

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Electricidad y Computación**

Diseño y simulación de un sistema de automatización para un subsistema mecatrónico didáctico de almacenamiento de botellas mediante un PLC S7-1200.

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

### **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

Presentado por:

Kony Katalina Jacho Corrales

Félix Andrés Rosales Uribe

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Kony Katalina Jacho Corrales y Félix Andrés Rosales Uribe damos nuestro 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”

---

**Kony Katalina Jacho Corrales**

---

**Félix Andrés Rosales Uribe**

# EVALUADORES

---

**Wilton Edixon Águila Gálvez**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Douglas Antonio Plaza Guingla**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo realizar un diseño profundo de un sistema automatizado para un subsistema mecatrónico didáctico de almacenamiento y distribución de six pack de botellas ubicado en el laboratorio de Control de Procesos mediante la migración de una tarjeta electrónica hacia un autómata programable para mejorar la infraestructura actual y utilizar las nuevas técnicas de control y mando que se encuentran adoptadas en las industrias actualmente.

El proceso de diseño se constituyó en dos partes. La primera parte corresponde al estudio y análisis del diseño actual en donde el proceso es controlado por una tarjeta electrónica alimentada a 24 VDC con comunicación Profibus DP, la cual es utilizada por la cinta transportadora para realizar la puesta en marcha. Una vez completado este análisis se procedió a migrar tanto entradas como salidas usando el PLC S7-1200 con alimentación a 24 VDC incorporando un diseño de programación que cumpla el proceso de operación de la cinta transportadora. Para que el proceso funcione de la forma en la que se desea se tomó en consideración diferentes factores, así como el costo versus el beneficio. Por este motivo, se realizó un diseño de HMI de la cinta transportadora. Tras realizar la migración usando el autómata controlable, el cual por medio de una interfaz gráfica de control es posible visualizar el funcionamiento de los actuadores y corroborar la integración del sistema diseñado sin haber afectado el funcionamiento de la planta ya que este es un carácter de principal importancia en el campo laboral.

**Palabras Clave:** autómata programable, interfaz gráfica, control industrial.

## **ABSTRACT**

*The objective of this project is to carry out a deep design of an automated system for a didactic mechatronic subsystem for the storage and distribution of six pack bottles located in the Process Control laboratory by migrating an electronic card to a programmable automaton to improve the current infrastructure and use new control and command techniques found in industries today.*

*The design process consisted of two parts. The first part corresponds to the study and analysis of the current design where the process is controlled by an electronic card powered at 24 VDC with Profibus DP communication, which is used by the conveyor belt to carry out the start-up. Once this analysis was completed, both inputs and outputs were migrated, incorporating a programming design that complies with the operation process of the conveyor belt. For the process to work the way it is desired, different factors were taken into consideration, as well as cost versus benefit. For this reason, an HMI design of the conveyor was made.*

*After carrying out the migration using the controllable automaton, which by means of a graphical control interface it is possible to visualize the operation of the actuators and corroborate the integration of the designed system without having affected the operation of the plant since this is a main character importance in the labor field.*

**Keywords:** *programmable automaton, graphic interface, industrial control.*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES .....	3
RESUMEN .....	4
<i>ABSTRACT</i> .....	5
ÍNDICE GENERAL.....	6
ABREVIATURAS.....	9
SIMBOLOGÍA.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS .....	11
ÍNDICE DE TABLAS .....	13
CAPÍTULO 1 .....	14
1. Introducción.....	14
1.1 Descripción del problema .....	15
1.2 Justificación del problema .....	15
1.3 Objetivos .....	16
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 Marco teórico .....	16
1.4.1 Instrumentación industrial .....	16
1.4.2 Automatización industrial .....	17
1.4.3 Sistema SCADA .....	17
1.4.4 Controlador lógico programable .....	18
1.4.5 Lenguajes de programación.....	19
1.4.6 Redes de comunicación industrial.....	20
1.4.7 Protocolos de comunicación .....	20
1.4.8 Interfaz Humano-Máquina.....	21
1.4.9 Software de desarrollo SIMATIC WinCC.....	22

1.4.10	Sistema de almacenamiento .....	22
1.4.11	Sistema mecatrónico .....	23
1.4.12	Subsistema mecatrónico de almacenamiento intermedio IMS 10 .....	23
1.4.13	Instrumentación de sistema IMS 10 .....	24
CAPÍTULO 2 .....		29
2.	Metodología.....	29
2.1	Estudio y análisis del sistema de control centralizado actual .....	29
2.1.1	Accionamiento de la cinta transportadora .....	31
2.1.2	Adquisición e interacción con entorno físico del subsistema. ....	33
2.1.3	Esclavo en red de comunicación con protocolo PROFIBUS DP. ....	33
2.2	Sensores y actuadores presentes en el subsistema.....	34
2.3	Selección de equipos para el control distribuido propuesto. ....	35
2.3.1	Controlador Lógico Programable (PLC) .....	36
2.3.2	Cable para comunicación PROFINET y conector RJ45 .....	36
2.3.3	Software de programación TIA PORTAL V16 .....	37
2.3.4	Software para desarrollo y ejecución de interfaz gráfica WinCC .....	38
2.4	Implementación de secuencias de activaciones en la estación de almacenamiento.....	38
2.4.1	Pasos para el proceso de levantamiento de pallets .....	38
2.4.2	Pasos para el proceso de retroceso de pallets.....	41
2.5	Arquitectura propuesta de red de comunicación en planta IPA26.....	43
2.6	Conexiones eléctricas del controlador lógico dedicado .....	44
2.7	Mejoras propuestas en el subsistema de almacenamiento.....	46
2.7.1	Sistema de lectura y escritura mediante radiofrecuencia .....	46
2.7.2	Sistema de control de velocidad de la cinta transportadora .....	48
CAPÍTULO 3 .....		51
3.	Resultados Y ANÁLISIS .....	51

3.1	Programación e interfaz gráfica para almacenamiento y despacho de pallets en el subsistema de estudio .....	51
3.2	Programación e interfaz gráfica para el sistema de escritura y lectura por radiofrecuencia.....	54
3.3	Programación e interfaz gráfica para el sistema de control de velocidad de la cinta transportadora .....	57
3.4	Costos para la implementación del proyecto .....	58
CAPÍTULO 4 .....		60
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	60
4.1	Conclusiones.....	60
4.2	Recomendaciones.....	61
BIBLIOGRAFÍA .....		63
5.	Bibliografía .....	63
6.	anexos.....	65

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año

## SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Interfaz Humano-Máquina en pantallas marca Siemens [4].....	22
Figura 1-2. Subsistema mecatrónico de almacenamiento intermedio Lucas Nulle IMS10 [5].....	24
Figura 1-3. Cilindros neumáticos para diferentes aplicaciones [6]. ....	25
Figura 1-4. Comparativa física entre cilindro de simple efecto (izquierda) y doble efecto (derecha) [6].....	26
Figura 1-5. Válvula de dos posiciones, 3 vías, con accionamiento eléctrico y reposición mecánica por resorte [6].....	27
Figura 1-6. Sistema de identificación por radiofrecuencia SIMATIC RFID [8]. ....	28
Figura 2-1. Arquitectura actual de red de comunicación en planta IPA26. ....	30
Figura 2-2. Tarjeta electrónica para control de subsistema mecatrónico de almacenamiento intermedio. ....	31
Figura 2-3. Elementos de accionamiento para el control de velocidad de la cinta transportadora. ....	32
Figura 2-4. Sistema electromecánico para el movimiento de la cinta transportadora [9]. ....	32
Figura 2-5. Conector D-SUB 25 (1) y bloque de terminales (2) para adquisición de señales del subsistema. ....	33
Figura 2-6. Recorte #1 de Quickchart subsistema de almacenamiento IMS 10 [9]. ....	34
Figura 2-7. Vista 3D de CPU 1214C AC/DC/Relé [8].....	36
Figura 2-8. Conector RJ45 (1) y cable de comunicación de red PROFINET (2) [10]. ...	37
Figura 2-9. Estructura WinCC servidor-cliente [10].....	38
Figura 2-10. Pallet en posición de ingreso a subsistema de almacenamiento. ....	39
Figura 2-11. Torre de almacenamiento de la estación. ....	40
Figura 2-12. Diagrama de flujo para el levantamiento y almacenamiento de pallets. ....	41
Figura 2-13. Diagrama de flujo de liberación de pallets. ....	43
Figura 2-14. Topología de red de comunicación industrial.....	44
Figura 2-16. Módulo de comunicación RF180C [11].....	46
Figura 2-17. Módulo de lectura y escritura RF310R [12]. ....	47
Figura 2-18. Transponder para almacenamiento de datos RF360T [13].....	47
Figura 2-19. Tarjeta electrónica para el control de velocidad del motor DC. ....	49

Figura 2-20. Circuito de control de velocidad de un motor DC.....	49
Figura 2-21. Esquema gráfico de conexión. ....	50
Figura 3-1. Pantalla para visualización y control de la estación de almacenamiento IMS 10.....	52
Figura 3-2. Ventana emergente para la habilitación de la estación IMS 10. ....	52
Figura 3-3. Pantalla principal de la interfaz gráfica durante simulación de la estación..	53
Figura 3-4. Bloque "Reset Reader" programado para funcionamiento de sistema RFID. ....	54
Figura 3-5. Bloque "Read" programado para funcionamiento de sistema RFID.....	55
Figura 3-6. Bloque "Write" programado para funcionamiento de sistema RFID.....	55
Figura 3-7. Bloque "Set_Ant_RF300" programado para funcionamiento de sistema RFID. ....	56
Figura 3-8. Interfaz gráfica desarrollada para interactuar con el sistema RFID.....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Simbología ISO 1219 para válvulas distribuidoras [6]......	26
Tabla 2-1. Asignación y ubicación de sensores del subsistema de estudio. ....	35
Tabla 2-2. Asignación y ubicación de actuadores del subsistema de estudio. ....	35

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de esta tesis se encuentra escrito desde el punto de vista de dos estudiantes de la carrera Electrónica y Automatización que se vieron afectados por la pandemia y en orden a esto la ausencia de laboratorios presenciales y por ello se han visto en la necesidad de recurrir a absorber el mayor conocimiento práctico posible a partir del programa de prácticas empresariales desarrollado por ESPOL. En este capítulo se desarrollará los principales aspectos de la problemática, así como el estudio del antecedente y el funcionamiento actual de las condiciones en las que se encuentra el subsistema mecatrónico de almacenamiento y distribución de six pack de la planta didáctica Lucas-Nülle IPA 26.

El proceso que realiza esta planta se basa en distintas etapas; de forma general, este sistema está compuesto por seis subsistemas que trabajan de forma conjunta realizando los procesos de mezcla, almacenamiento intermedio, llenado de botella, sellado y almacenamiento.

La planta de almacenamiento y distribución se ve en la necesidad de automatizar el subsistema de almacenamiento intermedio de pallets con el fin de mejorar el sistema de control en el que se encuentra los transportadores para utilizarlo como soporte de aprendizaje en el laboratorio de Control de Procesos Industriales. Es importante demostrar la evolución y marcar el cambio que surge en base a la actualización de equipos de control visto desde un nivel industrial ya que permite a los estudiantes de ESPOL que se encuentran cursando los últimos semestres poder orientar sus conocimientos en lo que respecta a procesos industriales y comprender el objetivo de automatizar procesos pues representa una diversidad de beneficios más allá de la reducción de costos que representa para la gestión administrativa de una fábrica es comprender la forma en que puede aumentar la productividad de un proceso más complejo a nivel industrial ya que esta es la mayor preocupación que surge por parte de los directivos administrativos a medida que las organizaciones crecen y se ven en la necesidad de llevar la producción a otro nivel.

## **1.1 Descripción del problema**

En la actualidad, el laboratorio de control de procesos industriales cuenta con un subsistema mecatrónico de almacenamiento de botellas de uso didáctico, cuyo sistema de control es basado en una tarjeta electrónica acoplada en su estructura, que limita la interactividad con el estudiante.

En la actualidad, este sistema es controlado por una tarjeta electrónica lo cual es un dispositivo poco utilizado a nivel industrial debido a su bajo grado de protección contra la humedad y polvo. En lugar a esto, esta propuesta contempla el diseño, dimensionamiento, así como una descripción y actualización de los componentes que controlan el sistema a través de la simulación del sistema del control de almacenamiento y distribución del six pack de botellas.

## **1.2 Justificación del problema**

En la industria, la automatización de procesos es realizada mediante autómatas programables que permiten integrar los distintos sensores y actuadores de un sistema, brindando la flexibilidad necesaria ante futuras expansiones del proceso, una relación costo/beneficio alta y la posibilidad de visualizar mediante una interfaz máquina-humano, el estado de los componentes del proceso; con esto se logra mejorar el sistema de control mediante dispositivos de control como interfaces visuales y adquisición de señales. Este proyecto tiene como propuesta para mejorar el control del subsistema mecatrónico didáctico de almacenamiento y distribución de six pack de botellas ubicado en el laboratorio de procesos por medio de una migración de una tarjeta electrónica hacia un PLC. Además, se plantea el diseño y simulación del subsistema con posibles mejoras mediante la actualización de sus componentes.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Diseñar un sistema de automatización para un subsistema mecatrónico de almacenamiento y distribución didáctico de botellas mediante la migración de un dispositivo electrónico por un autómeta programable para la integración de las herramientas actuales de programación y control industrial en los estudiantes de laboratorio de Control de Procesos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis del sistema de control actual del proceso de almacenamiento de botellas para definir las mejoras posibles que se adaptan al proceso que se encuentra en funcionamiento.
- Establecer entradas y salidas del sistema que intervengan en el proceso de almacenamiento para integrar estas conexiones al PLC.  
Simular el sistema de control mejorado con respecto al diseño actual del proceso para verificar la funcionalidad de la propuesta generada.
- Diseñar y programar la interfaz del proceso de operación por medio de un HMI que permita la digitalización del proceso en base a las mejoras establecidas por el autómeta programable.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Instrumentación industrial**

Los procesos industriales tienen como propósito principal la elaboración de diversos productos; ya sea en la industria alimenticia, papelera, textil, en el sector farmacéutico, energético, etcétera, será estrictamente necesario controlar, con cierto grado de precisión, una o varias magnitudes físicas de

los sistemas de producción, como pueden ser temperatura, humedad, presión, entre otras.

La instrumentación industrial es el conjunto de dispositivos tecnológicos de medición y control que permiten la regulación de estas variables físicas en función de los requerimientos de los procesos [1].

#### **1.4.2 Automatización industrial**

La automatización industrial es el uso de distintas tecnologías para la supervisión y control de una maquinaria, sistema o proceso [2]. En la actualidad, esto nos permite el funcionamiento autónomo de los procesos industriales, minimizando la intervención humana.

La sofisticación de los dispositivos utilizados para automatizar sistemas industriales ha logrado introducir funcionalidades adicionales a los mismos, logrando altas tasas de recolección de datos y velocidades de transmisión. De la mano con estos adelantos, surge el desarrollo de los sistemas SCADA.

#### **1.4.3 Sistema SCADA**

De las siglas en inglés, Supervisory Control And Data Acquisition, un sistema SCADA es una herramienta que implementa una interfaz gráfica para acceso de los operadores del sistema, además de recolectar datos y tener la capacidad de generar documentos históricos, estadísticos, para el análisis y gestión de la eficiencia de los procesos industriales [1].

Esto es ejecutado mediante un dispositivo de procesamiento de datos cuyas capacidades de hardware satisfacen las necesidades de la aplicación, comúnmente computadoras de escritorio (PC) o servidores, donde se adquiere datos de interés mediante redes de comunicación industrial, en conjunto con controladores lógicos programables (PLC) instalados en campo.

Para el desarrollo de la interfaz gráfica, diferentes proveedores de software para la automatización de procesos y sistemas poseen sus programas dedicados, en lo que respecta a la marca Siemens, el software WinCC de la línea SIMATIC, hace posible la implementación de estos diseños.

#### **1.4.4 Controlador lógico programable**

Un controlador lógico programable o programable logic controller (PLC) en inglés, es un dispositivo de control computarizado, que permite automatizar una tarea en base a una serie de pasos o condiciones establecidas [3]. Este control es realizado gracias a la adquisición y envío de señales eléctricas a través de grupos de entradas y salidas modulares de diversos propósitos específicos.

Un PLC se compone principalmente de los siguientes bloques:

- Unidad Central de Procesamiento.
- Fuente de alimentación.
- Memorias internas de programa.
- Interfaces externas de entrada y salida.
- Interfaces de señales de uso dedicado.
- Interfaces de comunicación.

En el mercado, las interfaces de señales y comunicación de los PLCs son modulares, permitiendo expandir las capacidades del equipo en función del número de módulos adicionales adjuntos al procesador, lo que brinda versatilidad al dispositivo. Los propósitos de las interfaces son diversos tales como, puertos de redes de comunicación, reguladores para sistema de posición, contadores de alta velocidad, entre otros.

Un ejemplo de controlador lógico programable es la línea de CPUs S7-1200, de la marca Siemens, en la figura 1-1 se muestra un PLC de este tipo, en conjunto con módulos de señales y comunicación.



Figura 1-. Controlador Lógico Programable de la marca Siemens [3].

### 1.4.5 Lenguajes de programación

Un lenguaje de programación es una herramienta que establece una comunicación entre el usuario y el programa compilador del código para facilitar la interpretación de las instrucciones programadas [2]. El estándar IEC 6131-3 establece 5 distintos lenguajes de programación siendo estos los siguientes:

- Listado de instrucciones.
- Texto estructurado.
- Diagrama de bloque de funciones.
- Diagrama escalera o ladder, en inglés.
- Diagrama de funciones secuenciales o GRAFCET.

#### ***1.4.5.1 Lenguaje de lista de instrucciones.***

Este tipo de lenguaje se caracteriza por tener un bajo nivel de abstracción, con una alta semejanza a lenguaje ensamblador. Su estructura es de una alta complejidad y se cimenta en base a saltos y funciones.

#### ***1.4.5.2 Lenguaje de texto estructurado.***

El lenguaje de texto estructurado es de alto nivel, guarda cierta similitud con los lenguajes PASCAL y C. Esto permite las estructuras más

comunes de condición y repetición como son las sentencias if, else, case, for, while entre otras.

#### **1.4.5.3 Lenguaje de diagrama escalera o ladder.**

Basado en esquemas eléctricos de control, es uno de los lenguajes más usados en la programación de PLCs, su representación visual se basa en contactos de estado abierto o cerrado, junto a bobinas de activación y bloques de funciones que replican acciones de control.

#### **1.4.5.4 Lenguaje de diagramas de funciones secuenciales o GRAFCET.**

Los elementos identificativos de un diagrama GRAFCET son los pasos y sus correspondientes acciones y transiciones. En todos los tipos de procesos se deben alternar pasos y transiciones.

#### **1.4.6 Redes de comunicación industrial**

Una red de comunicación industrial, también conocida como bus de campo se refiere a el conjunto de redes de comunicación adecuadas para interconectar dispositivos y equipos de grado industrial [2].

#### **1.4.7 Protocolos de comunicación**

Es un grupo de reglas y convenciones que dos o más dispositivos deben cumplir para comunicarse efectivamente. Comprende el conjunto de características de hardware y software necesarias para establecer una comunicación exitosa. En la amplia gama de protocolos de comunicación usados en redes industriales se precisan los siguientes:

#### **1.4.7.1 PROFINET**

PROFINET es un estándar de comunicación usado para el nivel de célula en la pirámide CIM, basado en la interfaz física de Ethernet y los estándares TCP/IP proporciona las ventajas de un bus de campo avalado por algunas empresas reconocidas en el medio de la automatización y redes de comunicación industriales.

#### **1.4.7.2 PROFIBUS**

De acuerdo con sus siglas en inglés, Process field bus o PROFIBUS, es un estándar de red de campo abierto, encargado de la comunicación de dispositivos, comúnmente sensores, actuadores de campo y los controladores del sistema.

### **1.4.8 Interfaz Humano-Máquina**

Una interfaz Humano-Máquina o Human-Machine Interface (HMI) en inglés, es una tecnología que busca brindar una interfaz gráfica a los operadores de un proceso industrial para facilitar el control y supervisión de los equipos presentes [4]. En función del nivel de complejidad de la interfaz y las funcionalidades de esta, es embebida en pantallas modulares o, en los casos de mayor exigencia, en computadoras de con capacidad de hardware adecuado.

La línea de HMI avanzados basados en PC, de la marca Siemens, provee el software de desarrollo y visualización llamado SIMATIC WinCC, en el conjunto TIA Portal, para la creación de interfaces con alta demanda de información a ser procesada o documentada.



Figura 1-1. Interfaz Humano-Máquina en pantallas marca Siemens [4].

#### 1.4.9 Software de desarrollo SIMATIC WinCC

En función de los requerimientos de la aplicación a desarrollar, en términos de cantidad de interfaces gráficas y los tipos de dispositivos sobre los cuales estos son ejecutados, el fabricante Siemens provee de 5 versiones de esta misma plataforma, enlistadas a continuación:

- SIMATIC WinCC Basic
- SIMATIC WinCC Comfort
- SIMATIC WinCC Advanced
- SIMATIC WinCC Professional
- SIMATIC WinCC Unified

De forma específica, la versión Advanced del software SIMATIC WinCC permite el diseño de interfaces gráficas con funcionalidades similares a la versión Comfort, en adhesión de hacer posible la ejecución de estos programas en una estación PC.

#### 1.4.10 Sistema de almacenamiento

Son sistemas dedicados al almacenaje de insumos o productos semielaborados de carácter vital para la continuidad de un proceso, a fin de disponer de ellos de forma rápida y efectiva facilitando el control de la cadena de suministros. Este tipo de almacenamiento se encuentra en una zona intermedia del proceso de producción.

Con el avance de la tecnología, se ha incorporado a estos sistemas distintas herramientas de supervisión y control, como son las etiquetas RFID, que hacen posible mantener un control de inventario detallado en sistemas de almacenamiento de grandes proporciones.

#### **1.4.11 Sistema mecatrónico**

Un sistema mecatrónico consiste en el conjunto de sensores, actuadores y controladores que adquieren señales físicas y emiten respuestas en función de condiciones determinadas para generar un movimiento en el proceso que se actúa.

#### **1.4.12 Subsistema mecatrónico de almacenamiento intermedio IMS 10**

Este sistema realiza el control del flujo, almacenamiento y distribución del material mediante una cinta transportadora y módulos de manipulación [5]. Para intercomunicar los diferentes subsistemas que conforman la planta, se dispone de una tarjeta electrónica de comunicación y adquisición de datos.

El sistema trabaja de tal forma que el transportador, traslada un conjunto de latas o botellas, soportados por una base, hasta la posición de remoción. El módulo de manipulación, compuesto de cilindro neumáticos, levanta la pieza de trabajo y la transfiere a uno de los tres niveles de acopio posibles. De la misma forma, es posible efectuar una secuencia de despacho, donde las latas de los niveles de almacenamiento, de forma programada, se redirigen hacia etapas de envasado y corchado de acuerdo con la receta de producción seleccionada. Finalmente, la cinta transportadora ahora vacía, se encuentra a la espera de material para reiniciar la secuencia deseada. En la figura 1-3 se muestra el subsistema mecatrónico previamente descrito, haciendo posible el reconocimiento de ciertas partes funcionales como la cinta transportadora, la tarjeta electrónica de comunicación y la torre de almacenamiento.



Figura 1-2. Subsistema mecatrónico de almacenamiento intermedio Lucas Nulle IMS10 [5].

### **1.4.13 Instrumentación de sistema IMS 10**

El subsistema mecatrónico IMS 10 está construido a partir de una serie de sensores y actuadores encargados de captar la información necesaria de los estados del proceso, además de una tarjeta electrónica que realiza el control centralizado de los mecanismos físicos. A continuación, se describen los dispositivos que conforman esta estación:

#### **1.4.13.1 Cilindro neumático**

Un cilindro neumático es un dispositivo capaz de generar un desplazamiento lineal o angular a partir de la fuerza ejercida por el aire comprimido en sus puertos de entrada [3]. En la figura 1-4 se puede apreciar cilindros con diferentes dimensiones físicas que permiten aumentar su distancia de desplazamiento o variar la fuerza entregada en función de la aplicación.



Figura 1-3. Cilindros neumáticos para diferentes aplicaciones [6].

Estos actuadores pueden clasificarse de acuerdo con su accionamiento en los siguientes tipos:

- **Cilindro neumático de efecto simple**

Este tipo de cilindros poseen una entrada de aire comprimido que permite la extensión del vástago del dispositivo. Para la retracción del vástago es necesario interrumpir el suministro del fluido y una fuerza externa, ya sea la gravedad o un resorte, realizará trabajo mecánico para regresar el vástago a su posición inicial.

- **Cilindro neumático de doble efecto**

Este actuador, gracias a dos entradas de aire presurizado, permite generar una secuencia de contracción y extensión controlada mediante la interrupción del fluido. En la figura 1-5 se tiene una comparativa de la composición interna de cilindros de simple o doble efecto.



Figura 1-4. Comparativa física entre cilindro de simple efecto (izquierda) y doble efecto (derecha) [6].

### 1.4.13.2 Sensor magnético

Se definen como sensores magnéticos a los que son capaces de detectar un campo magnético, el cual puede provenir de un imán permanente o temporal, por ejemplo un electroimán [1]. En los cilindros neumáticos, estos sensores son usados para registrar la posición de extensión o contracción del dispositivo, gracias a un imán interno instalado en el actuador.

### 1.4.13.3 Válvulas distribuidoras

Una válvula distribuidora realiza la función de variar el caudal del fluido del sistema, ya sean líquidos o gases, mediante el desplazamiento controlado de un émbolo con orificios. En función del número de posiciones, ubicaciones de puertos de entrada, tuberías de trabajo, orificios de purga y tipos de accionamiento existe una gran variedad de válvulas distribuidoras. En la tabla 1-1 se muestra la simbología general según la normativa DIN-ISO 1219, que sigue los siguientes criterios.

Simbología ISO 1219	Función
P	Conexión del aire comprimido
A, B, C	Tuberías de trabajo
R, S, T	Orificios de purga o escape
X, Y, Z	Pilotaje o accionamiento de la válvula
L	Purga

Tabla 1-1. Simbología ISO 1219 para válvulas distribuidoras [6].

De acuerdo con el tipo de accionamiento, estas válvulas pueden ser de tipo eléctrico, neumático o hidráulico.

- **Válvulas distribuidoras de accionamiento eléctrico**

El accionamiento eléctrico de estos dispositivos es realizado a través de bobinas de solenoide, que una vez energizado generan un desplazamiento lineal en el vástago de la válvula gracias al campo magnético establecido [6]. En general, son conocidas como electroválvulas, y en función de la cantidad de solenoides presentes en el actuador se clasifican en dos tipos:

- Electroválvula de accionamiento eléctrico y reposición mecánica.
- Electroválvula de accionamiento y reposición eléctrica.

En la figura 1-6 se observa la simbología de una válvula 3/2, con accionamiento eléctrico y reposición mecánica.

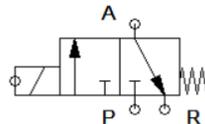


Figura 1-5. Válvula de dos posiciones, 3 vías, con accionamiento eléctrico y reposición mecánica por resorte [6].

#### **1.4.13.4 Etiquetas RFID**

Identificación por radiofrecuencia o Radio Frequency Identification (RFID) es una tecnología basada en la emisión y recepción de datos por radiofrecuencia que logra identificar objetos, gracias a una etiqueta electrónica [7]. Las etiquetas RFID tienen la capacidad de almacenar información para el reconocimiento del producto, esta herramienta es utilizada para la gestión de inventario en sistema de almacenamiento industriales y comerciales. En la figura 1-7 se comparte un sistema de

identificación por radiofrecuencia, mediante los equipos de la línea SIMATIC RFID, de la marca Siemens.



Figura 1-6. Sistema de identificación por radiofrecuencia SIMATIC RFID [8].

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se procede a detallar la metodología que se utilizó el diseño de un sistema automatizado para el proceso didáctico de almacenamiento y distribución de botellas. Mediante este análisis fue posible establecer una secuencia de transiciones y condiciones efectivas para el sistema de control del proceso de almacenado y despacho de pallets, así como el desarrollo de la HMI que permite al usuario visualizar el flujo del proceso de forma remota así como una serie de mejoras propuestas para brindar un nivel superior de supervisión y una mayor velocidad de operación del subsistema.

### 2.1 Estudio y análisis del sistema de control centralizado actual

El control actual de la planta didáctica IPA26 es realizado mediante los siguientes dispositivos:

1. Controlador lógico programable, marca Siemens, modelo SIMATIC S7-314C-2 PN/DP.
2. Tarjetas de adquisición de datos y comunicación en red industrial PROFIBUS DP correspondiente a cada estación de la planta.
3. Controlador lógico programable, marca Siemens, modelo SIMATIC S7-1214C AC/DC/Relay.
4. Pantalla para HMI, marca Siemens, modelo TP-700 Comfort para interfaz gráfica de control de la planta.
5. Módulo de comunicación RF180C para operar componentes de la línea SIMATIC RFID.
6. Switch para Ethernet Industrial no administrable, marca Siemens, modelo, SCALANCE XB005, con 5 puertos físicos para conectores RJ45.

Los dispositivos mencionados intercambian datos de importancia mediante una arquitectura de red industrial compuesta por dos topologías de tipo bus y estrella, con protocolos PROFIBUS DP y PROFINET respectivamente, en la figura 2-1 se ilustra la red actual de la planta IPA26.

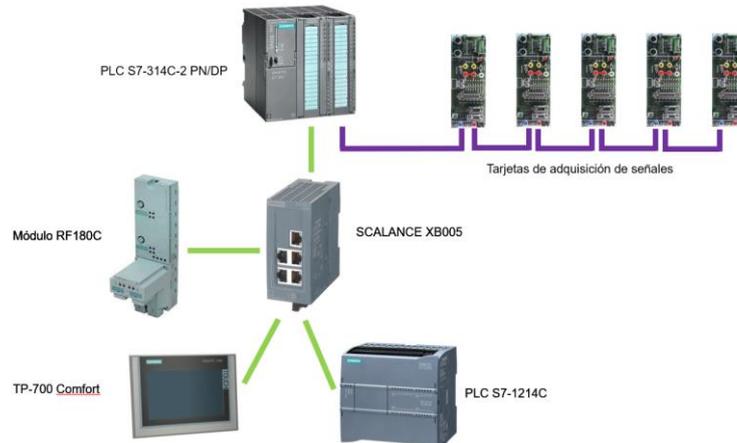


Figura 2-1. Arquitectura actual de red de comunicación en planta IPA26.

El sistema de control de la estación de almacenamiento se encuentra compuesto por un controlador programable, marca Siemens, modelo S7-300, que recibe las señales físicas del proceso mediante una tarjeta electrónica de adquisición de señales instalada en el subsistema, misma que es mostrada en la figura 2-2. Energizada a través de una fuente de 24 voltios de corriente continua, sus funciones principales son:

1. Controlar el accionamiento de la cinta transportadora, así como su velocidad y sentido de giro, esta regulación no se encuentra disponible en el PLC.
2. Adquirir las señales físicas provenientes de sensores instalados en la estación.
3. Accionar los actuadores instalados en el subsistema para las secuencias de almacenamiento y despacho de pallets.
4. Actuar como esclavo, en una red de comunicación industrial con protocolo PROFIBUS DP, en conjunto con las tarjetas electrónicas de adquisición de datos correspondiente a los demás subsistemas de la planta didáctica.

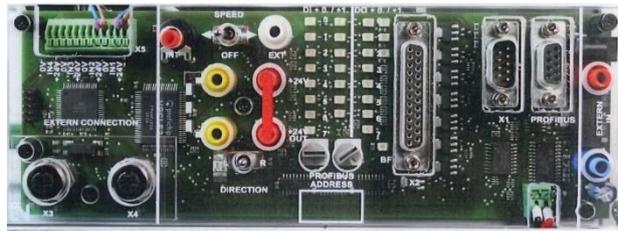


Figura 2-2. Tarjeta electrónica para control de subsistema mecatrónico de almacenamiento intermedio.

### 2.1.1 Accionamiento de la cinta transportadora

El subsistema mecatrónico posee una sección de su placa electrónica de adquisición de señales físicas dedicada a la variación de velocidad de la cinta transportadora de la estación. Esta posee distintos dispositivos físicos para la selección del sentido de giro, entrada de consigna de velocidad, regulación de velocidad, mismas que se describen a continuación.

1. Entrada analógica con potenciómetro “INT”; permite regular la velocidad de la cinta transportadora de la estación.
2. Interruptor “SPEED”; permite seleccionar la entrada para la consigna de velocidad del motor. En caso de encontrarse en la posición de la izquierda, la regulación se realiza mediante la entrada analógica “INT”, en caso de permanecer en la posición derecha, la regulación es hecha a través de la entrada “EXT”.
3. Entrada analógica “EXT”; permite regular la velocidad de la cinta transportadora de la estación mediante una señal externa.
4. Interruptor “DIRECTION”; permite cambiar el sentido de giro de la banda, en función de la posición del switch.

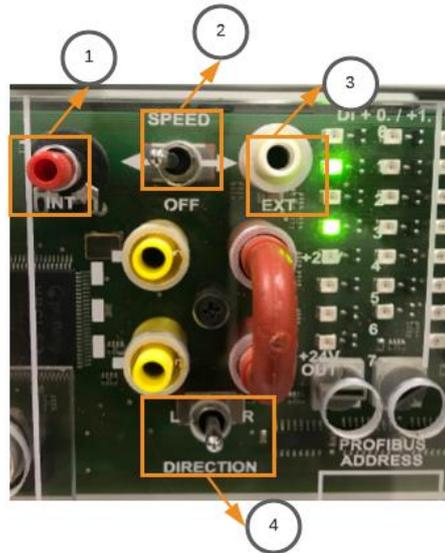


Figura 2-3. Elementos de accionamiento para el control de velocidad de la cinta transportadora.

Tras configurar adecuadamente estas entradas del sistema para la gestión de la cinta transportadora, el movimiento de la cinta se da mediante los siguientes equipos:

1. Motor de corriente continua, de la marca KAG, modelo M42x15/l, cuya corriente de operación, según los datos del fabricante es de 1 [A], con una velocidad nominal de 3250 revoluciones por minuto (RPM).
2. Caja reductora acoplada a las correas semi-elásticas verdes que transfieren el movimiento a toda la estación.

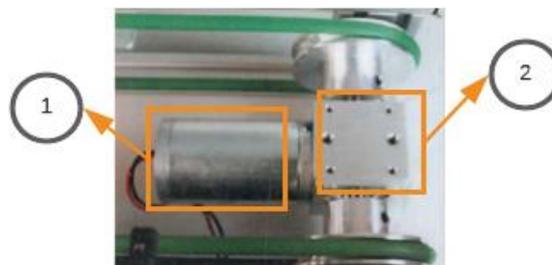


Figura 2-4. Sistema electromecánico para el movimiento de la cinta transportadora [9].

### 2.1.2 Adquisición e interacción con entorno físico del subsistema.

Un conjunto de señales digitales provenientes de sensores instalados en ubicaciones estratégicas del subsistema permite realizar la supervisión de la situación actual del proceso en todo momento. Tanto la función de adquisición de señales, como la interfaz de salidas digitales hacia los actuadores del proceso, se encuentra embebida en la tarjeta electrónica que tiene la capacidad de gestionar hasta 15 entradas digitales y 11 salidas digitales.

Todas estas señales son centralizadas en un bloque de terminales, que llegan a la tarjeta electrónica mediante un conector D-SUB 25 macho.

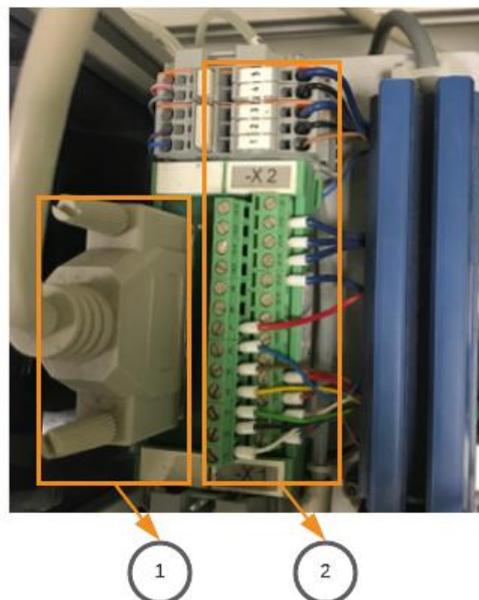


Figura 2-5. Conector D-SUB 25 (1) y bloque de terminales (2) para adquisición de señales del subsistema.

### 2.1.3 Esclavo en red de comunicación con protocolo PROFIBUS DP.

Para realizar la gestión del subsistema de almacenamiento, la tarjeta electrónica establece comunicación con el PLC S7-300, que ejecuta un control centralizado de todas las estaciones de la planta Lucas-Nulle IPA26.

Este envío y recepción de datos se establece mediante un protocolo de comunicación PROFIBUS DP, basado en una interfaz física RS-485, en el cual la tarjeta electrónica constituye un esclavo de la red, junto con las demás tarjetas para adquisición de señales en cada uno de los subsistemas de la planta.

Esta funcionalidad se encuentra embebida gracias al integrado VPCLS2, que incorpora todas las tareas de diagnóstico y comunicación de un esclavo independiente, además de facilitar el envío de hasta 4 bytes de información disponibles.

## 2.2 Sensores y actuadores presentes en el subsistema.

Con la finalidad de especificar a detalle el funcionamiento del subsistema, a continuación, en la figura 2-6 se detalla la ubicación de cada uno de los sensores y actuadores físicos instalados en la estación para monitorear el estado del subsistema.

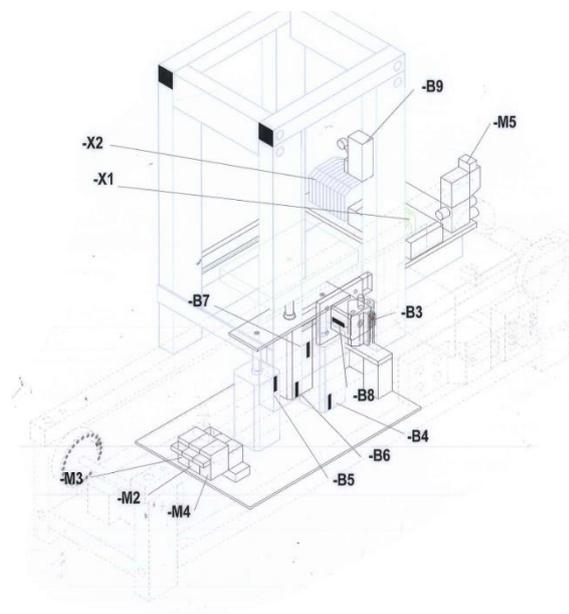


Figura 2-6. Recorte #1 de Quickchart subsistema de almacenamiento IMS 10 [9].

En las tablas 2-1 y 2-2 se describen la aplicación de los sensores y actuadores identificados previamente, siguiendo la correspondencia usada en la figura previa.

<b>Etiqueta</b>	<b>Descripción</b>
B1	Sensor magnético en posición de entrada sobre cinta transportadora.
B2	Sensor magnético en posición de salida sobre cinta transportadora.
B3	Sensor magnético en posición de avance dentro de cilindro de parada.
B4	Sensor magnético en posición de retroceso dentro de cilindro paralelo.
B5	Sensor magnético en posición de avance dentro de cilindro paralelo.
B6	Sensor magnético en posición de retroceso dentro de cilindro elevador.
B7	Sensor magnético en posición de separación dentro de cilindro elevador.
B8	Sensor magnético en posición de retroceso dentro de cilindro de retroceso.
B9	Sensor fin de carrera de almacén lleno.

Tabla 2-1. Asignación y ubicación de sensores del subsistema de estudio.

<b>Etiqueta</b>	<b>Descripción</b>
M2	Válvula distribuidora de 4 a 2 vías: cilindro de parada.
M3	Válvula distribuidora de 4 a 2 vías: cilindro elevador.
M4	Válvula distribuidora de 4 a 2 vías: cilindro paralelo.
M5	Válvula distribuidora de 4 a 2 vías: cilindro separador.

Tabla 2-2. Asignación y ubicación de actuadores del subsistema de estudio.

### **2.3 Selección de equipos para el control distribuido propuesto.**

En esta sección se procede a explicar las características de los equipos que se utilizaron en la implementación y que cumplieron como parte de la modificación del proyecto considerando el levantamiento de información y el análisis realizado en base al funcionamiento actual del subsistema de almacenamiento en la planta IPA26. Debido a que este proyecto debe ser integrable al funcionamiento actual, es necesario realizar una selección adecuada de los dispositivos a emplear, de tal forma que estos equipos sean comerciales y satisfagan las características primordiales.

### 2.3.1 Controlador Lógico Programable (PLC)

Se utilizó el PLC de la marca Siemens, línea SIMATIC S7-1200, con CPU 1214C AC/DC/Relé representado mediante la figura 2-7, este equipo incorpora las siguientes características:

- 14 entradas digitales a 24 VDC
- 10 salidas digitales tipo relé
- 2 entradas analógicas configurables de 0 - 10 VDC o 4 – 20 mA
- Memoria de 100 KB
- Comunicación PROFINET/ Ethernet Industrial



Figura 2-7. Vista 3D de CPU 1214C AC/DC/Relé [8].

### 2.3.2 Cable para comunicación PROFINET y conector RJ45

Este cable de comunicación se compone de conductor SF/UTP tipo CAT6 de 8 hilos para poder establecer un sistema de conexión rápido FC. Además, se ensambla el conector de carcasa metálica RJ45 al cable de 8 hilos, mostrado en la figura 2-8, para poder realizar el montaje de la comunicación necesaria entre el PLC del subsistema de almacenamiento y la red ya existente. El conector RJ45 es utilizado por lo general para conectar en red computadoras utilizando un cableado estructurado. Este tipo de cableado por lo general viene en diferentes categorías, pero como se trata de un cable Profinet, en este caso es categoría 6.



Figura 2-8. Conector RJ45 (1) y cable de comunicación de red PROFINET (2) [10].

### 2.3.3 Software de programación TIA PORTAL V16

Para realizar la programación de este modelo de PLC S7-1200 se utilizó el software de programación TIA PORTAL (Totally Integrated Automation Portal), conocido a nivel mundial en diversos sectores en lo referente a control y automatización industrial que permite integrar los componentes principales para su operación que comprende una maquinaria dentro de un proceso de producción.

Cuenta con una tecnología que integra diferentes aspectos comúnmente utilizados como STEP7, SINAMICS Startdrive, WinCC, SIMOCODE ES, SIMOTION SCOUT TIA, entre otras herramientas. Además, este software nos permite trabajar con diferentes usuarios y una de las características principales debido a su modularidad es que se pueden integrar distintas herramientas que se adapten a los requerimientos del proyecto.

Actualmente, existen empresas que apuntan hacia la industria 4.0 en donde utilizan este tipo software para integrar funciones que permitan conectarse desde el controlador hacia la nube privada de cada fábrica y poder monitorear variables de interés mediante indicadores en tiempo real.

La versión del programa TIA PORTAL usada fue la V16, penúltima versión más reciente que existe en la actualidad.

### 2.3.4 Software para desarrollo y ejecución de interfaz gráfica WinCC

Se empleó WinCC en el desarrollo de un entorno para la monitorización y control del proceso de almacenamiento de pallets de la planta didáctica IPA26, con la finalidad de poder obtener una flexibilidad en cuanto a la capacidad de visualización. Por esta razón se desarrolló una configuración cliente-servidor con la finalidad de poder distribuir de forma apropiada la observación y manejo del control de datos que se requieran del proceso. Es decir, no solo es posible observar por medio de un solo servidor desde una estación, sino que es posible poderlo hacer desde diferentes estaciones según sea necesario.

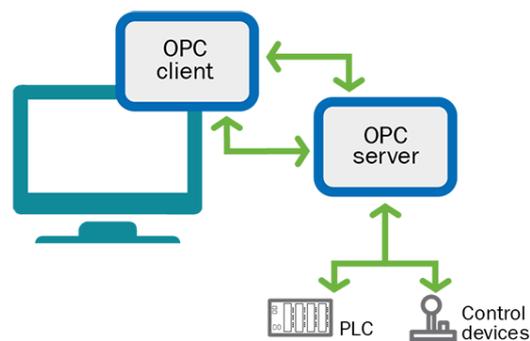


Figura 2-9. Estructura WinCC servidor-cliente [10].

## 2.4 Implementación de secuencias de activaciones en la estación de almacenamiento

Una vez detallada los recursos de software y hardware usados para el desarrollo de esta propuesta, se procede a describir las secuencias lógicas de almacenamiento y despacho de pallets, con la ayuda de sus diagramas de flujos respectivos.

### 2.4.1 Pasos para el proceso de levantamiento de pallets

Para el inicio de una de las secuencias de levantamiento y almacenamiento de pallets, es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

1. El sensor de fin de carrera B9 debe indicar que existe espacio disponible en el módulo de almacenamiento.
2. No debe existir ningún proceso de almacenamiento activo en el subsistema.
3. La solicitud, realizada por el operador, para almacenar pallets debe encontrarse activa en el sistema.

Tras validar estas condiciones se procede a realizar la siguiente secuencia de activaciones mediante en las salidas digitales del controlador en el siguiente orden:

1. Habilitación del motor de la cinta transportadora para permitir el ingreso de los pallets al subsistema.
2. Una vez el sensor magnético B1, mostrado en la figura 2-10, registró el ingreso del pallet, se acciona el cilindro de parada.

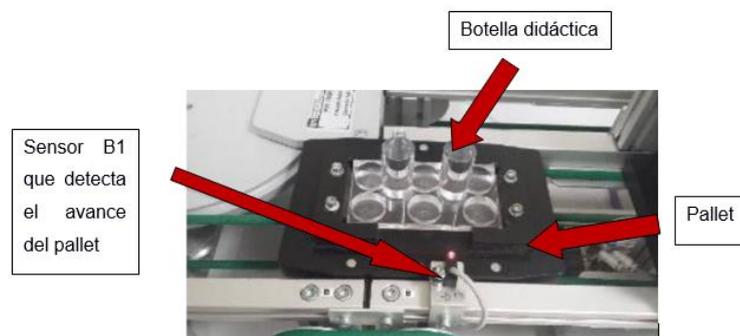


Figura 2-10. Pallet en posición de ingreso a subsistema de almacenamiento.

3. Tras un tiempo de espera se detiene la cinta transportadora y se procede al accionamiento de los cilindros paralelos.
4. Una vez que el sensor magnético B5 registró el avance de los cilindros paralelos, se procede al levantamiento del cilindro elevador.

5. Tras el registro del levantamiento del pallet mediante el sensor magnético B8, se inicia la secuencia de retroceso del cilindro elevador y posteriormente de los cilindros paralelos.



Figura 2-11. Torre de almacenamiento de la estación.

Para facilitar la comprensión de esta sucesión de activaciones, en la figura 2-11 se presenta a un diagrama de flujo de la secuencia descrita, tomando como referencia los códigos de sensores y actuadores especificados en las tablas 2-1 y 2-2.

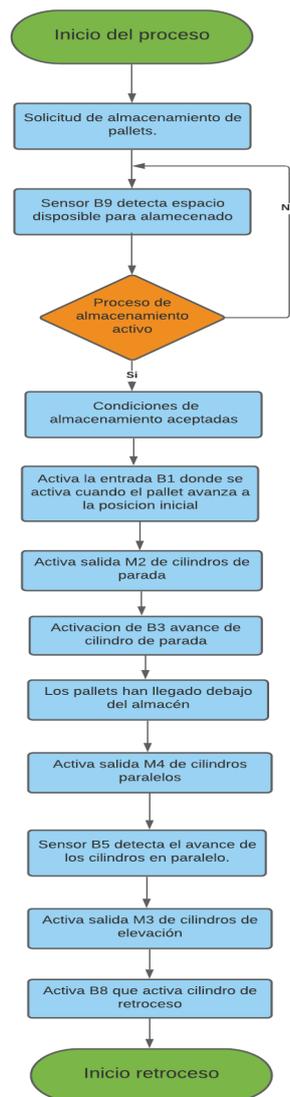


Figura 2-12. Diagrama de flujo para el levantamiento y almacenamiento de pallets.

#### 2.4.2 Pasos para el proceso de retroceso de pallets.

El proceso de retroceso de pallets es una secuencia complementaria cuyo objetivo principal es descender de forma ordenada los cilindros paralelos y elevadores. A partir de estos pasos es posible realizar el despacho de pallets en el subsistema de almacenamiento. No debe existir ningún proceso de almacenamiento activo en el subsistema. Se procede a realizar la siguiente secuencia de activaciones mediante en las salidas digitales del controlador:

1. Cuando el sensor magnético B7 registre la elevación del cilindro elevador se procede a la activación del cilindro separador para permitir la caída del pallet.
2. Luego de detectar la activación del cilindro separador, se procede a la retracción del cilindro elevador.
3. Tras el registro de la retracción del cilindro elevador mediante el sensor B6, se inicia la secuencia de retroceso de los cilindros paralelos.
4. Una vez que el sensor magnético B5 registró el retroceso de los cilindros paralelos, se procede al encendido de la cinta transportadora.
5. Para finalizar, cuando el sensor magnético de salida B2 recibe la alerta de salida del pallet, la cinta transportadora es apagada.

Este proceso se encuentra representado en el diagrama de flujo ilustrado en la figura 2-13.

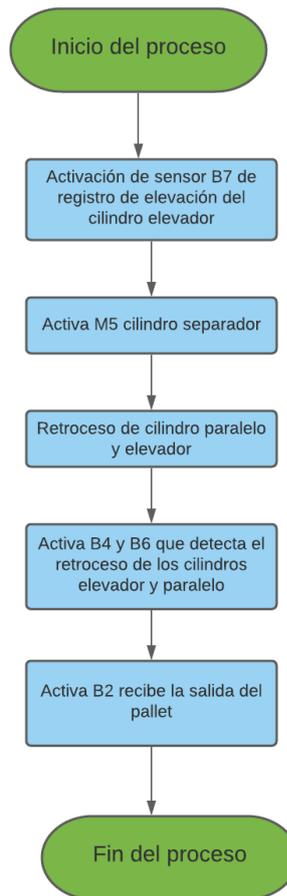


Figura 2-13. Diagrama de flujo de liberación de pallets.

## 2.5 Arquitectura propuesta de red de comunicación en planta IPA26

En la figura 2-14 se muestra la topología de comunicación industrial de la planta IPA26 una vez realizadas las modificaciones necesarias para la implementación de la propuesta. Es posible identificar el reemplazo de una de las tarjetas de adquisición de datos, correspondiente al subsistema de almacenamiento intermedio, por el controlador propuesto en la sección 2.3.1. Este dispositivo se encuentra conectado a una red de comunicación PROFINET, por medio de un switch SCALANCE XB005, ya existente en la planta.

Los dispositivos previamente existentes en la planta se mantuvieron sin modificar las funcionalidades de estos.

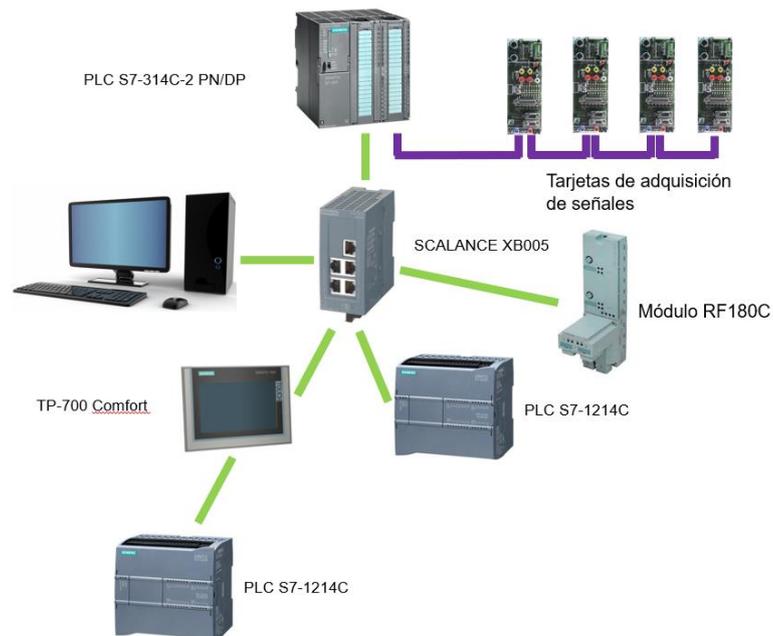


Figura 2-14. Topología de red de comunicación industrial.

## 2.6 Conexiones eléctricas del controlador lógico dedicado

Al momento de realizar esta modificación es necesario analizar tanto las entradas como las salidas que son necesarias para poder realizar la operación del proceso. En este caso como se explicó previamente debido a la cantidad tanto de entradas como salidas no fue necesario utilizar un módulo de expansión ya que se utilizaron las entradas disponibles del PLC, modelo S7-1200 1214C AC/DC/RELE.

Como se muestra en la figura 2-15 se alimenta desde la L1 a 120VAC pero el PLC consume 24 VDC, se conectan las 9 entradas existentes a los puertos habilitados en la parte superior del PLC así como las salidas se las conecta en la parte inferior. Se conecta el neutro a la línea respectiva, así como las salidas respectivamente.

Cabe mencionar que se utilizó un breaker tipo riel din a 10 AMP marca EBASEE para poder colocarlo en la línea de alimentación con la finalidad de proteger la línea de tensión en caso de falla y evitar posibles daños en el PLC.

Para poder representar las conexiones de cableado de control que se implementó se utilizó la normativa IEC 61082, el diagrama esquemático de conexiones eléctricas en el controlador programable se encuentra adjunto en la sección Anexos.

## 2.7 Mejoras propuestas en el subsistema de almacenamiento

En los lineamientos del proyecto propuesto se establece el diseño y la inclusión de dos sistemas de control previamente no existentes en la estación, estas herramientas representarán mejoras al funcionamiento de la estación. En las siguientes secciones se describen la ingeniería realizada para el desarrollo del sistema de lectura y escritura mediante radiofrecuencia y el sistema de control de velocidad en la cinta transportadora.

### 2.7.1 Sistema de lectura y escritura mediante radiofrecuencia

En el sistema actual, la estación de almacenamiento intermedio no cuenta con un registro o identificadores que permiten conocer la cantidad de material total o de forma específica, que ha sido almacenada en los pallets. Tomando ventaja del sistema de identificación por radiofrecuencia previamente implementado en la planta, mediante el módulo de comunicación RF180C, un lector RFID RF310R y un accesorio transpondedor RF360T se realizó la integración de la información a la estación de almacenamiento.

En este sistema, el módulo de comunicación RF mostrado en la figura 2-16, mediante el protocolo de comunicación PROFINET, intercambia datos con el PLC de la estación IMS 10, asignado como controlador maestro del equipo.



Figura 2-15. Módulo de comunicación RF180C [11].

A su vez este módulo, controla el lector RFID, mediante una interfaz física RS-422, este lector, compartido en la figura 2-17, se encuentra instalado bajo la cinta transportadora del subsistema y permite la escritura y lectura de datos sobre los transpondedores.



Figura 2-16. Módulo de lectura y escritura RF310R [12].

Finalmente, en la figura 2-18 se ilustra el transponder instalado en los pallets, mismo que es modificado durante el funcionamiento de la planta, gracias a la interfaz gráfica que permite al operador, leer o modificar la información almacenada en el interior del dispositivo. Esto permite el funcionamiento flexible de otras estaciones en la planta Lucas Nulle.

En lo que respecta a la estación de almacenamiento, el sistema RFID permite llevar registro de los ítems almacenados en ella, así como los artículos que son liberados, con la finalidad de generar el historial de almacenamiento y gestión de estos recursos cuando el operador lo requiera.



Figura 2-17. Transponder para almacenamiento de datos RF360T [13].

## 2.7.2 Sistema de control de velocidad de la cinta transportadora

Una vez realizado el levantamiento de información del estado actual del subsistema, se detectó que el transporte de los pallets no dispone de una regulación de velocidad durante su operación, como propuesta de mejora de la estación se plantea incorporar un sistema de control de velocidad para este equipo.

Tomando en consideración los parámetros eléctricos del motor utilizado en la cinta transportadora, descritos en la sección 2.1.1, se incorpora un regulador de velocidad para motor DC por ancho de pulso; PWM de sus siglas en inglés, pulse width modulation, que permitirá variar la energía entregada al equipo mediante señales digitales de frecuencia elevada.

Comúnmente, se utiliza un potenciómetro que se encarga de regular el ancho de pulso ya que internamente lo que realiza en el circuito es una variación en las resistencias del control de voltaje con la finalidad de ajustarse a la frecuencia deseada. En este caso, para reducir temas de costos se sustituyó el potenciómetro físico, por un control que el operador puede realizar directamente desde interfaz gráfica.

La variación de voltaje que se desee establecer al circuito y que es enviada como una señal analógica hacia la señal PWM del controlador físico que por medio de su electrónica incorporada se podrá ver el efecto de aceleración o desaceleración según el caso. Cabe recalcar que la inercia del motor es el que se ocupa de que el efecto del corte de señal sea poco notable.

El modelo que se usó es el que se muestra en la figura 2-19, una de las características por las que se escogió este modelo es porque el control del potenciómetro se puede separar de la tarjeta de control y esto es necesario para poder conectar la señal de salida analógica hacia los pines de control PWM.

Por otro lado, otras de las características que dispone es que cuenta con:

1. Voltaje de entradas digitales 5 VDC (ENA, VEL, DIR)
2. Tensión de alimentación es de 24 VDC
3. Corriente máxima de operación de salida depende motor.

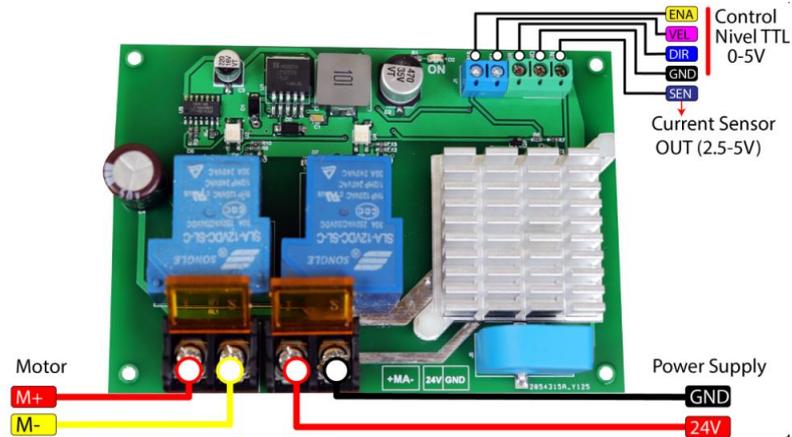


Figura 2-18. Tarjeta electrónica para el control de velocidad del motor DC.

La figura 2-20 corresponde al diagrama en donde se explica el comportamiento del control de velocidad de forma resumida. La señal de voltaje establecida por el usuario es enviada desde el PLC hacia una salida analógica del módulo. Esta señal de salida es de 0-10 V por lo cual se utiliza un convertidor de señal de 10 V a 5V ya que la tarjeta de control soporta voltajes hasta 5 VDC. Una vez que llega esa señal de entrada a la tarjeta, la señal indica la regulación de velocidad en la que el motor va a girar.

Además, es importante mencionar que una fuente de 24 VDC es la encargada de suministrar energía a la tarjeta de control PWM.

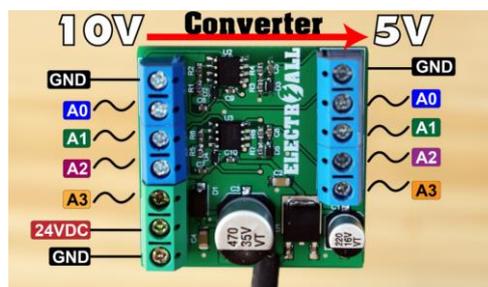


Figura 2-19. Circuito de control de velocidad de un motor DC.

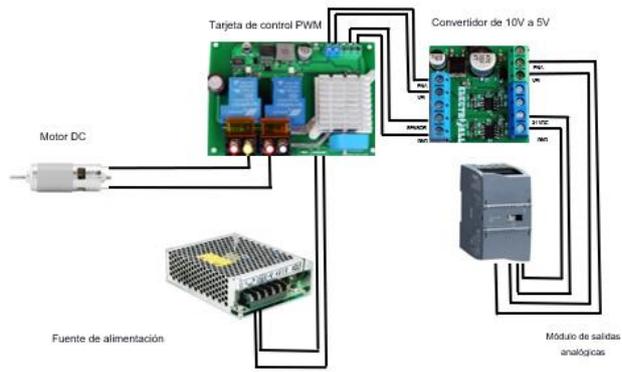


Figura 2-20. Esquema gráfico de conexión.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se comparten resultados correspondientes al diseño y simulación del proyecto propuesto, en cada una de los literales mostrados a continuación se incluye la interfaz gráfica realizada para el control y monitoreo de la aplicación.

### 3.1 Programación e interfaz gráfica para almacenamiento y despacho de pallets en el subsistema de estudio

Para la implementación de la secuencia de almacenamiento de pallets, fue necesario realizar la programación de la secuencia de activaciones mediante el software TIA Portal. Para esto se creó el bloque de datos DB7, que almacena las marcas de memoria usadas para la ejecución y control de la secuencia mencionada.

Para la visualización de la secuencia respectiva, se diseñó una pantalla en la interfaz gráfica, en la figura 3-1 se muestra el estado inicial de la pantalla principal, en ella es posible identificar botones para selección de funciones, indicadores de estado de la máquina, así como una animación del subsistema en funcionamiento. Además, desde esta ventana el operador podrá desplazarse a otras pantallas con funcionalidades agregadas al subsistema.

Por consiguiente se realiza una breve descripción de la función de cada botón, indicar o herramienta de interacción usada en esta pantalla principal del sistema SCADA.



Figura 3-1. Pantalla para visualización y control de la estación de almacenamiento IMS 10.

Botón “ESTACIÓN IMS 10”.- Desplega una ventana emergente para la habilitación del subsistema. Esta ventana emergente ilustrada en la figura 3-2 consta de botones de parada y marcha, además de los indicadores visualización provenientes de la retroalimentación de la secuencia de control.



Figura 3-2. Ventana emergente para la habilitación de la estación IMS 10.

Botón “ALMACENAMIENTO”.- Permite cambiar el modo de operación de la estación en un modo de almacenamiento de pallets, siempre que exista espacio disponible en la torre de almacenamiento.

Botón “DESPACHO”.- Permite cambiar el modo de operación de la estación en un modo de despacho de pallets, siempre que existan pallets previamente almacenados en la torre del subsistema.

Botón “RESET”.- Permite borrar el registro de alarmas y con esto habilitar la estación IMS-10, en caso de haberse presentado inconvenientes.

Contador “CANTIDAD DE PALLETS ALMACENADOS”.- Permite visualizar la cantidad de pallets almacenados en la torre de la estación IMS-10.

Botón “RESET CONTEO”.- Permite reiniciar a cero, el contador de pallets almacenados.

Botones en la barra superior.- Permiten navegar por las distintas ventanas creadas para la interfaz gráfica tales como, “CONTROL MOTOR” o “CONTROL RFID”.

Barra de desplazamiento “SETPOINT VELOCIDAD CINTA TRANSPORTADORA”.- Brinda la capacidad de modificar la velocidad del motor de la cinta transportadora durante la ejecución de las secuencias del subsistema.

En la figura 3-3 se comparte una captura de la interfaz gráfica durante la simulación del subsistema de almacenamiento, en donde se puede observar los indicadores de operación de la estación activados, así como la animación del pallet trasladándose en la cinta transportadora.

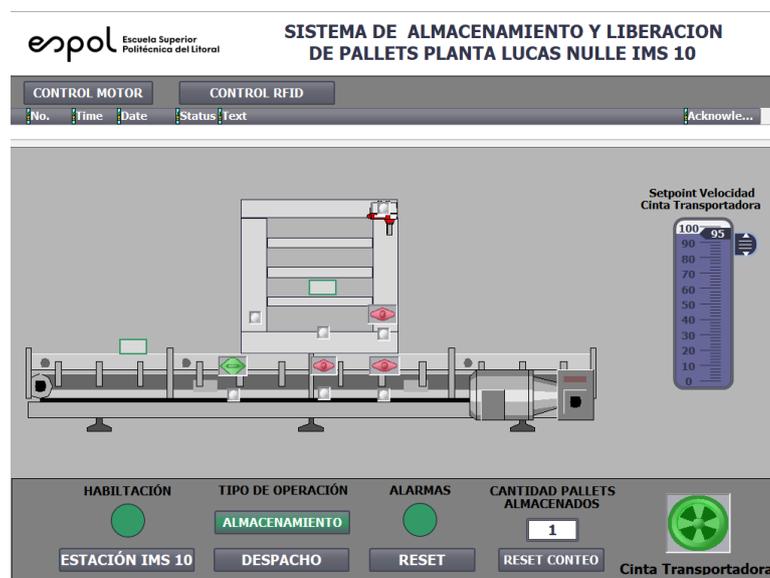


Figura 3-3. Pantalla principal de la interfaz gráfica durante simulación de la estación.

### 3.2 Programación e interfaz gráfica para el sistema de escritura y lectura por radiofrecuencia

Fue posible la comunicación del sistema de radiofrecuencia a través del módulo RF180C y la programación de los bloques de funciones integrados en la plataforma de TIA PORTAL, para el uso en objetos tecnológicos, denominados, “Reset\_Reader”, “Read”, “Write”, “Set\_Ant\_RF300”.

En la figura 3-4 se ilustra el bloque de función “Reset Reader”, cuyo objetivo principal reiniciar todos los lectores conectados al módulo RF180C, mediante el objeto tecnológico “SIMATIC\_Ident\_1”. Además, mediante esta herramienta se interrumpirán acciones de lectura o escritura que se encuentren en ejecución.

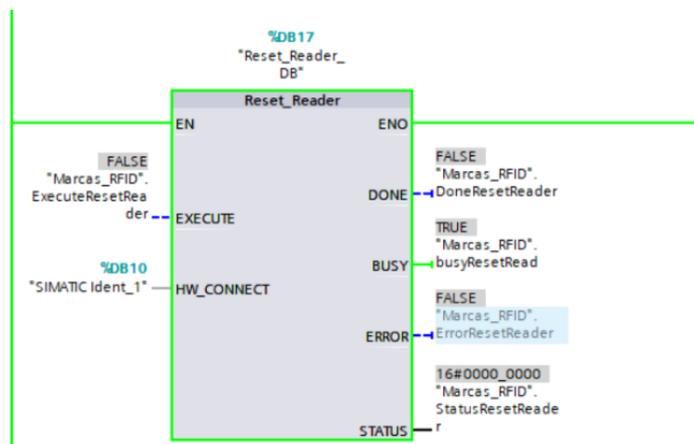


Figura 3-4. Bloque "Reset Reader" programado para funcionamiento de sistema RFID.

El bloque de función “Read”, mostrado en la figura 3-5, permite leer los datos almacenados en el transportador usuario y los ubica en el búfer de información del objeto tecnológico “Ident\_Data”, los parámetros de dirección y longitud del dato leído son almacenados en las marcas “AddrTagRead” y “LenDataRead” respectivamente.

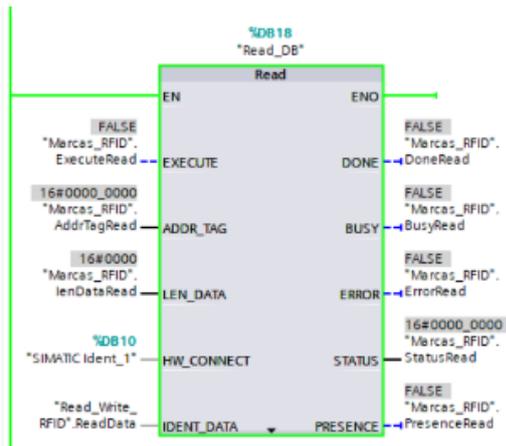


Figura 3-5. Bloque "Read" programado para funcionamiento de sistema RFID.

En la figura 3-6 se comparte el bloque de función "Write", programado para realizar la escritura de datos en los transpoder del sistema mediante el búfer de escritura del bloque "Ident\_Data".

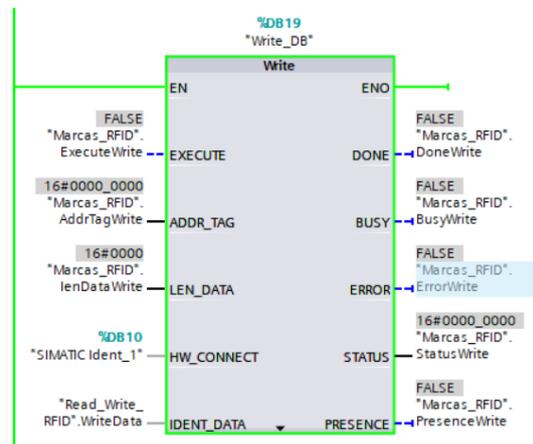


Figura 3-6. Bloque "Write" programado para funcionamiento de sistema RFID.

Finalmente, en la figura 3-7 se muestra el bloque de función "Set\_Ant\_RF300", usado para la conexión y desconexión de antenas de radiofrecuencias de estos sistemas, además, mediante la salida "PRESENCE", indica la presencia de un transponder en el entorno cercano de la antena.

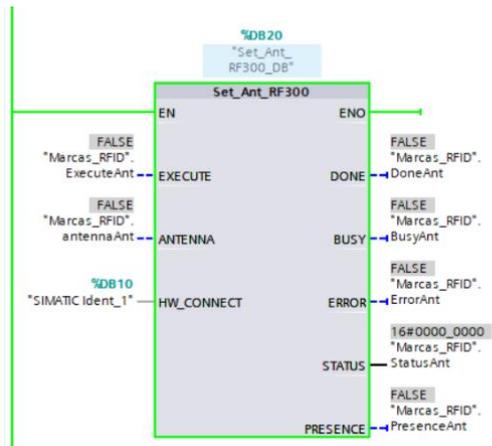


Figura 3-7. Bloque "Set\_Ant\_RF300" programado para funcionamiento de sistema RFID.

Para la gestión y manejo de este sistema se diseñó la pantalla de “CONTROL RFID”, mostrada en la figura 3-8, esta interfaz permite interactuar con las 3 funciones básicas del sistema antes mencionadas. Las funciones de escritura y lectura son de especial interés debido a que, gracias a esta interfaz será posible modificar la información almacenada en las tarjetas transponder a solicitud del usuario.

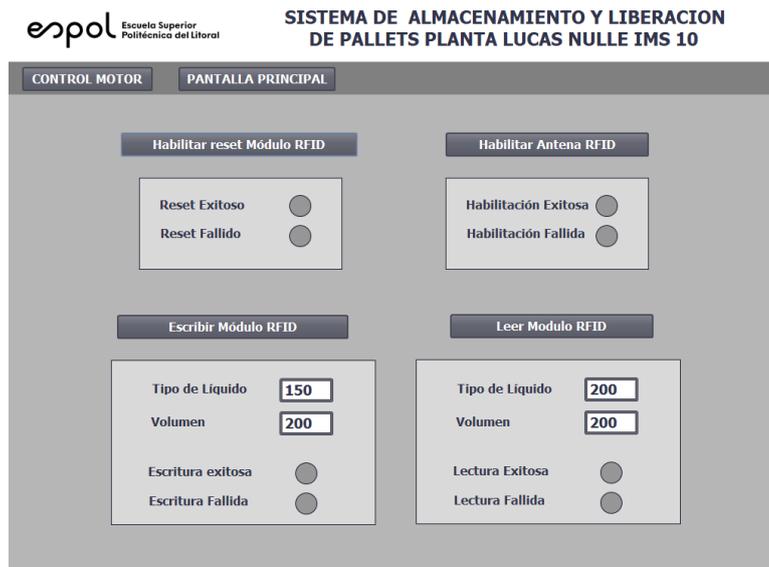


Figura 3-8. Interfaz gráfica desarrollada para interactuar con el sistema RFID.

### 3.3 Programación e interfaz gráfica para el sistema de control de velocidad de la cinta transportadora

El control de velocidad es monitoreado desde la interfaz gráfica la cual se la configura con una arquitectura capaz de poder enviar la señal de voltaje en base a la cual se realiza el ajuste de resistencias en el circuito que se encarga de controlar la potencia para obtener la frecuencia deseada, es decir, es capaz de regular la velocidad.

Otro punto importante, es la facilidad de poder observar la señal de salida del motor por medio del gráfico de tendencias como se observa.

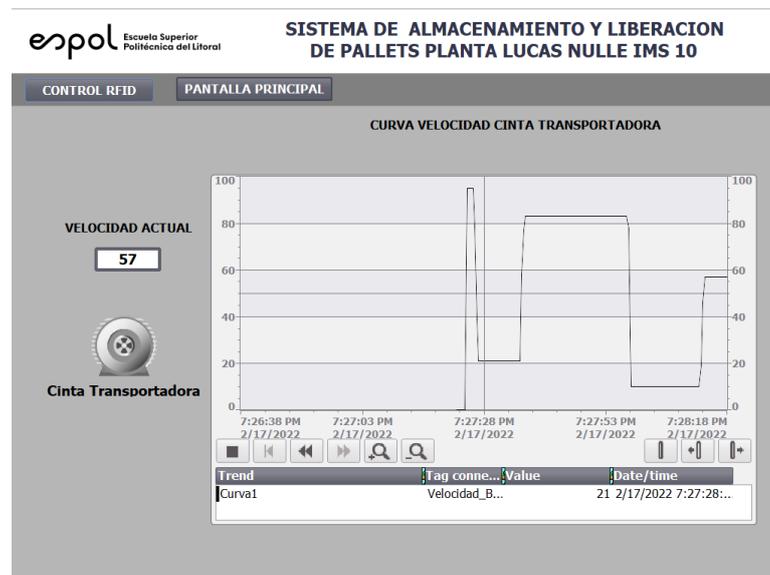


Figura 3-1. Visualización de la pantalla para el monitoreo de velocidad de la cinta transportadora.

Además, de desarrollar este tipo de gráfica de tendencias, para poder registrar estos datos de forma periódica, se crea una plantilla en Excel basados en el almacenamiento de las señales de campo del proceso captadas por el PLC S7-1200, debido a que están conectados a una estación SCADA por WinCC, pueden transferir esta información que contenga hacia una tabla de una base de datos del servidor mediante SQL Server. En este caso, las señales de lectura y almacenaje es el voltaje del motor. Estos reportes registran cada cierto tiempo, esto depende de la forma en la que se

realice la configuración, en este caso se lo ha hecho cada segundo para obtener una mejor lectura de datos. Ya que, si lo escalamos esta funcionalidad de WinCC hacia la utilización que le puede dar en una planta real, se tiene el caso de las averías que generan paradas de planta. Poder capturar estos datos de forma remota, permite poder realizar un análisis en base a la información obtenida.

VarName	TimeString	VarValue	Validity	Time_ms
Voltaje [V]	2/4/2022 6:01	0	1	44596251334
Voltaje [V]	2/4/2022 6:01	0	1	44596251345
Voltaje [V]	2/4/2022 6:01	0	1	44596251357
Voltaje [V]	2/4/2022 6:01	0	1	44596251369
Voltaje [V]	2/4/2022 6:01	0	1	44596251380
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251392
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251404
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251415
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251427
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251438
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251450
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251462
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251473
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251485
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251496
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251508
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251520
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	50	1	44596251531
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251543
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251554
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251566
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251578
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251589
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251601
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251613
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251624
Voltaje [V]	2/4/2022 6:02	0	1	44596251636

Reporte de Voltaje SP001

Figura 3-2. Reporte de datos de velocidad en formato .xls generado por el sistema SCADA.

### 3.4 Costos para la implementación del proyecto

A continuación, se adjunta la cotización del proyecto junto con los materiales y equipos que se van a utilizar. En este caso, se contempla las horas de ingeniería que se otorgan, es decir, lo que se describe como levantamiento de información y puesta en marcha. Cabe mencionar que estos costos han sido evaluados en base a las horas invertidas en la toma de información y levantamiento realizado en la planta de Lucas Nulle Company conforme a las modificaciones que requiere el proyecto. Cabe mencionar que las modificaciones para la integración del autómatas controlables fueron analizadas en base a la optimización de recursos de los equipos que ya tienen integrados en la planta de Laboratorio de Control de Procesos.

Es necesario indicar que debido a que este es un proyecto integrador es importante mencionar que en el costo total del proyecto no se considera las horas de programación tanto de la lógica del PLC como de la creación de las pantallas HMI así como el levantamiento de información que es necesario realizarlo para poder hacer el estudio y análisis del funcionamiento de la planta de almacenamiento.

Cantidad	Unidad	Descripción	Costo unitari	Total
1	U	PLC S7 1200 1214 AC/DC/RELE	\$ 507.00	\$ 507.00
1	U	Metro riel din	\$ 7.00	\$ 7.00
5	MTR	Cable para comunicación PROFINET/Industrial Ethernet	\$ 5.15	\$ 25.75
1	U	Controlador de Velocidad PWM 10-60V 20A DC	\$ 110.00	\$ 110.00
1	U	Módulo de salidas analógicas (2 salidas SM1232)	\$ 490.00	490.00
1	U	Conector RJ45 robusto metálico PROFINET/Industrial Ethernet	\$ 44.00	\$ 44.00
			Subtotal	\$ 1,183.75
			IVA	\$ 142.05
			<b>Total</b>	<b>\$ 1,325.80</b>

Tabla 3-1. Costos para la implementación del proyecto propuesto.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

1. Al adicionar un controlador al sistema, este nuevo dispositivo permite expandir las capacidades de procesamiento del sistema, facilitando aplicaciones de control en tiempo real de la estación gestionada.
2. El control de velocidad del motor DC puede ser variado desde una pantalla que muestra el comportamiento de la velocidad, lo que representa una mejora en el subsistema al acortar los tiempos de almacenamiento y despacho de pallets.
3. Se usó el software de WinCC para desarrollar un entorno para la monitorización y control del proceso de almacenamiento y liberación de pallets de la planta con la finalidad de poder obtener una flexibilidad en cuanto a la capacidad de visualización.
4. Por medio de WinCC es posible transferir información de los cambios de velocidad hacia una base de datos del servidor mediante SQL Server para generar reportes registran cada cierto tiempo, en este caso se lo ha hecho cada segundo para obtener una mejor lectura de datos.
5. El sistema RFID implementado permitirá a los usuarios llevar un registro o inventario de los bienes que se encuentran en la torre de almacenamiento. En un proceso a gran escala, esta herramienta es de gran utilidad para la gestión de los recursos existentes.
6. Esta modificación tiene un bajo costo de implementación, haciendo uso de los recursos físicos ya existentes, como puertos de comunicación, sensores y actuadores, además de ser lo menos invasivos posibles.
7. En el caso de querer implementar la propuesta desarrollada, es necesario considerar que los precios del presupuesto aún se mantengan en el mercado ya que Siemens realiza comunica cambios hacia los distribuidores cada cierto tiempo.

8. Se realiza tablas de las entradas y salidas del PLC con la finalidad de realizar la sustitución del hardware de forma ordenada y lograr tener un registro de las variables utilizadas en el caso de querer realizar cambios o expansiones del proceso.

## 4.2 Recomendaciones

1. El sistema de control tiene diferentes etapas por lo cual al momento de la implementación de las mejoras en el sistema es necesario realizar pruebas aislando el sistema en específico de tal manera que en caso de realizar cambios no afecte al demás subproceso.
2. Es importante considerar siempre en un análisis de control los voltajes de operación de los equipos ya que cada componente puede funcionar con diferentes niveles de voltaje como es el caso de la tarjeta PWM y el módulo de salidas analógicas.
3. Al momento de realizar la selectividad de equipos es necesario revisar los modelos comerciales con los proveedores principales ya que en caso de que alguna pieza se dañe es posible poderla conseguir de forma rápida.
4. En el caso de probar la funcionalidad de la interfaz gráfica siempre se requiere realizar una pequeña inducción del funcionamiento para conocimiento del usuario en caso de utilizar este sistema de forma presencial en los laboratorios de control industrial.
5. Es necesario considerar que a pesar de que el control de velocidad se lo puede realizar directamente desde el PLC utilizando las salidas PWM, es importante tener en cuenta que se debe garantizar la funcionalidad y evitar posibles daños en la tarjeta por eso se ha utilizado una tarjeta de PWM de forma separada.
6. Se recomienda la implementación de las mejoras propuestas, como se pudo observar en las pantallas, esto permite un control del proceso más dinámico, además se pueden realizar modificaciones a las secuencias de activaciones con facilidad lo que sería un buen entrenamiento introductorio para los estudiantes de la carrera.

7. Durante el levantamiento de información respectivo se detectó que la alimentación neumática de las estaciones no cuenta con una confirmación del valor de presión del sistema, por esta razón se recomienda la instalación de un presostato en la salida de la bomba de presurización del sistema.

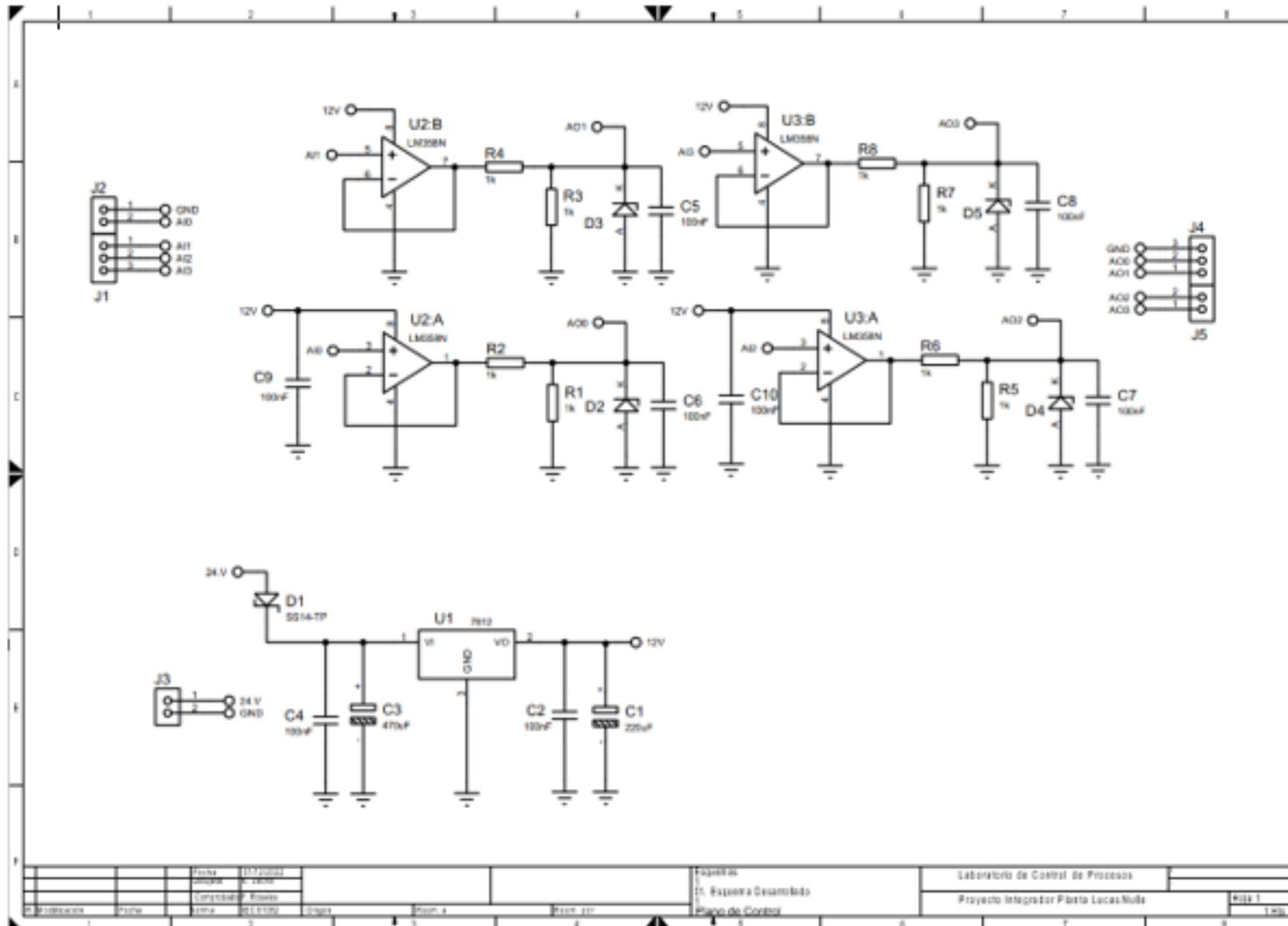
# BIBLIOGRAFÍA

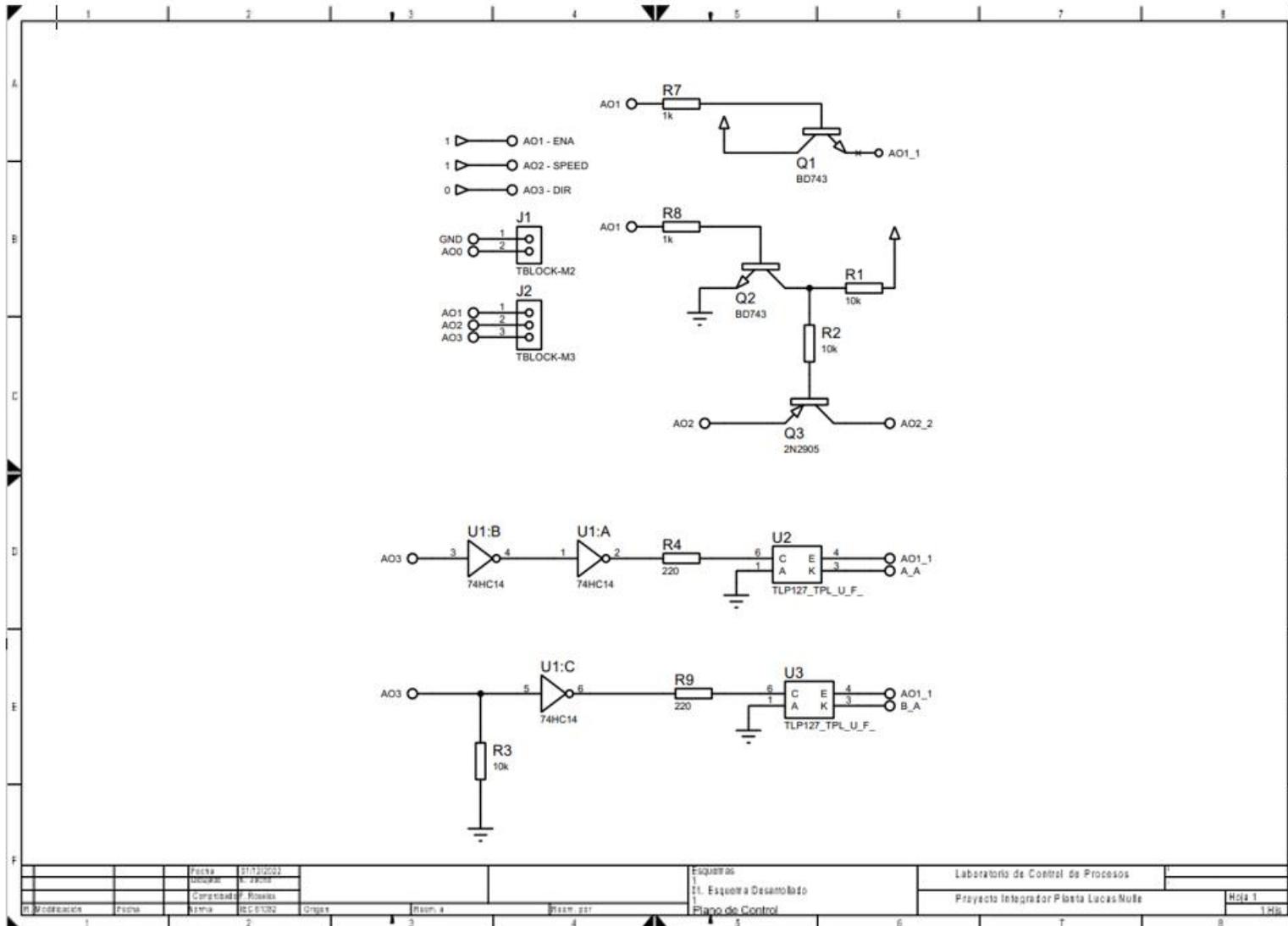
## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Creus, Instrumentación Industrial 8ava Edición, México D.F.: Alfaomega, 2010.
- [2] N. O. Alonso, Redes de Comunicaciones Industriales, Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2013.
- [3] © Siemens 2021, «Sistemas de Automatización Industrial SIMATIC,» [En línea]. Available:  
<https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>. [Último acceso: 22 Octubre 2021].
- [4] © Siemens 2021, «SIMATIC HMI Software,» [En línea]. Available:  
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/hmi-software.html>. [Último acceso: 21 Octubre 2021].
- [5] Lucas Nulle Company, «Sistemas de capacitación en tecnología de automatización,» Junio 2009. [En línea]. Available: [https://www.lucas-nuelle.de/index.php/fuseaction/download/ln\\_file/ln\\_bro\\_automattechnik\\_cs3\\_sp\\_090623.pdf](https://www.lucas-nuelle.de/index.php/fuseaction/download/ln_file/ln_bro_automattechnik_cs3_sp_090623.pdf). [Último acceso: 17 Octubre 2021].
- [6] A. Creus, Neumática e Hidráulica, Barcelona: MARCOMBO, 2007.
- [7] D. Merchán, S. Torres, R. Burneo y G. Vásconez, «Aplicaciones de la tecnología RFID en la cadena de abastecimiento de calzado en el Ecuador,» *Avance en Ciencias e Ingeniería - El Politécnico*, p. 5, 2011.
- [8] © Siemens 2021, «Industry Mall,» [En línea]. Available:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/ES/ES/Catalog/Product/?mlfb=6XV1878-5BN25>. [Último acceso: 13 Diciembre 2021].
- [9] Lucas Nulle Company, «Quickchart IMS 10 Subsistema Mecatrónico de Almacenamiento Intermedio,» [En línea]. Available:  
<https://www.sidilab.com/productos/quickchart-ims-10-subsistema-mecatronico-de-almacenamiento-intermedio>. [Último acceso: 3 Diciembre 2021].
- [10] © Siemens 2021, «Industry Mall,» [En línea]. Available:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7214-1BG40-0XB0>. [Último acceso: 12 Diciembre 2021].

- [11] © Siemens 2021 - 6GT2002-0JD20, «Industry Mall - 6GT2002-0JD20,» 2021. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6GT2002-0JD20>. [Último acceso: 13 Enero 2022].
- [12] © Siemens 2021 - 6GT2801-1BA10-0AX2, «Industry Mall - 6GT2801-1BA10-0AX2,» 2021. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6GT2801-1BA10-0AX2>. [Último acceso: 13 Enero 2022].
- [13] © Siemens 2021 - 6GT2800-5AC00, «Industry Mall - 6GT2800-5AC00,» 2021. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6GT2800-5AC00>. [Último acceso: 13 Enero 2022 ].
- [14] M. D'Addario, «Mecatrónica. Procesos, métodos y sistemas,» Comunidad Europea, 2018, p. 56.
- [15] Electronilab, «<https://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>,» 17 mayo 2014. [En línea]. Available: <https://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>.
- [16] Chapman, de *Máquinas Eléctricas* , México, McGraw-Hill, 2018.
- [17] © Siemens 2021, «Industry Mall,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/de/Catalog/Products/7029999?tree=CatalogTree>. [Último acceso: 20 Octubre 2021].

## 6. ANEXOS





Fecha	31/12/2023
Usuario	...
Controlador	...
Nombre	BOC132

Grupo	...
Revisión	...
Revisión	...

Esquemas  
 11. Esquema Desembofado  
 Placa de Control

Laboratorio de Control de Procesos  
 Proyecto Integrador Planta Lucas Nülle

Hoja 1  
 1/1

