

Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y Comunicación

Actualización de sistema de control etiquetadora semiautomática de envases cilíndricos mediante la implementación de la tecnología IO-Link ubicación en la empresa Iprocess Ind.

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Electrónico

Elaborado por:

Br. Yusara Erivielssi
Castillo Orúe Carnet:
2018-0089U

Tutor:

Br. Juan Pablo Rodríguez
Espinoza
Carnet: 2018-0244U

Asesor:

Ing. Vermar Napoleón
Urcuyo Chavarría.



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

CASTILLO ORÚE YUSARA ERIVIELSSI

Carné: **2018-0089U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2022 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los quince días del mes de agosto del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,

Ing. Cedrick Elksnherr Dalla Torre Parrales
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Móvil: (505) 8588 8333



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595



www.unf.edu.ni



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

RODRÍGUEZ ESPINOZA JUAN PABLO

Carné: **2018-0244U** Turno: **Nocturno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2022 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los quince días del mes de agosto del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,

Ing. Cedrick Elksnherr DallaTorre Parrales
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Móvil: (505) 8588 8333



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria,
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595



www.unf.edu.ni

Managua, 15 de octubre de 2024

Msc. Claudia Benavidez Rugama

Directora Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y la Comunicación

DACTIC UNI

Estimada Msc. Benavidez:

Reciba fraternos saludos de mi parte.

Por este medio deseo comunicarle en calidad de tutor del tema de monografía: **“Actualización de sistema de control etiquetadora semiautomática de envases cilíndricos mediante la implementación de la tecnología IO-Link ubicación en la empresa Iprocess Ind”**, que he revisado el documento final de misma el cual cumple con la normativa de culminación de estudios de la universidad.

Por lo cual he autorizado a los bachilleres: Yusara Eriviessi Castillo Orúe, Carnet 2018-0089U, Juan Pablo Rodríguez Espinoza, Carnet 2018-0244U, la entrega del documento a la instancia correspondiente.

Sin más que agregar y deseándole éxito en sus labores académicas y administrativas me despido.



Atentamente,

Ing. Yamil Odell Jiménez López
Tutor de Monografía



Decanatura | FEC

Universidad Nacional de Ingeniería
Recinto Universitario "Simón Bolívar"
Facultad de Electrotecnia y Computación

Decanatura
DF-09-2023-28

Managua, 20 de septiembre del 2023.

Bachilleres.

Yusara Eriviellssi Castillo Orúe 2018-0089U.

Juan Pablo Rodríguez Espinoza 2018-0244U.

Egresados de la Carrera de Ingeniería Electrónica.

Estimados Bachilleres:

El suscrito Decano de la Facultad de Electrotecnia y Computación, a través de la presente autoriza de manera formal la inscripción de la Monografía Titulada **"Actualización de sistema de control etiquetadora semiautomática de envases Cilíndricos mediante la implementación de la Tecnología IO-Link ubicación en la empresa IPROCESS IND"**. Para optar al Título de Ingeniero Electrónico para tal efecto se nombra como Tutor de la Monografía al **Ing. Yamil Odell Jiménez López**.

Así mismo le solicito proceda a la **Inscripción de dicho Tema Monográfico** en secretaría Académica de la facultad, con la finalidad de darle control y seguimiento, de acuerdo a los reglamentos establecidos.

Se les recuerda que, según la normativa para los trabajos monográficos, a partir de la fecha de inscripción tiene 12 meses para defender dicho trabajo.

Sin más a que referirme y deseándoles mucho éxito en la culminación de esta etapa, me despido.

Atentamente,



Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
Decano UNI-FEC

C/c: Ing. Maria Lourdes Montes.
Ing. Juan Martínez Toribio.
Ing. Yamil Jiménez López.
Archivo.

Secretaría Académica.
Jefe de Dpto. de Electrónica.
Tutor.



Teléfono: (505) 2270 5126



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo. 5595



augusto.palacios@fec.uni.edu.ni
www.fec.uni.edu.ni

Dedicatoria

A Dios, por ser la guía y fuerza en cada etapa de este camino. A mi madre, Martha Orúe, cuyo amor incondicional y sacrificio constante han sido la piedra angular de todo lo que soy. A mi hermano, César Castillo, cuyo apoyo firme y confianza en mí han sido una fuente inagotable de fortaleza. Y a mi hermana, Yessenia Castillo, cuyos consejos y apoyo han sido la motivación que me ha permitido seguir adelante. Gracias a cada uno de ustedes por estar a mi lado en cada paso de este viaje personal y profesional.

Con todo mi cariño y gratitud,

Yusara Erivielssi Castillo Orúe.

A mis padres, por ser los pilares inquebrantables de mi vida. Su amor incondicional, su sacrificio y su constante apoyo han sido la luz que ha guiado mi camino y la fuerza que me ha impulsado a superar cada reto. Les agradezco por estar a mi lado en cada paso, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, y por inspirarme a alcanzar mis sueños.

A mi tutor, cuyo conocimiento, paciencia y orientación han sido fundamentales en la culminación de esta monografía. Su apoyo ha sido clave para transformar este proyecto en una realidad.

Gracias a todos por ser parte esencial de este logro.

Juan Pablo Rodríguez Espinoza.

Resumen

Este trabajo monográfico presenta la actualización de una máquina etiquetadora de envases cilíndricos en la empresa Iprocess Ind. La modernización se centró en la implementación de la tecnología IO-Link, con el propósito de mejorar la comunicación entre los dispositivos, optimizar la precisión en las mediciones y reducir los tiempos de inactividad operativa. Iprocess Ind solicitó esta actualización para fortalecer la promoción de sus productos, aprovechando su posición como distribuidor directo de la marca IFM, uno de los líderes en la fabricación de sensores industriales.

La actualización involucró la integración del protocolo IO-Link mediante un maestro conectado a un controlador lógico programable (PLC) por medio del protocolo de comunicación PROFINET.

La actualización incluyó la elaboración de planos eléctricos, la reubicación de componentes en el gabinete eléctrico, la selección de equipos y sensores, y la programación del controlador lógico programable (PLC). Además, se diseñó la interfaz hombre-máquina (HMI) para facilitar el control eficiente de la máquina.

Previo a la actualización, se realizó una revisión minuciosa de la máquina para recopilar datos y elaborar un diagrama eléctrico que reflejara su estado inicial. Se llevaron a cabo pruebas antes y después de la actualización para comparar los resultados y verificar mejoras.

Cabe destacar que IO-Link es una tecnología moderna que permite interconectar diversos sensores de manera sencilla, y su infraestructura de red facilita la comunicación con los controladores. Además, ofrece la posibilidad de almacenar datos en tiempo real en la nube o servidores, lo que contribuye a un control más eficiente y una mayor supervisión del sistema.

Índice de contenido

1	Introducción	1
2	Objetivos	3
2.1	Objetivo general	3
2.2	Objetivos específicos	3
3	Justificación	4
4	Capítulo 1: Marco teórico	5
4.1	Etiquetadoras de envases	5
4.1.1	Clasificación según el volumen de producción.....	5
4.2	Automatización industrial.....	6
4.3	Sistemas de control.....	7
4.3.1	Sistema de control de lazo abierto	7
4.3.2	Sistema de control de lazo cerrado.....	8
4.4	Industria 4.0	9
4.4.1	IO-Link.....	10
4.5	Sensores.....	13
4.5.1	Sensores fotoeléctricos.....	13
4.5.2	Encoder	16
4.5.3	Motores eléctricos.....	19
4.5.4	Variadores de frecuencia	19
4.5.5	Servomotores	20
4.6	Interfaz hombre-máquina (HMI).....	21
4.7	AutoCAD electrical	22
4.8	Inventor	22
5	Capítulo 2: Diseño de actualización	23
5.1	Selección de equipos de potencia	23

5.1.1	Motor de inducción	23
5.1.2	Selección de variador de frecuencia	38
5.1.3	Servomotor	40
5.1.4	Selección de controlador para servomotor	44
5.1.5	Selección del motor reductor monofásico	47
5.1.6	Selección de controladores de los motores reductores	50
5.2	Determinación de equipos de control	52
5.2.1	Selección de controlador lógico programable	52
5.2.2	Interfaz hombre mquina (HMI)	56
5.2.3	Selección de sensores.....	57
5.2.4	Selección de maestro IO-Link.....	61
5.3	Dimensionamiento de fuente de alimentación 24 VDC	62
5.4	Diagrama de bloques de diseño del sistema eléctrico	64
5.5	Diagrama de flujo del proceso de etiquetado.....	66
5.6	Diseño del diagrama eléctrico	69
5.7	Distribución de elementos en panel eléctrico.....	70
6	Capítulo 3: Implementación	72
6.1	Implementación de diseño eléctrico.....	72
6.2	Direccionamiento de dispositivos	75
6.3	Comunicación IO-Link	76
6.3.1	Sensor de botellas	79
6.3.2	Sensor de etiquetas.....	80
6.3.3	Integración de sensores en HMI	81
6.4	Parámetros de configuración de servomotor en el controlador	82
6.5	Interfaz HMI y funcionamiento	85
6.5.1	Pantalla principal	85
6.5.2	Pantalla de recetas	86

6.5.3	Pantalla de control manual	87
6.5.4	Pantalla de alarmas	88
6.5.5	Pantalla de configuración.....	89
7	Capítulo 4: Análisis y resultados	91
7.1	Pruebas iniciales a máquina etiquetadora	91
7.2	Pruebas finales a máquina etiquetadora	96
7.3	Análisis y resultados.....	101
8	Conclusión	105
9	Recomendaciones	106
10	Bibliografía	107

Índice de figuras

Figura 1.	Etiquetadora semiautomática	6
Figura 2.	Diagrama básico de lazo abierto	7
Figura 3.	Diagrama básico de lazo cerrado	8
Figura 4.	Sistema de control ON/OFF	9
Figura 5.	Esquema de conexiones IO-Link.....	10
Figura 6.	Sensor de barrera.....	14
Figura 7.	Sensor de reflexión difusa	15
Figura 8.	Sensor con retrorreflector	15
Figura 9.	Sensor fotoeléctrico IFM para detección de botellas	16
Figura 10.	Encoder de la marca IFM	17
Figura 11.	Esquema de codificador de encoder absoluto.....	17
Figura 12.	Esquema de codificador de encoder incremental	18
Figura 13.	Motores eléctricos	19
Figura 14.	Variadores de frecuencia Danfoss.....	20
Figura 15.	Servomotor YASKAWA	21
Figura 16.	Placa de motor de banda transportadora	25
Figura 17.	Placa de caja reductora.....	25
Figura 18.	Característica de cadena Regina 820	27
Figura 19.	Diagrama de fuerzas aplicadas sobre la botella	28
Figura 20.	Transmisión de cadena de motor reductor a piñón de banda.....	30
Figura 21.	Tira de desgaste utilizada.....	34
Figura 22.	Diagrama de fuerzas ejercidas sobre la cadena.....	34
Figura 23.	Diagrama de tramos del proceso de etiquetado	37
Figura 24.	Código para selección de servomotores SGMJV	41

Figura 25.	Curva característica de torque vs velocidad	43
Figura 26.	Código de selección de controlador SGD V	45
Figura 27.	Limitación de corriente para salidas de colector abierto	46
Figura 28.	Separador de botellas	48
Figura 29.	Tipos de caja reductora para motor 90YT60	49
Figura 30.	Enrollador de etiquetas.....	50
Figura 31.	Parámetros de selección de controlador	51
Figura 32.	Controlador lógico programable antes de actualización	52
Figura 33.	Controlador lógico programable seleccionado.....	54
Figura 34.	KTP700 Basic.....	56
Figura 35.	Sensor SICK detectando etiquetas.....	57
Figura 36.	Sensor IO-Link OPU200.....	58
Figura 37.	Sensor IO-Link OBG5000-R100-2EP-IO-V31.....	59
Figura 38.	Esquema de cálculo de haz de luz	60
Figura 39.	Esquema de conexión IO-Link para etiquetadora.....	62
Figura 40.	Especificaciones de fuente MEANWELL	63
Figura 41.	Diagrama de bloques de la distribución del sistema eléctrico	65
Figura 42.	Diagrama de flujo del proceso de etiquetado parte 1	67
Figura 43.	Diagrama de flujo del proceso de etiquetado parte 2	68
Figura 44.	Conexión de cableado IO-Link	70
Figura 45.	Representación 3D de máquina etiquetadora	71
Figura 46.	Representación 3D de la placa de montaje	71
Figura 47.	Cableado de panel eléctrico	72
Figura 48.	Diagrama eléctrico que muestra la conexión de PLC	73
Figura 49.	Montaje de HMI	73

Figura 50.	Sensor de etiquetas.....	74
Figura 51.	Sensor de botellas.....	74
Figura 52.	Maestro IO-Link.....	75
Figura 53.	Diagrama de direccionamiento de dispositivos.....	76
Figura 54.	Configuración de maestro IO-Link.....	77
Figura 55.	Configuración de sensor OGB5000-R100-2EP-IO-V31.....	78
Figura 56.	Configuración de sensor OPU200.....	78
Figura 57.	Datos de proceso sensor OGB5000-R100-2EP-IO-V31.....	79
Figura 58.	Datos de proceso de sensor OPU200.....	80
Figura 59.	Pantalla de configuración de sensor de botellas.....	81
Figura 60.	Pantalla de configuración de sensor de etiquetas.....	82
Figura 61.	Configuración general del generador de pulsos.....	83
Figura 62.	Configuración general de servomotor.....	84
Figura 63.	Configuración de velocidades y rampas.....	84
Figura 64.	Pantalla principal.....	86
Figura 65.	Pantalla de recetas.....	87
Figura 66.	Pantalla de control manual.....	88
Figura 67.	Pantalla de alarmas.....	89
Figura 68.	Pantalla de configuración.....	90
Figura 69.	Incremento de producción a 8 m/min.....	102
Figura 70.	Incremento de producción a 15 m/min.....	102
Figura 71.	Incremento de producción a 20 m/min.....	103
Figura 72.	Incremento de producción a 25 m/min.....	104

Índice de tablas

Tabla 1.	Coeficientes de fricción entre bandas y el producto	27
Tabla 2.	Tabla de torque de motor reductor de WANSHSIN	31
Tabla 3.	Coeficiente de rozamiento entre cadena y tiras de desgaste	33
Tabla 4.	Números de orden Danfoss FC 51	38
Tabla 5.	Especificaciones del variador	39
Tabla 6.	Capacidad de conducción de corriente en amperes de cables mono conductores aislados 0 a 600 V, al aire libre y para una temperatura ambiente de 30°C.....	40
Tabla 7.	Características técnicas de servomotores SGMJV.....	42
Tabla 8.	Tabla de selección de controladores de servomotor	44
Tabla 9.	Consumos de controladores de servomotor YASKAWA	46
Tabla 10.	Características del motor de velocidad ajustable 90YT60	48
Tabla 11.	Relación de caja reductora para motor 90YT60	49
Tabla 12.	Tabla comparativa entre características de ambos equipos.....	55
Tabla 13.	Tabla de consumo de componentes de control	62
Tabla 14.	Tabla de velocidades prefijadas	69
Tabla 15.	Direcciones IP de máquina etiquetadora.....	76
Tabla 16.	Pruebas iniciales botella tipo SHALER a 8 m/min	92
Tabla 17.	Pruebas iniciales botellas tipo SHALER a 15 m/min	92
Tabla 18.	Pruebas iniciales botellas tipo SHALER a 20 m/min	93
Tabla 19.	Pruebas iniciales botellas tipo SHALER a 25 m/min	93
Tabla 20.	Pruebas iniciales botellas tipo GEL a 8 m/min.....	94
Tabla 21.	Pruebas iniciales botellas tipo GEL a 15 m/min.....	94
Tabla 22.	Pruebas iniciales botellas tipo GEL a 20 m/min.....	95

Tabla 23.	Pruebas iniciales botellas tipo GEL a 25 m/min.....	95
Tabla 24.	Pruebas finales a botellas SHALER a 8 m/min.....	97
Tabla 25.	Pruebas finales a botellas SHALER a 15 m/min.....	97
Tabla 26.	Pruebas finales a botellas SHALER a 20 m/min.....	98
Tabla 27.	Pruebas finales a botellas SHALER a 25 m/min.....	98
Tabla 28.	Pruebas finales a botellas GEL a 8 m/min.....	99
Tabla 29.	Pruebas finales a botellas GEL a 15 m/min.....	99
Tabla 30.	Pruebas finales a botellas GEL a 20 m/min.....	100
Tabla 31.	Pruebas finales a botellas GEL a 25 m/min.....	100

Índice de anexos

- I. Diagrama antes de actualización UNI-IPR-001-1023
- II. Diagrama después de actualización UNI-IPR-002-1123

1 Introducción

La actualización de maquinaria y equipos industriales es una actividad clave para aumentar la eficiencia y productividad de la producción y los negocios. En este sentido, la implementación de nuevas tecnologías en el proceso productivo se ha convertido en una estrategia necesaria para seguir siendo competitivos en el mercado.

Una etiquetadora de envases es una máquina utilizada en la industria para aplicar etiquetas a envases cilíndricos de manera precisa y automática. Estas etiquetadoras pueden adaptarse a diferentes tamaños de envases mediante ajustes manuales en sus partes mecánicas.

La colocación de etiquetas precisas y uniformes en envases es esencial para la identificación y comercialización de productos, y es por ello que las etiquetadoras de envases son ampliamente utilizadas en la industria de alimentos, bebidas, productos farmacéuticos y entre otros.

El presente trabajo aborda la actualización de una etiquetadora de envases cilíndricos ubicada en la empresa IPROCESS IND mediante la implementación de la tecnología IO-Link. La empresa solicitó esta actualización con el fin de promocionar sus productos mediante un ejemplo de implementación; esta empresa se destaca en la ejecución de proyectos y ventas de equipos que integran la tecnología IO-Link a los distintos procesos industriales, ofreciéndonos diferentes tipos de productos, tales como, sensores, sistemas de bus de campo y soluciones de conectividad para la industria 4.0.

Es importante destacar que la modernización de la máquina etiquetadora de envases cilíndricos mediante la implementación de la tecnología IO-Link no solo beneficia a esta empresa, sino, que también es un ejemplo de cómo esta tecnología podría ser implementada en muchos otros procesos industriales y como beneficia al usuario, disminuyendo los tiempos de inactividad o mantenimiento, así como disminuyendo la necesidad de un técnico calificado para la identificación de errores o fallas.

En la justificación, se argumentará la importancia de este trabajo para mejorar la eficiencia mediante la utilización del IO-Link. En los objetivos, se definirá el alcance del trabajo monográfico y se establecerán metas específicas para lograr un sistema de

control eficiente mediante la implementación del IO-Link que pueda reducir tiempo en la corrección de errores.

La información de este documento se divide en cuatro capítulos, el primer capítulo presenta los conceptos teóricos fundamentales que sustentan el diseño e implementación del sistema de control de la etiquetadora semiautomática. Estos conceptos serán la base para la comprensión de los aspectos desarrollados en los capítulos posteriores.

En el segundo capítulo se detallan los aspectos técnicos considerados para la actualización del sistema de control de la etiquetadora semiautomática de envases cilíndricos, utilizando la tecnología IO-Link. Se describe el proceso de selección de los dispositivos y la disposición final de los mismos en el sistema.

En el tercer capítulo describe el proceso de implementación del sistema de control actualizado de la etiquetadora semiautomática. Se incluyen los detalles del montaje de los componentes, la programación del controlador, y el diseño de la interfaz hombre-máquina (HMI) que facilita la operación y supervisión del sistema.

En el cuarto y último capítulo se presenta los resultados obtenidos tras la implementación del sistema actualizado en la etiquetadora semiautomática.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

- Actualizar sistema de control en etiquetadora de envases cilíndricos ubicada en la empresa IPROCESS IND mediante la implementación de la tecnología IO-Link, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos operativos.

2.2 Objetivos específicos

- Revisar el estado del sistema de la etiquetadora de envases cilíndricos, para el incremento del rendimiento y eficiencia.
- Diseñar un sistema de control utilizando la tecnología IO-Link, que permita el monitoreo y control de los sensores de la etiquetadora de envases cilíndricos.
- Implementar el sistema de control diseñado para la etiquetadora de envases cilíndricos.
- Realizar pruebas y validaciones de la etiquetadora de envases cilíndricos, que muestre su correcto desempeño.

3 Justificación

Las etiquetadoras de envases juegan un papel fundamental en la industria de alimentos y bebidas. El etiquetado resulta esencial para cumplir con las regulaciones de seguridad, calidad e identificación del producto. Además, estas máquinas tienen la capacidad de aplicar etiquetas de manera uniforme y rápida, lo que mejora la eficiencia del proceso de producción y reduce tanto el tiempo como los costos asociados con el etiquetado manual.

La actualización de maquinaria y equipos industriales mediante la implementación de nuevas tecnologías es esencial para mejorar la eficiencia y competitividad de los negocios. En este sentido, el uso de tecnologías como IO-Link puede aportar importantes beneficios en términos de conectividad, flexibilidad y eficiencia en los procesos productivos.

En este sentido, la propuesta de actualizar una máquina etiquetadora de envases cilíndricos ubicada en la empresa IPROCESS IND, a través de, la implementación de la tecnología IO-Link busca demostrar la efectividad de esta tecnología en la optimización de procesos industriales. Al mismo tiempo se busca tomar como ejemplo esta máquina etiquetadora, para demostrar a otras empresas y personas que este tipo de protocolo y tecnología puede ser implementado en sus propios procesos, lo que resultará en un ahorro de costos y tiempos, en la identificación y solución de problemas.

La implementación de la tecnología IO-Link en una máquina etiquetadora permitirá una comunicación bidireccional, lo que facilitará la detección de errores y el mantenimiento preventivo. Además, gracias a la capacidad de esta tecnología para integrarse con otros sistemas y dispositivos, se podrá automatizar y optimizar el proceso de etiquetado, aumentando la eficiencia.

4 Capítulo 1: Marco teórico

4.1 Etiquetadoras de envases

Las etiquetadoras de envases son máquinas que se encargan de aplicar etiquetas en envases rígidos, bolsas, cajas, frascos y otros tipos de recipientes. Las etiquetas pueden ser autoadhesivas, pegadas mediante calor o pegamento frío. Estas máquinas son diseñadas y fabricadas por empresas especializadas en la industria de etiquetado. (Iteco, 2023)

Las etiquetadoras de envases se componen de especificaciones técnicas como gabinetes y transportadores fabricados en acero inoxidable con soportes, ruedas y frenos, bandas transportadoras para los envases, un sistema eléctrico, panel de control con pantalla táctil y un interruptor de emergencia. (Iteco, 2023)

4.1.1 Clasificación según el volumen de producción

4.1.1.1 Etiquetadoras Manuales

Son las más económicas y sencillas, permiten etiquetar productos de forma manual con una pistola etiquetadora o una impresora de etiquetas. Están pensadas para pequeñas producciones, como productos artesanales con poco volumen de unidades. (MarCoPack, 2023)

4.1.1.2 Etiquetadoras Semiautomáticas

Aplican etiquetas de forma semiautomática, lo que implica que el operador coloca manualmente los productos en la máquina y la etiquetadora aplica automáticamente la etiqueta en el envase. Se adaptan a pequeñas y medianas producciones donde la velocidad no es crítica. (MarCoPack, 2023)

4.1.1.3 Etiquetadoras Automáticas

Son máquinas completamente automáticas que se encargan de etiquetar los productos sin necesidad de intervención manual, aunque sí precisan supervisión. Son capaces de etiquetar grandes cantidades de productos a alta velocidad y se adaptan a medianas y grandes producciones donde se prioriza la calidad y rentabilidad. (MarCoPack, 2023)



Figura 1. Etiquetadora semiautomática

Fuente: (ENYMA, 2023)

4.2 Automatización industrial

“Se define un sistema (máquina o proceso) automatizado, como aquel capaz de reaccionar de forma automática (sin la intervención del operario) ante los cambios que se producen en el mismo, realizando las acciones adecuadas para cumplir la función para la que ha sido diseñado.” (Sanchis Llopis, Romero Pérez, & Ariño Latorre, 2010, pág. 6)

La automatización industrial, es poder hacer procesos de forma autónoma. Generalmente se utilizan elementos para lograr el proceso de forma automática. Algunos elementos son:

- Mecánico
- Neumático
- Eléctrico
- Electrónico analógico o digital

La automatización de una máquina etiquetadora tiene como objetivo realizar el proceso de forma eficiente y autónoma, por lo cual, en caso de existir algún error, este pueda ser notificado de forma inmediata al operador, así mismo, poder realizar un sistema más intuitivo y fácil de operar.

4.3 Sistemas de control

Un sistema de control industrial, es un conjunto de dispositivos, sensores, controladores, actuadores, etc; que se utilizan para monitorear y regular el funcionamiento de un proceso. Estos sistemas pueden ser programados para controlar y ajustar automáticamente los parámetros del proceso, como la temperatura, la presión, el flujo de materiales y otras variables, para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de la maquinaria y minimizar los errores.

Según lo mencionado en el libro "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing" por Mikell P. Groover, los sistemas de control en automatización industrial son esenciales para mejorar la calidad, la productividad y la seguridad de los procesos industriales. Estos sistemas son capaces de realizar tareas repetitivas y monótonas sin fatigarse, lo que permite una mayor eficiencia en la producción y reduce el riesgo de errores humanos que pueden poner en peligro la seguridad y la calidad del proceso. (Groover, 2014)

4.3.1 Sistema de control de lazo abierto

Un sistema de control de lazo abierto es un tipo de sistema de control donde la salida del proceso no se retroalimenta para ajustar la entrada del sistema. En otras palabras, la entrada del sistema no se ajusta en función de la salida del proceso. El controlador simplemente envía una señal de entrada constante al proceso sin tener en cuenta la respuesta del mismo. Debido a que el sistema no recibe retroalimentación, no es capaz de ajustarse a las condiciones variables del proceso y es susceptible a errores debido a las variaciones en él. (Katsuhiko, 2010)

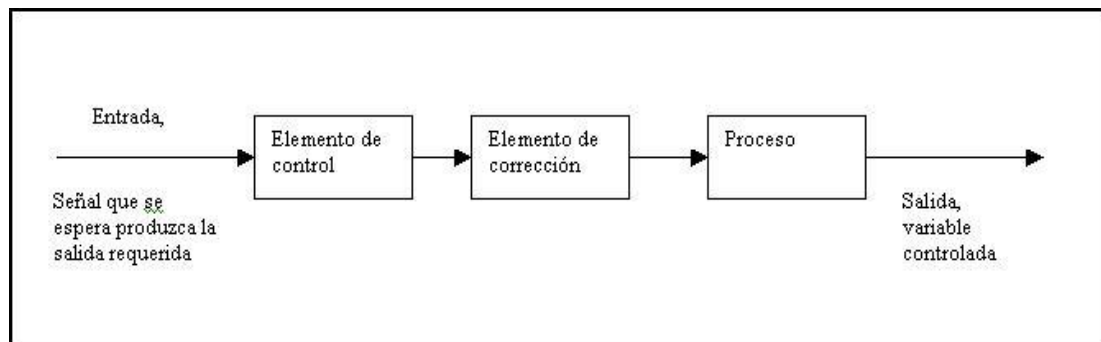


Figura 2. Diagrama básico de lazo abierto

Fuente: Autor propio

4.3.2 Sistema de control de lazo cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es un tipo de sistema de automatización donde la salida del proceso se retroalimenta para ajustar la entrada. En otras palabras, la entrada del sistema se ajusta automáticamente en respuesta a los cambios del proceso. El controlador mide la salida del proceso y la compara con la entrada deseada. Luego, ajusta la señal de entrada en consecuencia para que la salida se acerque a la entrada deseada. Debido a que el sistema recibe retroalimentación, es capaz de ajustarse a las condiciones del proceso y es menos susceptible a errores.

Los sistemas de control de lazo cerrado se utilizan comúnmente en aplicaciones en las que se requiere una alta precisión donde la respuesta del sistema es crítica, así como en sistemas de control de temperatura, control de velocidad de motores y sistemas de control de posicionamiento de robots, entre otros. Estos sistemas son capaces de mantener la salida del proceso dentro de un rango deseado y proporcionan una mayor precisión y control en comparación con los sistemas de lazo abierto. (Katsuhiko, 2010)

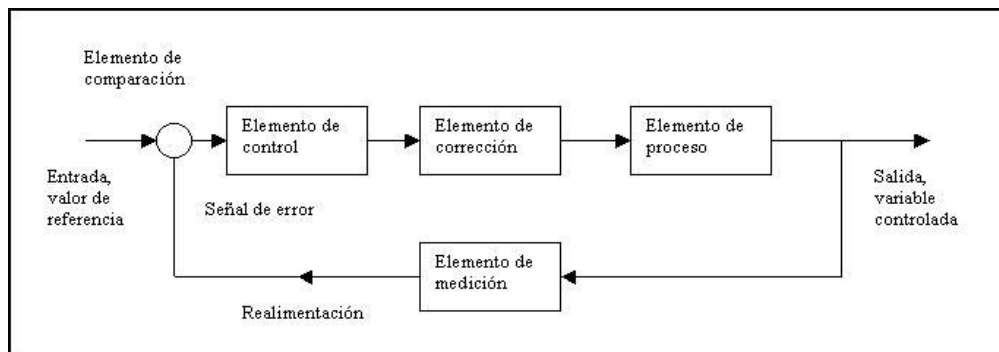


Figura 3. Diagrama básico de lazo cerrado

Fuente: Autor propio

4.3.2.1 Sistema de control ON/OFF

Los sistemas de control ON/OFF son uno de los métodos de control más simples y comunes utilizados en aplicaciones industriales. Estos sistemas funcionan mediante la detección de una variable de proceso y la activación de una salida cuando se alcanza un valor preestablecido (setpoint).

Estos sistemas son ampliamente utilizados en aplicaciones de control de nivel, presión, temperatura, flujo, entre otros. Son fáciles de implementar y no requieren una programación compleja, lo que los hace atractivos para aplicaciones que requieren una respuesta simple y rápida.

Sin embargo, los sistemas de control ON/OFF tienen algunas limitaciones. En primer lugar, pueden provocar fluctuaciones en la variable de proceso controlada, lo que puede ser especialmente problemático en sistemas que requieren una alta precisión. (Villajulca, 2022)

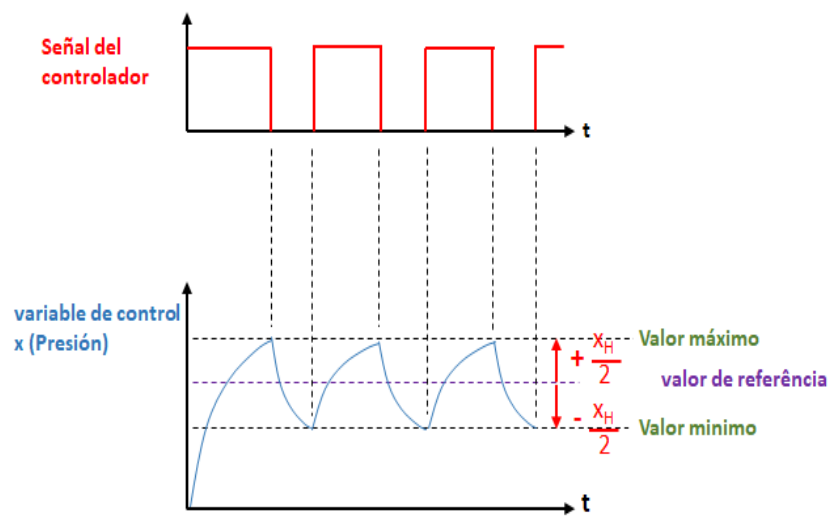


Figura 4. Sistema de control ON/OFF

Fuente: (Learnchannel TV, 2017)

4.4 Industria 4.0

La Industria 4.0 es una revolución que combina técnicas avanzadas de producción con tecnologías inteligentes integradas en organizaciones, personas y activos. Su objetivo es mejorar la eficiencia en la producción y los servicios, a través de la utilización de nuevas tecnologías como la robótica, análisis de datos, la inteligencia artificial y el internet de las cosas (IoT).

Para alcanzar estos objetivos, las empresas deben identificar las tecnologías adecuadas para sus necesidades, comprender los cambios y oportunidades que ofrece la Industria 4.0 y evitar perder su cuota de mercado. La integración digital permite llevar a cabo negocios en un ciclo continuo y el acceso en tiempo real a la información.

Este flujo ocurre en un ciclo iterativo, que involucra la captura de información del mundo físico y su transformación en un registro digital, el análisis de la información y la traducción de las decisiones del mundo digital a acciones en el mundo físico. (Deloitte, 2023).

4.4.1 IO-Link

IO-Link es un protocolo de comunicación bidireccional utilizado para conectar sensores y maestros, tal como se ilustra en la Figura 5. IO-Link no constituye una red independiente, sino que facilita la transmisión de datos entre diferentes redes. Esta interfaz permite que los dispositivos inteligentes aprovechen al máximo sus capacidades, lo que añade un valor en términos de diseño, instalación, operación y mantenimiento. Como resultado, se logra una mayor eficiencia y una reducción de los costes de producción. (AUTYCOM, 2020)

IO-Link es capaz de intercambiar paquetes de datos entre un sistema de entradas y salidas compatibles y los dispositivos de campo, lo que permite una comunicación bidireccional y una mayor flexibilidad en la configuración y control de los sensores. Cada sensor que utiliza IO-Link tiene un archivo que describe el dispositivo y sus capacidades, lo que permite que el sistema pueda identificar y utilizar de forma óptima las capacidades de cada sensor. (AUTYCOM, 2020)

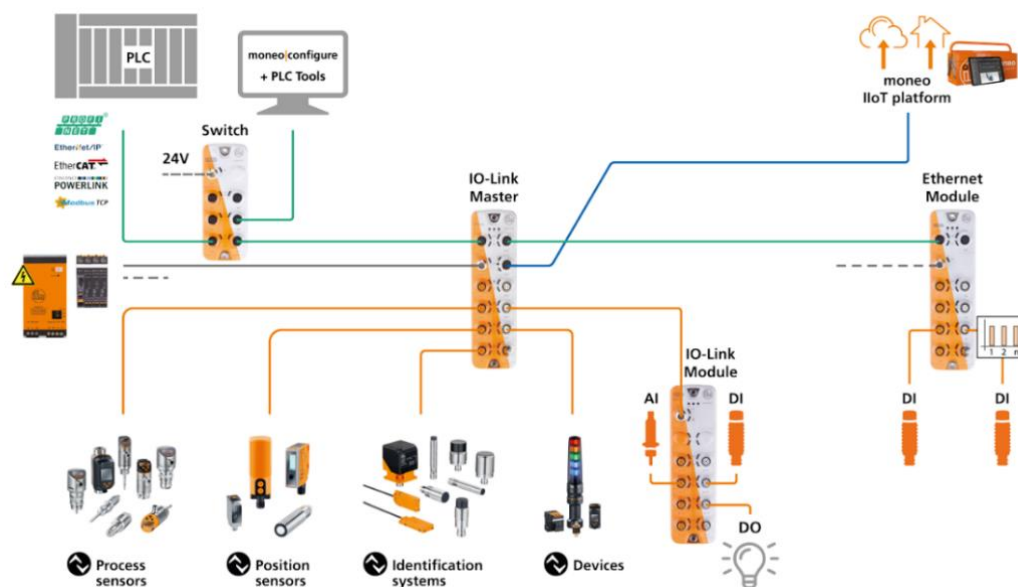


Figura 5. Esquema de conexiones IO-Link

Fuente: (IFM, 2023)

Según IFM el IO-Link posee las siguientes ventajas: (IFM, 2023)

- Sencilla puesta en marcha y cambio rápido de los sensores.
- Valores de medición precisos y transmisión sin interferencias.
- Independiente del sistema de control y del bus de campo.
- Múltiples valores de medición en un equipo.
- Acceso remoto a los parámetros del sensor.
- Mantenimiento condicional y diagnóstico.
- Detección de fluidos, espuma y suciedad.

La comunicación mediante IO-Link se caracteriza por ser digital y se lleva a cabo de manera bit a bit, lo que significa que los datos se transmiten de forma individual a través del medio de comunicación. Esto permite codificar múltiples cadenas de bits para transmitir más valores hacia el controlador, al tiempo que el controlador puede modificar datos en el sensor, como puntos de ajuste o modos de medición.

El sistema IO-Link se basa en una conexión punto a punto, lo que implica que cada sensor debe estar conectado a un punto específico, en lugar de utilizar direccionamientos como en un bus de campo. Los sensores se conectan a los maestros IO-Link, que posteriormente transfieren los datos mediante otro protocolo de comunicación al controlador.

Existen dos tipos de maestros IO-Link: tipo A y tipo B. Los maestros tipo A pueden alimentar a los dispositivos esclavos, mientras que los tipos B carecen de esta capacidad. La tecnología IO-Link está estandarizada bajo la norma IEC 61131-9 interfaz digital de comunicación punto a punto para sensores y accionadores pequeños.

El IO-Link se utiliza en una amplia gama de aplicaciones en la automatización industrial, que incluyen:

- Comunicación de sensores y actuadores para mejorar la eficiencia en la detección y control de procesos.
- Configuración y parametrización remota de dispositivos para simplificar la instalación y ajuste de equipos.
- Diagnóstico en tiempo real para un monitoreo continuo y una rápida identificación de problemas.

- Identificación única de dispositivos para facilitar la gestión y mantenimiento del sistema.
- Integración con sistemas de control para optimizar la automatización.
- Mejora en la eficiencia energética mediante la monitorización y ajuste de parámetros.
- Contribución a la implementación de conceptos de Industria 4.0 mediante una mayor conectividad, interoperabilidad y acceso a datos para la toma de decisiones.

La tecnología IO-Link desempeña un papel crucial en la industria al proporcionar mejoras en eficiencia, flexibilidad y gestión de datos. Algunas aplicaciones específicas en la industria incluyen:

- **Automatización Industrial:** Facilita la comunicación eficiente de sensores y actuadores, permitiendo la automatización de procesos y una respuesta rápida a cambios en las condiciones de producción.
- **Control de Procesos:** Proporciona supervisión y control en tiempo real de procesos industriales mediante datos detallados sobre el estado de los dispositivos, mejorando la calidad y consistencia de la producción.
- **Maquinaria y Robótica:** Facilita la conexión y comunicación entre diferentes componentes, permitiendo una integración más eficiente y una adaptación rápida a diferentes configuraciones.
- **Gestión de Inventarios:** Utilizado para monitorear y gestionar inventarios mediante la identificación única de dispositivos, facilitando la trazabilidad y gestión de existencias.
- **Mantenimiento Predictivo:** Permite la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo al anticipar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallas críticas.
- **Industria 4.0:** Proporciona mayor conectividad y permitir la recopilación de datos para análisis avanzados, optimización de procesos y toma de decisiones basada en datos.
- **Sensores Inteligentes:** Permite que los sensores se vuelvan más inteligentes al proporcionar información adicional, como ajustes de parámetros y datos de diagnóstico, mejorando su capacidad de adaptación.

4.5 Sensores

Los sensores industriales son dispositivos electrónicos diseñados para detectar y responder a cualquier tipo de entrada en un entorno físico. Estos dispositivos convierten las señales físicas y las transforman en salidas, redirigiéndola a una pantalla para su análisis. Los sensores industriales pueden detectar objetos de diferentes colores, texturas, brillos, velocidades, formas y tamaños. (SDI, 2022)

Los sensores industriales tienen muchas aplicaciones en el campo, como medir la velocidad de rotación, la masa y el momento de inercia. Además, los sensores son útiles para llevar un control de los procesos, permitiendo detectar, analizar, medir y procesar una variedad de transformaciones imposibles de rastrear para los seres humanos. Los sensores pueden medir diferentes variables, como la temperatura, la presión, el nivel, el flujo, el pH, el voltaje, la corriente y la frecuencia, la rotación, el número de ciclos, la posición, la dirección de desplazamiento, las presiones estáticas y dinámicas, la proximidad, la humedad, la vibración, la velocidad o la dirección del viento. (SDI, 2022)

4.5.1 Sensores fotoeléctricos

Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo óptico que se compone de una fuente de luz, un receptor, un circuito de control y procesamiento de señales. Su función principal es detectar la presencia de objetos y en algunos casos también pueden determinar la distancia. (OMCH, 2021)

Cuando un objeto interrumpe la luz emitida, se produce un cambio que activa o desactiva la salida del sensor. Algunos sensores fotoeléctricos también pueden medir la distancia al objeto mediante el uso de propiedades de la luz como la intensidad, dirección de propagación, frecuencia y polarización. (OMCH, 2021)

4.5.1.1 Sensores de barrera

Como se observa en la figura 6, consta de un emisor y un receptor instalados uno frente al otro. El emisor emite un haz de luz que cae sobre el sensor del otro lado. Cuando un objeto entra en la línea de visión del sensor, interrumpe el haz y el sensor interpreta la ausencia de luz como la detección de un objeto. (OMCH, 2021)

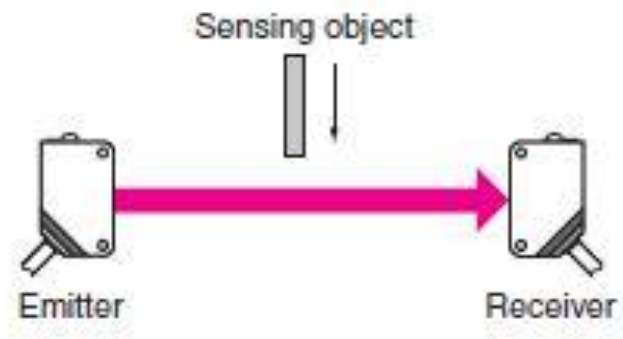


Figura 6. Sensor de barrera

Fuente: (OMCH, 2021)

Entre las aplicaciones más comunes para los sensores de barrera encontramos las siguientes: (Blog de Automatización, 2023)

- Detección de objetos durante la producción.
- Detección de líquido en botellas transparentes.
- Detectar, contar y empaquetar tabletas.

Entre los sensores de barrera, tenemos los sensores de horquilla los cuales en una misma carcasa tenemos tanto emisor y receptor en ambos extremos, y al no tener en cuenta la reflexión podremos centrarnos en la intensidad del haz de luz recibida, de esta forma podremos detectar tamaños de objetos más precisos como las etiquetas que se colocan en las botellas PET.

4.5.1.2 Sensores de reflexión difusa

Los sensores reflectantes difusos como se muestra en la Figura 7, son dispositivos que contienen todo el hardware necesario en una sola carcasa. Durante su funcionamiento, el emisor emite una luz que nunca regresa al sensor. Cuando un objeto se coloca en el haz, refleja parte de la luz de vuelta al sensor. La cantidad de luz reflejada es monitoreada por el sensor, y si es más que un valor fijo, se activa la salida. (OMCH, 2021)

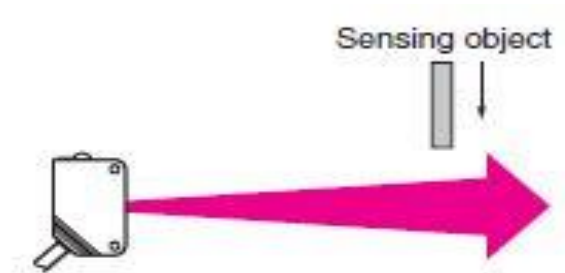


Figura 7. Sensor de reflexión difusa

Fuente: (OMCH, 2021)

4.5.1.3 Sensores retro reflectantes

Los sensores retro reflectantes como se muestra en la Figura 8, son dispositivos que constan de un único componente que emite y detecta luz reflejada. Utilizan un reflector especial llamado "retroreflector" para reflejar la luz emitida. Cuando un objeto interrumpe el haz de luz, la intensidad del haz reflejado se reduce y el sensor detecta este cambio para activar o desactivar la salida. (OMCH, 2021)

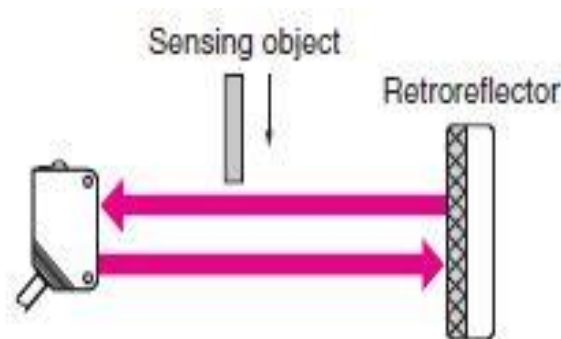


Figura 8. Sensor con retroreflector

Fuente: (OMCH, 2021)

Entre las aplicaciones más comunes encontramos lo siguientes: (Blog de Automatización, 2023)

- Detección de película transparente.
- Detección de pallets retractilados.
- Detección de cualquier objeto reflectante.

Estos sensores son perfectos para detectar botellas transparentes, como las botellas de PET, ya que son más compactos porque el emisor y el reflector están alojados en el mismo cuerpo. Debido a su capacidad de reflejar la luz de manera precisa y directa al sensor es más eficiente con respecto al difuso, ya que las botellas PET pueden refractar la luz y dispersarse.



Figura 9. Sensor fotoeléctrico IFM para detección de botellas

Fuente: (IFM, 2023)

4.5.2 Encoder

“El encoder es un dispositivo electromecánico que permite codificar el movimiento mecánico en distintos tipos de impulsos eléctricos: digital binario, analógicos en función de una onda, pulsos, etcétera. De este modo, un encoder es una interfaz entre un dispositivo mecánico móvil y un controlador.” (DE HERRAMIENTAS Y MAQUINAS, 2018)

Un encoder convierte el movimiento en una señal eléctrica que puede ser leída por un dispositivo en un sistema de control, la cual, puede ser utilizada para determinar la posición, contar vueltas, velocidad de rotación o angular y dirección. Los encoders pueden utilizar diferentes tecnologías para crear una señal, magnética, óptica y de resistencia, siendo la detección óptica la más común. En detección óptica, el encoder proporciona información basada en la interrupción de la luz. (Encoder products company, 2023)



Figura 10. Encoder de la marca IFM

Fuente: (IFM, 2023)

4.5.2.1 Encoder absoluto

Un encoder absoluto es un tipo de encoder que determina su posición utilizando un punto de referencia estático. Hay dos discos concéntricos, uno fijo y otro móvil, que contienen marcadores de compensación.

A medida que el disco gira, los marcadores a lo largo del rango del encoder cambian de posición en el disco fijo y cada configuración a lo largo del disco representa un código binario único. Este código binario, observado dentro del encoder absoluto, permite determinar la posición absoluta del objeto, así como se observa en la figura 11. (DYNAPAR, 2017)

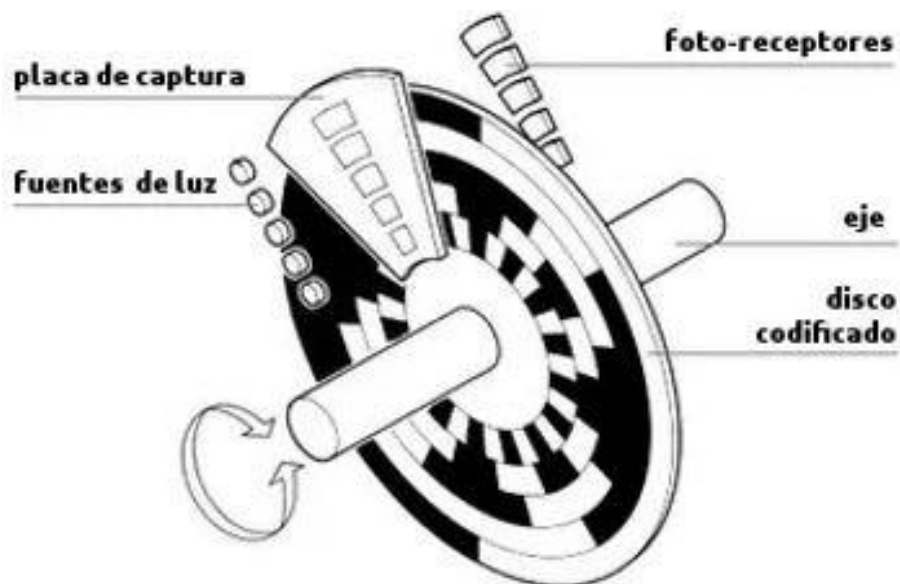


Figura 11. Esquema de codificador de encoder absoluto

Fuente: (Ibaindustrial, 2024)

Los encoders absolutos tienen una mayor precisión, ya que nos proporcionan la posición exacta en cada momento, después de apagarse no necesitamos ajustar la posición, es muy útil en equipos como CNC, robots industriales, etc.

4.5.2.2 Encoder incremental

Los encoders incrementales son dispositivos que registran una cantidad fija de pulsos por cada revolución del eje, proporcionando información sobre la velocidad y ángulo del mismo. (Pepperl+Fuchs, 2023)

Existen encoders incrementales de 2 canales y señales de salida de movimiento de cambio de 90° que permiten detectar la dirección de rotación, así como se observa en la figura 12 únicamente tomando en cuenta los canales A y B, lo que es útil para controlar el posicionamiento bidireccional del eje. Por otro lado, los encoders incrementales de 3 canales generan una señal cero adicional por cada revolución, al igual que la figura 12 el canal Z sirve como cero, que puede utilizarse para un ciclo de referencia o para medir la longitud. (Pepperl+Fuchs, 2023)

La precisión de los encoders incrementales depende de la resolución del encoder y de la precisión del sistema de conteo de pulsos, suelen ser más económicos que los absolutos y nos permiten un control preciso del movimiento.

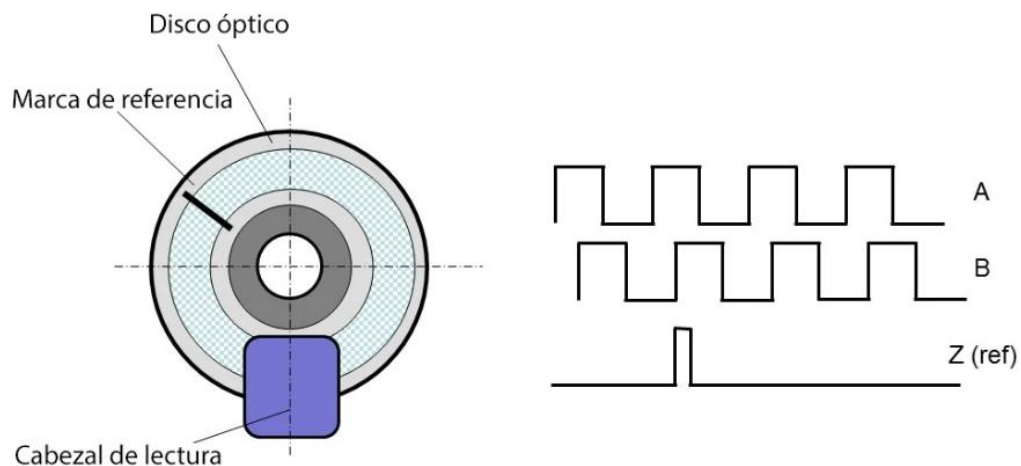


Figura 12. Esquema de codificador de encoder incremental

Fuente: (Celera motion, 2024)

4.5.3 Motores eléctricos

Un motor eléctrico como los que se muestran en la figura 11, es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica a través de la acción de campos magnéticos generados por bobinas dentro del motor. Los motores eléctricos tienen seis componentes principales: el estator, que es la parte fija de la parte rotativa y transmite la potencia o corriente alterna; el rotor, que es la parte giratoria y soporta un juego de bobinas enrolladas sobre piezas polares estáticas; el conmutador, que cambia periódicamente la dirección de la corriente entre el rotor y el circuito externo; y las escobillas, que establecen la conexión eléctrica entre la máquina y las bobinas del rotor. (TRANSELEC, 2023)

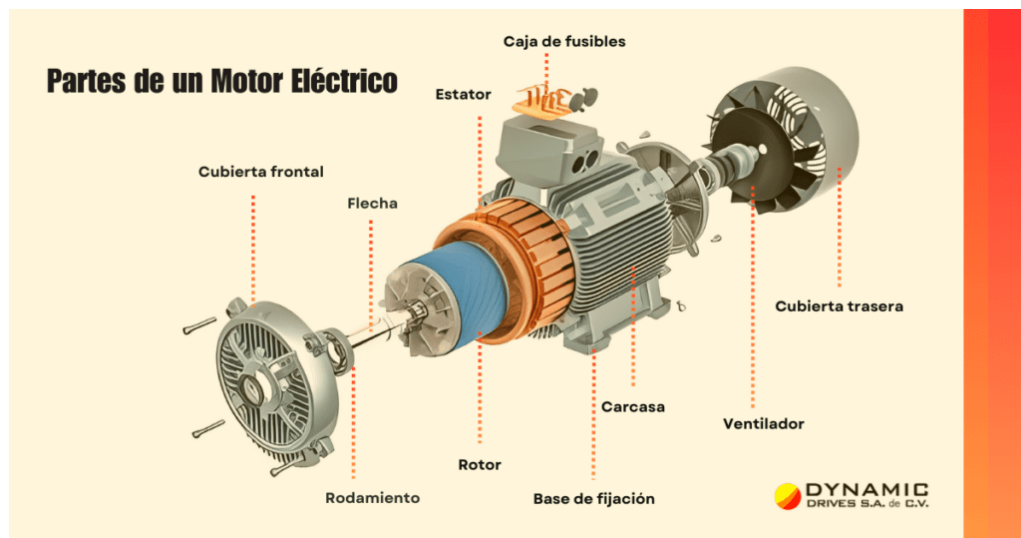


Figura 13. Motores eléctricos

Fuente: (Dynamic drives, 2024)

El funcionamiento de un motor eléctrico se basa en la creación de campos magnéticos opuestos entre el rotor y el estator. El rotor, envuelto en un cableado denominado bobina, comienza a girar debido a la oposición de los campos magnéticos. Para evitar que el motor se detenga cuando los polos se alinean, se invierte la polaridad del electroimán mediante un alternador. (TRANSELEC, 2023)

4.5.4 Variadores de frecuencia

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que se utiliza para controlar la velocidad de los motores de corriente alterna (CA) de manera precisa y sin afectar el consumo eléctrico, por motor, entre otros aspectos.

El variador se conecta a una interfaz de operador que permite ajustar la velocidad del motor. También se le conoce como variador de velocidad, variador de velocidad ajustable, variador de frecuencia ajustable, variador de CA, microdrive e inversor. (ABB, 2023)

El variador de frecuencia se encarga de variar la frecuencia y el voltaje suministrado al motor eléctrico para controlar su velocidad de manera eficiente y precisa. Además, también tiene la capacidad de controlar la aceleración y desaceleración del motor durante el arranque o la parada. (ABB, 2023)

La frecuencia y las RPM del motor están directamente relacionadas, por lo que un aumento en la frecuencia aumenta la velocidad del motor y viceversa. El variador de frecuencia se utiliza en aplicaciones donde no es necesario que el motor funcione a toda velocidad, permitiendo reducir la frecuencia y el voltaje para cumplir con los requisitos de carga del motor eléctrico. (ABB, 2023)



Figura 14. Variadores de frecuencia Danfoss

Fuente: (Danfoss, 2023)

4.5.5 Servomotores

Un servomotor es un dispositivo que combina un motor de corriente continua o alterna con un encoder para la retroalimentación de posición, permitiendo un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad. Es un servomecanismo de bucle cerrado que utiliza la retroalimentación de posición para controlar su velocidad de rotación y posición. (Compañía levantina de reductores, 2017)

El codificador o encoder sirve como sensor, proporcionando retroalimentación de velocidad y posición. Los servomotores están disponibles en una gran variedad de tipos,

formas y tamaños, son utilizados en una amplia gama de aplicaciones industriales y de automatización. (Compañía levantina de reductores, 2017)



Figura 15. Servomotor YASKAWA

Fuente: (YASKAWA, 2023)

4.6 Interfaz hombre-máquina (HMI)

“La Interfaz Hombre-Máquina (HMI, por sus siglas en inglés) es la interfaz entre la máquina procesadora y el operario. En esencia, es el panel de control del operario. Es la herramienta principal que los operarios y los supervisores de línea utilizan para coordinar y controlar procesos y máquinas industriales. Las HMI traducen complejas variables de proceso en información utilizable y procesable.” (AVEVA, 2023)

Su función principal es mostrar información operativa en tiempo real, proporcionando gráficos de procesos visuales para el control y la optimización de la producción y del proceso, para que el operador pueda controlar el sistema y tomar buenas decisiones.

Las HMI modernas deben centrar automáticamente la atención del operario en el problema, seguir procedimientos operativos estándar y proporcionar pantallas pertinentes de forma inmediata. Además, deben conectar personas, aplicaciones y máquinas para lograr un nivel superior de colaboración, eficiencia y economía. Esto significa exponer información relevante a las personas adecuadas en el momento adecuado, permitiéndoles tomar decisiones mejores y más precisas en función de la información disponible. (Becolve, 2023)

4.7 AutoCAD electrical

AutoCAD Electrical es un software de diseño que se enfoca en la creación de controles eléctricos. Es una versión especializada de AutoCAD, que incluye todas las funciones de AutoCAD, además de un conjunto completo de funciones de instalación eléctrica CAD. También ofrece una biblioteca de símbolos globales y herramientas para automatizar tareas.

Algunas de las tareas que se pueden acelerar con AutoCAD Electrical son la numeración y etiquetado de componentes, la creación automática de paneles, la generación automática de diagramas y el uso de librería de símbolos inteligentes. Además, cuenta con una librería de componentes estándar y soporta los principales estándares de la industria. (SEMCOCAD, 2023)

4.8 Inventor

Autodesk Inventor es un software de diseño asistido por computadora que se enfoca en el modelado mecánico en 3D, simulación, visualización y documentación. Permite integrar datos 2D y 3D en un entorno único, generando una representación virtual del producto final para validar su forma, ajuste y función antes de la construcción. Incluye herramientas de modelado paramétrico, de edición directa y de forma libre.

Inventor ofrece una potente combinación de capacidades de diseño paramétrico, incluyendo diseño directo, de forma libre y basado en reglas. Proporciona herramientas integradas para chapas, diseño de marcos, tubos y tuberías, cables y arneses, presentaciones, renderizado, simulación, diseño de máquinas y mucho más. (3Dnatives, 2022)

5 Capítulo 2: Diseño de actualización

A continuación, presentamos aquellos aspectos relacionados con el diseño de los principales componentes involucrados en la etiquetadora, teniendo en cuenta que utilizaremos la tecnología IO-Link. La constante evolución tecnológica en el ámbito industrial ha impulsado la necesidad de actualizar sistemas y maquinarias para mejorar la eficiencia, precisión y funcionalidad. En este contexto, nos enfocaremos en la actualización de una máquina etiquetadora de botellas, incorporando las ventajas y beneficios que nos ofrece el protocolo de comunicación IO-Link.

La tecnología IO-Link se ha posicionado como un estándar de comunicación en la industria 4.0, permitiendo una conexión eficiente, flexible y transparente entre los dispositivos de la máquina y el sistema de control. Su capacidad para transmitir datos de manera rápida y fiable, así como su facilidad de integración con diferentes equipos y componentes, la convierte en una opción ideal para optimizar el rendimiento y la operatividad de la etiquetadora.

Al integrar el protocolo IO-Link en la máquina etiquetadora de botellas, no solo estaremos actualizando su tecnología, sino que también estaremos potenciando su capacidad para adaptarse a futuras innovaciones y requerimientos del mercado. Esta actualización permitirá una gestión más inteligente y automatizada del proceso de etiquetado, mejorando la calidad del producto final, reduciendo los tiempos de operación y aumentando la competitividad en el sector industrial.

5.1 Selección de equipos de potencia

A continuación, mostramos los criterios utilizados para la selección de los equipos de potencia.

5.1.1 Motor de inducción

La banda transportadora instalada en la máquina es una banda de cadena para botellas plásticas, que utiliza un motor de inducción y un variador de frecuencia para controlar las velocidades.

5.1.1.1 Introducción a motores trifásicos de corriente alterna

De acuerdo a lo descrito en el punto 5.5.3 del presente documento, un motor es un dispositivo electromecánico que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores para las bandas transportadoras hacen girar un piñón que mueve la banda, pero debido al peso que pueda desplazar la banda se agregan cajas de engranajes reductoras.

Los motores trifásicos se clasifican en: motores síncronos y asíncronos. En los motores síncronos la velocidad está sincronizada con la frecuencia de la corriente alterna suministrada, en cambio los motores asíncronos poseen un deslizamiento entre la velocidad del campo electromagnético giratorio del estator y la velocidad real del rotor.

El motor más utilizado es el motor asíncrono o de inducción. Funciona según la cuarta ley de Maxwell, que establece que una corriente variable produce un campo electromagnético variable en sentido opuesto. Debido al desfase, cada una de las fases hace que las bobinas se energicen secuencialmente para generar movimiento giratorio.

Para calcular la velocidad de un motor asíncrono, necesitamos saber el porcentaje de deslizamiento del mismo y la velocidad síncrona del motor, los fabricantes suelen proporcionar esta información en la placa del motor.

5.1.1.2 Motor de banda transportadora

Para la selección del motor debemos tener en cuenta el peso de la carga, el coeficiente de fricción entre la banda y la carga, la velocidad de la banda y la eficiencia del sistema.

Para ello tomaremos de punto de partida el motor actualmente instalado, de tal forma que verificaremos si este requiere algún cambio, o podemos conservarlo. La banda transportadora trabaja a 4 velocidades preestablecidas las cuales son: 8 m/min, 15 m/min, 20 m/min y 25 m/min.

El motor que está instalado es un motor con una potencia de 0.25 hp, que a 220 VAC 50 Hz consume una corriente de 1.2 A, a una velocidad de 1350 RPM, esto es observado en la placa del motor que se muestra en la figura 16.

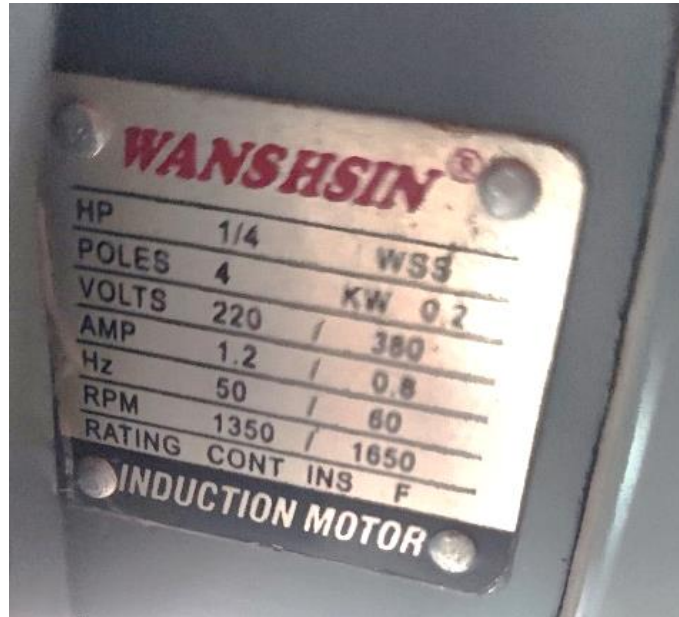


Figura 16. Placa de motor de banda transportadora

Fuente: (WANSHSIN, 2024)

Este mismo motor está acoplado a una caja reductora modelo GV-22 con una relación 1/15, es decir, por cada 15 vueltas del motor, el piñón de la caja reductora dará una vuelta, la placa de esta la observamos en la figura 17.



Figura 17. Placa de caja reductora

Fuente: (WANSHSIN, 2024)

En Nicaragua, la frecuencia de la red de alimentación eléctrica es de 60 Hz. Para calcular el deslizamiento de un motor trifásico asíncrono, es necesario conocer esta frecuencia, el número de polos del motor.

$N_s = \text{velocidad teórica nominal}$

$N_r = 1650 \text{ RPM} = \text{velocidad nominal}$

$S = \text{índice de deslizamiento}$

$P = 4 = \text{número de polos}$

$f_r = 60 \text{ Hz} = \text{frecuencia nominal}$

$P_r = 2 = \text{número de pares de polos}$

$$N_s = \frac{60 * f_r}{P/P_r} \quad (1)$$

$$N_s = \frac{60 * 60 \text{ Hz}}{4/2}$$

$$N_s = 1800 \text{ RPM}$$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2)$$

$$S = \frac{1800 \text{ RPM} - 1650 \text{ RPM}}{1800 \text{ RPM}}$$

$$S = 8.30 \%$$

Cuando una banda transportadora es accionada por un motor con torque constante, es fundamental verificar la velocidad de aceleración. Si la fuerza que ejerce la banda sobre la botella es mayor que la fuerza de rozamiento la botella tenderá a moverse, en ese caso, la botella perderá estabilidad y caerá, de este razonamiento resulta la ecuación 6.

El coeficiente de fricción no lo proporciona el fabricante de la cadena según el material del que está compuesta esto según el tipo de material que transportara, el material de la banda es Ultra Performance Homopolymer Delrin (UP), esto lo observamos en la tabla 1, el cual es proporcionado en el manual de ingeniería de la marca Regina Chain sección 1.8.1y las especificaciones de la misma en la figura 18, proporcionadas en el catálogo general, el valor del coeficiente de fricción que tomaremos será el de agua con jabón que es de 0.13.

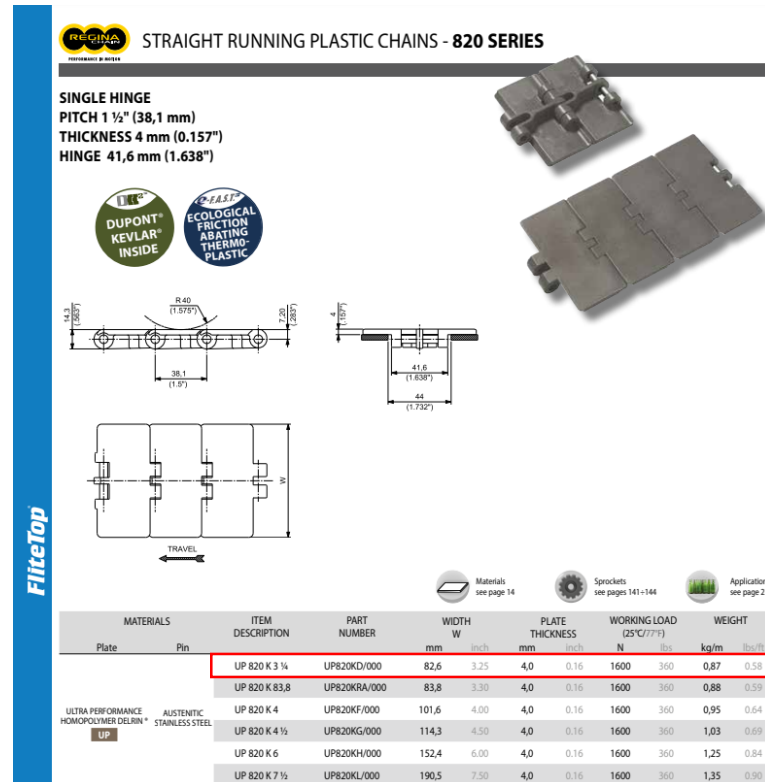


Figura 18. Característica de cadena Regina 820

Fuente: (Regina chain, 2024)

Tabla 1. Coeficientes de fricción entre bandas y el producto

CHAIN / BELT MATERIAL	LUBRICATION	PRODUCT MATERIAL					
		ALUMINUM CANS	NEW GLASS BOTTLES	RETURNABLE GLASS BOTTLES	PET / PLASTIC	STEEL	PAPER / CARTON
DK	Dry	0,14	0,11	0,16	0,14	0,15	0,21
	Water	0,12	0,10	0,15	0,13	0,14	-
	Water & Soap	0,11	0,09	0,12	0,12	0,12	-
	Oil	-	-	-	-	0,10	-
e-FAST	Dry	-	-	-	0,12	-	-
	Water	-	-	-	0,11	-	-
	Water & Soap	-	-	-	0,10	-	-
	Oil	-	-	-	-	-	-
UP	Dry	0,17	0,13	0,16	0,17	0,18	0,24
	Water	0,14	0,12	0,15	0,15	0,16	-
	Water & Soap	0,12	0,10	0,13	0,13	0,13	-
	Oil	-	-	-	-	0,10	-
WA	Dry	0,19	0,15	0,19	0,20	0,25	0,28
	Water	0,15	0,13	0,16	0,17	0,20	-
	Water & Soap	0,12	0,10	0,14	0,14	0,15	-
	Oil	-	-	-	-	0,10	-
ULF	Dry	0,18	0,15	0,17	0,17	0,20	0,25
	Water	0,14	0,13	0,16	0,15	0,18	-
	Water & Soap	0,12	0,10	0,14	0,13	0,15	-
	Oil	-	-	-	-	0,10	-
AR	Dry	0,20	0,15	0,22	0,22	0,30	0,32
	Water	-	-	-	-	-	-
	Water & Soap	-	-	-	-	-	-
	Oil	-	-	-	-	-	-
PP	Dry	0,26	0,23	0,25	0,24	0,30	0,32
	Water	0,19	0,17	0,20	0,19	0,21	-
	Water & Soap	0,15	0,11	0,15	0,14	0,16	-
	Oil	-	-	-	-	0,10	-
Stainless Steel (SS, SS-4, Prima)	Dry	0,33	0,32	0,34	0,28	0,37	0,40
	Water	0,28	0,30	0,32	0,20	0,32	-
	Water & Soap	0,15	0,15	0,16	0,15	0,16	-
	Oil	-	-	-	-	0,10	-
S	Dry	0,33	0,32	0,34	0,30	0,40	0,40
	Water	-	-	-	-	-	-
	Water & Soap	-	-	-	-	-	-
	Oil	-	-	-	-	0,10	-

Fuente: (Regina chain, 2024)

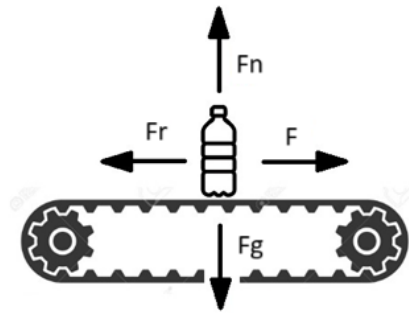


Figura 19. Diagrama de fuerzas aplicadas sobre la botella

Fuente: Autor propio

Para el cálculo utilizaremos el diagrama de fuerzas mostrado en la figura 19 y tomaremos en cuenta una botella de 500 ml con una masa aproximada de 30 gramos llena de agua destilada con una densidad de 1000 kg/m^3 , resultando en una masa de 0.53 kg aproximadamente.

F_{gravedad} = Fuerza de la gravedad

μ = Coeficiente de rozamiento = 0.13

F = Fuerza de desplazamiento

g = Constante gravitacional

= 9.81 m/s^2

F_{Normal} = Fuerza normal

m = Masa de objeto = 0.53 kg

$F_{\text{rozamiento}}$ = Fuerza de rozamiento

$$\sum F_y = 0 \quad (3)$$

$$F_{\text{Normal}} + (-F_{\text{gravedad}}) = 0$$

$$F_{\text{Normal}} = F_{\text{gravedad}}$$

$$F = m * a \quad (4)$$

$$F_{\text{gravedad}} = m * g$$

$$F_{\text{gravedad}} = 0.53 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{gravedad}} = 5.20 \text{ N}$$

$$F_{\text{Normal}} = 5.20 \text{ N}$$

$$F_{rozamiento} = \mu * F_{Normal} \quad (5)$$

$$F_{rozamiento} = 0.13 * 5.20 \text{ N}$$

$$F_{rozamiento} = 0.68 \text{ N}$$

$$\sum F_x > 0 \quad (6)$$

$$F + (-F_{rozamiento}) > 0$$

$$F < F_{rozamiento}$$

$$F < 0.68 \text{ N}$$

Como se observamos en la ecuación 4 que proviene de la segunda ley de Newton, la fuerza es el producto entre la masa y la aceleración, por lo cual, es único momento en que se ejerce una fuerza sobre la botella es cuando la banda transportadora está acelerando; en el momento que la banda llega su velocidad nominal máxima se convierte en un movimiento rectilíneo uniforme por lo cual la aceleración es nula y la fuerza que se ejerce sobre la botella desaparece.

La velocidad máxima que utilizaremos será de 25 m/min, y se consideró una aceleración lineal como lo describe el movimiento rectilíneo acelerado de donde obtenemos la ecuación 7, recordemos que iniciamos del reposo y la fuerza debe ser menor que 0.675 N por lo cual despejando la ecuación 4 obtenemos la aceleración en función de la fuerza y esto lo observamos en la ecuación 8.

$$a = \frac{V_f - V_i}{t} \quad (7)$$

$$a = \frac{F}{m} \quad (8)$$

$$\frac{F}{m} = \frac{V_f - V_i}{t}$$

$$1 \text{ m/s} = 60 \text{ m/min}$$

$$V_f = 25 \frac{\text{m}}{\text{min}} * \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{60 \frac{\text{m}}{\text{min}}}$$

$$V_f = 0.42 \text{ m/s}$$

$$\frac{0.68 \text{ N}}{0.53 \text{ kg}} = \frac{0.42 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{t}$$

$$\frac{0.68 \text{ kg} * \text{m/s}^2}{0.53 \text{ kg}} = \frac{0.42 \text{ m/s}}{t}$$

$$t = \frac{0.42 \text{ m/s}}{1.28 \text{ m/s}^2}$$

$$t = 0.33 \text{ s}$$

Ahora debido a que el tiempo es inversamente proporcional a la aceleración, y la aceleración es directamente proporcional a la fuerza; el tiempo de aceleración mínimo para que la botella no se derrumbe es de 0.33 s.

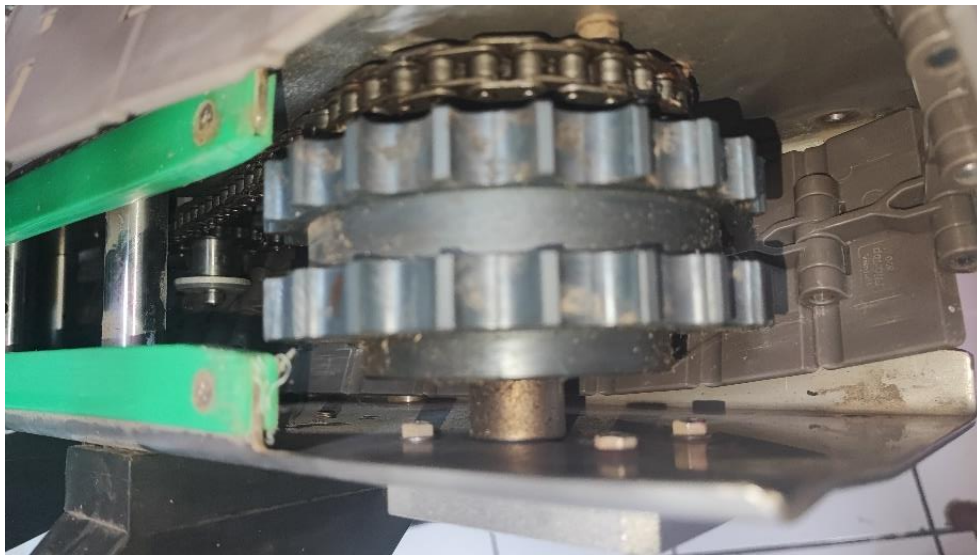


Figura 20. Transmisión de cadena de motor reductor a piñón de banda

Fuente: (Regina chain, 2024)

Así como se muestra en la figura 20, tenemos dos engranajes uno de 30 dientes en lado del piñón de la banda y uno de 15 dientes en la salida del motor reductor en la ecuación 3 se observa se calcula la relación de transmisión entre el motor reductor y la banda transportadora, así mismo, el motor reductor tiene una relación que se muestra en la figura 17 de 1/15, si se multiplican ambas relaciones como se muestra en la ecuación 4 tenemos una relación de 1/30.

$Z_1 = \text{Número de dientes salida del motor reductor} = 15$

$Z_2 = \text{Número de dientes del piñon en la banda transportadora} = 30$

$I_1 = \text{Relación de transmisión del motor reductor} = 1/15$

$I_2 = \text{Relación de transmisión de la banda transportadora}$

$I_t = \text{Relación de transmisión resultante}$

$$I_2 = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (9)$$

$$I_2 = \frac{15}{30} = 1/2$$

$$I_t = I_1 * I_2 \quad (10)$$

$$I_t = 1/15 * 1/2 = 1/30$$

Ahora con la relación de salida que nos proporciona la placa del reductor, la cual es de 1/15, la potencia y la frecuencia proporcionada por la placa del motor podemos estimar el torque de salida del motor reductor, con la tabla 2 obteniendo un resultado de 1.5 kgfm.

Tabla 2. Tabla de torque de motor reductor de WANSHSIN

输出扭矩表 OUTPUT TORQUE DIAGRAM																		KG-M					
■ 标准型 NORMAL TYPE																							
减速比 RATIO	输出转速 OUTPUT RPM		输出扭矩OUTPUT TORQUE																				
			0.1KW		0.2KW		0.4KW		0.75KW		1.5KW		2.2KW		3.7KW		5.5KW		7.5KW				
	50HZ	60HZ	50HZ	60HZ	50HZ	60HZ	50HZ	60HZ	50HZ	60HZ	50HZ	60HZ	50HZ	60HZ	50HZ	60HZ	50HZ	60HZ	50HZ	60HZ			
3	465	570	0.19	0.16	0.37	0.31	0.70	0.60	1.30	1.10	2.60	2.20	3.80	3.20	6.00	5.50	9.8	9	13.4	10.9			
5	300	360	0.31	0.26	0.62	0.52	1.20	1.00	2.20	1.90	4.50	3.80	6.72	5.60	11.0	10.1	16.4	13.3	22.4	18.2			
10	150	180	0.62	0.52	1.24	1.04	2.40	2.00	4.50	3.80	9.10	7.60	13.7	11.2	22.0	20.0	32.9	26.7	44.8	36.4			
15	100	120	0.91	0.76	1.80	1.50	3.60	3.00	6.80	5.70	13.5	11.3	20.1	16.8	32.6	29.8	50.3	40	67.3	54.6			
20	75	90	1.20	1.00	2.40	2.00	4.80	4.00	9.00	7.50	18.1	15.1	26.8	22.4	43.6	36.0	65.8	53.4	89.7	72.8			
25	60	72	1.40	1.20	3.00	2.50	6.00	5.00	11.2	9.40	22.6	18.9	33.6	28.0	53.9	49.5	82.3	66.7	122.2	91			
30	50	60	1.80	1.50	3.60	3.00	7.30	6.00	13.5	11.3	27.1	22.6	40.3	33.6	64.7	58.8	98.7	80.1	134.6	109.2			
40	37	45	2.20	1.90	4.60	3.90	9.30	7.80	17.5	14.6	34.9	29.1	52.0	43.4	86.3	78.4	131	106.8	179.5	145.6			
45	33	40	2.70	2.20	5.40	4.40	10.9	9.10	20.6	17.0	41.4	34.0	59.8	49.6	98.5	81.7	148.1	120.1	202	163.8			
50	30	36	2.80	2.40	5.70	4.80	11.6	9.70	21.9	18.3	43.6	36.4	65.1	54.3	107	97.0	164.4	133.5	244.4	182			
60	25	30	3.40	2.90	6.90	5.80	13.9	11.6	26.2	21.9	52.4	43.7	78.1	65.1	127	115	197.5	160.2	269.3	218.5			
70	21	25	4.30	3.60	8.00	6.80	16.2	13.5	31.5	26.3	62.4	52.0	92.5	77.1	155	125.7	230.4	180.9					
80	19	23	4.80	4.00	9.20	7.70	18.4	15.4	35.5	29.6	70.8	59.0	105	87.5	177.1	143.7	263.3	213.6					
90	17	20	5.20	4.40	10.3	8.60	20.7	17.3	39.3	32.8	77.1	64.3	113	94.3	199.3	161.6	296.3	240.3					
100	15	18	5.80	4.90	11.5	9.60	23.0	19.2	43.2	36.0	83.7	69.8	126	105	221.5	179.6	329.2	267					
120	12	15	6.90	5.80	13.8	11.5	27.7	23.1	51.8	43.2	101	83.7	150	145	265.7	215.5							
140	11	13	8.00	6.70	16.0	13.4	32.0	26.7	59.7	49.8	116	96.8											
160	9	11	9.10	7.60	18.3	15.3	36.3	30.3	68.0	56.7	132	110											
180	8	10	10.3	8.60	20.7	17.3	40.8	34.0	76.8	64.0	148	123											
200	7	9	11.6	9.70	22.9	19.1	43.2	36.0	82.8	69.0													

Fuente: (WANSHSIN, 2024)

Este torque es transmitido por una cadena con relación de 1/2, si consideramos un coeficiente de pérdida de torque (η) de 0.90, con estos datos calcularemos la fuerza de tracción ejercida en la cadena y así mismo el peso máximo que podemos mover con esa fuerza.

$$\eta = \text{coeficiente de pérdida de torque} = 0.98$$

$$T_1 = \text{torque de salida de motor reductor} = 1.50 \text{ kgfm}$$

$$T_2 = \text{torque de piñón de cadena transportadora}$$

$$r = \text{radio de piñón de cadena transportadora} = 0.06883 \text{ m}$$

$$F_m = \text{fuerza de tracción del piñón de cadena transportadora}$$

$$g = \text{constante de la gravedad en la tierra} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$T_2 = T_1 * \eta \quad (11)$$

$$T_2 = 1.50 \text{ kgfm} * 0.98$$

$$T_2 = 1.47 \text{ kgfm}$$

$$1 \text{ kgfm} = 9.81 \text{ Nm}$$

$$T_2 = 1.47 \text{ kgfm} * \frac{9.81 \text{ Nm}}{1 \text{ kgfm}} = 14.42 \text{ Nm}$$

$$F = \frac{T}{r} \quad (12)$$

$$F = \frac{14.42 \text{ Nm}}{0.06883 \text{ m}}$$

$$F = 209.50 \text{ N}$$

Debemos calcular el peso de la cadena para el cálculo de la fuerza resistente, dicha fuerza depende del coeficiente de rozamiento de la banda transportadora y las tiras de desgaste, como se observa en la tabla 3, proporciona en el manual de ingeniería. Para el cálculo del peso consideramos la figura 18, con las características de la banda transportadora de la marca Regina Chain.

$$N = \text{Número de eslabones} = 106$$

$$P = \text{Paso de eslabón} = 38.1 \text{ mm}$$

$$W = \text{Masa de cadena por metros} = 0.87 \text{ kg/m}$$

$$m = \text{Masa de cadena}$$

$$L = \text{Longitud de cadena}$$

$$L = N * P \quad (13)$$

$$L = 106 * 38.10 \text{ mm}$$

$$L = 4,038.60 \text{ mm} = 4.04 \text{ m}$$

$$m = W * L \quad (14)$$

$$m = 0.87 \text{ kg/m} * 4.04 \text{ m}$$

$$m = 3.51 \text{ kg}$$

Tabla 3. Coeficiente de rozamiento entre cadena y tiras de desgaste

CHAIN / BELT MATERIAL	LUBRICATION	WEAR STRIP MATERIAL			
		UHMWPE	SELF-LUBRICATING UHMWPE	OIL FILLED POLYAMIDE	STEEL / STAINLESS STEEL
	Dry	0,18	0,16	0,18	0,20
	Water	0,16	0,15	0,16	0,18
	Water & Soap	0,13	0,13	0,13	0,14
	Oil	0,10	0,10	0,10	0,10
	Dry	0,16	0,12	0,16	0,18
	Water	0,14	0,11	0,14	0,16
	Water & Soap	0,10	0,08	0,10	0,12
	Oil	-	-	-	-
UP	Dry	0,18	0,16	0,18	0,20
	Water	0,16	0,15	0,16	0,18
	Water & Soap	0,13	0,13	0,13	0,14
	Oil	0,10	0,10	0,10	0,10
WA	Dry	0,20	0,18	0,20	0,25
	Water	0,18	0,17	0,18	0,20
	Water & Soap	0,15	0,15	0,15	0,15
	Oil	0,10	0,10	0,10	0,10
ULF	Dry	0,20	0,18	0,20	0,22
	Water	0,18	0,17	0,18	0,20
	Water & Soap	0,15	0,15	0,15	0,16
	Oil	0,10	0,10	0,10	0,10
AR	Dry	0,25	0,23	0,25	0,30
	Water	-	-	-	-
	Water & Soap	-	-	-	-
	Oil	-	-	-	-
PP	Dry	0,25	0,23	0,25	0,30
	Water	0,21	0,20	0,21	0,23
	Water & Soap	0,15	0,15	0,15	0,15
	Oil	0,10	0,10	0,10	0,10
Stainless Steel (SS, SS-4, Prima)	Dry	0,30	0,28	0,30	0,40
	Water	0,25	0,24	0,25	0,35
	Water & Soap	0,15	0,15	0,15	0,15
	Oil	0,15	0,15	0,15	0,15
S	Dry	0,30	0,28	0,30	0,40
	Water	-	-	-	-
	Water & Soap	-	-	-	-
	Oil	0,15	0,15	0,15	0,15

Fuente: (Regina chain, 2024)

Para el cálculo de la fuerza resistente se utilizó el modelo de las tiras de desgaste instalado actualmente, el cual es WS008GC, estas tiras son de UHM WPE, como se muestra en la figura 21. El valor del coeficiente de fricción que se toma en consideración es en condiciones de agua y jabón por lo cual es de 0.13.

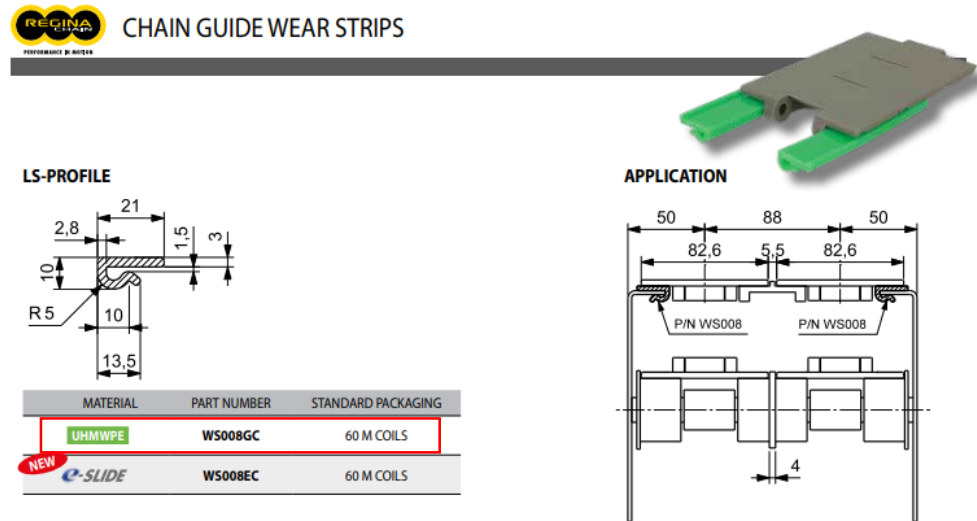


Figura 21. Tira de desgaste utilizada

Fuente: (Regina chain, 2024)

Ahora observemos el diagrama de fuerzas de la figura 22, en este diagrama observamos las fuerzas ejercidas sobre la cadena dicha cadena descansa sobre las tiras de desgaste, por lo que, el peso de la cadena y el peso de las botellas sobre la banda ejercen un peso, este peso lo utilizaremos para calcular la fuerza resistente.

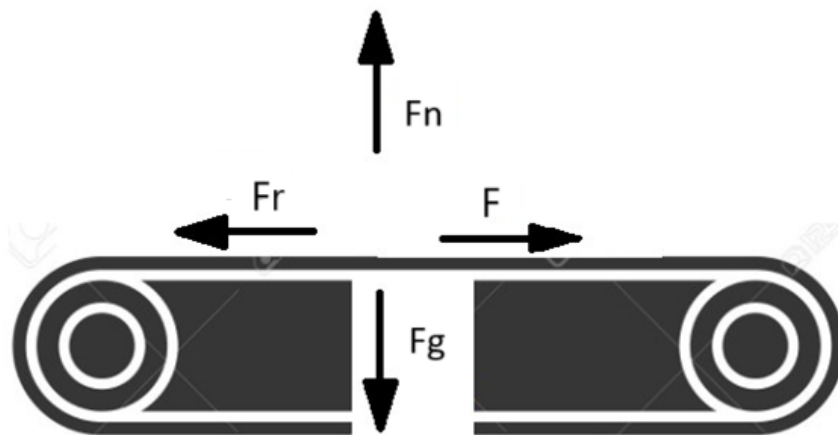


Figura 22. Diagrama de fuerzas ejercidas sobre la cadena

Fuente: Autor propio

$\mu = \text{Coeficiente de fricción} = 0.13$

$m_2 = \text{Masa de producto}$

$m_1 = \text{Masa de cadena} = 3.51 \text{ kg}$

$g = \text{Constante gravitacional}$

$$= 9.81 \text{ m/s}^2$$

Utilizando la ecuación 3 y 4 y sus respectivos despejes obtenemos que la ecuación 15 que se muestra a continuación, donde la masa es la masa total, es decir, la masa de la banda y la masa del producto.

$$F_{Normal} = m * g \quad (15)$$

$$F_{Normal} = (m_1 + m_2) * g$$

$$F_{Normal} = (3.51 \text{ kg} + m_2) * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{Normal} = 34.43 \text{ N} + 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * m_2$$

$$\sum F_x = 0 \quad (16)$$

$$F + (-F_{Rozamiento}) = 0$$

$$F = F_{Rozamiento}$$

$$F_{Rozamiento} = \mu * F_{Normal}$$

$$F_{Rozamiento} = \mu * (34.43 \text{ N} + 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * m_2)$$

$$F = 0.13 * (34.43 \text{ N} + 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * m_2)$$

$$F = 4.48 \text{ N} + 1.28 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * m_2$$

Para calcular el par motor, debemos de sumar el par resistente y el par inercial, por lo cual, utilizaremos la fuerza del motor que encontramos con la ecuación 12, la fuerza inercial máxima por envase encontrada en la ecuación 6 y la fuerza resistente encontrada con la ecuación 16.

$T_r = \text{Par resistente}$

$T_i = \text{Par inercial}$

$T_m = \text{Par motor}$

$F_r = \text{Fuerza resistente}$

$F_i = \text{Fuerza inercial}$

$F_m = \text{Fuerza del motor}$

$C_1 = \text{Cantidad de envases}$

$M = \text{Masa de cada envase} = 0.53 \text{ kg}$

$W_m = \text{Masa que puede mover la banda}$

$$T = F * r \quad (17)$$

$$T_m = T_i + T_r \quad (18)$$

$$F_m * r = (F_i * r) + (F_r * r)$$

$$F_m * r = r * (F_i + F_r)$$

$$F_m = F_i + F_r$$

$$209.50 \text{ N} = (0.68 \text{ N} * C_1) + 4.48 \text{ N} + 1.28 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * m_2$$

$$209.50 \text{ N} - 4.48 \text{ N} = 0.68 \text{ N} * C_1 + 1.28 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (C_1 * 0.53 \text{ kg})$$

$$205.02 \text{ N} = 0.68 \text{ N} * C_1 + 0.68 \text{ N} * C_1$$

$$1.36 \text{ N} C_1 = 205.02 \text{ N}$$

$$C_1 = \frac{205.02 \text{ N}}{1.36 \text{ N}}$$

$$C_1 = 150.75$$

$$W_m = M * C_1 \quad (19)$$

$$W_m = 0.53 \text{ kg} * 150.75$$

$$W_m = 79.90 \text{ kg}$$

Como se observa el resultado de la ecuación 18 el par motor ejercido por la banda transportadora puede mover una cantidad aproximada 150 botellas PET de 500 ml, con el peso considerado de 0.53 kg, en la ecuación 19, obtenemos que la banda transportadora es capaz de mover hasta 79.90 kg.

Al analizar detenidamente la Figura 23, se observa que la longitud máxima utilizable de 1.95 m y en la figura 18 tenemos que el ancho máximo de la banda es 82.60 mm. Teniendo en cuenta un diámetro máximo de las botellas de 80 mm, se puede calcular que la capacidad máxima de la banda para albergar botellas es de 24 unidades simultáneamente, así mismo considerando la cantidad máxima de botellas que son de 24 unidades, podemos etiquetar envases que tenga una masa de hasta 3.30 kg, bajo estas condiciones se decidió mantener el mismo motor.

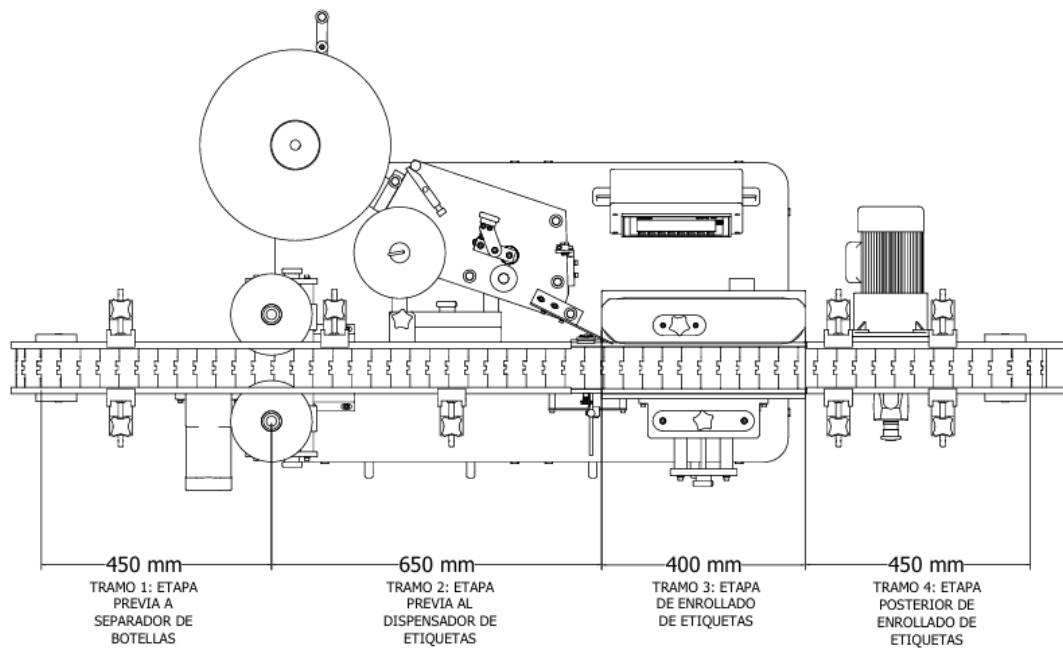


Figura 23. Diagrama de tramos del proceso de etiquetado

Fuente: (JSSC, 2024), (Regina chain, 2024), (SIEMENS, 2023)

5.1.2 Selección de variador de frecuencia

La banda transportadora utiliza un motor de inducción trifásico de 4 polos, de 220 VAC monofásico, que tiene una potencia de 0.25 hp, para controlar la velocidad utilizaremos un variador de frecuencia.

Tabla 4. Números de orden Danfoss FC 51

	200–240 V			380–480 V	
Power [kW]	Current [I _{nom}]	Single-phase	3-phase	Current [I _{nom}]	3 ph.
0.18	1.2	132F0001			
0.25	1.5		132F0008		
0.37	2.2	132F0002	132F0009	1.2	132F0017
0.75	4.2	132F0003	132F0010	2.2	132F0018
1.5	6.8	132F0005	132F0012	3.7	132F0020
2.2	9.6	132F0007	132F0014	5.3	132F0022
3.0				7.2	132F0024
3.7	15.2		132F0016		
4.0	Frequency converters from 1.5 kW (2 hp) and up have built-in brake chopper.			9.0	132F0026
5.5				12.0	132F0028
7.5				15.5	132F0030
11.0				23.0	132F0058
15.0				31.0	132F0059
18.5				37.0	132F0060
22.0				43.0	132F0061

Fuente: (Danfoss, 2024)

La selección del variador de frecuencia se realizó en la marca Danfoss, de la línea más económica tenemos los FC 51, que, si observamos la tabla 4, tenemos los números de pedidos en función de las características, teniendo en cuenta que nuestro motor es 0.25 hp utilizaremos el mismo variador con potencia un poco superior de 0.5 hp según indicación del propietario de la máquina se reutilizará el mismo donde el equipo funciona con un voltaje de alimentación monofásico 220 VAC.

El variador seleccionado se identifica con el código de orden 132F0002, el cual proporciona una descripción completa de sus características bajo el código FC-051PK37S2E20H3XXCXXSXSSXXS junto con su panel de control 132B0100.

Tabla 5. Especificaciones del variador

Sobrecarga normal del 150 % durante 1 minuto					
Convertidor	PK18	PK37	PK75	P1K5	P2K2
Salida típica de eje [kW (CV)]	0,18 (0,25)	0,37 (0,5)	0,75 (1)	1,5 (2)	2,2 (3)
Clasificación de protección de alojamiento IP20	M1	M1	M1	M2	M3
Intensidad de salida					
Continua (3 × 200-240 V) [A]	1,2	2,2	4,2	6,8	9,6
Intermitente (3 × 200-240 V) [A]	1,8	3,3	6,3	10,2	14,4
Dimensión máxima del cable (Alimentación y motor) [mm²/AWG]			4/10		
Intensidad de entrada máxima					
Continua (1 × 200-240 V) [A]	3,3	6,1	11,6	18,7	26,4
Intermitente (1 × 200-240 V) [A]	4,5	8,3	15,6	26,4	37
Ambiente					
Pérdida estimada de potencia [W], caso más favorable/típico ⁽¹⁾	12,5/15,5	20/25	36,5/44	61/67	81/85,1

Fuente: (Danfoss, 2024)

En ARTICULO 670-4 inciso B del CÓDIGO DE INSTALACIONES ELECTRICAS DE NICARAGUA se detalla que los el rango o ajuste del dispositivo de protección contra sobre corriente para el circuito que alimenta la máquina no debe ser mayor que la suma del rango o ajuste más alto del dispositivo de protección contra corto circuito y falla a tierra propio de la máquina, más el 125 % de la corriente a plena carga de todas las cargas para calefacción a base de resistencias, más la suma de todas las corrientes a plena carga de todos los demás motores y aparatos que puedan funcionar simultáneamente.

$$\text{Corriente nominal del fusible} \geq \text{Corriente de consumo nominal} * 125 \% \quad (20)$$

$$\text{Corriente nominal del fusible} \geq 6.10 \text{ A} * 1.25$$

$$\text{Corriente nominal del fusible} \geq 7.63 \text{ A}$$

En la sección 240-6 se habla acerca de las capacidades de conducción de corriente nominales normalizadas de fusibles son: 1, 3, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000, por lo cual, se dedujo que el dispositivo de protección para el variador de frecuencia deberá ser será un fusible RT18-32 de 10 A.

Para el cálculo de la sección nominal del conductor utilizaremos la tabla 6, proporcionada por CODIGO DE INSTALACIONES ELECTRICAS DE NICARAGUA en la tabla 310-17.

Tabla 6. Capacidad de conducción de corriente en amperes de cables mono conductores aislados 0 a 600 V, al aire libre y para una temperatura ambiente de 30°C.

Sección transversal mm ²	Temperaturas máximas de operación (Véase Tabla 310-13)					
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RHW*, THW* THHW-LS THWN*, XHHW* USE*	TIPOS SA, SIS, FEP* FEPB*, RHH* RHW-2, THW-2 THHW* THHW-LS, TT THWN-2, THHN* USE-2, XHHW* XHHW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RHW*, THW* THHW*, THW-LS THHW-LS THWN*, XHHW*	TIPOS SA, SIS RHH*, RHW-2 THW-2, THHW* THHW-LS THWN-2, THHN* USE-2, XHHW* XHHW-2
	C O B R E			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.8235	---	---	18	---	---	---
1.307	---	---	24	---	---	---
2.082	25*	30*	35*	---	---	---
3.307	30*	35*	40*	25*	30*	35*
5.260	40*	50*	55*	35*	40*	40*
8.367	60	70	80	45	55	60
13.30	80	95	105	60	75	80
21.15	105	125	140	80	100	110
33.62	140	170	190	110	135	150
42.41	165	195	220	130	155	175
53.48	195	230	260	150	180	205
67.43	225	265	300	175	210	235
85.01	260	310	350	200	240	275
107.2	300	360	405	235	280	315
126.7	340	405	455	265	315	355
152.0	375	445	505	290	350	395
177.3	420	505	570	330	395	445
202.7	455	545	615	335	425	480
253.4	515	620	700	405	485	545
304.0	575	690	780	455	540	615
380.0	655	785	885	515	620	700
506.7	780	935	1055	625	750	845
Factores de corrección						
Temperatura ambiente °C	Para temperatura ambiente diferente de 30°C, multiplique las capacidades de corriente de la tabla mostradas arriba por el factor de corrección correspondiente en esta tabla.					
21 - 25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04
26 - 30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
31 - 35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96
36 - 40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91
41 - 45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87
46 - 50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82
51 - 55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76
56 - 60	---	0.58	0.71	---	0.58	0.71
61 - 70	---	0.33	0.58	---	0.33	0.58
71 - 80	---	---	0.41	---	---	0.41

* La protección para sobrecorriente para conductores de cobre, aluminio recubierto de cobre, en los tipos marcados con asterisco*, no debe exceder de: 15 A para 2.082 mm², 20 A para 3.307 mm² y 30 A para 5.260 mm² para conductores de cobre.

Fuente: (CODIGO DE INSTALACIONES ELECTRICAS DE NICARAGUA)

Para la selección del conductor, se consultó la tabla 6. Se optó por un conductor de cobre tipo THHN con una sección transversal de 1.31 mm², cuya ampacidad es de hasta 24 A. Esta elección es adecuada para la alimentación del equipo, ya que el consumo total del mismo es de 6.10 A.

5.1.3 Servomotor

El servomotor es utilizado para dispensar la longitud exacta de la etiqueta, por ello, se dispone de un equipo que tenga una excelente precisión.

5.1.3.1 Selección del servomotor

El servomotor actualmente en uso es un motor trifásico sin escobillas de la marca YASKAWA, modelo SGMJV-08ADE6S (ver figura 24). Este servomotor ya está equipado con un encoder incremental de 20 bits, lo que proporciona una alta resolución en la retroalimentación de posición. Este tipo de encoder incremental es adecuado para aplicaciones donde no es necesario retornar a una posición inicial después de cada operación, como en el proceso de dispensado de etiquetas.

SGMJV - 01 A D A 2 1

Σ-V Series Servomotor SGMJV

1st+2nd digits 3rd digit 4th digit 5th digit 6th digit 7th digit

1st+2nd digits Rated Output

Code	Specifications
A5	50 W
01	100 W
C2	150 W
02	200 W
04	400 W
06	600 W
08	750 W

5th digit Design Revision Order

Code	Specifications
A	Standard

7th digit Options

Code	Specifications
1	Without options
C	With holding brake (24 VDC)
E	With oil seal and holding brake (24 VDC)
S	With oil seal

6th digit Shaft End

Code	Specifications
2	Straight without key
6	Straight with key and tap
B	With two flat seats

3rd digit Power Supply Voltage

Code	Specifications
A	200 VAC

4th digit Serial Encoder

Code	Specifications
3	20-bit absolute*
D	20-bit incremental
A	13-bit incremental

Figura 24. Código para selección de servomotores SGMJV

Fuente: (YASKAWA, 2024)

En la tabla 7, se observa las especificaciones del servomotor, donde, el torque nominal es de 2.39 Nm, pero tiene un torque instantáneo de hasta un 350%, la velocidad máxima es de 6000 RPM.

Tabla 7. Características técnicas de servomotores SGMJV

Voltage		200 V						
Servomotor Model: SGMJV-□□□□		A5A	01A	C2A	02A	04A	06A	08A
Rated Output ^{*1}	W	50	100	150	200	400	600	750
Rated Torque ^{*1, *2}	N•m	0.159	0.318	0.477	0.637	1.27	1.91	2.39
Instantaneous Peak Torque ^{*1}	N•m	0.557	1.11	1.67	2.23	4.46	6.69	8.36
Rated Current ^{*1}	A _{rms}	0.61	0.84	1.6	1.6	2.7	4.2	4.7
Instantaneous Max. Current ^{*1}	A _{rms}	2.1	2.9	5.7	5.8	9.3	14.9	16.9
Rated Speed ^{*1}	min ⁻¹	3000						
Max. Speed ^{*1}	min ⁻¹	6000						
Torque Constant	N•m/A _{rms}	0.285	0.413	0.327	0.435	0.512	0.505	0.544
Rotor Moment of Inertia	×10 ⁻⁴ kg•m ²	0.0414 (0.0561)	0.0665 (0.0812)	0.0883 (0.103)	0.259 (0.323)	0.442 (0.506)	0.667 (0.744)	1.57 (1.74)
Rated Power Rate ^{*1}	kW/s	6.11	15.2	25.8	15.7	36.5	54.7	36.3
Rated Angular Acceleration ^{*1}	rad/s ²	38400	47800	54100	24600	28800	28600	15200
Applicable SERVOPACK	SGDV-□□□□□	R70□	R90□	1R6A,2R1F	1R6A,2R1F	2R8□	5R5A	5R5A

Fuente: (YASKAWA, 2024)

El servomotor está conectado por medio de una correa síncrona al eje que tira del rollo de etiquetas, la relación de transmisión es 1/1; las etiquetas giran tangencialmente con el eje, por lo cual, la velocidad de dispensado de etiquetas es la velocidad tangencial del eje.

Las correas síncronas o correas dentadas proporcionan una mayor eficiencia de transmisión, dado que la correa modelo 295-5M, con 59 dientes, según fabricante la eficiencia de transmisión es de 98 %.

$$\text{Torque salida} = \text{Torque de entrada} * \text{eficiencia} \quad (21)$$

$$\text{Torque salida} = 2.39 \text{ Nm} * 0.98$$

$$\text{Torque salida} = 2.34 \text{ Nm}$$

De acuerdo al fabricante la etiquetadora tenía una limitación en la configuración de la velocidad de dispensado hasta 30 m/min. Esta restricción se debía a que la botella alcanzaba una velocidad máxima de 25 m/min, esta limitación se mantiene luego de la actualización.

En cuanto al diámetro del eje que tira de las etiquetas, tiene un diámetro de 53 mm, procedemos a realizar cálculos para determinar la velocidad angular del servomotor cuando la velocidad de etiquetado se establece en el máximo permitido de 30 m/min. Este cálculo nos permitirá asegurarnos de que el servomotor pueda alcanzar y mantener la velocidad angular requerida.

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (22)$$

$$\omega = \frac{30 \text{ m/min}}{0.0265 \text{ m}}$$

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{30 \text{ m/min} * 1 \text{ min}/60 \text{ s}}{0.0265 \text{ m}}$$

$$\omega = \frac{0.5 \text{ m/s}}{0.0265 \text{ m}}$$

$$\omega = 18.87 \text{ rad/s}$$

$$\text{Velocidad en RPM} = 18.87 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{60}{2\pi}$$

$$\text{Velocidad en RPM} = 180.17 \text{ rpm}$$

Como se muestra en el cálculo anterior, la velocidad máxima permitida para el etiquetado es de 180.17 rpm, y observando la curva característica del torque que entrega el motor en la figura 25, el torque es máximo si estamos en el intervalo de 0 rpm a 3000 rpm, por lo que el torque que nos entregará siempre será el máximo.

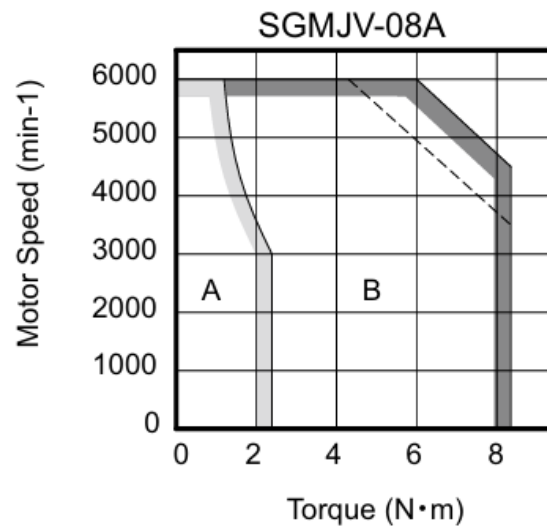


Figura 25. Curva característica de torque vs velocidad

Fuente: (YASKAWA, 2024)

El servomotor opera de manera adecuada y se encuentra en buen estado. Aprovechando las características y funcionalidades analizadas, se determinó que un reemplazo del servomotor no resultaría en una mejora para el sistema. Además, el costo asociado con la adquisición de un nuevo servomotor es considerablemente elevado. Por lo tanto, se ha tomado la decisión de conservar el servomotor existente, aprovechando su funcionalidad y garantizando así una gestión económica y eficiente de los recursos disponibles.

5.1.4 Selección de controlador para servomotor

La selección del controlador se realizó en base al servomotor seleccionado, este es un servomotor de inercia media, como ayuda para esto tenemos el catálogo que dependiendo del servomotor nos recomienda el controlador adecuado, esto se observa en la tabla 8.

Tabla 8. Tabla de selección de controladores de servomotor

Rotary Servomotor Model		Capacity	SERVOPACK Model SGD V-□□□□			Stock Status
			Single-phase 100 VAC	Three-phase 200 VAC	Three-phase 400 VAC	
SGMMV (Ultra-Small Capacity) 3000RPM	SGMMV-A1A	10 W	R90F	R90A	—	S
	SGMMV-A2A	20 W		R90A		
	SGMMV-A3A	30 W	2R1F	1R6A		
SGMJV (Medium Inertia, Small Capacity) 3000RPM	SGMJV-A5A	50 W	R70F	R70A	—	S
	SGMJV-01A	100 W	R90F	R90A		
	SGMJV-C2A	150 W	2R1F	1R6A		
	SGMJV-02A	200 W	2R1F	1R6A		
	SGMJV-04A	400 W	2R8F	2R8A		
	SGMJV-06A	600 W	—	5R5A		
	SGMJV-08A	750 W	—	5R5A		

Fuente: (YASKAWA, 2024)

El servo drive que recomienda es de la familia SigmaLogic V, para la selección del modelo correcto, disponemos de la figura 26, que muestra las distintas configuraciones y códigos para el pedido.

El modelo seleccionado para el controlador del servomotor es el SGD V-5R5A01B002000, el cual coincide perfectamente con el código del controlador actualmente instalado en la máquina etiquetadora de botellas. Debido a esta correspondencia y para optimizar la compatibilidad y el rendimiento del sistema, se ha decidido conservar tanto el controlador como el servomotor existente en la máquina.

Es importante destacar que el controlador del servomotor está diseñado para operar a una tensión de 220 VAC trifásico. Sin embargo, la máquina etiquetadora se alimenta con una tensión de 220 VAC monofásico. Para adaptar y garantizar el funcionamiento

adecuado del servomotor con la alimentación disponible, se ha realizado un ajuste en los parámetros de configuración.

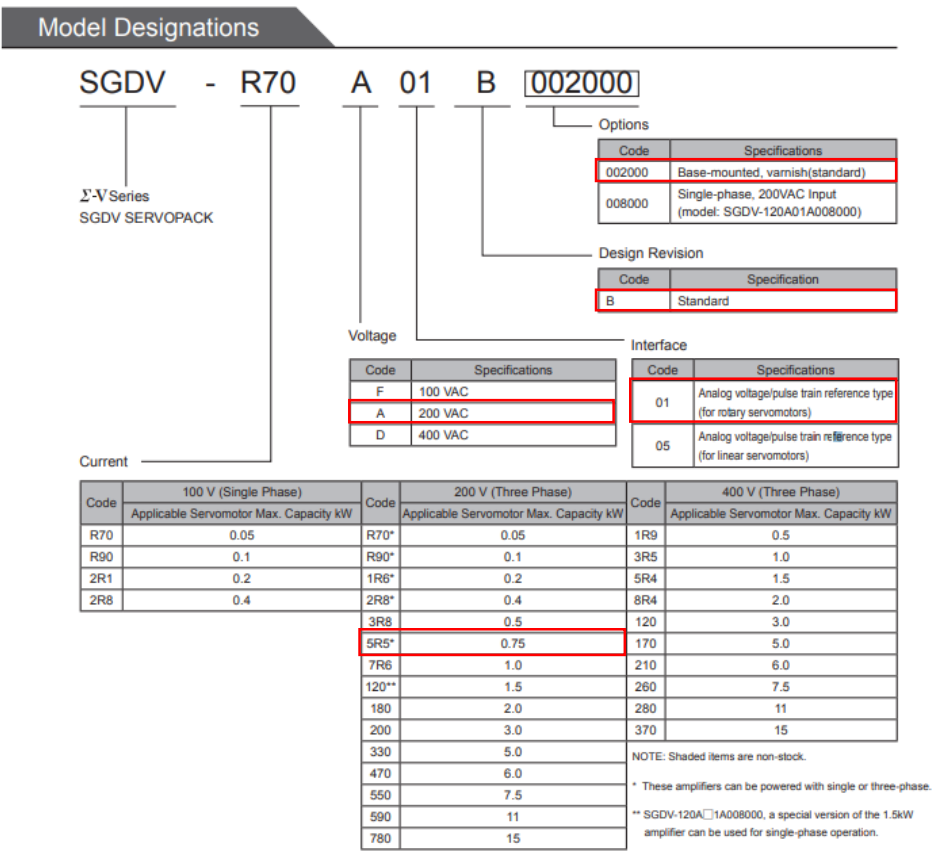


Figura 26. Código de selección de controlador SGD-V

Fuente: (YASKAWA, 2024)

Mediante la modificación del parámetro Pn00B.2, cambiando el bit 0 a un bit 1, se permite que el equipo funcione de manera óptima con una alimentación de 220 VAC monofásico. Esta configuración y el procedimiento detallado para realizar este ajuste se encuentran descritos en la sección 3.1.3 del manual del controlador de servo Sigma V. (YASKAWA, 2024)

Al seleccionar el controlador del servomotor, se tuvieron en cuenta las especificaciones de las salidas del PLC, las cuales operan mediante conmutación de transistores de colector abierto. Según el manual del fabricante, si el voltaje máximo de los pulsos es de 24 VDC, es necesario incorporar una resistencia de 2.2 kΩ en el circuito. Esta resistencia está diseñada para limitar la corriente entre 7 mA y 15 mA, como se detalla y se puede observar en la figura 27.

Open-collector Output

Set limit resistor R so the input current, i , falls between 7 mA to 15 mA.

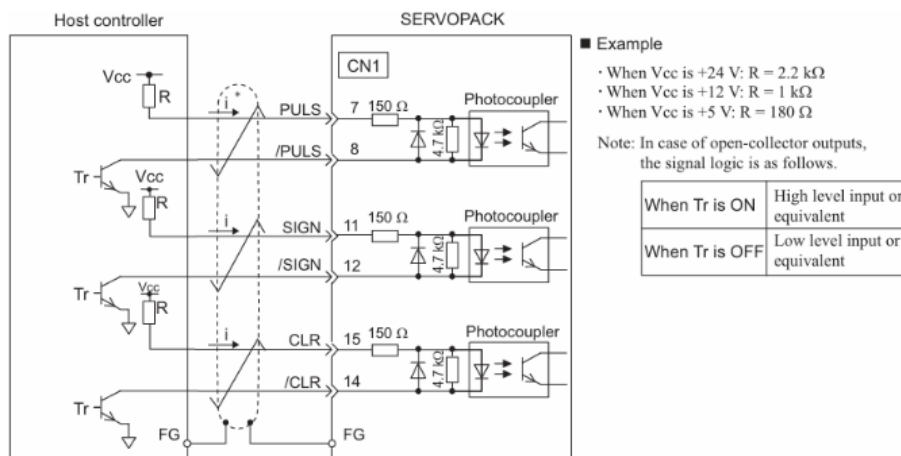


Figura 27. Limitación de corriente para salidas de colector abierto

Fuente: (YASKAWA, 2024)

Tabla 9. Consumos de controladores de servomotor YASKAWA

Main Circuit Power Supply	Maximum Applicable Servomotor Capacity [kW]	SERVOPACK Model SGDv-	Power Supply Capacity per SERVOPACK [kVA]	Current Capacity		Inrush Current	
				Main Circuit [Arms]	Control Circuit [Arms]	Main Circuit [A0-p]	Control Circuit [A0-p]
Single-phase, 200 V	0.05	R70A	0.2	2	0.2	33	70
	0.1	R90A	0.3	2			
	0.2	1R6A	0.7	3			
	0.4	2R8A	1.2	5			
	0.75	5R5A	1.9	9	0.25	33	33
	1.5	120A*	4	16			

Fuente: (YASKAWA, 2024)

Para el cálculo de los fusibles de protección y la sección nominal del cable conductor utilizaremos la corriente de consumo nominal que la podemos observar en la tabla 9, donde la corriente de alimentación es de 9.20 A, incluyendo la corriente de del circuito de control y la corriente del circuito principal.

Para el cálculo del fusible de protección utilizaremos la ecuación 20 proporcionada por el ARTICULO 670-4 inciso B del CODIGO DE INSTALACIONES ELECTRICAS DE NICARAGUA.

*Corriente nominal del fusible $\geq$ Corriente de consumo nominal * 125 %*

*Corriente nominal del fusible $\geq 9.20 A * 1.25$*

Corriente nominal del fusible $\geq 11.50 A$

De acuerdo con la sección 240-6 del CODIGO DE INSTALACIONES ELECTRICAS DE NICARAGUA el fusible inmediato superior es de 15 A, por lo que, el fusible seleccionado para la protección del controlador del controlador del servomotor será un fusible RT18-32 de 15 A.

Para la selección del conductor para la alimentación del equipo, utilizaremos la tabla 6. En esta tabla, seleccionamos el mismo tipo de cable que el utilizado para el variador de frecuencia: un conductor de cobre tipo THHN con una sección nominal de 1.307 mm². La ampacidad de este conductor, según la tabla, es adecuada para cubrir de manera óptima la corriente de consumo del dispositivo.

5.1.5 Selección del motor reductor monofásico

La etiquetadora está equipada con dos motores monofásicos de velocidades regulables que operan en sincronía con la banda transportadora. El primer motor tiene la función de separar las botellas durante el proceso de etiquetado, evitando que se junte y garantizando así que la etiqueta se aplique correctamente. Por otro lado, el segundo motor es responsable de girar la botella, asegurando que la etiqueta se enrolle de manera adecuada alrededor del envase. Ambos motores desempeñan roles clave en el proceso de etiquetado, trabajando coordinadamente para lograr un resultado preciso y eficiente en la aplicación de las etiquetas.

5.1.5.1 Motor monofásico para separador de botellas⁶

El primer motor para la separación de las botellas, mediante una transmisión por cadena hace girar dos rodillos que retienen la botella por unos cuantos milisegundos, de tal forma que podamos ir generando una distancia en cada una de ellas, como se muestra en la figura 28.

El motor instalado antes de la actualización es un motor monofásico de la marca JSSC distribuido por JX Automación y en la tabla 10, observamos las características técnicas del motor instalado, donde el torque es proporcional a la velocidad del motor, donde el

fabricante recomienda velocidades entre 400 rpm y 1600 rpm, por lo que el par cae mucho y la ventilación para el enfriamiento es pobre.

Tabla 10. Características del motor de velocidad ajustable 90YT60

Motor Type		Max. Output (W)	Voltage (V)	Frequency (Hz)	Current (A)	Range of speed regulation (r/min)	Starting Torque (mN · m)	Rated Torque(mN · m)		Operating Capacitor
Gear shaft	Round shaft							90 r/min	1200 r/min	
90YT60GV11	90YT60DV11	60	Single Phase 110	50	0.92	90~1400	350	175	450	14 μ F / 250 V
				60	0.93	90~1600	350	175	360	
90YT60GV22	90YT60DV22	60	Single Phase 220	50	0.47	90~1400	350	175	450	3.5 μ F / 450 V
				60	0.50	90~1600	350	175	360	

Fuente: (JSSC, 2024)



Figura 28. Separador de botellas

Fuente: (JSSC, 2024)

Estos motores cuentan con una caja reductora acoplada, esta caja depende de la relación y el modelo; en la figura 29 observamos los tipos de caja reductoras y en la tabla 13 tenemos las relaciones de transmisión disponibles y el torque entregado por la caja reductora de la misma.

El modelo del primer motor es 90YT60GV22-90GF25HE, el cual es un motor de 60 W, monofásico de 220 VAC, conectado a una caja de engranajes con una relación 1/25, este motor está conectado mediante una cadena a los rodillos separadores de botellas.



Figura 29. Tipos de caja reductora para motor 90YT60

Fuente: (JSSC, 2024)

Tabla 11. Relación de caja reductora para motor 90YT60

Reduction ratio		3	3.6	5	6	7.5	10	12.5	15	18	20	25	30	36	50	60	75	90	100	120	150	180
50Hz	Speed (r/min)	467	389	280	233	187	140	112	93	78	70	56	47	39	28	23	19	15.6	14	11.7	9.3	7.8
	Rated torque N·m	1.0	1.2	1.66	2.0	2.49	3.33	4.16	4.99	5.99	6.65	8.31	9.98	12	16.6	20	24.9	29.9	33.3	39.9	40	40
60Hz	Speed (r/min)	533	444	320	267	213	160	128	107	89	80	64	53	44	32	27	21	17.8	16	13.3	10.7	8.9
	Rated torque N·m	1.0	1.2	1.66	2.0	2.49	3.33	4.16	4.99	5.99	6.65	8.31	9.98	12	16.6	20	24.9	29.9	33.3	39.9	40	40

Fuente: (JSSC, 2024)

El torque nominal para el motor reductor del separador de botellas es de 8.31 Nm a una velocidad de 64 rpm, esto es obtenido de la tabla 11. Este dispositivo, al ser muy específico, el propietario recomendó utilizar el mismo motor.

5.1.5.2 Motor monofásico para enrollador de etiquetas

El segundo motor se encarga del enrollado de las etiquetas, haciendo girar una banda que presiona la botella contra otra superficie. Esto permite que la botella rote, de manera que mientras el servomotor dispensa la etiqueta, la botella se mueve para que esta se adhiera correctamente., como se muestra en la figura 30.

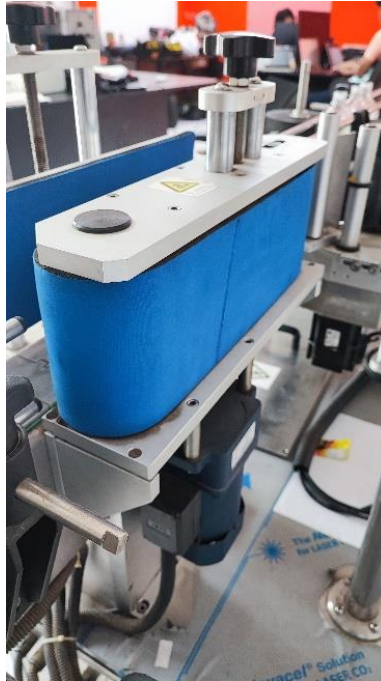


Figura 30. Enrollador de etiquetas

Fuente: (JSSC, 2024)

El motor actualmente instalado al igual que el motor del separador de botellas, es un motor monofásico de la marca JSSC, y cuenta con el mismo motor, pero esta vez acoplado a una caja de engranajes distinta.

El modelo del motor es 90YT60GV22-90GF10HE, el cual es un motor de 60 W, monofásico de 220 VAC, y está conectado a una caja de engranajes con una relación 1/10, este motor está conectado directamente a un piñón que hace girar la banda.

Este motor reductor entrega un torque nominal de 3.33 Nm a una velocidad de 160 RPM. Al igual que el motor de enrollador de etiquetas por recomendación del propietario se decidió utilizar el mismo equipo.

5.1.6 Selección de controladores de los motores reductores

Como pudimos notar en el inciso 6.1.5.1 y 6.1.5.2, los motores monofásicos de velocidad regulable son iguales, lo único que los diferencia es la caja de engranajes, por lo cual, en la selección de los controladores de velocidad, se tomó el mismo modelo para ambos motores.

Este tipo de motores antes seleccionados, tienen un controlador específico compatible de la misma marca JSSC, y su regulación de velocidad se realiza de forma manual, con un potenciómetro ubicado en la parte frontal del controlador.

◆ Table of Model

Sort Voltage of Power Power of Motor	SF Series Panel Speed Controller		SK Series Built-in Speed Controller	
	220V	110V	220V	110V
6W	SF06E	SF06A	SK200E	SK200A
15W	SF15E	SF15A		
25W	SF25E	SF25A		
40W	SF40E	SF40A		
60W	SF60E	SF60A		
90W	SF90E	SF90A		
120W	SF120E	SF120A		
200W	SF200E	SF200A		

◆ Naming Rules of Model

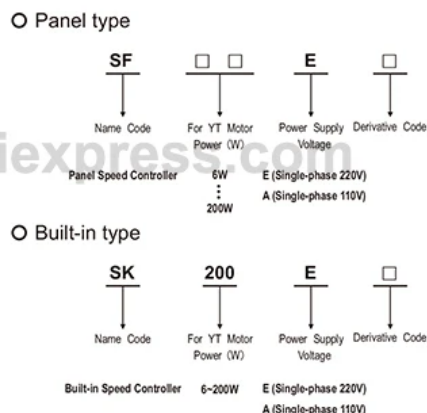


Figura 31. Parámetros de selección de controlador

Fuente: (JSSC, 2024)

Para la elección de los controladores, se consideró el tipo de motor compatible y la potencia del controlador, que debe ser igual o superior a la del motor. En nuestro caso, se seleccionó el controlador SF90E de 90 W a 220 VAC monofásica, como se muestra en la figura 31. La corriente máxima de consumo por cada controlador es de 1 A.

Para calcular el fusible de protección contra sobre corrientes, se utilizó el ARTÍCULO 670-4 inciso B del CÓDIGO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE NICARAGUA, aplicando la misma fórmula descrita en la ecuación 20. Es importante destacar que se consideró la corriente de consumo nominal de ambos controladores.

$$\text{Corriente nominal del fusible} \geq \text{Corriente de consumo nominal} * 125 \%$$

$$\text{Corriente nominal del fusible} \geq 2 A * 1.25$$

$$\text{Corriente nominal del fusible} \geq 2.50 A$$

El fusible que protege estos dos equipos debe ser del valor inmediatamente superior, de acuerdo con los valores normalizados proporcionados por el artículo 240-6. En este caso, se seleccionó un fusible tipo RT18-35 con una capacidad de 3 A.

El conductor seleccionado es del mismo tipo que los anteriores, THHN de cobre, con un calibre de 1.307 mm². La ampacidad de este conductor, que es de 24 A según la tabla 6, es óptima para alimentar ambos controladores.

5.2 Determinación de equipos de control

En la selección de los dispositivos de control, priorizaremos los fundamentos de la automatización, enfocándonos en los sensores y controladores. En este análisis detallado, exploraremos las particularidades de cada componente y aprovecharemos la integración del protocolo IO-Link en el sistema.

5.2.1 Selección de controlador lógico programable

La máquina etiquetadora está actualmente equipada con un controlador lógico programable (PLC) de la marca SIEMENS, perteneciente a la familia S7-200, concretamente el modelo CPU 222 CN DC/DC/DC (ver figura 32). Aunque este controlador ha demostrado eficiencia y confiabilidad en las operaciones de etiquetado, actualmente este mismo ha sido discontinuado por parte del fabricante. Esto genera la necesidad de actualizar a un controlador más moderno que asegure un soporte técnico continuo y disponibilidad de repuestos a largo plazo.



Figura 32. Controlador lógico programable antes de actualización

Fuente: (SIEMENS, 2024)

En el diseño original del sistema de control, las entradas de conteo de alta velocidad (HSC) del controlador S7-200 eran esenciales, ya que los sensores estaban conectados a ellas. Estas entradas ofrecen la capacidad de leer frecuencias de conmutación de hasta 30 kHz, facilitando una captura rápida de datos para el control y supervisión de las operaciones de etiquetado. Además, el controlador dispone de 6 salidas digitales, incluyendo 2 salidas con capacidad para proporcionar un tren de pulsos de hasta 20 kHz con una carga resistiva.

Con la implementación del IO-Link, las señales provenientes de los sensores se enviarán por medio de un bus de campo hacia el PLC, permitiendo una captura de datos más rápida y fiable. Esta transmisión es completamente digital y presenta varias ventajas, incluyendo una mayor inmunidad al ruido y las interferencias, reducción de errores de lectura, monitorización en tiempo real y mayor eficiencia en el procesamiento de datos.

En el nuevo diseño del sistema de control, también se considerará la inclusión de salidas digitales transistorizadas de rápida conmutación para PTO (Pulse Train Output). Estas salidas son esenciales para el control y gestión de un servomotor.

Los servomotores, con su precisión y capacidad de respuesta dinámica, ofrecen un control superior, permitiendo un posicionamiento más exacto y una respuesta rápida a las señales de control. La técnica PTO proporciona los pulsos eléctricos necesarios para determinar la velocidad y posición del servomotor, asegurando un control dinámico y preciso en las operaciones de etiquetado.

El controlador seleccionado para la actualización del sistema de control es de la familia S7-1200, concretamente el modelo CPU 1212C DC/DC/DC (ver figura 33). Esta elección se basa en sus avanzadas características, fiabilidad y compatibilidad con otros dispositivos industriales, respaldada por la recomendación específica del fabricante.

Al comparar con el controlador PLC S7-200 anterior, el S7-1200 (ver tabla 12), ofrece mejoras en varias áreas clave. El S7-1200 cuenta con 8 entradas digitales, de las cuales 6 son entradas de conteo de alta velocidad (HSC). Tres de estas entradas HSC tienen la capacidad de leer frecuencias de conmutación de hasta 100 kHz, mientras que las otras tres pueden capturar datos a frecuencias de hasta 30 kHz.

El S7-1200 dispone de 6 salidas, de las cuales 4 tienen la capacidad de generar un tren de pulsos de hasta 100 kHz con una carga resistiva, estas son fundamentales para

el control y gestión de los dispositivos de actuación en el sistema, garantizando una respuesta rápida y precisa a las señales de control. Además, el S7-1200 incluye 2 entradas analógicas que admiten un rango de voltaje de 0 V a 10 V. Estas entradas proporcionan la flexibilidad necesaria para la integración de sensores y dispositivos que requieren una señal analógica, lo que añade versatilidad al diseño y funcionamiento del sistema de control.

Es importante destacar que este controlador cuenta con una interfaz de comunicación PROFINET, una de las principales tecnologías de comunicación industrial en el mundo. PROFINET es un estándar basado en Ethernet que ofrece alta velocidad, flexibilidad y confiabilidad en la comunicación entre dispositivos industriales, para una comparación detallada entre el PLC instalado, S7-200, y el PLC de reemplazo, S7-1200, consulte la tabla 14.

Esta interfaz será de gran utilidad para la integración del IO-Link y la HMI (Interfaz Hombre-Máquina), permitiendo una conexión sencilla y eficiente entre el PLC, los sensores y la interfaz de usuario. Con PROFINET, se facilita la implementación de redes de control en tiempo real, el intercambio de datos entre diferentes dispositivos y la configuración remota, lo que contribuye a optimizar el rendimiento, la eficiencia y la gestión del sistema de etiquetado.



Figura 33. Controlador lógico programable seleccionado

Fuente: (SIEMENS, 2024)

Tabla 12. Tabla comparativa entre características de ambos equipos

Características	SIMATIC S7-200, CPU 222 Compact Unit	SIMATIC S7-1200, CPU 1212C DC/DC/DC
Voltaje de suministro		
Valor nominal (DC)	24 V DC	24 V DC
Rango permisible (DC)	20.4 - 28.8 V	20.4 - 28.8 V
Proteccion contra polaridad inversa	No	Sí
Corriente de entrada		
Consumo (Valor nominal)	250 mA	400 mA (solo CPU)
Consumo máximo	850 mA	1200 mA (CPU con todos los módulos de expansión)
Memoria		
Memoria de trabajo	4 kB	100 kB integrados
Memoria de carga	8 kB	2 MB integrados
Entradas digitales		
Numero de entradas digitales	8	8 integrados
Entradas utilizables para funciones tecnológicas	6 (HSC) a 30 kHz	6 (HSC); 3 a 100 kHz y 3 a 30 kHz
Voltaje nominal para entradas (DC)	24 V	24 V
Para señal "0"	0 a 5 V DC	0 a 5 V DC
Para señal "1"	Minimo 15 V DC	Minimo 15 V DC
Entradas para interrupciones	4, I0.0 a I0.3	Sí, todas
Salidas digitales		
Numero de salidas digitales con transistor	6	6
Salidas de alta velocidad	2 (20 kHz PTO)	4 (100 kHz PTO)
Capacidad de conmutación de las salidas (Carga resistiva)	0.75 A	0.5 A
Salidas tipo rele	0	0
Entradas analógicas		
Numero de entradas analogicas	0	2
Rango de entrada	-	0 a +10 V
Resistencia de entrada (0 to 10 V)	-	≥100 kΩ
Salidas analógicas		
Numero de salidas analogicas	0	0
Interfaz		
Tipo de interfaz	RS-485	PROFINET
RJ45 (Ethernet)	No	Sí
Numero de puertos	1	1
Protocolos		
PROFINET IO Controller	No	Sí
PROFINET IO Device	No	Sí
SIMATIC communication	No	Sí
Open IE communication	No	Sí (opcionalmente encriptado)
Web server	No	Sí
MPI	Sí	No
PPI	Sí	No
Protocolos (Ethernet)		
TCP/IP	No	Sí
DHCP	No	No
SNMP	No	Sí
DCP	No	Sí
LLDP	No	Sí

Fuente: Autor propio

5.2.2 Interfaz hombre mquina (HMI)

Actualmente, el sistema utiliza una pantalla táctil de la marca Beijer Electronics, modelo PWS5610T-S, que ha sido descontinuada y presenta limitaciones en cuanto a compatibilidad con el nuevo PLC de la serie S7-1200 de Siemens. Esta pantalla cuenta con una diagonal de 5.7 pulgadas y una resolución de 320x240 píxeles.

Debido a las restricciones en los protocolos de comunicación, específicamente la utilización de comunicación serial RS232/RS422/RS485 sin RTS/CTS, la pantalla Beijer no es compatible con el PLC S7-1200 de Siemens. Este controlador no incorpora dicha interfaz de comunicación de manera nativa, sino que requiere módulos de expansión adicionales para su implementación.

En respuesta a estas limitaciones y con el objetivo de mejorar la integración y la eficiencia del sistema de control, se ha tomado la decisión de sustituir la pantalla Beijer por un modelo más actual y compatible de Siemens, el SIMATIC HMI, KTP700 Basic (ver figura 34). Este Basic Panel ofrece un manejo con teclado y táctil, con una pantalla TFT de 7 pulgadas, 65,536 colores y es compatible con el protocolo de comunicación PROFINET, facilitando así una integración más sencilla y eficiente con el PLC S7-1200, además, ofrece otras funcionalidades para gestionar alarmas, recetas y cambios rápidos de parámetros predefinidos por el operador.



Figura 34. KTP700 Basic

Fuente: (SIEMENS, 2023)

5.2.3 Selección de sensores

En la etiquetadora tenemos dos sensores, uno de ellos detecta la presencia de etiquetas y el otro detecta las botellas, ambos sensores funcionan de forma convencional, pero los actualizaremos a sensores inteligentes con la tecnología IO-Link.

5.2.3.1 Sensor de detección de etiquetas

El sensor fotoeléctrico de horquilla tipo barrera actualmente en uso es el modelo WF2-40B410 de la marca SICK. Este dispositivo se emplea para distinguir entre etiquetas y el papel en el cual están adheridas dichas etiquetas, como se ilustra en la figura 35. El sensor SICK cuenta con una frecuencia de conmutación de hasta 10 kHz, ofreciendo un rendimiento adecuado para aplicaciones industriales.

Se ha identificado la necesidad de actualizar este sensor con el objetivo de incorporar el protocolo de comunicación IO-Link, que no está disponible en el modelo actual. Para ello, el sensor seleccionado para el reemplazo es el modelo OPU200 de la marca IFM (ver figura 36), que ofrece varias ventajas en comparación con el modelo actual.

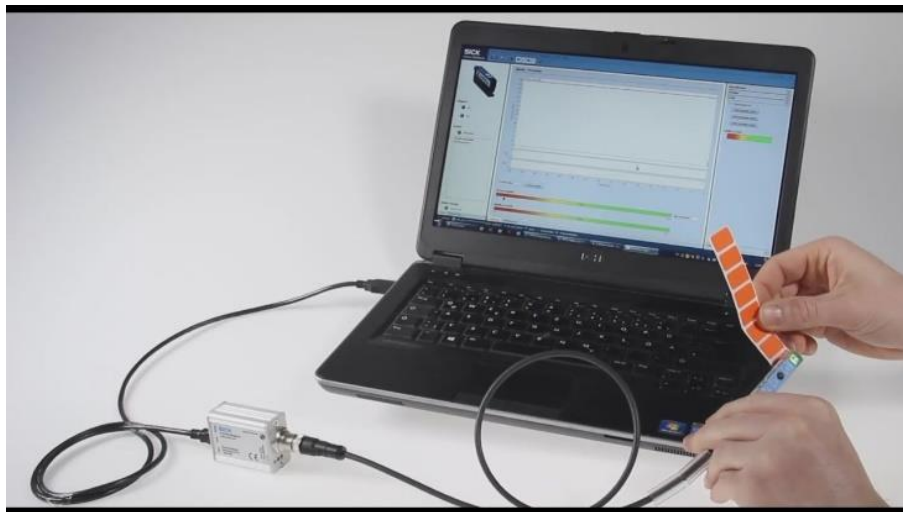


Figura 35. Sensor SICK detectando etiquetas

Fuente: (SICK, 2023)

En primer lugar, el sensor IFM OPU200 es configurable, permitiendo adaptar su funcionamiento para detectar diferentes tipos de etiquetas y materiales, lo que proporciona una mayor flexibilidad y precisión en la detección. Además, al igual que el sensor actual, el OPU200 ofrece una frecuencia de conmutación de hasta 10 kHz, garantizando un rendimiento óptimo en aplicaciones industriales.

Una de las características más destacadas del sensor IFM OPU200 es su capacidad de comunicación directa por IO-Link. La incorporación del protocolo de comunicación IO-Link facilita la configuración, monitoreo y diagnóstico del sensor, contribuyendo a una operación más eficiente y un mantenimiento más sencillo. El sensor OPU200 está equipado con un puerto comunicación serial en COM2 que soporta una velocidad de 38,4 kB y cumple con la versión de IO-Link 1.1, lo que permite una integración sencilla y directa con el sistema de control.



Figura 36. Sensor IO-Link OPU200

Fuente: (IFM, 2023)

5.2.3.2 Sensor para detección de botellas

El sensor de fibra óptica actualmente en uso es el amplificador modelo FS-V11 de la marca KEYENCE. Este sensor se encarga de detectar botellas sobre la banda transportadora para dispensar la etiqueta correspondiente. El sensor KEYENCE presenta una frecuencia de conmutación máxima de hasta 4 kHz, ofreciendo un rendimiento adecuado en aplicaciones industriales.

Se ha identificado la necesidad de reemplazar este sensor debido a la implementación del protocolo de comunicación IO-Link en el sistema. El sensor seleccionado para el reemplazo es el sensor óptico de barrera por reflexión modelo OBG5000-R100-2EP-IO-V31 de la marca PEPPERL FUCHS (ver figura 37), que ofrece varias ventajas en comparación con el modelo actual.



Figura 37. Sensor IO-Link OBG5000-R100-2EP-IO-V31

Fuente: (pepperl-fuchs, 2024).

En primer lugar, el sensor PEPPERL FUCHS OBG5000-R100-2EP-IO-V31 requiere un reflector y permite configurar el contraste, lo que facilita la detección precisa de botellas PET translúcidas, botellas de vidrio transparentes y botellas de colores. La frecuencia máxima de conmutación del sensor es de 500 Hz, lo que teóricamente permitiría detectar hasta 500 botellas por segundo, aunque en la práctica, la cantidad máxima de botellas que se esperan pasar es de 3 botellas por segundo. Por lo tanto, la frecuencia de conmutación es adecuada para el equipo, garantizando un rendimiento óptimo en las condiciones previstas.

Una de las características más destacadas del sensor PEPPERL FUCHS OBG5000-R100-2EP-IO-V31 es su capacidad de comunicación directa por IO-Link. La incorporación del protocolo de comunicación IO-Link en el puerto serial en COM2 del sensor a una velocidad de 38,4 kB y compatible con la versión de IO-Link 1.1, permite una integración sencilla y directa con el sistema de control a través de un maestro tipo A. Esta comunicación directa por IO-Link facilita la configuración, monitoreo y diagnóstico del sensor, contribuyendo a una operación más eficiente y un mantenimiento más sencillo.

En el caso de este sensor necesitamos un reflector por lo cual se realizaron cálculos para una correcta selección del mismo; como datos principales de ficha técnica tenemos el diámetro de haz de luz de aproximadamente 170 mm a 3.5 m, además tendremos en cuenta que el reflector estará ubicado a una distancia máxima de 150 mm del sensor.

Para realizar los cálculos, consideraremos un haz de luz modelado como un cono, a este le realizaremos un corte transversal desde el vértice hasta el centro de la base, generando así un triángulo isósceles, así como se muestra en la figura 38, usando el teorema de tales resulta la ecuación 23 y los cálculos siguientes:

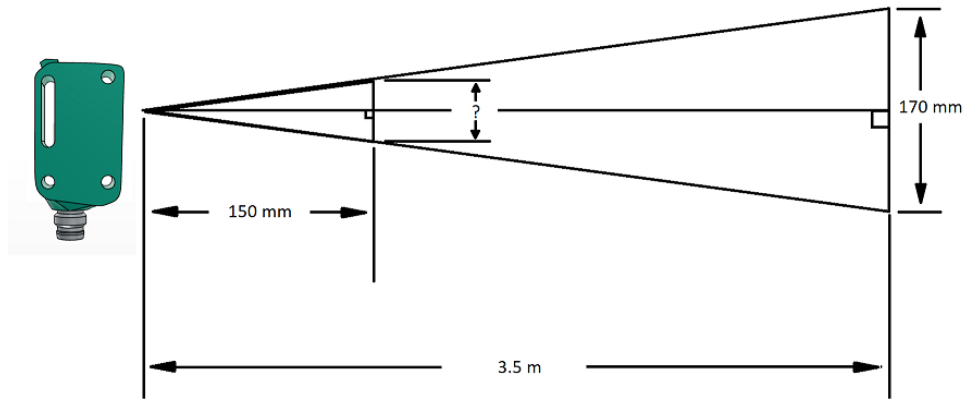


Figura 38. Esquema de cálculo de haz de luz

Fuente: Autor propio

Díámetro de haz de diseño

= Distancia de haz de diseño

(23)

** $\frac{\text{Díámetro de haz de referencia}}{\text{Distancia de haz de referencia}}$*

$$\text{Díámetro de haz de diseño} = 0.15 \text{ m} * \frac{0.17 \text{ m}}{3.50 \text{ m}} = 0.007285 \text{ m}$$

Díámetro de haz de diseño = 7.29 mm

Para satisfacer las necesidades de detección del sensor de botellas con comunicación IO-Link, se seleccionó un reflector específico que cumpliera con los requisitos técnicos y de espacio. El reflector elegido es compacto y redondo con un área de reflexión tiene un diámetro 32 mm, perteneciente a la marca IFM y con el modelo E20954. Este reflector se caracteriza por su diseño que optimiza el espacio, ideal para aplicaciones donde se requiere una instalación más compacta.

5.2.4 Selección de maestro IO-Link

Algunos modelos de maestros IO-Link cuentan con una clasificación de protección IP67K, lo que garantiza su seguridad ante condiciones ambientales adversas en el entorno de trabajo. Además, estos maestros pueden ser ubicados en diferentes puntos dentro de una planta de procesos, recolectando datos y transmitiéndolos al controlador a través de un bus de campo. Este enfoque proporciona una mayor flexibilidad en el diseño del sistema y una mejor integración con la infraestructura existente.

Para la integración de los sensores con la etiquetadora y el PLC S7-1200, se seleccionó un maestro IO-Link de la marca IFM con un protocolo de comunicación PROFINET. Se optó por este protocolo debido a que el PLC S7-1200 lo integra de manera nativa y esto facilita la integración y asegura una comunicación eficiente entre los sensores y el PLC.

El modelo seleccionado fue el AL1304, que opera con una alimentación de 24 VDC, al igual que los sensores. El maestro cuenta con 4 puertos IO-Link tipo A, que tienen una corriente máxima de salida de 300 mA para alimentar los sensores. Además, es compatible con la versión de IO-Link 1.1 y puede manejar velocidades de comunicación COM1 (4.8 kB), COM2 (38.4 kB) y COM3 (230.4 kB).

Este maestro IO-Link se adapta perfectamente a los sensores seleccionados para la etiquetadora, ya que la versión del IO-Link es la misma (v1.1) y ambos trabajan en COM2 a 38.4 kB.

Adicionalmente, este maestro está diseñado para soportar un ambiente de -25 °C a 60 °C, con una humedad relativa máxima del 90 %RH, y cuenta con una protección máxima de IP67. El esquema de conexión se muestra en la Figura 39, garantizando una integración eficiente y un rendimiento óptimo del sistema.

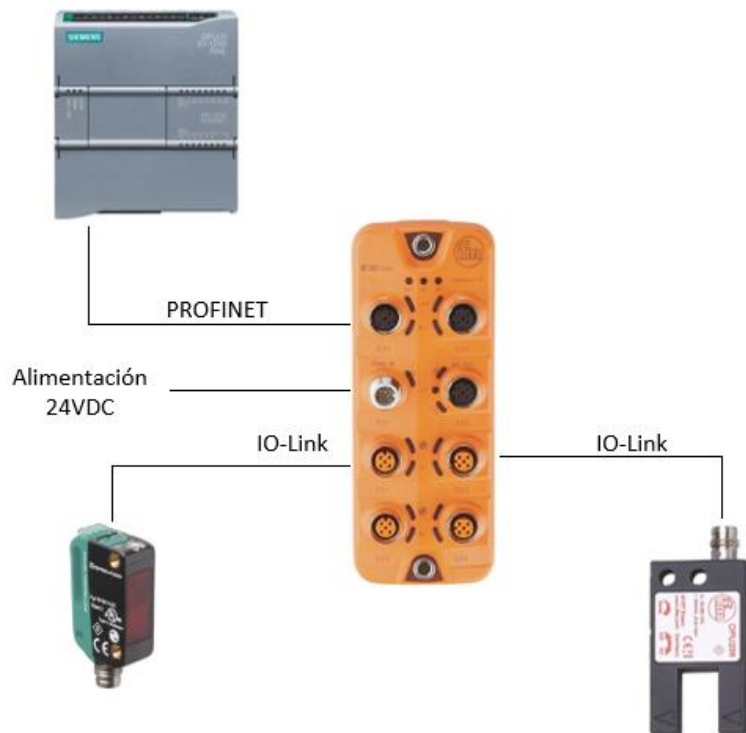


Figura 39. Esquema de conexión IO-Link para etiquetadora

Fuente: (IFM, 2023), (SIEMENS, 2024), (Pepperl+Fuchs, 2023)

5.3 Dimensionamiento de fuente de alimentación 24 VDC

Para el dimensionamiento de la fuente de alimentación 24 VDC, tenemos en cuenta la fuente instalada de la marca MEANWELL modelo NES-100-24, la cual es una fuente que convierte de 220 VAC a 24 VDC, con una potencia máxima de salida de 108 W.

Por lo tanto, se sumó todas las corrientes de consumo nominal de todos los equipos que trabajaran a este voltaje, para calcular la carga total, para ello se revisó cada una de las fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes, esto se observa en la tabla 13.

Tabla 13. Tabla de consumo de componentes de control

TABLA DE CONSUMO DESPUES DE ACTUALIZACION DE COMPONENTES						
Numero	Marca	Modelo	Tag de diagrama	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
1	WEIDMUELLER	RCLKIT 24VDC 2CO LED GN	K1, K2	24 VDC	16.70 mA	0.40 W
2	EATON	DILER-40-G(24VDC)	KM1	24 VDC	95.83 mA	2.30 W
3	SIEMENS	6AV2123-2GB03-0AX0	HMI1	24 VDC	230.00 mA	5.52 W
4	SIEMENS	6ES7212-1AE40-0XB0	PLC1	24 VDC	1,200.00 mA	28.80 W
5	WEIDMUELLER	IE-SW-BL05-5TX	SWT1	24 VDC	100.00 mA	2.40 W
6	IFM	AL1304	MST1	24 VDC	300.00 mA	7.20 W
7	IFM	OPU200	SN1	24 VDC	30.00 mA	0.72 W
8	PEPPERL FUCHS	OBG5000-R100-2EP-IO-V31	SN2	24 VDC	100.00 mA	2.40 W
Consumo total					2.07 A	49.74 W

Fuente: Autor propio

En la tabla 13, se observa el consumo total nominal es de 49.74 W, si tenemos en cuenta la fuente instalada antes de la actualización es una fuente de 108 W que entrega un máximo de 4.5 A.

$$\text{Porcentaje de utilización de potencia} = \frac{\text{Potencia actual de consumo}}{\text{Potencia total de equipo}} * 100 \quad (24)$$

$$\text{Porcentaje de utilización de potencia} = \frac{49.74W}{108W} * 100 \%$$

$$\text{Porcentaje de utilización de potencia} = 46.05 \%$$

Actualmente, se utiliza el 46.05% de la potencia nominal de la fuente, lo que significa que aún queda un 43.95% disponible, dejando un margen libre del 10%. Por esta razón, no se consideró necesario realizar un cambio, ya que el sistema funciona correctamente.



SPECIFICATION		NES-100-5	NES-100-7.5	NES-100-9	NES-100-12	NES-100-15	NES-100-24	NES-100-48
OUTPUT	MODEL							
	DC VOLTAGE	5V	7.5V	9V	12V	15V	24V	48V
	RATED CURRENT	20A	13.6A	11.2A	8.5A	7A	4.5A	2.3A
	CURRENT RANGE	0 ~ 20A	0 ~ 13.6A	0 ~ 11.2A	0 ~ 8.5A	0 ~ 7A	0 ~ 4.5A	0 ~ 2.3A
	RATED POWER	100W	102W	100.8W	102W	105W	108W	110.4W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	80mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.75 ~ 5.5V	7.13 ~ 8.3V	8.55 ~ 9.9V	11.4 ~ 13.2V	14.25 ~ 16.5V	22.8 ~ 26.4V	45.6 ~ 52.8V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION Note.4	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION Note.5	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
INPUT	SETUP, RISE TIME	1000ms, 20ms/230VAC 1000ms, 20ms/115VAC at full load						
	HOLD UP TIME (Typ.)	30ms/230VAC 25ms/115VAC at full load						
	VOLTAGE RANGE	85 ~ 132VAC / 176 ~ 264VAC selected by switch 248 ~ 373VDC						
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz						
	EFFICIENCY (Typ.)	80%	81%	81%	83%	84%	86%	86%
	AC CURRENT (Typ.)	2A/115VAC 1.2A/230VAC						
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 45A						
	LEAKAGE CURRENT	<2mA / 240VAC						

Figura 40. Especificaciones de fuente MEANWELL

Fuente: (MEANWELL, 2024)

En las especificaciones del fabricante que se muestran en la figura 40, se observa que la corriente de consumo nominal de entrada a un voltaje de 230 VAC es de 1.2 A, y según la norma IEC 60947-2 sección 4.1.2 detalla que la corriente nominal del interruptor automático debe ser al menos igual a la corriente máxima esperada en el circuito que protege, en este caso es de 1.2 A.

En esta norma no se especifica porcentaje un margen de seguridad para el correcto funcionamiento, por lo cual tomaremos un 20% para asegurar que los dispositivos puedan manejar picos de carga y futuras expansiones sin problemas.

$I_p = \text{Corriente nominal de interruptor termomagnético}$

$I_n = \text{Corriente nominal de consumo}$

$$I_p = I_n + (I_n * 20\%) \quad (25)$$

$$I_p = 1.20 \text{ A} + (1.20 \text{ A} * 0.20)$$

$$I_p = 1.44 \text{ A}$$

Tomando en cuenta el cálculo resultante de la ecuación 25, el interruptor termomagnético debe ser igual o superior a 1.44 A, pero en todo caso el interruptor normalizado más cercano al valor es de 2 A, por lo cual se seleccionó un interruptor de la marca Weidmüller de 2 A modelo CB PROTECTOR 1077 2P C 2A ACDC.

Para el dimensionamiento de la sección nominal del conductor eléctrico, se considera la tabla 6 del CÓDIGO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE NICARAGUA. En esta tabla, se seleccionó un conductor de cobre tipo THHN con una sección nominal de 1.307 mm², cuya ampacidad es de 24 A. Esta ampacidad resulta ser óptima para alimentar la fuente.

5.4 Diagrama de bloques de diseño del sistema eléctrico

En la figura 41, observamos el nuevo diseño de la distribución del sistema eléctrico donde observamos la estructura general de los equipos tanto de alimentación, como de control y comunicaciones.

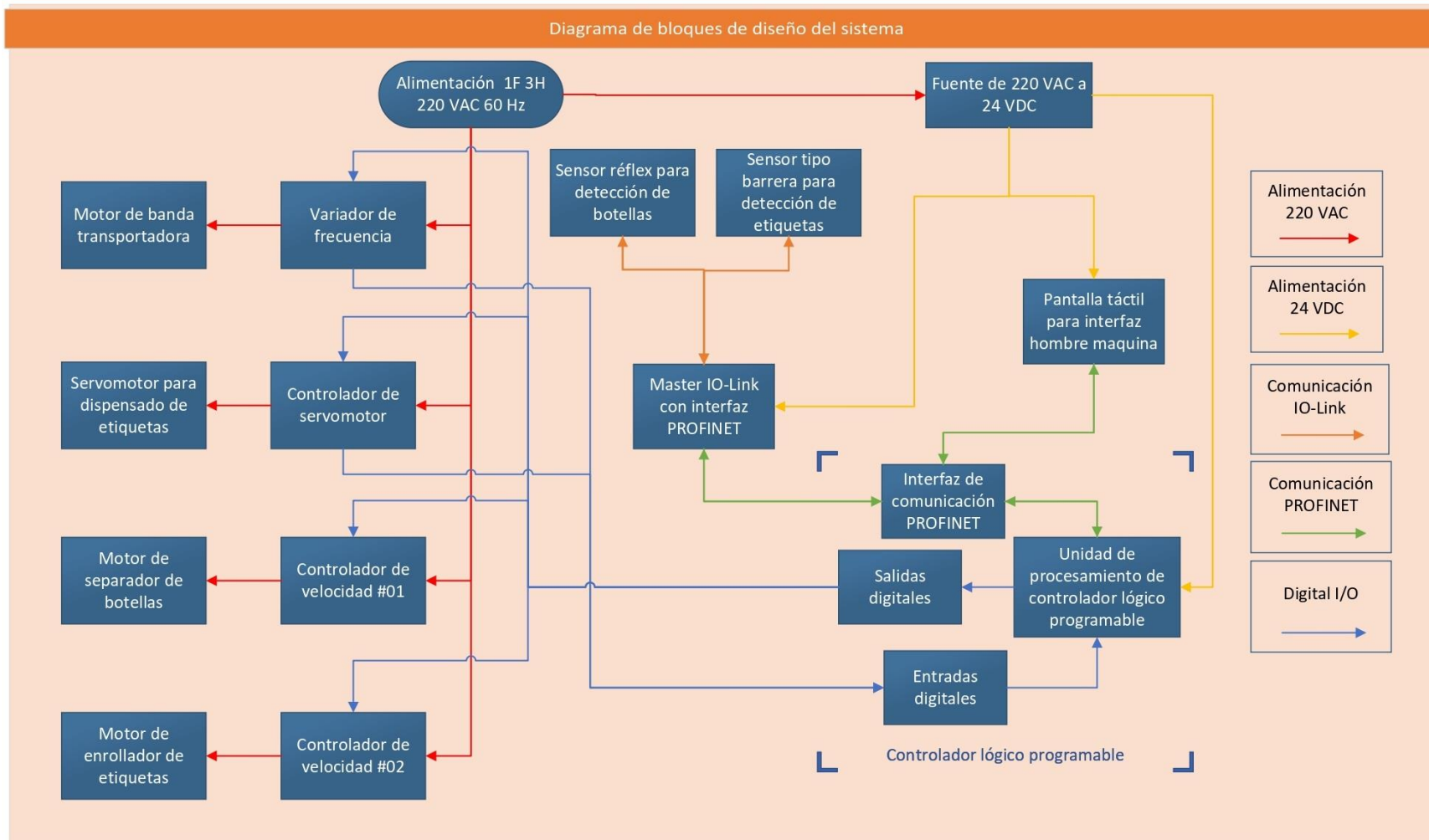


Figura 41. Diagrama de bloques de la distribución del sistema eléctrico

Fuente: Autor propio

5.5 Diagrama de flujo del proceso de etiquetado

El diagrama de flujo se divide en dos secciones principales, representadas en las figuras 42 y 43, que ilustran el funcionamiento integral del sistema. En este proceso, el papel del operador de la máquina es crucial y se lleva a cabo a través de una interfaz hombre-máquina (HMI) intuitiva. Desde esta interfaz, el operador tiene acceso a todas las funciones y configuraciones correspondientes, lo que facilita y agiliza las operaciones de configuración y supervisión del proceso de etiquetado.

En la primera parte, figura 42, se centra en la parametrización de recetas para almacenar las configuraciones tanto del envase como de la etiqueta. Desde la interfaz HMI, el operador puede configurar fácilmente los parámetros deseados e iniciar el proceso de etiquetado.

Por otro lado, la segunda parte, figura 43, se enfoca en el proceso de etiquetado de las botellas. Cuando el sensor de botellas detecta un envase, envía una señal hacia el maestro a través de IO-Link, que sucesivamente, este envía por medio de PROFINET los datos correspondientes al controlador lógico programable. Posteriormente, el PLC envía una señal de respuesta al controlador del servomotor, indicándole que debe dispensar la etiqueta correspondiente. De esta manera, se logra etiquetar un envase a la vez de forma precisa y eficiente, todo ello controlado desde la interfaz HMI por el operador.

Una vez que se alcanza el número objetivo de envases etiquetados, la máquina se detiene automáticamente y muestra un mensaje en la interfaz HMI indicando que el proceso ha finalizado con éxito. En caso de detectarse algún fallo en el funcionamiento del sistema, este se detendrá automáticamente y activará una alarma en la interfaz HMI, indicándole al operador el origen del error, permitiendo una rápida intervención y resolución de cualquier problema que pueda surgir.

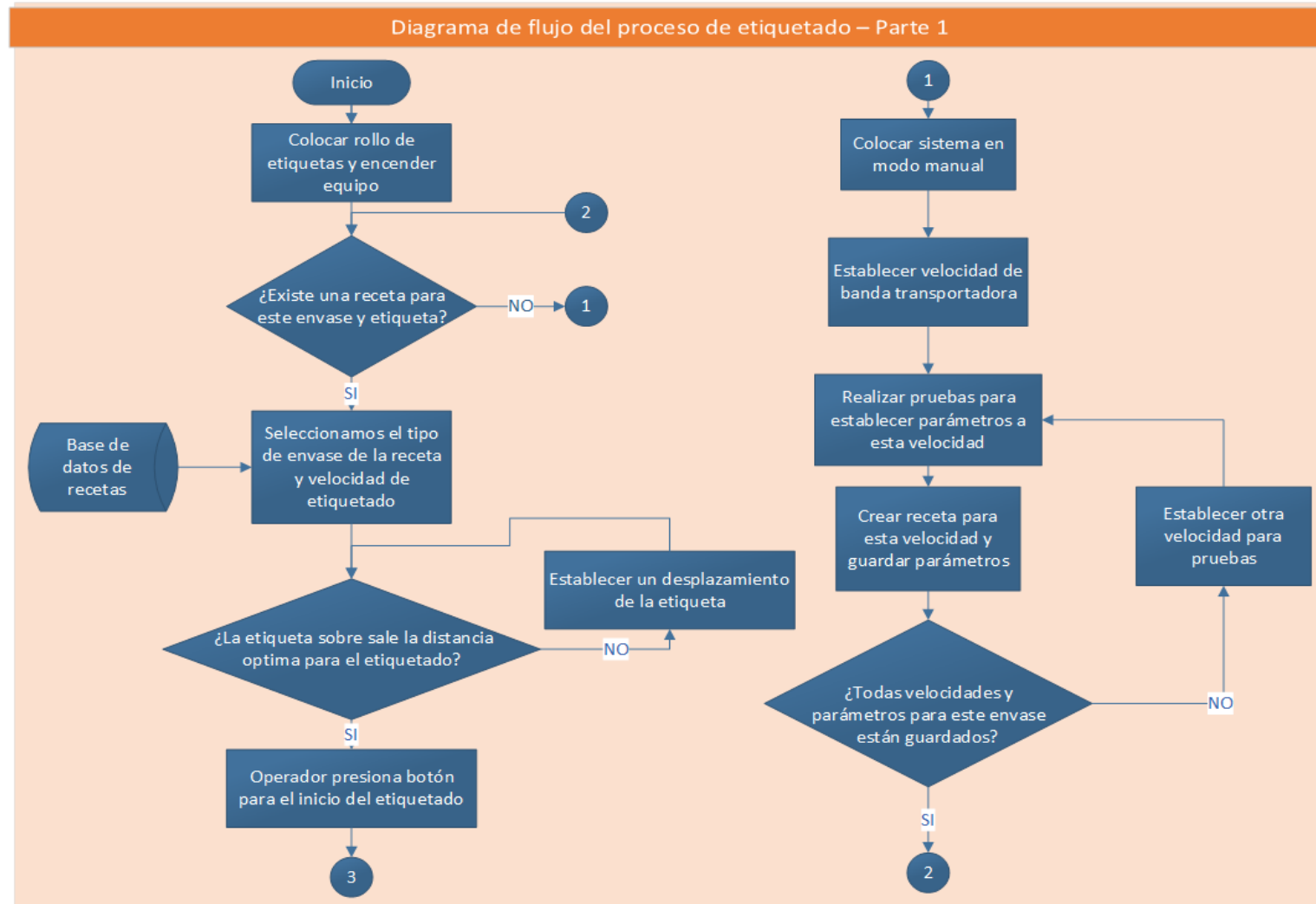


Figura 42. Diagrama de flujo del proceso de etiquetado parte 1

Fuente: Autor propio

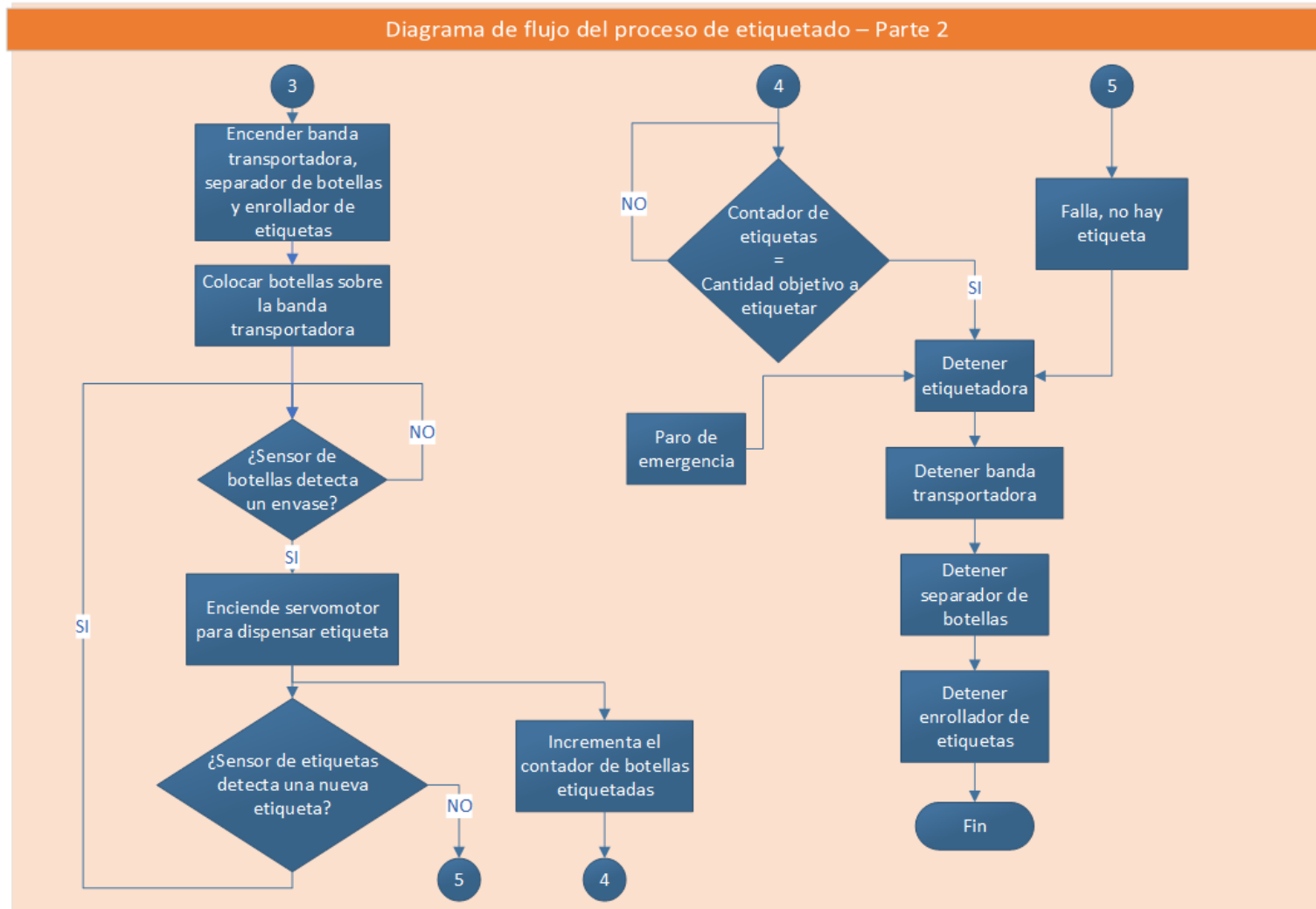


Figura 43. Diagrama de flujo del proceso de etiquetado parte 2

Fuente: Autor propio

5.6 Diseño del diagrama eléctrico

Se ha llevado a cabo el diseño detallado del diagrama eléctrico de las modificaciones implementadas, identificado con el código UNI-IPR-002-0224. Este diseño ha sido meticulosamente realizado, ubicando estratégicamente los equipos previamente seleccionados para asegurar su correcto funcionamiento e integración en el sistema.

En el diagrama eléctrico actualizado, hemos integrado protocolos de comunicación modernos como PROFINET y IO-Link, esta integración permite una comunicación eficiente entre los diferentes componentes del sistema, mejorando la coordinación y el control de las operaciones realizadas.

Para la alimentación de los equipos de potencia, se ha incorporado un contactor que se enclava mediante una salida del PLC. Esta configuración permite desconectar toda la potencia en caso de fallo sin interrumpir el procesamiento del PLC, garantizando así la seguridad y la integridad del sistema.

El variador de frecuencia se controla mediante tres salidas digitales. La primera activa el arranque, mientras las dos siguientes funcionan como bits de un número binario de 2 dígitos para seleccionar entre las cuatro velocidades disponibles (ver tabla 14). Además, el relé interno del variador envía una señal hacia el controlador para indicar si el variador está en alarma.

Tabla 14. Tabla de velocidades prefijadas

Binario	Decimal	velocidad de banda	Frecuencia de variador
00	0	8 m/min	20.35 Hz
01	1	15 m/min	38.15 Hz
10	2	20 m/min	50.87 Hz
11	3	25 m/min	63.59 Hz

Fuente: Autor propio

El control del servomotor se realiza por posición, para lo cual el PLC genera un tren de pulsos utilizando dos salidas digitales de alta frecuencia de conmutación. Esta configuración proporciona un control preciso y eficiente del servomotor, permitiendo un funcionamiento óptimo en el proceso de etiquetado. Además, se ha añadido una entrada digital en controlador lógico programable para la señal de alarma del controlador del servomotor.

El maestro IO-Link seleccionado cuenta con 4 puertos para conectar 4 sensores, de los cuales solo se utilizarán 2. La conexión de los sensores es sencilla, utilizando conectores estándar M12 y M8 (ver figura 44). La comunicación entre la interfaz HMI, el maestro IO-Link y el PLC se realiza mediante PROFINET, para lo cual se ha añadido un Switch Ethernet que facilita la conexión entre los tres equipos de manera eficiente y fiable.

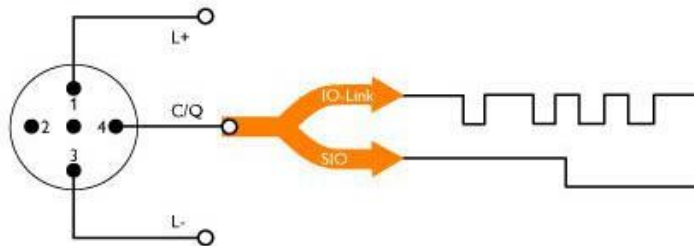


Figura 44. Conexión de cableado IO-Link

Fuente: (WIKA, 2024)

Con este enfoque estructurado y detallado, la monografía proporciona una visión integral y clara de las modificaciones realizadas en la máquina etiquetadora, destacando la importancia de cada componente y su contribución al mejoramiento del sistema en su conjunto.

5.7 Distribución de elementos en panel eléctrico

En la figura 45, se muestra una representación en el software Autodesk Inventor de la etiquetadora, donde se han dispuesto estratégicamente los componentes seleccionados.

Cada elemento se ha colocado de manera precisa para garantizar su correcto funcionamiento dentro del sistema de acuerdo a los manuales de los fabricantes. Así mismo, en la figura 46 tenemos la representación de la placa de montaje, con los nuevos dispositivos colocados y la disposición de los ductos eléctricos.



Figura 45. Representación 3D de máquina etiquetadora

Fuente: (JSSC, 2024), (IFM, 2023), (SIEMENS, 2023)



Figura 46. Representación 3D de la placa de montaje

Fuente: (SIEMENS, 2024), (Danfoss, 2024), (YASKAWA, 2024)

6 Capítulo 3: Implementación

En este capítulo se detalla las partes importantes acerca de la actualización de la máquina etiquetadora de envases cilíndricos. Se exploran las modificaciones realizadas a la máquina, así como la compatibilidad de los componentes, la integración de la tecnología IO-Link, pruebas y ajustes realizados para garantizar un funcionamiento óptimo.

6.1 Implementación de diseño eléctrico

Durante la implementación del diseño eléctrico, se inició con el desmontaje de todos los equipos existentes en la placa de montaje, esta acción fue esencial para permitir las modificaciones y reubicaciones necesarias en el panel. A continuación, se realizaron ajustes en los ductos para cables y se reubicaron los componentes según las especificaciones del nuevo diseño.

Una vez completadas las modificaciones físicas, se llevó a cabo la modificación del cableado. Durante este proceso, se siguió detenidamente el plano eléctrico UNI-IPR-002-0224 como referencia principal, en el cual se detallan las conexiones a cada dispositivo en la figura 48 podemos observar la conexión realizada al controlador lógico programable. Se prestó especial atención al etiquetado de los cables, asegurando una identificación clara que facilitaría las futuras labores de mantenimiento y diagnóstico (ver figura 47).



Figura 47. Cableado de panel eléctrico

Fuente: (SIEMENS, 2024)

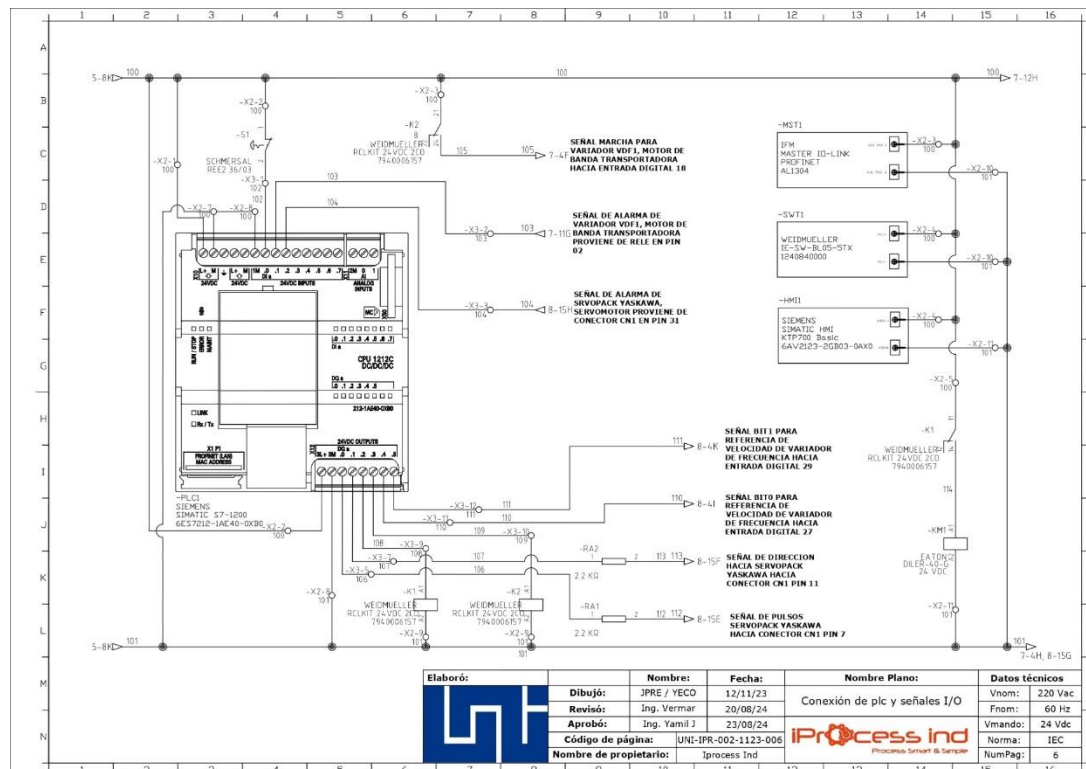


Figura 48. Diagrama eléctrico que muestra la conexión de PLC

Fuente: Autor propio

Tras la implementación del cableado y la reconfiguración del panel, se procedió a instalar una nueva pantalla táctil que serviría como HMI (Interfaz Humano-Máquina). Esta pantalla táctil mejorando la interacción y el monitoreo de la operación (ver figura 49).



Figura 49. Montaje de HMI

Fuente: (SIEMENS, 2023)

En cuanto a los sensores, primero se realizó la instalación del sensor de etiquetas, el cual es un sensor fotoeléctrico de tipo barrera que permitiría detectar la presencia y ausencia de las etiquetas en el proceso (ver figura 50).



Figura 50. Sensor de etiquetas

Fuente: (IFM, 2023)

Posteriormente, se instaló el sensor de botellas, el cual es un sensor fotoeléctrico de tipo réflex, que tiene la capacidad para medir el contraste y así poder detectar objetos translucidos de forma eficiente, así mismo, necesita de un reflector para funcionar correctamente (ver figura 51).



Figura 51. Sensor de botellas

Fuente: (Pepperl+Fuchs, 2023)

Estos sensores fueron conectados al maestro mediante el protocolo de comunicación IO-Link utilizando una conexión punto a punto. El maestro IO-Link, a su vez, fue conectado mediante un cable Ethernet y comunicación PROFINET al PLC (Controlador Lógico Programable) y se instaló en una de las bases de la banda transportadora (ver figura 52). Cabe destacar que la HMI también utiliza la comunicación PROFINET para integrarse con el sistema de control.

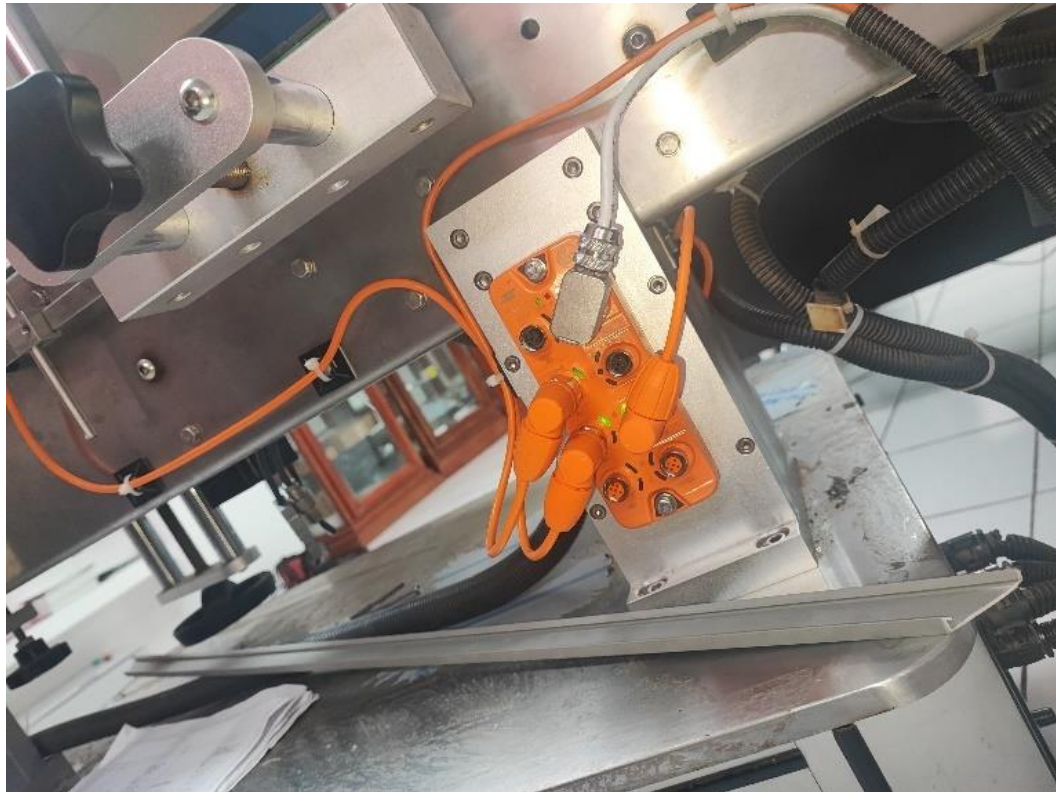


Figura 52. Maestro IO-Link

Fuente: (IFM, 2023)

6.2 Direccionamiento de dispositivos

Para que los dispositivos puedan operar de forma correcta, se creó una red PROFINET con la dirección de red 10.10.10.0/24, esta dirección IP pertenece al rango de direcciones privadas libres, y se estableció una dirección fija para cada equipo (ver tabla 15), al igual en la figura 53 muestra un esquema para ilustrar cada equipo y sus respectivas direcciones.

Tabla 15. Direcciones IP de máquina etiquetadora

TABLA DE DIRECCIONES DE RED			
Numero	Equipo	Direccion IP	Mascara
1	Controlador logico programable	10.10.10.5	255.255.255.0
2	Interfaz hombre maquina	10.10.10.10	255.255.255.0
3	Maestro IO-Link	10.10.10.15	255.255.255.0

Fuente: Autor propio

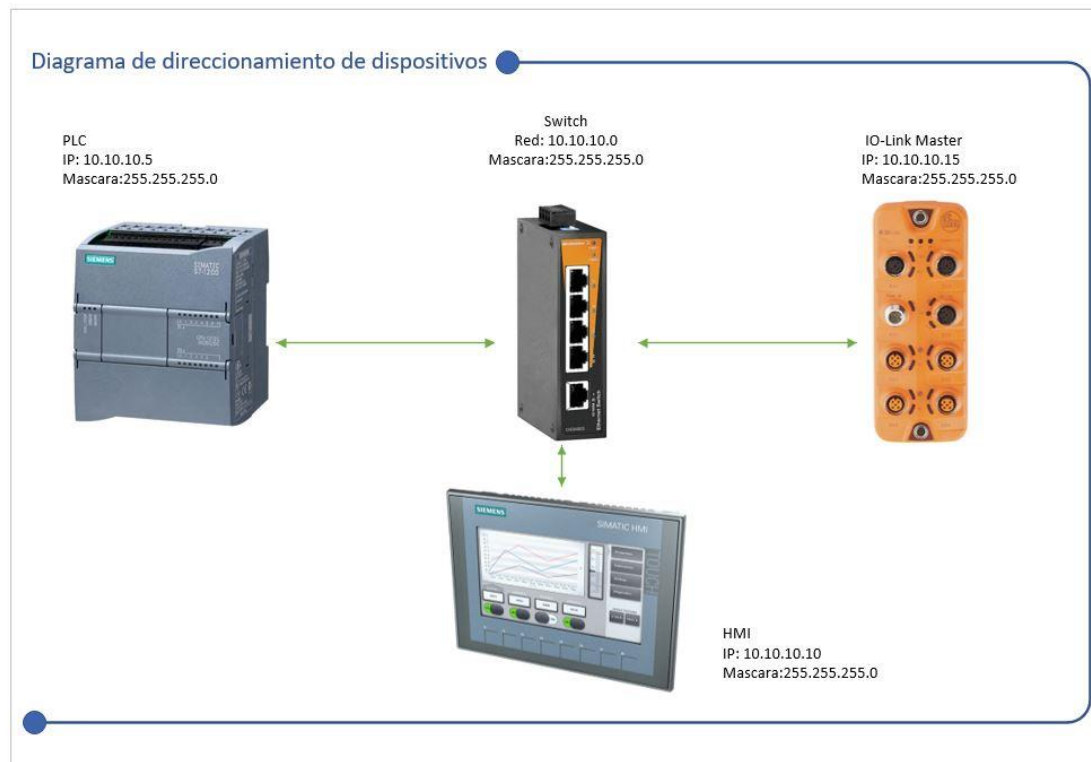


Figura 53. Diagrama de direccionamiento de dispositivos

Fuente: (SIEMENS, 2024), (IFM, 2023)

6.3 Comunicación IO-Link

Los sensores se seleccionaron con la interfaz de comunicación IO-Link con el fin de poseer un mayor control del sistema, debido a que este tipo de sensores proporcionan datos adicionales y reducen la complejidad de las conexiones. Por tanto, se configuró el maestro seleccionado de la marca IFM, modelo AL1304, según los modelos de los sensores de los que obtendría los datos y la dirección IP asignada (ver figura 54), además, los puertos no utilizados fueron deshabilitados.

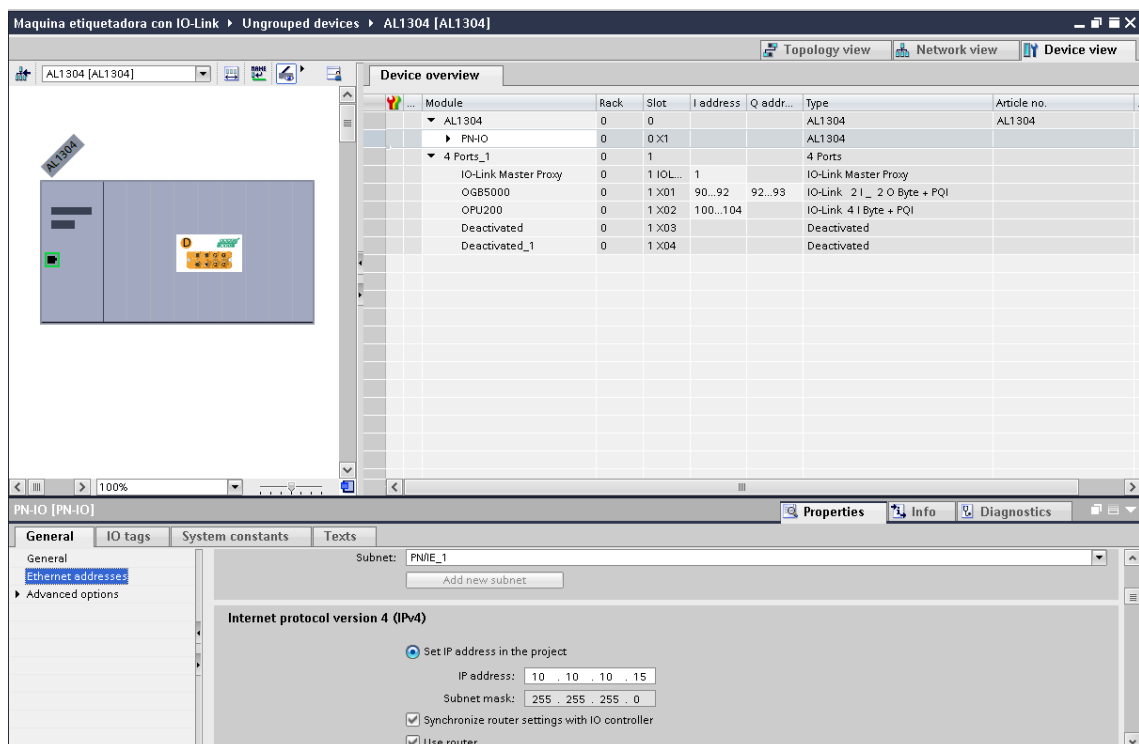


Figura 54. Configuración de maestro IO-Link

Fuente: Autor propio

Cada sensor ha sido configurado en el controlador para permitir el almacenamiento de una copia de seguridad de sus datos de configuración. Esta avanzada funcionalidad posibilita la restauración automática de los datos de configuración previamente guardados en caso de reemplazo del sensor. Esta característica no solo elimina la necesidad de reconfigurar manualmente el nuevo sensor, sino que también optimiza el proceso de mantenimiento, reduciendo los tiempos de inactividad del sistema.

Además, es importante destacar que se requieren dos datos específicos para la correcta identificación del sensor: el Vendor ID (Identificación del fabricante) y el Device ID (Identificación del modelo del sensor). Estos datos son configurados previamente; en caso de que el sensor conectado no coincida con estos datos, se presentará un fallo y no permitirá la conexión (ver figura 55 y 56). Por lo tanto, es fundamental asegurarse de que, en caso de reemplazo del sensor, este sea del mismo modelo y marca del instalado para garantizar una integración transparente al sistema.

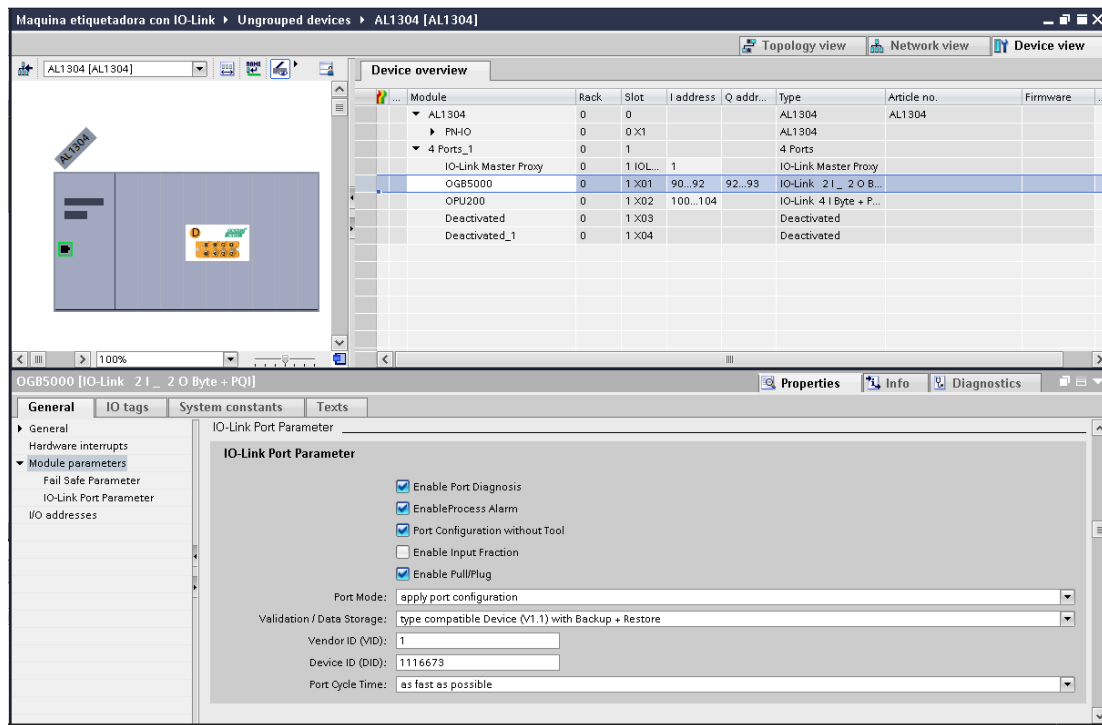


Figura 55. Configuración de sensor OGB5000-R100-2EP-IO-V31

Fuente: Autor propio

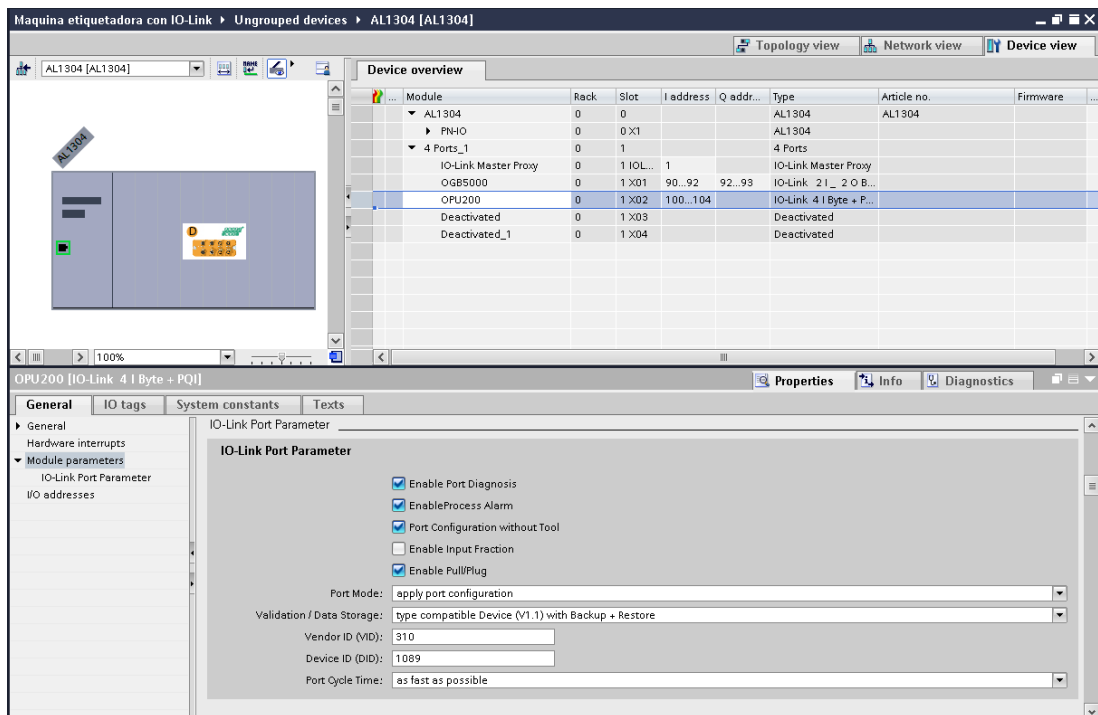


Figura 56. Configuración de sensor OPU200

Fuente: Autor propio

6.3.1 Sensor de botellas

El sensor de botellas utilizado es un sensor tipo réflex de la marca Pepperl+Fuchs, modelo OGB5000-R100-2EP-IO-V31, conectado en el puerto X01, del maestro IO-Link instalado. Para acceder y obtener los datos necesarios de este sensor, es imprescindible contar con el documento “IO Device Description” (IODD), la descripción del dispositivo IO-Link. Este documento nos proporciona información detallada sobre las direcciones de los datos de proceso, así como los índices y subíndices para acceder a informaciones adicionales relevantes.

Como se puede apreciar en la figura 57, el sensor proporciona datos de proceso tanto de entrada como de salida. A través de estos datos, se puede obtener información crucial como la señal de conmutación y la señal de alarma de estabilidad, que son fundamentales para el correcto funcionamiento y monitoreo del sistema.

ProcessData id=P_ProcessData0

ProcessDataIn "Process Data Input PDI8.2" id=PI_PDI8_2B

bit length: 2
data type: 2-bit Record (subindex access not supported)

subindex	bit offset	data type	allowed values	default value	acc. restr.	mod. other var.	excl. from DS	name	description
1	0	Boolean	false = inactive, true = active					Switching Signal	
2	1	Boolean	false = inactive, true = active					Stability Alarm	

Octet 0

bit offset	7	6	5	4	3	2	1	0
subindex							2	1

ProcessDataOut "Process Data Output PDO8.2" id=PO_PDO8_2B

bit length: 2
data type: 2-bit Record (subindex access not supported)

subindex	bit offset	data type	allowed values	default value	acc. restr.	mod. other var.	excl. from DS	name	description
1	0	Boolean	false = inactive, true = active					CSC1 - Transducer Disable	
2	1	Boolean	false = inactive, true = active					CSC2 - Evaluation Hold	

Octet 0

bit offset	7	6	5	4	3	2	1	0
subindex							2	1

Figura 57. Datos de proceso sensor OGB5000-R100-2EP-IO-V31

Fuente: (Pepperl+Fuchs, 2023)

Con el objetivo de mejorar el control y la accesibilidad a los parámetros de configuración del sensor, se implementaron bloques de funciones proporcionados por IFM, el fabricante del maestro IO-Link. Estos bloques de funciones permiten obtener información adicional detallada, incluyendo el estado actual del dispositivo, alarmas activas, las horas de operación acumuladas y múltiples parámetros de configuración.

Entre los parámetros de configuración accesibles se encuentran el modo de operación del sensor y el filtro de la señal. Gracias a esta integración de bloques de funciones, se facilita el monitoreo continuo y la configuración personalizada del sensor, garantizando así un funcionamiento óptimo del sistema en conjunto.

6.3.2 Sensor de etiquetas

El sensor de etiquetas utilizado en el sistema es un sensor fotoeléctrico tipo barrera de la marca IFM, concretamente el modelo OPU200. Este sensor está conectado al puerto X02 del maestro IO-Link, al igual que con el sensor de botellas, para acceder y obtener los datos necesarios del sensor de etiquetas es indispensable contar con la descripción del dispositivo IO-Link (IODD) proporcionada por el fabricante IFM.

Como se puede observar en la figura 58, este dispositivo proporciona exclusivamente datos de entrada. A través de estos datos, se puede monitorizar la intensidad de luz detectada por el sensor, verificar el estado actual del dispositivo y obtener la señal de conmutación, que es crucial para el correcto funcionamiento y control del sistema en relación con la detección de etiquetas.

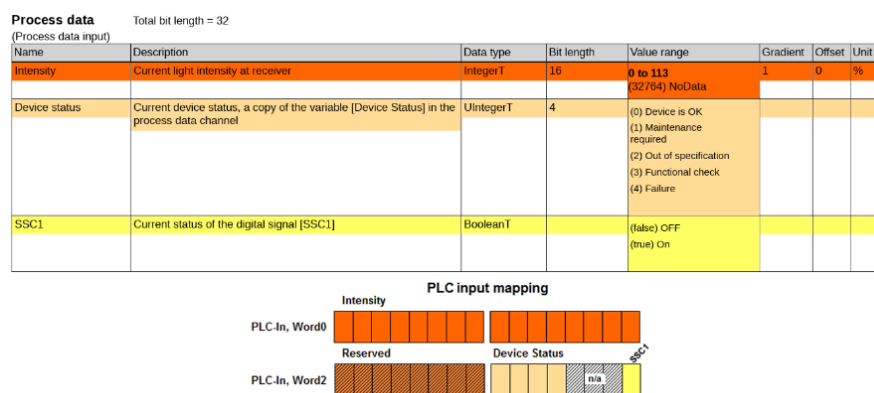


Figura 58. Datos de proceso de sensor OPU200

Fuente: (IFM, 2023)

Al igual que con el sensor de botellas, se extrajeron datos adicionales del sensor de etiquetas para obtener información valiosa. Entre los datos obtenidos se incluyen las horas de operación, los ciclos de encendido, los modos de operación y la consigna del valor de conmutación del sensor. Estos datos son fundamentales para proporcionar una correcta configuración, mayor control, fiabilidad y eficiencia en el monitoreo de los sensores.

La recopilación y análisis de estos datos adicionales permiten no solo optimizar el rendimiento de los sensores, sino también anticipar posibles fallos o irregularidades en su funcionamiento. Esta capacidad predictiva es crucial para implementar medidas preventivas y correctivas a tiempo, asegurando así la continuidad operativa del sistema y minimizando los tiempos de inactividad no planificados.

6.3.3 Integración de sensores en HMI

Se diseñó una pantalla específica para cada uno de los sensores con el propósito de modificar parámetros y observar el estado de los mismos. En el desarrollo de estas pantallas, se ha tomado en consideración la norma ISA101. Esta normativa proporciona directrices y ejemplos de las mejores prácticas para el diseño de interfaces gráficas de usuario en sistemas de automatización y control.

En la figura 59, se presentan los parámetros configurables para el sensor de botellas, así como los parámetros que ofrecen información relevante sobre el mismo. Entre los datos proporcionados, se encuentran el estado del dispositivo, las horas de operación, la señal de conmutación, la señal de alarma de estabilidad, el modo de operación y el filtro de la señal. Además, destaca la función "teach in", la cual desempeña un papel crucial en la configuración y autoajuste del sensor.

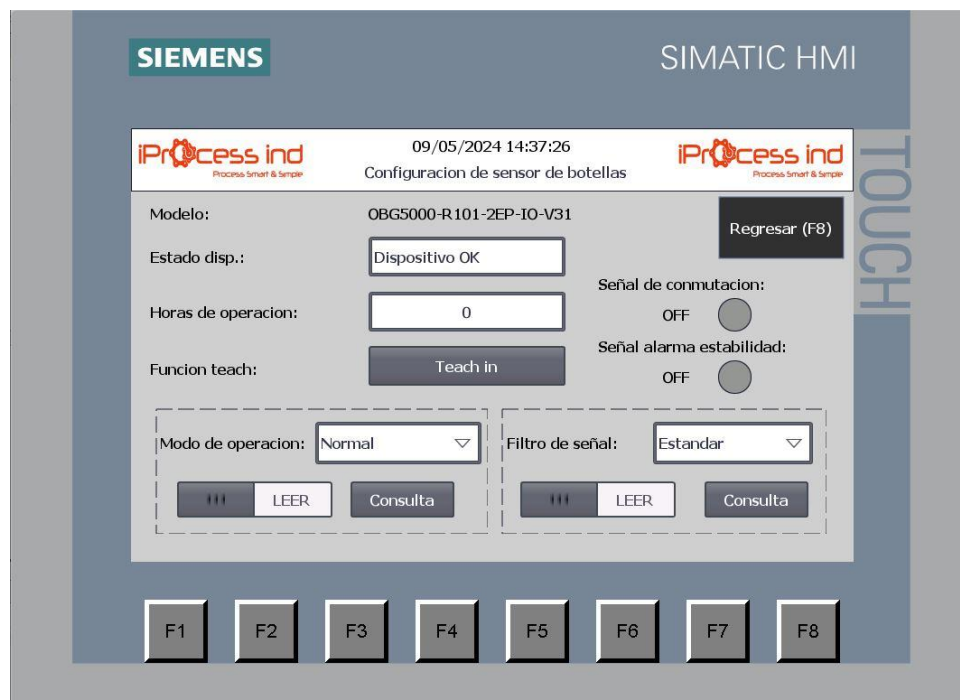


Figura 59. Pantalla de configuración de sensor de botellas

Fuente: (SIEMENS, 2024)

Por otro lado, en la figura 60 se muestra la pantalla de configuración específica para el sensor de etiquetas, donde se presentan tanto los parámetros de configuración como la información relevante del sensor. En esta interfaz, es posible visualizar el estado actual del dispositivo, la intensidad de luz detectada, las horas de operación acumuladas y los ciclos de encendido realizados. Además, se incluyen la señal de conmutación y las opciones para configurar la consigna y el modo de funcionamiento del sensor.

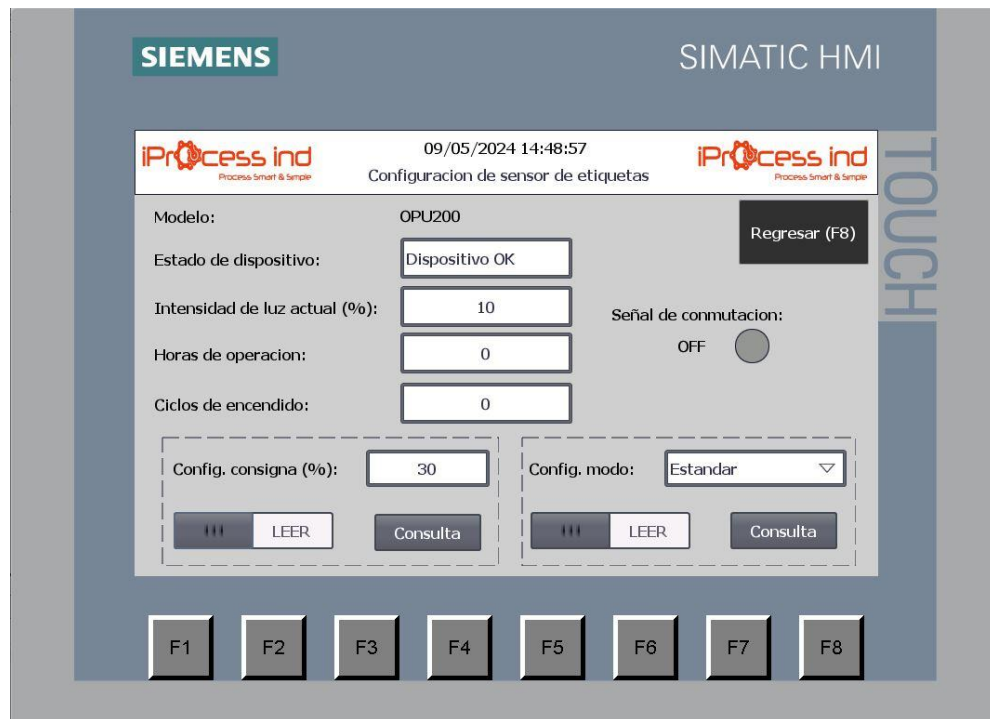


Figura 60. Pantalla de configuración de sensor de etiquetas

Fuente: (SIEMENS, 2023)

6.4 Parámetros de configuración de servomotor en el controlador

Para el control del servomotor, se emplea un objeto tecnológico tipo "eje" disponible en el software TIA Portal de SIEMENS. En esta configuración, se utiliza una señal de tren de pulsos (PTO). Específicamente, se emplean dos salidas digitales para el control del motor, una de estas salidas se encarga de proporcionar el pulso necesario para el funcionamiento del motor, mientras que la otra determina la dirección del movimiento (ver figura 61).

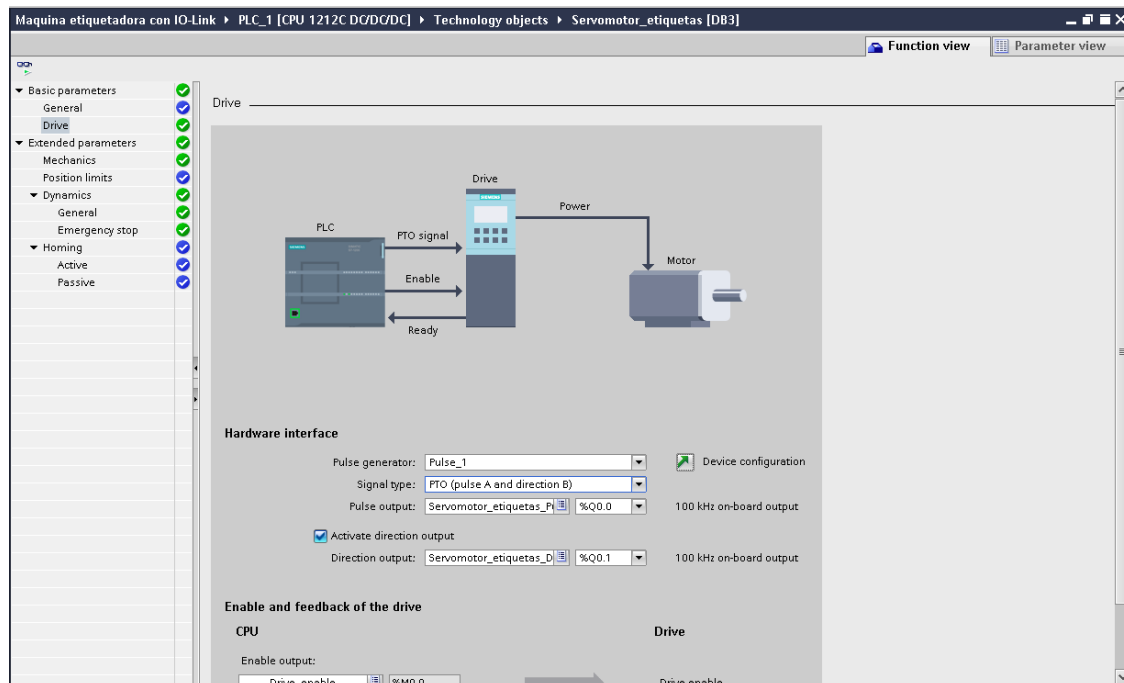


Figura 61. Configuración general del generador de pulsos

Fuente: Autor propio

En la configuración del controlador del servomotor, el parámetro Pn20E se refiere a la resolución del encoder, que en este caso es de 20 bits. Si realizamos la conversión, esto resulta en 1,048,576 pulsos por cada revolución del encoder. Por otro lado, el parámetro Pn210 hace referencia a los pulsos de control, es decir, cuántos pulsos del controlador corresponden a los pulsos del parámetro Pn20E. En este contexto, se establece que 3,500 pulsos del controlador equivalen a una revolución, lo que también se traduce en 1,048,576 pulsos del encoder.

En la figura 62, se muestra la configuración mecánica del servomotor incorporada en el programa del PLC. Según esta configuración, por cada vuelta del servomotor se generan 3,500 pulsos. Dado que la etiqueta pasa tangencialmente a la superficie que rota impulsada por el servomotor, podemos asumir que el desplazamiento es el mismo.

Considerando que el diámetro de la superficie giratoria es de 53 mm, podemos calcular la longitud de la circunferencia, que resulta ser de 166.5 mm. Esto significa que, con cada vuelta completa, el rollo de etiqueta se desplaza una distancia de 166.5 mm. Configuraremos para ambos sentidos, pero el servomotor solo se utilizara en un solo sentido.

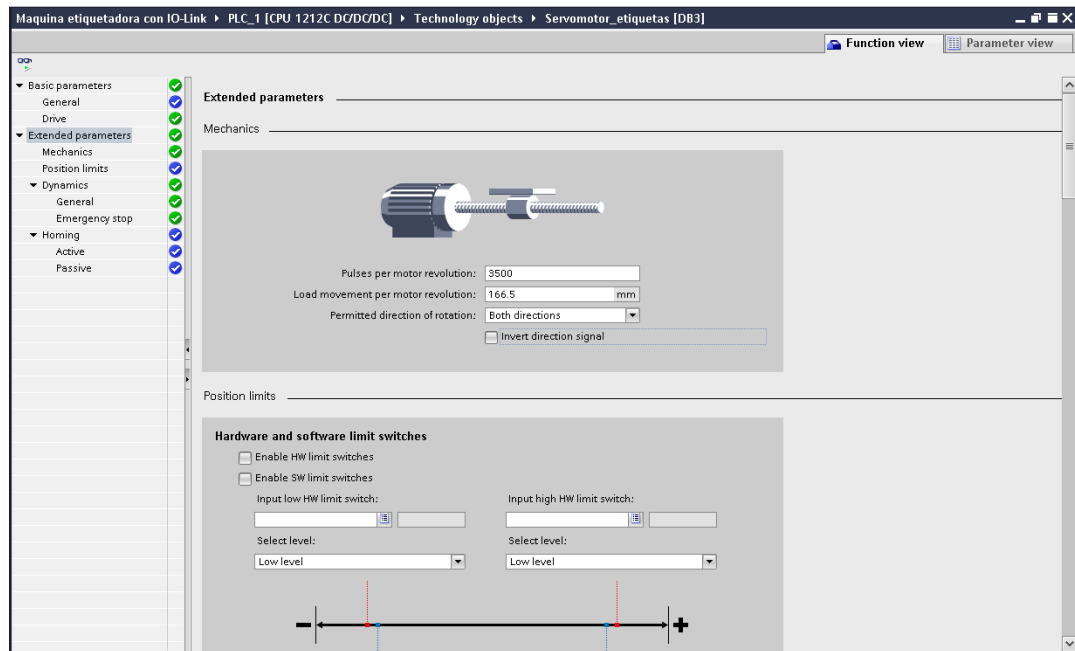


Figura 62. Configuración general de servomotor

Fuente: Autor propio

Así mismo en la figura 63, se observa la configuración de las rampas de arranque y paro del servomotor tanto como las velocidades máximas y mínimas permitidas, por el controlador.

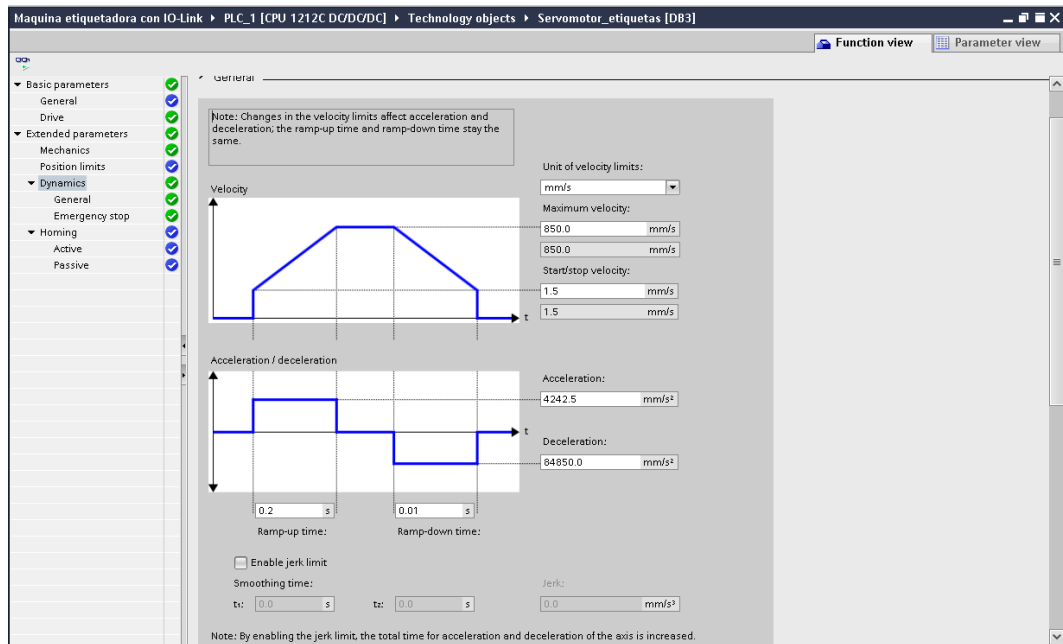


Figura 63. Configuración de velocidades y rampas

Fuente: Autor propio

6.5 Interfaz HMI y funcionamiento

En el diseño de la interfaz hombre-máquina (HMI), se tomó como referencia la norma ISA101. Para organizar de manera efectiva la información y las funcionalidades del sistema, se estructuró la HMI en cinco pantallas principales: Pantalla Principal, Pantalla de Recetas, Pantalla de Control Manual, Pantalla de Alarmas y Pantalla de Configuraciones. Esta estructura modular y organizada garantiza una navegación fácil y eficiente, optimizando la operatividad y la interacción del usuario con el sistema.

6.5.1 Pantalla principal

En la "Pantalla Principal" (ver figura 64), se ofrece un control integral de la máquina. Desde esta interfaz, es posible cambiar entre los modos de operación "Automático" y "Manual". En el modo automático, el sistema ajusta y controla los parámetros según las recetas preconfiguradas, mientras que, en el modo manual, el control se realiza desde la "Pantalla de Control Manual".

Además, en esta pantalla principal se visualizan la velocidad y la receta configurada en tiempo real. Se incluye una funcionalidad que permite realizar un desplazamiento manual de la etiqueta, asegurando su correcta colocación. A través del botón de "Prueba de Etiqueta", se puede verificar el dosificado de la etiqueta antes de su aplicación.

Además, se presenta un contador de botellas que indica tanto el valor SP (Setpoint), que representa el número objetivo de botellas a etiquetar, como el valor PV (Process Value), que muestra el número de botellas actualmente etiquetadas. Esto permite que el sistema se detenga automáticamente al alcanzar el setpoint establecido. También se encuentra el botón de encendido del sistema, que habilita la función de etiquetado automático.

Finalmente, la pantalla proporciona un estado básico de los dispositivos, indicando si están encendidos, detenidos o presentan algún fallo.

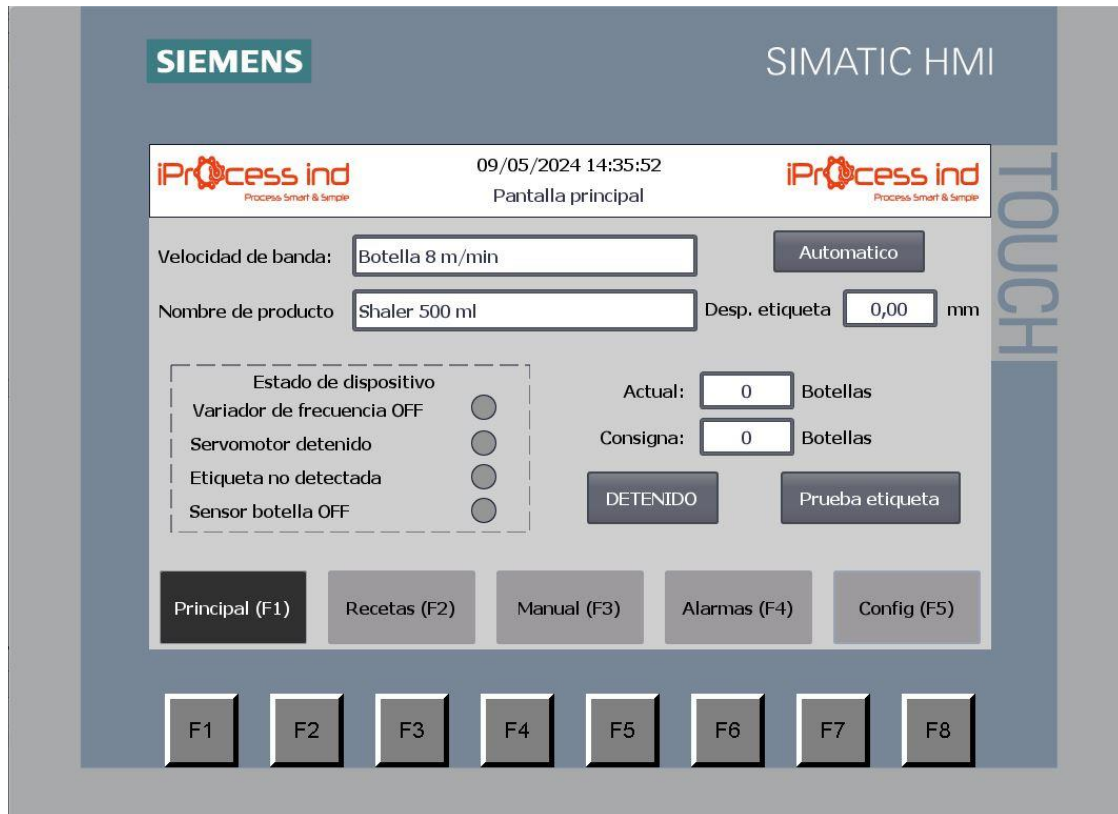


Figura 64. Pantalla principal

Fuente: (SIEMENS, 2023)

6.5.2 Pantalla de recetas

En la "Pantalla de Recetas" (ver figura 65), se encuentra la funcionalidad para crear nuevos productos y modificar sus parámetros. Para ello, se debe seleccionar uno de los productos disponibles y cargar sus respectivos parámetros hacia el PLC.

Los parámetros que se pueden ajustar son:

- **Velocidad de la Etiqueta (m/min):** Esta corresponde a la velocidad tangencial de la etiqueta con respecto al eje del servomotor, es decir, la velocidad con la que se desplaza la etiqueta.
- **Retardo de la Etiqueta (ms):** Se refiere al tiempo que la etiqueta tarda en ser dispensada después de que el sensor de botellas detecta la presencia de una botella.

- **Tiempo de Detención (s):** Indica el tiempo que el sistema tarda en detenerse una vez que ha etiquetado todas las botellas especificadas en la "Pantalla Principal".

Adicionalmente, en esta pantalla se puede seleccionar una de las cuatro velocidades posibles de trabajo para la banda transportadora, adaptándose así a las necesidades específicas de cada producto.

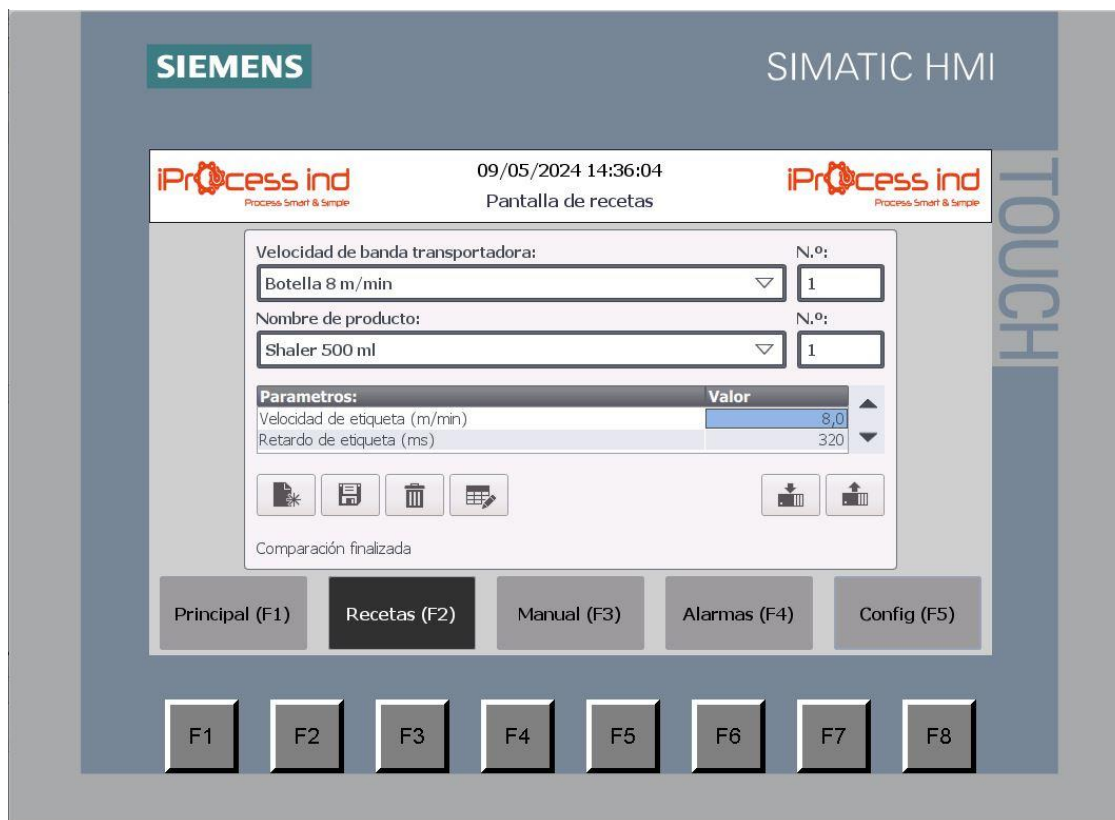


Figura 65. Pantalla de recetas

Fuente: (SIEMENS, 2023)

6.5.3 Pantalla de control manual

En la "Pantalla de Control Manual" (ver figura 66), se ofrece la posibilidad de operar la máquina etiquetadora de forma manual. Desde esta interfaz, es posible encender y controlar la banda transportadora a diferentes velocidades según las necesidades del proceso.

Adicionalmente, esta pantalla permite realizar un dispensado de etiquetas de prueba para verificar el correcto funcionamiento del sistema. También es posible desactivar el

modo de dispensado automático si se requiere realizar pruebas sin desperdiciar etiquetas. Desde aquí, se pueden realizar pruebas para ajustar los parámetros de funcionamiento de la máquina según las especificaciones del usuario.

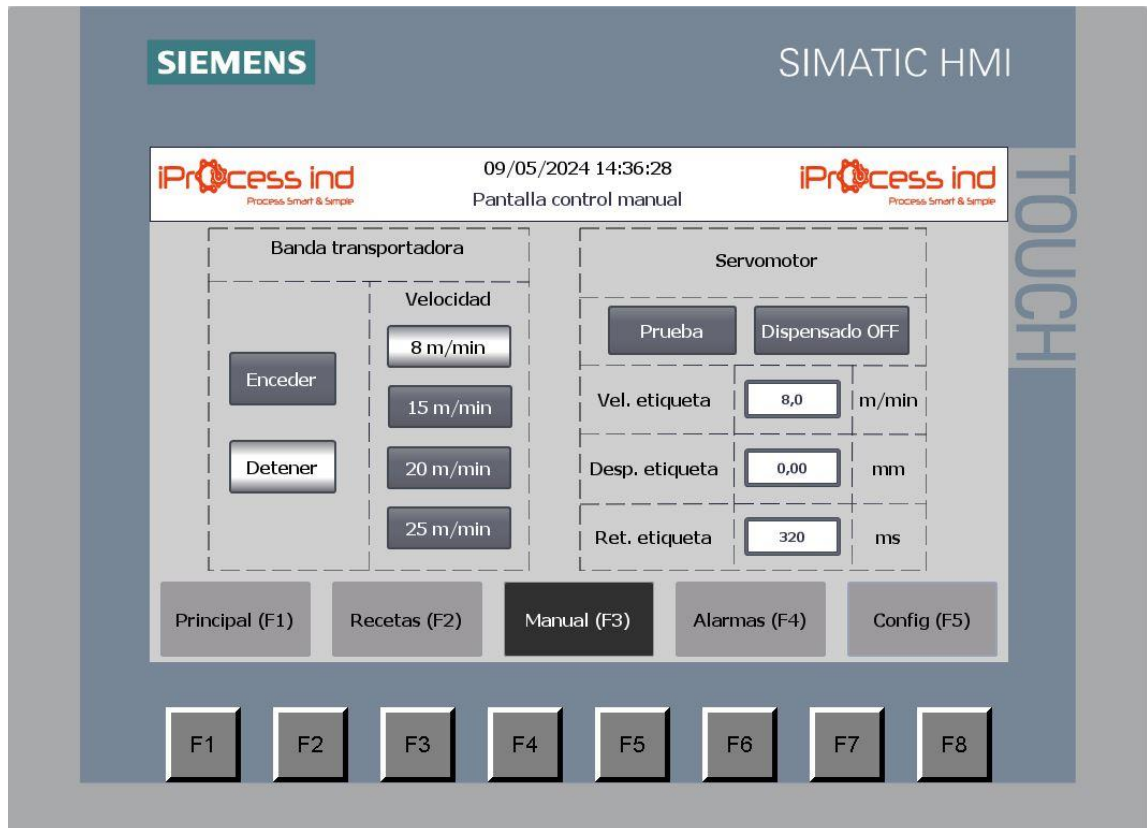


Figura 66. Pantalla de control manual

Fuente: (SIEMENS, 2023)

6.5.4 Pantalla de alarmas

En la "Pantalla de Alarmas" (ver figura 67), se visualiza un historial completo de todas las alarmas que se han registrado en la máquina. Además de mostrar las alarmas activas, esta pantalla proporciona la opción de reconocerlas, permitiendo al usuario gestionar y mantener un control adecuado sobre los eventos e incidentes que se han presentado durante el funcionamiento de la máquina.

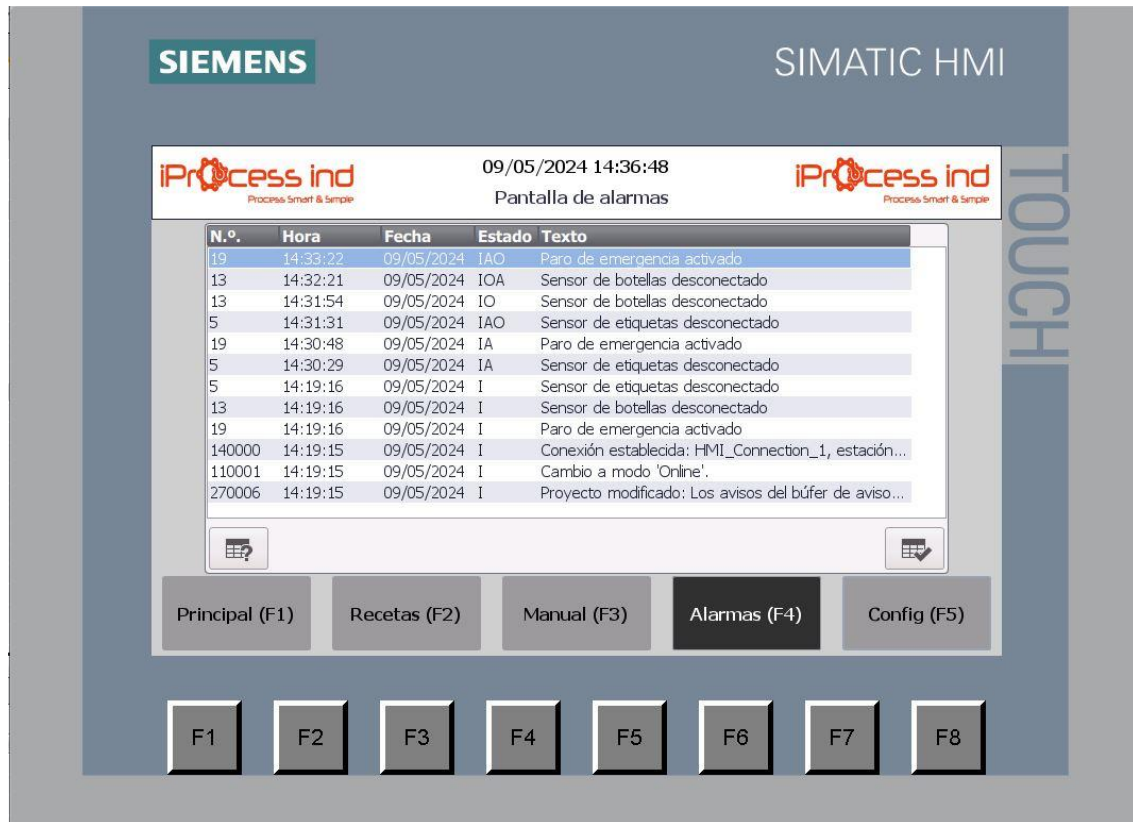


Figura 67. Pantalla de alarmas

Fuente: (SIEMENS, 2023)

6.5.5 Pantalla de configuración

En la "Pantalla de Configuración" (ver figura 68), se ofrece la opción de cambiar el idioma de la interfaz, proporcionando flexibilidad para adaptarse a las preferencias del usuario. Además, desde esta pantalla se puede acceder a la configuración detallada de cada uno de los sensores, tal como se describe en el inciso 7.3.3 del sistema. Se agregó un botón para cerrar la aplicación y poder acceder al menú de configuración de la pantalla.

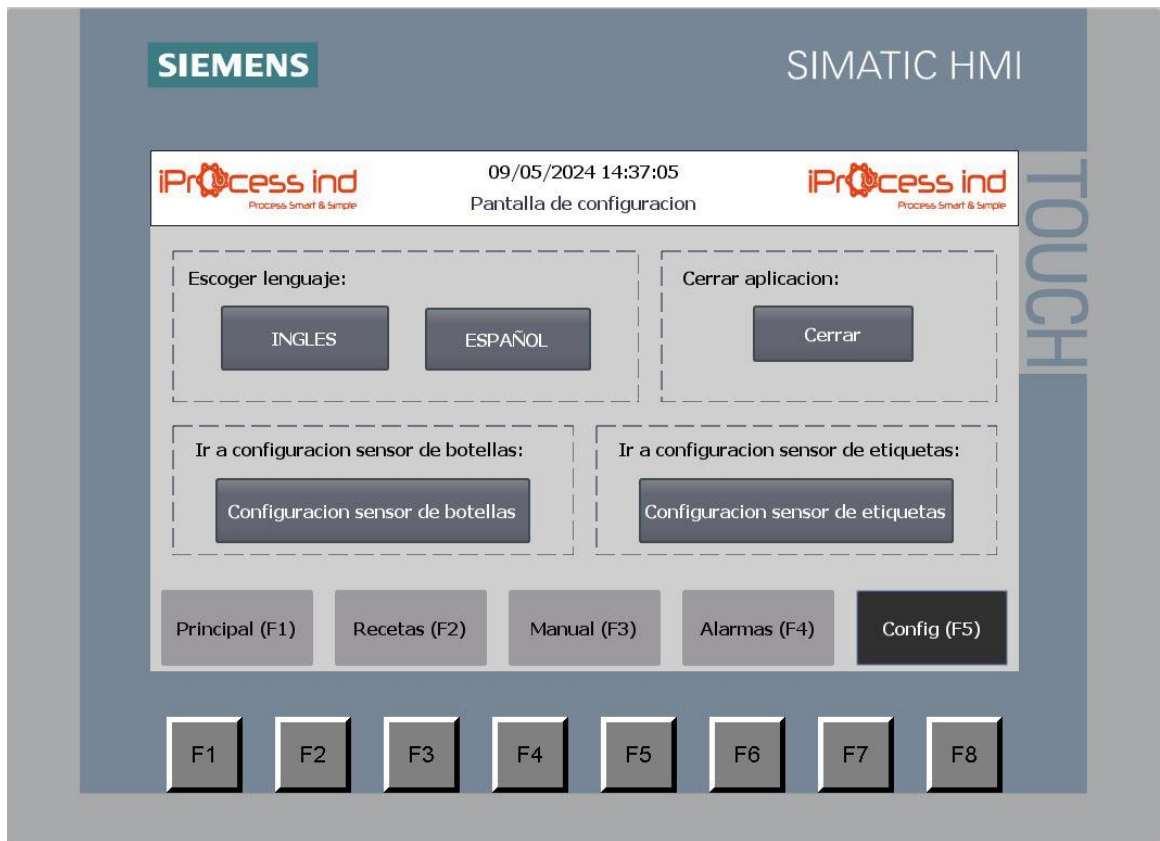


Figura 68. Pantalla de configuración

Fuente: (SIEMENS, 2023)

7 Capítulo 4: Análisis y resultados

7.1 Pruebas iniciales a máquina etiquetadora

Antes de llevar a cabo las modificaciones pertinentes, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para evaluar el estado operativo de la etiquetadora. Durante estas pruebas, se observó detalladamente su funcionamiento.

Adicionalmente, se realizó un análisis meticuloso de los equipos eléctricos disponibles. Como resultado de este análisis, se elaboró un diagrama eléctrico al que se le asignó el código UNI-IPR-001-1123. Este diagrama servirá como referencia fundamental para el diseño y creación del nuevo diagrama eléctrico.

Las pruebas se llevaron a cabo utilizando dos modelos de botellas tipo PET suministrados por la empresa GRUPO ORNA S.A.: el modelo SHALER 500ML y el modelo BOTELLA GEL R 500ML. Estas botellas fueron etiquetadas con etiquetas autoadhesivas proporcionadas por IPROCESS IND.

La etiquetadora está equipada con cuatro velocidades de etiquetado preestablecidas: 8 m/min, 15 m/min, 20 m/min y 25 m/min. Los resultados de las pruebas realizadas con el modelo de botella SHALER y los parámetros establecidos para una velocidad de 8 m/min se detallan en la tabla 16, por su parte, los resultados para la velocidad de 15 m/min se presentan en la tabla 17, así mismo los resultados para la velocidad de 20 m/min se muestran en la tabla 18 y, por último, los datos correspondientes a la velocidad de 25 m/min se encuentran en la tabla 19.

Del mismo modo, se registraron los resultados obtenidos para el modelo de botella GEL. Los datos y parámetros para las velocidades de 8 m/min, 15 m/min, 20 m/min y 25 m/min se muestran en las tablas 20, 21, 22 y 23 respectivamente.

Tabla 16. Pruebas iniciales botella tipo SHALER a 8 m/min

Prueba de etiquetado a 8 m/min botella Shaller 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
Diametro (cm)	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	70.00 ms	70.00 ms	70.00 ms	70.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	223.0 rpm	223.0 rpm	223.0 rpm	223.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	509.0 rpm	509.0 rpm	509.0 rpm	509.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	41 und	45 und	42 und	44 und
Tiempo transcurrido (s)	83.27 s	87.91 s	78.04 s	80.80 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	1,773 BPH	1,843 BPH	1,937 BPH	1,960 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 17. Pruebas iniciales botellas tipo SHALER a 15 m/min

Prueba de etiquetado a 15 m/min botella Shaller 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
Diametro (cm)	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	70.00 ms	70.00 ms	70.00 ms	70.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	181.0 rpm	181.0 rpm	181.0 rpm	181.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	436.0 rpm	436.0 rpm	436.0 rpm	436.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	40 und	40 und	40 und	40 und
Tiempo transcurrido (s)	56.00 s	55.38 s	56.38 s	57.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	2,571 BPH	2,600 BPH	2,554 BPH	2,526 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 18. Pruebas iniciales botellas tipo SHALER a 20 m/min

Prueba de etiquetado a 20 m/min botella Shaller 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
Diametro (cm)	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	50.00 ms	50.00 ms	50.00 ms	50.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	223.0 rpm	223.0 rpm	223.0 rpm	223.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	508.0 rpm	509.0 rpm	509.0 rpm	509.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	40 und	40 und	39 und	40 und
Tiempo transcurrido (s)	38.22 s	38.81 s	39.15 s	39.05 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	3,768 BPH	3,710 BPH	3,586 BPH	3,688 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 19. Pruebas iniciales botellas tipo SHALER a 25 m/min

Prueba de etiquetado a 25 m/min botella Shaller 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
Diametro (cm)	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	30.00 ms	30.00 ms	30.00 ms	30.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	313.0 rpm	313.0 rpm	313.0 rpm	313.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	606.0 rpm	606.0 rpm	606.0 rpm	606.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	40 und	40 und	40 und	40 und
Tiempo transcurrido (s)	28.64 s	29.22 s	29.17 s	28.60 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	5,028 BPH	4,928 BPH	4,937 BPH	5,035 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 20. Pruebas iniciales botellas tipo GEL a 8 m/min

Prueba de etiquetado a 8 m/min botella GEL 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	16 cm	16 cm	16 cm	16 cm
Diametro (cm)	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	190.00 ms	190.00 ms	190.00 ms	190.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	155.0 rpm	155.0 rpm	155.0 rpm	155.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	287.0 rpm	287.0 rpm	287.0 rpm	287.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	37 und	37 und	37 und	36 und
Tiempo transcurrido (s)	58.00 s	61.00 s	58.00 s	56.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	2,297 BPH	2,184 BPH	2,297 BPH	2,314 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 21. Pruebas iniciales botellas tipo GEL a 15 m/min

Prueba de etiquetado a 15 m/min botella GEL 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	16 cm	16 cm	16 cm	16 cm
Diametro (cm)	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	100.00 ms	100.00 ms	100.00 ms	100.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	201.0 rpm	201.0 rpm	201.0 rpm	201.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	370.0 rpm	370.0 rpm	370.0 rpm	370.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	37 und	35 und	36 und	36 und
Tiempo transcurrido (s)	44.00 s	42.00 s	43.00 s	43.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	3,027 BPH	3,000 BPH	3,014 BPH	3,014 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 22. Pruebas iniciales botellas tipo GEL a 20 m/min

Prueba de etiquetado a 20 m/min botella GEL 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	16 cm	16 cm	16 cm	16 cm
Diametro (cm)	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	80.00 ms	80.00 ms	80.00 ms	80.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	307.0 rpm	307.0 rpm	307.0 rpm	307.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	600.0 rpm	600.0 rpm	600.0 rpm	600.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	37 und	37 und	37 und	37 und
Tiempo transcurrido (s)	29.00 s	29.00 s	29.00 s	30.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	4,593 BPH	4,593 BPH	4,593 BPH	4,440 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 23. Pruebas iniciales botellas tipo GEL a 25 m/min

Prueba de etiquetado a 25 m/min botella GEL 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	16 cm	16 cm	16 cm	16 cm
Diametro (cm)	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	50.00 ms	50.00 ms	50.00 ms	50.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	375.0 rpm	375.0 rpm	375.0 rpm	375.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	807.0 rpm	807.0 rpm	807.0 rpm	807.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	36 und	36 und	35 und	37 und
Tiempo transcurrido (s)	26.00 s	25.00 s	23.00 s	24.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	4,985 BPH	5,184 BPH	5,478 BPH	5,550 BPH

Fuente: Autor propio

7.2 Pruebas finales a máquina etiquetadora

Tras la implementación de las modificaciones necesarias, se procedió a llevar a cabo las pruebas finales para evaluar el desempeño actualizado de la etiquetadora. Estas pruebas se realizaron utilizando el mismo tipo de botellas suministradas por la empresa GRUPO ORNA S.A., con los modelos SHALER 500ML y BOTELLA GEL R 500ML. Dichas botellas fueron etiquetadas con las etiquetas autoadhesivas proporcionadas por IPROCESS IND, manteniendo la consistencia en el proceso de prueba.

Las pruebas se llevaron a cabo con especial atención a los detalles, observando minuciosamente el funcionamiento de la etiquetadora con cada modelo de botella. Las velocidades de etiquetado preestablecidas, que son fundamentales para el rendimiento óptimo de la máquina, se mantuvieron constantes durante las pruebas. Estas velocidades fueron 8 m/min, 15 m/min, 20 m/min y 25 m/min.

Los resultados de estas pruebas para el modelo de botella SHALER, se detallan de la tabla 24 a la tabla 27, en cambio los resultados para el modelo de botella GEL se presentan de la tabla 28 a la tabla 31. Estas tablas proporcionan una visión clara y detallada del rendimiento de la etiquetadora con respecto a cada velocidad de etiquetado y modelo de botella, lo que permite una evaluación exhaustiva de su desempeño actualizado.

Tabla 24. Pruebas finales a botellas SHALER a 8 m/min

Prueba de etiquetado a 8 m/min botella Shaller 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
Diametro (cm)	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	330.00 ms	330.00 ms	330.00 ms	330.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	121.0 rpm	121.0 rpm	121.0 rpm	121.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	342.0 rpm	342.0 rpm	342.0 rpm	342.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	42 und	41 und	41 und	40 und
Tiempo transcurrido (s)	69.00 s	72.00 s	83.00 s	61.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	2,191 BPH	2,050 BPH	1,778 BPH	2,361 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 25. Pruebas finales a botellas SHALER a 15 m/min

Prueba de etiquetado a 15 m/min botella Shaller 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
Diametro (cm)	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	150.00 ms	150.00 ms	150.00 ms	150.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	161.0 rpm	161.0 rpm	161.0 rpm	161.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	432.0 rpm	432.0 rpm	432.0 rpm	432.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	38 und	41 und	41 und	41 und
Tiempo transcurrido (s)	52.00 s	55.00 s	56.00 s	56.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	2,631 BPH	2,684 BPH	2,636 BPH	2,636 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 26. Pruebas finales a botellas SHALER a 20 m/min

Prueba de etiquetado a 20 m/min botella Shaller 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
Diametro (cm)	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	60.00 ms	60.00 ms	60.00 ms	60.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	251.0 rpm	251.0 rpm	251.0 rpm	251.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	556.0 rpm	556.0 rpm	556.0 rpm	556.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	41 und	41 und	41 und	41 und
Tiempo transcurrido (s)	38.00 s	39.00 s	37.00 s	38.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	3,884 BPH	3,785 BPH	3,989 BPH	3,884 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 27. Pruebas finales a botellas SHALER a 25 m/min

Prueba de etiquetado a 25 m/min botella Shaller 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
Diametro (cm)	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm	7.1 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	25.00 ms	25.00 ms	25.00 ms	25.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	319.0 rpm	319.0 rpm	319.0 rpm	319.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	767.0 rpm	767.0 rpm	767.0 rpm	767.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	40 und	41 und	41 und	41 und
Tiempo transcurrido (s)	28.32 s	30.10 s	29.40 s	29.15 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	5,085 BPH	4,904 BPH	5,020 BPH	5,063 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 28. Pruebas finales a botellas GEL a 8 m/min

Prueba de etiquetado a 8 m/min botella GEL 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	16 cm	16 cm	16 cm	16 cm
Diametro (cm)	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min	8.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	320.00 ms	320.00 ms	320.00 ms	320.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	139.0 rpm	139.0 rpm	139.0 m/min	139.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	306.0 rpm	306.0 rpm	306.0 rpm	306.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	48 und	49 und	49 und	48 und
Tiempo transcurrido (s)	71.00 s	73.00 s	73.00 s	69.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	2,434 BPH	2,416 BPH	2,416 BPH	2,504 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 29. Pruebas finales a botellas GEL a 15 m/min

Prueba de etiquetado a 15 m/min botella GEL 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	16 cm	16 cm	16 cm	16 cm
Diametro (cm)	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min	15.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	140.00 ms	140.00 ms	140.00 ms	140.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	185.0 rpm	185.0 rpm	185.0 rpm	185.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	455.0 rpm	455.0 rpm	455.0 rpm	455.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	49 und	49 und	49 und	49 und
Tiempo transcurrido (s)	52.00 s	53.00 s	52.00 s	55.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	3,392 BPH	3,328 BPH	3,392 BPH	3,207 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 30. Pruebas finales a botellas GEL a 20 m/min

Prueba de etiquetado a 20 m/min botella GEL 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	16 cm	16 cm	16 cm	16 cm
Diametro (cm)	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min	20.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	50.00 ms	50.00 ms	50.00 ms	50.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	273.0 rpm	273.0 rpm	273.0 rpm	273.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	590.0 rpm	590.0 rpm	590.0 rpm	590.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	49 und	49 und	49 und	49 und
Tiempo transcurrido (s)	38.00 s	38.00 s	39.00 s	38.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	4,642 BPH	4,642 BPH	4,523 BPH	4,642 BPH

Fuente: Autor propio

Tabla 31. Pruebas finales a botellas GEL a 25 m/min

Prueba de etiquetado a 25 m/min botella GEL 500 ml				
Parametros	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Capacidad (ml)	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Altura (cm)	16 cm	16 cm	16 cm	16 cm
Diametro (cm)	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm	8.5 cm
Velocidad de banda transportadora (m/min)	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min
Velocidad de etiquetas (m/min)	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min	25.0 m/min
Retraso de etiquetas (ms)	20.00 ms	20.00 ms	20.00 ms	20.00 ms
Velocidad de separador de botellas (rpm)	341.0 rpm	341.0 rpm	341.0 rpm	341.0 rpm
Velocidad de enrollador de etiquetas (rpm)	807.0 rpm	807.0 rpm	807.0 rpm	807.0 rpm
Cantidad de botellas etiquetadas (und)	49 und	49 und	49 und	49 und
Tiempo transcurrido (s)	33.00 s	31.00 s	31.00 s	32.00 s
Velocidad de etiquetado (BPH)	5,345 BPH	5,690 BPH	5,690 BPH	5,513 BPH

Fuente: Autor propio

7.3 Análisis y resultados

El proceso de actualización del sistema de la etiquetadora de envases cilíndricos comenzó con una revisión exhaustiva de sus componentes, incluyendo la elaboración de un plano eléctrico que representaba la configuración original de la máquina. Este plano sirvió como referencia para llevar a cabo pruebas iniciales con dos tipos de botellas proporcionadas por la empresa ORNA S.A.

El primer modelo utilizado fue la botella SHALER de 500 ml, con una altura de 18 cm, un diámetro de 7.1 cm y una boquilla de 28 mm. El segundo fue la botella GEL, también de 500 ml, con una altura de 16 cm, un diámetro de 8.5 cm y una boquilla de 28 mm.

La actualización se diseñó bajo estándares que no solo cumplían con las especificaciones originales del sistema, sino que también permitían la implementación del protocolo de comunicación IO-Link. Este protocolo mejora el control de los sensores, facilitando la detección de fallos y reduciendo los tiempos de mantenimiento e inactividad.

Es importante destacar que se realizaron pruebas a diferentes velocidades preconfiguradas en la banda transportadora, utilizando ambos tipos de botellas, tanto antes como después de la actualización. Los resultados de estas pruebas se presentan a continuación.

Las pruebas realizadas antes y después de la actualización a la velocidad de 8 m/min se registraron en las tablas 16, 20, 24 y 28. Se generó un gráfico que ilustra el aumento de la producción a esa misma velocidad. Se observó un incremento del 10% para el tipo de botella SHALER y un aumento del 7% para el tipo de botella GEL (ver Figura 69).

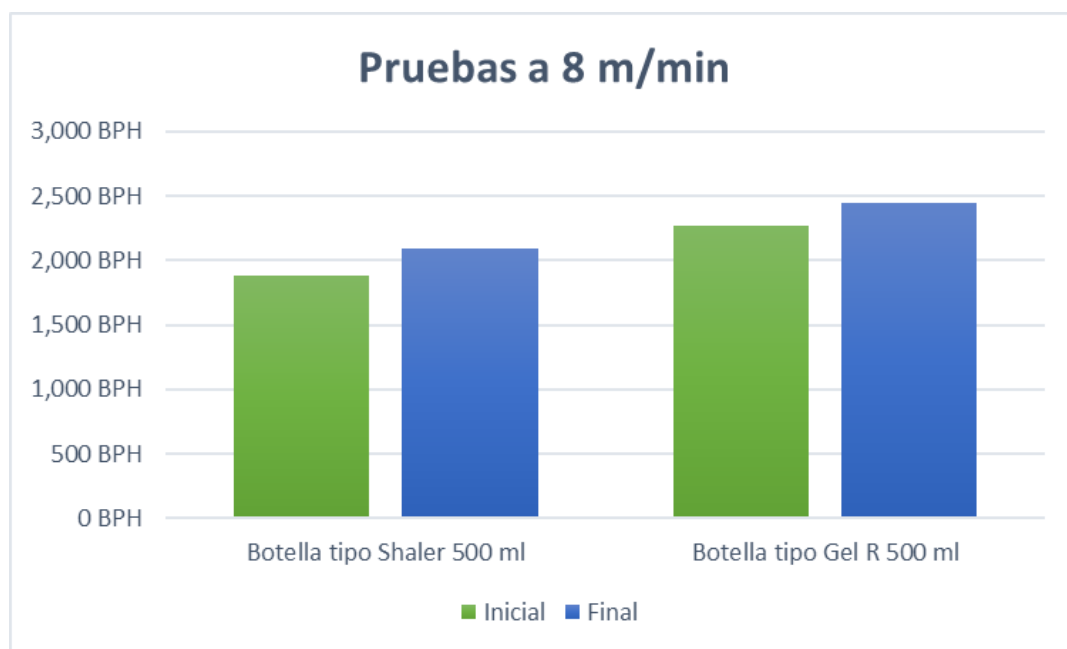


Figura 69. Incremento de producción a 8 m/min

Fuente: Autor propio

A una velocidad de 15 m/min, las pruebas documentadas en las tablas 17, 21, 25 y 29 demostraron un aumento del 3% para las botellas tipo SHALER y del 9% para las botellas tipo GEL. Este incremento se refleja en el gráfico correspondiente (ver Figura 70).

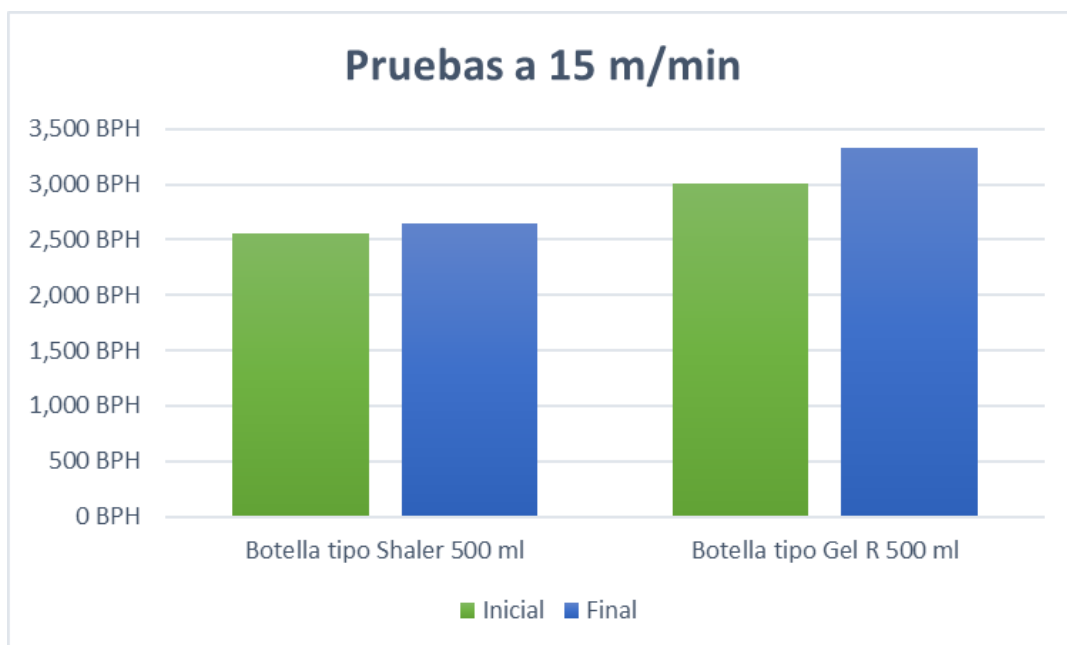


Figura 70. Incremento de producción a 15 m/min

Fuente: Autor propio

Para una velocidad de 20 m/min, las pruebas detalladas en las tablas 18, 22, 26 y 30 revelaron un aumento del 5% en la producción de botellas tipo SHALER y del 1% para las botellas tipo GEL. Este incremento también se representa en el gráfico asociado (ver Figura 71).

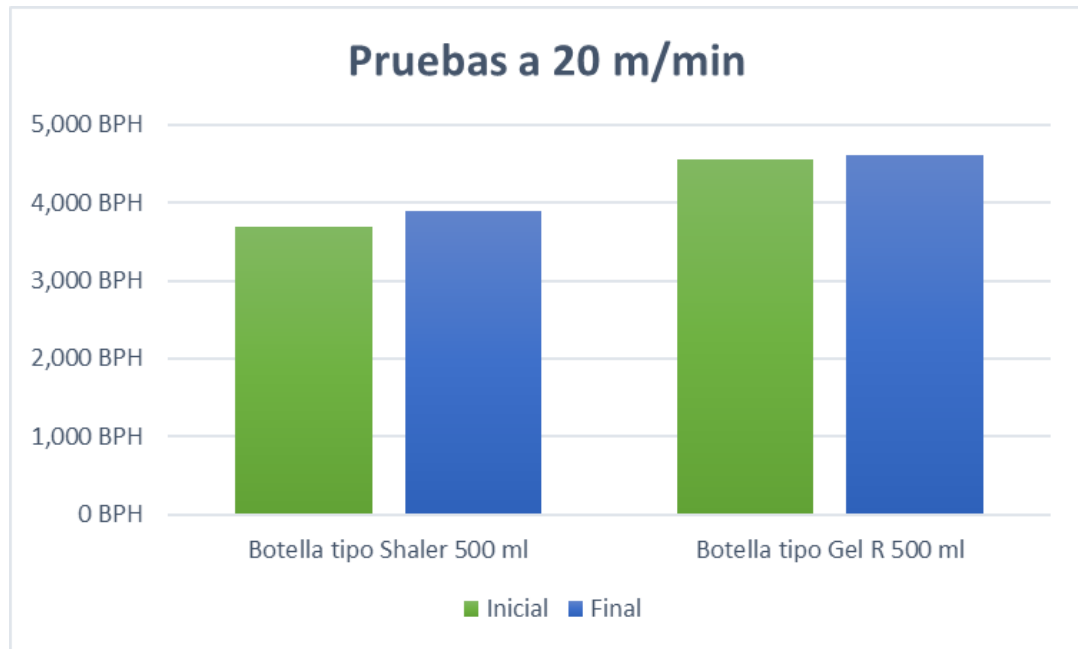


Figura 71. Incremento de producción a 20 m/min

Fuente: Autor propio

Finalmente, las pruebas realizadas a una velocidad de 25 m/min indicaron un aumento del 1% en la producción de botellas tipo SHALER y del 5% para las botellas tipo GEL. Los resultados de estas pruebas se encuentran en las tablas 19, 23, 27 y 31, y el gráfico correspondiente se muestra en la figura 72.

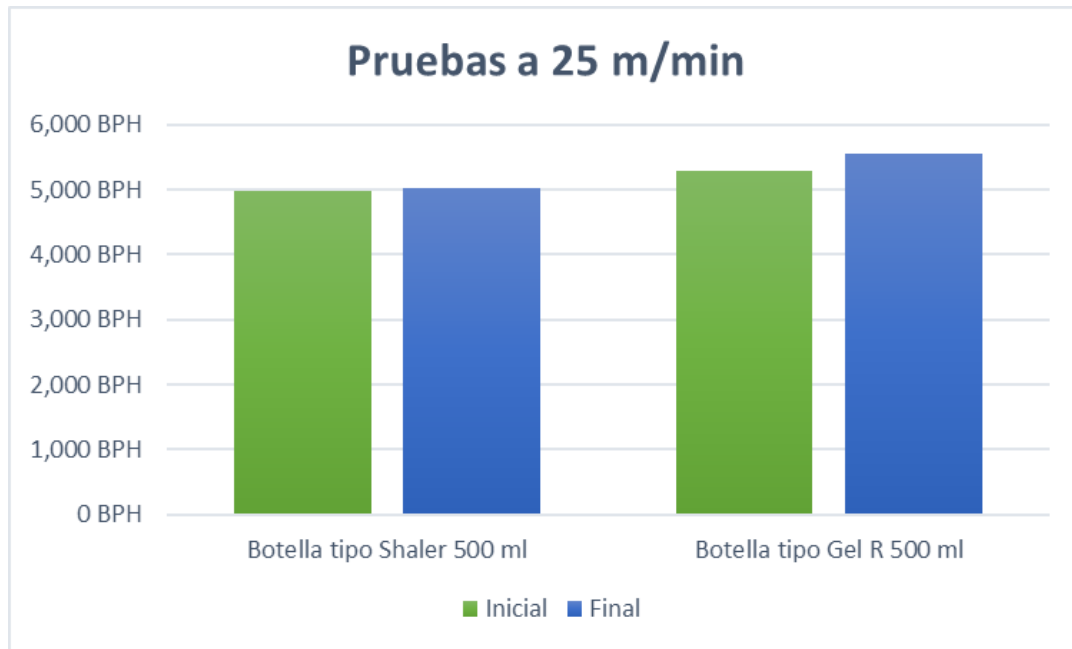


Figura 72. Incremento de producción a 25 m/min

Fuente: Autor propio

En resumen, los resultados obtenidos tras la actualización del sistema de la etiquetadora de botellas revelan mejoras en la cantidad de botellas etiquetadas. En particular, se observó un aumento promedio del 5% en la cantidad de botellas tipo SHALER y un aumento promedio del 6% en la cantidad de botellas para el tipo GEL.

El análisis global de los datos recopilados muestra que el promedio de aumento de cantidad de envases fue del 5% después de la actualización. Este resultado positivo y consistente de las mejoras realizadas en el sistema, se traduce en una mayor capacidad de producción y una reducción de los tiempos de inactividad. Estos hallazgos respaldados por la decisión de llevar a cabo la actualización debido a la discontinuación de varios equipos que fueron reemplazados y subrayan su importancia para el rendimiento general.

8 Conclusión

La actualización del sistema de control de la etiquetadora de envases cilíndricos involucró un análisis minucioso del funcionamiento inicial y la condición de cada uno de sus componentes, desde el variador de frecuencia hasta los motores y fuentes de alimentación. Se realizó una revisión detallada de los parámetros configurados y se elaboró un diagrama eléctrico que reflejaba el estado original del equipo (UNI-IPR-001-1123).

El diseño del nuevo sistema se basa en el funcionamiento original del equipo, integrando mejoras signa, como la implementación de la comunicación IO-Link para los sensores mediante un maestro, así como el aprovechamiento del protocolo PROFINET integrado en el controlador S7-1200. Esta comunicación no solo permite prever posibles fallos, sino que también contribuye a reducir los tiempos de mantenimiento e inactividad.

Los sensores IO-Link desempeñan un papel crucial al proporcionar datos adicionales, como las horas de funcionamiento del sensor, que permiten anticipar posibles fallos o averías. Además, estos sensores detectan automáticamente cualquier daño interno, facilitando así la identificación temprana de problemas y su pronta resolución.

El diseño de la HMI se basa en la norma ISA 101, que busca estandarizar los colores y el diseño para garantizar una interfaz centrada en las partes críticas del proceso. Se incorporó una sección de alarmas para registrar cualquier fallo que pueda surgir durante el funcionamiento, lo que permite al operador identificar rápidamente el problema y corregirlo de manera eficiente, minimizando así los tiempos de inactividad.

Para evaluar el impacto de estas mejoras en la producción, se llevaron a cabo pruebas antes y después de la actualización, utilizando dos tipos de botellas proporcionadas por la empresa ORNA S, A, a diferentes velocidades. Los resultados indicaron un aumento del 5% de la velocidad con respecto a las pruebas iniciales, lo que subraya el éxito de la actualización en mejorar la eficiencia la etiquetadora de envases cilíndricos y simplificar el mantenimiento de la misma.

9 Recomendaciones

Como recomendación, se sugiere incorporar plataformas rotativas antes y después del proceso de etiquetado. La primera plataforma permitiría que el operador solo tenga que depositar una cantidad determinada de botellas, las cuales serían organizadas automáticamente para su correcto etiquetado.

Al final de la banda transportadora, se recomienda la inclusión de una segunda plataforma rotativa que acumule todos los productos etiquetados. Esto optimizaría el manejo y facilitaría el flujo del proceso, mejorando la eficiencia en la producción.

Además, se aconseja agregar dispositivos de advertencia, como una baliza que indique el estado de la máquina a través de colores, y una alarma auditiva que se active en caso de algún fallo. Estos dispositivos aumentarían la seguridad y mejorarían el control del sistema.

10 Bibliografía

- 3Dnatives. (13 de junio de 2022). *¿Qué es Autodesk Inventor y cuáles son sus características principales?* Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/que-es-autodesk-inventor-130620222/#!>
- ABB. (29 de agosto de 2023). *Qué es un variador de frecuencia: Definición, cómo funciona, características y ventajas.* Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
- ainia. (10 de junio de 2023). *Guía técnica ainia de envase y embalaje.* Obtenido de <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/Etiquetas%20?Opendocument&lang=#:~:text=El%20etiquetado%20de%20un%20producto,se%20refieren%20a%20dicho%20producto.>
- AUTYCOM. (30 de julio de 2020). *IO-Link: ¿qué es y cómo impulsa la automatización industrial?* Obtenido de <https://www.autycom.com/protocolo-io-link/>
- AVEVA. (26 de junio de 2023). *¿Qué es un HMI?* Obtenido de <https://www.aveva.com/es-es/solutions/operations/hmi/>
- Becolve. (26 de junio de 2023). *Interfaz Hombre-Máquina (HMI).* Obtenido de [https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/#:~:text=El%20Interfaz%20Hombre%2DM%C3%A1quina%20\(HMI,procesos%20industriales%20y%20de%20fabricaci%C3%B3n.](https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/#:~:text=El%20Interfaz%20Hombre%2DM%C3%A1quina%20(HMI,procesos%20industriales%20y%20de%20fabricaci%C3%B3n.)
- Blog de Automatización. (2023). *Sensores fotoeléctricos en la industria de envases, alimentos y bebidas.* Obtenido de <https://automatizacion.blog/sensores-fotoelectricos-en-la-industria-de-envases-alimentos-y-bebidas/#:~:text=Aplicaciones%20m%C3%A1s%20comunes%3A,Detectar%2C%20contar%20y%20empaquetar%20tabletas.>
- Celera motion. (29 de 04 de 2024). Obtenido de Codificadores absolutos y codificadores incrementales: <https://www.celeramotion.com/zettlex/es/asistencia/documentacion-tecnica/codificadores-absolutos-y-codificadores-incrementales/>

CODIGO DE INSTALACIONES ELECTRICAS DE NICARAGUA. (s.f.). Obtenido de https://rise.esmap.org/data/files/library/nicaragua/Electricity%20Access/Nicaragua_CIEN%20Electrical%20Code.pdf

Compañía levantina de reductores. (05 de febrero de 2017). *¿Qué es un servomotor y cuándo se utiliza?* Obtenido de <https://clr.es/blog/es/servomotor-cuando-se-utiliza/>

Danfoss. (26 de junio de 2023). *VLT®Micro Drive FC 51.* Obtenido de <https://www.danfoss.com/es-mx/products/dds/variadores-de-frecuencia/vlt-drives/vlt-micro-drive-fc-51/>

Danfoss. (Enero de 2024). *VLT® Micro Drive FC 51.* Obtenido de Guia de diseño: <https://www.danfoss.com/en/products/dds/low-voltage-drives/vlt-drives/vlt-micro-drive-fc-51/#tab-overview>

DE HERRAMIENTAS Y MAQUINAS. (2018). *¿Qué es un encoder, cuáles son sus tipos y para qué sirven?* Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/encoder-tipos>

Deloitte. (16 de junio de 2023). *¿Qué es la Industria 4.0?* Obtenido de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>

Dynamic drives. (02 de Junio de 2024). *Partes de un motor eléctrico.* Obtenido de <https://variador-defrecuencia.com.mx/partes-de-un-motor-electrico/>

DYNAPAR. (10 de diciembre de 2017). *Encoder absoluto: conozca la tecnología y las opciones Hengstler.* Obtenido de <https://www.dynaparencoders.com.br/blog/es/encoder-absoluto-conocer/>

Encoder products company. (20 de junio de 2023). *¿Qué es un Encoder?* Obtenido de <https://www.encoder.com/article-que-es-un-encoder>

ENYMA. (08 de Junio de 2023). *Etiquetadoras.* Obtenido de <https://www.emyma.com.co/producto/etiquetadora-semiautomatica-de-mesa/>

Groover, M. (2014). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing.* Pearson Education.

- IFM. (2023). *Barrera fotoeléctrica en horquilla*. Obtenido de OPU200: <https://www.ifm.com/es/es/product/OPU200>
- IFM. (20 de junio de 2023). *Fiabiles sistemas de automatización para la industria alimentaria*. Obtenido de <https://www.ifm.com/es/es/applications/020/fiabiles-sistemas-de-automatizacion-para-la-industria-alimentaria.html#!/content/documents/es/shared/applications/020/1020/2100/3020/as-interface-en-procesos-de-embotellado>
- IFM. (16 de junio de 2023). *IO-Link: Estándar de comunicación abierto a nivel mundial*. Obtenido de <https://www.ifm.com/es/es/shared/technologies/io-link-update/io-link-estandar-de-comunicacion-abierto-a-nivel-mundial>
- IFM. (20 de julio de 2023). *Todos los encóders*. Obtenido de https://www.ifm.com/es/es/category/200_030_010_001#/best/1/100
- Iteco. (08 de Junio de 2023). *Etiquetadoras de Envases*. Obtenido de <http://iteco.com.mx/equipos/31/etiquetadoras-de-envases#:~:text=Las%20Etiquetadoras%20de%20envases%20son,%2C%20pegamento%20fri%C3%B3%2C%20o%20autoadhesivas>.
- JSSC. (Febrero de 2024). *JSCC-controlador de velocidad de Panel Manul serie SF*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/1005001328915137.html?gatewayAdapt=glo2esp>
- JSSC. (02 de 2024). *Motor de velocidad ajustable y caja de cambios JSCC 90YT60 de alta calidad*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/i/32869820574.html>
- Katsuhiko, O. (2010). *Modern Control Engineering*. Pearson Education.
- lbaindustrial. (2 de Junio de 2024). *¿Qué es un enconder abosulto? ¿Como funciona? Ventajas y Desventajas*. Obtenido de <https://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-un-encoder-absoluto/?cn-reloaded=1>
- Learchannel TV. (marzo de 2017). *Learchannel-TV.com*. Obtenido de <https://learnchannel-tv.com/es/sistema-de-control-en-lazo-cerrado/control-on-off/programar-controlador-on-off/>
- MarCoPack. (08 de Junio de 2023). *Tipos De Etiquetadoras Industriales*. Obtenido de <https://marcopack.com/tipos-de-etiquetadoras-industriales/>

- MEANWELL. (Junio de 2024). *NES-100 Series*. Obtenido de 100W Single Output Switching Power Supply: <https://www.meanwell.com/Upload/PDF/NES-100/NES-100-SPEC.PDF>
- OMCH. (08 de diciembre de 2021). *Sensor Fotoeléctrico*. Obtenido de <https://www.omch.co/es/photoelectric-sensor/>
- Pepperl+Fuchs. (25 de junio de 2023). *Encoders incrementales*. Obtenido de https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_197.htm?view=productgroupoverview
- pepperl-fuchs. (Enero de 2024). *Sensor óptico de barrera por reflexión (vidrio) OBG5000-R100-2EP-IO-V31*. Obtenido de https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_11.htm?view=productdetails&prodid=73319
- Regina chain. (01 de 2024). *Descargas regina chain*. Obtenido de Catalogo general: <https://www.reginachain.net/descargas/transportadores/?lang=es>
- Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J., & Ariño Latorre, C. V. (2010). *Automatizacion Industrial*.
- SDI. (2022). *Tipos de sensores industriales*. Obtenido de <https://sdindustrial.com.mx/blog/tipos-de-sensores-industriales/#:~:text=Los%20sensores%20industriales%20son%20dispositivos,una%20pantalla%20para%20su%20an%C3%A1lisis>.
- SEMCOCAD. (28 de junio de 2023). *Autodesk AutoCAD Electrical. Diseño de tableros eléctricos en AutoCAD*. Obtenido de <https://www.semco.com.pe/autocad-electrical/#:~:text=AutoCAD%20Electrical%20es%20un%20conjunto,sistemas%20de%20control%20y%20automatizaci%C3%B3n>.
- SICK. (19 de julio de 2023). *Fork sensors*. Obtenido de WF: <https://www.sick.com/fi/en/fork-sensors/fork-sensors/wf/wf2-40b410/p/p151041>
- SIEMENS. (2023). *6AV2123-2GB03-0AX0*. Obtenido de SIMATIC HMI: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/MW/Catalog/Product/6AV2123-2GB03-0AX0>

- SIEMENS. (2024). *SIMATIC S7-1200, CPU 1212C*. Obtenido de 6ES7212-1AE40-0XB0: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES7212-1AE40-0XB0>
- TRANSELEC. (25 de junio de 2023). *QUÉ ES UN MOTOR ELÉCTRICO Y CÓMO FUNCIONA*. Obtenido de <https://www.transelec.com.ar/soporte/18450/que-es-un-motor-electrico-y-como-funciona/>
- Villajulca, J. C. (18 de junio de 2022). *Automatizacion y control*. Obtenido de Control ON/OFF o Todo/Nada: <https://instrumentacionycontrol.net/control-on-off-o-todo-nada/>
- WANSHSIN. (Enero de 2024). *GV series --- Vertical Installation Gear Motor*. Obtenido de Catalogo: <http://www.wanshsin.com.cn/medium-gear-motor/GV.html>
- WIKA. (Febrero de 2024). *¿Cómo funciona IO-Link?* Obtenido de <https://www.bloginstrumentacion.com/knowhow/cmo-funciona-io-link/>
- YASKAWA. (27 de junio de 2023). *SGM7G-20AFA61*. Obtenido de https://www.yaskawa.es/productos/servo-motors/productdetail/product/sgm7g-20afa61_5767
- YASKAWA. (Febrero de 2024). *AC Servo Drives* . Obtenido de Product Catalog: <https://www.yaskawa.com/products/motion/sigma-5-servo-products/rotary-servo-motors/sgmjv>
- YASKAWA. (2 de 2024). *SGDV SigmaLogic*. Obtenido de https://www.yaskawa.com/products/motion/sigma-5-servo-products/servopacks/sgdv-sigmalogic/-/content/_6fe5ad5a-785f-45e0-ac9d-8bd9ffbe9926_Manuals

Glosario

Baud: El término "Baud" se utiliza para medir la velocidad de transmisión de datos en un canal de comunicación digital. Un baud representa el número de símbolos transmitidos por segundo en una comunicación serial.

Bus de campo: Un bus de campo es un sistema de comunicación utilizado en automatización industrial para conectar dispositivos y equipos, permitiendo la transferencia de datos y control en tiempo real.

CA (Corriente Alterna): Tipo de corriente eléctrica en la que el flujo de electrones cambia de dirección periódicamente. La corriente alterna es la forma de electricidad más comúnmente utilizada para la transmisión y distribución de energía eléctrica en redes eléctricas.

CD (Corriente Continua): Tipo de corriente eléctrica en la que el flujo de electrones es unidireccional, es decir, se mueve en una única dirección constante. La corriente continua se encuentra en aplicaciones como baterías, sistemas de energía solar y dispositivos electrónicos.

CAD: El diseño asistido por computadora habitualmente conocido como CAD por sus siglas en inglés computer-aided design, es el uso de computadores para ayudar en la creación, modificación, análisis u optimización de un diseño.

Ethernet: Es un estándar de redes de área local para computadoras, por sus siglas en español Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones. Ethernet define las características de cableado y señalización; de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Fotoelectricidad: Electricidad producida por el desprendimiento de electrones debido a la acción de la luz y de otras radiaciones electromagnéticas.

Fluctuación: la fluctuación se refiere a cambios irregulares o inestables en una señal, variable o proceso.

Gabinete de control: Un gabinete de control es una estructura o carcasa que alberga componentes electrónicos y eléctricos utilizados para controlar y supervisar sistemas o procesos.

HMI: La interfaz hombre-máquina, denominada HMI, está interesada en el diseño y desarrollo de sistemas interactivos teniendo en cuenta sus impactos sociales y éticos.

Homologación de un equipo: Se refiere al proceso de validación y selección de un equipo para garantizar el correcto cambio del mismo y que cumpla con los requisitos para un buen funcionamiento.

IoT: IoT (Internet de las cosas) se refiere a los dispositivos físicos, elementos y sistemas que están conectados entre sí a través de Internet para permitir la transferencia de datos y la comunicación entre ellos.

kBaud (kilobaud): El término "kBaud" se refiere a una unidad de medida que indica la velocidad de transmisión de datos en comunicación digital. En este contexto, "k" significa mil, por lo que 1 kBaud equivale a 1,000 baudios.

Momento de inercia: El momento de inercia es una medida de la resistencia de un objeto a cambiar su estado de rotación.

PLC: Un controlador lógico programable más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial.

Retroreflexión: La retroreflexión es un fenómeno óptico en el cual la luz que incide sobre una superficie es reflejada de vuelta hacia la dirección de la fuente luminosa.

Renderización: La renderización es el proceso de generar una imagen o animación a partir de un modelo tridimensional (3D) mediante el cálculo de la interacción de la luz con los objetos y superficies en la escena.

TFT LCD: Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display o pantalla de cristal líquido de transistores de película fina) son monitores usados en televisores, ordenadores, visualizadores de pantalla plana y proyectores, pero también están diseñados para ser instalados en el salpicadero o en el panel de control.

VAC (Voltios de Corriente Alterna): Unidad de medida de la tensión eléctrica en un sistema de corriente alterna (CA). En los sistemas de corriente alterna, la dirección del flujo de corriente cambia periódicamente.

VDC (Voltios de Corriente Continua): Unidad de medida de la tensión eléctrica en un sistema de corriente continua (CC). En los sistemas de corriente continua, la corriente fluye en una única dirección constante.

CPU (Unidad Central de Procesamiento): Es el componente principal de una computadora que realiza la mayoría de los procesos de cálculo y ejecución de instrucciones.

SET POINT (Punto de consigna o punto de ajuste): se refiere al valor objetivo o deseado que se establece en un sistema de control automático. Es el valor al que se desea que el sistema llegue y mantenga.

PROFINET (Process Field Net): Es un estándar de red de comunicación industrial basado en Ethernet.

WEB SERVER (Servidor web): Es un software y hardware que usa el protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol) y otros protocolos para responder a las solicitudes de los clientes que se conectan a través de la web.

MPI (Message Passing Interface): Es un estándar de comunicación utilizado en computación paralela y distribuida, diseñado para facilitar la comunicación entre procesos que se ejecutan en sistemas de memoria distribuida.

PPI (Point-to-Point Interface): Es un protocolo de comunicación desarrollado por Siemens, utilizado principalmente en la automatización industrial.

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol): Es un conjunto de protocolos de comunicación que se utilizan para interconectar dispositivos en una red, como Internet.

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol): Es un protocolo de red utilizado para asignar automáticamente direcciones IP y otros parámetros de configuración de red a los dispositivos en una red.

SNMP (Simple Network Management Protocol): Es un protocolo estándar de la industria para la gestión y monitoreo de dispositivos en redes IP.

DCP (Discovery and Configuration Protocol): Es un protocolo de red utilizado principalmente en entornos de automatización industrial para la configuración y el descubrimiento de dispositivos en redes PROFINET.

LLDP (Link Layer Discovery Protocol): Es un protocolo de red estándar que se utiliza para el descubrimiento de dispositivos y la gestión de la topología de la red en la capa de enlace de datos.

Anexos

I. Diagrama antes de actualización UNI-IPR-001-1023

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
A																A
B																B
C																C
D																D
E																E
F																F
G																G
H																H
I																I
J																J
K																K
L																L
M																M
N																N



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Sede Central Avenida Universitaria
Apartado Postal: 5595
Managua, Nicaragua
Tel: (505) 2270-1509

DIAGRAMA ELÉCTRICO

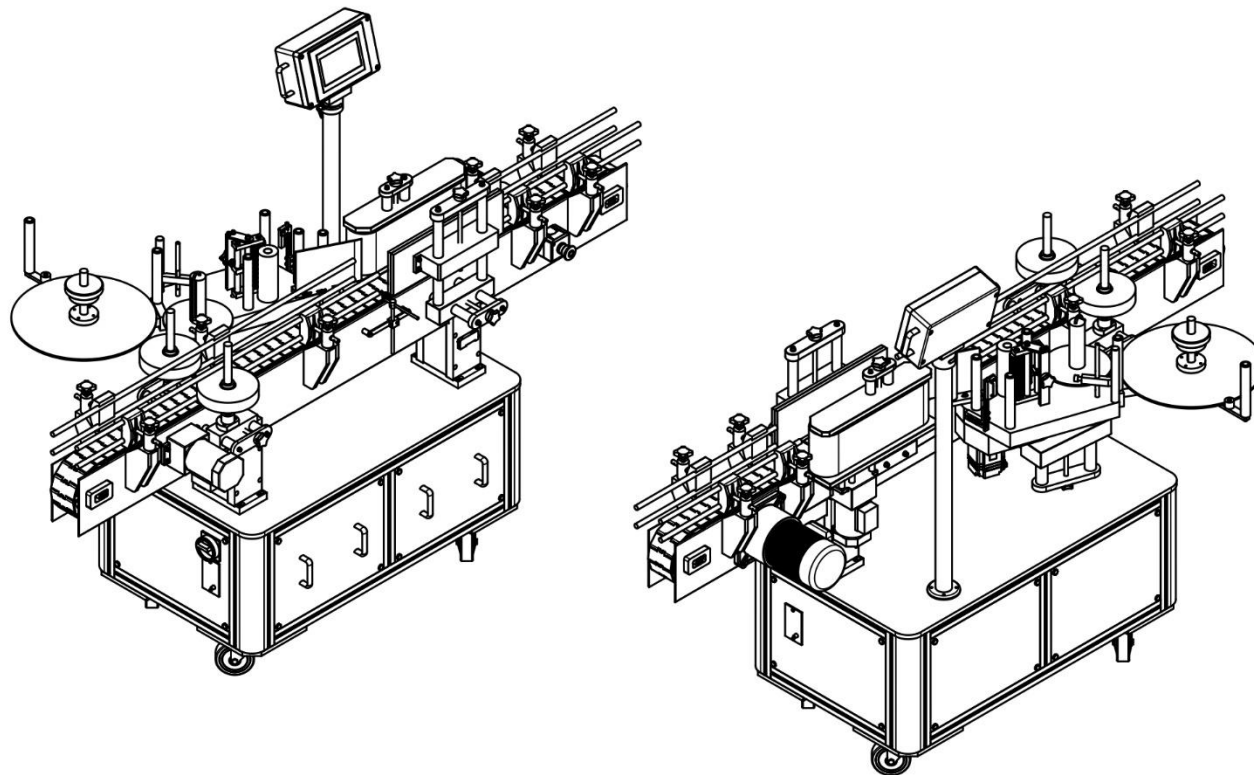
PROPIETARIO:	INTEGRACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES S,A
DIRECCIÓN:	Carretera a Masaya Km 5.5, 100 mts al este Nicaragua, Managua
TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:	Actualización de sistema de control de etiquetadora semiautomática de envases cilíndricos mediante la implementación de la tecnología IO-Link ubicada en la empresa Iprocess Ind
NOMBRE DEL DOCUMENTO:	Diagrama eléctrico antes de actualización
NÚMERO DE DOCUMENTO:	UNI-IPR-001-1023
FECHA DE CREACIÓN:	25 de octubre de 2023
FECHA DE MODIFICACIÓN:	16 de agosto de 2024



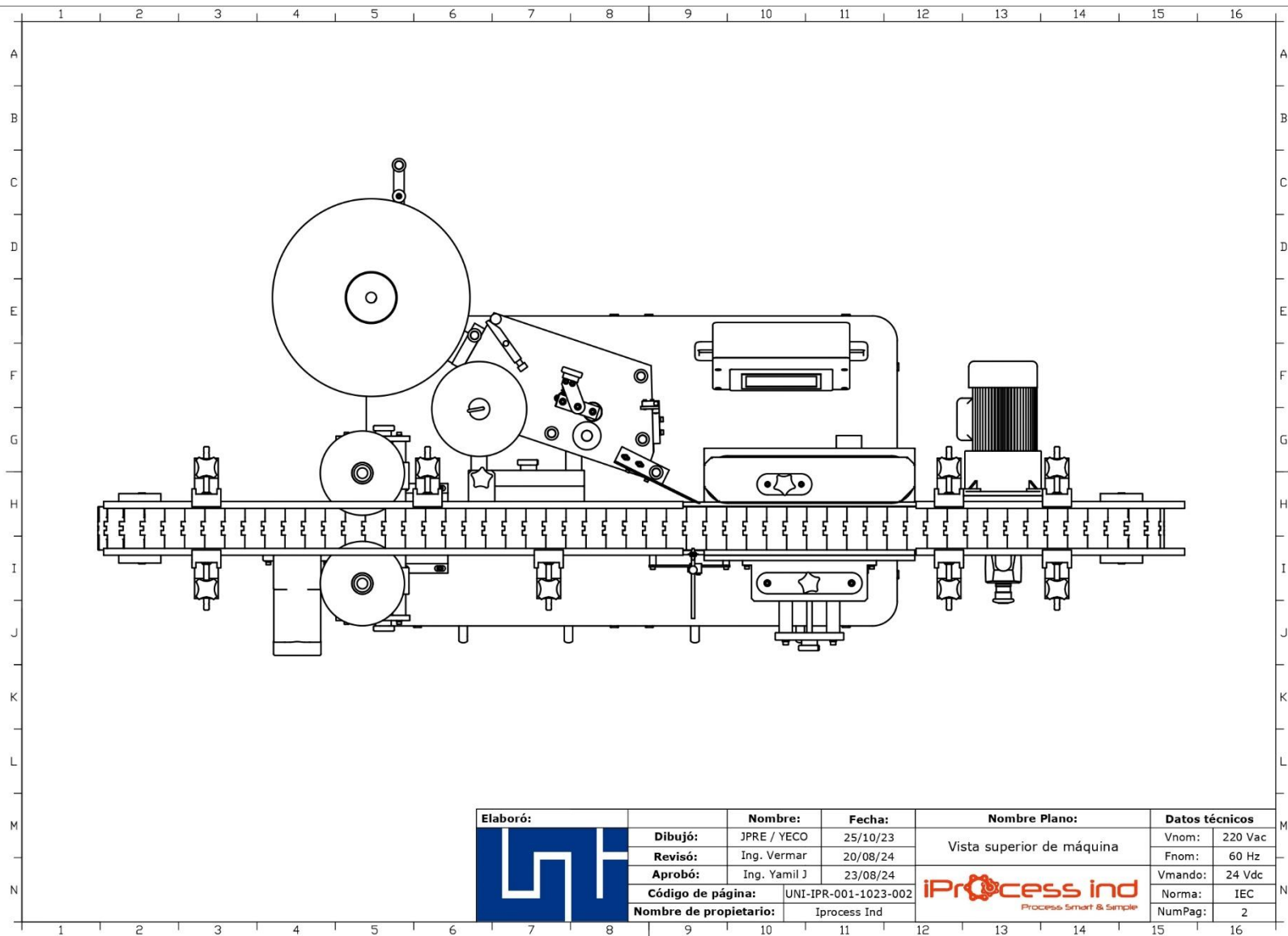
iProcess ind
Process Smart & Simple

INDICE		
CODIGO	DESCRIPCION	PAGINA
UNI-IPR-001-1023-001	VISTA ISOMÉTRICA DE MÁQUINA	1
UNI-IPR-001-1023-002	VISTA SUPERIOR DE MÁQUINA	2
UNI-IPR-001-1023-003	VISTA FRONTAL DE MÁQUINA	3
UNI-IPR-001-1023-004	VISTA DE PLACA DE MONTAJE	4
UNI-IPR-001-1023-005	DISTRIBUCIÓN DE VOLTAJE 220 VAC	5
UNI-IPR-001-1023-006	CONEXIÓN DE PLC Y SENSORES	6
UNI-IPR-001-1023-007	CONEXIÓN DE VARIADOR DE FRECUENCIA	7
UNI-IPR-001-1023-008	CONEXIÓN DE CONTROLADOR DE SERVOMOTOR	8
UNI-IPR-001-1023-009	CONEXIÓN DE SERVOMOTOR	9
UNI-IPR-001-1023-010	CONEXIÓN DE CONTROLADORES DE MICROVELOCIDAD	10
UNI-IPR-001-1023-011	DIAGRAMA DE COMUNICACIONES	11
UNI-IPR-001-1023-012	BORNES DE CONEXIÓN	12
UNI-IPR-001-1023-013	BORNES DE CONEXIÓN	13
UNI-IPR-001-1023-014	LISTA DE COMPONENTES	14

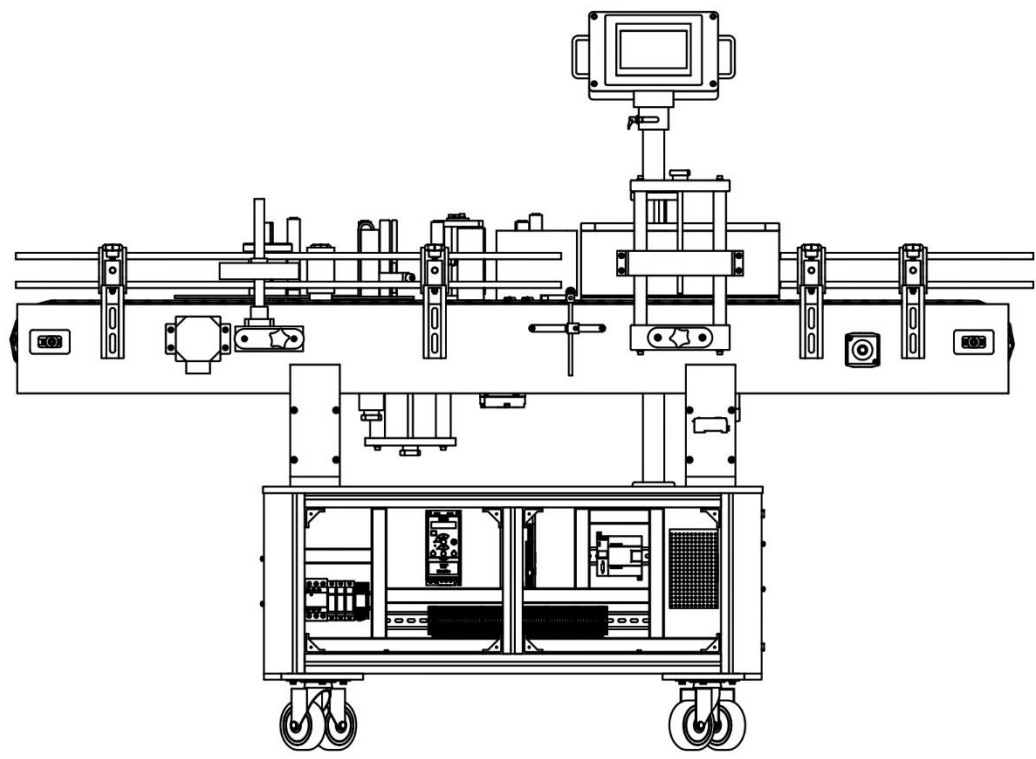
Elaboró:		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos
	Dibujó:	JPRE / YECO	25/10/23	Índice de planos	Vnom: -- Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Fnom: -- Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando: -- Vdc
	Código de página:	--			Norma: IEC
	Nombre de propietario:	Iprocess Ind			NumPag: --

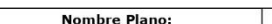


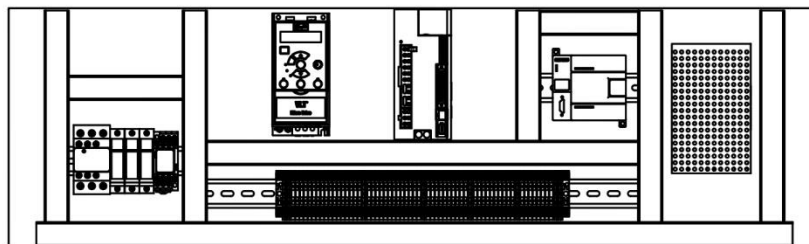
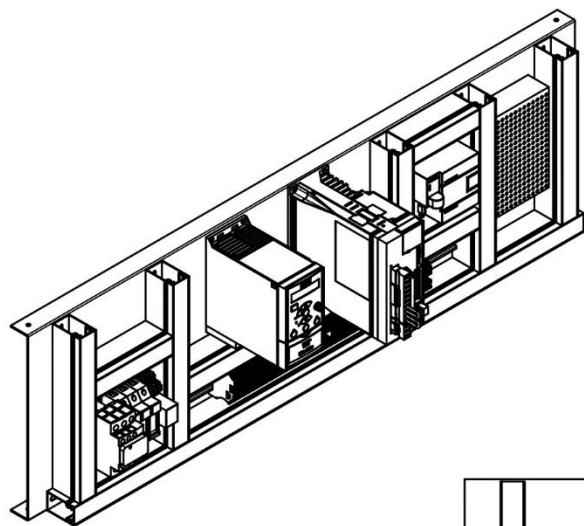
	Elaboró:	Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos
	Dibujó:	JPRE / YECO	25/10/23	Vista isométrica de máquina	Vnom: 220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Fnom: 60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando: 24 Vdc
	Código de página:	UNI-IPR-001-1023-001			Norma: IEC
Nombre de propietario:	Iprocess Ind		NumPag: 1		



Elaboró:			Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos	
	Dibujó:	JPRE / YECO	25/10/23	Vista superior de máquina		Vnom:	220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24			Fnom:	60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24			Vmando:	24 Vdc
	Código de página:	UNI-IPR-001-1023-002				Norma:	IEC
	Nombre de propietario:	Iprocess Ind				NumPag:	2

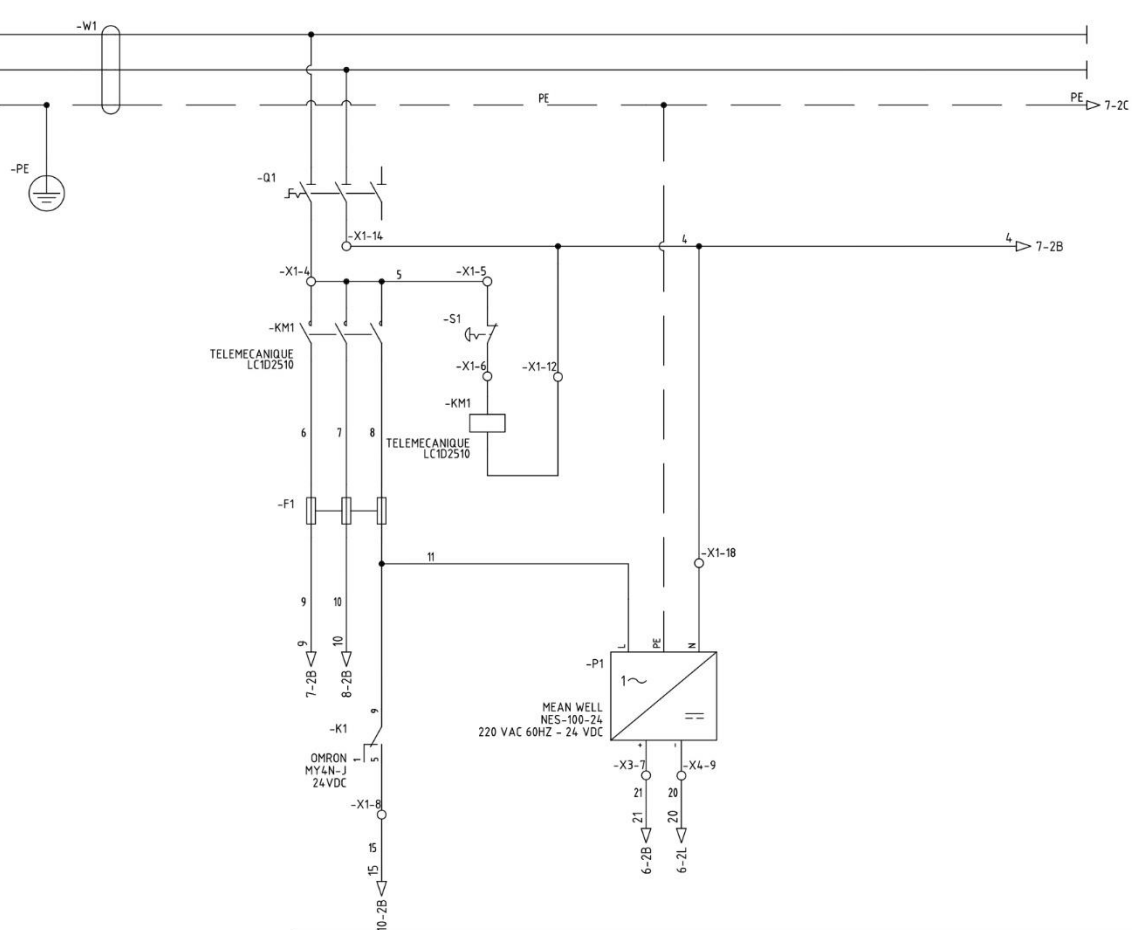


Elaboró:		Nombre:		Fecha:		Nombre Plano:		Datos técnicos	
	Dibujó:	JPRE / YECO		25/10/23		Vista frontal de máquina		Vnom:	220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar		20/08/24				Fnom:	60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J		23/08/24				Vmando:	24 Vdc
	Código de página:		UNI-IPR-001-1023-003			Norma:	IEC		
	Nombre de propietario:		Iprocess Ind			NumPag:	3		

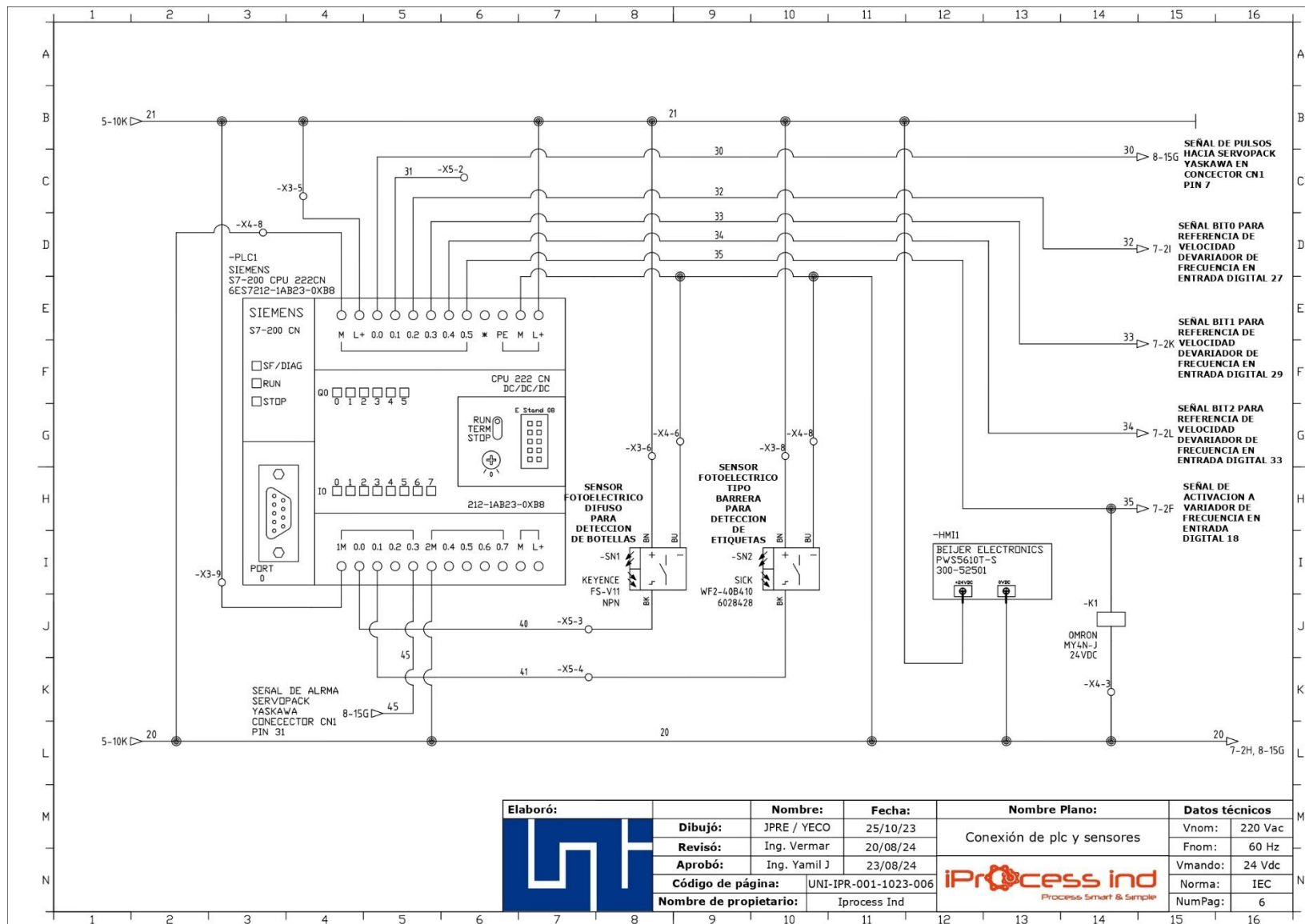


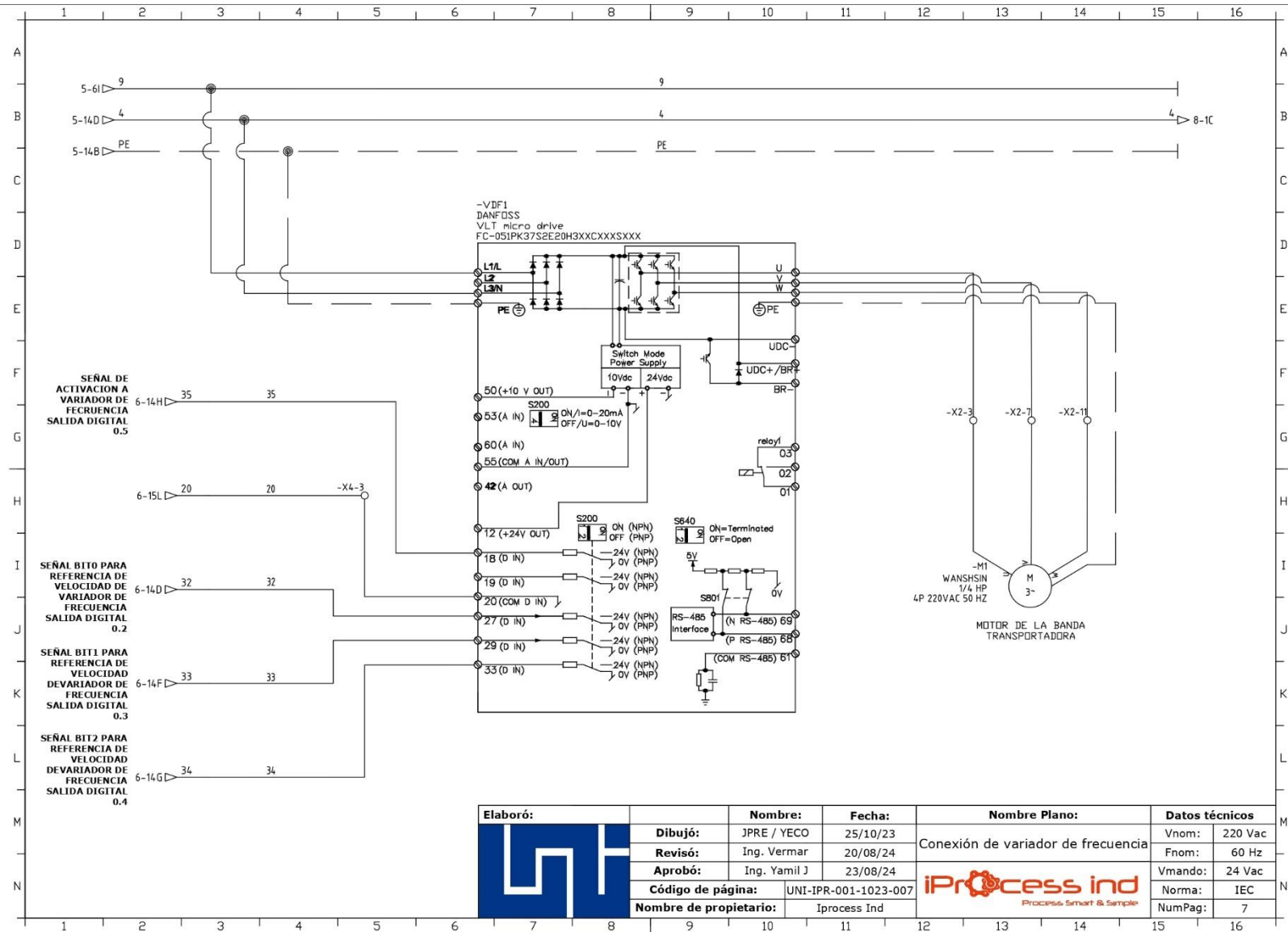
Elaboró: 		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos	
	Dibujó:	JPRE / YECO	25/10/23	Vista de placa de montaje	Vnom:	220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Inom:	60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando:	24 Vdc
	Código de página:	UNI-IPR-001-1023-004			Norma:	IEC
Nombre de propietario:	Iprocess Ind		NumPag:		4	

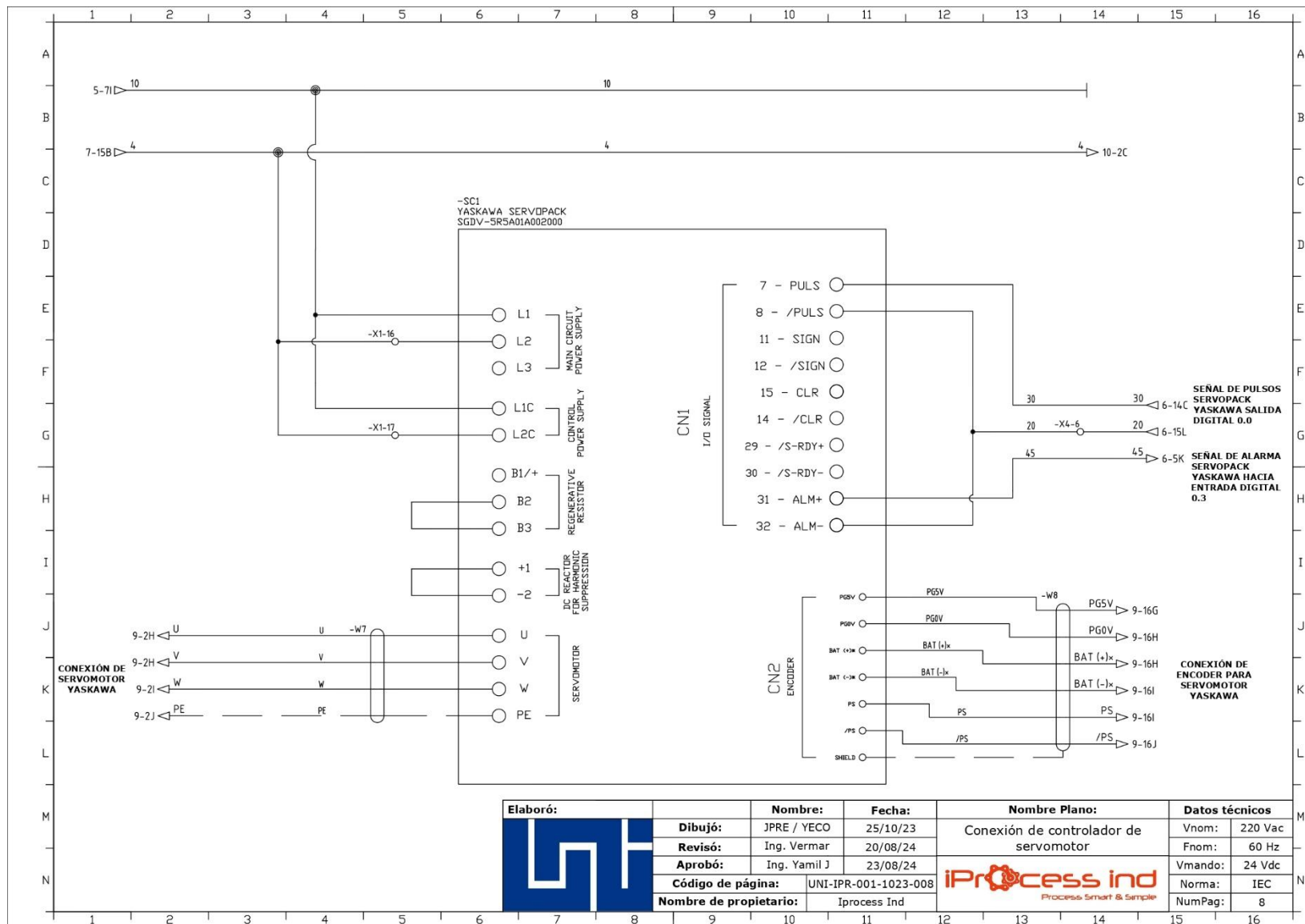
Alimentacion
220 VAC
1F 3H 60 Hz



	Elaboró:		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos	
	Dibujó:		JPRE / YECO	25/10/23	Distribución de voltaje 220 VAC	Vnom:	220 Vac
	Revisó:		Ing. Vermar	20/08/24		Fnom:	60 Hz
	Aprobó:		Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando:	24 Vdc
	Código de página:		UNI-IPR-001-1023-005			Norma:	IEC
Nombre de propietario:		Iprocess Ind		NumPag:		5	







Elaboró:



Dibujó:

Nombre:

Fecha:

Nombre Plano:

Datos técnicos

Revisó:

Ing. Yamil J

20/08/24

Conexión de controlador de servomotor

Vnom: 220 Vac

Aprobó:

Ing. Yamil J

23/08/24

Fnom: 60 Hz

Código de página:

UNI-IPR-001-1023-008

Vmando: 24 Vdc

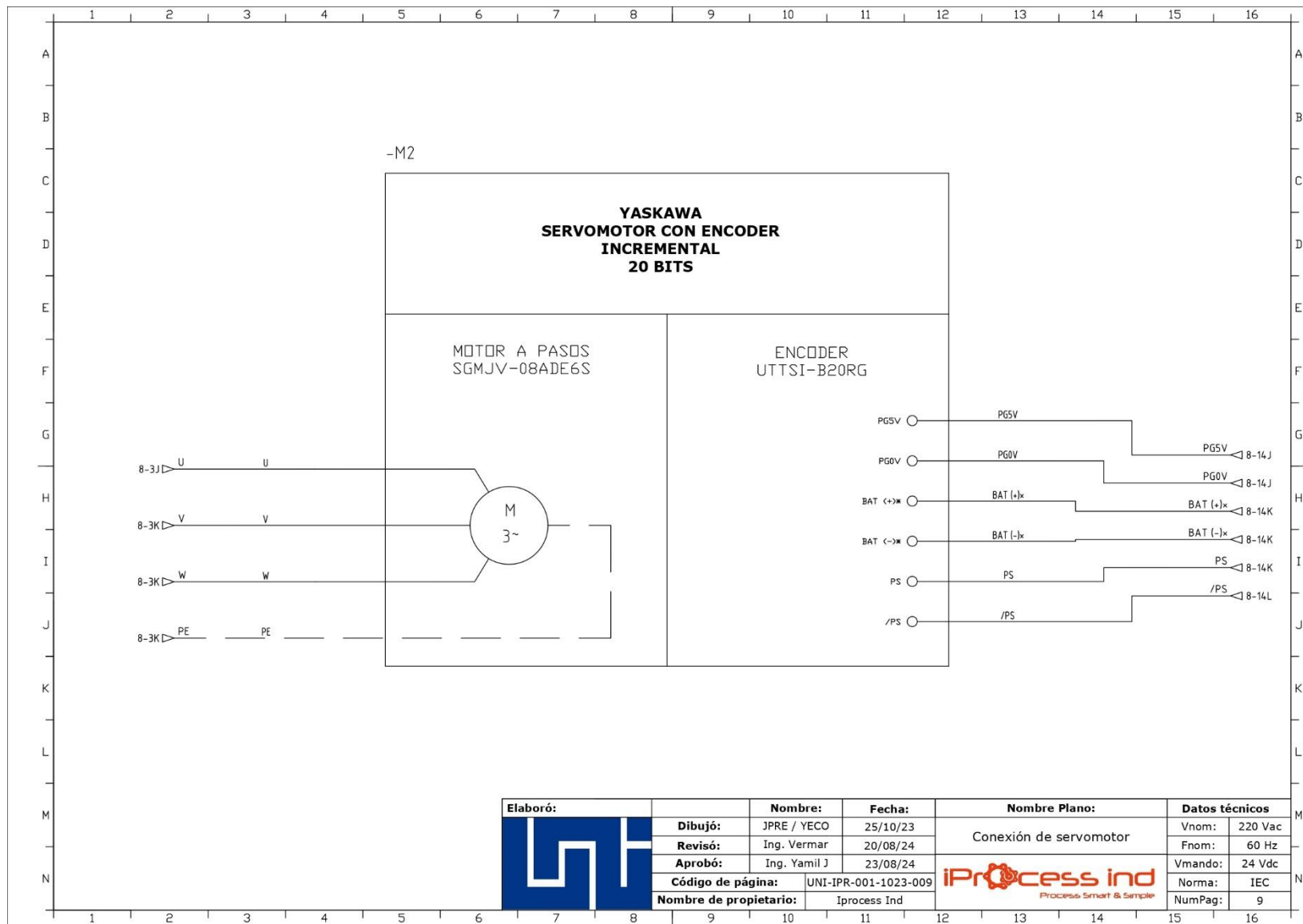
Nombre de propietario:

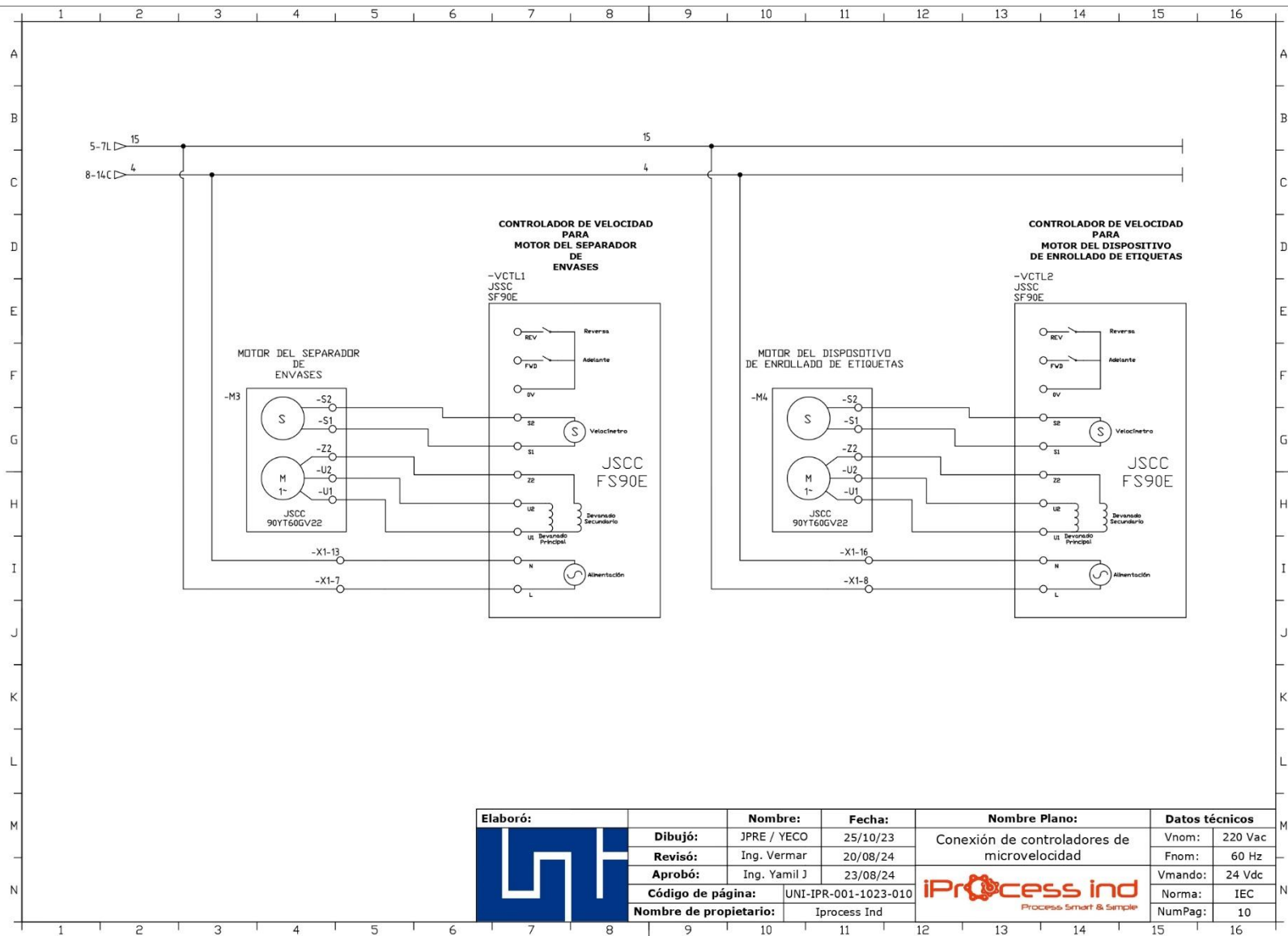
Iprocess Ind

Norma: IEC

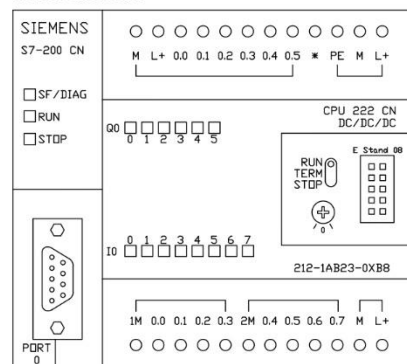
NumPag: 8

iProcess ind
Process Smart & Simple

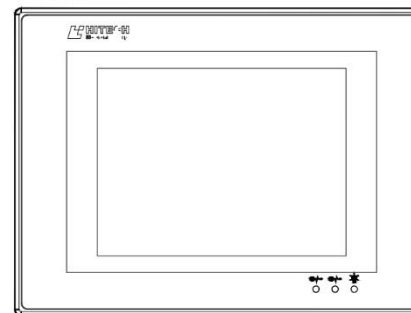




-PLC1
SIEMENS
S7-200 CPU 222CN
6ES7212-1AB23-0XB8

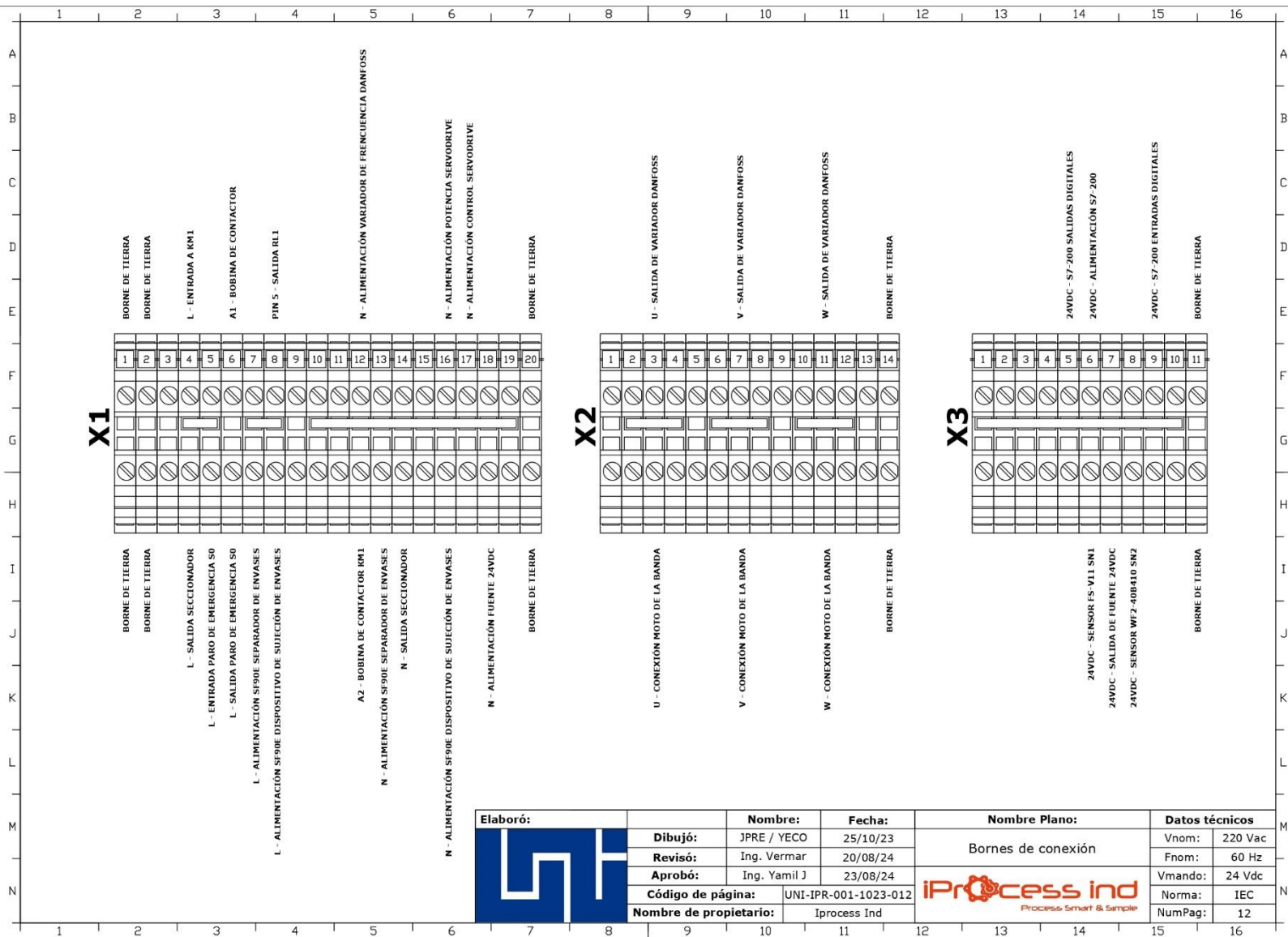


-HMI1
BEIDER ELECTRONICS
PWS5610T-S
300-52501



COMUNICACION RS-485 CON CONECTOR 9 PIN DSUB

Elaboró:		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos
	Dibujó:	JPRE / YECO	25/10/23	Diagrama de comunicaciones	Vnom: 220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Fnom: 60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando: 24 Vdc
	Código de página:	UNI-IPR-001-1023-011			Norma: IEC
	Nombre de propietario:	Iprocess Ind			NumPag: 11



Elaboró:



Nombre:	JPRE / YECO	Fecha:	25/10/23
Dibujó:	Ing. Vermar	Revisó:	20/08/24
Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24	
Código de página:	UNI-IPR-001-1023-012		
Nombre de propietario:	Iprocess Ind		

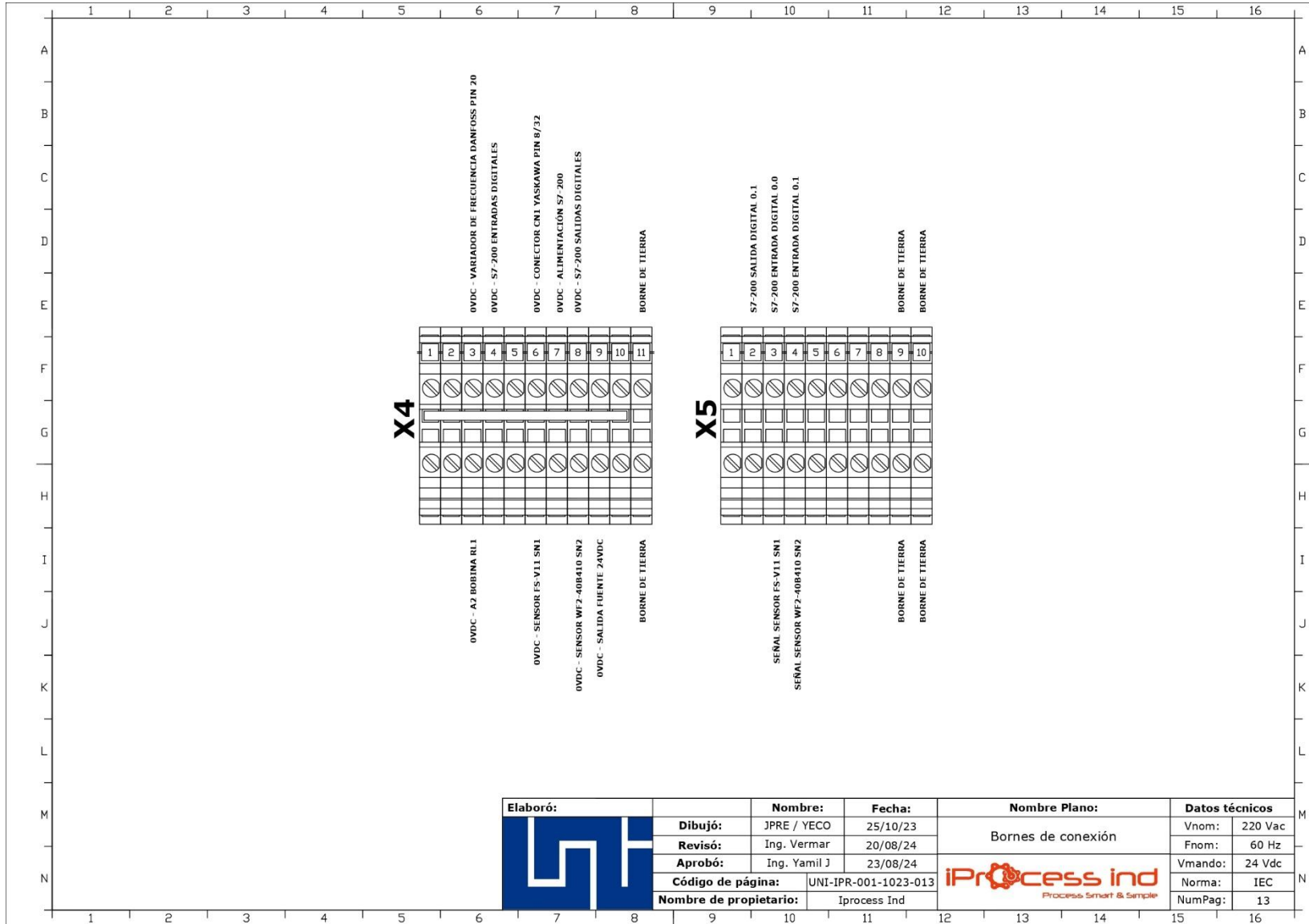
Nombre Plano:

Bornes de conexión



Datos técnicos

Vnom:	220 Vac
Fnom:	60 Hz
Vmando:	24 Vdc
Norma:	IEC
NumPag:	12



Elaboró:		Nombre:	JPRE / YECO	Fecha:	25/10/23
Dibujó:		Revisó:	Ing. Vermar		20/08/24
Aprobó:			Ing. Yamil J		23/08/24
Código de página:	UNI-IPR-001-1023-013				
Nombre de propietario:	Iprocess Ind				

Nombre Plano:	Bornes de conexión	Datos técnicos
		Vnom: 220 Vac
		Fnom: 60 Hz
		Vmando: 24 Vdc
		Norma: IEC
		NumPag: 13



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	LISTA DE COMPONENTES															
B	ITEM	DESCRIPCIÓN					CANTIDAD			NÚMERO DE PARTE						
C	SW1	Seccionador 3 polos					1			-						
D	S1	Paro de emergencia 22mm					1			-						
E	KM1	Contactor 220 VAC 3 polos					1			LC1D2510						
F	F1	Porta fusibles 3 polos RT-18					1			-						
G	K1	Rele 24VDC 4 contactos					1			MY4N-J						
H	P1	Fuente 24VDC 4.5A					1			NES-100-24						
I	PLC1	S7-200 CPU 222 CN					1			6ES7212-1AB23-0XB8						
J	HMI1	Pantalla tactil					1			PWS5610T-S						
K	SN1	Amplificador de fibra optica					1			FS-V11						
L	SN2	Sensor de horquilla					1			WF2-40B410						
M	VCTL1, VCTL2	Controlador de velocidad					2			SF90E						
N	M3	JSCC-Motor de velocidad monofásico					1			90YT60GV22-90GF25HE						
	M4	JSCC-Motor de velocidad monofásico					1			90YT60GV22-90GF10HE						
	VDF1	VLT® MicroDrive FC51 0,37kW					1			132F0002						
	M1	Motor de induccion de 1/4HP con caja reductora GV-22					1			-						
	SC1	SERVO DRIVE, SIGMA V, 3 PHASE, INPUT: 200-230 VAC					1			SGDV-5R5A01A002000						
	M2	Servomotor yaskawa 750W con encoder incremental					1			SGMJV-08ADE6S						
	X1, X2, ...X5	Bornes de paso 2.5mm Beige					58			-						
	X1, X2, ...X5	Bornes de tierra 2.5mm Verde-Amarillo					8			-						
	Elaboró: 					Nombre:	Fecha:	Nombre Plano: Lista de componentes			Datos técnicos					
Dibujó:						JPRE / YECO	25/10/23				Vnom:	220 Vac				
Revisó:						Ing. Vermar	20/08/24	Fnom:	60 Hz							
Aprobó:						Ing. Yamil J	23/08/24	Vmando:	24 Vdc							
Código de página:						UNI-IPR-001-1023-014			Norma:	IEC						
Nombre de propietario:		Iprocess Ind		NumPag:	14											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

II. Diagrama después de actualización UNI-IPR-002-1123

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
A																A
B																B
C																C
D																D
E																E
F																F
G																G
H																H
I																I
J																J
K																K
L																L
M																M
N																N

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Sede Central Avenida Universitaria
Apartado Postal: 5595
Managua, Nicaragua
Tel: (505) 2270-1509

DIAGRAMA ELÉCTRICO

PROPIETARIO: INTEGRACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES S,A

DIRECCIÓN: Carretera a Masaya Km 5.5, 100 mts al este
Nicaragua, Managua

TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA: Actualización de sistema de control de etiquetadora semiautomática de envases cilíndricos mediante la implementación de la tecnología IO-Link ubicada en la empresa Iprocess Ind

NOMBRE DEL DOCUMENTO: Diagrama eléctrico despues de actualización

NÚMERO DE DOCUMENTO: UNI-IPR-002-1123

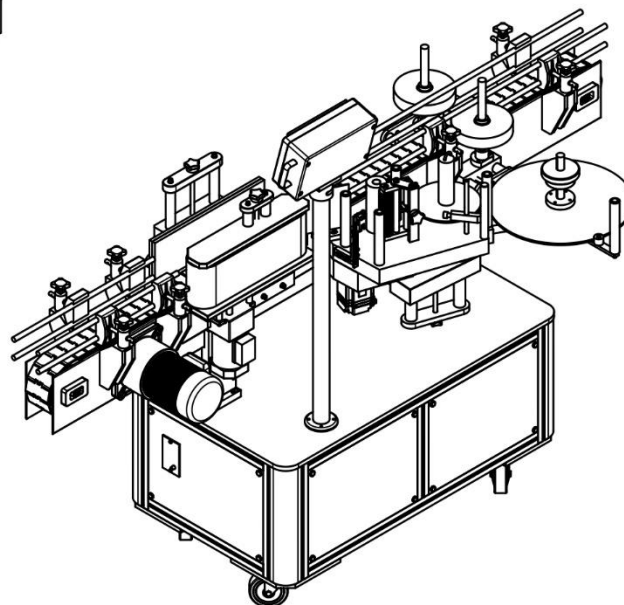
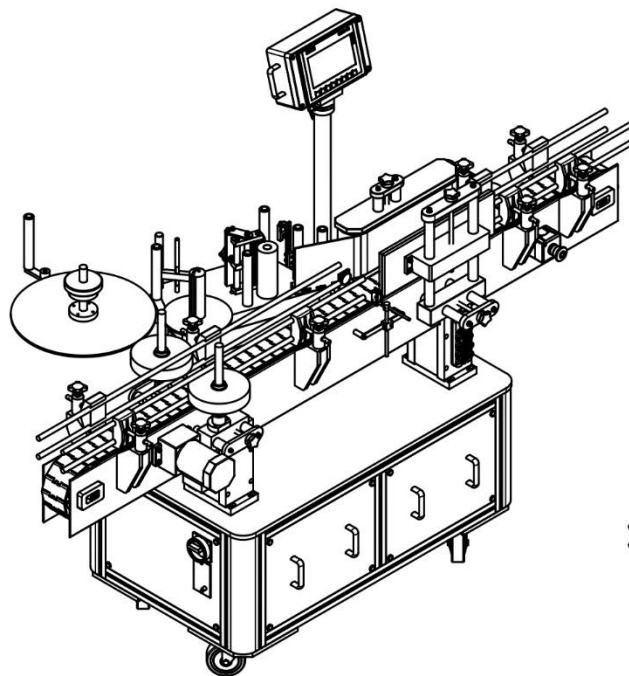
FECHA DE CREACIÓN: 12 de noviembre de 2023

FECHA DE MODIFICACIÓN: 16 de agosto de 2024

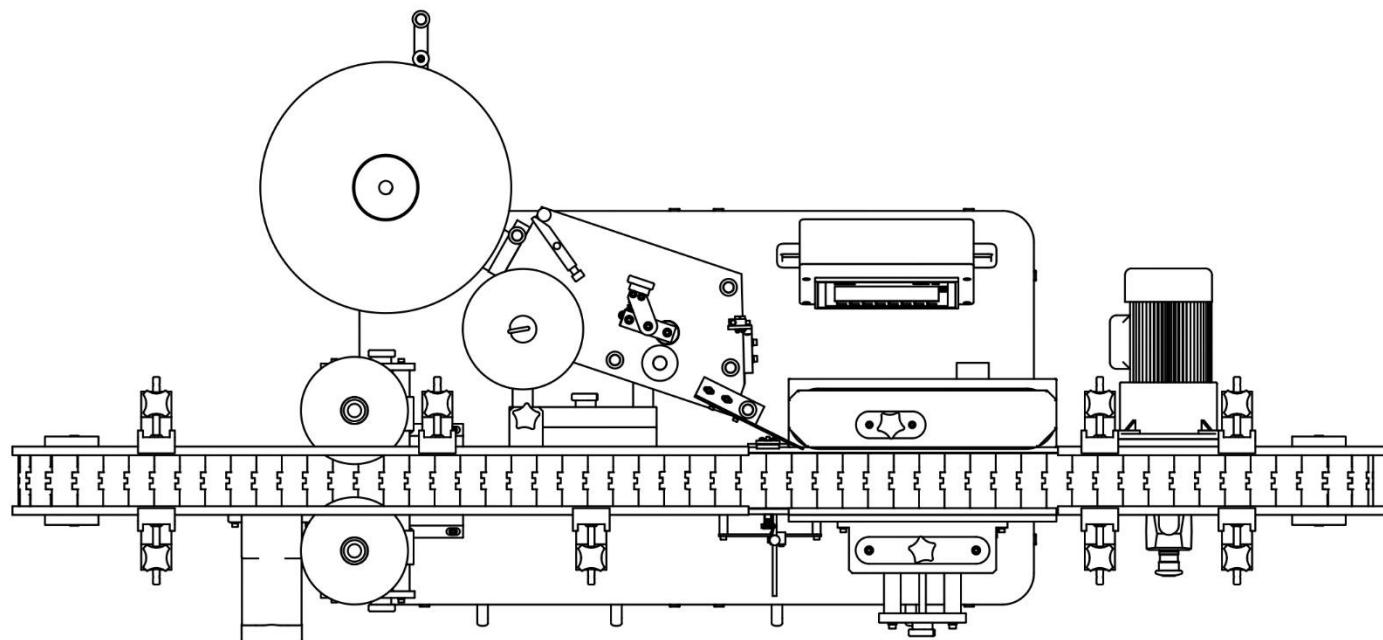
Process Smart & Simple

ÍNDICE		
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
UNI-IPR-001-1123-001	VISTA ISOMÉTRICA DE MÁQUINA	1
UNI-IPR-001-1123-002	VISTA SUPERIOR DE MÁQUINA	2
UNI-IPR-001-1123-003	VISTA FRONTAL DE MÁQUINA	3
UNI-IPR-001-1123-004	VISTA DE PLACA DE MONTAJE	4
UNI-IPR-001-1123-005	DISTRIBUCIÓN DE VOLTAJE 220 VAC	5
UNI-IPR-001-1123-006	CONEXIÓN DE PLC Y SEÑALES I/O	6
UNI-IPR-001-1123-007	CONEXIÓN DE VARIADOR DE FRECUENCIA	7
UNI-IPR-001-1123-008	CONEXIÓN DE CONTROLADOR DE SERVOMOTOR	8
UNI-IPR-001-1123-009	CONEXIÓN DE SERVOMOTOR	9
UNI-IPR-001-1123-010	CONEXIÓN DE CONTROLADORES DE MICROVELOCIDAD	10
UNI-IPR-001-1123-011	DIAGRAMA DE COMUNICACIONES Y CONEXIÓN DE SENSORES	11
UNI-IPR-001-1123-012	BORNES DE CONEXIÓN	12
UNI-IPR-001-1123-013	BORNES DE CONEXIÓN	13
UNI-IPR-001-1123-014	LISTA DE COMPONENTES	14
UNI-IPR-001-1123-015	LISTA DE COMPONENTES	15

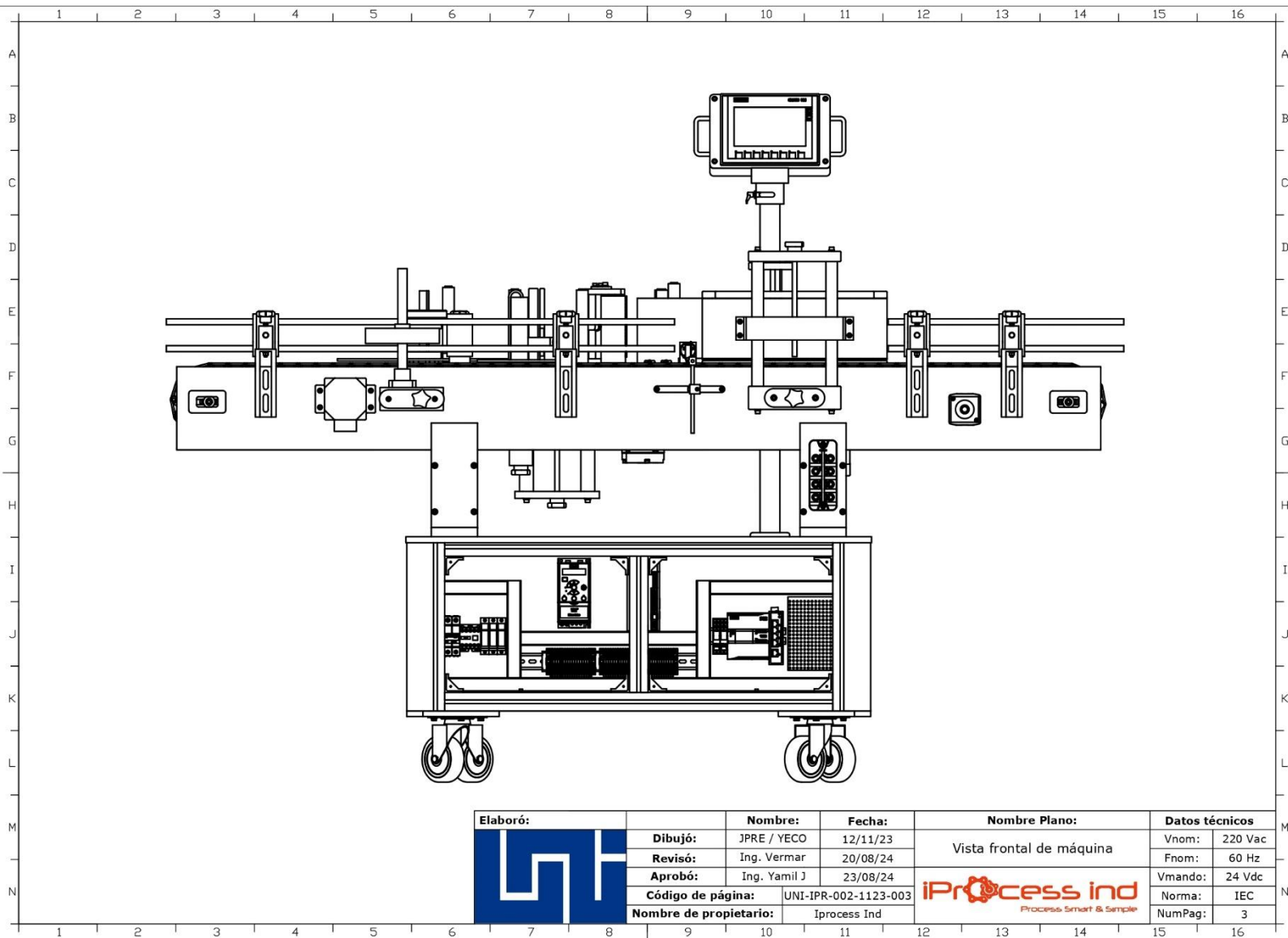
Elaboró:		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos
	Dibujó:	JPRE / YECO	12/11/23	Índice de planos	Vnom: -- Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Fnom: -- Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando: -- Vdc
	Código de página:	--			Norma: IEC
	Nombre de propietario:	Iprocess Ind			NumPag: --



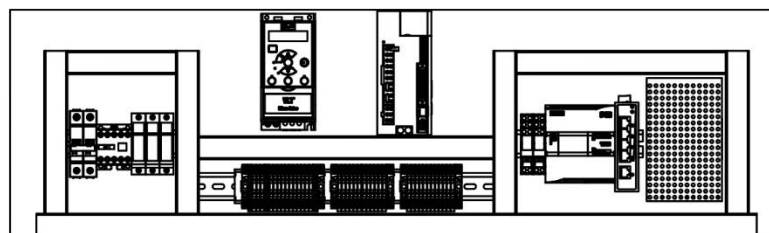
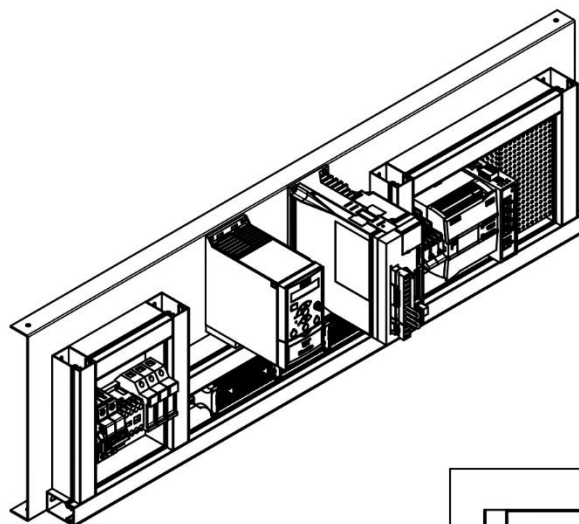
Elaboró: 		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos	
	Dibujó:	JPRE / YECO	12/11/23	Vista isométrica de máquina	Vnom:	220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Fnom:	60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando:	24 Vdc
	Código de página:		UNI-IPR-002-1123-001			Norma:
Nombre de propietario:		Iprocess Ind		NumPag:		1



Elaboró: 		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos	
	Dibujó:	JPRE / YECO	12/11/23		Vnom:	220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24	Vista superior de máquina 	Fnom:	60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando:	24 Vdc
	Código de página:		UNI-IPR-002-1123-002		Norma:	IEC
Nombre de propietario:		Iprocess Ind		NumPag:	2	

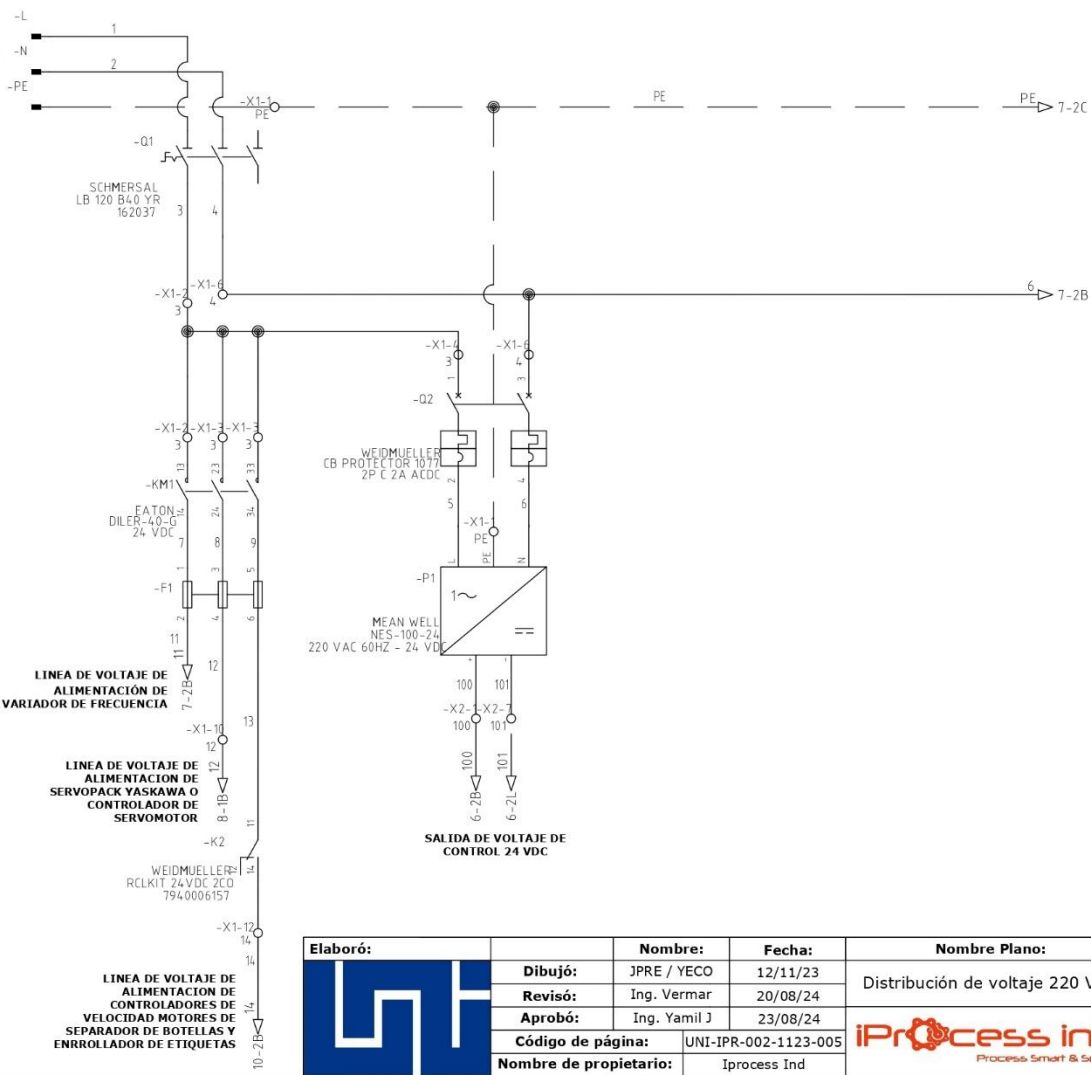


Elaboró:		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos
	Dibujó:	JPRE / YECO	12/11/23	Vista frontal de máquina	Vnom: 220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Fnom: 60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando: 24 Vdc
	Código de página:	UNI-IPR-002-1123-003			Norma: IEC
	Nombre de propietario:		Iprocess Ind		NumPag: 3
					



Elaboró:		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos	
	Dibujó:	JPRE / YECO	12/11/23	Vista de placa de montaje	Vnom:	220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Inom:	60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando:	24 Vdc
	Código de página:	UNI-IPR-002-1123-004			Norma:	IEC
	Nombre de propietario:	Iprocess Ind			NumPag:	4

**ALIMENTACIÓN
220 VAC
1F 3H 60 Hz**



LINEA DE VOLTAJE DE
ALIMENTACIÓN DE
VARIADOR DE FRECUENCIA

LINEA DE VOLTAJE DE
ALIMENTACIÓN DE
SERVOPACK YASKAWA O
CONTROLADOR DE
SERVOMOTOR

LINEA DE VOLTAJE DE
ALIMENTACIÓN DE
CONTROLADORES DE
VELOCIDAD MOTORES DE
SEPARADOR DE BOTELLAS Y
ENROLLADOR DE ETIQUETAS

Elaboró:



Dibujó:

Nombre:

Fecha:

Nombre Plano:

Datos técnicos

Revisó:

Ing. Vermar

20/08/24

Aprobó:

Código de página:

UNI-IPR-002-1123-005

Nombre de propietario:

Iprocess Ind

iProcess ind
Process Smart & Simple

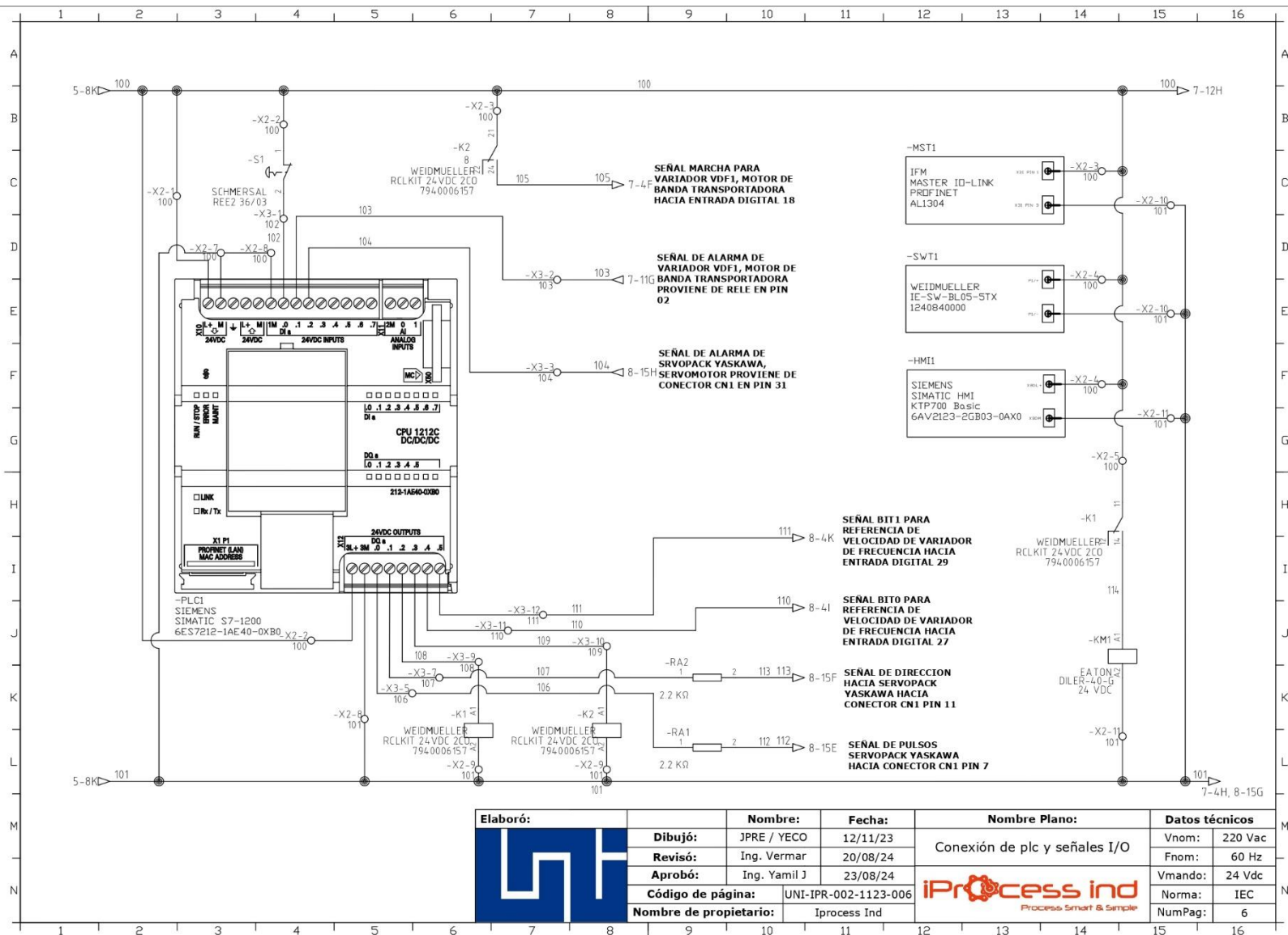
Vnom: 220 Vac

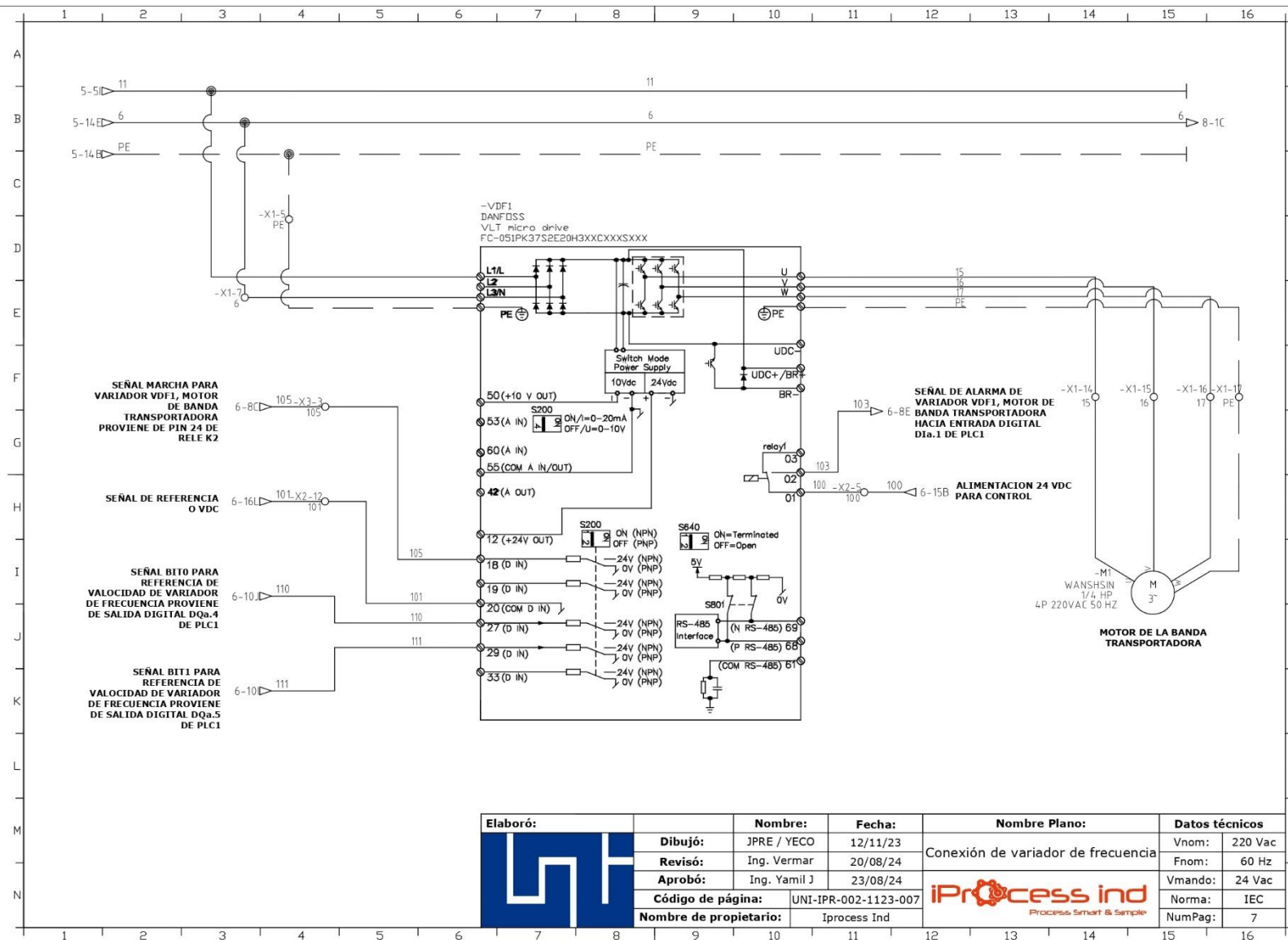
Fnom: 60 Hz

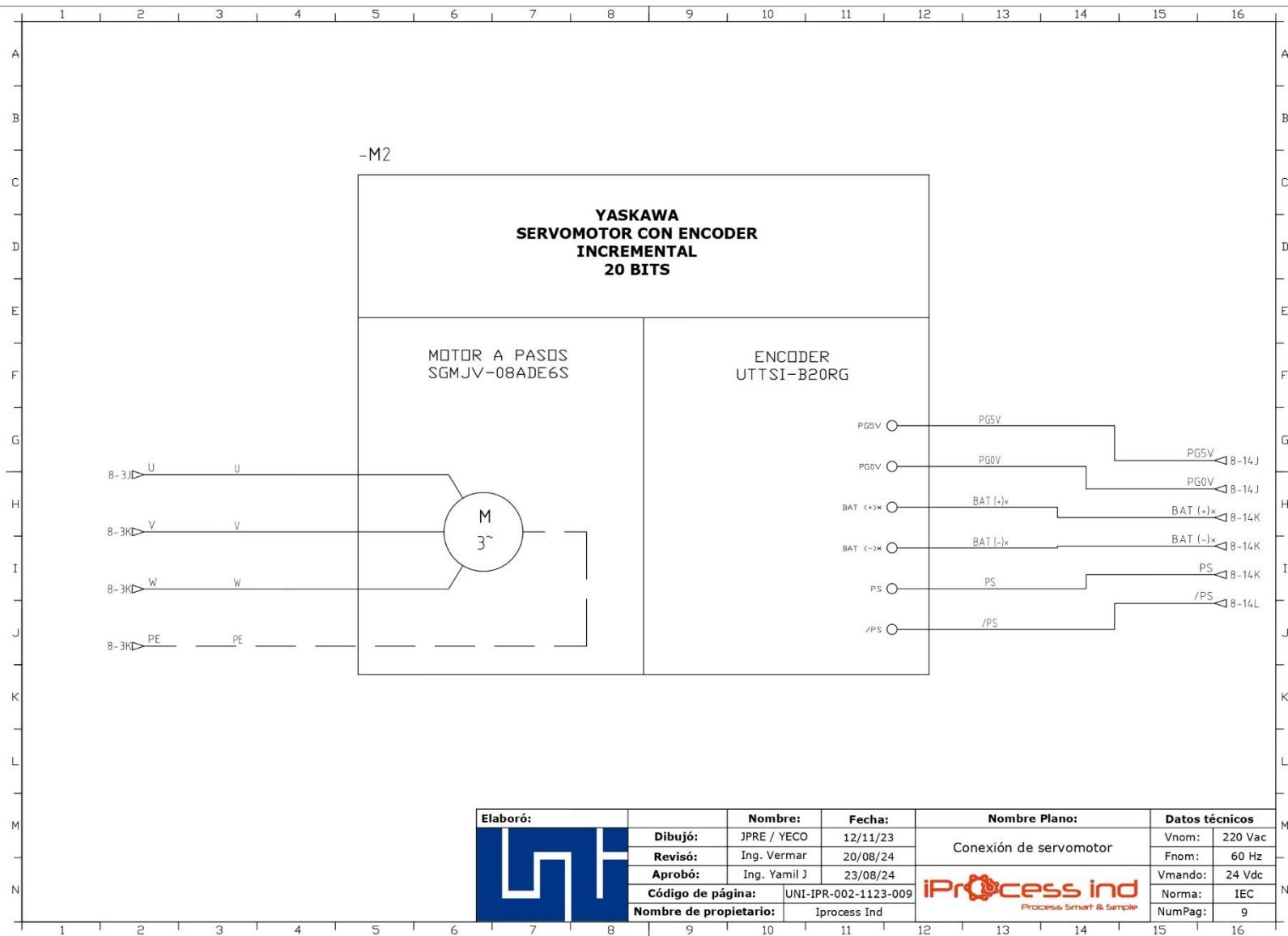
Vmando: 24 Vdc

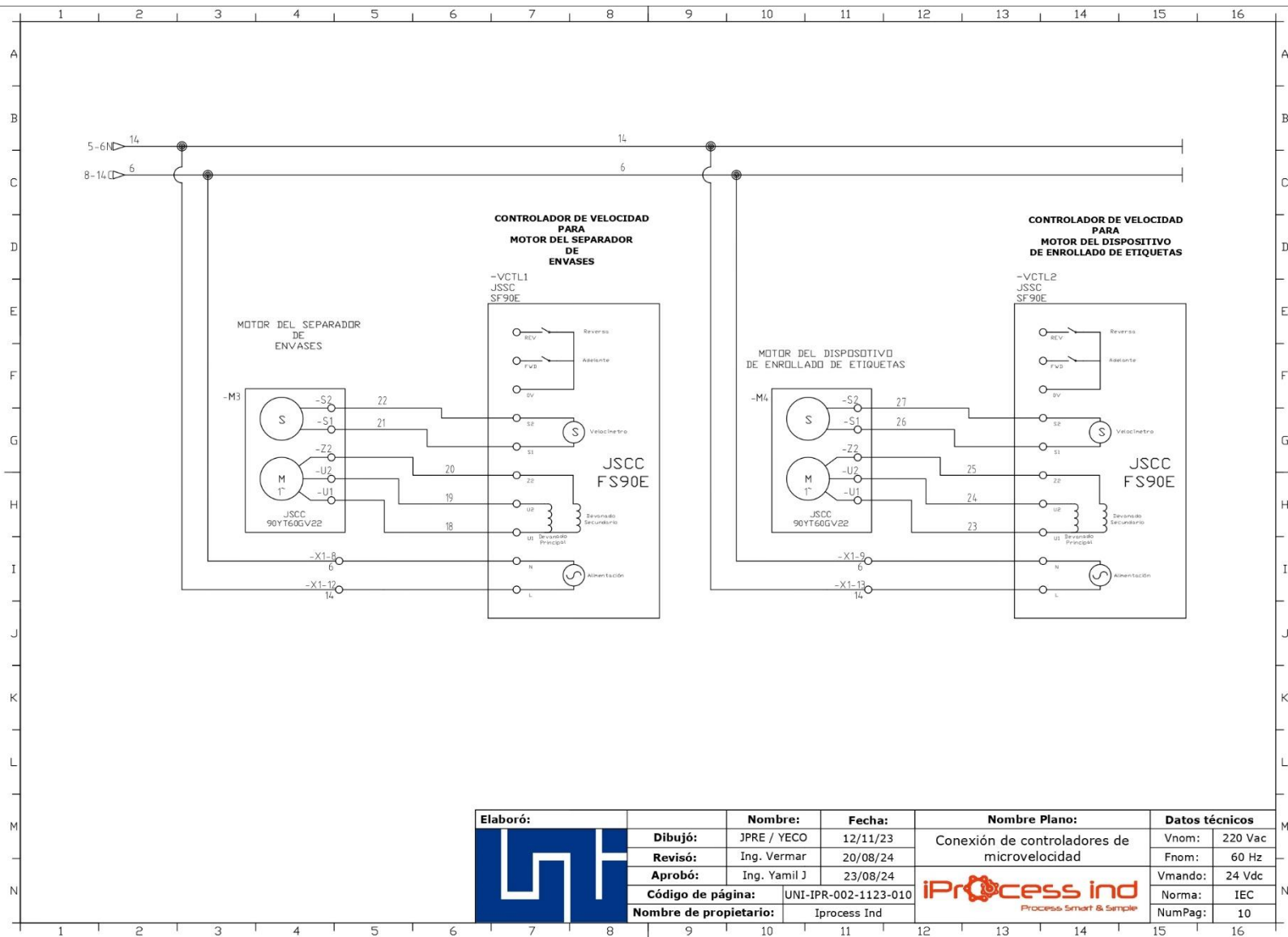
Norma: IEC

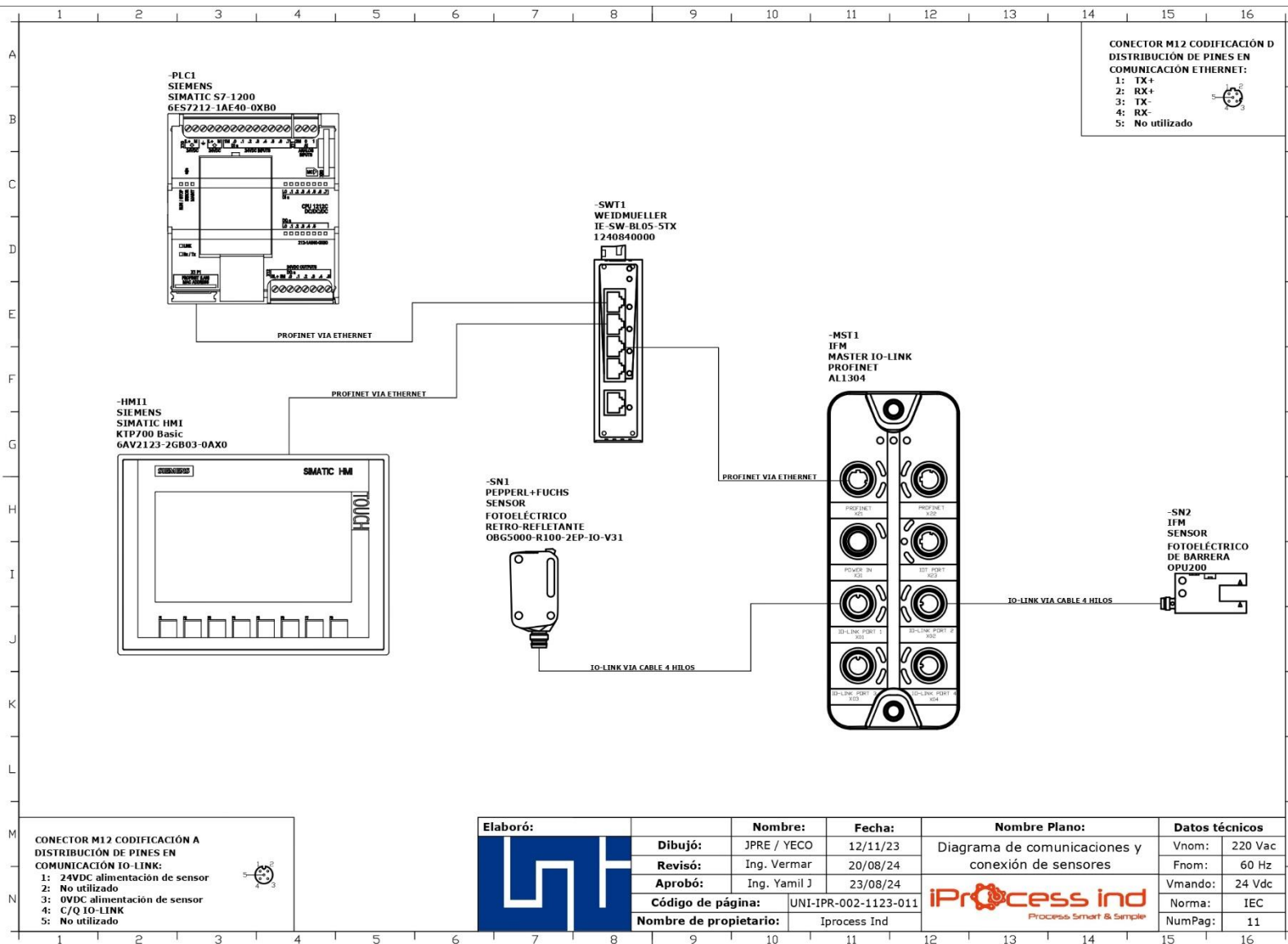
NumPag: 5



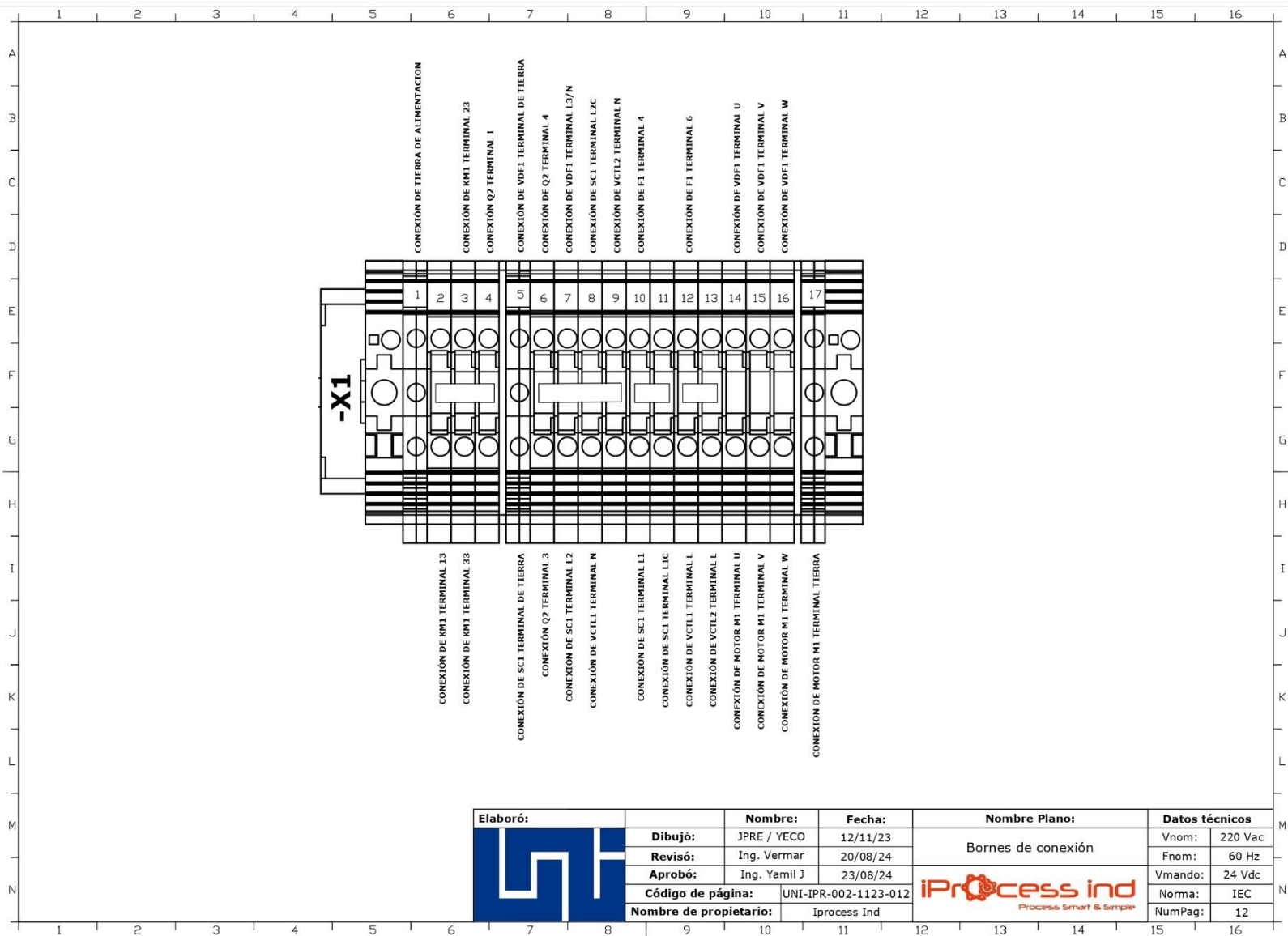




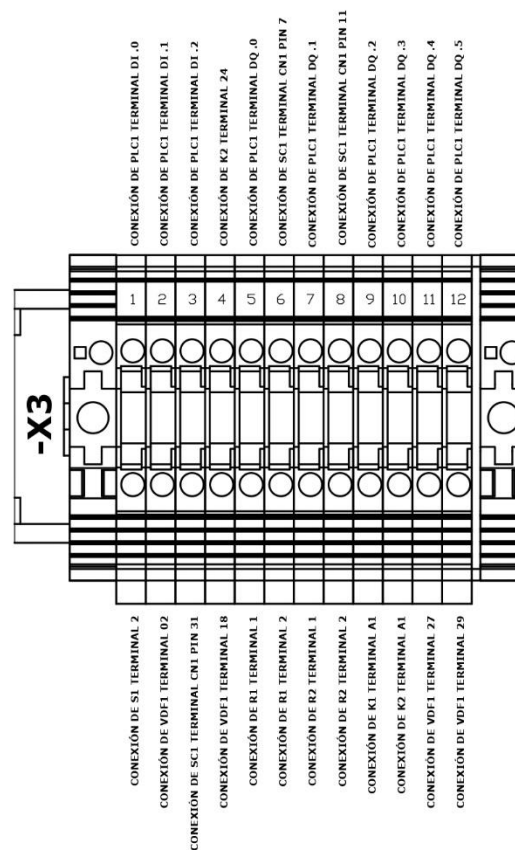
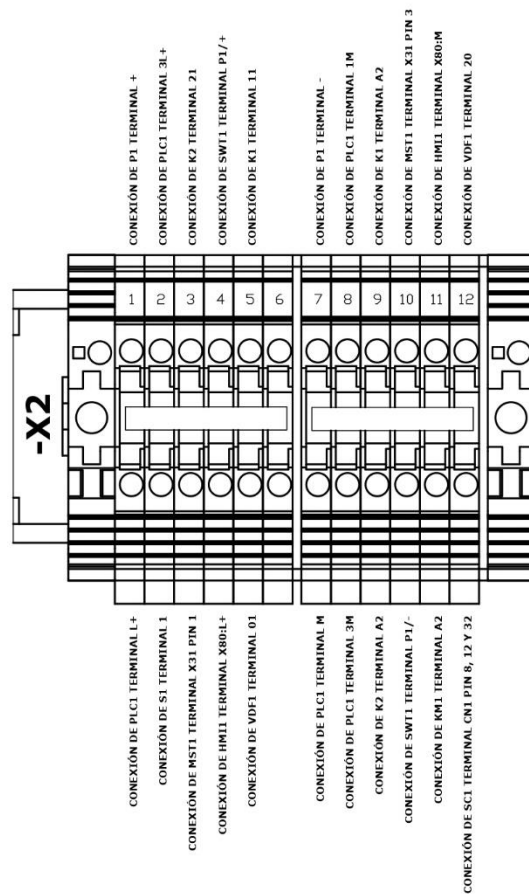




Elaboró:		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos
	Dibujó:	JPRE / YECO	12/11/23	Diagrama de comunicaciones y conexión de sensores	Vnom: 220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Fnom: 60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando: 24 Vdc
	Código de página:	UNI-IPR-002-1123-011		 Process Smart & Simple	Norma: IEC
	Nombre de propietario:	Iprocess Ind			NumPag: 11



Elaboró:		Nombre:	Fecha:	Nombre Plano:	Datos técnicos
	Dibujó:	JPRE / YECO	12/11/23	Bornes de conexión	Vnom: 220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Fnom: 60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando: 24 Vdc
	Código de página:	UNI-IPR-002-1123-012			Norma: IEC
	Nombre de propietario:		Iprocess Ind		



Elaboró:



Dibujó:

Nombre:

Fecha:

Nombre Plano:

Datos técnicos

Revisó:

Ing. Vermar

20/08/24

Bornes de conexión

Vnom: 220 Vac

Aprobó:

Ing. Yamil J

23/08/24



Fnom: 60 Hz

Código de página:

UNI-IPR-002-1123-013

Vmando: 24 Vdc

Nombre de propietario:

Iprocess Ind

Norma: IEC

NumPag: 13

12

13

14

15

16

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

LISTA DE COMPONENTES

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	NÚMERO DE PARTE
Q1	Seccionador 3 polos	1	LB 120 B40 YR
Q2	Interruptor termomagnetico	1	S202-C16
S1	Paro de emergencia 22mm	1	REE2 36 /03
KM1	Contactador 24 VDC 3 polos	1	DILER-40-G
F1	Porta fusibles 3 polos RT-18	1	-
K1, K2	Rele 24VDC 2 contactos	2	7940006157
P1	Fuente 24VDC 4.5A	1	NES-100-24
PLC1	S7-1200 CPU 1212C	1	6ES7212-1AE40-0XB0
HMI1	Pantalla tactil KTP700	1	6AV2123-2GB03-0AX0
SN1	Sensor retro-reflectante	1	OBG5000-R100-2EP-IO-V31
SN2	Io-LinkSensor de horquilla Io-Link	1	OPU200
VCTL1, VCTL2	Controlador de velocidad	2	SF90E
M3	JSCC-Motor de velocidad monofásico	1	90YT60GV22-90GF25HE
M4	JSCC-Motor de velocidad monofásico	1	90YT60GV22-90GF10HE
VDF1	VLT® MicroDrive FC51 0,37kW	1	132F0002
M1	Motor de induccion de 1/4HP con caja reductora GV-22	1	-

Elaboró:



Dibujó:	JPRE / YECO	12/11/23	Lista de componentes	Vnom:	220 Vac
Revisó:	Ing. Vermar	20/08/24		Fnom:	60 Hz
Aprobó:	Ing. Yamil J	23/08/24		Vmando:	24 Vdc
Código de página:	UNI-IPR-002-1123-014			Norma:	IEC
Nombre de propietario:	Iprocess Ind			NumPag:	14

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

LISTA DE COMPONENTES			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	NÚMERO DE PARTE
SWT1	Swicht ethernet 5 puertos	1	1240840000
MST1	Master Io-Link, PROFINET	1	AL1304
M1	Motor de induccion de 1/4HP con caja reductora GV-22	1	-
SC1	SERVO DRIVE, SIGMA V, 3 PHASE, INPUT: 200-230 VAC	1	SGDV-5R5A01A002000
M2	Servomotor yaskawa 750W con encoder incremental	1	SGMJV-08ADE6S
X1, X2, ...X3	Bornes de paso 2.5mm Beige	38	-
X1, X2, ...X3	Bornes de tierra 2.5mm Verde-Amarillo	3	-

Elaboró:		Nombre:		Fecha:		Nombre Plano:		Datos técnicos	
	Dibujó:	JPRE / YECO		12/11/23		Lista de componentes		Vnom:	220 Vac
	Revisó:	Ing. Vermar		20/08/24				Fnom:	60 Hz
	Aprobó:	Ing. Yamil J		23/08/24				Vmando:	24 Vdc
	Código de página:		UNI-IPR-002-1123-015					Norma:	IEC
	Nombre de propietario:		Iprocess Ind					NumPag:	15