

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“AUTOMATIZACIÓN DE TRANSPORTADORES DE BOTELLAS  
EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN N°3 DE LA PLANTA DE ARCA  
CONTINENTAL – SANTO DOMINGO”

**EXAMEN COMPLEXIVO, COMPONENTE PRÁCTICO**  
**INFORME PROFESIONAL**

Previo a la obtención del Título de:

**MAGISTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**  
**INDUSTRIAL**

JUAN CARLOS FREIRE CAICEDO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2023

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, mis padres,  
mi amada esposa Nataly  
y nuestra hija Sara,  
por ser mi motivación  
y ayuda en cada paso de mi vida.

## **DEDICATORIA**

A mi amada Nataly y mi hija Sara.

## COMITÉ DE EVALUACIÓN

---

PhD. Efrén Herrera M.

Miembro Principal

---

PhD. Dennys Paillacho C.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Informe Profesional, me corresponde exclusivamente; 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"

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Carlos Freire Caicedo', written in a cursive style.

Juan Carlos Freire Caicedo

## RESUMEN

La automatización, es un práctica relevante que lleva años mejorando la productividad, seguridad y confiabilidad de los procesos en la industria, siguiendo esta metodología se realiza un sistema automatizado de transportadores en la línea de producción N°3 de la planta de Arca Continental sede Santo Domingo, donde el control de las velocidades de los motores se lo realiza de forma manual desde los variadores de frecuencia, ocasionando tiempo de paro por causas controlables, ya que en un inicio se tenía 3 formatos para luego tener 8 formatos, lo que representa tiempo de ajuste de las velocidades de los transportadores, conllevando a tener bajos indicadores de utilización de línea (UL) y eficiencia mecánica (EM), lo cual repercute en indicadores globales bajos de la Planta.

Por esta razón, mediante el uso de técnicas de automatización de procesos, como es la comunicación entre dispositivos / equipos y programación de autómatas mediante el uso de lenguajes gráficos (escalera), se logra el manejo de las velocidades desde un punto centralizado, desde donde el operador pueda manipular ya sea mediante la carga de recetas, así como ajustar velocidades dependiendo el caso sea necesario.

Con la aplicación de este sistema automatizado, se reduce los tiempos de paro por botellas caídas o mala codificación por temas de velocidad baja o alta, teniendo una mejoría completa del tiempo de paro mencionados, siendo positivo para los indicadores de utilización de línea (UL) y eficiencia mecánica (EM).

# ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO 1	
1. SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA .....	1
<b>1.1 Equipos y dispositivos</b> .....	1
<b>1.1.1 Motores</b> .....	2
<b>1.1.2 Variadores de frecuencia (VDF)</b> .....	3
<b>1.1.3 Controlador lógico programable (PLC) y módulos</b> .....	5
<b>1.1.4 Interfaz humano-máquina (HMI)</b> .....	7
<b>1.2 Comunicación</b> .....	11
<b>1.3 Programación</b> .....	12
CAPÍTULO 2	
2. RESULTADOS OBTENIDOS.....	15
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	15
BIBLIOGRAFÍA.....	16

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de equipos en LÍNEA 3.....	1
Figura 2. Placa del motor L7M1.....	2
Figura 3. Placa del motor L7M2.....	2
Figura 4. Placa del motor L7M3.....	3
Figura 5. Placa de motor L7M4.....	3
Figura 6. Placa VDF SEW.....	4
Figura 7. Características de la Impedancia SEW.....	4
Figura 8. Características VDF Power Flex.....	4
Figura 9. Ubicación de CPU y módulos DI/DQ.....	5
Figura 10. Configuración final de Hardware.....	6
Figura 11. Arquitectura del nuevo sistema.....	7
Figura 12. Interfaz principal de la pantalla.....	8
Figura 13. Interfaz secundaria de la pantalla.....	8
Figura 14. Interfaz, control manual transportadores.....	9
Figura 15. Interfaz, carga de recetas.....	10
Figura 16. Red ethernet.....	11
Figura 17. Red RS-485.....	12



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Recetas.....	10
Tabla 2 Segmentos de las Funciones, VDF Sew. ....	13
Tabla 3 Segmentos de la función, VDF Power Flex. ....	14
Tabla 4 Bloque de datos. ....	14

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se implementó en la planta industrial de Santo Domingo de la empresa Arca Continental, ubicada en el Km 1 ½ by pass Chone – Quevedo, línea de producción 3 donde se embotella envases PET de diferentes formatos, esta idea surge de la necesidad de disminuir los tiempos de paro por transportadores con baja o alta velocidad.

El arranque de los motores de los transportadores se lo realizaba de manera manual desde el variador de frecuencia de cada uno, esto debido a la existencia de solo 3 formatos con velocidades de funcionamiento similares y en la actualidad son 8 los formatos.

En la implementación se utilizaron equipos y dispositivos existentes como son los motores, autómatas programables (PLC 1214) y pantalla KTP700, añadiendo otros para poder establecer la comunicación RS-485, la programación de los segmentos se lo realizó en el software Tia Portal en su versión 16 de Siemens, usando el lenguaje de escalera por su versatilidad al momento de programar.

En cuanto a la visualización en la pantalla se crea un ícono con menú para el control manual o carga de recetas que dependen del formato a producir, la cual regula el operador de la llenadora, dichas recetas fueron obtenidas mediante muestreo durante un periodo de dos semanas en cada arranque de línea.

Con esta implementación del proyecto se logra controlar las velocidades de los motorreductores de acuerdo a los formatos logrando disminuir los tiempos de paro mejorando los indicadores como es la utilización de línea (UL) y eficiencia mecánica (EM), que maneja el departamento de producción y mantenimiento respectivamente.

# CAPÍTULO 1

## 1. SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA

A continuación, se describe los equipos y dispositivos utilizados para la implementación del proyecto.

### 1.1 Equipos y dispositivos

Existen equipos y dispositivos ya instalados además de otros añadidos para la implementación del proyecto.

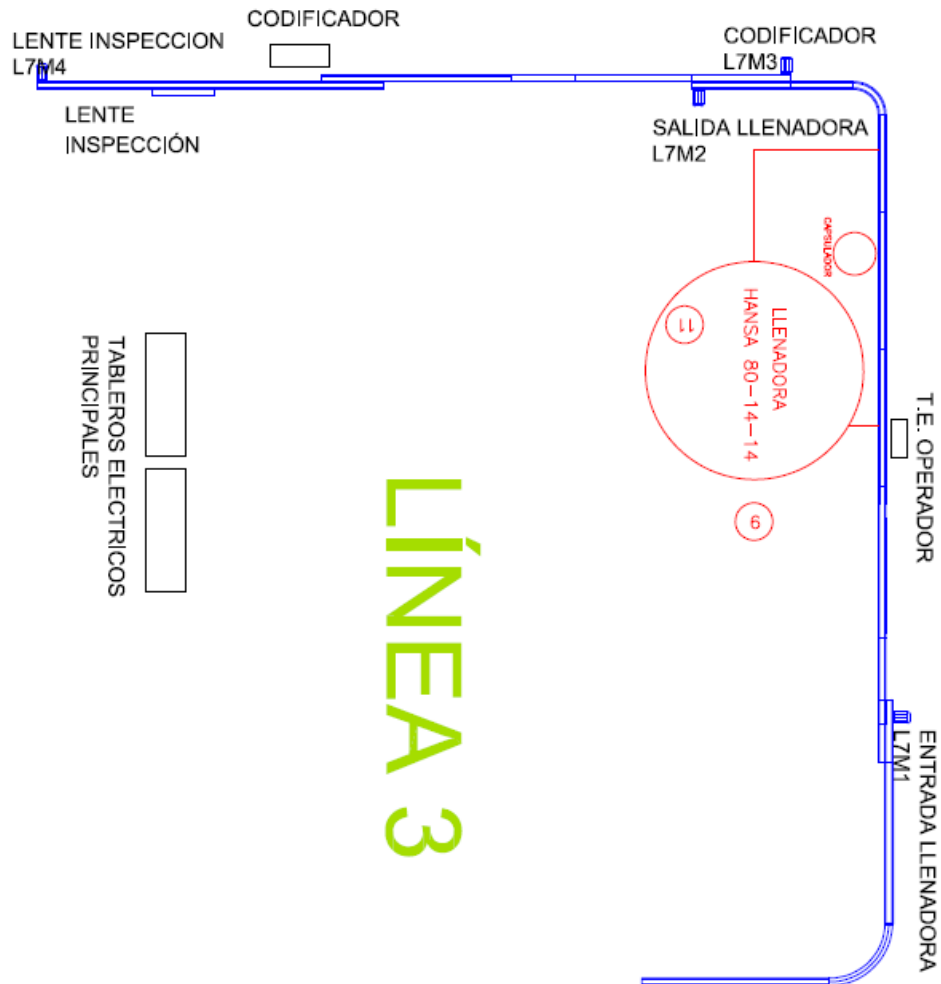


Figura 1. Ubicación de equipos en LÍNEA 3.

### 1.1.1 Motores

Las cadenas de los transportadores son impulsadas por motores, en este caso son 4 (L7M1-L7M2-L7M3-L7M4), desde la entrada a la llenadora hasta la salida del lente de inspección de botellas llenas.

Motor L7M1, corresponde a la entrada de la llenadora de la línea de producción. Figura 2. (SEW EURODRIVE, 2023)

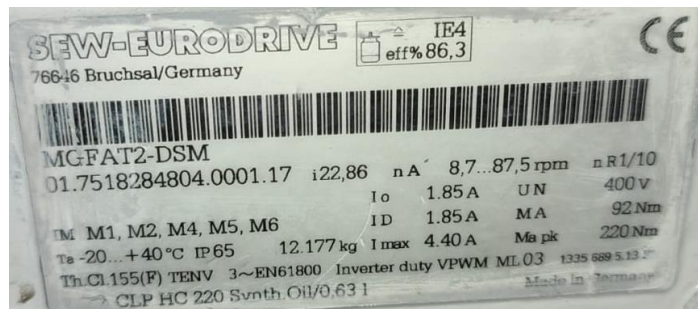


Figura 2. Placa del motor L7M1.

Motor L7M2, corresponde a la salida de la llenadora en la línea de producción. Figura 3. (SEW EURODRIVE, 2023)

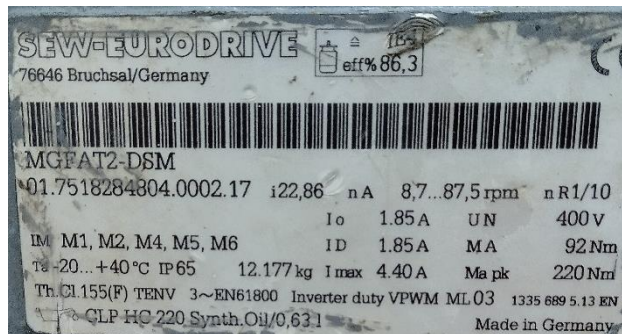


Figura 3. Placa del motor L7M2.

Motor L7M3, corresponde al transportador del codificador de botellas. Figura 4. (SEW EURODRIVE, 2023)

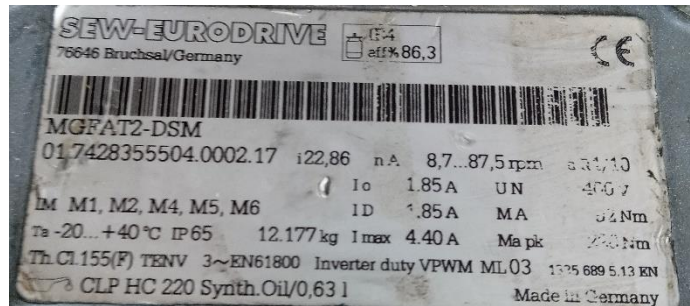


Figura 4. Placa del motor L7M3.

Motor L7M4, corresponde al transportador del lente de inspección de botellas.  
 Figura 5. (SEW EURODRIVE, 2023)



Figura 5. Placa de motor L7M4.

Los motores L7M1-L7M2-L7M3, son de accionamiento mecánico de la división MOVIGEAR de SEW-EURODRIVE, los cuales son de alto rendimiento contrario al motor L7M4, que es un motorreductor de la misma marca, pero discontinuado con un consumo energético alto, su voltaje de funcionamiento es 440 VAC, trifásico.

El eje principal del motor se encuentra acoplado un piñón motriz y al finalizar el tramo se encuentra un eje con otro piñón sobre estos va la cadena plástica.

### 1.1.2 Variadores de frecuencia (VDF)

Para los motores de la división MOVIGEAR (L7M1, L7M2, L7M3), se utilizó los VDF de la misma marca SEW, específicamente el modelo MLCLTPB-22W5A3410, el cual es compatible con dichos equipos, constan de un puerto RS-485 para la comunicación entre dispositivos, además se utiliza una impedancia por equipo de la misma marca, con el fin de protegerlo y reducir

las corrientes armónicas generadas en la red trifásica. Figura 6 – 7. (SEW EURODRIVE, 2023)



Figura 6. Placa VDF SEW.



Figura 7. Características de la Impedancia SEW.

Para el motorreductor L7M4, su arranque se lo realiza mediante un VDF de la marca Allen Bradley, Power Flex de la familia 22A-d4p0n104, consta de un puerto de comunicación RS-485, este no utiliza impedancia. Figura 8. (SEW EURODRIVE, 2023)



Figura 8. Características VDF Power Flex.

### 1.1.3 Controlador lógico programable (PLC) y módulos.

En cuanto al PLC, el sistema consta de uno de la marca Siemens y sus módulos de entrada y salidas que se colocan hacia la derecha del CPU, estos se describen a continuación:

- CPU 1214C AC/DC/Rly (6ES7 214-1BG40-0XB0), consta de una memoria de trabajo 100KB; fuente de alimentación 120/240V AC con DI14 x 24V DC SINK/SOURCE, DQ10 x relé y AI2 integradas; 6 contadores rápidos y 4 salidas de impulso integradas; I/O integradas; soporta 3 módulos de comunicación para comunicación serie; hasta 8 módulos de señales para ampliación I/O; conexión PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC, este se encuentra en el slot 1-rack 0.
- SM 1223 DI16/DQ16 x relé (6ES7 223-1PL32-0XB0), módulo de entradas y salidas digitales DI16 x 24V DC SINK/SOURCE y DQ16 x relé; retardo a la entrada parametrizable; bloques de bornes enchufables, se encuentra en el slot 2.
- SM 1223 DI16/DQ16 x relé (6ES7 223-1PL32-0XB0), módulo de entradas y salidas digitales DI16 x 24V DC SINK/SOURCE y DQ16 x relé; retardo a la entrada parametrizable; bloques de bornes enchufables, se encuentra en el slot 3.
- SM 1221 DI8 x 24V DC (6ES7 221-1BF32-0XB0), módulo de entradas digitales DI8 x 24V DC SINK/SOURCE; retardo a la entrada parametrizable; bloques de bornes enchufables, se encuentra en el slot 4.

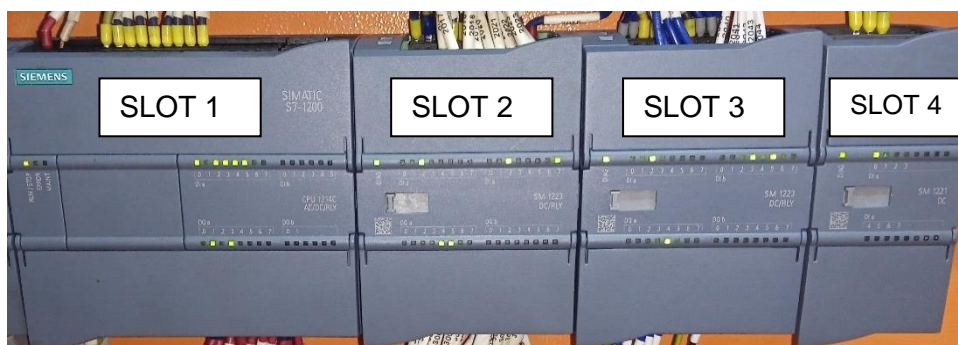


Figura 9. Ubicación de CPU y módulos DI/DQ.

Estos dispositivos permiten el control y operación de la llenadora de botellas además de recibir señales digitales de confirmación de otros equipos que son parte de la línea de producción.

Para la implementación se incluye módulo de comunicación CM 1241 (6ES7 241-1CH32-0XB0) con interfaz RS422/RS485 y conector hembra de Sub-D de 9 pines, ubicado en el slot 101.



**Figura 10. Configuración final de Hardware.**

El módulo CM 1241, permite comunicar el PLC con los VDF de los motores con esto se tiene la arquitectura del nuevo sistema. Figura 11



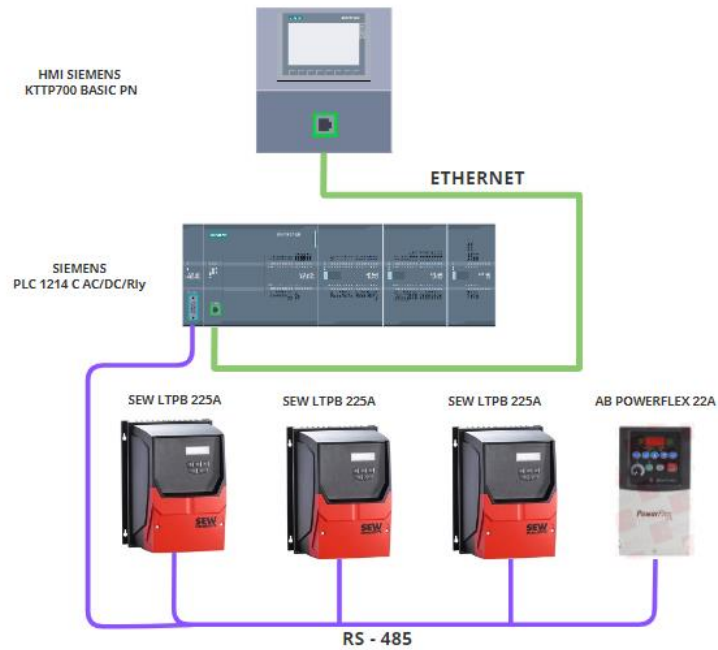


Figura 11. Arquitectura del nuevo sistema.

#### 1.1.4 Interfaz humano-máquina (HMI).

La llenadora cuenta con una pantalla Siemens, KPT700 Basic PN, siendo una pantalla de 7" TFT, 800 x 480 pixeles, Colores 64K; Manejo táctil o con teclado, 8 teclas de función; un puerto PROFINET, un puerto para USB. Cuenta con la interfaz adecuada para la operación.

La interfaz principal cuenta con la representación de la llenadora, seguridades, sensores, activación de electroválvulas, control de sistema de presión, saneamiento, visualización de nivel de jarabe, contador de botellas.

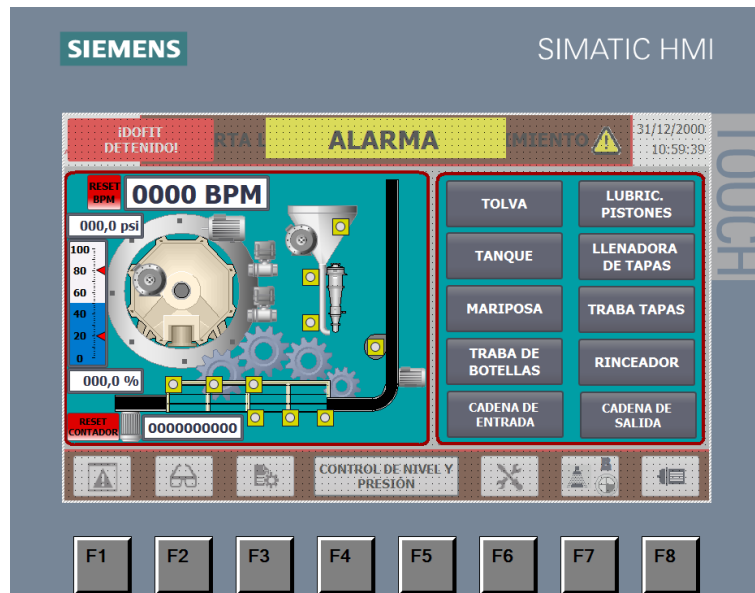


Figura 12. Interfaz principal de la pantalla.

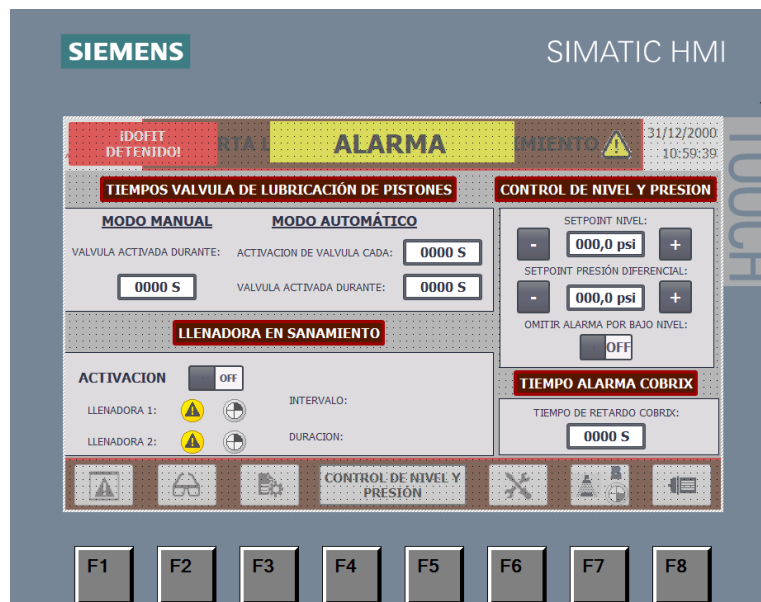


Figura 13. Interfaz secundaria de la pantalla.

La interfaz secundaria, permite el control de lubricación de pistones, control de nivel y presiones, control de saneamientos y control del cobrix.

Para establecer el control de las velocidades de los transportadores, se crea dos nuevas pantallas para operar de manera manual y carga de recetas, teniendo como finalidad comunicar los motores a la pantalla del operador, donde se maneja la consigna de velocidad y presenta el estado operativo del motor, el consumo de corriente y la velocidad real.



Figura 14. Interfaz, control manual transportadores.

La interfaz de carga de recetas, permite al operador escoger la receta y su registro para luego cargar al PLC los datos ya asignados a los transportadores a controlar, estos datos fueron obtenidos durante la operación de la línea en el tiempo de 2 semanas además si existe algún ajuste a la velocidad, se puede realizar y guardar.

Existen 8 formatos, con los cuales se crean las recetas con sus respectivos valores asignados para la velocidad de los transportadores. Tabla 1

Tabla 1. Recetas.

Formato (ml)	Registro	L1M1 (rpm)	L7M2 (rpm)	L7M3 (rpm)	L7M4 (Hz)
1000	COCA COLA E	950	1200	850	65
1350	CCE-SP-IK-FMZ	950	850	785	55
1530	COCA COLA E	950	860	785	55
1750	COCA COLA E	950	937	869	58
1800	COCA COLA ZERO	950	937	869	58
2000	CCE-IK-FMZ-FF-CCL	950	950	975	62
2750	COCA COLA ZERO	950	950	873	62
3000	COCA COLA E - FANTA	950	920	860	60

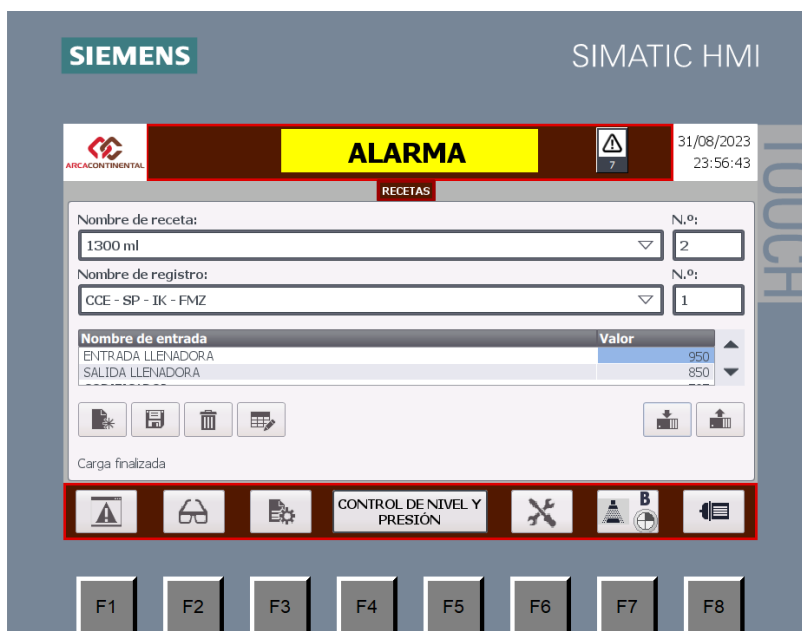


Figura 15. Interfaz, carga de recetas.

## 1.2 Comunicación

Existe una red ethernet entre el PLC y HMI, usando el protocolo Profinet, que utiliza estándares abiertos TCP/IP, mediante un cable 4x2, 22awg CAT 6ª con conector RJ45 industrial de Siemens de 25 metros aproximadamente, proporcionando la calidad suficiente para transmitir hasta 100Mbps desde el tablero eléctrico principal hasta el tablero de mando de la llenadora.

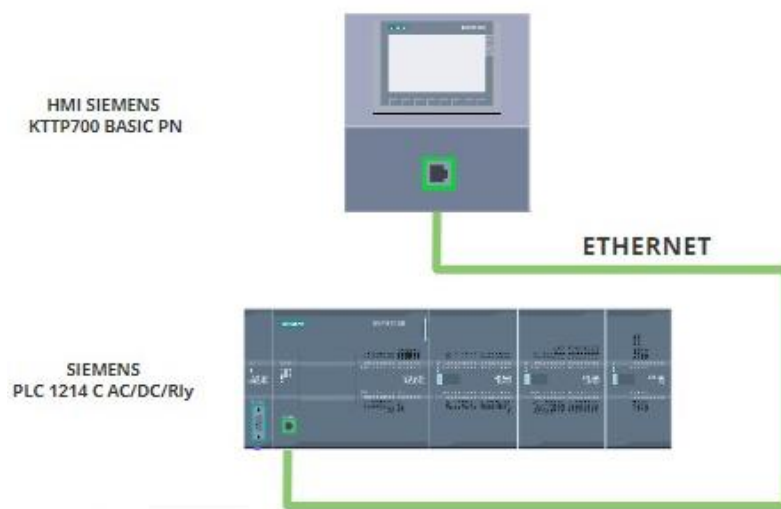


Figura 16. Red ethernet.

Para la implementación de la red de comunicación entre VDF y PLC, se utiliza el protocolo modbus RTU, con el estándar RS-485, basado en una arquitectura maestro/esclavo, que permite incluir varios dispositivos en el mismo bus mediante un cable 4x2, 22awg CAT 6ª, con un conector DB-9 para el módulo CM 1241 y con conector RJ45 para los VDF.

El protocolo Modbus RTU, es compatible con los VDF, mencionado en párrafos anteriores.

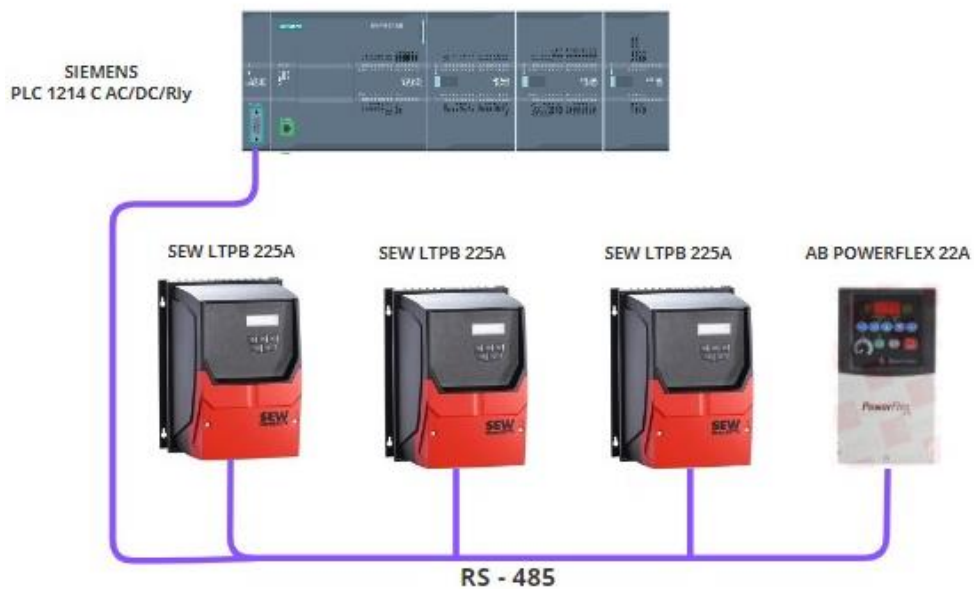


Figura 17. Red RS-485.

### 1.3 Programación

Usando el software TIA PORTAL en su versión 16, en un lenguaje escalera, se crea lo siguiente:

**Funciones**, estas se usan para la comunicación, donde se crean segmentos para extraer los datos de los variadores Sew y Power Flex.

**Para los variadores Sew**, se crean tres funciones con los nombres, comunicación sew 1(FC2), comunicación sew 2 (FC3) y comunicación sew 3 (FC4), cada uno con 7 segmentos, llamados read status, read consigna, read corriente, read velocidad, write control, write consigna y error. Tabla 2 (SEW EURODRIVE, 2023)

**Tabla 2. Segmentos de las Funciones, VDF Sew.**

<b>N°</b>	<b>Segmento</b>	<b>Dirección Modbus</b>	<b>Instrucciones</b>
1	Read status	40006	Lectura del estado de accionamiento del motor.
2	Read consigna	40002	Lectura de la consigna de velocidad del motor.
3	Read corriente	40008	Lectura de la corriente del motor.
4	Read velocidad	40007	Lectura de velocidad del motor.
5	Write control	40001	Control de arranque de motor. 1
6	Write consigna	40002	Permite escribir la consigna de velocidad deseada del motor.
7	Error		Presenta error.

Cada función fue programada para cumplir con los requisitos específicos para la creación de la interfaz en el HMI, mencionando que se crearon variables de memoria globales en el PLC.

Para el VDF Power Flex, se crea una función llamada, comunicación powerflex (FC5), con 6 segmentos, llamados read status, read consigna, read corriente, read velocidad, write consigna y error. Tabla 3. (SEW EURODRIVE, 2023)

**Tabla 3. Segmentos de la función, VDF Power Flex.**

<b>N°</b>	<b>Segmento</b>	<b>Dirección Modbus</b>	<b>Instrucciones</b>
1	Read status	48449	Lectura del estado de accionamiento del motor.
2	Read consigna	48451	Lectura de la consigna de velocidad del motor.
3	Read corriente	48453	Lectura de la corriente del motor.
4	Read velocidad	48452	Lectura de velocidad del motor.
5	Write consigna	48194	Permite escribir la consigna de velocidad deseada del motor.
6	Error		Presenta error.

Todas las funciones son programadas en el Main del PLC para su llamado.

**Los Bloques de datos**, se crean para el almacenamiento de los datos, para este proyecto se crean 3, llamados HMI (DB33), Write Data (DB30) y Read Data (DB29).

**Tabla 4. Bloque de datos.**

<b>N°</b>	<b>Nombre</b>	<b>Características</b>
DB29	Read Data	Posee las variables para la lectura de los datos.
DB30	Write Data	Posee las variables para la escritura de datos
DB33	HMI	Posee las variables para referenciar la interfaz del HMI.

Todo lo mencionado, se crea y utiliza para tener acceso a datos de los VDF, con esto



se cumple con lo requerido para la correcta operación de los transportadores.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. RESULTADOS OBTENIDOS**

La automatización de los transportadores de la línea de producción, permite controlar las velocidades mediante la carga de recetas desde la pantalla del operador de la llenadora, con lo que se evita hacerlo de forma manual desde los variadores, esto repercute en el tiempo de arranque de la misma, beneficiando la estabilidad durante la producción diaria.

La mejora de los tiempos de paro por caída de botella y codificación borrosa por baja o alta velocidad, se disminuyen a cero, tiempos que se redactan a diario y se envían a los altos mandos, beneficiando a los indicadores globales de planta como es la utilización de línea (UL) y la eficiencia mecánica (EM), además se mejora la vida útil de los motores lo que conlleva menos mantenimiento correctivo.

En lo económico, al cumplir con los tiempos de producción, se tiene un menor gasto en pago de honorarios y sobre tiempo a los colaboradores, generando un ahorro significativo a la empresa para el posterior uso en mejoras de la línea de producción.

La implementación de este proyecto, esto encaminado en un propósito mayor para la planta que es, ir incluyendo cada línea de producción a la Industria 4.0 con la finalidad de centralizar los datos relevantes en la nube para poder evaluar, analizar y tomar decisiones notables para continuar con la mejora continua de los procesos.

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- La automatización de los transportadores, influye significativamente en la reducción de los tiempos de paro de la línea de producción, sin interrupciones en la comunicación o fallos en su funcionamiento, ya que se utiliza redes seguras y confiables en el campo industrial, además de satisfacer a los departamentos de planta, por el cumplimiento de los objetivos diarios, mensuales y anuales de producción aumentando la utilización de línea y eficiencia mecánica además de

adecuar el sistema a la industria 4.0 para donde apunta el sistema de la planta.

- Este proyecto es asertivo en el tiempo, por la utilización de técnicas de automatización adecuadas convirtiendo el proceso industrial confiable y seguro.
- Tener a la mano los manuales de los VDF para conocer el tipo de protocolo que usan con la finalidad de saber que módulo de comunicación implementar en el PLC.
- Tener conocimiento en programación en el lenguaje escalera con el fin de hacerlo de manera asertiva y confiable.
- Conocer los diferentes tipos de protocolos y redes industriales para poder escoger los adecuados al proceso requerido.

## **BIBLIOGRAFÍA**

SEW EURODRIVE. (1 de Enero de 2023). *SEWEURODRIVE*. Obtenido de <https://www.seweurodrive.com>

Siemens. (1 de Enero de 2022). *Siemens Industry mall*. Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7214-1BG40-0XB0>

Siemens. (1 de Enero de 2022). *Siemens Industry mall*. Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7223-1PL32-0XB0>

Siemens. (1 de Enero de 2022). *Siemens Industry mall*. Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7221-1BF32-0XB0>