

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Diseño de proyecto automatización de una máquina clasificadora de camarón para empresa manufacturera.”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Nombre de la titulación

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Presentado por:

Derian Angulo Acosta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, cuya grandeza y misericordia me han brindado la fortaleza, la sabiduría y la energía necesarias para superar los desafíos y alcanzar este objetivo.

Expreso también mi más sincero agradecimiento a mis tutores, el Ing. Efrén Herrera, el Ing. Arce Domínguez y el Ing. Patricio Gonzales, por su invaluable guía, paciencia y las ideas que aportaron para hacer posible la realización de este proyecto. Su apoyo y conocimientos fueron fundamentales en cada etapa del proceso.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con todo mi corazón, a mi familia, quienes han sido mi mayor apoyo y la pieza fundamental para alcanzar esta meta tan anhelada. A mis abuelitas, cuyo amor incondicional y recuerdos llenan de fuerza y alegría cada uno de mis pasos, las llevo siempre presentes en cada objetivo que me propongo.

También quiero dedicar este logro a mi grupo de amigos, quienes me han brindado su compañía y aliento en los momentos más importantes, y a todas las personas maravillosas que he tenido la oportunidad de conocer a lo largo de esta gran aventura.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este camino.

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo, Derian Fabricio Angulo Acosta, acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerá de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 18 de febrero del 2025.



Derian Fabricio Angulo Acosta

EVALUADORES

.....
Ing. Efrén Vinicio Herrera Muentes, PhD.

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Ing. Víctor Andrés Arce Domínguez, MSc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en la reingeniería de una máquina clasificadora de camarón utilizada en la industria manufacturera. Se planteó la restauración y mejora de su funcionalidad mediante el diseño de un sistema de control actualizado que permite la integración eficiente de PLC, HMI y variadores de frecuencia. La metodología incluyó el análisis de los componentes existentes, la selección de dispositivos compatibles y la implementación de una programación personalizada en TIA Portal V16.

Se desarrollaron sistemas para monitorear el estado de los motores, registrar las horas de operación y optimizar la interacción entre el usuario y la máquina a través de una interfaz intuitiva. Además, se dimensionaron las protecciones eléctricas según normativas internacionales, garantizando seguridad y prolongando la vida útil de los equipos.

Los resultados confirmaron la viabilidad técnica y económica del diseño propuesto. Se logró una comunicación eficiente entre los distintos módulos, una operación estable de los actuadores y la validación de la programación a través de simulaciones. Este trabajo sienta las bases para futuras mejoras con tecnologías avanzadas como inteligencia artificial y machine learning.

Palabras clave: automatización, clasificación de camarón, PLC, HMI, variadores de frecuencia.

ABSTRACT

This project addresses the reengineering and modernization of a shrimp sorting machine, a critical component in Ecuador's shrimp industry, with the objective of restoring its functionality and optimizing its processes. This work emerged in response to the limitations of the original control system, which did not allow access to programming or configuration of frequency drives and servomotors.

The methodology included the selection of a new PLC (S7-1515), the implementation of an intuitive HMI (KTP700 BASIC), and the integration of frequency drives and servomotors through PROFINET communication protocols. Simulations and tests were performed using advanced tools such as TIA Portal V16 and Factory IO, ensuring the system's proper functionality before implementation. Additionally, a detailed electrical design was developed, considering international electrical protection standards.

The results demonstrated significant improvements in operational efficiency, electrical safety, and user-machine interaction. Optimized start-up times and reduced current peaks enhanced machine stability, while new tools enable efficient preventive maintenance.

This project lays the foundation for adopting advanced technologies such as machine learning and artificial intelligence, ensuring the sorting machine can adapt to the demands of an ever-evolving market.

Keywords: *reengineering, automation, shrimp, PLC, HMI, PROFINET, TIA Portal.*

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
DECLARACIÓN EXPRESA	4
EVALUADORES	5
RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	1
1.2.1 Originalidad en Programación	1
1.2.2 Mejora continua	2
1.2.3 Precio Competitivo	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Importancia del Camarón	3
1.4.2 Máquina clasificadora de camarón de la empresa Manufacturera	4
1.4.3 Estructura de la máquina clasificadora de camarón	5
1.4.4 Automatización Industrial	6
1.4.5 Protecciones Eléctricas	7
CAPÍTULO 2	12
2 METODOLOGÍA	12
2.1 Estructura de diseño	12
2.2 Criterio de Diseño de PLC controlador	15
2.3 Criterio de Diseño HMI (Máquina usuario)	15
2.3.1 Pantalla Inicio	16

2.3.2	Pantalla principal.....	18
2.3.3	Recetas.....	19
2.3.4	Horómetros	20
2.3.5	Mediciones.....	21
2.4	Calibración del Servo	21
2.4.1	Parametrización de servodrive con starter	23
2.4.2	Comunicación de servodrive con TIA Portal por GSD	24
2.5	Calibración del Variador de Frecuencia G120.....	27
2.6	Criterio de Dimensionamiento de Protecciones Eléctricas	29
2.6.1	Cálculo Matemático.....	29
2.6.2	Consulta de la Placa del Motor	29
2.6.3	Cálculo de Protección	30
2.6.4	Protecciones para variadores de frecuencias	31
CAPÍTULO 3.....		32
3	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	32
3.1	Comunicación con PLC s7-1515.....	32
3.2	Comunicación con HMI	32
3.2.1	Pantalla principal accionamiento.....	34
3.3	Comunicación con s120	35
3.3.1	Control manual de servomotores en HMI.....	36
3.3.2	Recetas talla de camarón y servomotor MODO Mantenimiento	36
3.3.3	Recetas talla de camarón y servomotor Modo Operador	37
3.4	Comunicación con variador de frecuencia g120	37
3.4.1	Control de variador de frecuencia desde HMI	39
3.5	Tabla de cotización de elementos	40
CAPÍTULO 4.....		43
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
4.1	Conclusiones.....	43
4.2	Recomendaciones.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....		45
APÉNDICE		46
4.3	Apéndice A Planos de tablero eléctrico.....	46
4.4	Apéndice B Programación en TIA Portal V16	49
1.1.1	Apéndice C estructura de HMI- Máquina/Usuario	55

ABREVIATURAS

Tabla 1.1 Abreviaturas usada

ABREVIATURAS USADA	
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
HMI	Human-Machine InterfaceV
IRT	Comunicación isócrona en tiempo real
RT	Comunicación en tiempo real
CU	Unidad de control
PM	Unidad de poder
PLC	Controlador Lógico Programable
SCL	Structured Control Language
IEC	International Electrotechnical Commission
SCADA	Sistemas de supervisión y adquisición de datos
ACB	Air Circuit Breaker
MCCB	Molded Case Circuit Breaker
MCB	Miniature Circuit Breaker
PM	Power Module
CU	Unidad de control
GSD	General Station Description
IRT	Isochronous Real Time

SIMBOLOGÍA

Tabla 1.2 Simbología usada

SIMBOLOGÍA USADA	
RPM	Revoluciones por minuto
[A]	Amperios
[V]	Voltios
[W]	Watios
kW	Kilovatios
In	Corriente nominal
HP	Horse Power

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Exportaciones ecuatorianas de camarón 2012-2022	3
Figura 1.2. Tabla de tallas de camarón	4
Figura 1.3. Modelos de máquina de clasificadoras.....	5
Figura 1.4. Partes de la clasificadora de camarón.....	5
Figura 1.5. Lenguaje de programación SCL	7
Figura 1.6. ACB modelo Schneider	8
Figura 1.7. MCCB marca Schneider	8
Figura 1.8. MCM ABB Y SCHNEIDER	9
Figura 1.9. Zonas de curva de disparo	9
Figura 1.10. Curva B, C y D.....	10
Figura 2.1 Estructura de metodología	12
Figura 2.2. Estructura de pantalla HMI	16
Figura 2.3. Pantalla de inicio	17
Figura 2.4. Bloque de password TIA Portal	17
Figura 2.5. Pantalla principal de accionamiento	18
Figura 2.6. Pantallas emergentes.....	19
Figura 2.7. Funcionamiento de recetas	19
Figura 2.8. Pantalla de horómetros	20
Figura 2.9. Bloque de programación Horómetro.....	21
Figura 2.10. Pantalla HMI – Mediciones.....	21
Figura 2.11. Imagen de manual siemens de firmware	22
Figura 2.12. Forma de comunicación con S120	22
Figura 2.13. Reconocimiento de CU310-2PN y servo	23
Figura 2.14. Telegrama en Starter.....	24
Figura 2.15. Sentido de recepción telegrama 5	25
Figura 2.16. Sentido de envío telegrama 5.....	25
Figura 2.17. Funciones de comunicación	26
Figura 2.18. Puerto de Interlocutor y receptor	26
Figura 2.19. Selección de IRT en TIA Portal	27
Figura 2.20. Comunicación del G120 con startdrive.....	27
Figura 2.21. Bloque de adquirió de parámetros.....	28
Figura 2.22. Descripción de entradas y salidas del bloque “W_R_VDF”	28

Figura 2.23. Tipo de dato hw_submodule del variador G120	29
Figura 2.24. Intensidad de entrada del G120	31
Figura 3.1. Comunicación KTP700 BASIC con pantalla principal.....	32
Figura 3.2. Menú de opciones del operador	33
Figura 3.3. Menú de opciones de mantenimiento.....	33
Figura 3.4. Pantalla de proceso automático modo mantenimiento	34
Figura 3.5. Llenado de tanque alimentación correcto.....	34
Figura 3.6. Pantalla de proceso automático modo operador estado encendido	35
Figura 3.7. Puesta en Marcha desde el panel de mando	35
Figura 3.8. Control manual de servomotor por HMI.....	36
Figura 3.9. Receta de guardado modo mantenimiento.....	36
Figura 3.10. Receta de guardado modo operador.....	37
Figura 3.11. Panel de control de G120.....	38
Figura 3.12. Ajuste de frecuencia a 30 Hz de variador G120	39
Figura 3.13. Captación de datos de motores con el bloque y HMI	40
Figura 3.14. Cotización del proyecto de la clasificadora.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Abreviaturas usada.....	V
Tabla 1.2 Simbología usada.....	VI
Tabla 2.1 Características de actuadores presente en la máquina clasificadora.....	12
Tabla 2.2 Materiales del laboratorio para validación de datos.....	13
Tabla 2.3 Parámetros a colocar en el software STARTER.....	23
Tabla 2.4 Tipos de arranque para los actuadores presente	30
Tabla 2.5 Protecciones eléctricas para arranque directo.....	31
Tabla 2.6 Protecciones eléctricas para variadores	31
Tabla 3.1 Cotización total del proyecto.....	42

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

En las industrias de procesamiento de camarón, es fundamental implementar un control preciso en el sistema mecánico. La automatización juega un papel esencial para optimizar el rendimiento, ya que permite no solo la recopilación de datos cruciales, sino también el manejo eficiente de los actuadores y sensores presentes en la maquinaria. Este proceso automatizado debe garantizar una operación estable, reduciendo errores humanos y mejorando la consistencia en el procesamiento del producto. Además, una automatización bien implementada asegura que el flujo de trabajo se ejecute de manera coordinada, lo cual es clave para cumplir con los estándares de calidad y eficiencia en la industria.

1.1 Descripción del problema

La máquina clasificadora de camarón enfrenta limitaciones en su sistema de control debido a la falta de acceso a la programación del PLC (Controladores Lógicos Programables) y a la forma de comunicación con los variadores y servomotores, lo cual fue realizado por una empresa contratista. Esta restricción impide realizar ajustes o mejoras continuas, comprometiendo la flexibilidad y eficiencia del equipo para responder a las demandas operativas. Además, la ausencia de información detallada, como diagramas eléctricos, cálculos de protecciones, el dimensionamiento adecuado de los variadores de frecuencia y servomotores.

En este contexto, es necesario llevar a cabo una reingeniería de la máquina para implementar una nueva funcionalidad. Esto implica evaluar opciones como la sustitución o modificación del sistema de control actual, así como implementar un nuevo método de comunicación con los variadores y servomotores.

1.2 Justificación del problema

1.2.1 Originalidad en Programación

La programación desarrollada para el controlador PLC S7-1500 será un material exclusivo de la empresa, lo que garantiza total acceso a los comandos, bloques de programación y funciones esenciales para el funcionamiento y mantenimiento de la máquina. Este enfoque no solo asegura la propiedad intelectual del sistema, sino que

también proporciona a la empresa un control completo y autónomo sobre el software, evitando futuras dependencias de terceros para ajustes o expansiones.

1.2.2 Mejora continua

Al ser un producto propio, la empresa podrá implementar mejoras continuas en la programación y el sistema de control según lo requiera, sin limitaciones. Esto permitirá que, a medida que cambien las demandas del mercado o surjan nuevas tecnologías, se puedan realizar actualizaciones y optimizaciones que aumenten la eficiencia y la competitividad del equipo. Esta capacidad de mejora continua garantiza un producto de alta calidad y preparado para adaptarse a las necesidades operativas y de mercado en el futuro.

1.2.3 Precio Competitivo

Al realizar una automatización completa, que incluye el diseño detallado del tablero eléctrico, también permitirá una selección transparente y optimizada de componentes. En este proyecto se evaluarán precios y opciones de equipos como el PLC, variadores de frecuencia, servomotores, servo drives, guardamotores y breakers. Al contar con esta información clara y detallada, la empresa podrá tomar decisiones informadas al escoger las marcas y componentes que mejor se ajusten a su presupuesto y al rendimiento deseado. Esto facilitará la negociación de precios competitivos y permitirá a la empresa diseñar un producto final que maximice el valor y minimice los costos, fortaleciendo su posición en el mercado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Restaurar la funcionalidad de la máquina clasificadora de camarón mediante la reingeniería de su sistema de control y comunicación con los variadores, y servomotores para garantizar una operación adecuada y confiable en la clasificación de camarones.

1.3.2 Objetivos Específicos

En esta sección, en el caso del proyecto multidisciplinario, se incluirán todos los objetivos específicos que aportarán cada uno de los grupos de cada carrera participante, identificando entre paréntesis la carrera que está a cargo de ese objetivo.

Ejemplo:

1. Evaluar el sistema de control actual y sus componentes, a través de un análisis técnico, para la identificación de las limitaciones y restricciones que impiden el acceso al control y la comunicación de los variadores.
2. Desarrollar un nuevo sistema de control alternativo, mediante la selección de un PLC, actuadores como variadores de frecuencia, servomotores para el correcto funcionamiento de los motores y los componentes de la máquina.
3. Implementar la interfaz HMI (MÁQUINA-USUARIO) y la lógica de control, para la interacción del operador con la máquina y asegurar un monitoreo eficiente del proceso de clasificación.
4. Realizar diseño eléctrico del diagrama de conexiones a través de AutoCAD.
5. Verificar el funcionamiento de la programación a través de simulaciones por medio de software como Factory IO y además tablero de prueba ofrecida por el laboratorio de Siemens ESPOL.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Importancia del Camarón

En Ecuador, el camarón es reconocido como el "oro rosado" del país debido a su impacto en el desarrollo económico. La industria camaronera ha experimentado un crecimiento sostenido en exportaciones, alcanzando mercados clave como Estados Unidos y China.



Figura 1.1. Exportaciones ecuatorianas de camarón 2012-2022

Fuente: Cámara de comercio

Actualmente, alrededor del 70% del camarón procesado en Ecuador se exporta a China, mientras que Estados Unidos se ha convertido en el segundo destino principal de

exportación. Esta industria se ha consolidado como la mayor exportación no petrolera del país (Amerise, Atahualpa, @atareports, 2023).

1.4.2 Máquina clasificadora de camarón de la empresa Manufacturera.

La clasificación de los camarones se realiza en función de su talla y puede hacerse tanto con la cabeza como sin ella. Cada talla representa una cantidad específica de camarones por libra o kilogramo, dependiendo del sistema de medida utilizado. A nivel mundial, existen muchas especies de camarones, pero las más comunes y apreciadas en el comercio internacional son las variedades de camarón blanco: *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*.

La clasificación de los camarones por tamaño se basa en tablas estandarizadas de aceptación internacional y sirve como referencia para fijar los precios en el mercado global.

Figuras	TALLAS
	U10
	U12
	13/15
	16/20
	26/30
	31/35
	41/50
	51/60
	61/70

Figura 1.2. Tabla de tallas de camarón
Fuente: Blog de El Acuario Congelados

En la imagen, observamos diferentes tamaños representados por su rango de unidades por libra. Por ejemplo, si seleccionamos la talla 13/15, esto indica que por cada libra se encontrarán entre 13 y 15 camarones, lo cual sugiere un tamaño intermedio.

Por otro lado, si seleccionamos la talla U10 (Under 10), esto significa que habrá menos de 10 camarones por libra, lo cual indica un tamaño considerablemente más grande. Es

importante destacar que el tamaño visual del camarón está relacionado con su talla, lo cual influye en el procesamiento y uso final del producto.

La empresa manufacturera que es la encargada de crear las máquinas para el procesamiento de camarón ofrece diferentes modelos para la clasificación en función a lo que el cliente requiera.

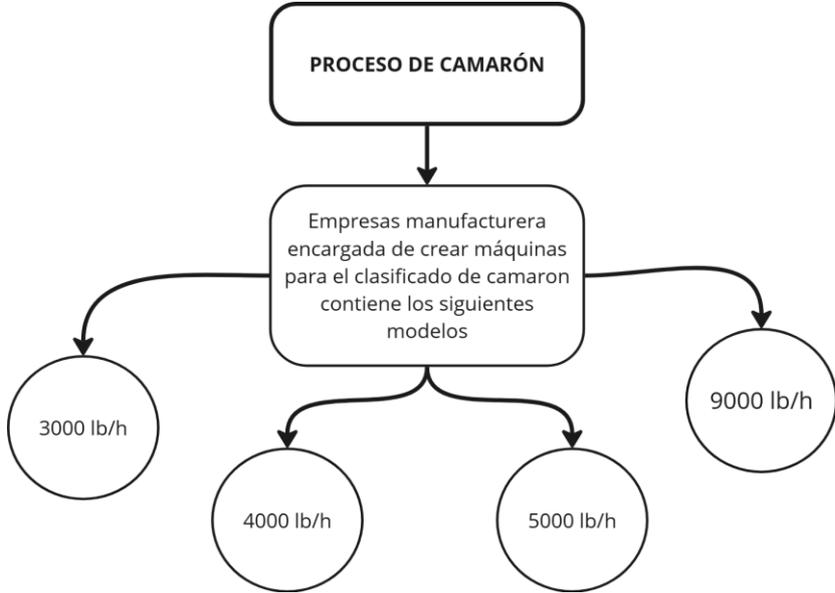


Figura 1.3. Modelos de máquina de clasificadoras

Para este proyecto se seleccionará la máquina clasificadora de 9000 lb/h.

1.4.3 Estructura de la máquina clasificadora de camarón

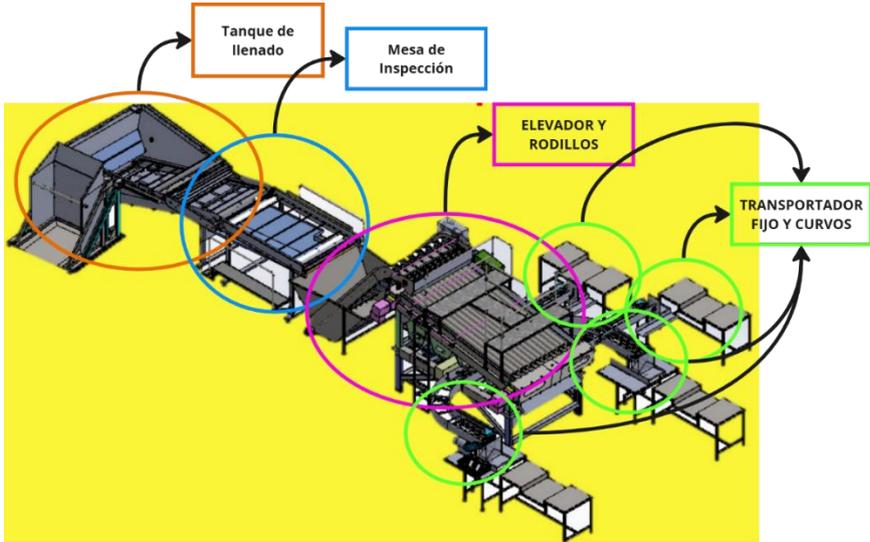


Figura 1.4. Partes de la clasificadora de camarón

La máquina clasificadora de camarón está construida en acero inoxidable y dividida en secciones especializadas, cada una con una función específica en el flujo de trabajo:

- Tanque de llenado: Esta sección es donde se inicia el proceso, llenando el tanque de agua para facilitar el transporte inicial de los camarones.
- Mesa de inspección: Aquí se realiza una inspección para separar cualquier maleza o impureza que se encuentre entre los camarones, asegurando una mayor calidad del producto.
- Elevador: Después de la inspección, los camarones caen en un segundo tanque con agua y luego son transportados por una banda elevadora hacia la siguiente fase.
- Rodillos: Esta sección es donde los camarones se separan según la talla especificada, clasificándolos automáticamente de acuerdo con su tamaño.
- Bandas fijas y curvas: Dependiendo de la talla, los camarones se dirigen hacia bandas específicas, asegurando que cada tamaño llegue al destino correspondiente.

1.4.4 Automatización Industrial

La automatización industrial es el uso de tecnología avanzada y sistemas de control para operar maquinaria y procesos en una planta sin la intervención humana directa, con el objetivo de mejorar la eficiencia, precisión y consistencia en la producción. A través de la automatización, tareas repetitivas, peligrosas o complejas se realizan de manera continua mediante sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos, optimizando así los tiempos de producción, reduciendo errores humanos y aumentando la seguridad en el ambiente laboral.

Para controlar estos procesos, se emplean PLC, dispositivos que permiten programar y monitorear de acuerdo con los requisitos específicos de cada proceso. Los PLCs son versátiles y se pueden programar en lenguajes como Ladder, Diagrama de Bloques y SCL (Structured Control Language), lo cual facilita su adaptación a distintas industrias. En el mercado existen diferentes marcas y modelos de PLC, que van desde opciones de gama baja para aplicaciones simples hasta PLCs de gama media y alta para procesos complejos. La selección adecuada del controlador depende de la complejidad del proceso y de los requerimientos de la instalación, ya que cada modelo ofrece diferentes capacidades y niveles de funcionalidad.

```

1
2 //Reset de variables
3 //
4 #Termostato.numSondasActivas := 0;
5
6 FOR #i := 1 TO 16 DO
7     #Termostato.sondasActivas[#i] := 0;
8 END_FOR;
9
10
11 //Obtener cuantas sondas hay activas y cuales son las que estan activas
12
13 FOR #i := 1 TO #eNumSondas DO
14     IF #Termostato.Sonda[#i].FalloSonda = FALSE THEN //Sonda correcta
15         #Termostato.numSondasActivas := #Termostato.numSondasActivas + 1;
16         #Termostato.sondasActivas[#Termostato.numSondasActivas] := #i;
17     END_IF;
18 END_FOR;
19

```

Figura 1.5. Lenguaje de programación SCL

La automatización con PLCs permite integrar diversos dispositivos y sistemas de comunicación industrial, facilitando la conexión con variadores de frecuencia, servomotores y sensores. Esta integración permite que los componentes trabajen de manera sincronizada, logrando procesos más precisos y controlados. Además, se pueden implementar sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA) para monitorear en tiempo real el rendimiento de los equipos, detectando posibles fallas o áreas de mejora.

1.4.5 Protecciones Eléctricas

Las protecciones eléctricas dentro de un tablero de control, es esencial y muy importante saber dimensionarlo, ya que un dimensionamiento incorrecto puede resultar en fallos operativos, daños a la maquinaria o incluso accidentes graves. Para llevar a cabo el cálculo adecuado de protección, se considera tanto la literatura especializada, como normas específicas tanto en protecciones generales, motores o variadores de frecuencia.

La normativa IEC 60947-2 nos habla sobre instalaciones de baja tensión enfocada a la industria, en esta sección hablamos sobre los disyuntores de protecciones según al requerimiento.

- **ACB: Interruptor de Bastidor Abierto o Air Circuit brekaer**



Figura 1.6. ACB modelo Schneider

Los interruptores automáticos de protección (ACB) se usan como protección principal de entrada. Operan mediante un resorte, accionado frecuentemente por un motor interno. Ofrecen retardos temporales y resistencia a cortocircuitos para garantizar discriminación con dispositivos aguas abajo. Sus corrientes nominales van de 630 A a 6300 A, y las de cortocircuito, hasta 150 Ka. (BEAMA, 2015, p. 10).

- **MCCB: Interruptor Caja Moldeada o Molded Case Circuit Breaker**



Figura 1.7. MCCB marca Schneider

Los interruptores automáticos en la caja moldeada (MCCB) ofrecen corrientes nominales de 16 A a 1600 A (ampliables a 3200 A) y capacidades de cortocircuito de hasta 100 kA. Su diseño incluye una manija de tres posiciones (encendido, apagado y disparo) y permite instalación cerca de transformadores de suministro (BEAMA, 2015, p. 9).

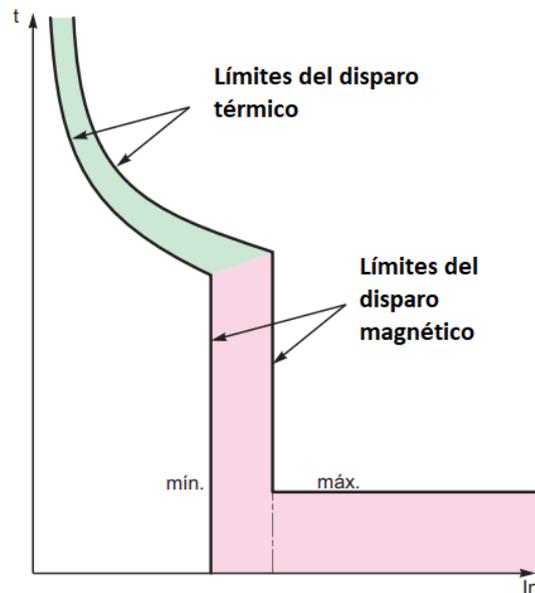
- **MCB: Interruptor de Carril DIN o Miniature Circuit Breaker**



Figura 1.8. MCM ABB Y SCHNEIDER

El MCB maneja valores de 0.5 hasta 125 A, están enfocados para proyectos industriales de baja intensidad, o aplicaciones domésticas, tiene una manija que permite seleccionar el estado de apagado o encendido.

Otro aspecto crucial en la protección de sistemas eléctricos es la selección adecuada de las curvas de disparo del disyuntor. Estas curvas permiten proteger todo el sistema eléctrico, ajustando la respuesta del disyuntor en función de las condiciones del entorno y la rapidez con la que debe actuar ante situaciones de fallo.



**Figura 1.9. Zonas de curva de disparo
(Fuente: Schneider Electric)**

La Figura 1.9 ilustra el comportamiento de una curva de disparo, destacando dos zonas clave: la primera, representada en verde, corresponde al disparo térmico que ocurre

debido al sobrecalentamiento en la línea; la segunda, en color rosado, corresponde al disparo magnético causado por un cortocircuito. Estos dos mecanismos son fundamentales en los disyuntores automáticos para asegurar la protección del sistema. En este apartado, se analizarán tres tipos de curvas de disparo: B, C y D, de acuerdo con la normativa IEC 60898, que especifica la sensibilidad de cada una.

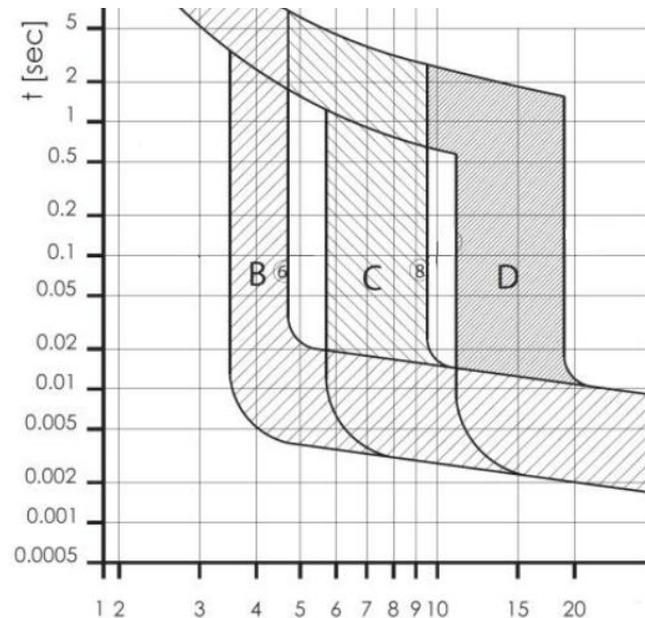


Figura 1.10. Curva B, C y D
(Fuente: Ernesto Tolocka)

Como se observa en la Figura 8, las curvas de disparo están definidas por los rangos de corriente de cortocircuito de la siguiente manera:

- Curva B: entre 3 y 5 veces la corriente nominal (I_n)
- Curva C: entre 5 y 10 veces la corriente nominal (I_n)
- Curva D: entre 10 y 14 veces la corriente nominal (I_n)

La selección de la curva adecuada depende del fabricante del disyuntor, y entender las características de cada curva es fundamental para dimensionar correctamente la protección del sistema aguas abajo. La curva del disparo se representa en un gráfico donde el eje horizontal indica la proporción de la corriente nominal (I_n), mientras que el eje vertical muestra el tiempo que tardará el disyuntor en dispararse, ya sea por sobrecalentamiento (disparo térmico) o por cortocircuito (disparo magnético).

Por ejemplo:

Si se selecciona un disyuntor con una curva C6 y este comienza a recibir una corriente 5 veces superior a la corriente nominal, el disyuntor se disparará entre 2 y 6 segundos

aproximadamente debido al sobrecalentamiento de la línea, ya que se encontraría dentro de la zona térmica de protección. Esta comprensión de las curvas de disparo es esencial para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

2.1 Estructura de diseño

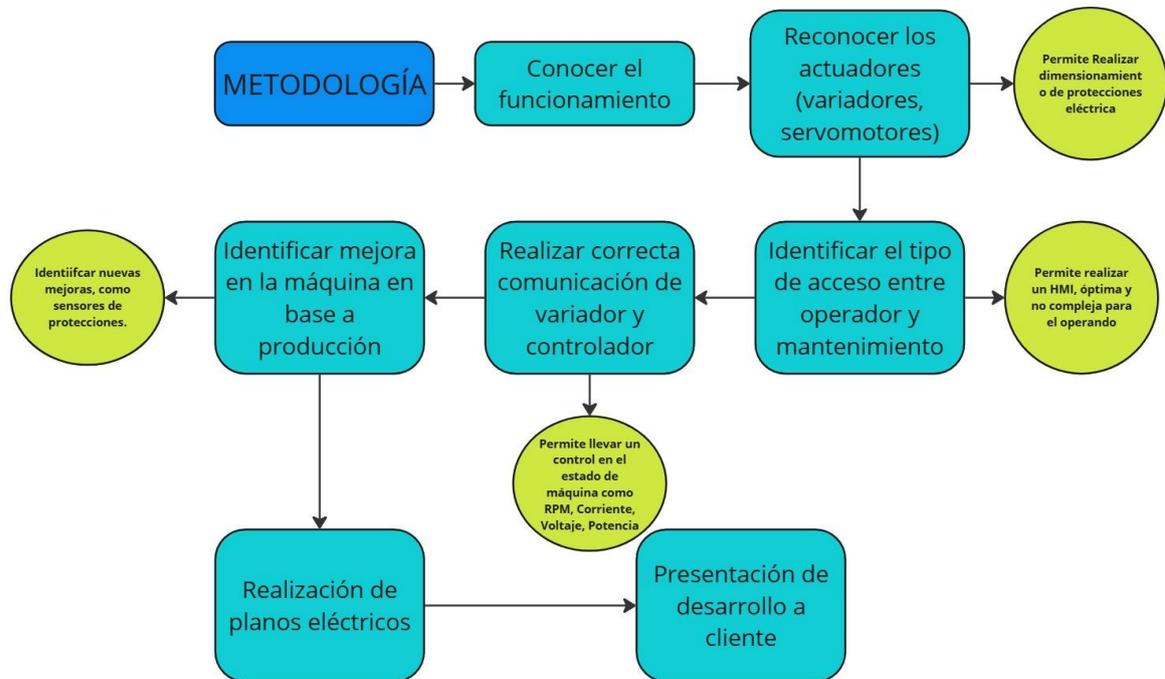


Figura 2.1 Estructura de metodología

El proceso de reingeniería de la máquina clasificadora de camarón incluyó un análisis de la estructura mecánica y su funcionamiento. Para ello, se realizó una identificación de los actuadores responsables de cada una de las operaciones clave, con el objetivo de obtener un conocimiento integral sobre el sistema. Entre estos componentes lo observaremos en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Características de actuadores presente en la máquina clasificadora

Ubicación	Motor	Características
Tanque de Alimentación	Bomba WEG	230 V /440 V 3HP - 7.6/3.6 FLN SF 1.15
Tanque de Alimentación y mesa de inspección (banda)	Motorreductor	220V/440V 1 HP 4.56/3.10 FLN / 26 RPM FP: 0.70 / FS: 1.40
Tanque elevador	Motorreductor Sew Eurodrive	220V/440V 1 HP 3.10/ 1.56 FLN / 60 RPM FP: 0.70/ FS: 1.60

Rodillos	Motorreductor Sew Eurodrive	230 V/ 460 V 3HP 8.40/ 4.20 FLN / 406 RPM FP: 0.73 / FS:2.80
Transportador Curvo 1, Curvo 2	Motorreductor Motor IronMan	220V/440 ¾ HP 2.30/1.15 FLN / 32 RPM
Transportador Fijo	Motorreductor	220V/440V 1HP 3.28/1.64 FLN / 60 RPM FP:0.69 / FS: 1.15
Servomotor Superior e Inferior	Delta	Input: Vac 110 / 19.4 [Arms] Output: 1500 r/min, 19.10 Nm/ 3 Kw
ServoDrive	Delta	Input: 220 V / 3ph Potencia de Salida: 3kw Corriente de salida: 19.4 [Arms] Corriente de salida máxima instantánea 58.20 [Arms]

Una vez identificados los actuadores presentes en las máquinas, se procede a seleccionar los diferentes elementos necesarios para realizar la reingeniería. Para este propósito, se utilizarán componentes de la marca Siemens, reconocida por su confiabilidad en el mercado, lo que garantiza una vida útil prolongada de la máquina y un servicio óptimo durante varios años. La selección se realizó considerando el tablero de simulación disponible, lo cual facilita la programación en el controlador. A continuación, se presentarán los instrumentos a utilizar.

Tabla 2.2 Materiales del laboratorio para validación de datos

PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)	
CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p><u>S7-1515</u> 6ES7 516-3AN01-0AB0 X45</p>	
HMI- (Máquina-Usuario)	

CARACTERÍSTICAS

KTP700 BASIC

6AV2 123-2GB03-0AX0

E0-DC-A0-2C-8F-A9

IMAGEN



SERVODRIVE S120

CARACTERÍSTICAS

Unidad de Control

SINAMICS cu250S-2 PN

1P 6SL3246-0BA22-1FA0

S XAL715-001186

PS:11

SUPPLY: 24VDC MAX 1.5 [A]

FW: 4.7 SP10 HF3

Unidad de Potencia

POWER MODULE PM240

IMAGEN



SERVOMOTOR

CARACTERÍSTICAS

SERVOMOTOR

SIMATIC 1FK7022-5AK21-1DG3

ENCODER IC2200122

IMAGEN



VARIADOR DE FRECUENCIA – SIEMENS SINAMICS G120

CARACTERÍSTICAS

Unidad de control

CU250-2S PN VECTOR

6SL3246-0BA22-1FA0

SP.DB. 4.71.25.04

CU.FW. 4.70.83.19

VDF SINAMICS POWER MODULE 340

6SL3210-1SB12-3UA0

INPUT 1AC, 200-240 [V], 6 [A]

OUTPUT 3AC

IMAGEN



2.2 Criterio de Diseño de PLC controlador.

Para desarrollar la programación de la máquina clasificadora de camarón, se han considerado los criterios técnicos y la disponibilidad de las marcas ofrecidas en los tableros siemens proporcionados por la universidad ESPOL. Por esta razón, para el presente trabajo se seleccionó el software TIA Portal V16, una solución integral de Siemens que permite diseñar, programar y simular sistemas de automatización.

El controlador elegido es el S7-1515, destacado por su capacidad de procesamiento robusta, con un espacio de trabajo de 1 MB para programas y 5 MB para datos. Este PLC ofrece una alta eficiencia y flexibilidad, siendo ideal para aplicaciones de control complejas. Además, soporta comunicación a través del protocolo Ethernet, lo que garantiza una integración eficiente con otros dispositivos

2.3 Criterio de Diseño HMI (Máquina usuario)

Esta sección es crucial, ya que requiere una mayor dedicación debido a la relevancia del HMI (Interfaz Hombre-Máquina). Esta interfaz permite la interacción directa entre el operador y la máquina, por lo que su diseño debe ser lo más simple e intuitivo posible, sin comprometer el control total de la máquina.

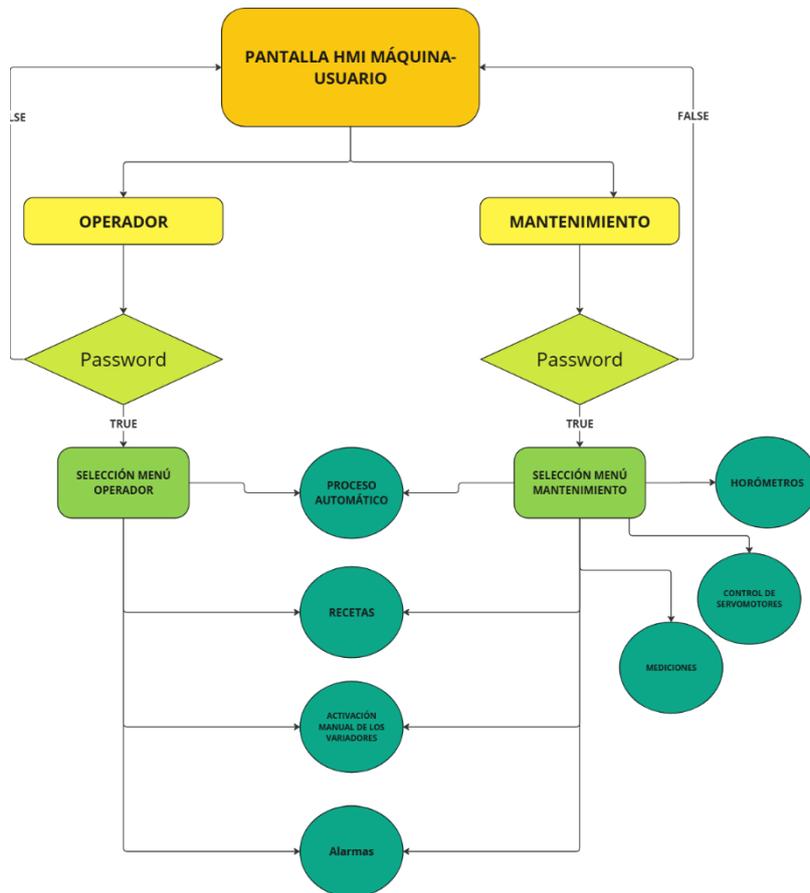


Figura 2.2. Estructura de pantalla HMI

En la Figura 2.2 se ilustra la estructura de las pantallas diseñadas para el HMI **KTP700 Basic**. Estas pantallas están organizadas en función de los niveles de usuario, permitiendo un acceso diferenciado según las responsabilidades y tareas asignadas.

La división por niveles de usuario es esencial para minimizar riesgos operativos, como:

- **Mala configuración del servomotor**, que podría afectar la precisión en los procesos.
- **Errores en la interpretación de señales de medición**, lo que podría provocar fallos en el funcionamiento de la máquina.

Este enfoque asegura que cada operador acceda únicamente a las funciones relevantes para su rol, garantizando un manejo eficiente y seguro del equipo, al tiempo que se evitan errores críticos.

2.3.1 Pantalla Inicio

La pantalla de inicio fue diseñada como un elemento clave, ya que permitió seleccionar el nivel de acceso entre el operador y el equipo de mantenimiento. Cada usuario contó con una contraseña específica para acceder a los botones de acción.

BIENVENIDO A LA CLASIFICADORA DE CAMARÓN

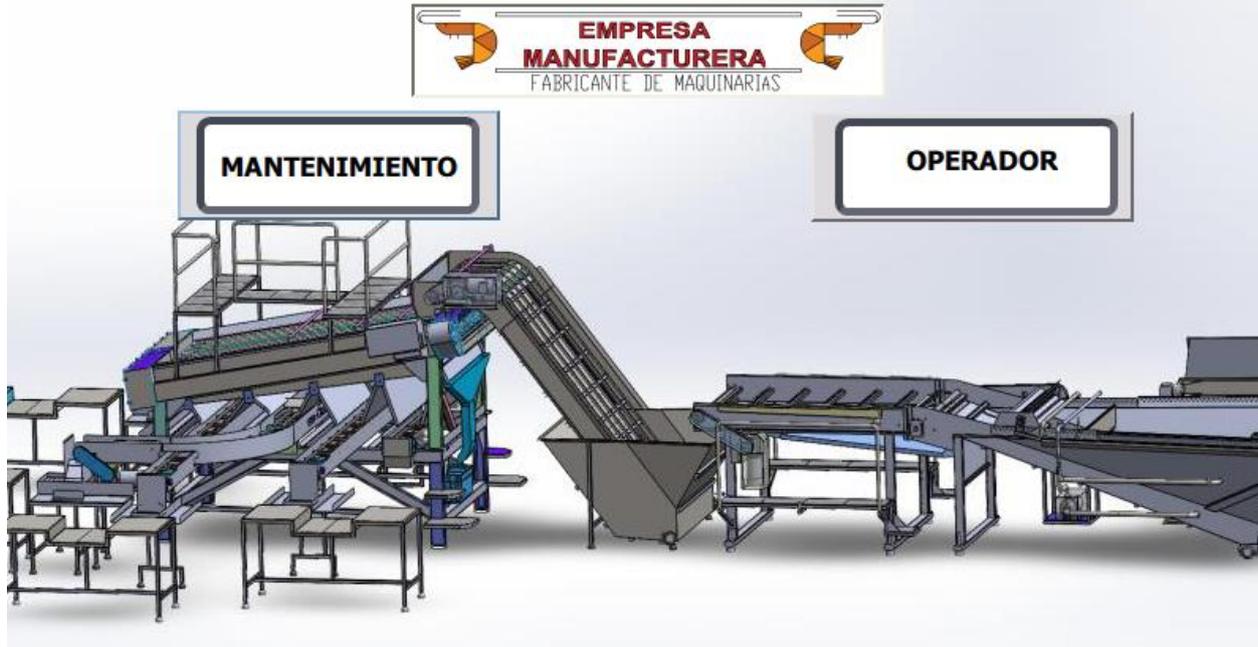


Figura 2.3. Pantalla de inicio

Las contraseñas son las siguientes:

- **Contraseña Operador:** 123
- **Contraseña Mantenimiento:** 1234

Es importante mencionar que estas claves podían ser modificadas directamente en la programación del TIA Portal.

El HMI incluyó un modo especial para el cambio dinámico de imágenes, el cual se implementó mediante bloques de programación.

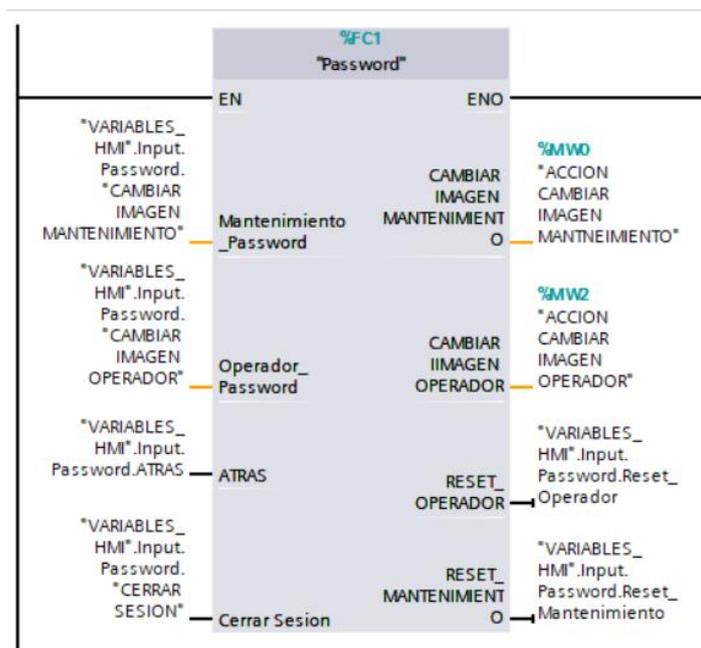


Figura 2.4. Bloque de password TIA Portal

En la programación interna, se desarrolló una comparación entre el valor ingresado por el usuario en la pantalla de inicio [Figura 2.3] y las contraseñas configuradas. Además, en este bloque se incorporaron funciones adicionales relacionadas con los desplazamientos de imagen, que variaron según el nivel de acceso seleccionado, ya fuera para el operador o para el mantenimiento.

2.3.2 Pantalla principal

La pantalla principal fue diseñada para visualizar el proceso de la máquina. En esta pantalla se mostró el encendido de sincronía, el cual se programó con una duración de 12 segundos. Esto se implementó para evitar sobre corrientes en la acometida principal.

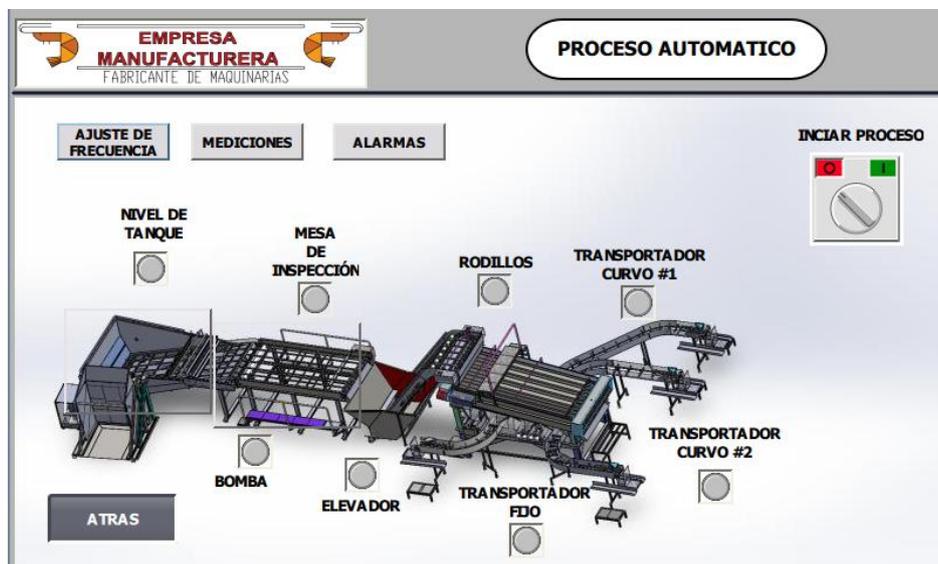


Figura 2.5. Pantalla principal de accionamiento

En esta sección, se habilitó el acceso a múltiples funciones, como las mediciones de los parámetros operativos. Estas incluían la visualización de las RPM, la corriente nominal y el voltaje de salida de cada variador presente en la máquina, ajuste de frecuencia, y también estado de las alarmas. Además, se programaron pantallas emergentes con un estado especial, ya que el modelo KTP700 BASIC no ofrecía soporte nativo para ventanas emergentes dentro del software.

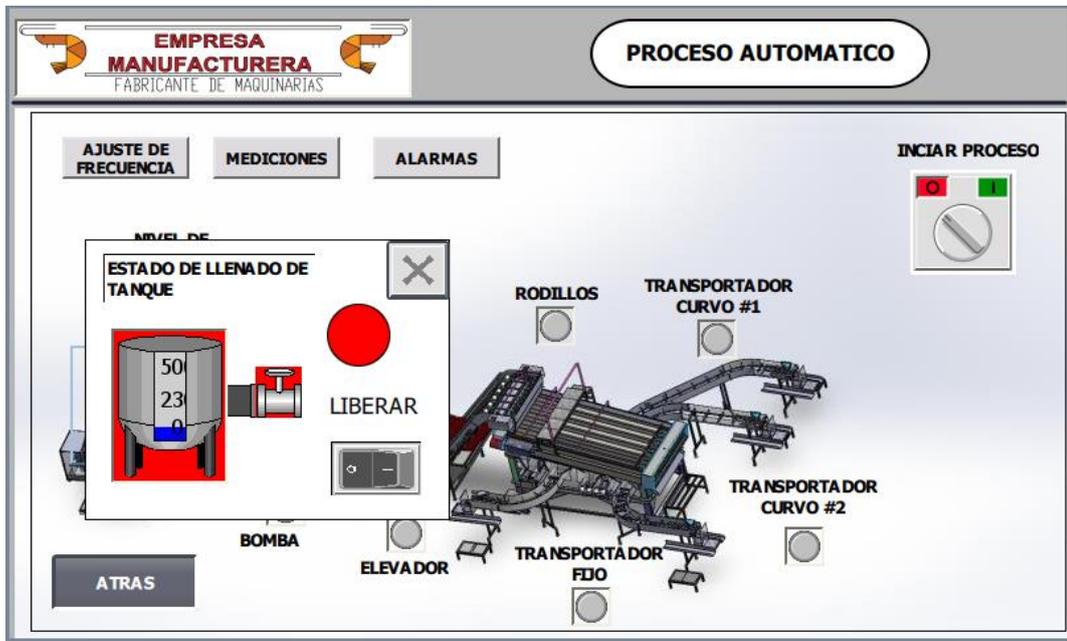


Figura 2.6. Pantallas emergentes

Las pantallas emergentes contienen indicadores sobre accionamiento y visualización de estados directos.

2.3.3 Recetas

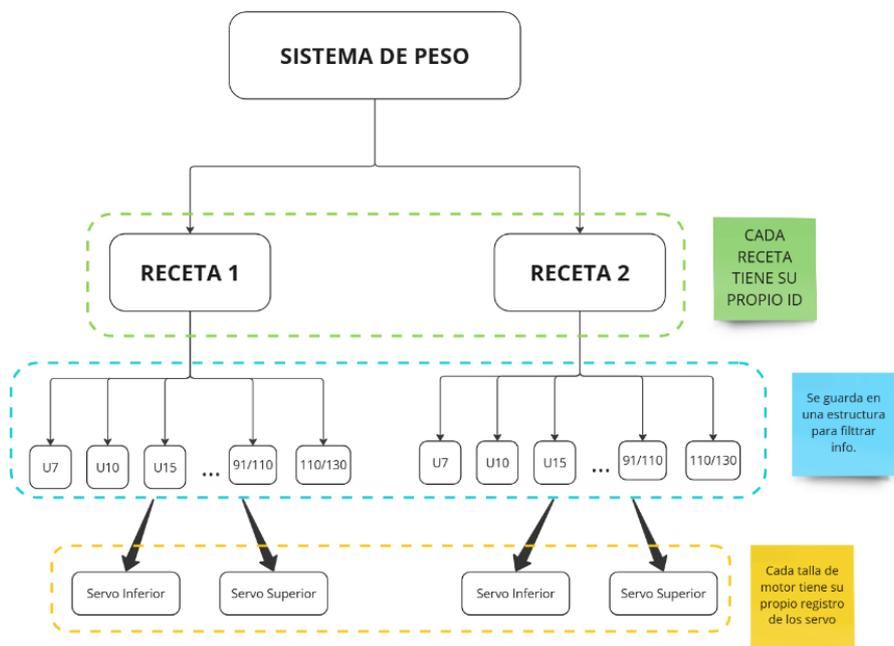


Figura 2.7. Funcionamiento de recetas

La clasificación de camarón se realiza según diversas tallas, con opciones que van desde la talla U91/110 hasta la talla U10.

Cada talla indica la cantidad de camarones por libra. **Ejemplo:** En la talla U91/110 encontramos entre 91 y 110 camarones, mientras que en la talla U10 hay 10 camarones

por libra. En esta etapa, se almacenan los valores correspondientes a las posiciones del servo en función de la talla seleccionada. Es necesario realizar una calibración en campo para registrar y guardar correctamente estos datos.

2.3.4 Horómetros



Figura 2.8. Pantalla de horómetros

Un aspecto clave considerado en la programación del control de activación de los diferentes motores y bombas fue implementar un sistema de control del tiempo de accionamiento. Esto permite registrar las horas de operación de la máquina, lo que resulta fundamental para elaborar y ejecutar un plan de mantenimiento basado en las horas de servicio.

Para esta sección, se adoptaron criterios precisos y se contemplaron casos excepcionales. Por ejemplo, se configuró la programación en un bloque de datos con memoria, diseñado para almacenar el tiempo de funcionamiento en variables remanentes. Este enfoque garantiza que, en caso de un apagado del controlador PLC o una interrupción del suministro eléctrico, el sistema conserve el estado previo. De este modo, al reiniciar la máquina, esta retomará las operaciones con los datos previamente guardados.

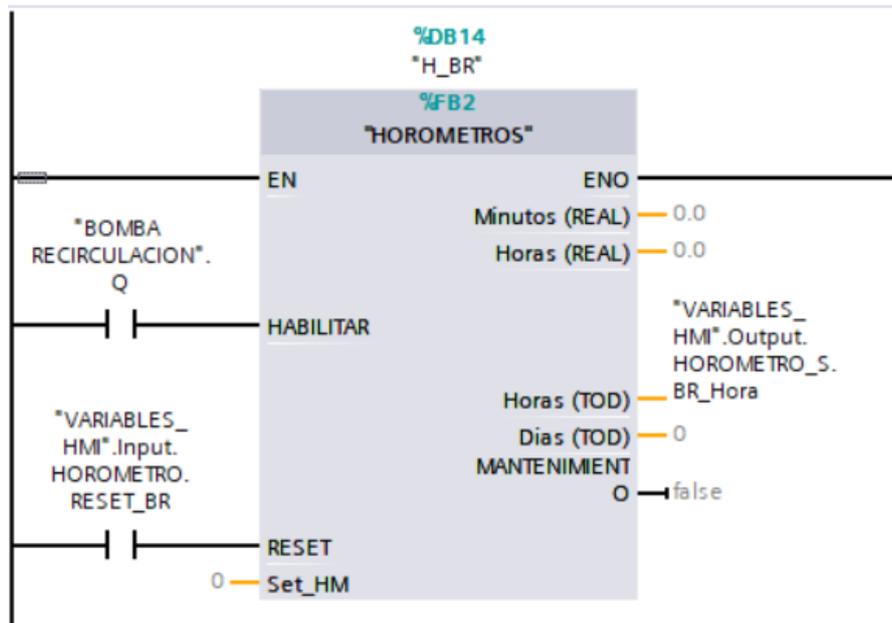


Figura 2.9. Bloque de programación Horómetro

2.3.5 Mediciones



Figura 2.10. Pantalla HMI – Mediciones

En esta sección se presentarán las mediciones que serán recogidas por el variador de frecuencia, con el fin de realizar un análisis del estado de la máquina. Los parámetros para monitorear incluyen voltaje, corriente, potencia y RPM.

2.4 Calibración del Servo

Para la calibración del servo, es fundamental considerar la versión del equipo con el que se está trabajando. Según la tabla 2.2, el servo S120 cuenta con un Power Module (PM) 320 y una unidad de control CU310-2PN con una versión de firmware v4.7. Es crucial

destacar la versión del firmware, ya que esta determinará el software compatible para su configuración.

De acuerdo con el manual de Siemens, la versión de TIA Portal V16 solo es compatible con módulos cuyo firmware esté en el rango de V4.8 a V5.2. Por lo tanto, es necesario asegurarse de utilizar el software adecuado según la versión del firmware para garantizar una calibración y operación óptimas del sistema.

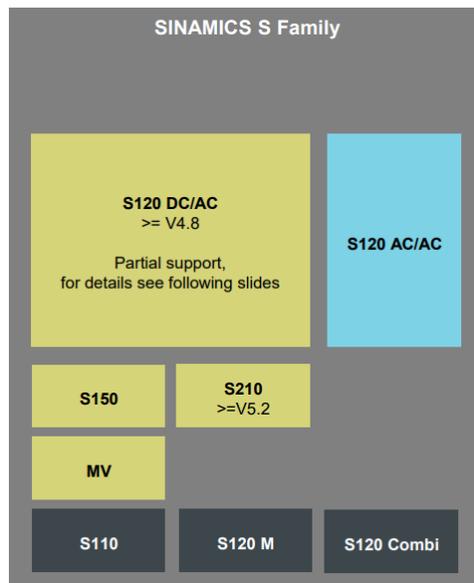


Figura 2.11. Imagen de manual siemens de firmware

Para el módulo S120, TIA Portal únicamente admite versiones de firmware superiores a 4.8, lo que hace necesario actualizar el firmware del equipo. No obstante, es igualmente importante considerar la versión del PM repites lo mismo que arriba, ya que al seleccionarlo en Startdrive, se identificó que corresponde a una versión antigua. Esto imposibilita su programación directa dentro de TIA Portal.

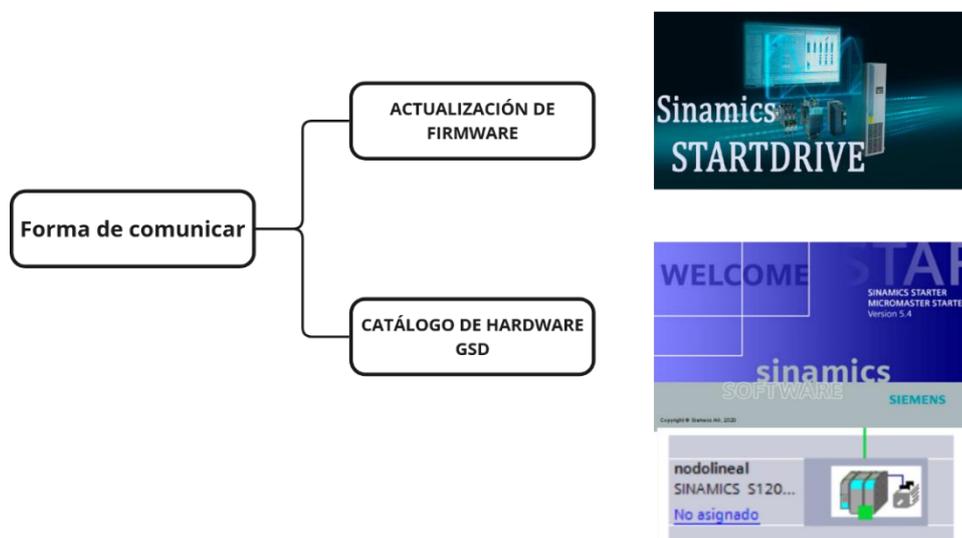


Figura 2.12. Forma de comunicación con S120

A pesar de esta limitación, TIA Portal ofrece otra alternativa para parametrizar el servodrive mediante el uso de un archivo GSD (General Station Description). Sin embargo, para llevar a cabo este proceso, es imprescindible realizar primero la parametrización del servodrive utilizando la herramienta Starter. Este enfoque permite adaptar la configuración del equipo a las restricciones de compatibilidad entre el hardware y el software.

2.4.1 Parametrización de servodrive con starter

Se accedió a los parámetros de manera online, identificando automáticamente la CPU CU310-2PN. Durante el proceso, tanto la unidad de control como el servo fueron reconocidos y configurados automáticamente, facilitando la integración inicial.

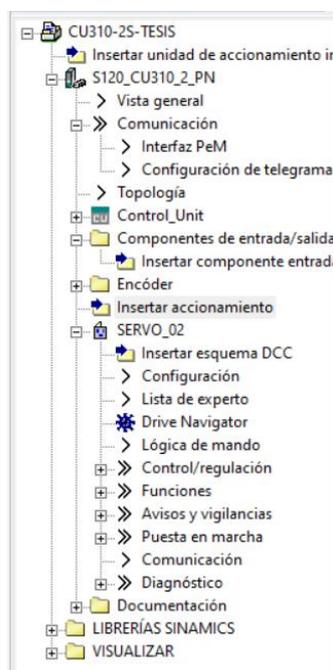


Figura 2.13. Reconocimiento de CU310-2PN y servo

Una vez establecida la comunicación entre la unidad de control y el servo, se ingresó a la sección denominada "Lista de Experto". En esta área, se procedió a parametrizar los datos del sistema conforme a las características específicas del servo, utilizando los valores de referencia recomendados.

A continuación, se detalla el ajuste de los parámetros clave realizados durante la configuración:

Tabla 2.3 Parámetros a colocar en el software STARTER.

Parámetro	Descripción	Estado original	Estado actual
-----------	-------------	-----------------	---------------

P0864	Alimentación de servicio: Ajusta la fuente de señal para la señalización	0	1
p0840	Servicio de la alimentación Bit: CON/DES (DES1): Activa el movimiento del servo	0	1
p210	Tensión de conexión equipo	0	230 [V]

Después de cargar el programa, se verificó la comunicación accediendo al módulo de mando. Desde este módulo, se tomó control del sistema y se realizaron pruebas de marcha para comprobar su funcionamiento.

2.4.2 Comunicación de servodrive con TIA Portal por GSD

La comunicación con TIA Portal es fundamental para garantizar el control del sistema y establecer la conexión con el HMI de las recetas. En este punto, el servodrive ya debió haber sido parametrizado previamente a través de Starter. Posteriormente, se procedió a integrar la estación del servodrive (S120) en el entorno de TIA Portal, utilizando los telegramas para adquirir los datos relevantes del dispositivo.

En este caso, se configuró la transmisión de datos mediante el Telegrama 5 tanto en Starter como en TIA Portal, asegurando la correcta transmisión de información entre ambos sistemas.

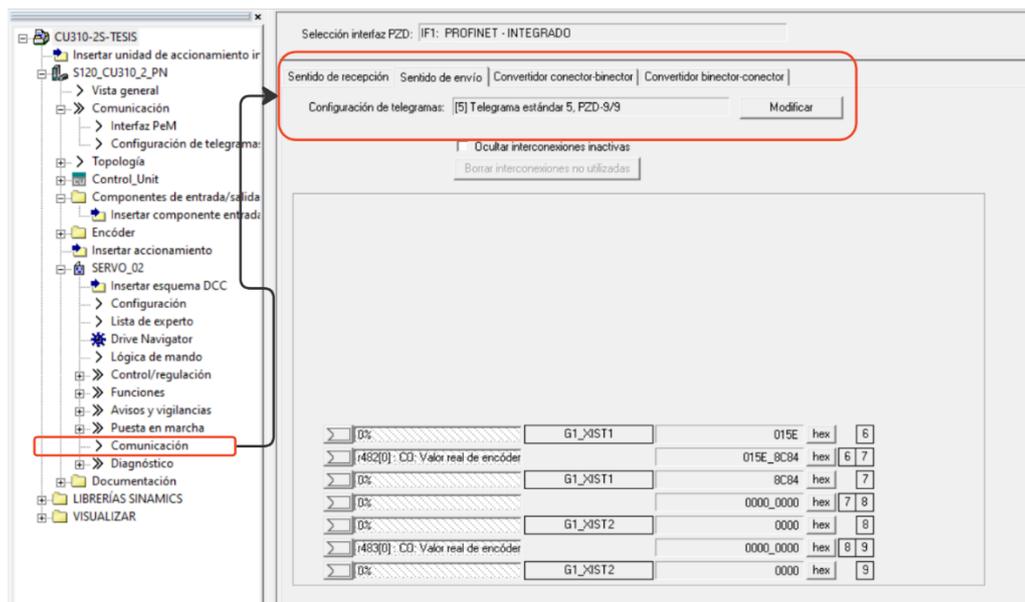


Figura 2.14. Telegrama en Starter.

En la **Figura 2.14**, se muestra dónde se lleva a cabo la configuración del telegrama para el envío y recepción de datos. La selección adecuada del telegrama garantiza una transmisión de datos precisa en función de la acción que se desea ejecutar.



Figura 2.15. Sentido de recepción telegrama 5

En el telegrama 5, seleccionado en el software Starter, se habilita la recepción de datos por parte del control, lo que permite realizar funciones avanzadas como control anticipado, detección de signos de activación, manejo de la palabra de mando del encoder, análisis de desviación de posición y ajuste de la ganancia regulada. Por otro lado, se establece el sentido de envío, donde los datos provenientes de la CPU son utilizados para implementar el control lineal del eje o los rodillos.

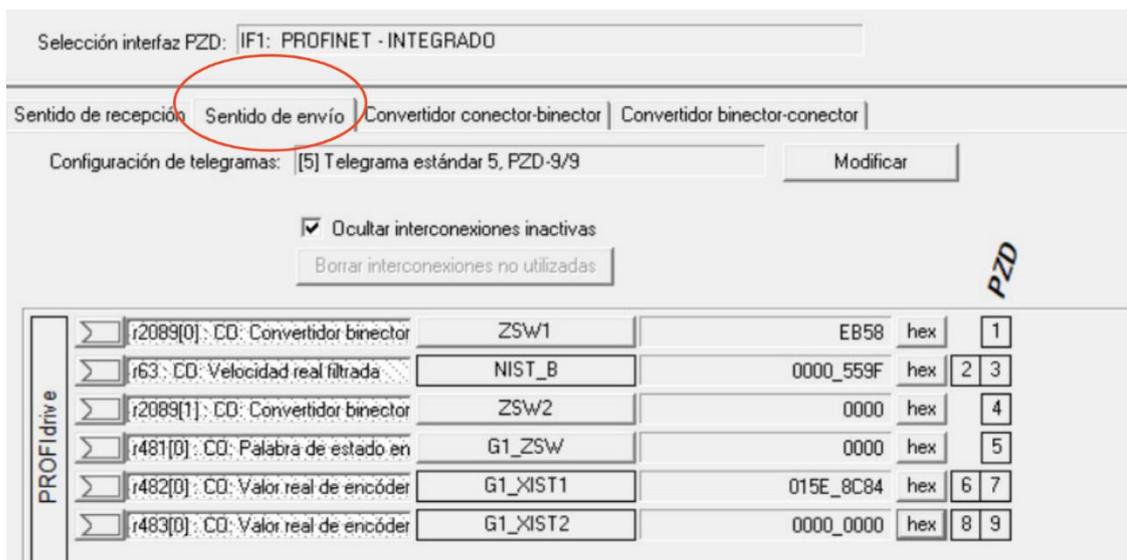


Figura 2.16. Sentido de envío telegrama 5

En la Figura 2.16 se muestran los datos que serán transmitidos al software TIA Portal V16, esenciales para realizar el control de posicionamiento requerido. Una vez configurado el sistema en starter, se habilita la comunicación del telegrama 5 dentro de TIA Portal, permitiendo la integración completa del servo.

Módulo	Rack	Slot	Direcció..	D...
nodelineal	0	0		
PN-IO	0	0 X150		
Puerto 1	0	0 X15...		
Puerto 2	0	0 X15...		
DO SERVO_1	0	1		
Punto de acceso a módulo	0	1 1		
Punto de acceso a módulo	0	1 2		
Telegrama estándar 5, P...	0	1 3	20...37	1...
Punto de acceso a módulo	0	1 4		

Figura 2.17. Funciones de comunicación

Para garantizar una comunicación eficiente, es necesario establecer referencias específicas hacia el servo. En los bloques de módulos, se selecciona la opción “Do Servo” y, en el submódulo correspondiente, el “Telegrama estándar 5 PZD-9/9”, como se muestra en la Figura 2.17. Adicionalmente, es imprescindible realizar configuraciones comunes, como asignar la dirección IP del módulo S120 y configurar los puertos que se utilizarán para la comunicación con el PLC.

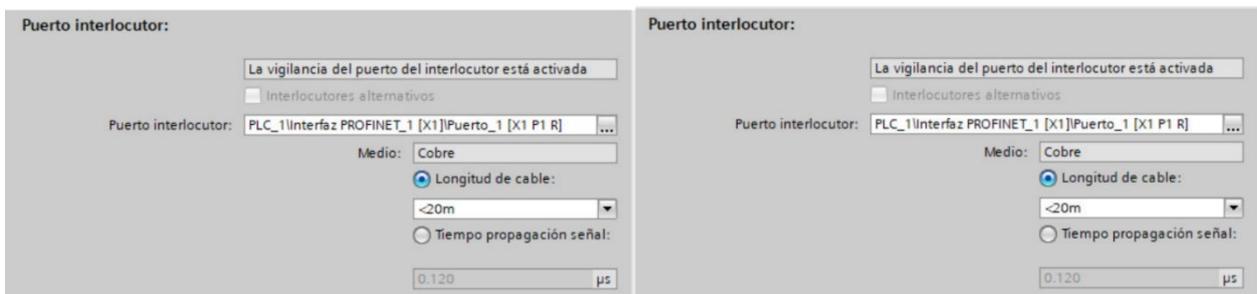


Figura 2.18. Puerto de Interlocutor y receptor

Se activó el modo IRT (Isochronous Real Time), un procedimiento que permite sincronizar dispositivos PROFINET con alta precisión. Este modo de transmisión permite alcanzar tiempos de ciclo mínimos de 250 μ s para la integración y 500 μ s para el módulo CBE20, con una precisión de inestabilidad inferior a 1 μ s. Estas características

garantizan un rendimiento óptimo en aplicaciones que requieren sincronización de alta precisión (Fuente: Siemens, 2019).

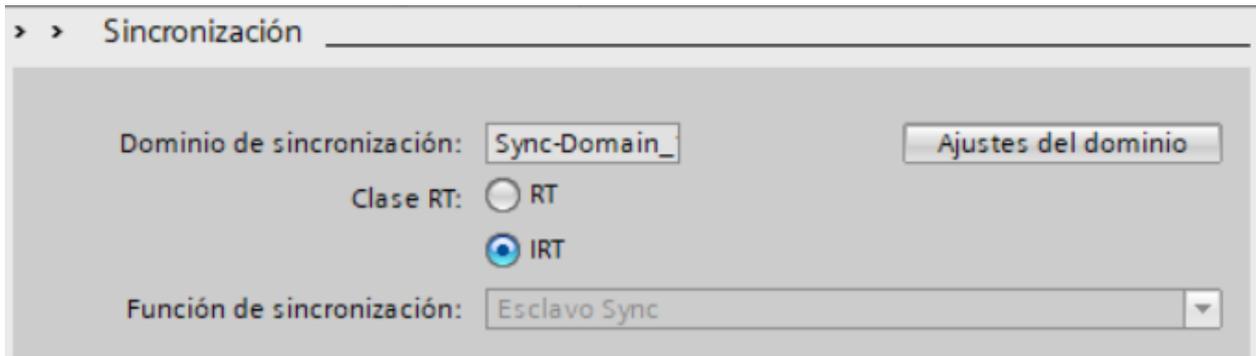


Figura 2.19. Selección de IRT en TIA Portal

Al activar esta opción, se logra una transmisión más eficiente del telegrama configurado. Además, en el apartado de funciones de sincronización del software, se observa cómo la configuración cambia a esclavo, siendo el PLC el maestro en nuestro caso. Finalmente, se carga el programa para concluir la configuración y garantizar la funcionalidad del sistema.

2.5 Calibración del Variador de Frecuencia G120



Figura 2.20. Comunicación del G120 con startdrive

Se parametrizó el variador de frecuencia utilizando el asistente de startdrive, lo que simplificó significativamente la configuración necesaria para establecer la comunicación con la programación. Tras la instalación de los elementos requeridos, se empleó una

librería de Siemens, la cual facilitó tanto el control de velocidad como la adquisición de datos del sistema.

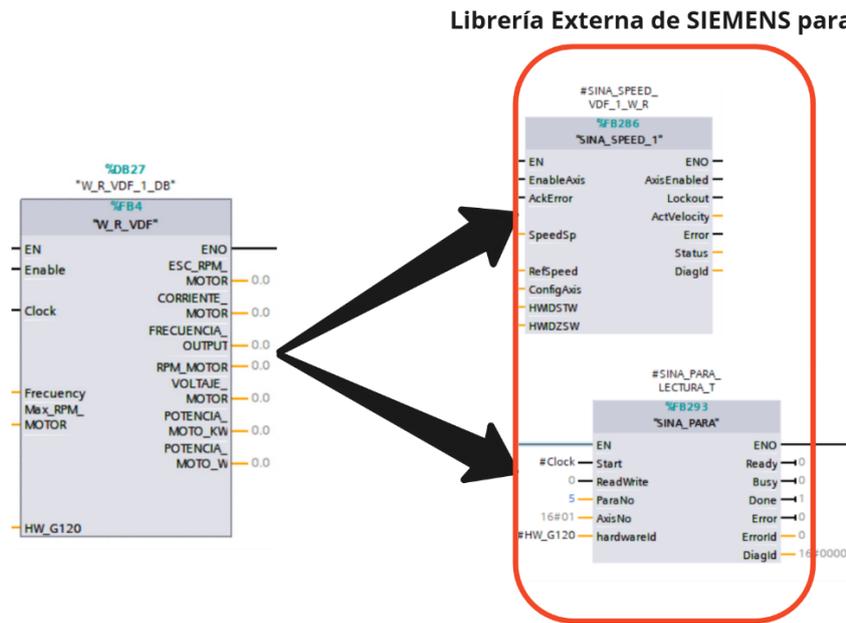


Figura 2.21. Bloque de adquisición de parámetros

En la Figura 2.21 se presenta el bloque “W_R_VDF”, desarrollado para obtener los datos del variador G120. Este bloque hace uso de elementos de la librería de Siemens, como “SINA_SPEED” para el control del variador y “SINA_PARA” para la adquisición de parámetros específicos.

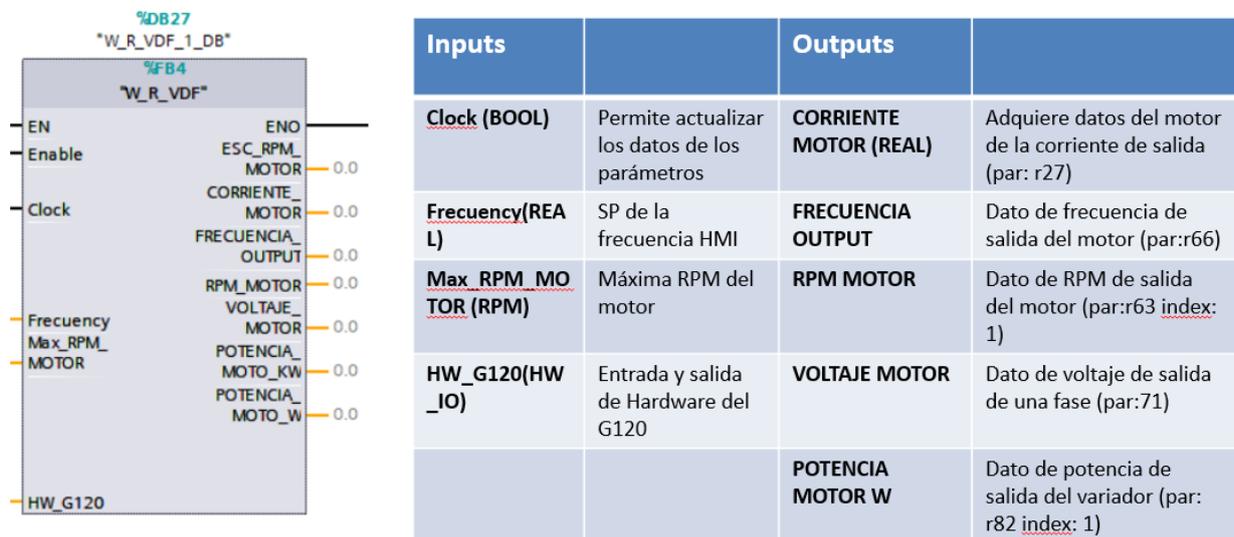


Figura 2.22. Descripción de entradas y salidas del bloque “W_R_VDF”

El dato de entrada “HW_G120” corresponde a un módulo de hardware. Para seleccionar la variable adecuada, se accedió a la tabla de variables, donde se eligió el variador previamente configurado con el telegrama correspondiente.

Variables PLC			
	Nombre	Tipo de datos	Valor
62	OB_Cyclic interrupt	OB_Cyclic	30
63	Local~Common	Hw_SubModule	50
64	Local~Device	Hw_Device	32
65	Local~Configuration	Hw_SubModule	33
66	Accionamiento_1~Interfaz_PROFINET-IODevice	Hw_Device	274
67	Accionamiento_1~Interfaz_PROFINET	Hw_Interface	276
68	Accionamiento_1~Interfaz_PROFINET~Puerto_1	Hw_Interface	277
69	Accionamiento_1~Interfaz_PROFINET~Puerto_2	Hw_Interface	278
70	Accionamiento_1~Interfaz_PROFINET~ModuleAccessPoint	Hw_SubModule	280
71	Accionamiento_1~Interfaz_PROFINET~Telegrama_estándar_20	Hw_SubModule	281

Figura 2.23. Tipo de dato Hw_submodule del variador G120

El valor asociado a esta entrada, configurado como 281, fue definido en el bloque generado para garantizar la correcta transmisión y recepción de datos en el sistema.

2.6 Criterio de Dimensionamiento de Protecciones Eléctricas

La acometida principal del proyecto es de 220 V trifásico. Para determinar el dimensionamiento de la corriente nominal, se emplearon dos métodos:

2.6.1 Cálculo Matemático

La corriente nominal se puede obtener mediante la fórmula:

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \sqrt{3} \cdot f_p \cdot n}$$

Donde:

- ❖ P: Potencia Nominal mecánica
- ❖ V: Voltaje Nominal de conexión
- ❖ Fp: Factor de potencia en placa
- ❖ n: la eficiencia

2.6.2 Consulta de la Placa del Motor

Alternativamente, se puede consultar directamente la placa del motor, que proporciona el valor de la corriente nominal. Este dato es esencial para seleccionar los dispositivos de protección eléctrica, como interruptores termomagnéticos, guardamotors y contactores.

En la tabla 2.4 a continuación se detallan los motores del proyecto y el tipo de arranque seleccionado para cada uno:

Tabla 2.4 Tipos de arranque para los actuadores presente

Motor Área	Arranque Directo	Variador
Bomba de Tanque Alimentación	X	
Tanque Alimentación		X
Tanque Elevador		X
Rodillos		X
Transportador Curvo 1		X
Transportador Curvo 2		X
Transportador fijo	X	

2.6.3 Cálculo de Protección

Con base en la fórmula (2.6.1) o los datos de la placa del motor, se obtuvo una corriente nominal de 4.53 A. Para dimensionar la protección principal, se calculó el disyuntor al 25% más de la corriente nominal, utilizando la fórmula:

$$I_d = 1.25 * I_n \quad (1)$$

Donde:

- I_n : Representa la corriente nominal del motor

El cálculo arrojó un valor de 5.66 A, por lo que se seleccionó un interruptor termomagnético con la especificación más cercana: “Interruptor termomagnético Easy9 3P 6A 10kA curva C”.

Además, se seleccionaron contactores para permitir el arranque directo, dimensionados según la potencia y corriente del motor, empleando la siguiente referencia:

$$I_k \geq I_n \quad (2)$$

Donde:

- I_k : Corriente de ajuste del guardamotor o térmico.

Seleccionando de la misma marca de Schneider se escoge “**CONTACTOR 3P 12A. 1NA BOBINA 220V AC 3.0 KW LC1D 12 M7**”.

Para el relé térmico, se consideró la corriente nominal como punto medio en el rango de regulación, seleccionando el modelo “TeSys D - relevador de protección térmica - 4...6 A - clase 10A”.

En el caso del transportador fijo, se aplicaron los mismos criterios y fórmulas, obteniéndose los resultados detallados en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Protecciones eléctricas para arranque directo

Motor Área	Breaker	Contactador	Relé Térmico
Tanque Alimentación	Interruptor termomagnético Easy9 3P 6A 10kA curva C	Contactador 3p 12a. 1na Bobina 220v Ac 3.0 Kw Lc1d 12 M7	TeSys D - relevador s de protección térmica - 4...6 A - clase 10A
Transportador Fijo	Interruptor termomagnético Easy9 3P 6A 10kA	Contactador 3p 9a. 1na Bobina 220v Ac 2.2 Kw Lc1d 09 M7	TeSys D - relevador s de protección térmica - 4...6 A - clase 10A

2.6.4 Protecciones para variadores de frecuencias

Continuando con las protecciones de los motores que llevan variadores de frecuencia modelo G120X, citando el manual de Rockwell Automation (2016), "para evitar disparos falsos, se debe seleccionar el disyuntor del lado de la línea en función de la corriente de entrada máxima al VFD, no de la corriente nominal del motor cuando funciona a plena carga" (p. 4). Por la cual se analiza el datasheet de estos variadores para corroborar la corriente de entrada a una operación máxima de trabajo.

Valores con sobrecarga alta			
Potencia HO	0,37 kW	0,55 kW	0,75 kW
Intensidad de entrada HO	1,9 A	2,5 A	3,2 A
Intensidad de salida HO	1,3 A	1,7 A	2,2 A

**Figura 2.24. Intensidad de entrada del G120
(FUENTE: MANUAL SINAMICS G120)**

Se seleccionaron guardamotors ajustados según la intensidad de entrada a máxima operación. Los resultados se resumen en la Tabla 2.6

Tabla 2.6 Protecciones eléctricas para variadores

Motor Área	Guardamotor
Bomba de Tanque Alimentación	Guarda Motor Easypact 0.75kw 230 Vac 2.5 ... 4.0a Gz1e08
Tanque Elevador	Guarda Motor Easypact 0.75kw 230 Vac 2.5 ... 4.0a Gz1e08
Rodillos	Guarda Motor Easypact 2.20kw 230 Vac 6.0 ... 10a Gz1e14
Transportador Curvo 1	Guarda Motor Easypact 0.75kw 230 Vac 2.5 ... 4.0a Gz1e08
Transportador Curvo 2	Guarda Motor Easypact 0.75kw 230 Vac 2.5 ... 4.0a Gz1e08

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se realizaron pruebas en el laboratorio de Siemens de ESPOL, donde se llevaron a cabo diversas acciones para corroborar la programación instalada. Entre estas pruebas se incluyeron la comunicación exitosa entre el servodrive S120, HMI y variadores de frecuencia, así como la activación en secuencia del HMI.

3.1 Comunicación con PLC s7-1515

En TIA Portal se estableció la comunicación con el PLC S7-1515, obteniendo resultados satisfactorios, ya que la programación se cargó sin inconvenientes. Para garantizar una carga exitosa, se tomaron en cuenta los módulos presentes, que incluyen las entradas y salidas digitales. En caso de no agregar los módulos correspondientes, el PLC presentará fallas relacionadas con los mismos. Además, se consideró el firmware de cada módulo para asegurar la compatibilidad.

3.2 Comunicación con HMI

La comunicación con el HMI se realizó mediante el protocolo profinet. Se configuró la dirección IP del HMI, la cual es 192.168.30.50. En esta instancia, se verificaron los estados del HMI descritos en el capítulo 2.



Figura 3.1. Comunicación KTP700 BASIC con pantalla principal

Se accedió al sistema utilizando la clave de mantenimiento, lo que permitió observar las pantallas accesibles según el perfil del usuario: mantenimiento y operador. El acceso a las funciones varió en función del cargo del personal, tal como se muestra en la Figura 3.1.

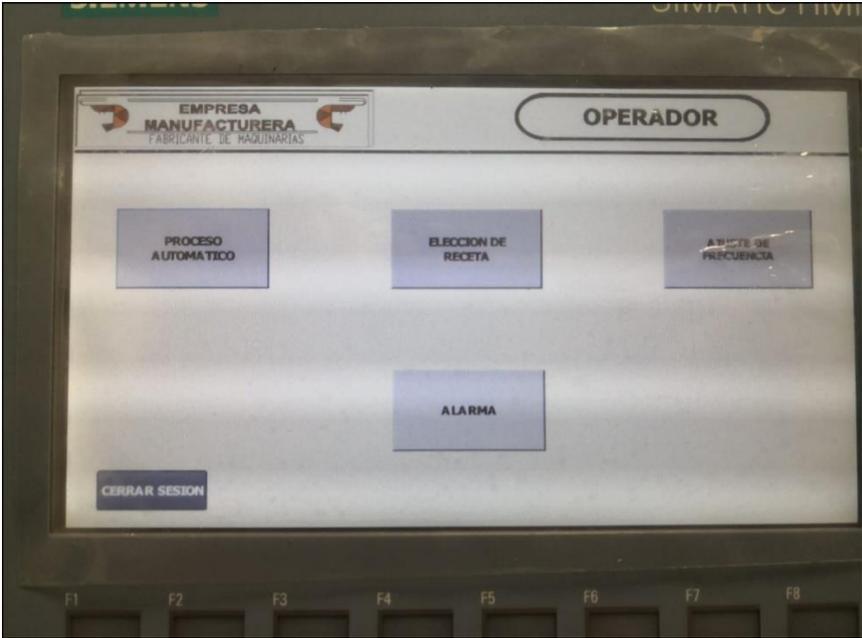


Figura 3.2. Menú de opciones del operador

Las limitaciones de las funciones del operador tienen relación con las acciones rápido a tomar en momento de producción.

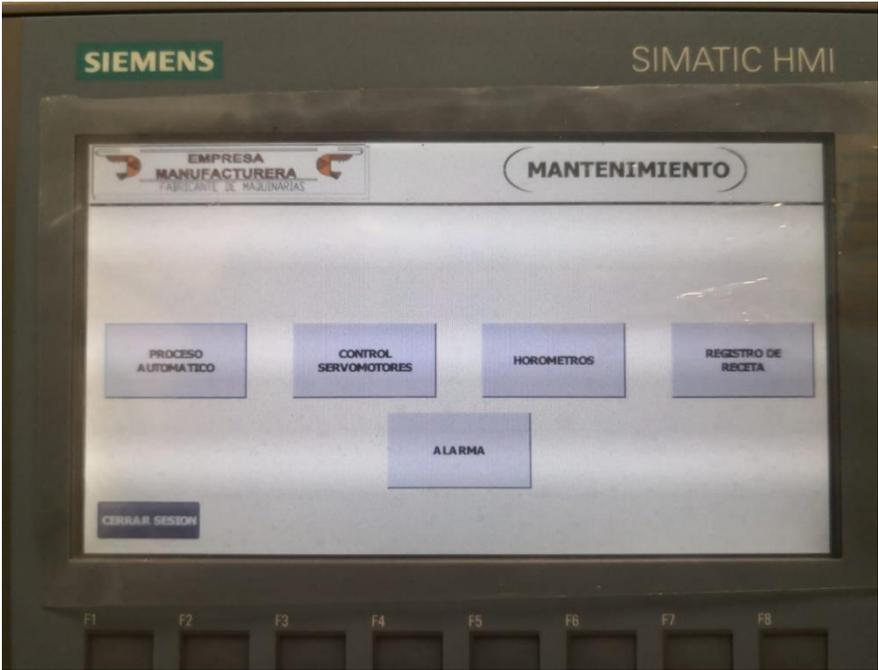


Figura 3.3. Menú de opciones de mantenimiento

El perfil de mantenimiento contó con funciones más avanzadas que ofrecieron un mayor control sobre todo el sistema.

3.2.1 Pantalla principal accionamiento

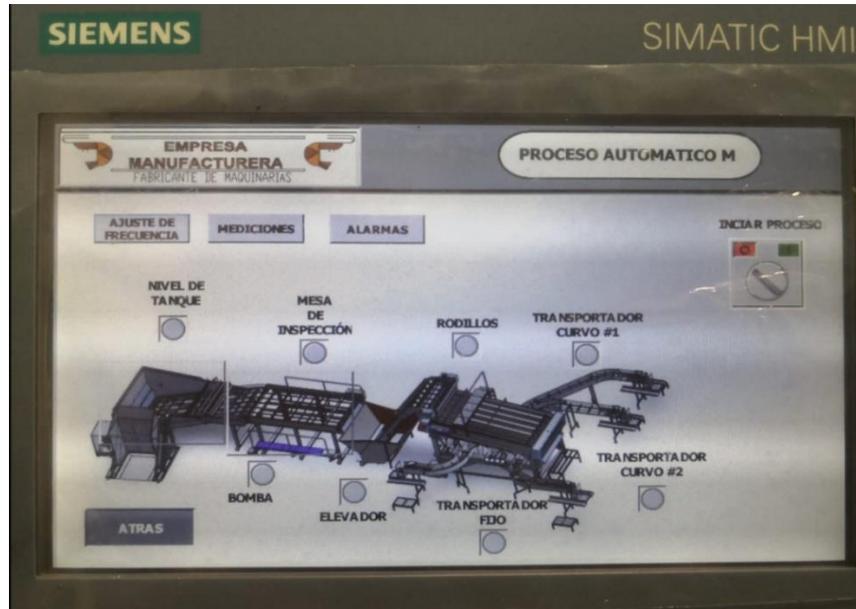


Figura 3.4. Pantalla de proceso automático modo mantenimiento

En esta pantalla principal del modo de mantenimiento, la máquina operó únicamente cuando el llenado del tanque de alimentación alcanzó el nivel adecuado. Solo en ese momento, al seleccionar la opción “Iniciar Proceso”, se puso en marcha todo el sistema. Se usó el software de Factory IO para simular el llenado de tanque.

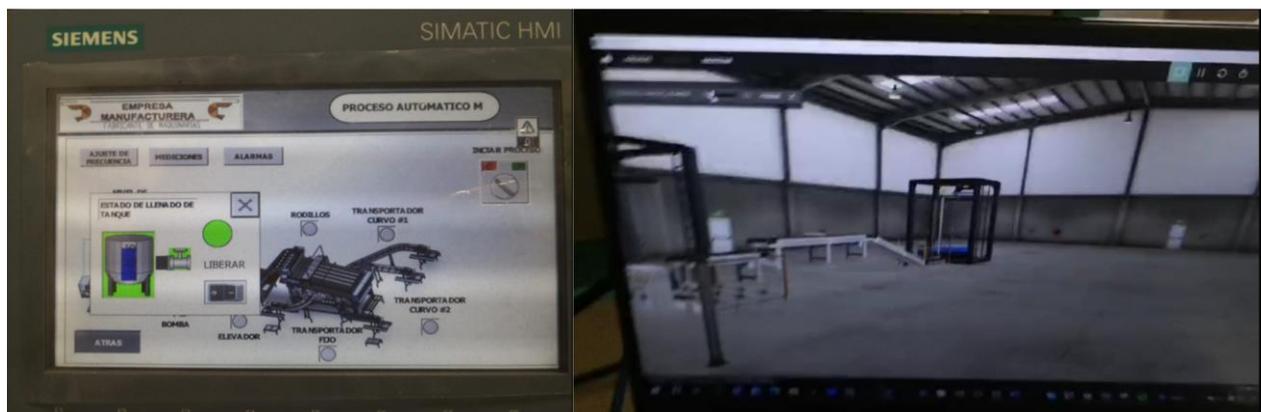


Figura 3.5. Llenado de tanque alimentación correcto

Mediante una ventana emergente, se monitoreó el estado del llenado del tanque de alimentación. El color verde indicó que el llenado estaba habilitado, mientras que el rojo representó un tanque vacío. Una vez que el indicador estuvo en verde, se pudo iniciar el

proceso. Como se explicó en la sección 2.3.2 sobre el proceso automático, se observó el accionamiento de las señales de los motorreductores en un tiempo de 12 segundos.



Figura 3.6. Pantalla de proceso automático modo operador estado encendido

En la Figura 3.6 se presenta el proceso automático en modo operador. Tras transcurrir los 12 segundos necesarios para el accionamiento, se constató que esta pantalla no ofrecía acceso a los menús disponibles en el modo de mantenimiento.

3.3 Comunicación con s120

Se realizó la comunicación con el SINAMICS S120, utilizando el bloque de motion control para el control del servomotor. El controlador se cargó a través del acceso online de TIA Portal y se llevó a cabo la puesta en marcha con el servidor de startdrive.

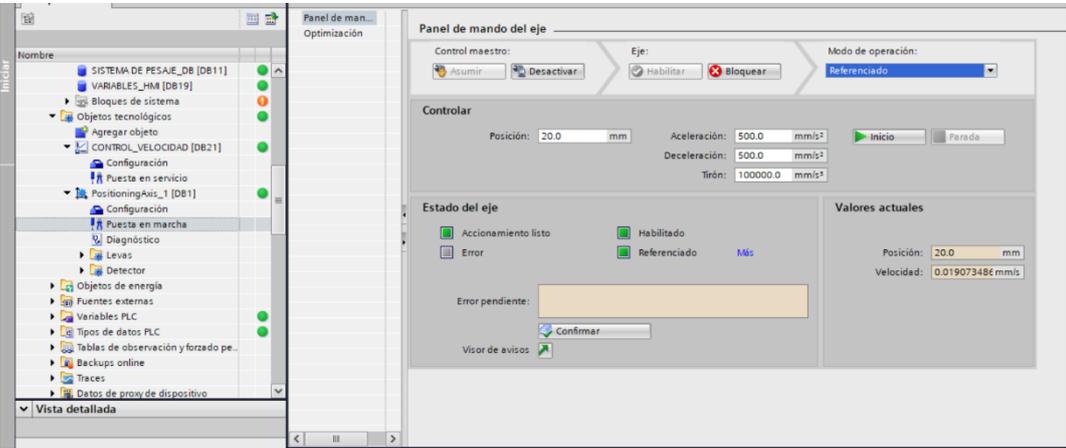


Figura 3.7. Puesta en Marcha desde el panel de mando

Una vez asignada ya podemos cargar junta a la programación y ver los diferentes estados.

3.3.1 Control manual de servomotores en HMI

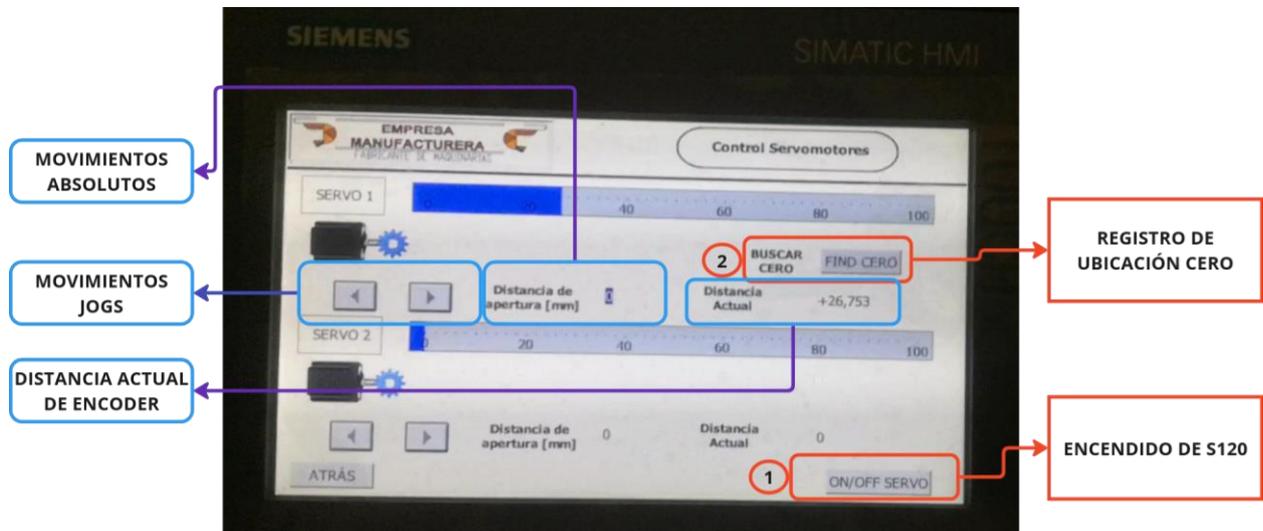


Figura 3.8. Control manual de servomotor por HMI

En esta pantalla del HMI se trabajó de manera manual, sin registrar ningún dato de posición. Para iniciar el funcionamiento, se encendió el servomotor en “ON/OFF SERVO”. Por primera vez, fue necesario encender y encontrar el cero, ya que no se contaba con un sensor para identificar esta posición. Posteriormente, se emplearon las flechas para realizar movimientos JOG. La distancia de apertura, un dato real, permitió al usuario insertar una posición absoluta, y se monitoreó la distancia actual mediante la medición del encoder.

3.3.2 Recetas talla de camarón y servomotor MODO Mantenimiento

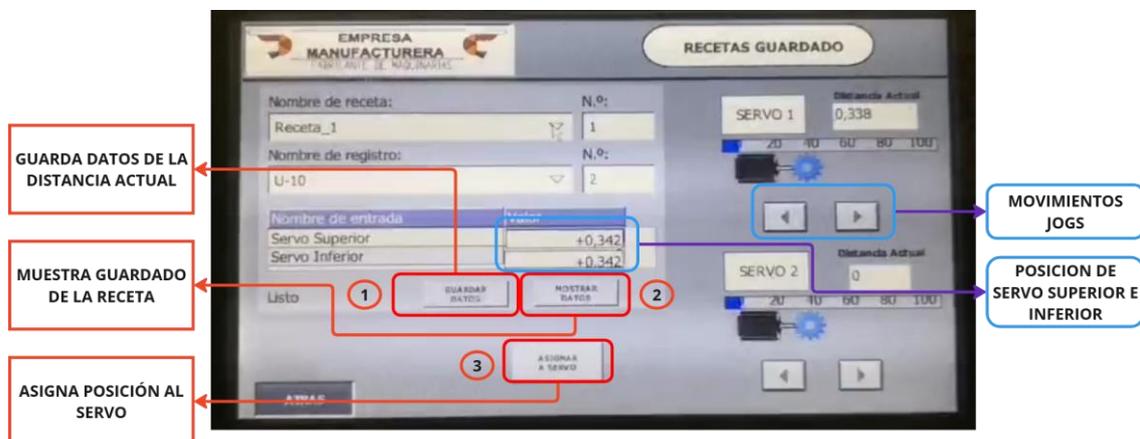


Figura 3.9. Receta de guardado modo mantenimiento

En esta pantalla, observamos las funcionalidades del registro de receta en modo mantenimiento, este permitió registrar los datos de distancia actual del servo 1 en un bloque DB, para la correcta calibración, se debe realizar en sitio. Los pasos a realizar son asignar una posición con movimientos JOGS, luego de dejar posicionado correctamente la distancia, guardamos el dato, hasta esperar el mensaje que se ha guardado correctamente, posterior aquello se debe mostrar el dato guardado en la tabla de registro, observaremos cómo cambia el valor en “Servo Superior” y “Servo Inferior” y por último asignamos al servo, con esto veremos cómo cambia las posiciones del servo según a lo guardado.

3.3.3 Recetas talla de camarón y servomotor Modo Operador

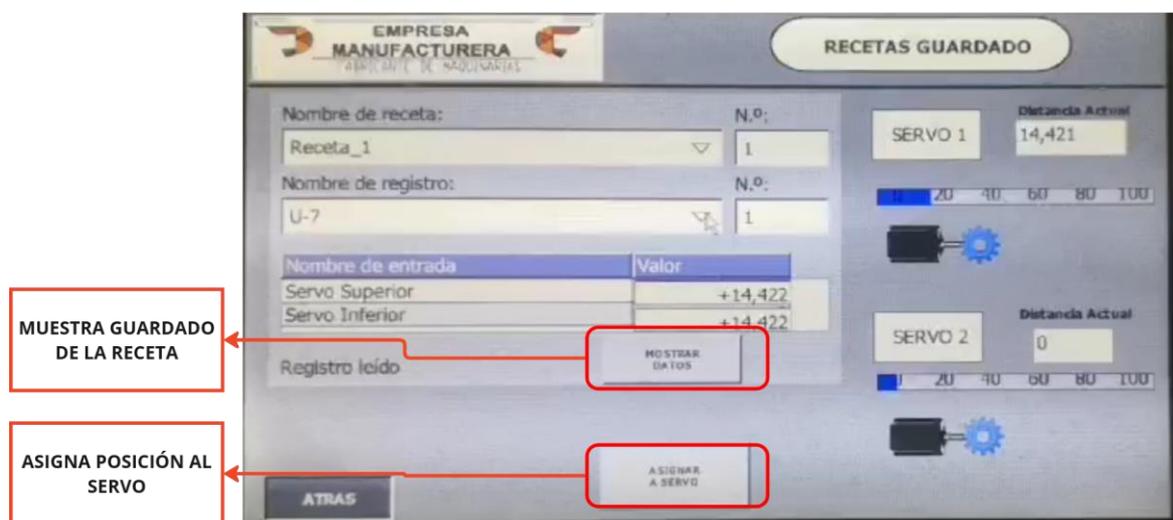


Figura 3.10. Receta de guardado modo operador

A diferencia de la figura 3.9 en este modo no tenemos accesos a otras funcionalidades, simplemente nos permitió cargar el dato registrado en el DB y poder asignar ese valor al servo.

3.4 Comunicación con variador de frecuencia g120

Se llevó a cabo la puesta en marcha de un variador G120, estableciendo su conexión con el HMI para mediciones y accionamiento manual. En esta etapa, se consideró la capacidad del variador y se probó con un motor compatible (1 HP). El software startdrive permitió realizar una puesta en marcha rápida y parametrizar el variador de acuerdo con la placa del motor.

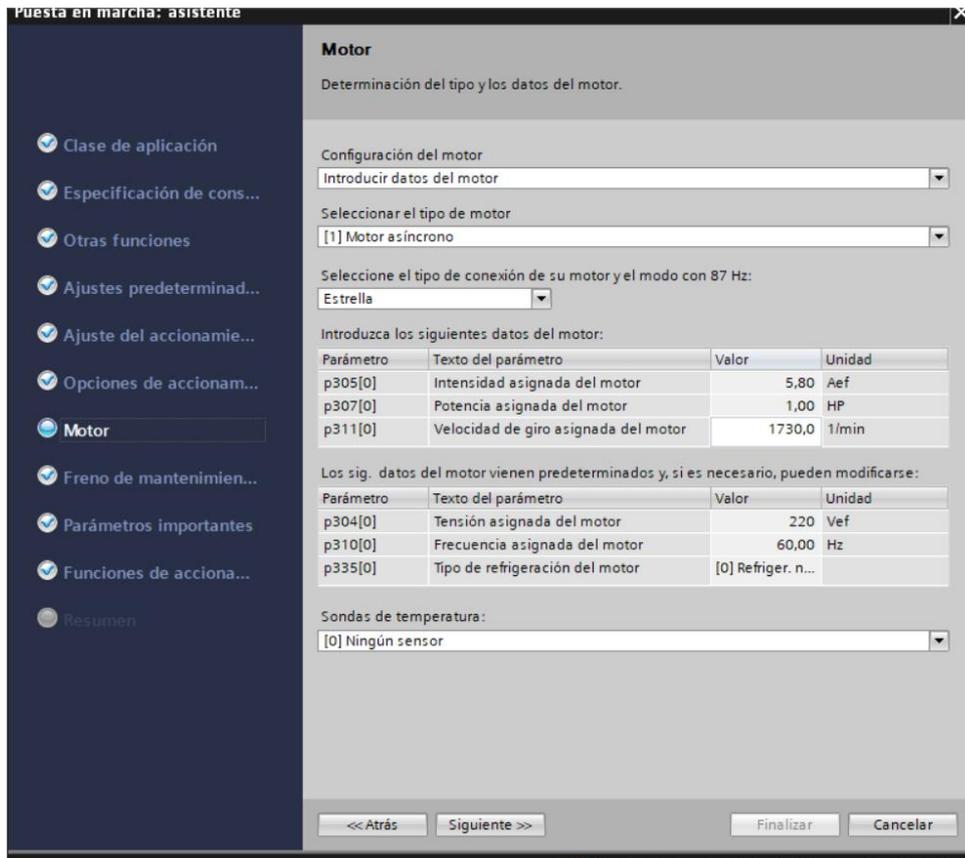


Figura 5-42. Parámetros placa de motor dentro de startdrive.

En esta figura se aprecia la configuración del motor y los parámetros definidos según el manual. El asistente configuró las protecciones y la detección de la placa del motor durante la parada.

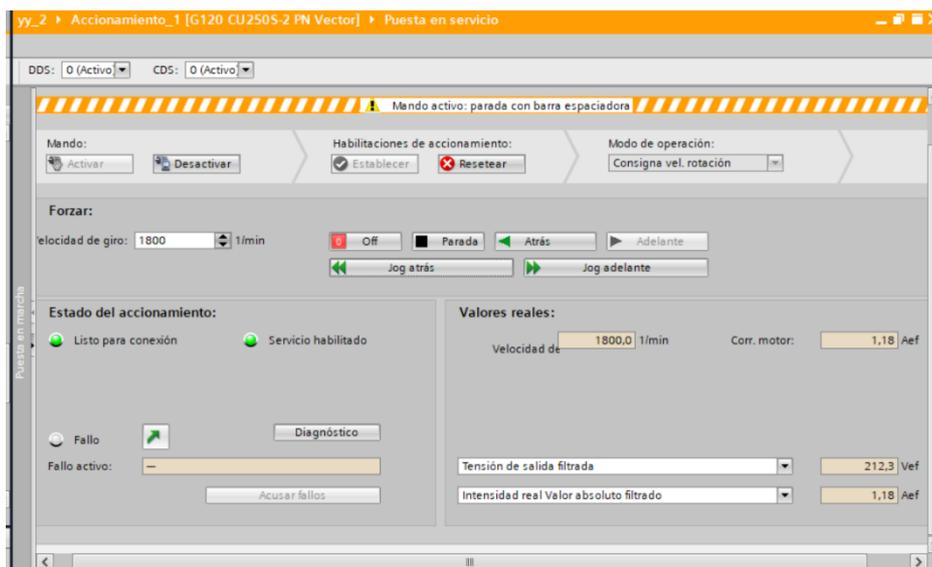


Figura 3.11. Panel de control de G120

En el panel de asistente se realizaron las primeras pruebas de control del variador, verificando la conexión del motor mediante la medición de corriente, voltaje y RPM. Estas pruebas confirmaron que la placa del motor se detectó correctamente.

3.4.1 Control de variador de frecuencia desde HMI

En la sección de ajuste de “Frecuencia manual”, disponible en los modos operador y mantenimiento, se asignó el control de la frecuencia de los variadores SINAMICS G120 desde el HMI.



Figura 3.12. Ajuste de frecuencia a 30 Hz de variador G120

Utilizando el bloque “W_R_VDF” descrito en la figura 2.22, se obtuvieron datos en tiempo real del motor en funcionamiento. Se seleccionó un motor de 1 HP para realizar pruebas y capturar parámetros esenciales para el mantenimiento.

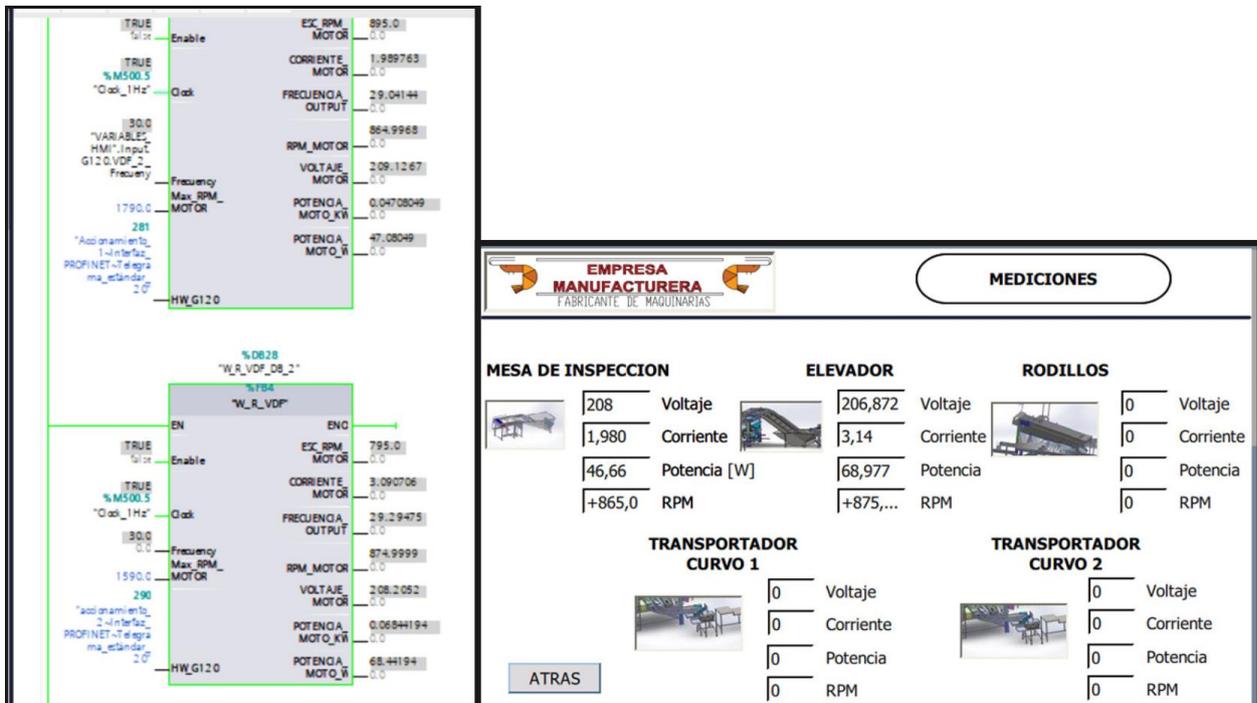


Figura 3.13. Captación de datos de motores con el bloque y HMI

En la Figura 3.13 se observó la puesta en línea y la captación de datos de dos motores mediante el bloque “W_R_VDF”. Estos datos fueron representados en el HMI de mediciones para facilitar su observación para el personal de mantenimiento.

3.5 Tabla de cotización de elementos

En esta sección se realizó la cotización del proyecto, en la cual se presentó el costo total sin incluir ningún tipo de descuento, pero considerando el IVA. Cabe mencionar que el descuento aplicado por cada casa significaba una reducción en el valor final. Para este trabajo, se mostró el precio final con un IVA del 15%.

Cantidad	Descripción	Precio Real Unitario	Descuento (%)	Precio Descuento	Precio con IVA	Proveedor
1	PLC S7-1511C-1PN / 6ES7511-1CK01-0AB0	3685	0	3685	4237.75	JNG
1	HMI- KTP700 BASIC PN - 6AV2123-2GB03-0AX0	1683		1683	1935.45	JNG
1	Switch Siemens SCALANCE XC108 - 6GK5108-0BA00-2AC2	1140		1140	1311	JNG
4	SINAMICS G120X -6SL3220-1YC10-0UF0 - 1HP	701		2804	3224.6	JNG
1	SINAMICS G120X- 6SL3220-1YC16-0UF0 - 3HP	857		857	985.55	JNG
1	CONTACTOR 3P 12A. 1NA BOBINA 220V AC 3.0 KW LC1D 12 M7	61.35		61.35	70.5525	INSELEC
1	RELE TERMICO PARA CONTACTOR LC1D 09 ... 38 DE 4.0 ...	83.3		83.3	95.795	INSELEC
1	Interruptor Termomagnético Riel Acti9 iC60N 2P 3A curva C	7.34		7.34	7.34	INSELEC
2	BINT. TERMOMAGNETICO C60H-DC 1X1A CURVA C A9N615011P-	5.34		10.68	10.68	INSELEC
2	BREAKER RIEL DIN EASY9 MCB 3P 6A C 6A 220V EZ9F56306 -	17.85	40	21.42	24.633	INSELEC
1	CONTACTOR 3P 9A. 1NA BOBINA 220V AC 2.2 KW LC1D 09 M7 -	52.35		52.35	60.2025	INSELEC
1	RELE TERMICO PARA CONTACTOR LC1D 09 ... 38 DE 2.5 ...	83.3		83.3	95.795	INSELEC
4	GUARDA MOTOR EASYPACT 0.75KW 230 VAC 2.5 ... 4.0A GZ1E08	66.85		267.4	307.51	INSELEC
1	GUARDA MOTOR EASYPACT 2.20KW 230 VAC 6.0 ... 10A GZ1E14	72.95		72.95	83.8925	INSELEC
8	Contacto Auxiliares GUARDAMOTOR LATERAL NC	12		96	110.4	INSELEC
6	RELE DE 24 VDC SCHNEIDER	25		150	172.5	INSELEC
3	ILUMINARIAS	7		21	24.15	INSELEC
1	FUENTES DE PODER PARA USO INDUSTRIAL 240W 1FASE CAJA METÁLICA DRL-24V240W1EN -	134.86		134.86	155.089	INSELEC
1	REPARTIDOR DE CARGA	40.78		40.78	46.897	INSELEC
1	50 mts calibre #12	35		35	35	JNG
1	25 mts calibre #10	37.5		37.5	37.5	JNG
1	30 mts calibre #18	35.25		35.25	35.25	JNG
40	BORNE PARA RIEL 4 mm #10 A/WG JXB-4/35	0.42		16.8		INSELEC
4	CANALETAS DXN10042 25 x 40 COLOR GRIS (1000 mm2)	8.2		32.8		INSELEC
10	TOPE DE BORNE JXB-GD35	0.25		2.5	2.5	INSELEC
1	GAVINETE ACERO INOXIDABLE 1046x 1001 x 260 mm	150		150	172.5	INSELEC
1	1FT2210-2AF02-0SB0 - SERVO-SIEMENS			0	0	
1	6SL3210-1PB21-8UL0 - PM-			0	0	
1	6SL3054-0FC30-1BA0 - FC-			0		
1	6SL3040-1LA01-0AA0 - CU310-PN			0	0	
Subtotal		9002.89		11581.58		
IVA (%)		15				
Total					13242.5365	

Figura 3.14. Cotización del proyecto de la clasificadora

Se determinó un total de inversión en materiales de \$ 13,242.54 dólares americanos, donde los materiales a usar se dividieron entre las marcas Schneider y Siemens. Otro aspecto que se tomó en cuenta fue la mano de obra. El armado del tablero, cuya creación se estipula en 5 días laborales, se le asignó un costo por hora de servicio de 20 dólares,

resultando en un gasto total de mano de obra de 800 dólares. Finalmente, el costo total del proyecto se resumió en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Cotización total del proyecto

Elementos	Dólares Americanos
Materiales	\$13,242.5365
Mano de obra por 5 días	\$800.00
Total	\$14042.5365

Cabe recalcar que la garantía del tablero y de sus componentes se estableció en un aproximado de 6 meses, siempre y cuando el tablero sea utilizado de manera adecuada, respetando las medidas de prevención y las recomendaciones de manipulación.

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño de la reingeniería de la máquina clasificadora de camarón fue clave para optimizar y modernizar su funcionalidad, permitiendo una comprensión profunda de los procesos involucrados. Este proyecto sienta las bases para que la empresa manufacturera adopte un enfoque de mejora continua, incorporando factores de seguridad y considerando la integración de tecnologías avanzadas como machine learning e inteligencia artificial. Además, se fortalecieron los conceptos de comunicación industrial y se aprovechó el potencial del software TIA Portal para implementar una programación eficiente y compleja, acorde con las demandas actuales de la industria.

4.1 Conclusiones

- La reingeniería permitió cumplir con los estándares técnicos y operativos necesarios para reactivar la máquina clasificadora de camarón, incorporando protecciones eléctricas adecuadas y asegurando una interacción eficiente entre el usuario y la máquina.
- La implementación de un HMI accesible e intuitivo mejoró la experiencia del operador al permitir un monitoreo en tiempo real de los procesos. Además, el área de mantenimiento dispone ahora de herramientas confiables para realizar ajustes, prevenir fallas y garantizar la continuidad operativa.
- El adecuado dimensionamiento de las protecciones eléctricas, respaldado por cálculos técnicos, asegura una operación segura y minimiza riesgos de fallas. Este enfoque también facilita el reemplazo de componentes, dado que se documentaron parámetros claros para seleccionar nuevas piezas.
- El uso del protocolo PROFINET no solo optimizó la transmisión de datos, sino que también redujo la cantidad de cableado requerido, disminuyendo los costos de instalación y los riesgos asociados a interrupciones en las señales.
- La programación de un tiempo de marcha gradual para los actuadores (12 segundos) redujo significativamente los picos de corriente durante el arranque, protegiendo el sistema eléctrico y aumentando su estabilidad a largo plazo.
- El uso del software Factory IO permitió simular con precisión procesos clave como el arranque de bandas transportadoras, el sistema de llenado de tanques y la activación de alarmas. Estas pruebas garantizaron que el diseño implementado

cumpla con los estándares de calidad y funcionamiento antes de su puesta en marcha.

4.2 Recomendaciones

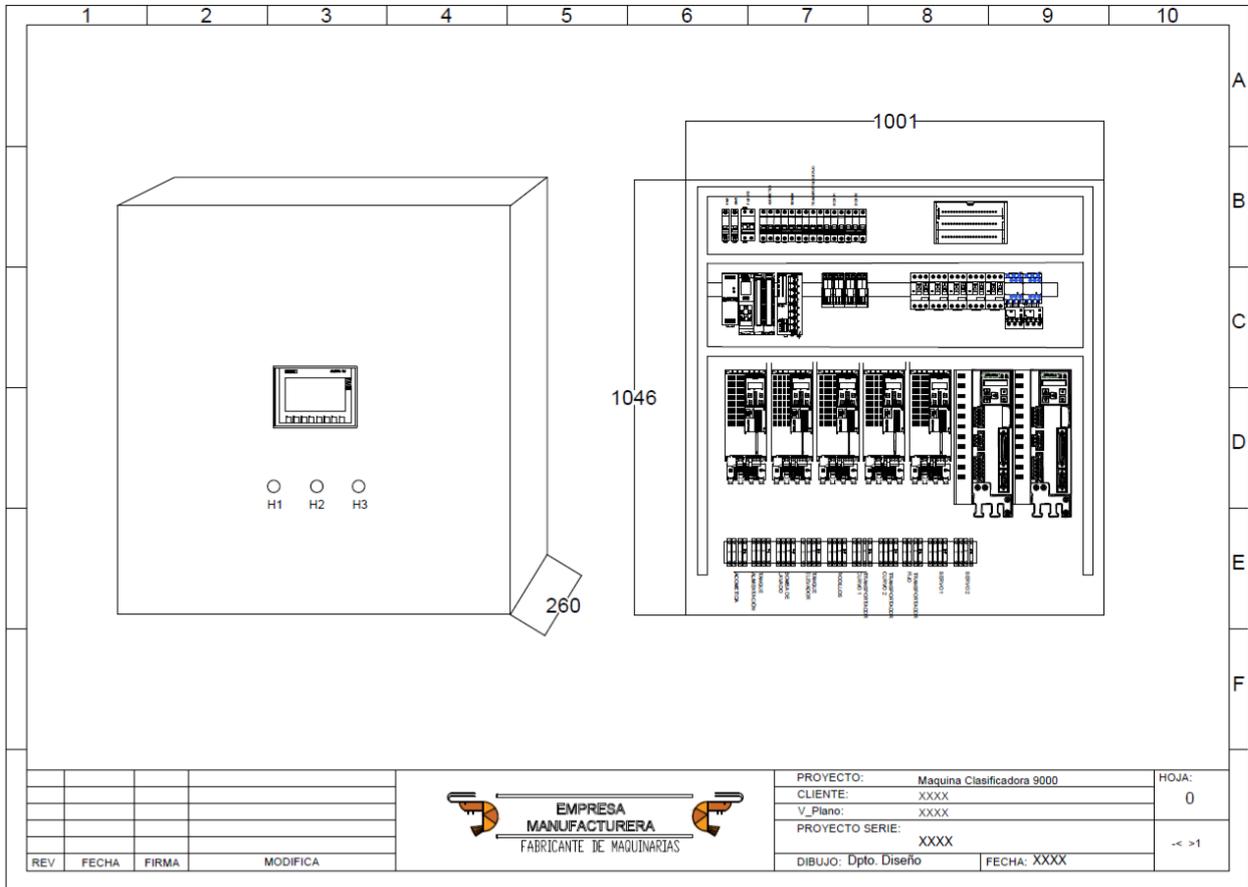
- Realizar pruebas iniciales de los variadores y servo drives directamente desde el panel de mando antes de conectarlos al programa principal, para verificar la correcta configuración de los parámetros y evitar posibles daños.
- Implementar un protocolo de capacitación obligatoria para el personal de mantenimiento, asegurando que tengan las habilidades necesarias para operar y mantener el sistema sin errores.
- Considerar la utilización de herramientas externas, como un mouse, para mejorar la interacción con el HMI KTP700, dado su tamaño reducido.

BIBLIOGRAFÍA

- anónimo. (2023, october 12). Topologías de red: una guía completa para comprender y elegir la mejor - ticnus technology magazine. <https://ticnus.com/recursos/topologias-de-red-que-son/>
- Bbc news mundo. (2023, april 21). Cómo ecuador se convirtió en el mayor exportador mundial de camarones (y qué papel clave jugó china) - bbc news mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-65247655>
- Beama. (2020). Guide to low voltage circuit-breakers standards.
- El acuario. (2022, february 23). El acuario congelado. <https://elacuariocongelados.com/blog/tallas-del-camaron-1/218>
- Rockwell automation, i. (2016, april). Uso de disyuntores de protección de motores con variadores de frecuencia variable. https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/at/140m-at002_-es-p.pdf
- Siemens ag - digital industries. (2011a). Answers for industry. Sinamics sinamics g120.
- Siemens ag - digital industries. (2011b, january). Convertidores de frecuencia sinamics g120c. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/721/109781721/att_1031214/v1/s120_communication_fct_man_0620_es-es.pdf
- Siemens ag - digital industries. (2020a). Sinamics startdrive v16 supported hardware components and functions for sinamics s120, g130, g150, s150 and mv (drives based on cu3x0-2).
- Siemens ag - digital industries. (2020b, june). Manual de funciones sinamics. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/721/109781721/att_1031214/v1/s120_communication_fct_man_0620_es-es.pdf
- Telemecanique. (n.d.). Control de potencia / elección de un contactor. Retrieved january 21, 2025, from https://llamados.ancap.com.uy/docs_concursos/archivos/2%20llamados%20finalizados/2018/ref.%2018-2018%20-%20oficial%20taller%20b%20-%20planta%20paysand%c3%9a%20-%20perfil%20electricidad/material%20de%20estudio/elecci%c3%93n%20de%20un%20contactor.pdf

APÉNDICE

4.3 Apéndice A Planos de tablero eléctrico

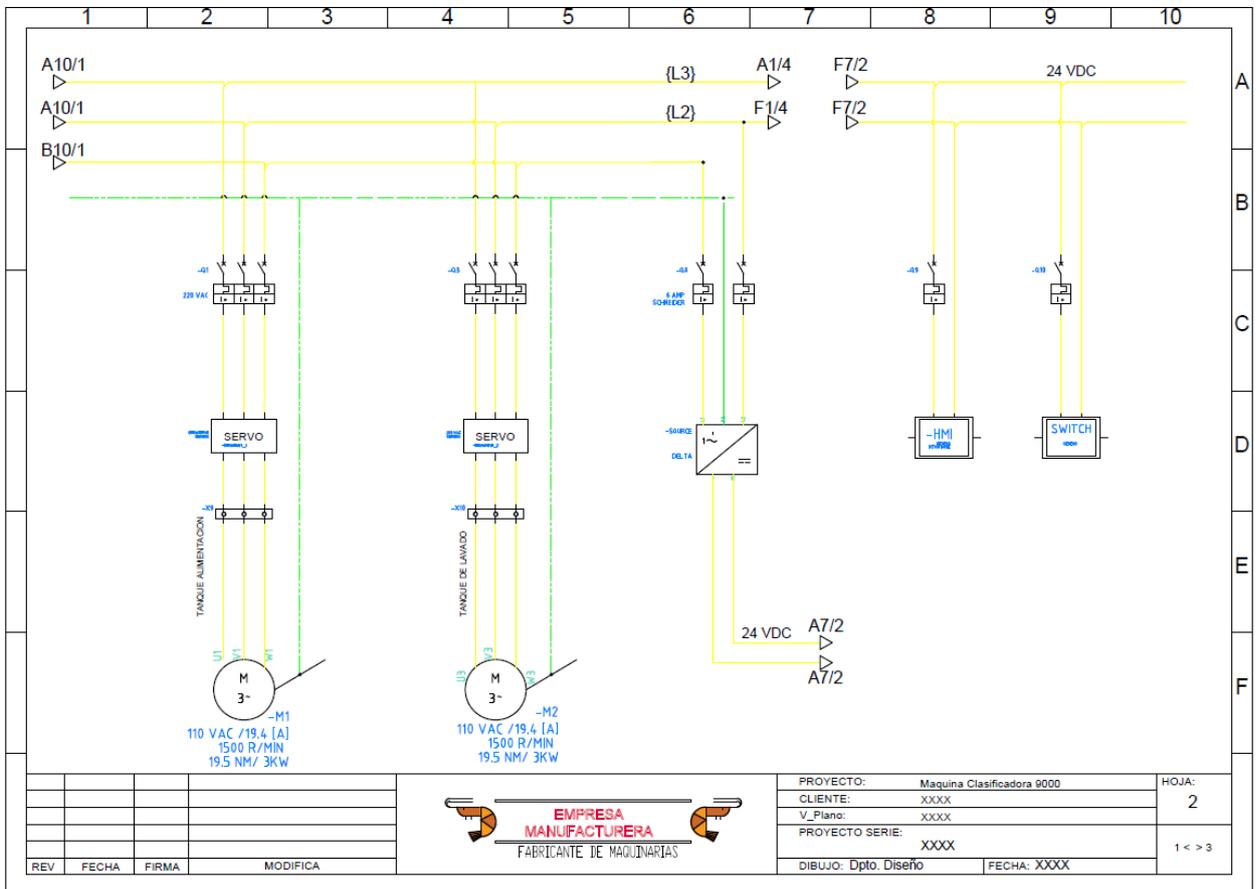
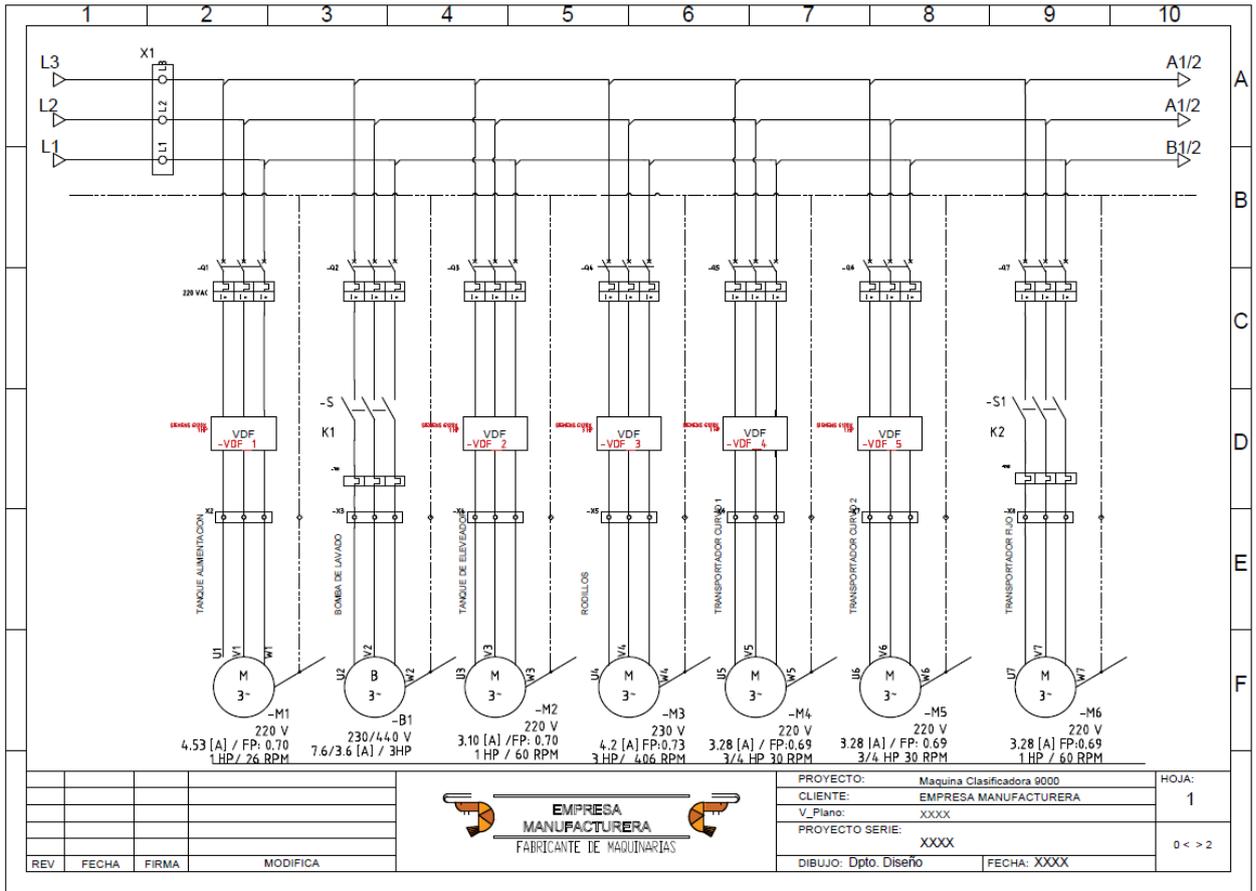


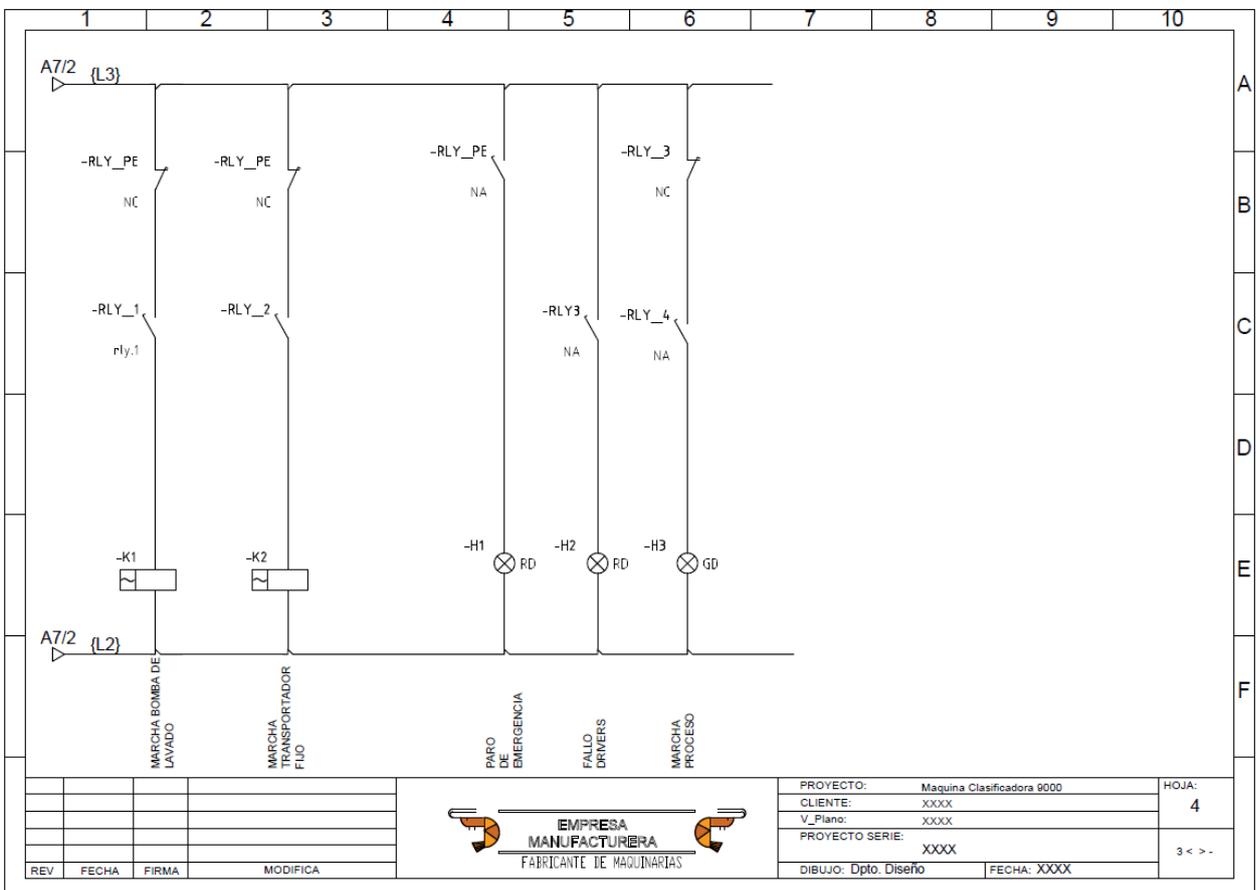
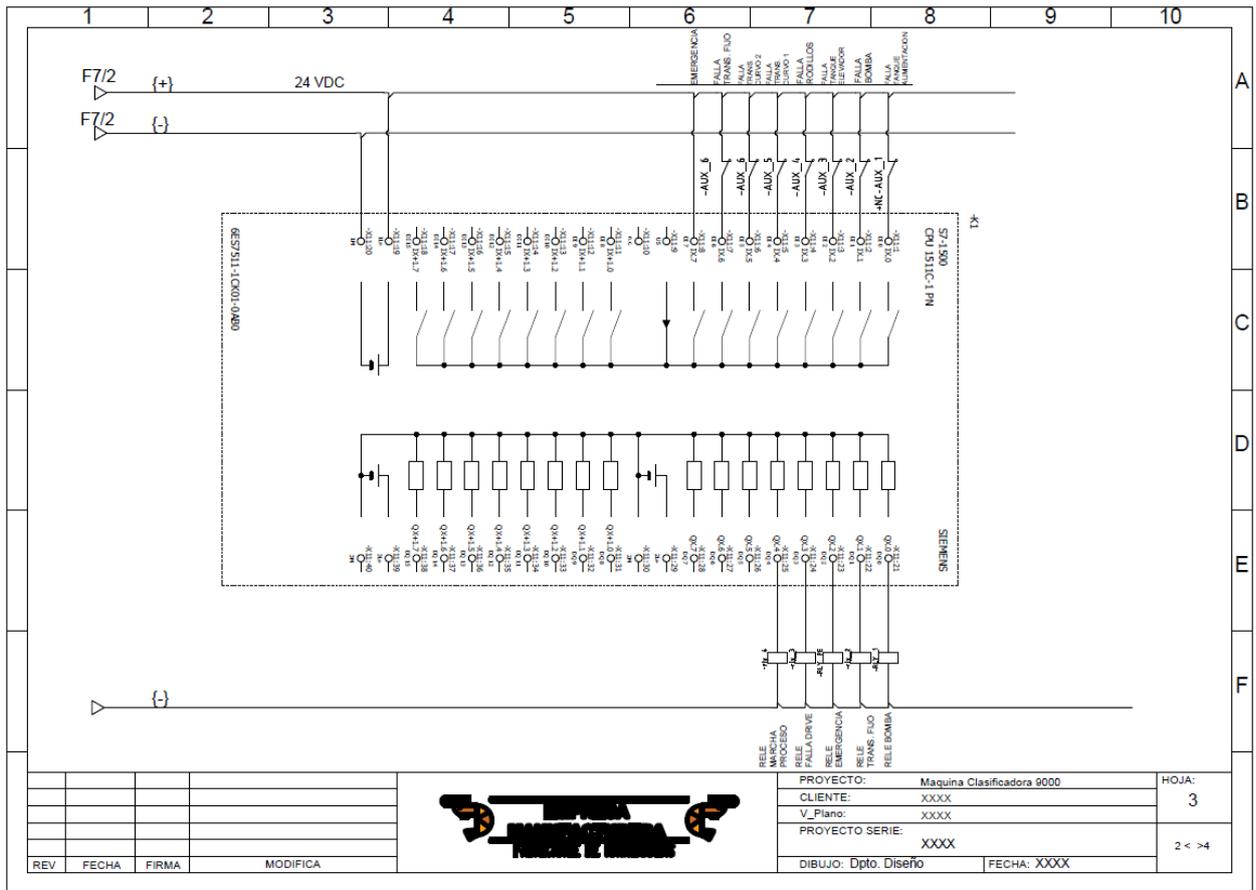
REV	FECHA	FIRMA	MODIFICA



PROYECTO:	Maquina Clasificadora 9000	HOJA:	0
CLIENTE:	XXXX		
V_Plano:	XXXX		
PROYECTO SERIE:	XXXX		
DIBUJO:	Dpto. Diseño	FECHA:	XXXX

HOJA:	0
	< >1





4.4 Apéndice B Programación en TIA Portal V16

- Modo Automático

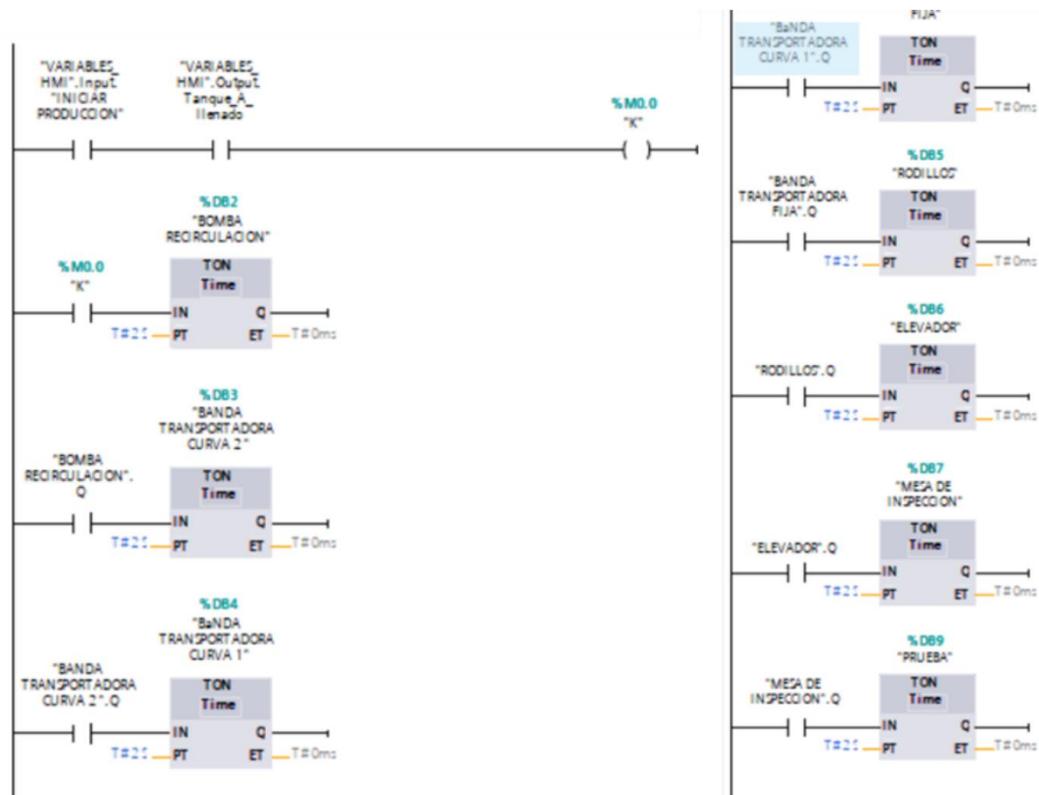


FIGURA B. 1 Secuencia de encendido de 12 segundos

- Contraseñas

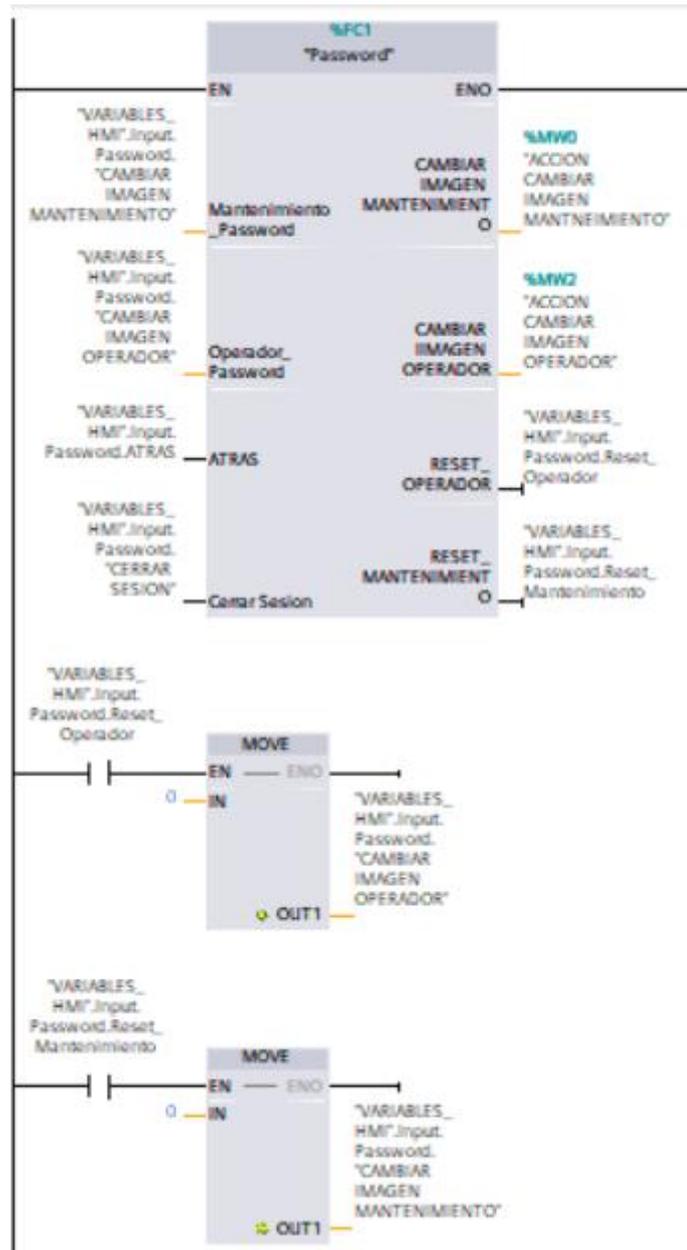


FIGURA B. 2 Bloque de contraseñas

- Encendido real de motores

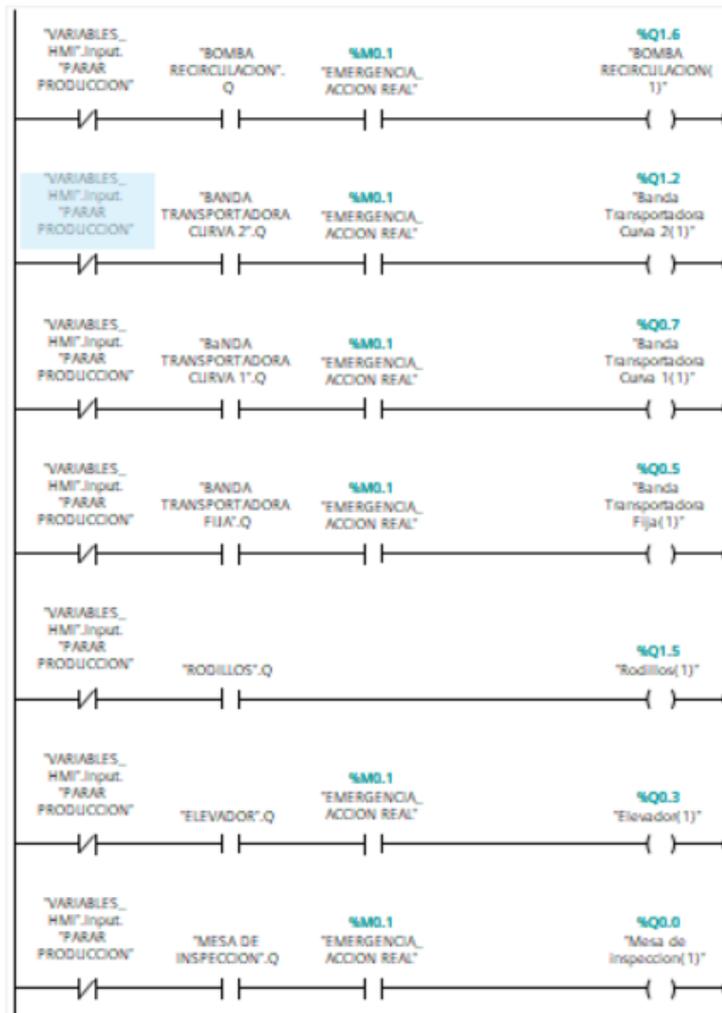


FIGURA B. 3

En esta parte es donde se conecta la programación real, con las salidas físicas del PLC. Además, que se utiliza un bloque especial, para poder conectar con la simulación de Factory IO.

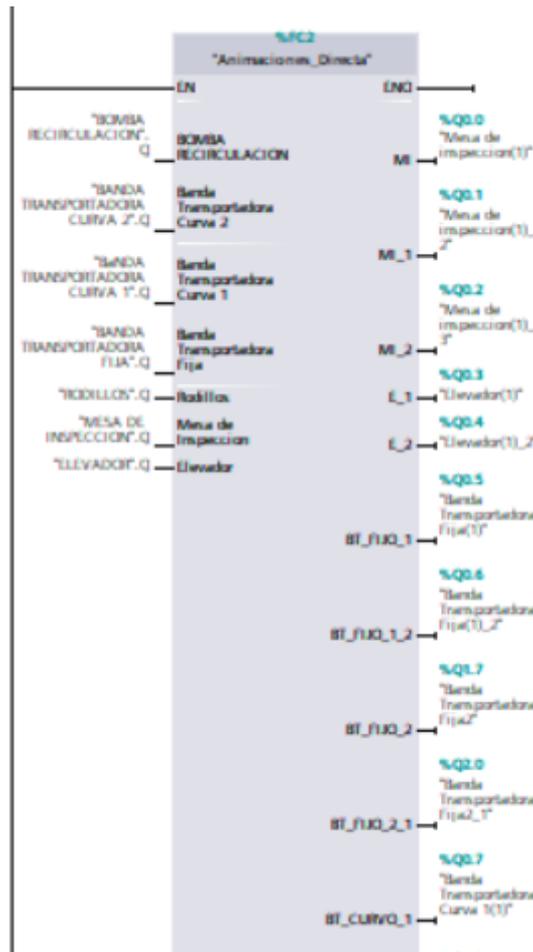


FIGURA B. 4 Bloque que permite simulación con Factory IO

- Sistema de Recetas

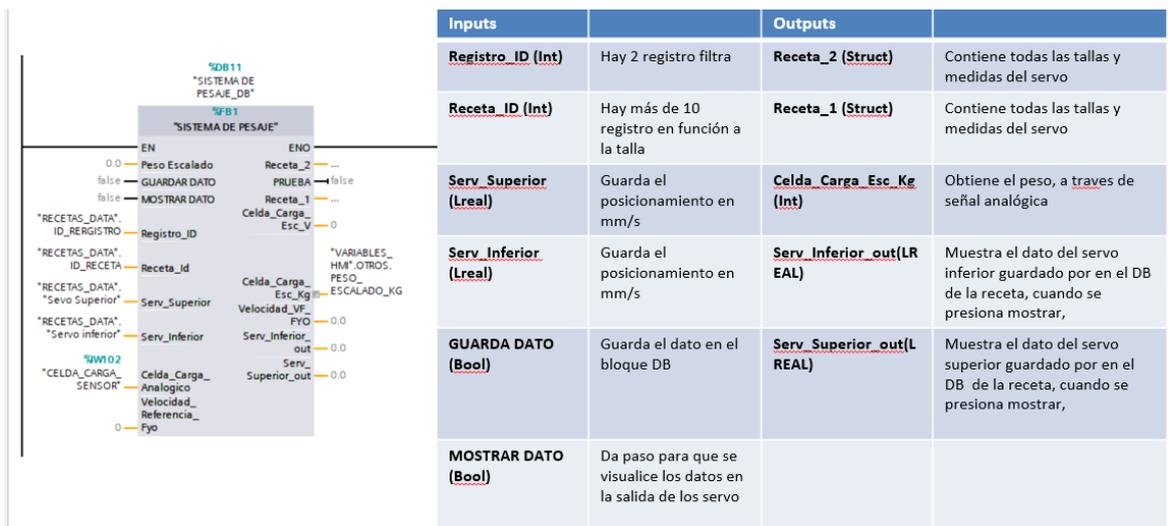


FIGURA B. 5 Sistema de recetas con su tabla de significado

- Guardado de Recetas

ESTE DATO DEBE SER CAMBIADO POR LAS MEDICIONES DEL SERVO SUPERIOR E INFERIOR

```

1 "RECETAS_DATA"."Sevo Superior" := "PositioningAxis_1".ActualPosition;//"VARIABLES_HMI".OTROS.sim_pos_
2 "RECETAS_DATA"."Servo inferior" := "PositioningAxis_2".ActualPosition;//"VARIABLES_HMI".OTROS.sim_pos
3
4 IF "RECETAS_DATA"."ASIGNAR A SERVO" = TRUE THEN
5     "VARIABLES_HMI".Input.Servo.Mov_Absolute := "SISTEMA DE PESAJE_DB".Serv_Superior_out;
6     //"VARIABLES_HMI".Input.Servo.Mov_Absolute_infe := "SISTEMA DE PESAJE_DB".Serv_Inferior_out;
7
8 END_IF;

```

FIGURA B. 6 Código SCL, guarda los datos de los ejes en el DB

- Horómetros

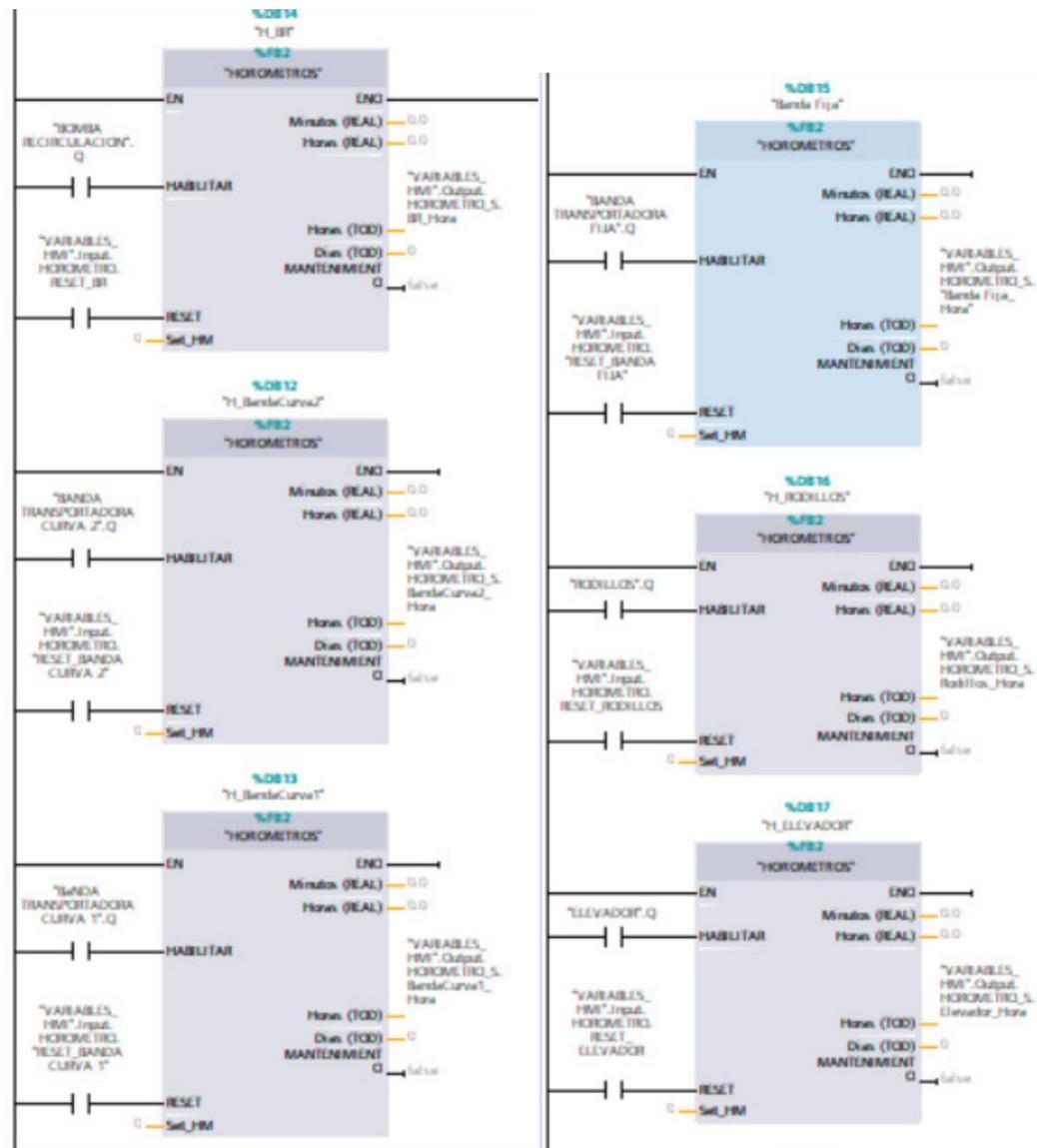


FIGURA B. 7 Horómetro para todos los actuadores

- Sistema de llenado de tanque

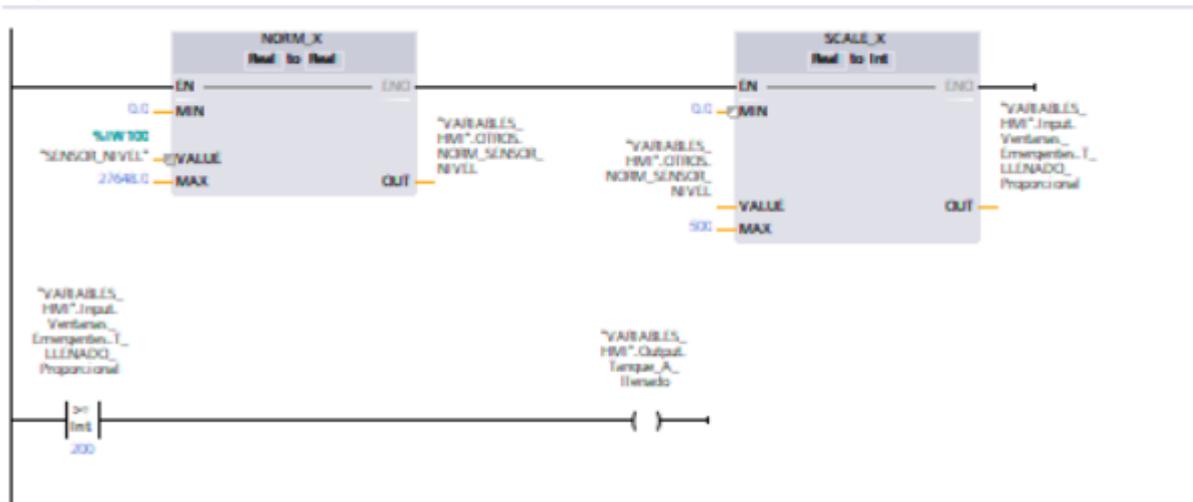


FIGURA B. 8 Escalamiento de señal proveniente de Factory IO

- Motion Control

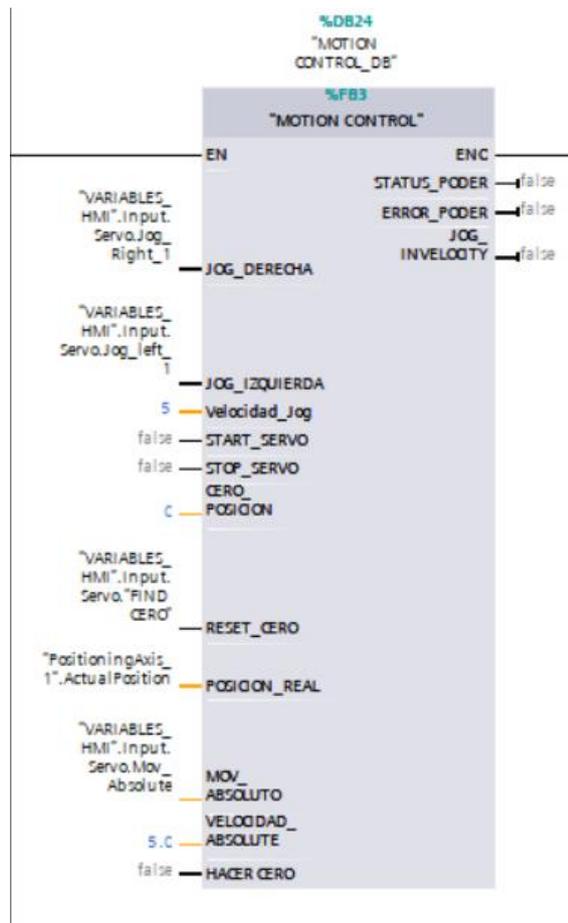


FIGURA B. 9 Motion control de los ejes

- SINA PARA 10

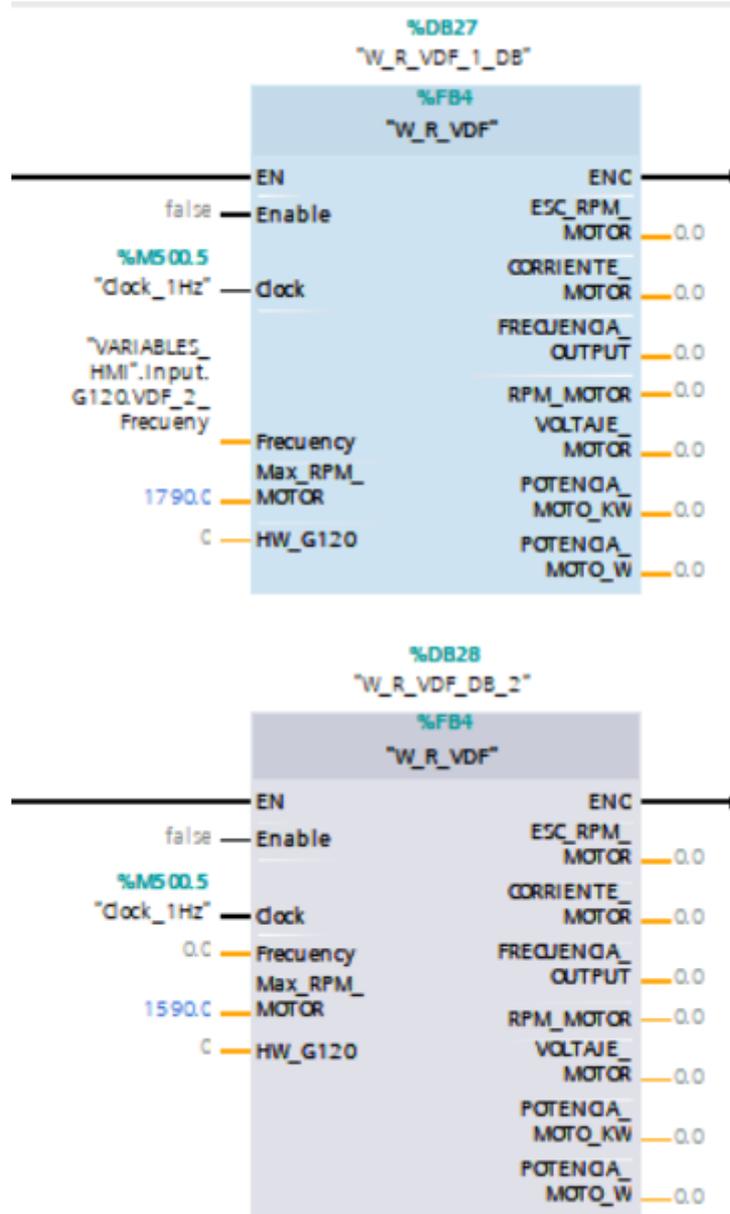


FIGURA B. 10 Sina-para mide datos del variador

1.1.1 Apéndice C estructura de HMI- Máquina/Usuario

- PRINCIPAL

BIENVENIDO A LA CLASIFICADORA DE CAMARÓN

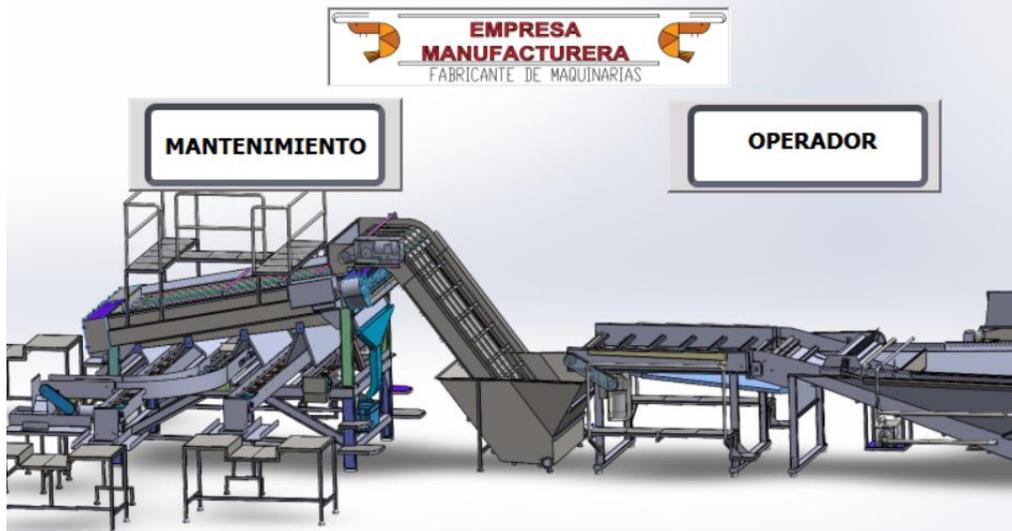


FIGURA C. 1 Elección de mantenimiento y operador

- MENU DE MANTENIMIENTO

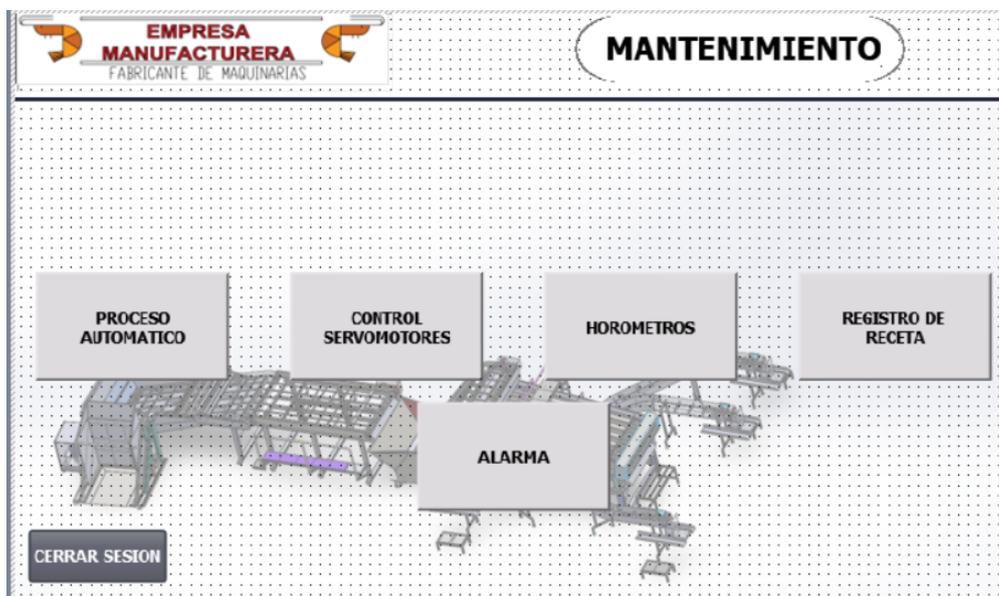


FIGURA C. 2 Menú de accionamiento de mantenimiento

- MENU DE OPERADOR

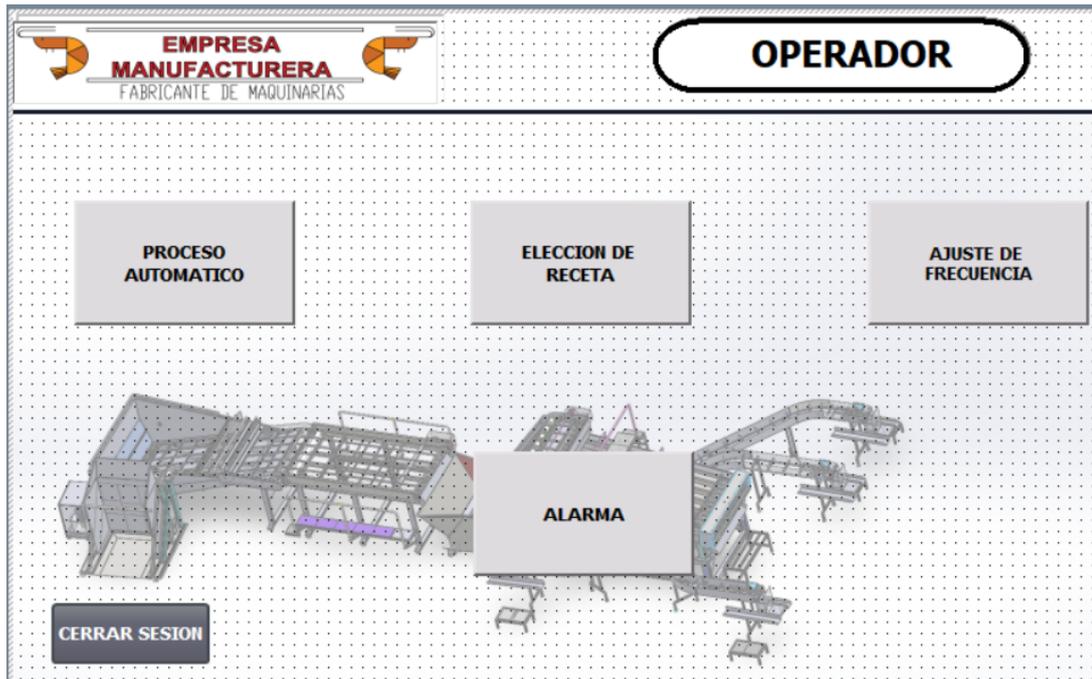


FIGURA C. 3 Menú de accionamiento de operador

- ELECCIÓN DE RECETA - OPERADOR

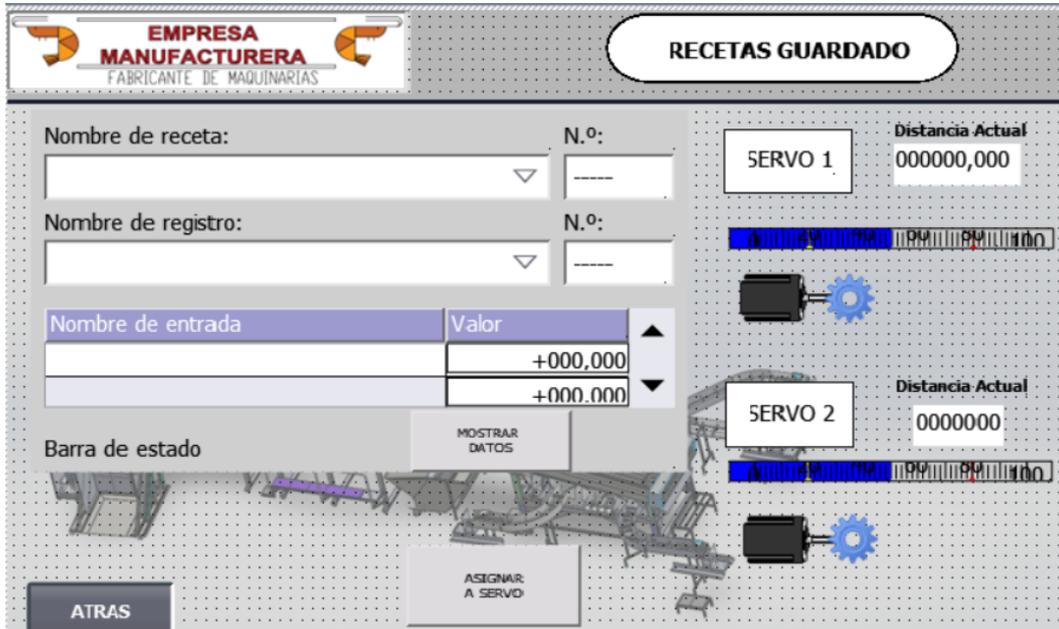


FIGURA C. 4 Elección de recetas -Operador

- Elección de Receta - MANTENIMIENTO



FIGURA C. 5 Elección de recetas -Mantenimiento