotes de cilindros y que estos sean sometidos a una prueba de estanquidad para verificar la no existencia de fugas, y finalmente pasen a una etapa de despresurización. Este es un proceso repetitivo que en la actualidad requiere de una persona en cada estación de trabajo.

Paralelamente al proceso de envasado y mantenimiento de cilindros, estas empresas deben realizar ciertas actividades inherentes a la comercialización de GLP, como lo es el intercambio de cilindros con otras comercializadoras

[2]. Este tipo de actividad, que no es permanente a lo largo de toda la jornada laboral, demanda de personal para el estibaje de los cilindros en las plataformas destinadas al intercambio. El personal requerido para este trabajo es cubierto por los trabajadores que realizan el proceso de mantenimiento de cilindros, lo que implica detener ciertas etapas de esta la línea de producción, mientras se realiza el estibaje de los cilindros para el intercambio.

1.2 Justificación del problema

Basado en la experiencia adquirida al laborar en una empresa comercializadora de GLP, se han podido identificar ciertas mejoras potenciales en el proceso de mantenimiento de cilindros. Con la puesta en marcha de este proyecto se pretende lograr reducir el requerimiento de horas-hombre en actividades repetitivas en las que no se está aprovechando las cualidades y habilidades que un grupo de personas pudieran tener, esto con la finalidad de que dichas personas puedan ser empleadas en la ejecución de otras actividades como lo son el intercambio de cilindros, control de calidad o en el mantenimiento de equipos, sin necesidad de interrumpir una o más etapas del proceso de mantenimiento de cilindros, además de contar con un sistema que permita visualizar datos diarios de producción y contar con un registro de sus históricos.

Adicionalmente, con la puesta en marcha de esta propuesta se logrará eliminar el reproceso de pintura ocasionado por errores cometidos por el trabajador encargado de pintar la tara en los cilindros, provocando que los carruseles de envasado rechacen los mismos y estos deban regresar al taller de mantenimiento para que su tara sea corregida.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de automatización para los procesos de pintado de taras, presurización, prueba de estanquidad y despresurización en la

línea de mantenimiento de cilindros de una empresa comercializadora de GLP, mediante HMI y control de posición de un servomotor y el accionamiento de electroválvulas para la activación de actuadores neumáticos, para mejorar el rendimiento del personal y el manejo de la información referente a la producción.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Programar un PLC para controlar la posición de un servomotor que ubique una plantilla para pintar el peso de los cilindros vacíos en función de la señal proporcionada por una celda de carga; además, controlar el accionamiento de los distintos actuadores neumáticos y válvulas que intervienen en el proceso.
2. Diseñar una interfaz para HMI que permita la modificación de los setpoints para los distintos equipos del proceso, así como visualizar alarmas, datos diarios e históricos de producción.
3. Visualizar los datos de producción, alarmas e históricos mediante un servidor con protocolo de comunicación abierto.
4. Disminuir el requerimiento de horas-hombre destinadas al mantenimiento de cilindros.

1.4 Marco teórico

En esta sección se realizará una descripción de los procesos relacionados al mantenimiento de cilindros para GLP y a los principales dispositivos involucrados en un proceso de automatización que serán tomados en consideración para el desarrollo de este proyecto.

1.4.1 Mantenimiento de cilindros para comercialización de GLP

En esta parte se describirán los procesos requeridos para el mantenimiento de cilindros que serán incluidos en el sistema de automatización.

1.4.1.1 Proceso de pintado de taras

Esta actividad tiene como finalidad el pintado del peso del cilindro vacío, expresado en kilogramos, al que se denomina “*tara*”, en el casquete superior, utilizando pintura esmalte anticorrosiva de secado rápido color blanco y una pistola de aspersion con una plantilla metálica.

Esta actividad era realizada por un operador en una serie de pasos mostrados en la figura 1.1, y que también se describen a continuación:

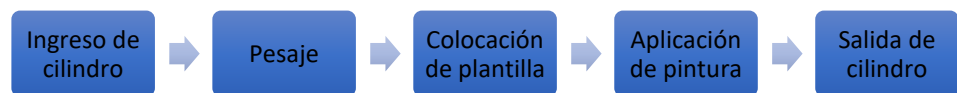


Figura 1.1 Diagrama de proceso para pintado de taras

- Accionamiento de pulsador para permitir el ingreso de un cilindro a la estación de pesaje.
- Visualización de peso del cilindro vacío en display de la estación de pesaje e identificación de plantilla metálica correspondiente a dicho peso.
- Colocación de plantilla sobre casquete superior de cilindro y aplicación de pintura con pistola de aspersion.
- Accionamiento de pulsador para permitir la salida del cilindro de la estación de pesaje y permitir el ingreso de uno nuevo para reiniciar el ciclo.

La tabla 1.1 muestra los rendimientos del proceso antes de la implementación del proyecto.

Tabla 1.1 Datos de pintado de taras antes de implementación.

Ciclo:	22 s
Rendimiento:	165 Cil/hr

1.4.1.2 Proceso de presurizado de cilindros

Este proceso consiste en someter a presión interna a los cilindros mediante la inyección de aire hasta alcanzar los 100 PSI, con la finalidad de poder identificar posibles fugas tanto en el cuerpo del cilindro como en la válvula.

Para la ejecución de este proceso se destinaba una persona, que ejecutaba de manera cíclica los pasos mostrados en la figura 1.2, y también descritos a continuación:

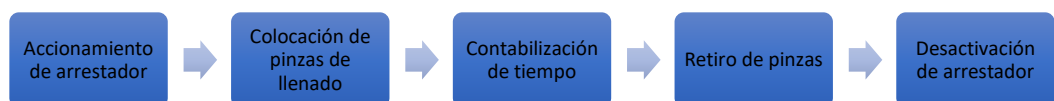


Figura 1.2 Diagrama de proceso para presurizado

- Accionamiento de pulsador para restringir el paso de cilindros a lo largo de la cadena transportadora y que éstos queden en la zona de alcance para las pinzas de llenado.
- Acoplamiento de pinzas de llenado en las válvulas de los cilindros.
- Desacoplamiento de pinzas una vez transcurrido el tiempo de llenado establecido.
- Accionamiento de pulsador para permitir que el lote de cinco cilindros presurizados avance al siguiente proceso y permitir el ingreso de un nuevo lote para reiniciar el proceso.

La tabla 1.2 muestra los rendimientos del proceso antes de la implementación del proyecto.

Tabla 1.2 Datos de presurizado antes de implementación.

Ciclo:	50 s (5 cilindros)
Rendimiento:	360 Cil/hr

1.4.1.3 Proceso de prueba de estanquidad

En este proceso, un lote de seis cilindros es sumergido en una tina llena de agua con la finalidad de identificar visualmente la existencia de posibles fugas de aire.

Esta actividad requiere de un operador ejecutando la siguiente los pasos mostrados en la figura 1.3, y también mencionados a continuación:

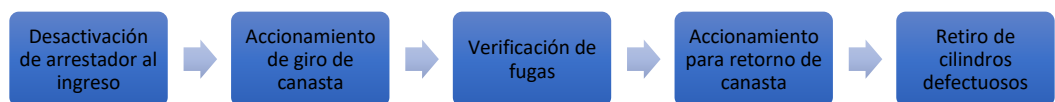


Figura 1.3 Diagrama de proceso para prueba de estanquidad

- Accionamiento de pulsador para permitir el ingreso de los cilindros a la canasta giratoria.
- Accionamiento de pulsador para ejecutar el giro de la canasta y sumergir los cilindros en la tina.
- Inspección visual de los cilindros para identificar fugas de aire.
- Accionamiento de pulsador para invertir giro de la canasta y que los cilindros avancen al siguiente proceso.
- Accionamiento de pulsador para reinicio de proceso.

La tabla 1.3 muestra los rendimientos del proceso antes de la implementación del proyecto.

Tabla 1.3 Datos de prueba de estanquidad antes de implementación.

Ciclo:	45 s (6 cilindros)
Rendimiento:	480 Cil/hr

1.4.1.4 Proceso de despresurizado de cilindros

Este proceso consiste en liberar a la atmósfera el aire comprimido contenido en los tanques procedentes de la prueba de estanquidad.

En esta actividad se requería de un operador que colocaba de forma manual una pieza de bronce que presionaba el pistón de la válvula de cilindros, ocasionado que el aire comprimido en su interior sea liberado a la atmósfera. En la figura 1.4 se muestra el diagrama del proceso.

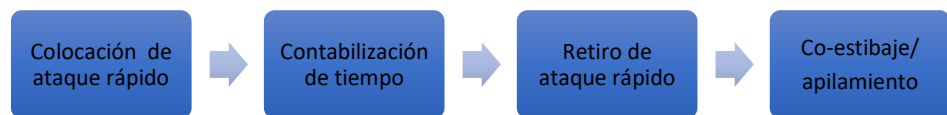


Figura 1.4 Diagrama de proceso para despresurizado

La tabla 1.4 muestra los rendimientos del proceso antes de la implementación del proyecto.

Tabla 1.4 Datos de despresurizado antes de implementación.

Ciclo:	45 s (6 cilindros)
Rendimiento:	480 Cil/hr

1.4.2 Automatización Industrial

En esta sección se realizará una descripción de los principales elementos que son recurrentes en el diseño y puesta en operación de sistemas de automatización en general [3]. A continuación, en la figura 1.5 se muestra un diagrama funcional general para un sistema de automatización con servomotor y actuadores:

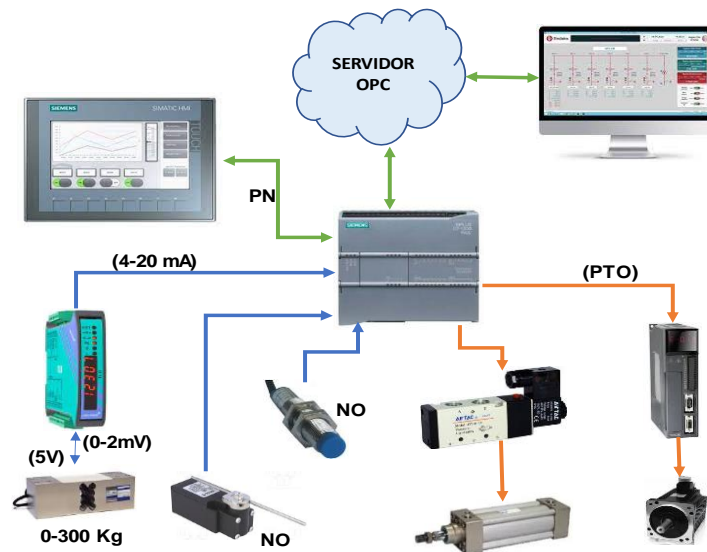


Figura 1.5 Diagrama funcional del sistema de automatización

1.4.2.1 Controlador lógico programable

Son equipos electrónicos diseñados para ser programables en lenguaje no informático y que se emplean para controlar procesos secuenciales en tiempo real y en ambientes industriales. Se tratan de computadoras en las que se programa el algoritmo de control diseñado para ejecutar los procesos secuenciales de alguna aplicación en particular. Se pueden programar en varios lenguajes dependiendo de la gama seleccionada.

1.4.2.2 Interfaz Hombre-Máquina

Se trata de dispositivos periféricos que están en constante comunicación con el PLC y constan de una pantalla con teclado (o solo táctil) que sirven para monitorear y supervisar el estado del proceso por parte del operador, es decir que se trata de una interfaz entre el hombre y la máquina, ya que se emplea para introducir consignas o cambios en los parámetros de operación.

1.4.2.3 Detectores de proximidad

Sirven para detectar la presencia de objetos dentro de un determinado rango de cobertura. Existen diversos tipos, sin embargo, en el presente

trabajo nos enfocaremos en los inductivos, mismo que sirve para detectar objetos metálicos, los mismos que cuando se acercan lo suficiente producen un cambio en la inductancia del sensor, lo que provoca que se inviertan los contactos, pidiendo se normalmente abiertos o cerrados.

1.4.2.4 Finales de carrera

Son interruptores (switches) con contactos normalmente abiertos, cerrados o una combinación de ambos que conmutan (se invierten) cuando el objeto a ser detectado entra en contacto con el dispositivo. Una aplicación típica para estos elementos son las entradas digitales en un PLC.

1.4.2.5 Servodrives y servomotores

Un servomotor es un motor al que se puede controlar su posición, velocidad y torque. Este tipo de motores son capaces de generar torque incluso a velocidad igual a cero. Generalmente tiene anexado a su eje un dispositivo electrónico denominado “encoder”, el cual genera una señal electrónica codificada que sirve para determinar la posición y velocidad del motor.

Los servodrives son tarjetas electrónicas que alimentan al estator del motor con el voltaje y la frecuencia adecuada, lo que permite generar un campo magnético estático alineado correctamente con el campo magnético del rotor, lo que permite generar el torque adecuado para mover el rotor a la posición y velocidad deseada [4].

1.4.2.6 Transmisores de peso

Son tarjetas electrónicas que generan el voltaje de excitación requerido por la celda de carga (usualmente 5 V), reciben la señal de celda, misma que está en el orden de los milivoltios, y la amplifican a otra escala en el orden de los voltios (generalmente de 0 - 10 V, 0 - 5 V); aunque también

existen transmisores que permiten convertir la señal de salida a términos de corriente (4-20mA, 0-20mA) o comunicarse a través de buses de campo como Profinet, Profibus, CanOpen, Ethernet [5].

1.4.3 Sistemas SCADA

Son sistemas que permiten supervisar, controlar y adquirir datos de un proceso a través de un ordenador, gracias a que están en continua comunicación con los equipos que controlan el proceso, normalmente se comunican con los PLC, logrando así que el usuario pueda supervisar remotamente todo el proceso.

Los SCADA pueden leer los valores en las direcciones de memoria de los controladores o a su vez escribir nuevos valores en dichas direcciones. Para ello se emplean redes de comunicación industrial para conectar el ordenador en el que está montado el SCADA con el o los controladores del proceso. Es importante aclarar que su objetivo principal no es el controlar en tiempo real, sino más bien el de supervisar, recopilar datos y transmitir de forma eventual ciertos cambios o consignas al proceso, claro que esto dependerá de la cantidad de información que se transfiera [3].

Si bien la comunicación entre el ordenador y el controlador puede ser realizada mediante el uso de diversos protocolos e interfaces de comunicación, en la actualidad las redes Ethernet son las más utilizadas para establecer este tipo de comunicación.

1.4.4 Servidores OPC

Si bien en el punto anterior se menciona que la comunicación puede ser llevada a cabo empleando diversos protocolos, surge un problema al tratar de comunicar los distintos softwares disponibles para el desarrollo de SCADA con las distintas marcas de controladores disponibles en el mercado, esto ha provocado el surgimiento de una infinidad de protocolos que permitan establecer esta comunicación, lo que a su vez ha obligado a

los desarrolladores de este tipo de software a incorporar gran cantidad de drivers en sus programas [3].

El problema descrito en el párrafo anterior motivó el desarrollo de una norma para el intercambio de datos basada en tecnología OLE (Object Linking and Embedding), a la que se denomina OPC (OLE for Process Control). Esta normativa es el resultado de una colaboración de varios líderes mundiales en fabricación de dispositivos para automatización en cooperación con Microsoft, y consiste en un estándar de interfaces y métodos para ser utilizados en automatización y control de procesos industriales.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La implementación de este proyecto tuvo lugar en una planta comercializadora de GLP, misma que cuenta con un taller para mantenimiento de cilindros, cuya producción estaba alrededor de los mil doscientos cilindros mantenidos por día, y en la que los procesos de pintado de taras, presurización, prueba de estanquidad y despresurización de los cilindros se realizaba de forma netamente manual, por lo que se requería de un operador en cada estación de trabajo.

2.1 Alternativas para automatización de procesos

Se inició planteando dos propuestas con enfoques distintos para el proceso de pintado de taras. La primera basada en un sistema de control de posición por pulsos para un servodrive gobernado por un PLC que, a partir de una señal analógica proveniente de una celda de carga, envía los pulsos al servodrive para ubicar en posición al servomotor que hace girar una plantilla circular en la que constan los distintos valores de peso permisibles para los cilindros. Dicho PLC también gobernaría las señales booleanas requeridas para el funcionamiento de los equipos encargados de presurizar y despresurizar los cilindros antes y después de realizar la prueba de estanquidad, respectivamente. La segunda propuesta se basó en realizar la marcación mediante grabado láser. Ambas propuestas se ven en la figura 2.1.



Figura 2.1 Alternativas para automatización de marcado de taras.

En lo referente a los procesos de presurizado, prueba de estanquidad y despresurizado, únicamente se optó por implementar facilidades mecánicas que reproduzcan las actividades realizadas por los operadores. Dichas facilidades mecánicas estarían gobernadas por el mismo PLC que controle el proceso de pintado de taras.

2.2 Selección de alternativa para automatización

Para la selección de la alternativa que brinde una mejor solución al proceso de marcado de taras se tuvieron en consideración varios criterios, entre los cuales se tiene: costo, mantenibilidad, productividad, nitidez del marcado, flexibilidad para cambios de diseño, etc. A continuación, en la tabla 2.1 se muestra la matriz sobre la cual se basó la selección de la alternativa para la automatización del proceso de marcado de taras:

Tabla 2.1 Matriz de selección para proceso de marcado de taras.

	Criterio	Rango de puntuación	Alternativa	
			Control de posición	Grabado láser
1	Costo	De 0 a 5	5	1
2	Mantenibilidad diaria	De 0 a 5	3	5
3	Mantenibilidad a largo plazo	De 0 a 5	5	1
4	Nitidez de marcado	De 0 a 5	4	5
5	Tiempo para implementación	De 0 a 5	5	2
6	Productividad	De 0 a 5	4	5
7	Flexibilidad para cambios de diseño	De 0 a 5	3	5
Total (/35):			29	24

De entre los criterios de selección estipulados en la tabla anterior, el más preponderante fue el costo, y dado que el sistema de grabado láser es alrededor de 40 veces más costoso que un sistema de control de posición basado en un servomotor, se optó por este último, ya que tiene otras ventajas

como lo son un menor costo de mantenimiento y una disponibilidad para entrega inmediata de los proveedores locales de este tipo de equipos.

2.3 Diseño conceptual del sistema de automatización

En esta sección se presenta la metodología que se siguió para el diseño conceptual del sistema de automatización para cada uno de los cuatro procesos especificados en el objetivo general.

2.3.1 Sistema para proceso de pintado de taras

A continuación, en la figura 2.2 se muestra un diagrama de flujo en donde se presenta de manera general el algoritmo que se ideó para controlar este proceso:

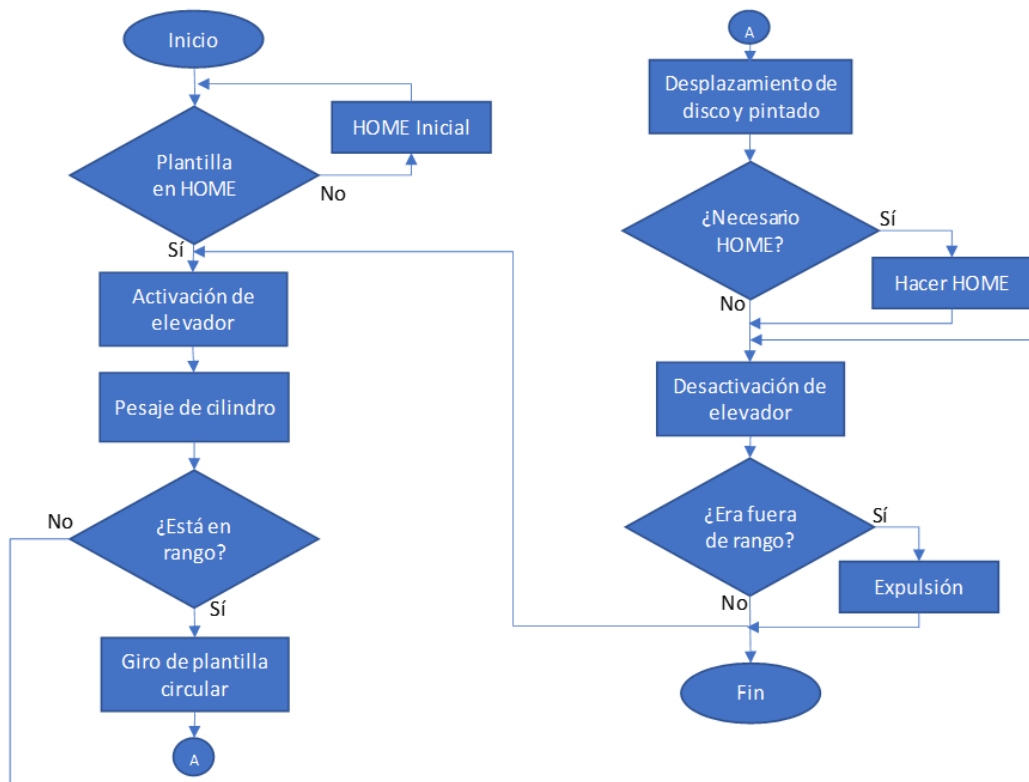


Figura 2.2 Algoritmo para proceso de pintado de tara.

2.3.2 Sistema para presurizado de cilindros

A continuación, en la figura 2.3 se muestra un diagrama de flujo en donde se presenta de manera general el algoritmo que se ideó para controlar este proceso:

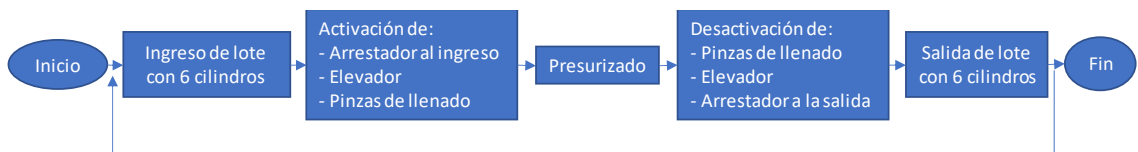


Figura 2.3 Algoritmo para proceso de presurizado

Para la ejecución de este proceso se requerirían de dos finales de carrera, uno al ingreso y otro a la salida, los mismo que le permitirían al PLC contabilizar la cantidad de cilindros que han ingresado y salido del equipo.

La etapa de presurizado se controlaría únicamente mediante un temporizador, para lo cual se requeriría de la realización de distintas pruebas a fin de determinar el tiempo mínimo requerido que las pinzas de llenado deberían estar activas para poder llevar a los cilindros a una presión de 100 Psi. Dicho tiempo sería un parámetro de entrada modificable a través de la pantalla HMI.

2.3.3 Sistema para prueba de estanquidad

A continuación, en la figura 2.4 se muestra un diagrama de flujo en donde se presenta de manera general el algoritmo que se ideó para controlar este proceso:



Figura 2.4 Algoritmo para proceso de prueba de estanquidad

Este proceso también requeriría de un final de carrera al ingreso y otro a la salida, los que le brindarían al PLC la información requerida para llevar un

conteo de los cilindros que entran y salen del equipo; sin embargo, la inspección para la identificación de fugas seguiría siendo visual, por lo que aún se requerirá de la presencia de un operador en este proceso.

2.3.4 Sistema para despresurizado de cilindros

A continuación, en la figura 2.5 se muestra un diagrama de flujo en donde se presenta de manera general el algoritmo que se ideó para controlar este proceso:

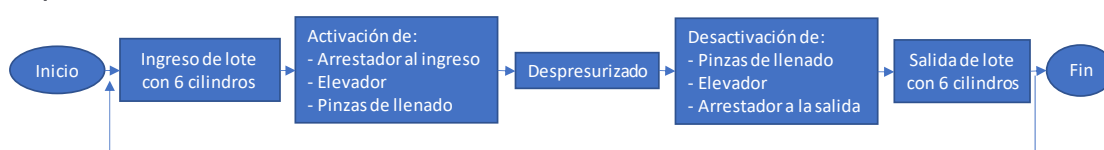


Figura 2.5 Algoritmo para proceso de despresurizado

Este proceso sería ejecutado de manera muy similar al de presurizado, con la única variante de que se realizaría la operación inversa, liberar presión a la atmósfera. Dicha operación de despresurización se ejecutaría durante un tiempo determinado mediante pruebas, mismo que sería un parámetro de entrada modificable a través de la pantalla HMI.

2.4 Diseño detallado del sistema de automatización

En esta sección se presentan las principales consideraciones y configuraciones que se tuvieron en cuenta al momento del desarrollo del proyecto. Se describe la selección del controlador, la normalización y escalamiento de la señal proveniente del transmisor de pesaje, como se configuró el objeto tecnológico para control de movimiento, las funciones disponibles para encendido del servo, punto de referencia, movimientos absolutos, entre otras. También se describen las configuraciones más importantes realizadas en el servodrive, las funciones y bloques de función que se desarrollaron para la ejecución de movimiento del servo, etc.

2.4.1 Selección de controlador

Como primer punto, por política de estandarización de la compañía, se decidió que el controlador (y HMI) sea del fabricante SIEMENS. Dentro del amplio abanico de controladores que este fabricante ofrece, para la selección se tuvieron en consideración los siguientes aspectos:

- **Distribución de las señales de los procesos.** – Dado que los cuatro procesos se encuentran en línea, a unos escasos metros de separación, se optó por una arquitectura centralizada, como se mostró en la figura 1.5.
- **Tipo y cantidad de señales de los procesos.** – Se procede a presentar la tabla 2.2 con un resumen de la cantidad de variables para cada proceso:

Tabla 2.2 Resumen de señales por proceso

Proceso	DI	DO	AI	AO	HS
Pintado de taras	6	6	1	0	1
Presurizado	4	4	0	0	0
Prueba de estanquidad	5	3	0	0	0
Despresurizado	4	4	0	0	0
Total:	19	17	1	0	1

Al total se adicionaron dos entradas digitales, por concepto de marcha y paro general de la línea (cuatro procesos).

- **Comunicación.** – Debido a que el dispositivo únicamente estaría en comunicación con el HMI, bastaría que cuente con un puerto Profinet; no obstante, en caso de querer realizar una ampliación futura o querer transmitir información a la nube, se optó por emplear un switch de cuatro puertos para enlazar la comunicación entre el PLC y HMI, quedando dos puertos libres para usos varios.
- **Entorno físico.** – Aquí se tuvo en consideración los aspectos mostrados en la tabla 2.3:

Tabla 2.3 Variables de entorno físico a ser consideradas

Temperatura en funcionamiento	40-45°C
Humedad relativa	40-50%
Ambiente corrosivo	Normal
Presencia de polvo	Normal
Zona clasificada	Zona 2 (EN 60079-10)

En base a las consideraciones previas se optó por un equipo industrial estándar. El controlador que cumplió con los requerimientos estipulados, y que existió disponibilidad local por parte de proveedores fue el S7-1200 1214C DC/DC/DC (6ES7214-1AG40-0XB0). Cabe mencionar que este dispositivo únicamente cuenta con 14 entradas y 10 salidas digitales, por lo que se requirió de un módulo de ampliación SM1223 (6ES7223-1BL32-0XB0) de 16 entradas y 16 salidas.

Finalmente, es preciso mencionar que, si bien el controlador seleccionado dispone de dos entradas analógicas de 0 a 10 voltios, y dado que el transmisor de pesaje brindaba la opción de generar la señal en términos de corriente de 4 a 20 miliamperios, se optó por adquirir un módulo de entradas analógicas SM1231 (6ES7231-4HD32-0XB0), esto debido a que las señales de corriente son más estables y menos propensas al ruido; por ende brindó la posibilidad de tener una mejor resolución para detectar las variaciones de peso en el rango requerido (0.01 Kg).

2.4.2 Normalización y escalamiento de señal analógica

Con estas operaciones se logró convertir la señal analógica (4 - 20mA) proveniente del transmisor de pesaje, a una escala de peso en kilogramos. Su metodología de cálculo se basa en que el controlador (o el módulo) al recibir la señal analógica, la convierte automáticamente a número entero comprendido entre 0 y 27648. La función de normalización toma este valor y lo convierte a un número real (decimal) comprendido entre 0 y 1; finalmente, la función de escalamiento recibe este valor real y lo convierte

a otro número real, pero en una escala definida por el usuario. En este caso se optó por una escala de 0 a 30 kilogramos, dado que el peso medio de un cilindro vacío ronda los 15 Kg. En la figura 2.6 se aprecia este proceso.

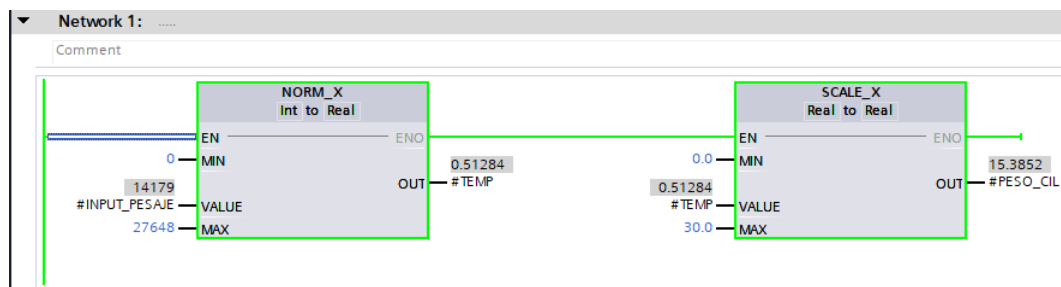


Figura 2.6 Proceso de normalización y escalonamiento de señal analógica.

2.4.3 Objeto tecnológico en TIA Portal

TIA Portal ofrece al usuario un entorno muy gráfico e intuitivo para la parametrización y puesta en marcha de servomotores (a los que denomina “objeto tecnológico”) cuando se requiere hacer control de posición. A continuación, se muestran los aspectos más relevantes de esta configuración:

- **Parámetros básicos generales.** – Aquí se le asigna un nombre al objeto tecnológico, se selecciona el método a través del cual el PLC controlará al drive (en este caso es mediante un tren de pulsos, PTO), y selecciona la unidad de medida para los desplazamientos. La figura 2.7 muestra la interfaz para configurar los parámetros generales.

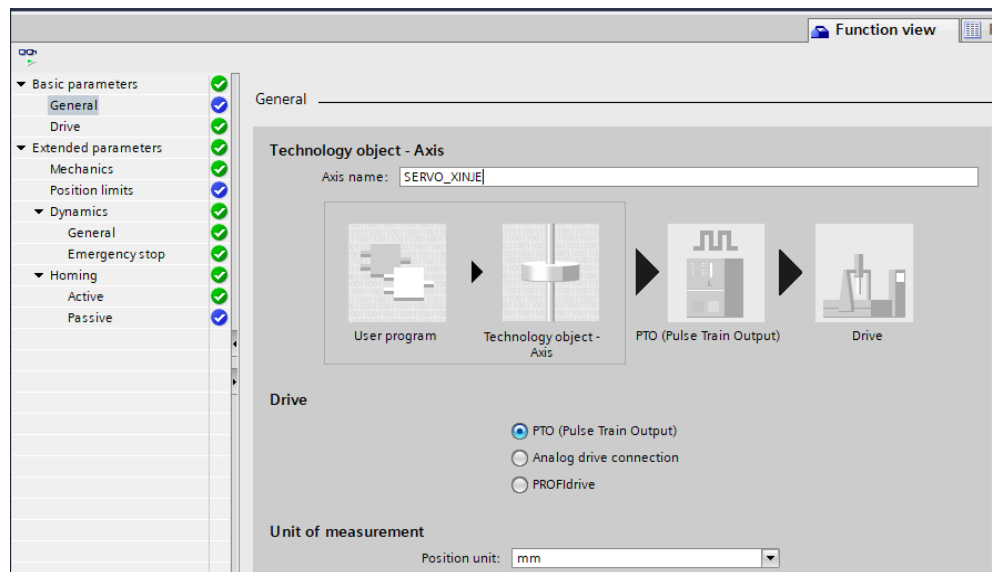


Figura 2.7 Parámetros básicos generales de un OT.

- **Parámetros del drive.** – En esta sección se asigna las direcciones de las salidas físicas del PLC que se encargarán de: generar el tren de pulsos hacia el drive para iniciar un movimiento (%Q0.0), indicar la dirección de giro (%Q0.1), y encender el drive (%Q0.3). La figura 2.8 muestra la interfaz para configurar los parámetros del drive.

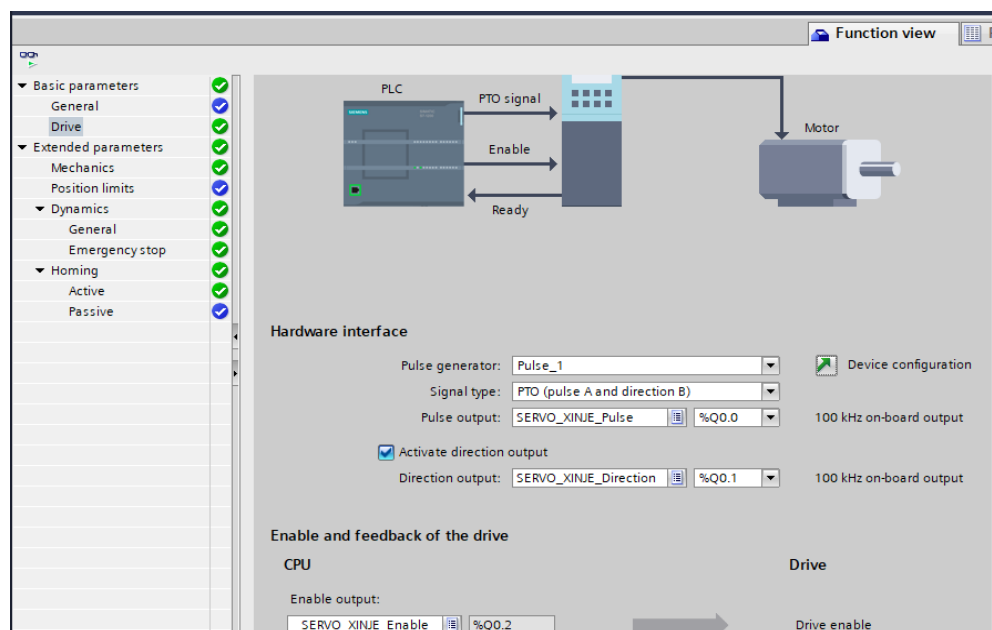


Figura 2.8 Parámetros del drive para un OT.

- **Parámetros mecánicos.** – Aquí se le indica al PLC el número de pulsos que debe enviar al drive para producir una revolución completa en el motor. Se le indica también al programa si el movimiento será unidireccional o se permitirá el movimiento en ambas direcciones. La figura 2.9 muestra la interfaz para configurar los parámetros mecánicos.

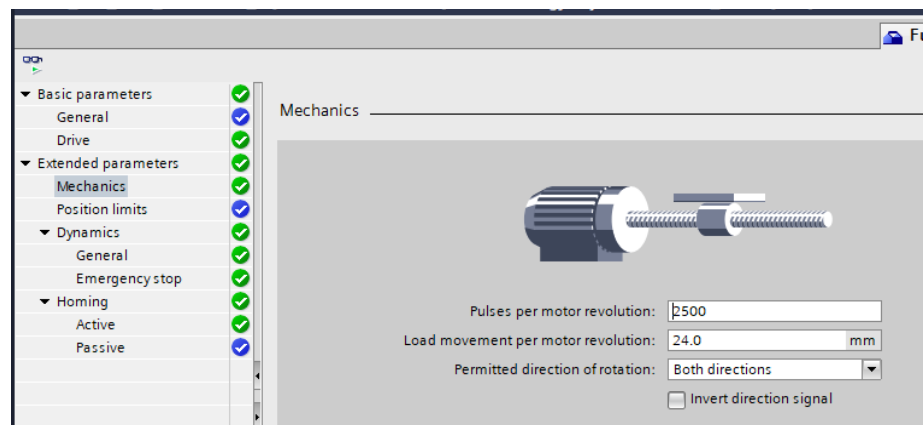


Figura 2.9 Parámetros mecánicos para un OT.

Finalmente, se le indica el paso de avance de la carga por cada revolución del motor, lo cual es útil en caso de emplear una caja reductora de velocidad, ya que mediante una regla de tres simple se puede obtener la relación mecánica total, valor con el cual el programa puede calcular el desplazamiento angular requerido para ubicar la carga en determinada posición.

- **Parámetros dinámicos.** – En esta sección, se asignan los límites de velocidad máxima, velocidad mínima de arranque y parada, aceleración y desaceleración. La figura 2.10 muestra la interfaz para configurar los parámetros dinámicos.

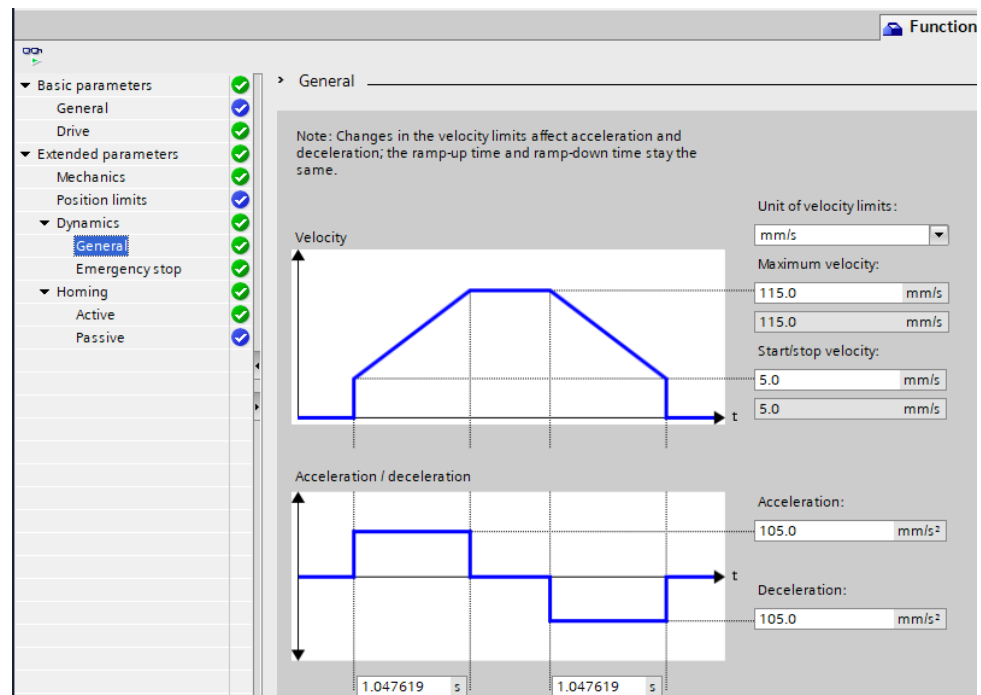


Figura 2.10 Parámetros dinámicos para un OT.

Para el cálculo de la velocidad máxima de se debe tener en consideración que las salidas rápidas del PLC pueden alcanzar un valor máximo de 100 KHz, por lo que si el motor requiere de 2500 pulsos para girar una revolución completa, la velocidad máxima a la que el PLC podrá hacer girar el motor será de:

$$\omega_{max} = \frac{100000 \text{ Pul/s}}{2500 \text{ Pul/rev}} = 40 \text{ rev/s} = 2400 \text{ RPM}$$

No obstante, en caso de requerir una mayor (o menor) velocidad, los drives usualmente incorporan dentro de sus funciones una relación de velocidad electrónica, la cual ayuda a hacer girar el motor a una mayor o menor velocidad, pero siempre debiendo tener en consideración de no sobrepasar los límites establecidos por el fabricante del motor.

- **Parámetros para punto de referencia.** – En esta sección se le indica al programa la dirección de la entrada física del PLC en la que se conectó el sensor ubicado en el punto considerado como referencia cero (denominado “HOME”). También se definen las velocidades de

aproximación y llegada a las que viajará la carga cuando se requiera buscar el punto de referencia (home activo) ya sea por cuestiones de comprobación de calibración o por haber finalizado una tarea. La figura 2.11 muestra la interfaz para configurar los parámetros de HOME o punto de referencia.

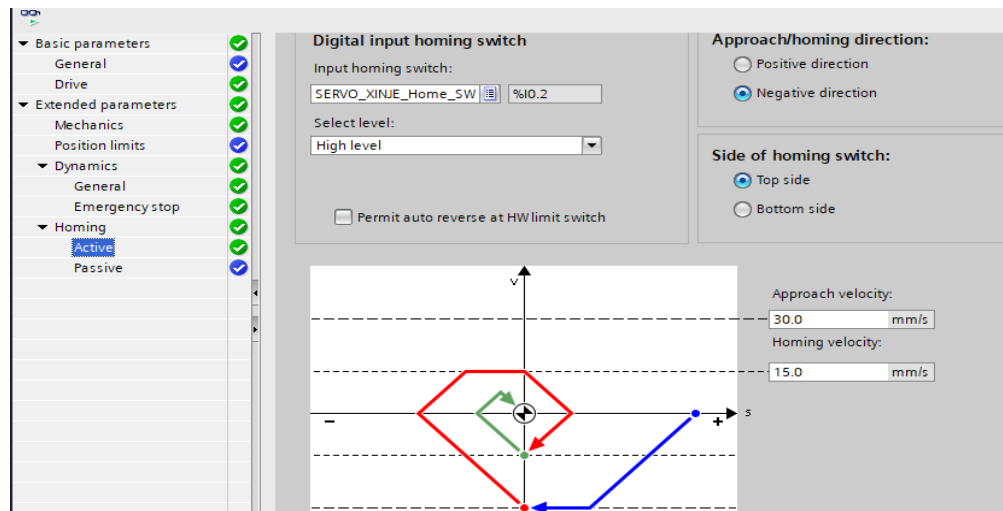


Figura 2.11 Parámetros para HOME de un OT.

2.4.4 Funciones para Motion Control

El uso y parametrización de las principales funciones para control de movimiento se detallan a continuación [6]:

- **MC Power.** – Sirve para encender y apagar el drive del motor. La figura 2.12 muestra la función de MC Power con sus distintos parámetros.

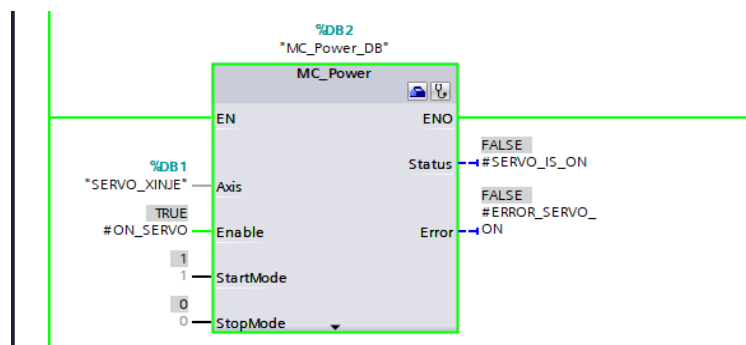


Figura 2.12 Bloque MC Power para Motion Control

- **MC Reset.** – Sirve para reconocer y resetear los errores que pudieran presentarse en el objeto tecnológico. La figura 2.13 muestra la función de MC Reset con sus distintos parámetros.

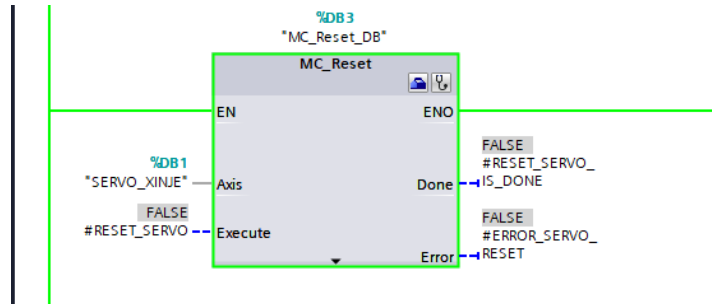


Figura 2.13 Bloque MC Reset para Motion Control

- **MC Home.** - En su modo activo, sirve para dar la orden al objeto tecnológico de que se dirija al punto establecido como referencia. La figura 2.14 muestra la función de MC HOME con sus distintos parámetros.

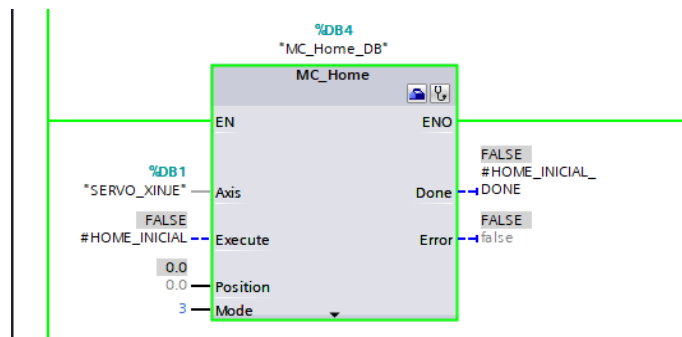


Figura 2.14 Bloque MC Home para Motion Control

- **MC Move Absolute.** – Da la orden al objeto tecnológico para que se desplace a una posición absoluta, y emite una señal una vez que ha alcanzado la posición de destino. Aquí también se puede establecer la velocidad de desplazamiento. La figura 2.15 muestra la función de MC Move Absolute con sus distintos parámetros.

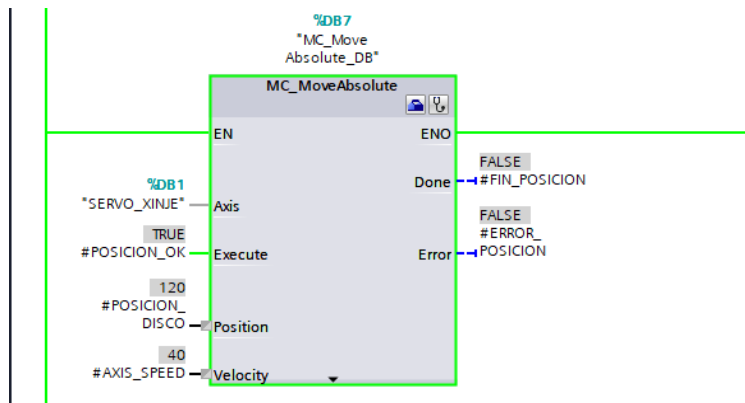


Figura 2.15 Bloque MC Move Absolute para Motion Control

2.4.5 Función para determinar posición de giro

La determinación de la posición a la que se debe mover el servomotor basado en la información que recibe el controlador, y que proviene del transmisor de pesaje, se basa en una función que se desarrolló, la cual básicamente recibe el dato proveniente del proceso de normalización y escalado, verifica en qué rango de peso se encuentra, y devuelve como resultado la posición asignada a dicho valor, y una variable auxiliar para indicar que la posición de destino ha sido determinada, o en su defecto, que se trata de un cilindro fuera de rango. A continuación, en la figura 2.16 se puede visualizar su lógica de funcionamiento; mientras que la figura 2.17 muestra el bloque compacto con sus entradas y salidas:

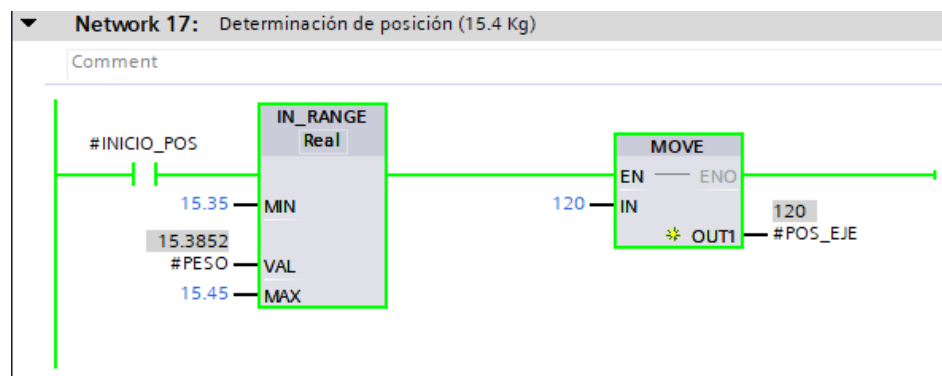


Figura 2.16 Función para determinación de posición de giro (extendida).

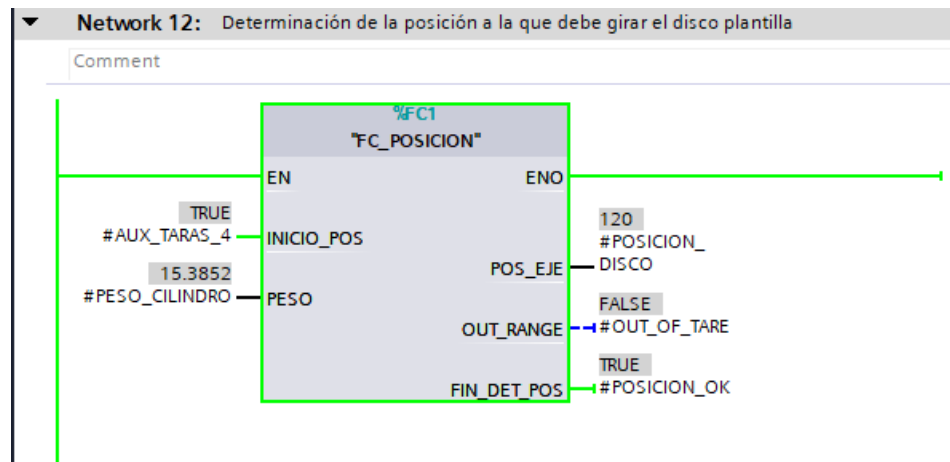


Figura 2.17 Bloque evaluador para determinación de posición de giro.

2.5 Sistema SCADA y conexión a PLC

Esta parte del proyecto se desarrolló con fines didácticos teniendo como objetivo el describir las principales acciones a tener en consideración al momento de configurar un canal de comunicación entre el PLC y un SCADA desarrollado en Indusoft, utilizando como servidor OPC a KEPServerEX.

2.5.1 Configuración de canal en KEPServerEX

Esta configuración se inició mediante la adición de un nuevo canal, en el que se selecciona como canal de comunicación a *Siemens TCP/IP Ethernet* y se le asigna un nombre para luego aceptar todas las configuraciones recomendadas por defecto. Una vez creado el canal se procede a agregar al controlador con el que se desea establecer la comunicación, para lo cual se le asigna un nombre, se selecciona el tipo de dispositivo (S7-1200) y se define la dirección IP que tiene asignada para luego finalizar aceptando todas las demás configuraciones recomendadas por defecto.

Una vez que se creó el canal y se añadió el dispositivo fue posible agregar las variables del controlador que se deseaba sean visualizadas en el sistema SCADA. A continuación, se presenta la figura 2.18 para ayudar a describir este proceso:

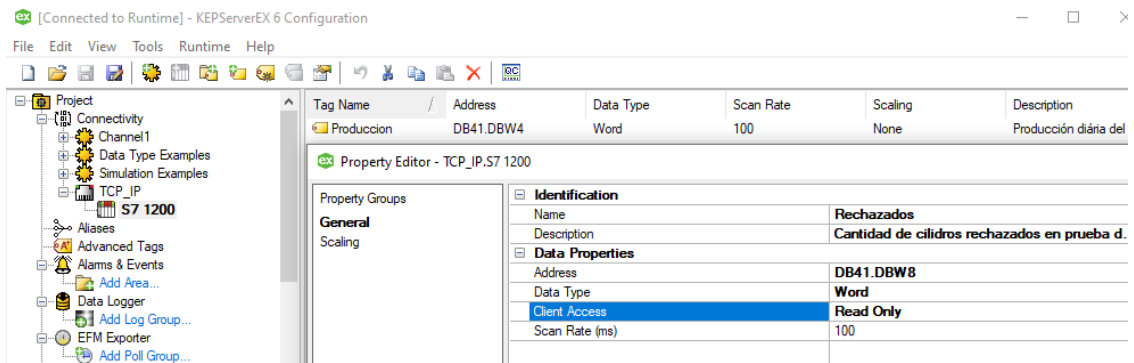


Figura 2.18 Ingreso de variables de PLC en canal de servidor OPC.

Como se observa en la figura anterior, el campo *Name* sirve para asignarle un nombre a la variable, en *Description* se puede ingresar comentarios que ayuden a identificar a la variable. En *Address* se coloca la dirección que tiene asignada la variable en el PLC, *Data Type* representa el tipo de dato de la variable (Bool, Word, etc.). Client Access permite configurar si la variable será de lectura, escritura o ambas. Finalmente, *Scan Rate* representa el tiempo con el que se actualizará el valor de la variable.

2.5.2 Configuración de canal en Indusoft

Esta configuración inició con la creación de una hoja de trabajo para cliente OPC DA en el apartado de comunicaciones de Indusoft. A continuación, se muestra la figura 2.19 para describir de mejor manera este proceso:

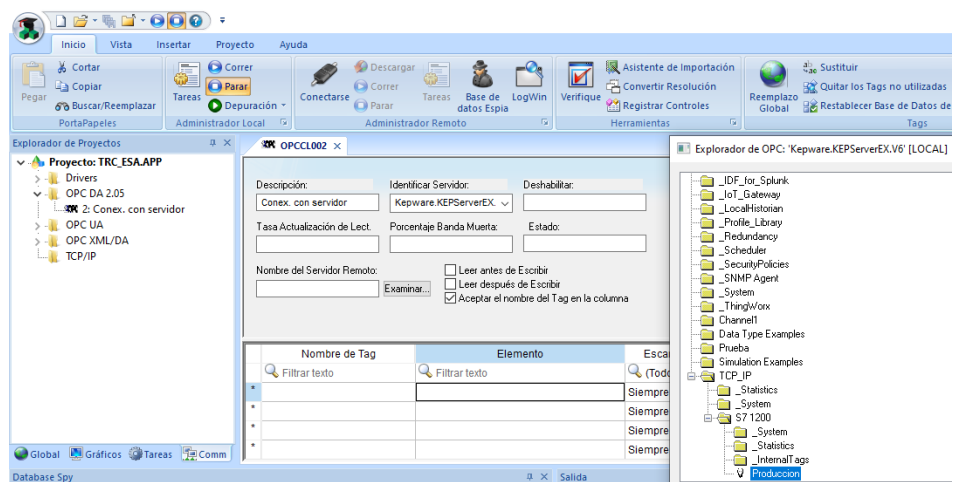


Figura 2.19 Ingreso de variables en Indusoft (cliente OPC).

En Identificar Servidor se selecciona Kepware.KEPServerEX. Posteriormente en la hoja de trabajo se procede a ingresar las variables, para ello, en la columna *Elemento* se selecciona *Explorador OPC*, en donde se procede a buscar la variable que se desea ingresar yendo al canal creado y configurado del servidor KEPServer. En la columna *Nombre de Tag* se le asigna un nombre para identificarla en el sistema SCADA. Este proceso se repite para cada variable que se desea leer o escribir.

A continuación, en la figura 2.20 se muestra el sistema SCADA desarrollado con la finalidad de mostrar la configuración del canal para establecer la comunicación a través del servidor OPC.

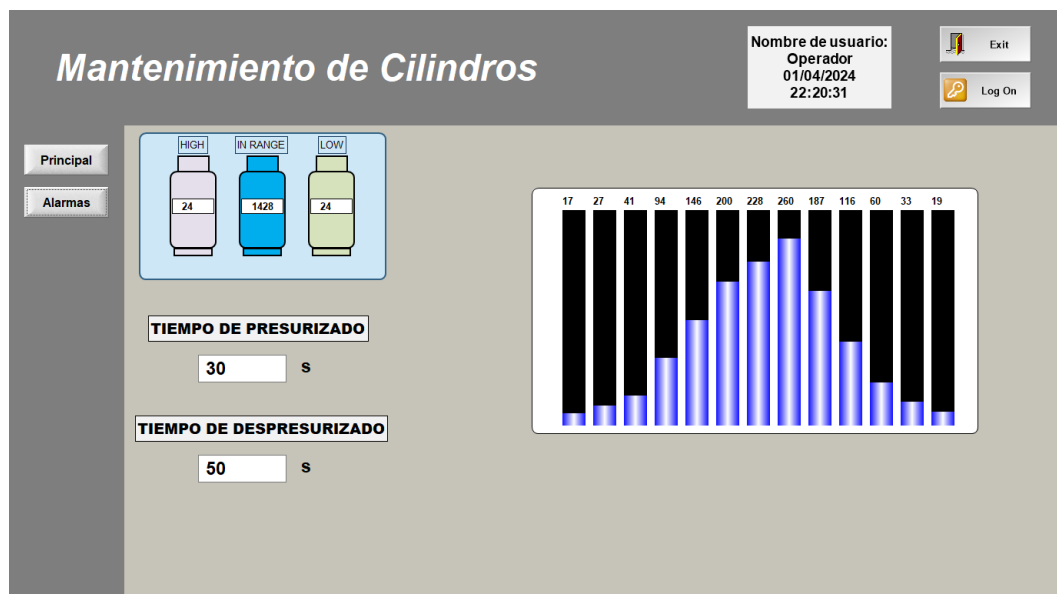


Figura 2.20 Pantalla desarrollada en Indusoft para leer y escribir variables.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan los resultados más destacables luego de la puesta en operación del sistema de automatización, analizando variables como: rendimiento de los equipos, requerimiento de horas-hombre, productividad diaria de la línea, entre otros; para luego presentar un análisis de los costos en que se incurrió para la implementación del proyecto, y finalmente ejecutar un análisis de resultados.

3.1 Principales resultados del sistema de automatización

- **Rendimiento de los procesos/equipos.** – Se obtuvo un incremento considerable en la cantidad de cilindros por hora que los equipos (controlados por el sistema de automatización) son capaces de procesar. A continuación, se muestra la tabla 3.1, en donde se comparan los rendimientos antes y luego de la implementación de los equipos:

Tabla 3.1 Rendimientos de equipos y procesos antes y después.

Proceso	Antes		Después		Incremento en rendimiento (%)
	Ciclo (s)	Rendimiento (cil/hr)	Ciclo (s)	Rendimiento (cil/hr)	
Pintado de taras	22	165	17	215	30%
Presurizado	50 (5 cil)	360	50 (6 cil)	432	20%
Prueba de estanquidad	45 (6 cil)	480	45 (6 cil)	480	0%
Despresurizado	60 (6 cil)	360	60 (6 cil)	360	0%

- **Requerimiento de horas-hombre.** – Se logró una disminución considerable en el total de horas-hombre requeridas para la línea de mantenimiento de cilindros. En la tabla 3.2 se presenta un cuadro comparativo de dicho requerimiento antes y después de la implementación del proyecto:

Tabla 3.2 Requerimiento de horas-hombre antes y después.

	Horas-Hombre	
	Antes	Después
Otros procesos	150	160
Pintado de taras	10	0
Presurizado	10	0
Prueba de estanquidad	10	10
Despresurizado	10	0
Total:	190	170
Diferencia (%)	-10,5%	

- **Productividad del personal.** – Se logró incrementar la productividad del personal. Esto debido a la disminución del requerimiento de horas-hombre empleadas en esta línea de producción, y al reforzamiento de otras áreas críticas consideradas cuello de botella, con el personal retirado de los procesos automatizados. A continuación, se muestra la tabla 3.3 en donde se compara este indicador productivo para antes y después de la implementación:

Tabla 3.3 Productividad del personal

	Antes	Después
Producción media: (Cilindros/día)	1250	1410
# Personas	19	17
Jornada laboral: (hr)	10	
Productividad: (Cil/hora-hombre)	6,6	8,3
Diferencia (%)	26,1%	

En términos generales, para una misma jornada laboral de 10 horas, la producción aumento en una media de 160 cilindros, lo que representa un incremento del 12.8%; esto sumado al hecho de que el requerimiento

de horas-hombre disminuyó en 20 horas, lo que representa una reducción del 10.5%.

- **Peso medio de cilindros y medidas de tendencia central.** – Se logró determinar el peso medio de los cilindros que ingresan a mantenimiento, así como su desviación estándar. La figura 3.1 muestra el diagrama de frecuencias para los distintos valores de peso de los cilindros, mismo que se asemeja a una distribución normal con media igual a 14.8 kg, y una desviación estándar igual a 0.274 kg.

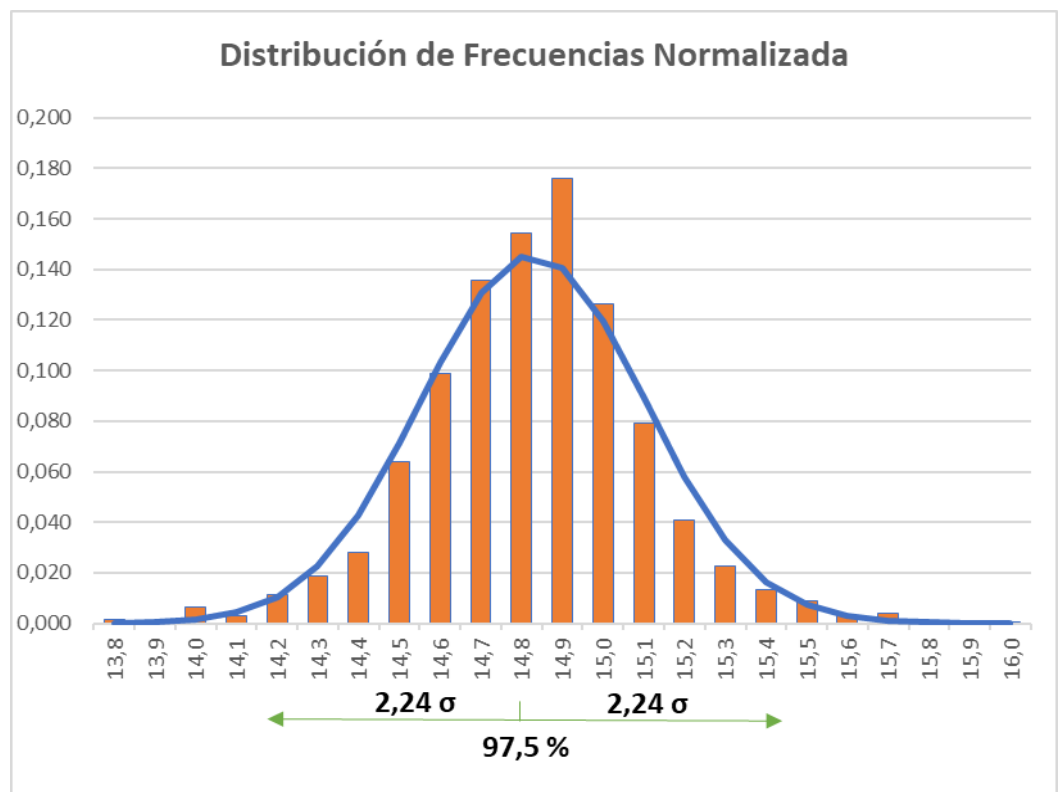


Figura 3.1 Distribución de frecuencias del peso de los cilindros.

3.2 Análisis de costos

En esta sección, en la tabla 3.4 se presenta el detalle de los costos en los que se incurrió para la ejecución del proyecto. Los materiales se separaron de acuerdo a su área (material eléctrico, neumático y mecánico), y en lo referente a los precios, se aclara que fueron adquiridos en el último trimestre del año 2022.

Tabla 3.4 Análisis de costos incurridos en la ejecución del proyecto.

Material Eléctrico				
Descripción	Cant.	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
PLC S7-1200 1214C DC/DC/DC (6ES7214-1AG40-0XB0)	1	Un	\$ 565,80	\$ 565,80
Módulo de señales digitales SM1223 (6ES7223-1BL32-0XB0)	1	Un	\$ 437,40	\$ 437,40
Módulo de entradas analógicas SM1231 (6ES7231-4HD32-0XB0)	1	Un	\$ 439,92	\$ 439,92
Fuente de poder SITOP 10 AMP (6EP1334-3BA10)	1	Un	\$ 345,60	\$ 345,60
Switch Ethernet (6GK7277-1AA10-0AA0)	1	Un	\$ 221,34	\$ 221,34
Pantala KTP700 Basic (6AV2123-2GB03-0AX0)	1	Un	\$ 1.009,80	\$ 1.009,80
Servodrive XINJE (DS2-20P2-AS)	1	Un	\$ 560,00	\$ 560,00
Servomotor XINJE (MS60STE/M006300B-20P2)	1	Un	\$ 320,00	\$ 320,00
Minirelé + base	17	Un	\$ 10,85	\$ 184,45
Sensor inductivo PNP (3RG4012-3AG01)	1	Un	\$ 78,24	\$ 78,24
Fin de carrera (XCK-J10559)	10	Un	\$ 51,30	\$ 513,00
Transmisor de pesaje LAUMAS TCB	1	Un	\$ 650,00	\$ 650,00
Celda de carga 300 Kg	1	Un	\$ 713,00	\$ 713,00
Materiales eléctricos varios	1	Un	\$ 450,00	\$ 450,00
Subtotal:				\$ 6.488,55
Material Neumático				
Descripción	Cant.	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Válvula Solenoide (4V310-08-C-T)	17	Un	\$ 64,40	\$ 1.094,80
Actuadores neumáticos	19	Un	\$ 121,30	\$ 2.304,70
Materiales neumáticos varios	1	Un	\$ 500,00	\$ 500,00
Subtotal:				\$ 3.899,50
Material Mecánico				
Descripción	Cant.	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Perfilería	1	Un	\$ 800,00	\$ 800,00
Materiales mecánicos varios	1	Un	\$ 200,00	\$ 200,00
Subtotal:				\$ 1.000,00
Mano de obra	480	hr	\$ 3,50	\$ 1.680,00
Ingeniería y desarrollo	1	Un	\$ 2.400,00	\$ 2.400,00
Total:				\$ 15.468,05

Como se visualiza en la tabla anterior, el costo total incurrido para la implementación fue de \$15.468,05, y dado que gracias a esta implementación se evitó la contratación de personal adicional para ejecutar otras actividades, ya que esas posiciones fueron cubiertas por las dos personas que salieron del proceso de mantenimiento de cilindros, cuyo salario ronda los \$850 por mes, se tiene en promedio un ahorro de \$1700 cada mes. Esto permitió establecer que el retorno de la inversión (ROI) se dará a partir del noveno mes desde su implementación.

3.3 Análisis de resultados

En sección se procede a analizar los resultados obtenidos luego de la implementación de este proyecto. En la tabla 3.1 se observa una disminución de 5 segundos en el proceso de pintado de taras, lo que representa un incremento del 30% en el rendimiento. Esto se debe principalmente a que el servomotor puede posicionar la plantilla de manera más rápida que en la que el operador podía identificar y tomar la plantilla individual.

Por otro lado, en la misma tabla 3.1 se observa que, en el proceso de presurizado de los cilindros, si bien el tiempo del ciclo se mantiene igual, existió un incremento del 20% en el rendimiento de este proceso. Esto se debe a que antes de la ejecución del proyecto, el banco del que disponía el operador le permitía presurizar lotes de solo cinco cilindros; sin embargo, el nuevo equipo permite la presurización de lotes de seis cilindros. Finalmente, en lo referente a los procesos de prueba de estanquidad y despresurizado de cilindros, se observa que la ejecución de este proyecto no representó variación alguna en lo que a productividad de estos dos procesos se refiere, no obstante, sí representó una notable mejora en lo referente a productividad del personal, lo que se analizará en el siguiente párrafo.

En la tabla 3.2 se observan los requerimientos de personal (en horas-hombre) para todo el proceso de mantenimiento de cilindros, antes y después de la implementación, haciendo un desglose en los cuatro procesos que fueron el

alcance del sistema de automatización implementado. Se observa que si bien en tres de los cuatro procesos se dejó de requerir la presencia de un operador, uno de los tres operadores fue a reforzar un proceso previo que se considera crítico para la producción diaria debido a su bajo rendimiento, motivo por lo que en la tabla se observa un incremento de diez horas-hombre en el proceso previo luego de la implementación del proyecto, no obstante, en términos totales se logró disminuir en veinte horas-hombre el requerimiento de personal para la línea de mantenimiento de cilindros, lo que representó una reducción del 10.5%.

En la tabla 3.3 se observa como varió la producción diaria tomando como base una jornada laboral de diez horas. La producción se incrementó en promedio 160 cilindros, lo que representa un aumento del 12.8%. Esto se debió principalmente al movimiento de personal descrito en el párrafo anterior, en donde un operador que ya no era necesario en uno de los procesos automatizados fue a reforzar un proceso previo crítico, cuyo rendimiento rondaba los 125 cilindros por hora, y luego de que el operador fue a reforzarlo, pasó a un rendimiento promedio de 141 cilindros por hora. Al analizar la cantidad de cilindros producidos por hora-hombre, se observa que luego de la implementación este indicador pasó de 6.6 a 8.3 cilindros por hora-hombre, lo que significó un incremento del 26.1%. Este incremento tan notable se debe a que ahora, en una misma jornada laboral de diez horas, se producen más cilindros con menos personal.

Por otro lado, en la figura 3.1 se presenta un gráfico estadístico de distribución de frecuencias para el peso de los cilindros mantenidos, obtenido a partir de los datos que se generan en el proceso de pintado de taras. Se observa que la distribución de frecuencias se asemeja a una normal con una media de 14.8 Kg y una desviación estándar de 0.274 Kg, lo que significa que para un intervalo de confianza del 97.5%, se podría afirmar que el peso de los cilindros que van a mantenimiento se encuentra en el rango comprendido entre 14.2 Kg y 15.4 Kg.

Finalmente, en la tabla 3.4 se presenta un resumen de los costos en los que se incurrió para la ejecución del proyecto. Los rubros más representativos fueron los relacionados con la adquisición del material eléctrico, y en menor grado los materiales de tipo neumático. Dentro de los materiales eléctricos el costo más representativo lo tuvo el HMI, seguido del transmisor de pesaje, el PLC y sus módulos. Aquí también se hizo referencia al tiempo de retorno de la inversión ya que, con el movimiento del personal ya no requerido, a otras áreas productivas referentes a la comercialización de GLP, en promedio se genera un ahorro de \$1700 mensuales, valor que representa el salario de las dos personas que se hubiese debido contratar para la ejecución de dichas tareas. Esto nos permite determinar el tiempo de amortización de la inversión, el que se estima en ocho meses, lo que representa un tiempo relativamente corto, motivo por el cual se justifica ampliamente la inversión realizada, ya se será recuperada en el mediano plazo.



Figura 3.2 Vista panorámica del sistema implementado

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El sistema de automatización controla de manera satisfactoria los procesos para los cuales fue desarrollado, logrando incrementar el rendimiento de los procesos para pintado de taras y presurización de cilindros, además de disminuir el requerimiento de horas-hombre destinadas a la línea de producción, mejorar la productividad del personal, y facilitar la recolección de datos e información referente a la producción.

La programación estructurada por bloques para cada proceso facilitó sustancialmente el desarrollo del programa, brindando la posibilidad al usuario de poner en marcha o detener algún proceso de manera aislada al resto de la línea de producción, además de permitir controlar en modo manual cada proceso, pudiendo activar o desactivar de manera individual cualquier actuador de la línea de producción.

La interfaz desarrollada permitió parametrizar de manera sencilla las distintas variables que intervienen en cada uno de los procesos, facilitando la sincronización de los equipos con la cadena transportadora de cilindros; además de permitir el control en modo manual de cada uno de los procesos, así como de facilitar la visualización de datos e información relacionada a la producción (ver apéndice).

La puesta en operación del sistema permitió incrementar el nivel de producción diaria en un 12.8% (160 cilindros) gracias a la disminución de requerimiento de personal en los procesos automatizados, lo que brindó la posibilidad de realizar un movimiento de personal para reforzar e incrementar el rendimiento del proceso que limita la producción de la línea.

El uso de servidores OPC es una alternativa sencilla y viable que brindan la posibilidad de transferir información entre controladores de diversos fabricantes con sistemas SCADA desarrollados en diversos tipos de software, permitiendo la lectura y escritura de las distintas variables que intervienen en los procesos sin la necesidad de tener acceso físico al controlador.

La implementación del sistema de automatización representa un beneficio económico considerable para la empresa debido a que el retorno de la inversión realizada se dará en aproximadamente nueve meses contabilizados a partir de su puesta en operación, lo que representa un tiempo de amortización relativamente corto.

Los sistemas de control de posición por tren de pulsos (PTO) son una alternativa eficiente para el control de servomecanismos, en especial cuando se emplean servodrives y controladores de distintos fabricantes, ya que facilita la intercambiabilidad entre dispositivos de diferentes marcas sin preocuparse por la compatibilidad de hardware o software.

Cerca del noventa y ocho por ciento de los cilindros que ingresan a la línea de mantenimiento tienen un peso que oscila en el rango comprendido entre los 14.2 kilogramos y los 15.4 kilogramos, cuya distribución de frecuencia para los pesos se asemeja a una distribución normal con media igual a 14.8 kilogramos y una desviación estándar igual a 0.274 kilogramos.

Recomendaciones

En los sistemas de pesaje, al momento de seleccionar el transmisor, si este se comunica con el controlador mediante una señal analógica, es recomendable que esta señal sea corriente (mA), debido a que brinda una mayor estabilidad y es menos propensa a ser afectada por ruido, lo que permite realizar mediciones más precisas y con una mayor sensibilidad, así se podrán detectar variaciones de peso más pequeñas.

Dependiendo del proceso, y de ser posible, una buena opción para un sistema de pesaje sería el uso de transmisores que empleen algún tipo de protocolo de comunicación (Modbus RTU, ASCII, etc.) para transmitir el valor del peso al controlador, en lugar de hacerlo mediante una señal analógica, ya que esto permitiría una mayor rapidez en la comunicación, dado que los transmisores de pesaje requieren de un determinado lapso de tiempo para generar la señal analógica correspondiente al peso que la celda de carga está midiendo; además brindaría la posibilidad de alcanzar mayores distancias entre el controlador y el transmisor, de ser necesario.

Dado que en un principio no se disponía de datos referentes a la distribución de frecuencia de peso de los cilindros, se optó por fabricar una plantilla que abarcara el rango comprendido entre los 13.7 kg a los 16.0 kg simplemente basados en experiencia; sin embargo, una vez que se determinó que el 97.5% de los cilindros que pasan a través de la línea de mantenimiento se encuentra en el rango comprendido entre los 14.2 kg y 15.4 kg, se podría implementar una plantilla que abarque un menor rango, lo que incidiría en un menor diámetro de la misma y por ende una menor inercia de giro, pudiendo de esta manera poder incrementar la velocidad de giro y disminuir los tiempos de aceleración y desaceleración, reduciendo así el tiempo que dura de ciclo del proceso de pintado de taras.

Es recomendable tener disponibilidad de una segunda plantilla circular para recambio inmediato, en momentos cuando la que se encuentre trabajando ya contenga excesivos residuos de pintura y requiera de limpieza para mantener la nitidez de los números que se pintan en los cilindros.

Al momento de establecer la ubicación para la instalación del sensor inductivo y el elemento metálico que sirve de punto de referencia para la plantilla giratoria, de preferencia este debe ser ubicado sobre una base rígida ya que, si se lo ubica directamente sobre el disco, este tiende a vibrar al momento de girar producto de su elasticidad y diámetro, por lo que existe el riesgo de que el objeto metálico no sea detectado por el sensor, dependiendo de su alcance.

En función del controlador seleccionado y de su número de puertos de comunicación incorporados, es recomendable el uso de un switch para establecer la comunicación entre el PLC y el HMI, obteniendo de esta forma al menos un puerto libre para establecer comunicación con otros dispositivos o llevar información a la nube en caso de realizar una ampliación al alcance del proyecto.

Dado que los elementos electrónicos y las señales analógicas son propensos a sufrir perturbaciones ocasionadas por el ruido de la red eléctrica, es altamente recomendable y de ser necesario, implementar sistemas de aislamiento y filtrado, así como un buen sistema de puesta a tierra para los distintos elementos electrónicos e instrumentos de medición acorde a las especificaciones técnicas de sus fabricantes.

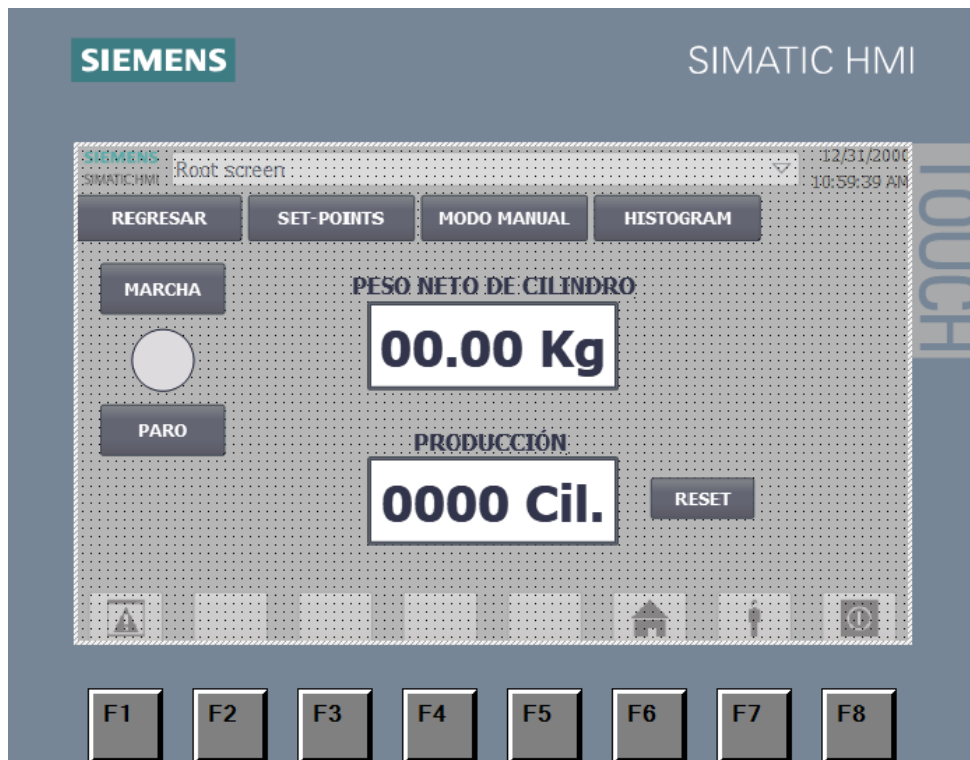
BIBLIOGRAFÍA

- [1] LOJAGAS, «Hola de Seguridad del Gas Licuado de Petróleo,» [En línea]. Available: <http://lojagas.com/nueva/wp-content/uploads/2017/08/G-99.-HOJA-DE-SEGURIDAD-GAS-LICUADO-DE-PETROLEO.pdf>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [2] Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, «Reglamento Actividades de Comercialización Gas Licuado de Petróleo,» 5 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.gob.ec>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [3] R. Sanchis, J. Romero y C. Ariño, Automatización Industrial, Castelló de la Plana: Sapiencia, 2010.
- [4] J. Hernández, J. Duque y J. Vargas, "Modulo de Servomotor, PLC de Pulsos", Trabajo de titulación, Medellín: Fac. Ing. Elect., Inst. Univ. Pascual Bravo, 2015.
- [5] Zemic Europe, «Top-Sensors Weight Transmitters,» Abril 2023. [En línea]. Available: <https://www.zemiceurope.com>. [Último acceso: 13 Abril 2023].
- [6] SIEMENS, "SIMATIC, S7 Controlador programable S7-1200. Manual de sistema", V4.5 ed., Berlín: Siemens AG Digital Industries, 2021.

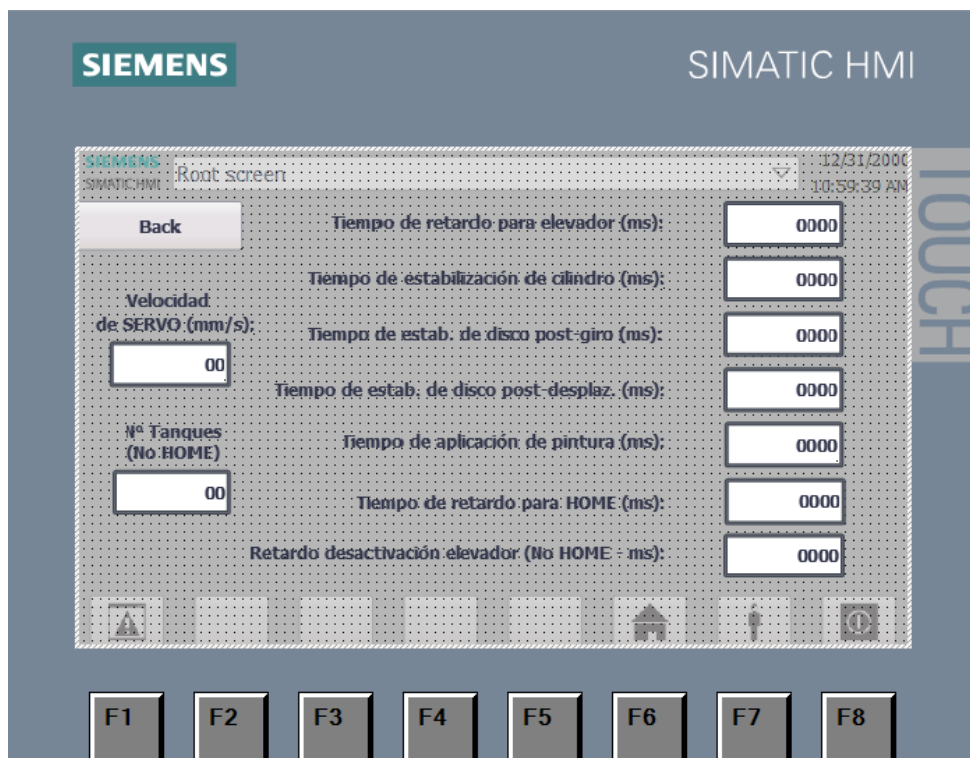
APÉNDICES

APÉNDICE A

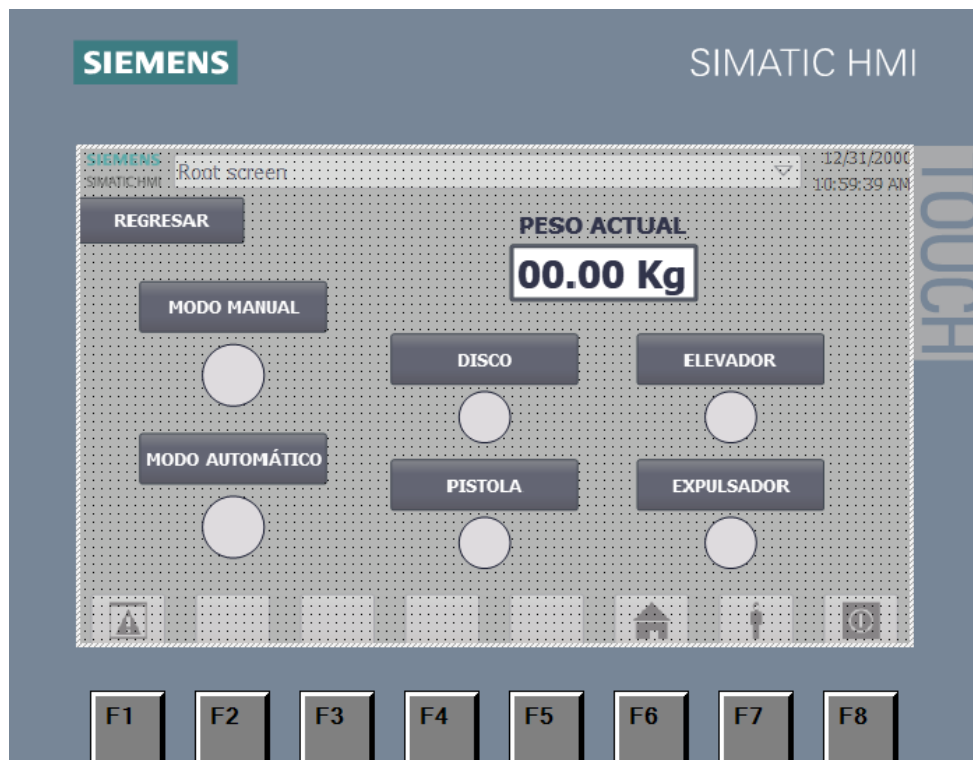
EQUIPO DE PINTADO DE TARAS - PRINCIPAL



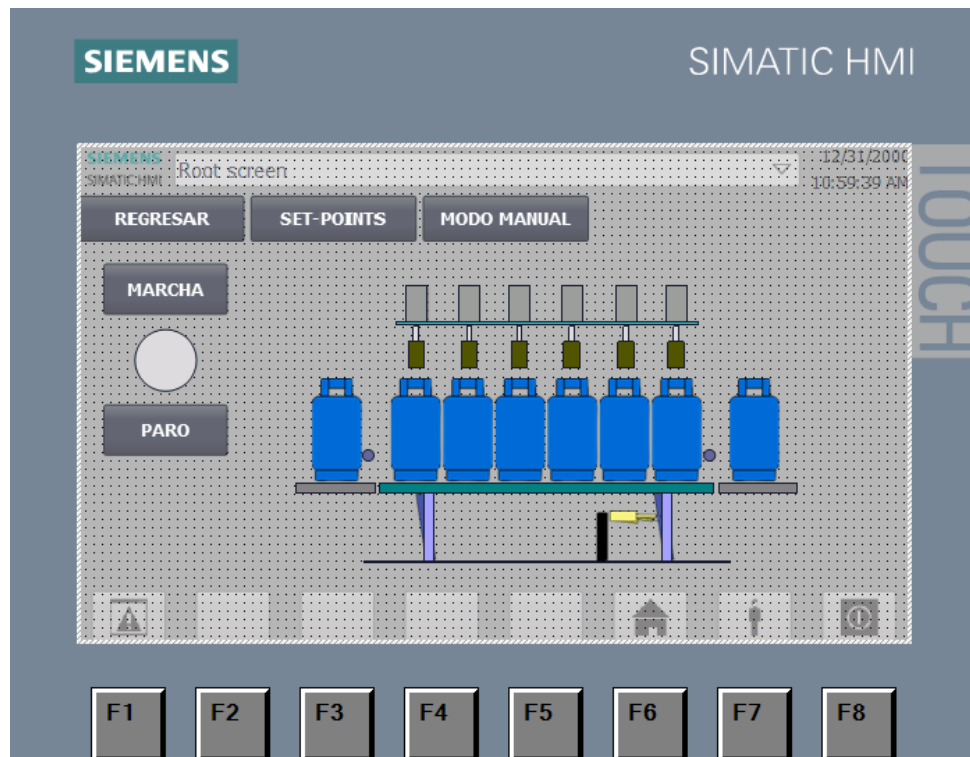
EQUIPO DE PINTADO DE TARAS – SET POINTS



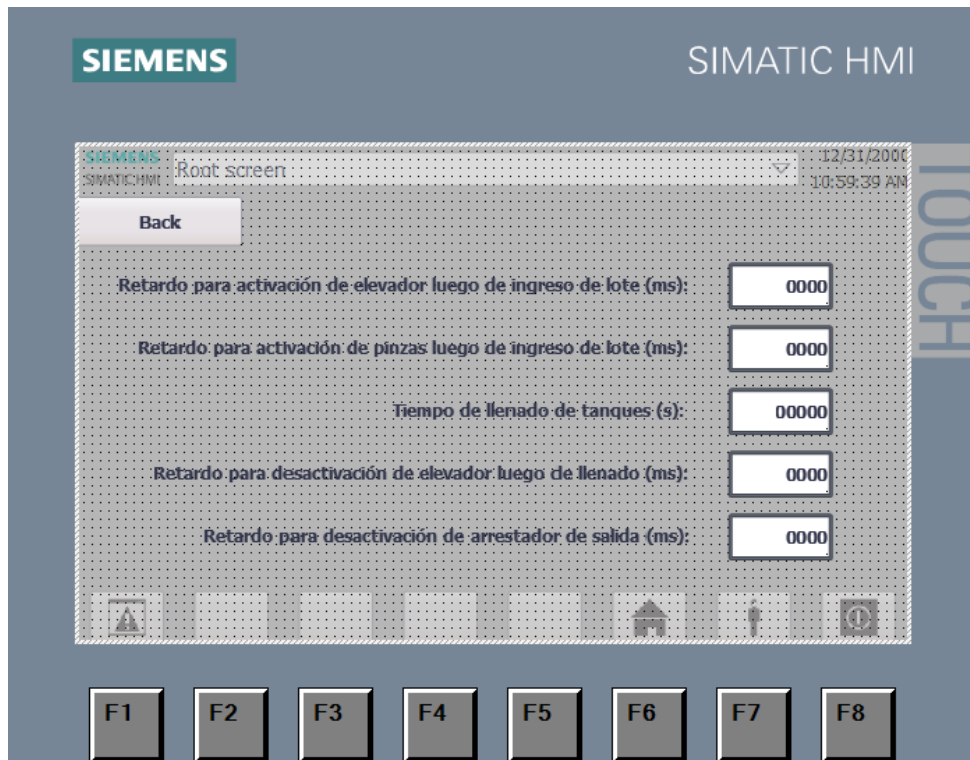
EQUIPO DE PINTADO DE TARAS – MODO MANUAL



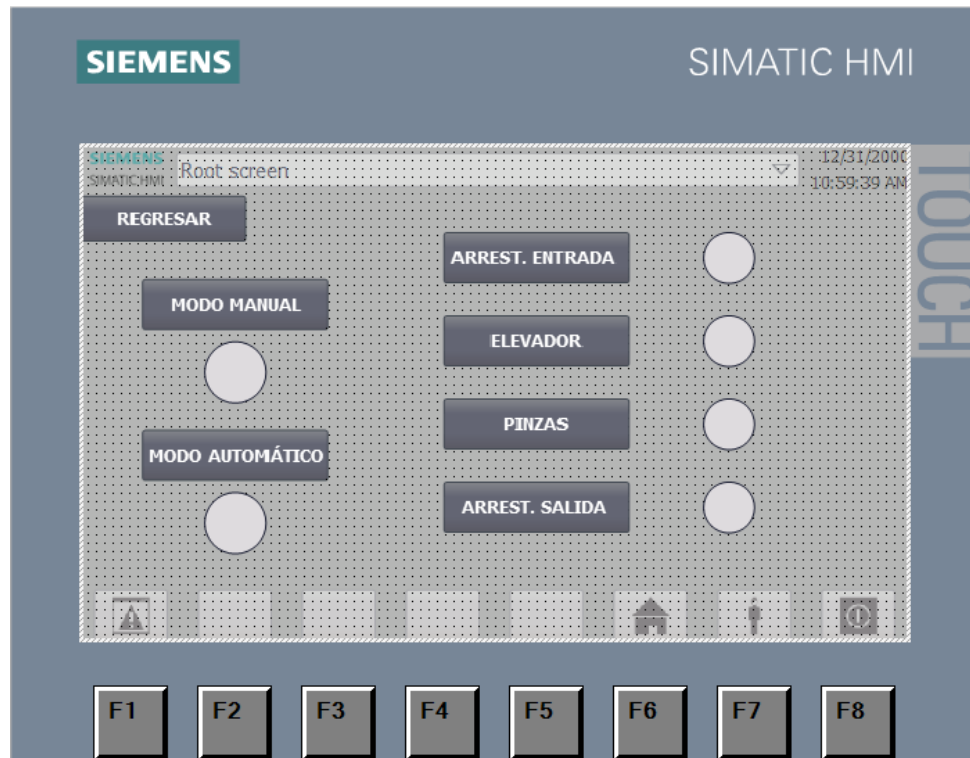
EQUIPO DE PRESURIZADO – PRINCIPAL



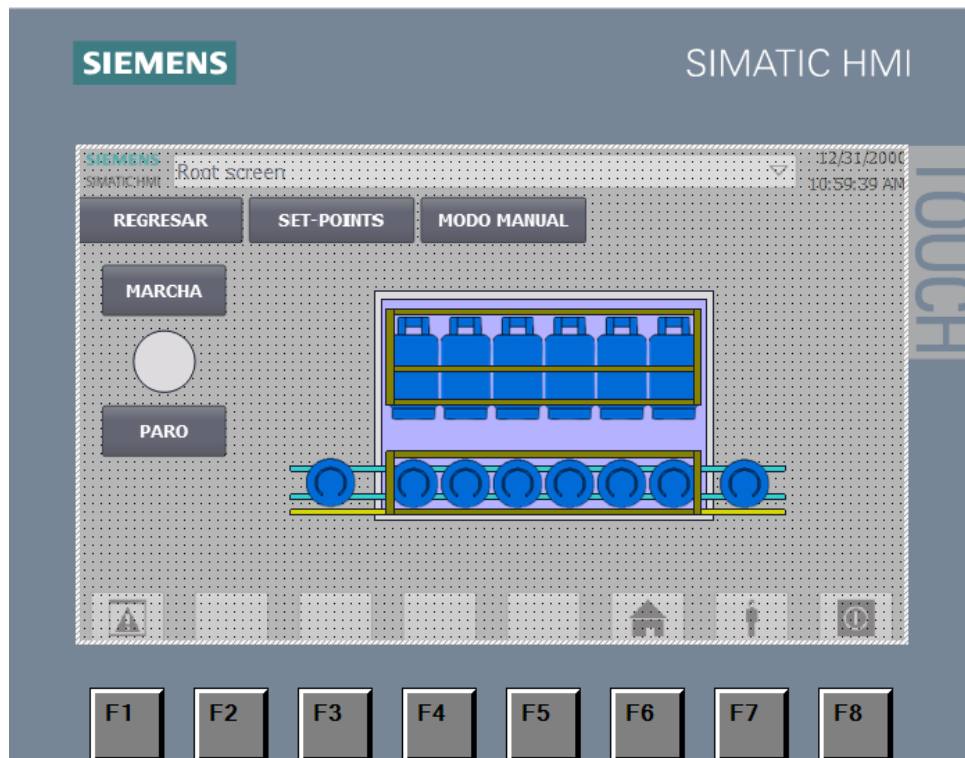
EQUIPO DE PRESURIZADO – SET POINTS



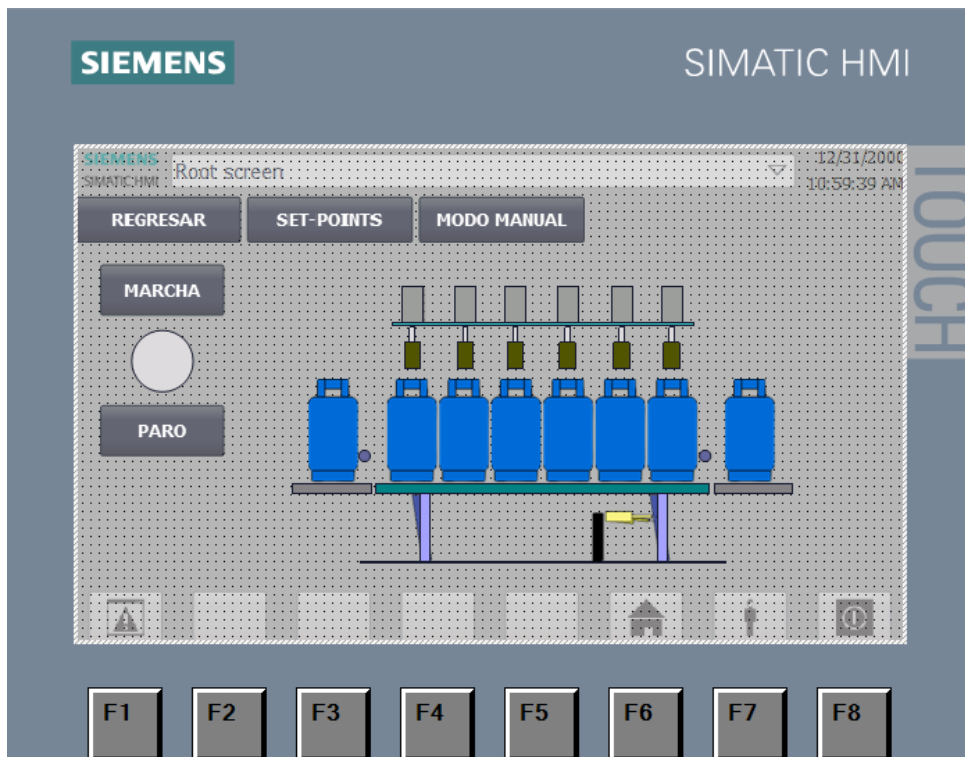
EQUIPO DE PRESURIZADO – SET POINTS



EQUIPO DE PRUEBA DE ESTANQUIDAD – PRINCIPAL



EQUIPO DE PRESURIZADO – PRINCIPAL



APÉNDICE B

EQUIPO DE PINTADO DE TARAS



EQUIPO DE PRESURIZADO



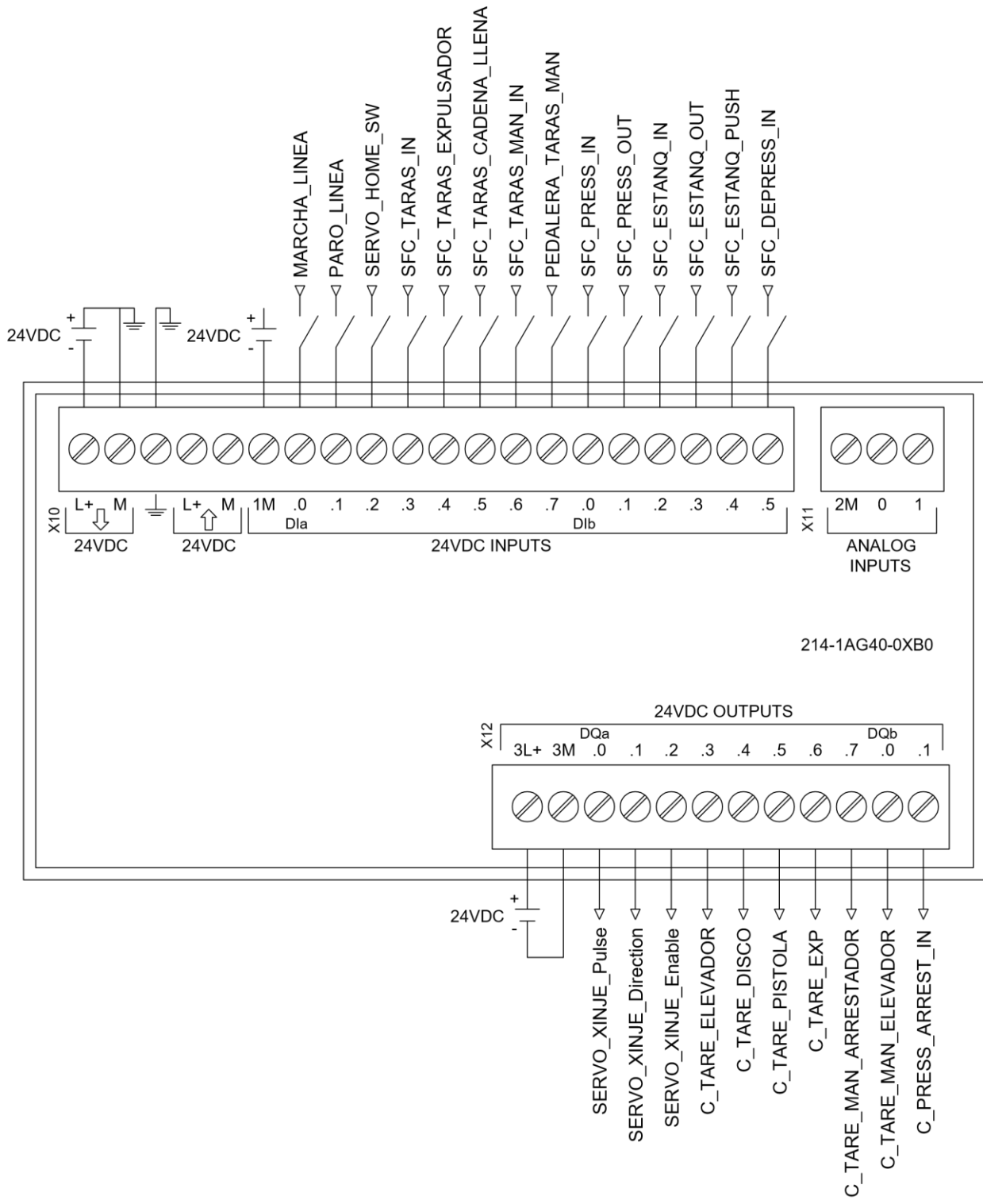
EQUIPO DE PRUEBA DE ESTANQUIDAD



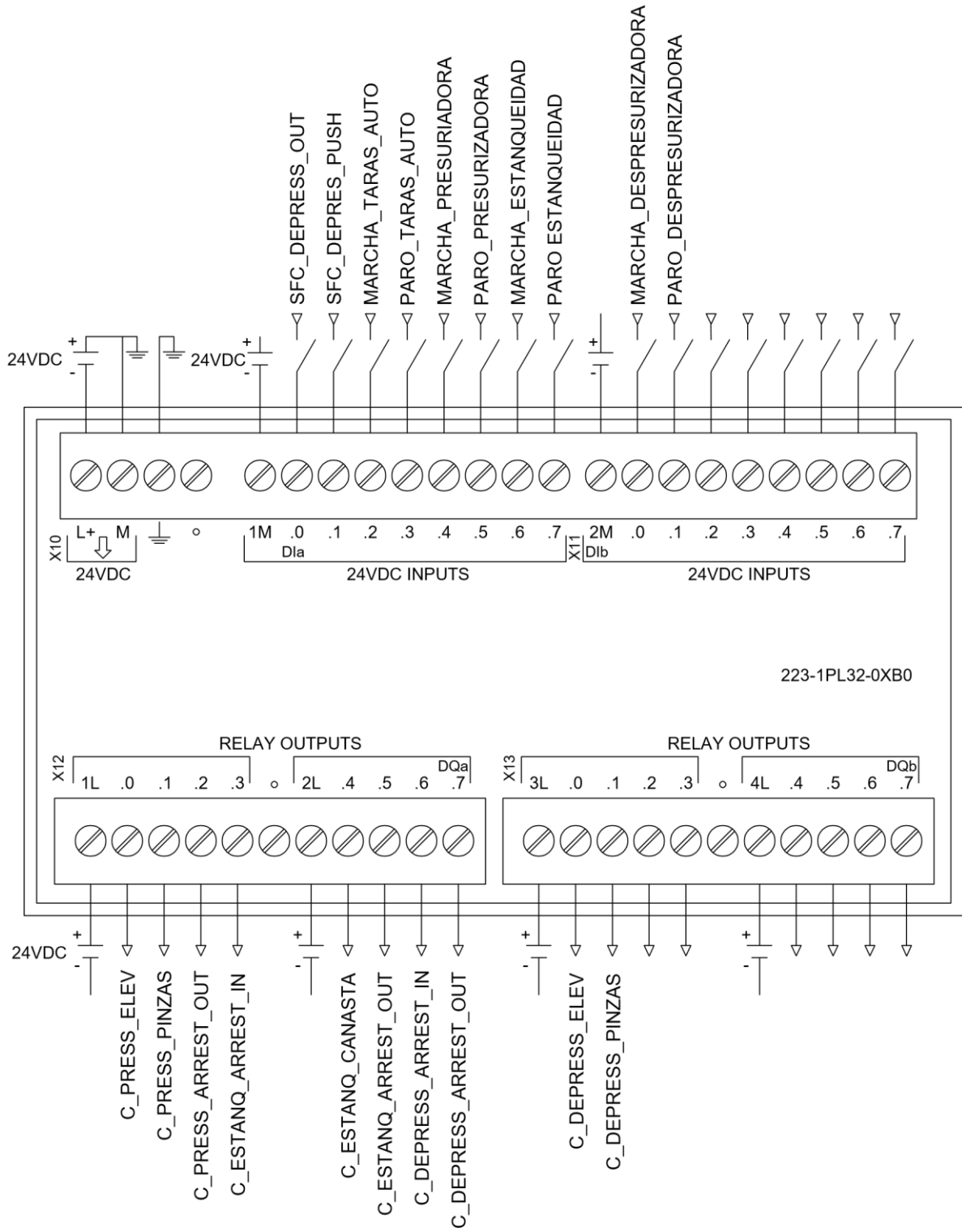
EQUIPO DE DESPRESURIZADO



PLANOS



Todas las medidas en milímetros.		PLANTA:	
PROYECTO No.		ISIDRO AYORA	
APROBADO POR:	FECHA	TÍTULO:	
ING. EDUARDO SANCHEZ	MAY-2023	AUTOMATIZACIÓN TMC	
REVISADO POR:	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
ING. EDUARDO LOYOLA 50	MAY-2023	ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES (VARIABLES PLC S7-1200 1214C)	
DIBUJADO POR:	FECHA	FECHA:	PLANO No.
ING. EDUARDO LOYOLA	MAY-2023	MAY-2023	ISI-2023-05-001
		ESCALA:	REV.
			1



*FUGURA ESQUEMÁTICA

Todas las medidas en milímetros.

PLANTA:

ISIDRO AYORA

PROYECTO No.

APROBADO POR: ING. EDUARDO SANCHEZ
FECHA: MAY-2023

TÍTULO: AUTOMATIZACIÓN TMC

REVISADO POR: ING. EDUARDO LOYOLA 51
FECHA: MAY-2023

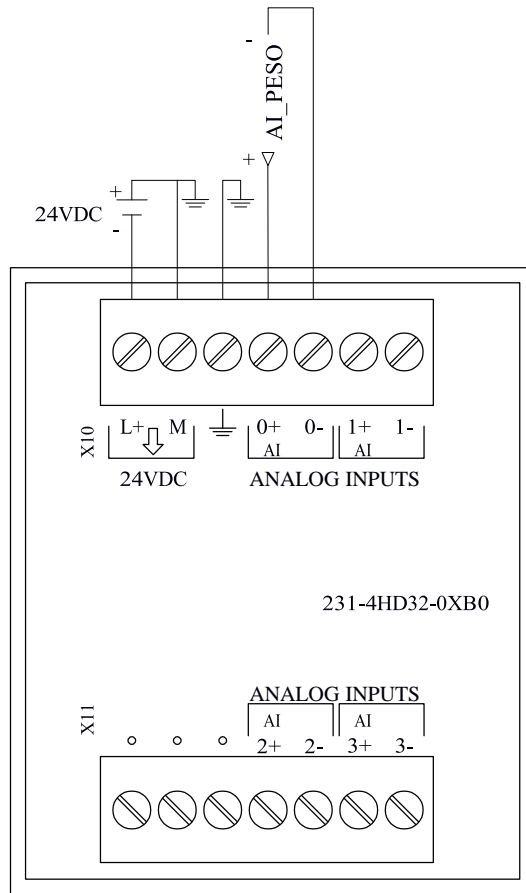
DESCRIPCIÓN: ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES (VARIABLES MÓDULO SM1223)

DIBUJADO POR: ING. EDUARDO LOYOLA
FECHA: MAY-2023

FECHA: MAY-2023
ESCALA:

PLANO No. ISI-2023-05-002

REV. 1



Todas las medidas en milímetros.		PLANTA:	
PROYECTO No.		ISIDRO AYORA	
APROBADO POR:	FECHA	TÍTULO:	
ING. EDUARDO SANCHEZ	MAY-2023	AUTOMATIZACIÓN TMC	
REVISADO POR:	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
ING. EDUARDO LOYOLA 52	MAY-2023	ENTRADA ANALÓGICA (VARIABLE MÓDULO SM1231)	
DIBUJADO POR:	FECHA	FECHA:	PLANO No.
ING. EDUARDO LOYOLA	MAY-2023	MAY-2023	ISI-2023-05-003
		ESCALA:	REV.
			1