



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Repotenciación de una máquina enfajilladora marca DASE-SING modelo DSL-345MH

Chiriboga Tapia, Charly Bryan y Parra García, Joel Alejandro

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Ibarra Jácome, Oswaldo Alexander

30 de noviembre de 2021



Tesis-ChiribogaCharly-ParraJoel - Rev. Antiplagio.pdf

Scanned on: 14:57 January 3, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	350
Words with Minor Changes	231
Paraphrased Words	105
Ommited Words	0



Firmado electrónicamente por:
**OSWALDO
ALEXANDER IBARRA
JACOME**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **“Repotenciación de una máquina enfajilladora marca DASE-SING modelo DSL-345MH”** fue realizado por los señores **Chiriboga Tapia Charly Bryan** y **Parra García Joel Alejandro**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 30 de noviembre de 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**OSWALDO
ALEXANDER IBARRA
JACOME**

Ing. Oswaldo Alexander Ibarra Jácome, MGs.

C.C.: 1719535427



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Responsabilidad de autoría

Nosotros **Chiriboga Tapia Charly Bryan**, con cédula de ciudadanía N.º 1726590456, y **Parra García Joel Alejandro**, con cédula de ciudadanía N.º 1725133365, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Repotenciación de una máquina enfajilladora marca DASE-SING modelo DSL-345MH”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Quito, 30 de noviembre de 2021

Firmas:



Chiriboga Tapia Charly Bryan

C.C.: 1726590456



Parra García Joel Alejandro

C.C.: 1725133365



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Autorización de Publicación

Nosotros **Chiriboga Tapia Charly Bryan**, con cédula de ciudadanía N.º 1726590456, y **Parra García Joel Alejandro**, con cédula de ciudadanía N.º 1725133365, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” publicar el trabajo de titulación: **“Repotenciación de una máquina enfajilladora marca DASE-SING modelo DSL-345MH”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.


Quito, 30 de noviembre de 2021

Firmas:



Chiriboga Tapia Charly Bryan

C.C.: 1726590456



Parra García Joel Alejandro

C.C.: 1725133365

Dedicatoria

Charly

Este trabajo lo dedico a mis padres Carlos y Consuelo quienes han sido mi soporte y apoyo durante toda mi vida, siempre presentes con su amor y su paciencia incondicional me han permitido llegar a cumplir una meta más que me permita seguir cumpliendo mis sueños siendo un hombre de bien con los valores que siempre me han inculcado.

Joel

A Dios, a mis padres y a mis hermanos.

Agradecimiento

Charly

Expreso un sincero agradecimiento al Ing. Fernando Villalba gerente de la empresa Fractal Automation que hizo posible la realización de este proyecto y a mi tutor el Ing. Alexander Ibarra quien nos ha guiado y apoyado para lograr concluir el proyecto.

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar con vida hasta este momento, a mis padres Carlos y Consuelo quienes desde el primer segundo de vida estuvieron conmigo apoyándome y guiándome, siendo mis pilares para alcanzar todo lo que me proponía, mi eterno agradecimiento por todo su amor y paciencia.

Agradezco a mi hermano Cristhoper por siempre brindarme su apoyo y cariño incondicional.

Finalmente agradezco a mi novia María José y a mi hijo Miguel Eduardo por ser las personas que Dios puso en mi camino para que llenasen mi vida de luz, gracias por su gran apoyo, amor y paciencia.

Joel

A Dios, a mis padres y a mis hermanos por su gran apoyo durante el curso de mis estudios.

Índice de Contenido

Revisión Urkund	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de Contenido.....	8
Índice de Tablas	13
Índice de Figuras.....	15
Resumen.....	19
Abstract.....	20
CAPÍTULO 1	21
Introducción.....	21
Antecedentes.....	21
Descripción del proyecto.....	26
Justificación e importancia	26
Alcance del proyecto.....	29
Componente mecánico.....	29
Componente eléctrico-electrónico	30
Componente informático	32

Objetivos.....	33
Objetivo general	33
Objetivos específicos.....	33
CAPÍTULO 2	35
Marco Teórico	35
Industria de alimentos.....	35
Mantenimiento de la maquinaria en la industria de alimentos	38
Tipos de mantenimiento	38
Mantenimiento Correctivo.....	38
Mantenimiento Preventivo	39
Mantenimiento Predictivo	40
Mantenimiento Cero Horas.....	40
Mantenimiento En Uso	41
Innovación en los procesos de producción de la industria de alimentos.....	41
Desarrollo de productos y procesos	42
Proceso de etiquetado de productos envasados.....	43
Principales materiales utilizados para el envasado de productos	44
Etiqueta	45
Decoración del envase de un producto	46
Máquinas Enfajilladoras	51
CAPÍTULO 3	54

	10
Desarrollo de la Repotenciación	54
Metodología para el Diseño e Implementación	54
Diagrama Funcional	55
Estado preliminar de la máquina.....	56
Componentes mecánicos	56
Componentes del sistema de control.....	64
Componentes de la Interfaz Humano-Máquina.....	68
Repotenciación Eléctrica, Electrónica y de Control	70
Diseño del sistema de control.....	70
Componentes reutilizables	71
Dimensionamiento y selección de componentes faltantes.....	73
Protección	86
Implementación del Sistema de Control	90
Interfaz Humano – Máquina.....	97
Pantalla HMI.....	97
Elementos del panel de operación.....	99
Programación de la pantalla HMI.....	101
Reacondicionamiento Mecánico	105
Rodillos	105
Puertas.....	108
Cubierta.....	109

Soporte para el sensor de alimentación de material.	109
Sistema de posicionamiento del sensor de producto.	113
Sistema de transmisión de movimiento para la etapa de arrastre.....	122
Sistema de transmisión de movimiento para la etapa de expulsión.....	125
Sistema de cuchillas del cabezal de corte.	127
Formador para la manga de etiquetas.....	128
Integración de los sistemas reacondicionados	128
CAPÍTULO 4	131
Pruebas y Resultados	131
Protocolo experimental	131
Pruebas en vacío.....	132
Objetivos	132
Responsables.....	132
Actividades.....	132
Resultados	133
Observaciones	133
Correcciones	134
Pruebas preliminares	135
Objetivos	135
Responsables.....	135
Actividades.....	136

	12
Resultados	136
Observaciones	137
Correcciones	137
Comparación de parámetros de producción previos y posteriores a la realización del proyecto de titulación.....	138
Desempeño de la HMI.....	141
Pruebas de producción	142
Objetivos	142
Responsables.....	143
Actividades.....	143
Resultados	144
Observaciones	145
Correcciones	145
Resultados posteriores a las correcciones	145
CAPÍTULO 5	147
Conclusiones y Recomendaciones.....	147
Conclusiones	147
Recomendaciones	148
CAPÍTULO 6	149
Bibliografía	149

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Parámetros principales de fajillas termo encogibles y túnel de calor</i>	52
Tabla 2 <i>Resultados de la evaluación de los actuadores de la máquina</i>	65
Tabla 3 <i>Resultados de la evaluación de los sensores de la máquina</i>	67
Tabla 4 <i>Resultados de la evaluación de los elementos de control y maniobra</i>	68
Tabla 5 <i>Resultados de la evaluación de los elementos del tablero de operación</i>	69
Tabla 6 <i>Resumen de componentes reutilizables</i>	71
Tabla 7 <i>Alternativas de variadores de frecuencia para el motor de la banda transportadora</i>	74
Tabla 8 <i>Requerimiento para el dimensionamiento de contactores</i>	76
Tabla 9 <i>Requerimiento para el dimensionamiento de relés</i>	76
Tabla 10 <i>Resumen de especificaciones para los contactores y relés seleccionados</i>	77
Tabla 11 <i>Requerimientos para la selección del sensor de material</i>	79
Tabla 12 <i>Especificaciones del sensor de material</i>	79
Tabla 13 <i>Especificaciones de los relés de estado sólido para la etapa de alimentación</i>	80
Tabla 14 <i>Especificaciones de los relés de estado sólido para la etapa de expulsión</i>	81
Tabla 15 <i>Consumo de corriente de los componentes que trabajan con 24 [VDC]</i>	81
Tabla 16 <i>Especificaciones de la fuente de alimentación de 24 [VDC]</i>	83
Tabla 17 <i>Requerimientos y consideraciones para la selección del PLC</i>	84
Tabla 18 <i>Alternativas de PLC</i>	85
Tabla 19 <i>Consumo de corriente de los motores trifásicos de inducción de la máquina</i> ..	87

Tabla 20	<i>Consumo de corriente de los servo drives de la máquina</i>	88
Tabla 21	<i>Consumo de corriente de los variadores de frecuencia de la máquina</i>	88
Tabla 22	<i>Consumo de corriente del circuito de alimentación de control</i>	89
Tabla 23	<i>Elementos de protección seleccionados</i>	90
Tabla 24	<i>Identificación de componentes del sistema de control</i>	91
Tabla 25	<i>Características de los cables utilizados</i>	93
Tabla 26	<i>Especificaciones de la pantalla HMI TouchWin TG-465-MT</i>	98
Tabla 27	<i>Elementos del tablero de operación</i>	99
Tabla 28	<i>Especificaciones de los rodillos de arrastre</i>	106
Tabla 29	<i>Especificaciones de los rodillos de expulsión</i>	107
Tabla 30	<i>Evaluación de los resultados de las pruebas en vacío</i>	133
Tabla 31	<i>Evaluación de los resultados de las pruebas preliminares</i>	136
Tabla 32	<i>Parámetros del proceso de enfajillado manual</i>	138
Tabla 33	<i>Parámetros del proceso de enfajillado semiautomático</i>	139
Tabla 34	<i>Evaluación de la HMI</i>	141
Tabla 35	<i>Evaluación de las pruebas de producción</i>	144
Tabla 36	<i>Resultados de las pruebas de producción posteriores a las correcciones</i>	146

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Esquema de proceso y funcionamiento</i>	23
Figura 2 <i>Parte frontal de la máquina enfajilladora DASE-SING</i>	24
Figura 3 <i>Tablero de control original</i>	25
Figura 4 <i>Participación de las ramas alimentarias respecto al PIB no petrolero</i>	36
Figura 5 <i>Ventas totales de alimentos y bebidas procesados</i>	37
Figura 6 <i>Envase de vidrio decorado con el método de etiquetado</i>	47
Figura 7 <i>Envases de aluminio y plástico decorados con el método de enfajillado</i>	49
Figura 8 <i>Envase de aluminio decorado con el método de impresión directa</i>	51
Figura 9 <i>Modelo en "V" para el trabajo de repotenciación</i>	54
Figura 10 <i>Diagrama funcional de la máquina enfajilladora</i>	55
Figura 11 <i>Rodillos del sistema de arrastre</i>	57
Figura 12 <i>Puertas de acrílico oscuro de la máquina</i>	57
Figura 13 <i>Cubierta provisional de la máquina</i>	58
Figura 14 <i>Soporte del sensor de alimentación de material</i>	59
Figura 15 <i>Sistema de posicionamiento del sensor de producto</i>	59
Figura 16 <i>Parte frontal del sistema de arrastre</i>	60
Figura 17 <i>Parte posterior del sistema de arrastre</i>	61
Figura 18 <i>Sistema de transmisión de movimiento para la etapa de expulsión</i>	62
Figura 19 <i>Sistema de cuchillas del cabezal de corte</i>	63
Figura 20 <i>Formador para la manga de etiquetas</i>	64

Figura 21 <i>Estado actual del tablero de control</i>	65
Figura 22 <i>Tablero de operación de la máquina</i>	69
Figura 23 <i>Variador de frecuencia POWTRAN PI150 OR7G1Z</i>	75
Figura 24 <i>Contactador WEG</i>	77
Figura 25 <i>Relé CAMSCO</i>	78
Figura 26 <i>Fuente de alimentación Mean Well EDR-75-24</i>	83
Figura 27 <i>PLC XINJE XCM 32T4-E</i>	85
Figura 28 <i>Diagrama de distribución del tablero de control</i>	91
Figura 29 <i>Cableado del tablero de control</i>	94
Figura 30 <i>Etiquetadora BRADY BMP 21-PLUS</i>	95
Figura 31 <i>Identificación de las conexiones del tablero de control</i>	95
Figura 32 <i>Pantalla HMI TouchWin TG-465-MT</i>	98
Figura 33 <i>Distribución de elementos en el panel de operación</i>	100
Figura 34 <i>Arquitectura de pantallas</i>	101
Figura 35 <i>Pantalla de inicio</i>	102
Figura 36 <i>Pantalla de recetas</i>	102
Figura 37 <i>Pantalla de funciones manuales 1</i>	103
Figura 38 <i>Pantalla de funciones manuales 2</i>	103
Figura 39 <i>Pantalla de operación manual</i>	104
Figura 40 <i>Teclado de ingreso de contraseña</i>	104
Figura 41 <i>Pantalla de configuración</i>	105

Figura 42 Rodillos para la etapa de arrastre	106
Figura 43 Rodillos para la etapa de expulsión	107
Figura 44 Dimensiones para los acrílicos de las puertas	108
Figura 45 Modelado de la cubierta para el sensor de contraste.....	109
Figura 46 Consideraciones para el montaje del soporte del sensor inductivo	110
Figura 47 Diseño CAD del soporte para el sensor de material	110
Figura 48 Análisis de esfuerzos del soporte para el sensor de material.....	111
Figura 49 Análisis del factor de seguridad del soporte para el sensor de material	111
Figura 50 Montaje del soporte en la estructura de la máquina.....	112
Figura 51 Despiece del sistema de posicionamiento del sensor de producto	113
Figura 52 Modelamiento CAD del mecanismo de engranajes y manivela.....	117
Figura 53 Consideraciones para los análisis de esfuerzos y factores de seguridad.....	118
Figura 54 Análisis de esfuerzos de la manivela	119
Figura 55 Análisis del factor de seguridad de la manivela	119
Figura 56 Análisis de esfuerzos de los engranajes	120
Figura 57 Análisis del factor de seguridad de los engranajes	120
Figura 58 Ensamble y montaje del sistema de posicionamiento del sensor de producto	121
Figura 59 Estado del sistema previo al mantenimiento.....	122
Figura 60 Estado del conjunto mecánico de engranajes, poleas y correas previo al mantenimiento.....	123

Figura 61 <i>Desmontaje para la limpieza y lubricación</i>	123
Figura 62 <i>Limpieza y lubricación del conjunto mecánico de engranajes, poleas y correas</i>	124
Figura 63 <i>Estado del sistema posterior al mantenimiento de limpieza y lubricación</i>	124
Figura 64 <i>Desmontaje del sistema de transmisión de movimiento de la etapa de expulsión</i>	125
Figura 65 <i>Limpieza y lubricación del conjunto mecánico de engranajes, poleas y correas</i>	126
Figura 66 <i>Montaje del sistema de transmisión de movimiento de la etapa de expulsión posterior al mantenimiento</i>	126
Figura 67 <i>Mantenimiento del sistema de cuchillas del cabezal de corte</i>	127
Figura 68 <i>Paleta del formador para la manga de etiquetas</i>	128
Figura 69 <i>Parte frontal de la máquina con los sistemas mecánicos reacondicionados</i>	129
Figura 70 <i>Parte trasera de la máquina con el sistema de control repotenciado</i>	129
Figura 71 <i>Diagrama de flujo de la máquina enfajilladora</i>	130

Resumen

En la actualidad la industria ecuatoriana presenta una evidente carencia de automatización e inversión para la mejora de procesos, generando principalmente cuellos de botella en las líneas de producción, es por esto que en este caso, el presente trabajo que consiste en la repotenciación de una máquina enfajilladora marca DASE-SING modelo DSL-345MH le permitirá a la empresa beneficiaria cumplir con los requerimientos de producción solicitados por la fábrica contratante de este trabajo de repotenciación como son el tiempo de producción, volumen de producción y la calidad del producto final durante el proceso de etiquetado en la línea de latas siguiendo la ideología de la mejora continua de procesos. La repotenciación de la máquina consiste en el reacondicionamiento de los sistemas mecánicos, el rediseño de los sistemas eléctricos, electrónicos y de control. El funcionamiento de la máquina enfajilladora se divide en 6 etapas: ingreso de productos, separación de productos, alimentación de material, arrastre de la etiqueta, corte de la etiqueta y finalmente la expulsión y colocación de la etiqueta en el producto. El volumen de producción de la máquina se ha definido en 150 productos por cada minuto.

Palabras clave:

- **CUELLO DE BOTELLA**
- **REPOTENCIACIÓN**
- **ETIQUETADO**
- **VOLUMEN DE PRODUCCIÓN**

Abstract

Today the Ecuadorian industry presents an evident lack of automation and investment for the improvement of processes, generating mainly bottlenecks in the production line, it is for this reason that in our case, the present work consists in the repowering of an automating sleeving machine brand DASE-SING model DSL-345MH will allow the beneficiary company to comply with the requirements of production, as required by the factory contracting this work of upgrading such as the production time, production volume and the quality of the final product during the labeling process in the can line following the ideology of continuous process improvement. The repowering of the machine consists of the reconditioning of the mechanical systems, the redesign of the electrical, electronic and control systems. The operation of the sleeving machine is divided into 6 stages: product input, product separation, material feeding, label pulling, label cutting and finally the ejection and placement of the label on the product. The production volume of the machine has been defined as 150 products per minute.

Key Words:

- **BOTTLENECK**
- **REPOWERING**
- **LABELLED**
- **PRODUCTION VOLUME**

CAPÍTULO 1

Introducción

Antecedentes

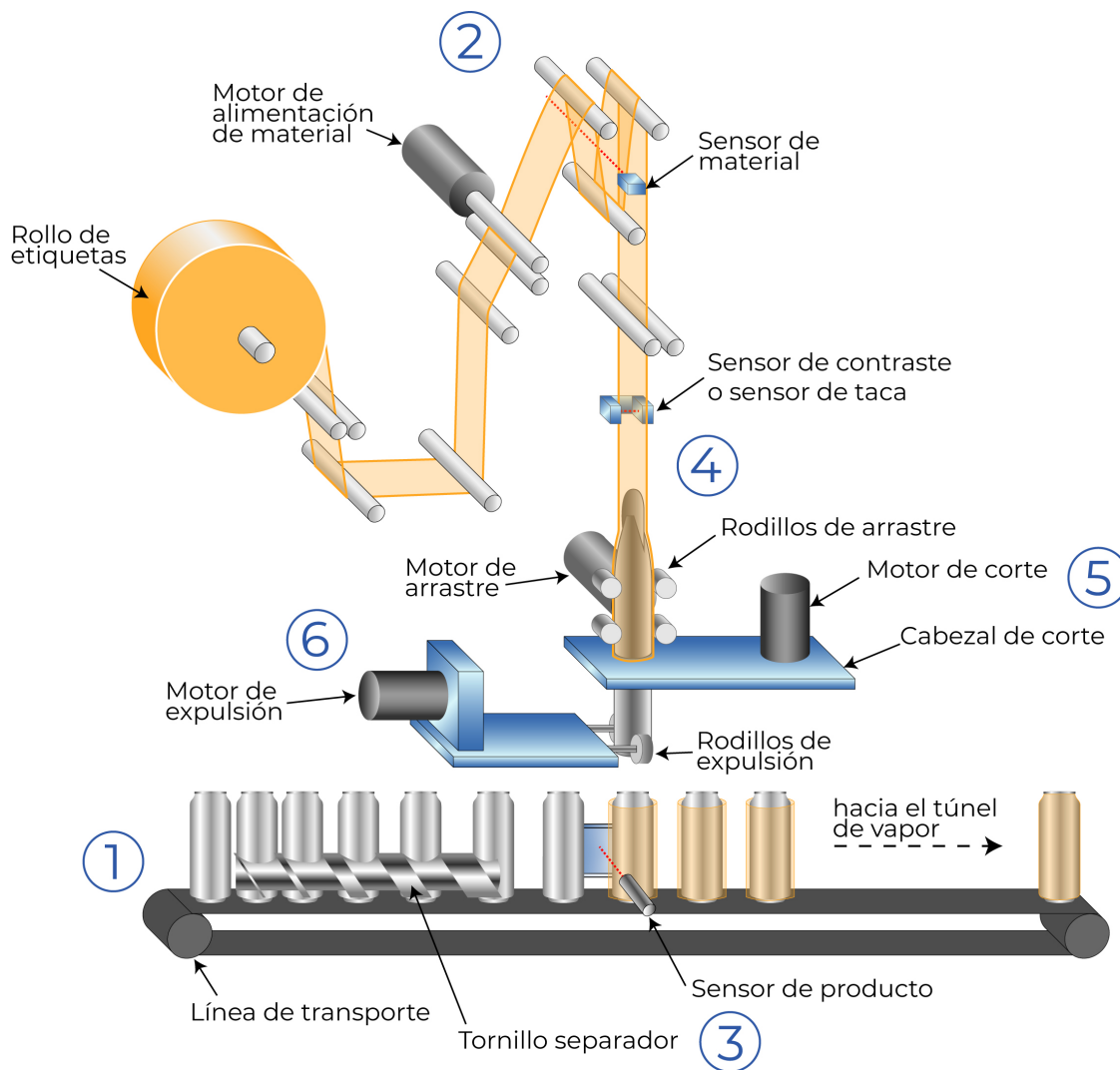
La Empresa Fractal Automation es una entidad que realiza su actividad en el ámbito de servicio integral de ingeniería y tecnificación de la industria, desarrollando proyectos de automatización y control de procesos industriales, repotenciación de máquinas y fabricación de maquinaria industrial entre otras actividades afines a la industria.

El desarrollo del proyecto de repotenciación de la máquina enfajilladora perteneciente a la fábrica Imperial Bottling Company S.A. es realizado por la empresa Fractal Automation.

La máquina enfajilladora se encarga del proceso de colocación de etiquetas en latas de bebidas gaseosas como agua mineral y una variedad de jugos cítricos, el proceso de enfajillado se compone de las etapas enumeradas en la Figura 1 y se detallan a continuación:

1. **Ingreso y separación:** las latas provenientes de la línea de llenado ingresan a la máquina mediante una banda transportadora propia del proceso de enfajillado y son separadas a una distancia igual una de otra por un tornillo separador.
2. **Alimentación de material:** en la primera etapa del proceso mediante el accionamiento de un motor y un sistema de rodillos se abastece de material, en este caso, etiquetas termo-encogibles para dar inicio al proceso; esta etapa se repite usando un sensor de proximidad.

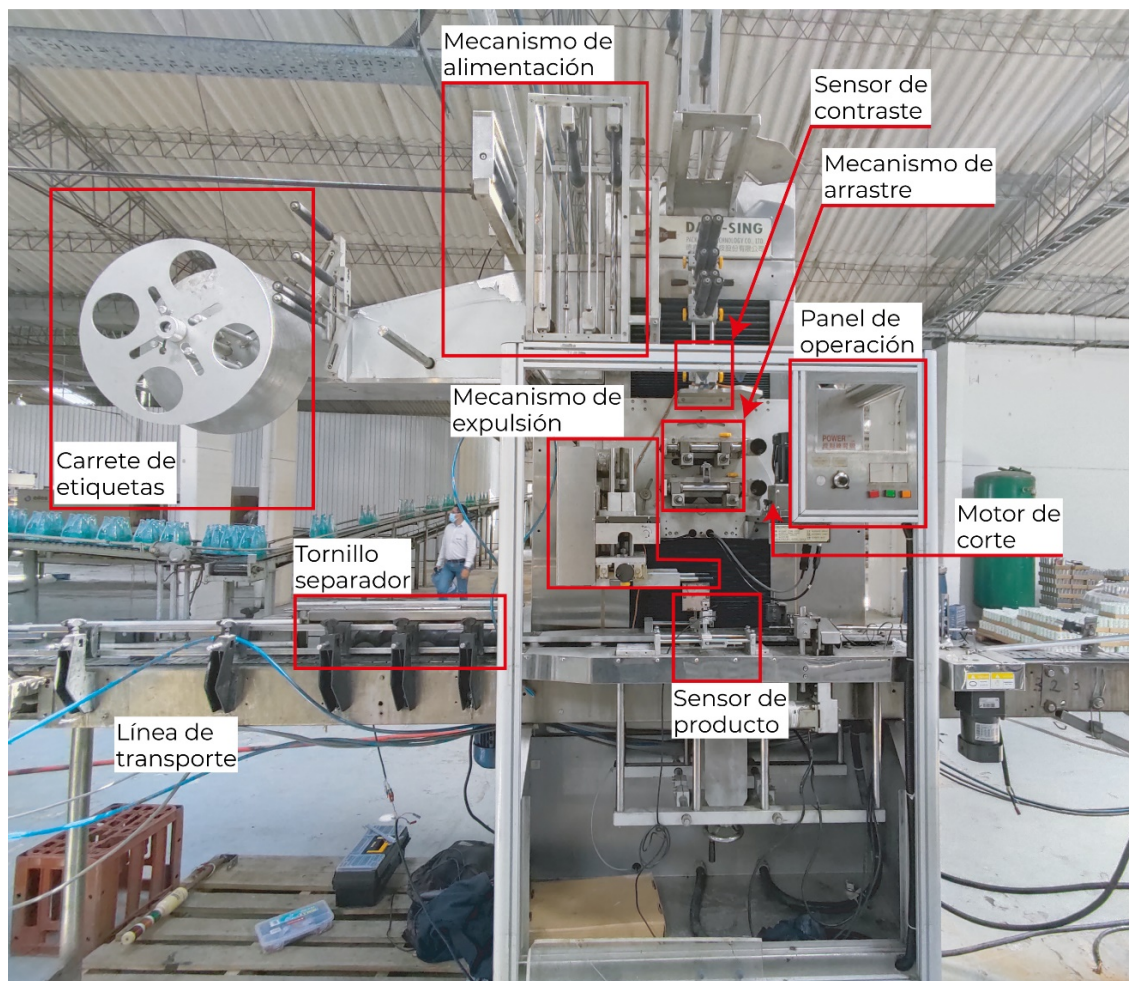
3. **Detección de producto:** cuando una lata es detectada por el sensor de producto se da la orden al controlador para iniciar la secuencia de colocación de una etiqueta.
4. **Arrastre:** mediante el accionamiento de un motor y un mecanismo de rodillos el rollo de etiquetas es arrastrado sobre una guía cilíndrica que abre el extremo del rollo de etiquetas según la forma del producto; este arrastre se realiza hasta detectar la marca de inicio de una nueva etiqueta con el sensor de taca.
5. **Corte:** mediante el accionamiento de un motor y un mecanismo de cuchillas se corta el rollo liberando una etiqueta.
6. **Expulsión:** mediante el accionamiento de un motor y un mecanismo de rodillos, la etiqueta liberada es expulsada y colocada sobre la lata de manera instantánea.

Figura 1*Esquema de proceso y funcionamiento.*

La máquina enfajilladora de marca DASE-SING modelo DSL-345MH con alimentación trifásica de 380 [V] y dimensiones generales de 1610x900x2360 mm permanece inoperativa desde el año 2020 debido a la discontinuación de los elementos de sus sistemas eléctricos, electrónicos y de control además del desgaste presente en sus componentes mecánicos.

Figura 2

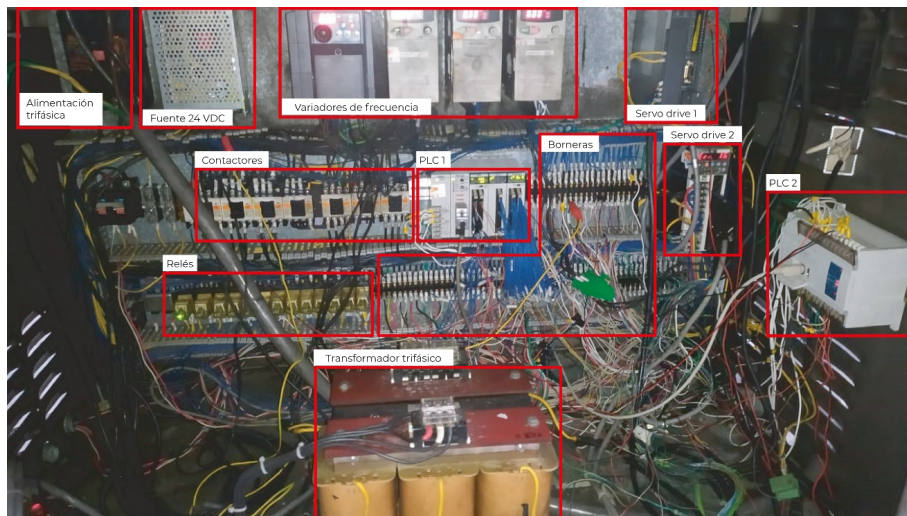
Parte frontal de la máquina enfajilladora DASE-SING.



La máquina estuvo operando en la línea de producción de latas de la fábrica desde hace más de 20 años con actualizaciones y adecuaciones parciales hasta inicios del año 2020, año en el que se realiza una evaluación cuyo informe detalla que la mayoría de sus componentes mecánicos ya han cumplido su vida útil y sus componentes eléctricos y electrónicos ya se encuentran descontinuados, razón por la cual la máquina queda deshabilitada y el proceso se empieza a realizar de manera manual reduciendo considerablemente la calidad y el volumen de producción.

Figura 3

Tablero de control original.



Debido al tiempo en desuso de la máquina, se han acumulado impurezas en los elementos mecánicos, los bujes del cabezal de corte se encuentran desalineados y los rodillos de arrastre no cumplen su función correctamente debido a un extremo desgaste. Las condiciones de los componentes mecánicos de la máquina son evaluadas a fin de realizar un trabajo de reacondicionamiento, mantenimiento, refacción, sustitución, limpieza o esterilización según sea el caso, considerando que la máquina trabaja para la industria de alimentos donde se manejan altos estándares de salubridad que deben ser cumplidos a fin de mantener la calidad del producto final.

El proceso de enfajillado debe cumplir con la aplicación de etiquetas en las latas de agua mineral o jugos cítricos con gas a una tasa de producción de hasta 150 latas por minuto, este volumen de producción es demasiado elevado para llevarse a cabo con un proceso manual esto implica que se genere un cuello de botella en la etapa de enfajillado de latas y un aumento en el tiempo de producción lo cual genera pérdidas a la fábrica.

Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la habilitación de la máquina enfajilladora mediante un trabajo de repotenciación cuyo enfoque es el de lograr un cambio integral de la máquina en cuanto a sus componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control partiendo de las condiciones iniciales en las que se encontraba la misma, inicialmente se realiza una evaluación y valoración del estado general de la máquina las cuales permitan realizar los mantenimientos preventivos y correctivos en el caso de los componentes mecánicos como son los sistemas de transmisión de movimiento, sistema de corte y rodillos, posteriormente se realiza el diseño de un nuevo sistema de control cuya implementación consiste en la planificación, armado del tablero eléctrico y la programación del controlador lógico lo cual permite la integración de los sistemas repotenciados garantizando un adecuado funcionamiento de la máquina, finalmente con el objetivo de aportar a la cibernética del proceso principalmente entre la máquina y el operario se desarrolla un nuevo tablero de operación el cual contiene como componente principal una pantalla HMI y un conjunto de elementos de maniobra.

Justificación e importancia

De acuerdo con el Art. 334 de la sección cuarta de la Constitución del Ecuador, dicta que el Estado promoverá el acceso equitativo a los factores de producción para lo cual corresponderá impulsar y apoyar el desarrollo y la difusión de conocimientos y tecnologías orientados a los procesos de producción.

De igual manera el Art. 385 establece que el sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como parte de su finalidad desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

Apoyados en el Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 Toda una Vida nos enmarcamos en el segundo eje de acción “Economía al servicio de la sociedad”, Objetivo 5: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistribuida y solidaria, este objetivo menciona lo siguiente: Para cambiar el patrón productivo utilizado en la economía ecuatoriana a lo largo de su historia, se requiere fortalecer y potenciar la integración de las cadenas productivas locales, al incrementar la relación espontánea entre actores implicados en la provisión de bienes y servicios, desde la producción primaria hasta la llegada al consumidor, lo cual incluye el circuito de comercialización y de incentivos afinados, bien concebidos y oportunos. Entre las políticas que maneja el Objetivo 5, nos alineamos a las siguientes:

5.2 Promover la productividad, competitividad y calidad de los productos nacionales, como también la disponibilidad de servicios conexos y otros insumos, para generar valor agregado y procesos de industrialización en los sectores productivos con enfoque a satisfacer la demanda nacional y de exportación. 5.3 Fomentar el desarrollo industrial nacional mejorando los encadenamientos productivos con participación de todos los actores de la economía. 5.6 Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades.

El nivel de competitividad del mundo globalizado en la actualidad, ha definido que la automatización industrial constituya uno de los pilares de mayor importancia para el sector productivo en cualquier país. La automatización en la industria permite la combinación de diversas tecnologías con el objetivo de asegurar el control y un correcto funcionamiento de los procesos industriales, logrando una reducción de costos de fabricación, calidad constante, disminución de tiempo de fabricación y aumento del volumen de producción (Machado, 2010)

En Ecuador la gran mayoría de industrias de cualquier índole presentan en la actualidad maquinaria obsoleta con tecnología descontinuada razón por la cual la capacidad de producción de dichas empresas se ve limitada, existen otros factores que no permiten el avance o actualización tecnológica en las empresas, por ejemplo, alta inversión económica y falta de capacitación técnica por parte de directivos y empleados, lo que conlleva a la necesidad imperativa de realizar trabajos de repotenciación y/o reingeniería para el aprovechamiento de maquinaria considerada obsoleta.

La empresa Fractal Automation fue contratada para realizar la repotenciación de la máquina enfajilladora, cumpliendo con el requerimiento de alcanzar una capacidad de procesamiento de hasta 150 productos por minuto, los productos son latas de aluminio llenas de agua mineral y una variedad de jugos cítricos con gas. La culminación del proyecto permitió a la fábrica obtener beneficios como el control del proceso en el ámbito del etiquetado del producto, reducción de tiempos de fabricación, aumento de producción con la consecuente reducción de costos, liberación de tareas manuales extenuantes para los operarios debido a que se destinaban las tareas de enfajillado a la cuarta parte del personal, incremento en la salubridad del producto final y reducción de desperdicios.

Alcance del proyecto

Componente mecánico

- Todas las superficies de la estructura mecánica de la máquina deben estar limpias y esterilizadas con el objetivo de cumplir con los estándares de salubridad para la industria de alimentos ecuatoriana.
- Los sistemas mecánicos para la transmisión del movimiento generado por los actuadores eléctricos deben estar correctamente lubricados con el objetivo de evitar atascamientos u otro desperfecto durante la producción.
- La máquina debe contar con una cubierta para eliminar el ruido ocasionado por la luz ambiental en el sensor de contraste para la detección de las tacas en las etiquetas.
- El cabezal de corte de la máquina debe encontrarse correctamente alineado y nivelado con respecto al bastidor de la máquina para garantizar un corte uniforme en las etiquetas.
- Los rodillos que permiten el desplazamiento de la etiqueta deben ser fabricados de un material que cumpla con la dureza y fricción adecuada para evitar desgarramiento e impregnación de color en el material de la etiqueta.
- La máquina debe contar con un sistema de posicionamiento por manivela para el sensor de producto.
- Las puertas frontales de la máquina deben ser reemplazadas por láminas de acrílico nuevas a medida.

- La máquina debe contar con un sensor para la etapa de alimentación de material con el objetivo de liberar tensión en la manga de etiquetas durante el proceso de etiquetado.
- La máquina deberá contar con un tablero de operación nuevo que aloje los componentes del nuevo sistema de control.

Componente eléctrico-electrónico

- El sistema de control de la máquina enfajilladora debe garantizar la sincronización de los actuadores que intervienen en el proceso de etiquetado para evitar atascamientos o anomalías durante la operación de esta. Se requiere el control de posición para los servomotores en las etapas de corte y arrastre, también se requiere el control por temporización para la activación de los actuadores en las etapas de alimentación de material y expulsión de etiquetas. Además, se requiere también un control para la activación/desactivación de los motores que comandan las etapas de ingreso de productos, separación de productos y posición vertical del cabezal de corte.
- La máquina debe contar con un nuevo tablero de control acorde a las necesidades del sistema de control y que cumpla las normativas correspondientes, esto comprende el dimensionamiento y selección de elementos de alimentación, protección, maniobra, entre otros, de igual manera comprende la planeación de la interconexión de todos estos elementos que permitan el adecuado funcionamiento de la máquina, garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones.

- La programación de la máquina debe ser implementada en un controlador lógico programable (PLC) nuevo y actualizado que cumpla con los requerimientos de entradas, salidas, capacidad de memoria y velocidad de respuesta para asegurar un correcto desempeño de los sensores y actuadores involucrados.
- La máquina debe contar con una pantalla HMI que permita al operario realizar las tareas de calibración, operación manual, modificación de parámetros y también la visualización de la cantidad de producción actual.
- Se verificará el correcto funcionamiento de los drivers para servomotores que actualmente posee la máquina y se reprogramarán los mismos de acuerdo con el posicionamiento necesario según las modificaciones de la parte mecánica de la máquina, también se realizarán ajustes de calibración, es necesaria la reprogramación de todo el sistema de control con el objetivo de crear una máquina integral comandada por un mismo PLC.
- La máquina debe contar con un nuevo tablero de control modular, es decir, todos los sensores, actuadores y entradas de alimentación estarán conectados a borneras específicas de potencia o control según sea el caso, esto con el objetivo de que si se requiere alguna actualización o mantenimiento posterior a la instalación se lo pueda realizar de manera sencilla desconectando las entradas a borneras y extrayendo todo el tablero de control del armario de la máquina.

- Se debe realizar la documentación relacionada al proyecto esto incluye el levantamiento de planos eléctricos y diagramas de proceso, esta información es importante para futuros mantenimientos y en caso de presentarse a largo plazo una falla crítica, mediante la información descrita se agilizará el mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

Componente informático

- Para las tareas de diseño, pruebas y programación del sistema de control en el PLC seleccionado se debe realizar siguiendo la metodología de programación estructurada que incluye el desarrollo de un diagrama de GRAFCET y su traducción en lógica de contactos o lenguaje Ladder.
- Se debe contar con un mando virtual del proceso en una HMI con el propósito de facilitar la operación a los encargados de la máquina, el diseño de pantallas se llevará a cabo siguiendo los criterios de la guía de diseño ergonómico para interfaces humano-máquina GEDIS para lo cual se utilizará un software a fin al hardware seleccionado.
- Toda la documentación referente a planos, diagramas, esquemas eléctricos y mecánicos requeridos se debe realizar utilizando herramientas informáticas especializadas para trabajos de ingeniería.

Objetivos

A continuación, se detallan el objetivo general y los objetivos específicos planteados para la ejecución del trabajo de titulación

Objetivo general

Desarrollar el trabajo de repotenciación de la máquina enfajilladora marca DASE-SING modelo DSL-345MH para la empresa Fractal Automation aplicando metodologías y conocimientos inherentes a la carrera de ingeniería mecatrónica sobre automatización de maquinaria industrial y diseño de elementos de máquinas analizando los requerimientos de control del proceso para habilitar el funcionamiento de dicha máquina en la línea de producción correspondiente.

Objetivos específicos

- Diseñar e implementar el sistema de control que deberá contener la programación de la secuencia de operación de la máquina analizando los parámetros de producción bajo los cuales regirá su funcionamiento para garantizar un correcto desempeño de la máquina en la línea de producción de la fábrica.
- Diseñar e implementar una interfaz HMI siguiendo las recomendaciones de la guía GEDIS para garantizar la ergonomía y practicidad en la operación de la máquina.
- Diseñar e implementar un panel de control el cual deberá contener los elementos eléctricos/electrónicos y de control cumpliendo criterios de diseño y normativas que permitan el funcionamiento correcto de la máquina para garantizar la seguridad de los operarios y las instalaciones de la fábrica.

- Reacondicionar los componentes mecánicos de la máquina mediante mantenimientos preventivos y correctivos para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas para la transmisión de movimiento de esta.
- Realizar la documentación del trabajo de repotenciación el cual deberá incluir planos, diagramas y esquemas mecánicos y eléctricos así también como el manual de usuario bajo el cumplimiento de normativas utilizando software especializado para consolidar el trabajo desarrollado.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

Industria de alimentos

Las industrias del sector alimentario son aquellas que desarrollan las actividades de adquisición y acondicionamiento de la materia prima, la transformación de la materia prima, la preparación, el envasado, almacenamiento y distribución del producto final. La materia prima que es utilizada por estas industrias puede ser tanto de origen vegetal como también animal y proviene principalmente de la agricultura, la ganadería y la pesca (International Labour Organization, 1998).

En la actualidad la industria de alimentos se ha diversificado en gran magnitud siendo así que en la historia de la Humanidad nunca ha existido la cantidad y variedad de alimentos como los que encontramos hoy en día (Rodríguez, et al., 2019). Este crecimiento y diversificación se puede ver reflejado con producciones que van desde emprendimientos pequeños como negocios familiares hasta procesos de producción industriales que se encuentran altamente automatizados. Las mejoras tecnológicas en las tareas de procesamiento y conservación de alimentos han reducido considerablemente la mano de obra de los trabajadores en la industria, sin embargo, existen países como Ecuador con industrias principalmente en el ámbito alimentario que todavía mantienen en un gran porcentaje las actividades manuales (International Labour Organization, 1998).

Hoy en día, para lograr satisfacer las demandas de consumo de la población no solo es necesaria una cantidad suficiente de alimentos para su distribución, sino también un exhaustivo control de la calidad del producto final que garantice la satisfacción del consumidor.

La industria de alimentos y bebidas en el Ecuador es la industria más importante del país teniendo desde 2018 un 7% con respecto al PIB total y también ocupando el 38% respecto a la industria manufacturera nacional.

El último reporte del Banco Central del Ecuador (BCE) y del Servicio de Rentas Internas (SRI) del año 2020, en relación con la participación de las ramas alimentarias Figura 4, respecto al PIB no petrolero y de las ventas totales de alimentos y bebidas procesados Figura 5, demostrando que en los últimos años es evidente un constante crecimiento y participación de la industria de alimentos y bebidas en la economía del país. (Banco Central del Ecuador, 2021)

Figura 4

Participación de las ramas alimentarias respecto al PIB no petrolero.

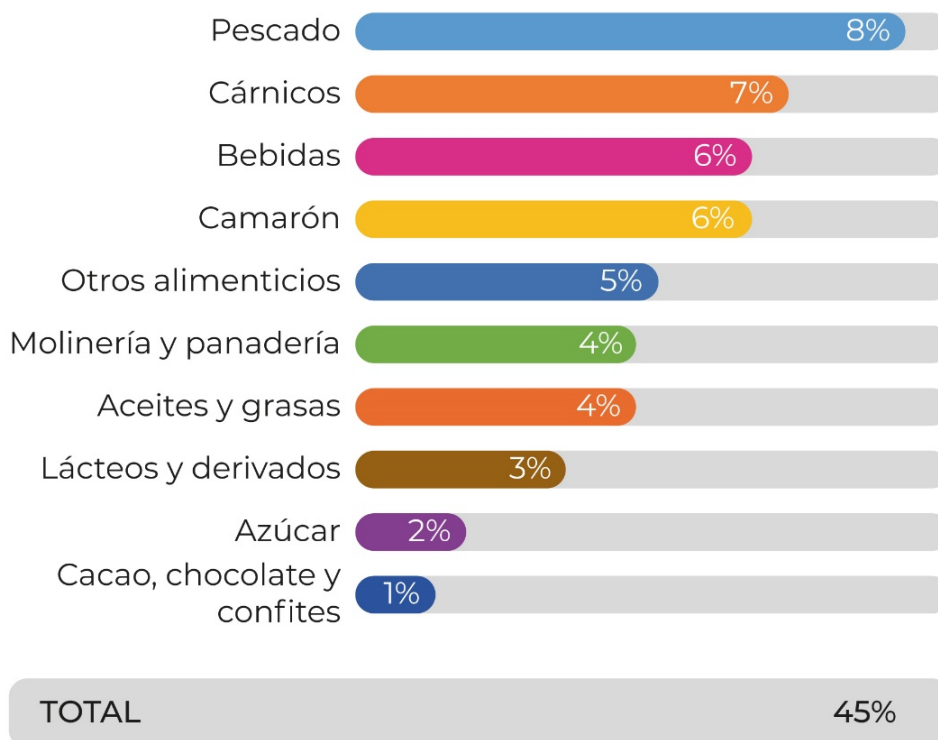


Figura 5

Ventas totales de alimentos y bebidas procesados.



Mantenimiento de la maquinaria en la industria de alimentos

La importancia del mantenimiento en la industria en general recae en la capacidad de conservar a las máquinas funcionando de modo que la fábrica pueda seguir con sus procesos de producción ininterrumpidamente. Además, el realizar mantenimientos de cualquier tipo, de manera periódica, en la maquinaria brinda la capacidad de controlar, prevenir y ejecutar planes de reparación, refacción o reacondicionamiento que puedan evitar posibles daños que comprometan la confiabilidad de las máquinas que intervienen en el proceso de producción. La interrupción de la producción ya sea por error de los operarios, las máquinas o algún equipo pueden afectar en gran magnitud la producción y las ganancias de la fábrica.

Tipos de mantenimiento

Las actividades de mantenimiento siempre están en constante evolución debido a que estas dependen específicamente de la máquina o equipo al cual se encuentran dirigidas, tradicionalmente se han clasificado en cinco tipos de mantenimientos que se diferencian de acuerdo con las tareas que incluyen cada uno de estos.

Mantenimiento Correctivo

Este mantenimiento que también se conoce como “mantenimiento al fallo”, solo se lleva a cabo cuando la avería ya se ha presentado en la máquina o en el equipo, en este sentido este tipo de mantenimiento puede ser catalogado de acción pasiva.

Aunque este tipo de mantenimiento pueda parecer una actitud despreocupada de intervención en los equipos, este es el único que se practica con más frecuencia en las industrias principalmente porque en la mayoría de las ocasiones se ve justificado el costo de los componentes con averías (Gómez, 1998).

En este mantenimiento la acción del operario o técnico depende en gran magnitud de la importancia de la maquina o el equipo en el proceso de producción, en este sentido la acción a la avería se puede clasificar como:

- **De emergencia:** ocurre sobre equipos de máxima importancia en la línea de producción cuya interrupción de su operación es indeseable y requiere una acción inmediata de mantenimiento (Rodríguez A. , 2012).
- **De urgencia:** ocurre en equipos de importancia semicrítica por lo que su acción puede ser programada conforme a los planes de la fábrica, la interrupción de su operación no es deseable, pero puede ser soportada por un corto período de tiempo (Rodríguez A. , 2012).
- **De oportunidad:** ocurre en los equipos cuya importancia es baja, la acción de mantenimiento puede ser programada conforme a los planes de mantenimiento de la fábrica, la inoperatividad del equipo es soportable ya que no afecta el proceso productivo (Rodríguez A. , 2012).

Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento tiene por objetivo evitar o prevenir el fallo mediante revisiones, evaluaciones y mantenimientos leves que con mediciones de variables relacionadas con el funcionamiento de la máquina o equipo en cuestión denoten un funcionamiento normal y deseado para el proceso productivo (Rodríguez A. , 2012). El mantenimiento preventivo se ha dividido en tres subtipos en función de características que puedan presentarse en la maquinaria, estos son:

- **Rutinario:** el operario realiza las actividades rutinarias de calibración, limpieza o lubricación de la máquina con intervenciones menores (Rodríguez A. , 2012).

- **Sistémico:** el personal de mantenimiento de la fábrica desempeña las actividades de mantenimiento en función de una planificación o un calendario que se encuentra establecido (Rodríguez A. , 2012).
- **Predictivo:** el personal de mantenimiento evalúa las condiciones de la maquinaria y basándose en la condición de esta, predice una futura acción de mantenimiento adelantándose a una falla inminente (Rodríguez A. , 2012).

Mantenimiento Predictivo

En este tipo de mantenimiento se pretende llevar un informe y control permanente del estado de las máquinas y equipos de las líneas de producción, respaldado en mediciones de variables representativas de la operatividad del proceso. Este tipo de mantenimiento requiere de medios técnicos avanzados que permitan, en cierta medida, evitar las averías imprevistas, sugiriendo el reemplazo o reparación de los componentes que en función del informe de estado y operatividad puedan presentar en el futuro algún desperfecto (Nogués, 2017).

Mantenimiento Cero Horas

Este mantenimiento comprende las actividades de revisión y evaluación de la maquinaria en intervalos programados en un cronograma de mantenimiento, es decir se busca evaluar constantemente la fiabilidad de la máquina o equipo y de qué manera afecta esto a la capacidad productiva del mismo. Usualmente este mantenimiento tiene su base en hacer funcionar a la máquina o equipo como si fuese nuevo con el objetivo de identificar si algún componente se encuentra desgastado y necesita de un reemplazo para tener un funcionamiento adecuado (Nogués, 2017).

Mantenimiento En Uso

Este tipo de mantenimiento es realizado específicamente por los operarios de la máquina. El mantenimiento en uso consiste en el desarrollo de un conjunto de actividades básicas como son inspecciones visuales, limpieza, lubricación, ajuste de tornillos y calibraciones en general, esto no solo asegura el correcto funcionamiento de la máquina o equipo, sino también, extiende la vida útil de los componentes y previene interrupciones imprevistas en el proceso de producción (Nogués, 2017).

Innovación en los procesos de producción de la industria de alimentos

En la industria alimentaria el desarrollo de productos y procesos es una parte esencial de las estrategias empresariales inteligentes modernas. La falta de desarrollo de productos nuevos y mejorados obliga a las empresas a competir únicamente en el precio, lo que beneficia a las empresas con acceso a los insumos de menor costo como materia prima o mano de obra (Winger & Wall, 2006).

La evolución de los productos disponibles en el mercado va de la mano con los cambios en las demandas de los consumidores, estos cambios van desde la mejora de la seguridad alimentaria, la vida útil y la reducción del desperdicio, hasta la demanda de alimentos cada vez más sofisticados con características especiales en términos de valor nutricional, sabores y conveniencia. El proceso de desarrollo del producto está determinado por la interacción entre las expectativas y la demanda del consumidor, la capacidad técnica del productor de alimentos y el conocimiento emergente de la investigación en ciencias de los alimentos (Winger & Wall, 2006).

Desarrollo de productos y procesos

El desarrollo de productos y procesos es una investigación sistemática y orientada al ámbito comercial para desarrollar productos y procesos que satisfagan una necesidad existente o supuesta del consumidor, es una combinación y aplicación de las ciencias naturales con las ciencias sociales, de la ciencia y el procesamiento de los alimentos con el marketing y la ciencia del consumidor, en un tipo de investigación integrada cuyo objetivo es el desarrollo de nuevos productos (Winger & Wall, 2006).

Para el proceso de desarrollo de productos existen esencialmente cuatro etapas:

- Desarrollo de la estrategia de producto
- Diseño y desarrollo del producto
- Comercialización del producto
- Lanzamiento y post-lanzamiento del producto

Es necesario examinar también los componentes que constituyen un producto nuevo o innovador. En el contexto de los bienes de consumo como los productos alimenticios, hay tres grupos de actores: consumidores, distribuidores y productores, cada uno puede tener una apreciación distinta de si un producto es nuevo o no (Winger & Wall, 2006). Hay muchas formas de clasificar el grado de novedad de un producto, para este propósito se utilizan siete categorías:

- Productos creativos
- Productos innovadores
- Nuevos envases de productos existentes
- Reformulación de productos existentes

- Nuevas formas de productos existentes
- Reposicionamiento de productos existentes
- Extensiones de líneas de productos

La definición de desarrollo de productos indica que, no importa cuán innovador sea un cambio, sin ventas el producto no tiene valor. Para considerar las ventas de productos alimenticios es necesario mirar al sector minorista; este sector se caracteriza por una intensa competencia y la posición dominante de los supermercados en muchas regiones del mundo (Winger & Wall, 2006).

Proceso de etiquetado de productos envasados

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, el etiquetado de los alimentos es la información presentada en los productos alimentarios y resulta uno de los medios más importantes y directos para transmitir información al consumidor sobre los ingredientes, la calidad o el valor nutricional. La definición internacionalmente aceptada de etiqueta alimentaria es cualquier marbete, rótulo, marca, imagen u otra materia descriptiva o gráfica, que se haya escrito, impreso, estarcido, marcado, marcado en relieve o en huecograbado o adherido al envase de un alimento o a un producto alimentario. Esta información también puede acompañar al alimento o mostrarse cerca de éste para promocionar su venta. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014)

Principales materiales utilizados para el envasado de productos

Vidrio.

El vidrio ha sido utilizado como material de envasado por varios siglos; desde la percepción del consumidor un envase de vidrio representa calidad, por esta razón, en la actualidad aún existe una variedad de productores que optan por este material para envasar sus productos en una gran variedad de formas, tamaños y colores. Por lo general, el vidrio es utilizado para la manufactura de botellas y recipientes en los que se envasa alimentos y bebidas e incluso productos cosméticos y farmacéuticos. Desde el punto de vista de la decoración del envase, el vidrio es un material extremadamente versátil ya que es compatible con el etiquetado, el enfajillado y la impresión directa (Giles, 2000).

Metal.

El metal viene siendo usado como material para envases desde hace más de 200 años. Las latas delgadas fueron usadas en Francia alrededor del año 1810 para el envasado de comida y a partir del año 1930 las latas de acero han sido usadas en el envasado de bebidas (Giles, 2000). En 1960 el aluminio fue introducido como una alternativa para la manufactura de latas, esto debido a que, es el tercer material más abundante sobre la corteza terrestre, además su uso se encuentra justificado en la sustentabilidad del material y en su capacidad de ser reciclado (Rodríguez, et al., 2019). Desde el punto de vista de la decoración de este tipo de envase, es esencialmente limitada, debido a la forma cilíndrica de las latas (Giles, 2000).

Plástico.

El plástico ha venido siendo utilizado por décadas en la manufactura de envases gracias a su flexibilidad y a la capacidad de conseguir tamaños y formas que no se pueden lograr con materiales como el vidrio o metales debido las restricciones por sus propiedades mecánicas. Se debe tener cuidado con el método de decoración que se seleccione para este material ya que su superficie es resbaladiza y puede presentar problemas con una adherencia efectiva y permanente (Giles, 2000)

Los principales plásticos utilizados para la manufactura de envases son:

- Policloruro de vinilo (PVC)
- Tereftalato de polietileno (PET)
- Polietileno Naftalato (PEN)
- Polietileno (PE)
- Polipropileno (PP)

Etiqueta

- Según Stanton, Etzel y Walker, la etiqueta es “la parte de un producto que transmite información sobre el producto y el vendedor. Puede ser parte del empaque o estar adherida al producto” (Stanton, Etzel, & Walker, 2007, p. 751).
- Según Kerin, Hartley y Rudelius, la etiqueta “es una parte integral del empaque y suele identificar al producto o marca, quien lo hizo, dónde y cuándo se hizo, cómo debe usarse y el contenido y los ingredientes del paquete” (Kerin, Hartley, & Rudelius, 2015).

El empaque y/o etiqueta como tal poseen una variedad de funciones, para el productor como son la protección y conservación del producto final en lo que dura el proceso de distribución a los clientes, también tiene como objetivo promocionar la marca mediante diseños llamativos o eslogan que diferencia al producto de los de la competencia. Desde la perspectiva del consumidor las etiquetas cumplen las funciones de identificación e información de datos importantes que permitan evaluar si el producto satisface las necesidades de este (García, 2019).

Decoración del envase de un producto

Existen tres métodos de decoración de productos terminados: el etiquetado, el enfajillado y por impresión directa (litografía) de los cuales existen variaciones de acuerdo con el tipo de envase del producto. Se debe tener un extremo cuidado cuando se elige un método de decoración ya que este debe ser compatible con el envase, es decir, se debe tomar en cuenta el tipo de material, la forma, la geometría, entre otras características físicas, de modo que, este proceso de decoración pueda llevarse a cabo de manera correcta con precisión y evitando cualquier desperfecto visual en el producto final (Giles, 2000).

Etiquetado.

Este es el método más predominante al tratarse de la decoración de productos envasados ya que consiste en la colocación de un papel, adhesivo plástico o una lámina metálica sobre la superficie del envase en cuestión. El etiquetado presenta un sin número de ventajas entre las que incluye flexibilidad, versatilidad, eficiencia de aplicación a elevadas tasas de producción y también por su costo general.

En la actualidad se pueden encontrar máquinas etiquetadoras cuyas capacidades de producción van desde los 20 envases por minuto hasta más de 1200 envases por minuto manteniendo la calidad final del producto, sin embargo, resulta crítica la selección del adhesivo para la aplicación de la etiqueta ya que este deberá tener las propiedades físicas que garanticen que la etiqueta permanezca en el envase en la posición preestablecida (Giles, 2000)

Figura 6

Envase de vidrio decorado con el método de etiquetado.



Nota: Tomado de Belishop. https://imagenpublicidad.com.mx/etiquetas_belishop.html

Enfajillado.

Existen dos tipos básicos de fajillas plásticas: fajillas elásticas y fajillas termo encogibles. Las fajillas elásticas son fabricadas comúnmente en polietileno de baja densidad, polipropileno y PVC.

El proceso de manufactura de las fajillas termo encogibles es similar en gran medida al de las fajillas elásticas, pero con la diferencia de que el calor es necesario para crear el grado de encogimiento que asegure que la fajilla envuelva totalmente al envase evitando deformaciones en la etiqueta o distorsiones visuales en el producto final. Las fajillas tienen un espesor típico que varía entre 55 y 70 micrones las cuales dependiendo del tipo de la máquina permiten alcanzar una tasa de producción de hasta 800 envases por minuto (Giles, 2000).

En el caso de las fajillas elásticas, el procedimiento de enfajillado consiste únicamente en la colocación de la fajilla en el envase del producto de manera que toda la información del producto sea legible.

El proceso de enfajillado con fajillas termo encogibles es el siguiente:

1. La película plástica se imprime con la información del producto, se forma en una manga y se pega para ser enrollada.
2. El rollo es cortado si el proceso de enfajillado se realiza de manera manual, si es automático se monta en la máquina enfajilladora para el corte y aplicación en la línea de producción.
3. Después de la colocación, se debe cerciorar que la posición de la fajilla en el envase es la adecuada.
4. El envase se transporta a través de un túnel de contracción que puede usar aire caliente, calor radiante o vapor para aplicar calor a la fajilla para que esta se encoja y envuelva correctamente al envase de manera uniforme y sin contracciones excesivas.

(Emblem & Emblem, 2012)

Figura 7

Envases de aluminio y plástico decorados con el método de enfajillado.



Nota: Tomado de Farmacias Medicity.

<https://www.farmaciasmedicity.com/minimarket/5404-imperial-limonada-mineral-con-gas-con-550-ml-7861030502017.html>

Impresión directa.

Desde inicios del siglo XX, la aplicación del diseño gráfico a envases es una parte fundamental de un mercado donde las nuevas tecnologías cada día tienen más protagonismo (ExpoSign, 2015).

La técnica utilizada para la decoración de envases por medio de impresión directa sobre la superficie de estos, se denomina litografía, la cual comprende la aplicación sucesiva de recubrimientos de tinta plasmando en el envase la decoración que incluye toda la información del producto (Mundo Latas, 2020).

El proceso de impresión litográfica logra plasmar la decoración en el envase mediante la aplicación de capas de tinta sucesivas sobre la superficie de este, como en cualquier proceso de pintura sobre metal se debe tener extremo cuidado con el proceso de curado y secado de la capa que se ha aplicado, de manera que el diseño final de la decoración sea de calidad (Mundo Latas, 2020).

El proceso de litografiado de latas tiene el siguiente orden:

- Sisa: es una resina vinílica o epóxica que mejora las propiedades de adherencia del material de la lata, además brinda protección a elevadas temperaturas.
- Color base: es un color primario o sólido que sirve como fondo para la decoración del envase, es importante que este color tenga compatibilidad y contribuya al contraste con los demás colores que se van a aplicar en el diseño.
- Tintas: este tipo de tinta son de tipo pastosas con un alto poder colorante las cuales son insolubles en fluidos como agua o aceite los cuales son comúnmente utilizados para que estas tintas fluyan durante el proceso de impresión.
- Barniz: para dar un acabado de calidad a la impresión de la decoración del envase se aplica un barniz de acabado como ultima capa cuya función es la de proteger el diseño impreso, es importante que esta película tenga una apariencia translúcida que mantenga la tonalidad de las capas inferiores.

(Mundo Latas, 2020)

Figura 8

Envase de aluminio decorado con el método de impresión directa.



Nota: Tomado de Alibaba. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/custom-printed-beer-can-aluminum-cans-330ml-with-lids-60777094166.html>

Máquinas Enfajilladoras**Generalidades.**

Las máquinas enfajilladoras son las encargadas de colocar las fajillas en los envases de productos, existen distintos tipos de máquinas que difieren en tamaño, capacidad de producción, sistemas mecánicos y la aplicación donde se considera principalmente el tipo de envase y la fajilla, ya que de esto depende la calibración de los parámetros de operación de la máquina.

Fajillas mayormente utilizadas.

Existen tres materiales que son comúnmente utilizados para la fabricación de las fajillas termo encogibles, estos son los polímeros PE, PP y PVC cuyos parámetros para ser termo encogidos se encuentra detallados en la Tabla 1 (Jiang & Huang, 2015).

Tabla 1

Parámetros principales de fajillas termo encogibles y túnel de calor

Material	Espesor [mm]	Temperatura [°C]	Tiempo de calor [s]	Velocidad del aire [m/s]	Observación
PE	0.02 – 0.04	160 – 200	6 – 10	15 – 20	Estrechamiento fuerte
PVC	0.02 – 0.06	140 – 160	5 – 10	8 – 10	La temperatura de termo encogido es baja y apropiada para alimentos
PP	0.03 – 0.10	160 – 200	8 – 10	6 – 10	Tiempo de calor prolongado
	0.12 – 0.20	180 – 200	30 – 60	12 – 16	Detener el calentamiento cuando sea necesario

Nota: Resumen de los parámetros para los distintos tipos de materiales utilizados en fajillas termo encogibles y parámetros del túnel de calor (Jiang & Huang, 2015).

Funcionamiento general.

Las máquinas enfajilladoras realizan su proceso en las siguientes etapas:

1. Las etiquetas son suministradas en forma de rollo el cual se encuentra montado en el carrete de la máquina.
2. Los envases para enfajillar son alimentados por una banda transportadora hasta la entrada de la máquina.

3. El tornillo separador dosifica el ingreso de los envases a la cámara de enfajillado.
4. El sensor de producto detecta el paso del envase.
5. El sistema de rodillos de arrastre transporta la fajilla a través de un formador cilíndrico.
6. El sensor de taca detecta la separación entre las fajillas y detiene el arrastre.
7. El sistema de cuchillas del cabezal de corte corta la fajilla.
8. El sistema de rodillos de expulsión coloca la fajilla en el envase.
9. El sistema de bajadores rotativos posiciona correctamente la fajilla en el envase.
10. El envase con la fajilla es transportado hacia el túnel de calor para el proceso de termo encogido.

(OMRON, 2021)

CAPÍTULO 3

Desarrollo de la Repotenciación

Metodología para el Diseño e Implementación

Se toma como guía la metodología de trabajo propuesta por la norma VDI 2206, que sirve para asistir al proceso de diseño mecatrónico mediante una herramienta conocida como modelo en “V”. En el modelo en “V” se representa la descomposición del sistema en sus elementos los cuales se ubican en la rama izquierda de la “V”, por otro lado, en la rama derecha de la “V”, se presenta la integración de los elementos y subsistemas que forman parte del sistema mecatrónico final (Graessler & Hentze, 2020).

Figura 9

Modelo en “V” para el trabajo de repotenciación.

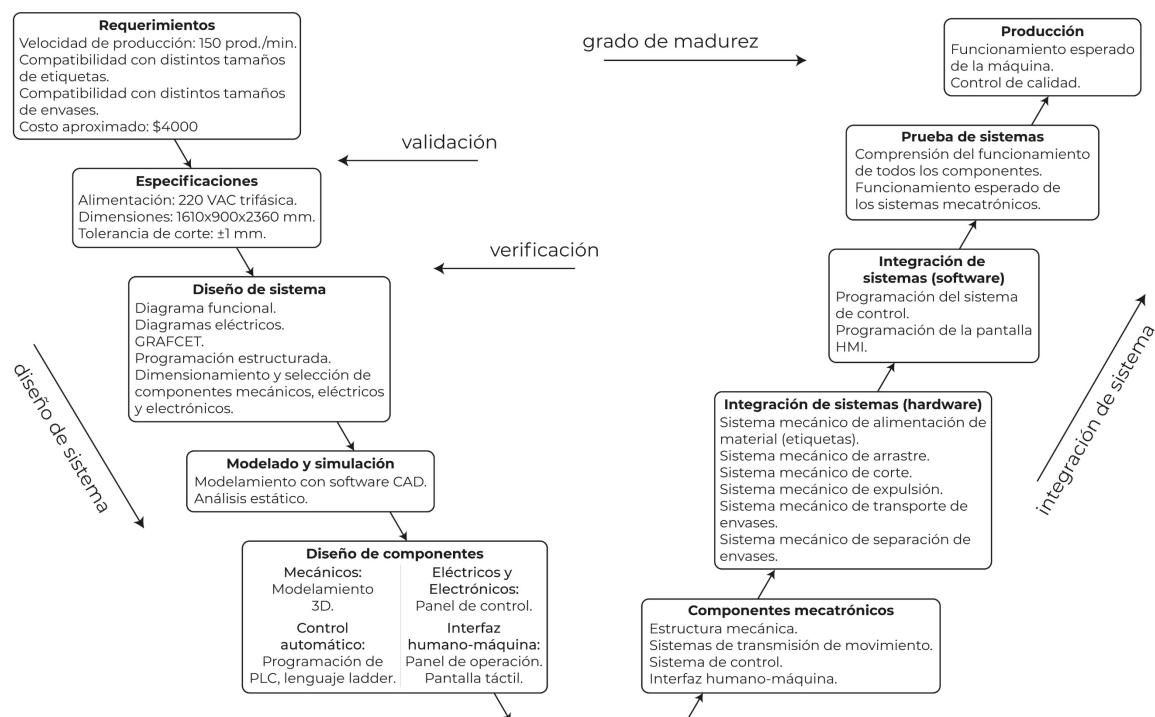
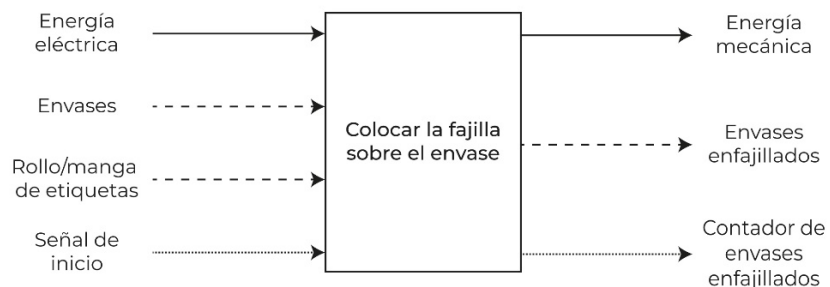


Diagrama Funcional

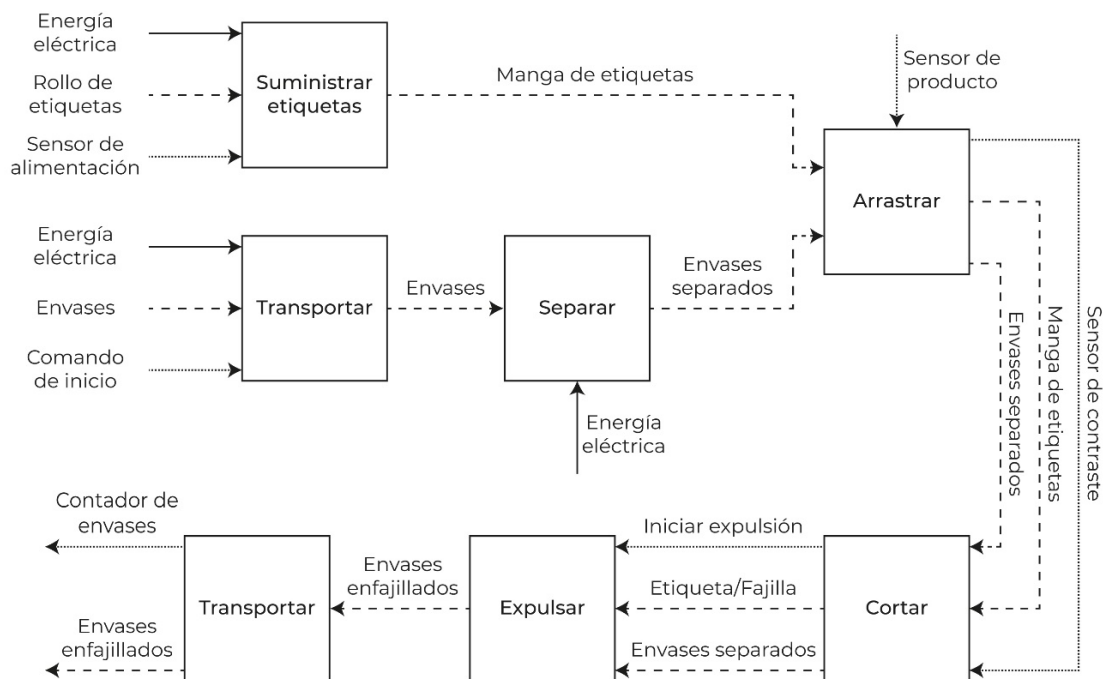
Figura 10

Diagrama funcional de la máquina enfajilladora

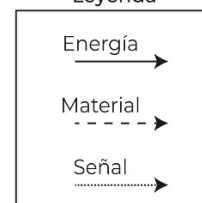
Nivel 0



Nivel 1



Leyenda



En el diagrama funcional de la Figura 10, se representa el proceso general de enfajillado, el cual ha sido dividido en dos niveles y estos a su vez en bloques, los cuales indican la secuencia de funcionamiento de la máquina enfajilladora y el flujo de energía, materiales y señales.

Estado preliminar de la máquina

Se ha realizado un levantamiento de información y evaluación de los componentes que se encuentran en la máquina con el objetivo de determinar el funcionamiento general de esta y posteriormente hacer uso de aquellos componentes que puedan ser reutilizados en los sistemas a repotenciar.

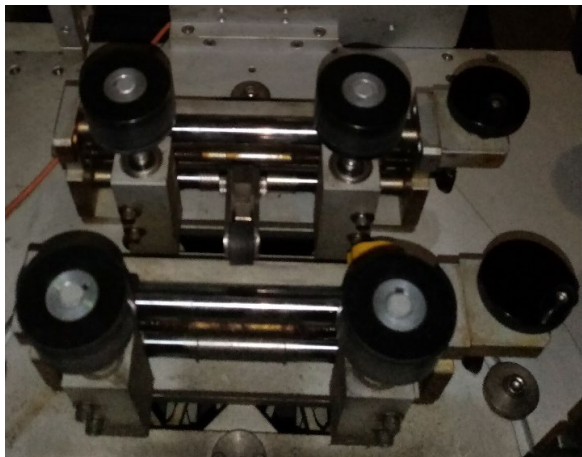
Componentes mecánicos

Rodillos.

Los rodillos del sistema de arrastre y expulsión de las fajillas son elementos mecánicos fabricados de caucho, silicona y otros polímeros los cuales con el uso constante y prologando sufren un desgaste que puede ser evidenciado en la deformación de la superficie de contacto. Previo al estado de inoperatividad de la máquina todos los rodillos habían cumplido su vida útil por lo que estaban provocando resultados indeseables en el producto final según los operarios y el departamento de mantenimiento de la empresa Imperial Bottling Company. Debido a que estos elementos no pueden someterse a ningún tipo de mantenimiento, es necesario vulcanizar nuevamente la superficie de contacto de los rodillos con un material adecuado.

Figura 11

Rodillos del sistema de arrastre

**Puertas.**

La máquina cuenta con dos puertas de acrílico oscuro que se encuentran en mal estado presentando rayaduras, fisuras e impregnación de suciedad, las cuales son condiciones inaceptables dentro de una industria de alimentos.

Figura 12

Puertas de acrílico oscuro de la máquina



Nota: Las puertas se encuentran deterioradas.

Cubierta.

La cubierta que fue colocada en la máquina por el personal de mantenimiento es una placa de acero inoxidable que fue adaptada provisionalmente por lo que no cumple correctamente con su función, que es la de eliminar el ruido de la luz ambiental en el sensor de taca.

Figura 13

Cubierta provisional de la máquina



Nota: Claramente se puede observar que la cubierta no es más que una placa adaptada al bastidor de la máquina que por sus geometría y tamaño no pueden eliminar por completo el ruido que provoca la luz ambiental en el sensor de taca.

Soporte para el sensor de alimentación de material.

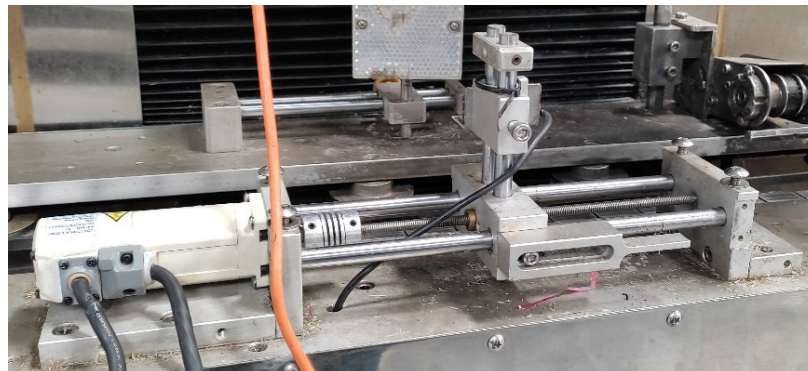
El soporte para el sensor de alimentación de material limita el posicionamiento de este ya que necesita de un agujero para su sujeción por lo que moverlo a otra posición es imposible si no se cuentan con otros agujeros en el bastidor de la máquina.

Figura 14*Soporte del sensor de alimentación de material*

Nota: El soporte del sensor necesita de un agujero pasante en la estructura de la máquina por lo que limita el posicionamiento del sensor.

Sistema de posicionamiento del sensor de producto.

El sistema para el posicionamiento del sensor de producto anteriormente utilizaba un servomotor para poder mover el sensor, pero en vista de que este actuador dejó de funcionar se decidió reemplazar este sistema por uno manual por consenso entre la empresa auspiciante y su cliente.

Figura 15*Sistema de posicionamiento del sensor de producto*

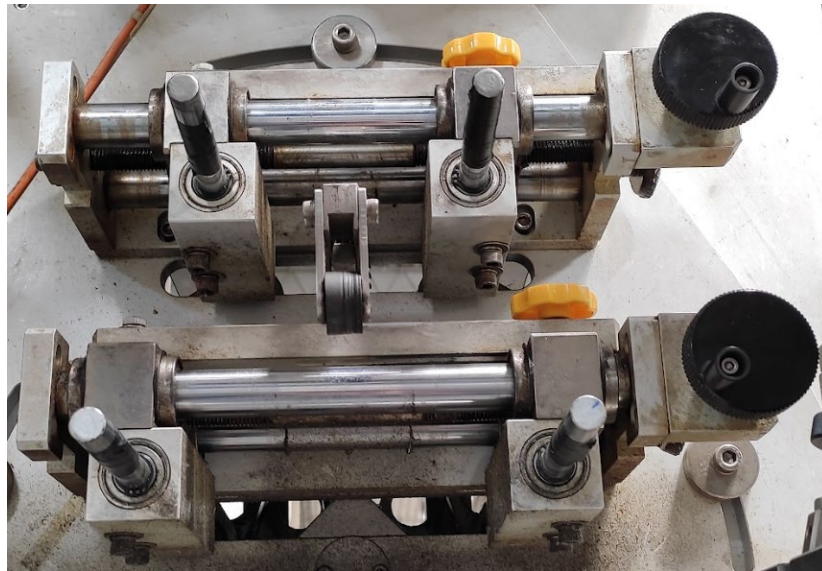
Nota: Servomotor de posicionamiento de sensor averiado.

Sistema de transmisión de movimiento para la etapa de arrastre.

El sistema de transmisión de movimiento para la etapa de arrastre está conformado por cuatro ejes cuyo movimiento es controlado y sincronizado por un sistema de engranajes, bandas y poleas el cual presenta falta de limpieza y lubricación en los componentes lo cual genera problemas en la transmisión del movimiento del servomotor que figura como el actuador de este sistema, razones por las cuales eran comunes los atascamientos de la fajilla durante el proceso de enfajillado.

Figura 16

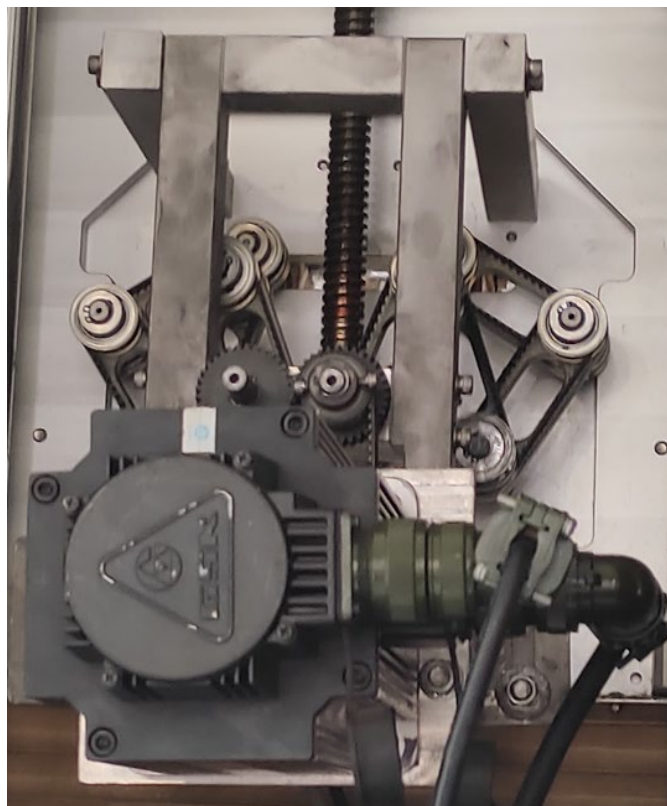
Parte frontal del sistema de arrastre



Nota: Los cuatro ejes del sistema de arrastre cumplen con la función de transmitir el movimiento del servomotor y además el soporte de los rodillos de arrastre.

Figura 17

Parte posterior del sistema de arrastre



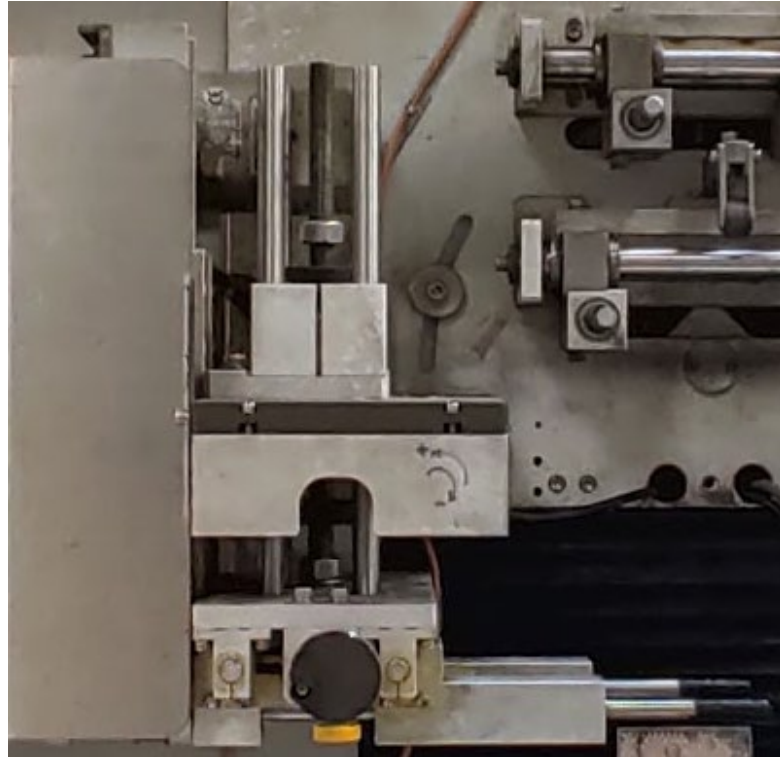
Nota: El sistema de transmisión de movimiento mecánico está conformado por elementos como engranajes y poleas montadas sobre ejes los cuales requieren de una correcta limpieza y lubricación para un correcto funcionamiento.

Sistema de transmisión de movimiento para la etapa de expulsión.

El sistema de transmisión de movimiento para la etapa de expulsión está comandado por un motor de inducción trifásico el cual transmite su movimiento a dos flechas en las que están soportados los rodillos de expulsión por medio de una banda y una polea las cuales se encuentran sin lubricación y además presentan suciedad y otros residuos que no son permitidos dentro de una industria de alimentos.

Figura 18

Sistema de transmisión de movimiento para la etapa de expulsión.



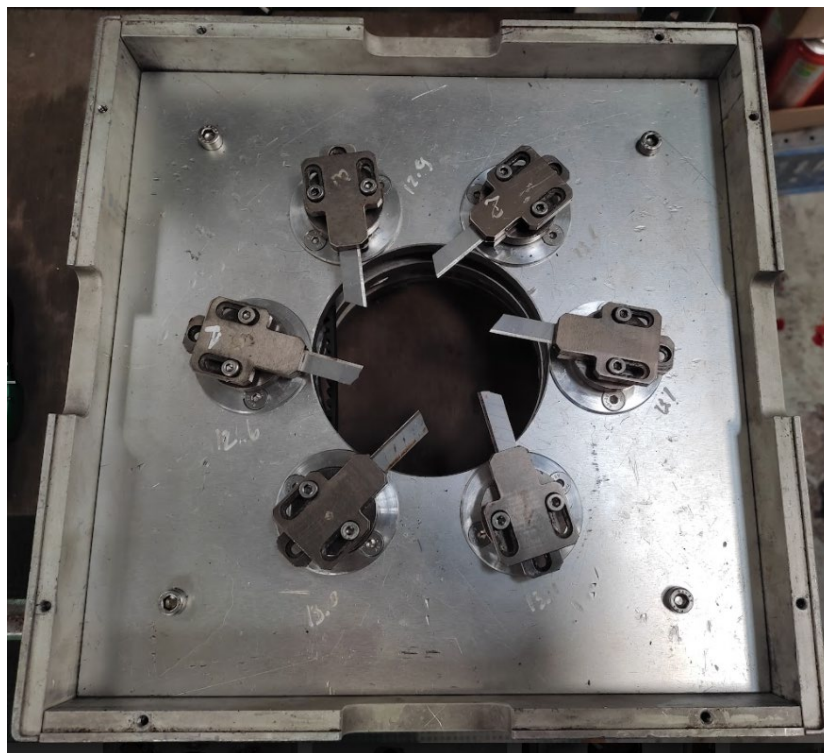
Nota: Este sistema de transmisión de movimiento y posicionamiento para los rodillos de expulsión, está conformado por una variedad de componentes como bandas, poleas, bujes tornillos sin fin y manivelas las cuales requieren de limpieza y lubricación para lograr un correcto funcionamiento.

Sistema de cuchillas del cabezal de corte.

El sistema de cuchillas del cabezal de corte que posee la máquina actualmente requiere de un mantenimiento correctivo ya que los bujes se encuentran desgastados, es decir, no poseen una altura uniforme con respecto a la base en donde están montados lo que provoca que las cuchillas no corten en línea recta. Además, las cuchillas ya se encuentran deterioradas por lo que se deben reemplazar por un juego nuevo.

Figura 19

Sistema de cuchillas del cabezal de corte



Nota: Para que el proceso de corte de la fajilla sea de calidad, es decir, que el corte sea uniforme, los bujes deben estar nivelados y las cuchillas deben estar en buen estado.

Formador para la manga de etiquetas.

El formador para la manga de etiquetas está conformado por una paleta de acero inoxidable y un cuerpo cilíndrico de grilón, este formador sirve como guía para el desplazamiento de la fajilla durante las etapas de arrastre y corte. En función del tamaño de las etiquetas con las que se va a trabajar es necesario un rediseño de las dimensiones de este formador.

Figura 20

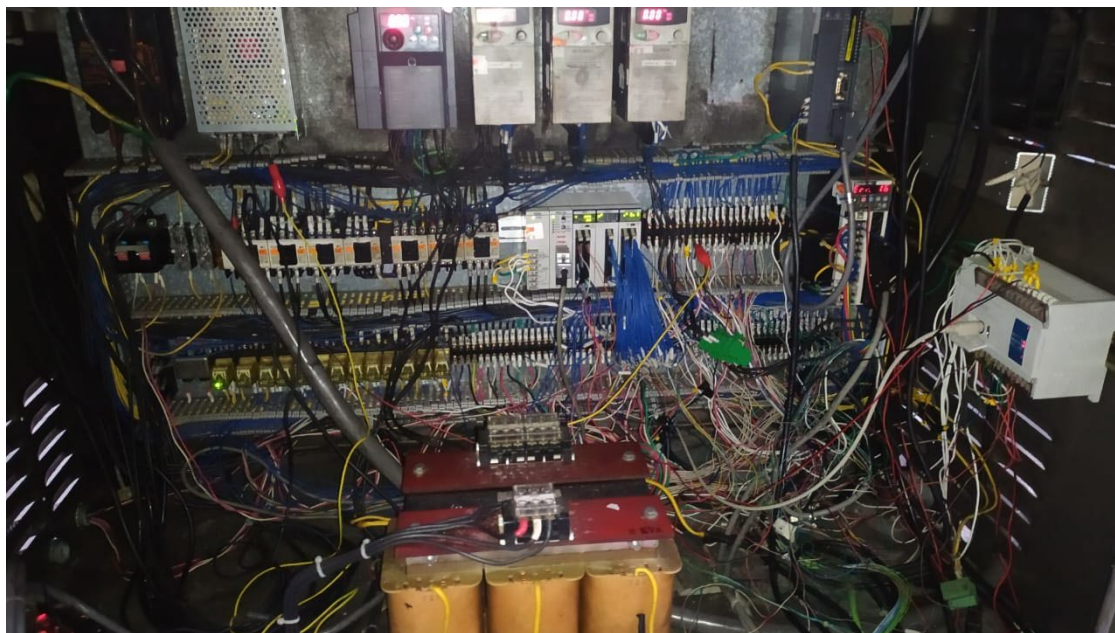
Formador para la manga de etiquetas



Nota: El formador de la manga de etiquetas debe tener las dimensiones adecuadas con referencia al tamaño de la etiqueta, ya que esto evita atascamientos o desgarramientos durante las etapas de arrastre y corte.

Componentes del sistema de control

En la Figura 21, se puede observar las conexiones actuales que tiene el tablero de control de la máquina, es evidente que todas las adecuaciones parciales con las cuales se encontraba funcionando, no estaban realizadas de manera correcta ya que todo el cableado se encontraba al aire, sin identificación y tampoco contaban con un esquema de conexiones de las mismas razón por la cual era extremadamente difícil realizar un diagnóstico preciso cuando se presentaban fallas durante la operación de la máquina.

Figura 21*Estado actual del tablero de control*

Nota: Conexiones del tablero de control previas al trabajo de repotenciación.

Actuadores.

Para la selección de los actuadores con los que cuenta la máquina actualmente, cuyas condiciones les permiten ser reutilizados en el nuevo sistema de control, se ha realizado un levantamiento de información, evaluación y pruebas de funcionamiento cuyos resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2*Resultados de la evaluación de los actuadores de la máquina*

Actuadores	Características	Es reutilizable	No es reutilizable	Observaciones
Servomotor GSK 130JT-M150B (A2)	8.5 A 220 VAC 3Ø	X		Limpiar y lubricar el sistema de transmisión de movimiento

Actuadores	Características	Es reutilizable	No es reutilizable	Observaciones
Servomotor XINJE MS- 80STE- M02430B-20P7	750 W 220 VAC 3Ø	X		Limpiar y lubricar el sistema de transmisión de movimiento
Motor de inducción Everwin 5IK40GN-S 40 W	40 W 220 VAC 3Ø	X		Limpiar y lubricar el sistema de transmisión de movimiento
Motor de inducción SESAME 5IK60GN-SF	60 W 220 VAC 3Ø	X		Limpiar y lubricar el sistema de transmisión de movimiento
Motor de inducción SESAME 5IK90A-SF	90 W 220 VAC 3Ø	X		Limpiar y lubricar el sistema de transmisión de movimiento
Motor de inducción banda transportadora	220 VAC 3Ø	X		Limpiar y lubricar el sistema de transmisión de movimiento
Motor de inducción tornillo separador	220 VAC 3Ø	X		Limpiar y lubricar el sistema de transmisión de movimiento

Nota: Pruebas de funcionamiento realizadas en vacío.

Sensores.

Para la selección de los sensores presentes en la máquina actualmente que se pueden reutilizar, al igual que con los actuadores se procedió a una valoración de su estado y funcionalidad, los resultados de estas evaluaciones se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Resultados de la evaluación de los sensores de la máquina

Sensores	Características	Es reutilizable	No es reutilizable	Observaciones
Sensor óptico de distancia Banner U-GAGE S18UUAR	24 VDC		X	No enciende
Sensor de contraste SICK WF15-40B410	24 VDC	X		Limpieza y calibración
Sensor fotoeléctrico Retroreflectivo Panasonic CX-491	24 VDC	X		Se debe cambiar el espejo para evitar falsas detecciones
Sensores finales de carrera TEN AE8-104	1 NC 1 NO	X		

Nota: Pruebas de funcionamiento realizadas en vacío.

Elementos de control y maniobra.

De manera similar con los elementos de control y maniobra del sistema de control actual que posee la máquina, se procedió a una evaluación que determine si estos pueden ser reutilizados o deben ser sustituidos, los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Resultados de la evaluación de los elementos de control y maniobra

Elementos de maniobra	Características	Es reutilizable	No es reutilizable	Observaciones
Servo drive XINJE DS-20P7-AS	0.75 kW 220 VAC 3Ø	X		
Servo drive GSK GS2050T-NP1	2 kW 220 VAC 3Ø	X		
Variador de frecuencia Mitsubishi FR-E520-0.4K	0.4 kW 220 VAC 3Ø		X	No enciende, se encuentra quemado.
Variador de frecuencia Mitsubishi FR-E520-0.4K	0.4 kW 220 VAC 3Ø	X		
Fuente de alimentación EVL TPS-2410	In: 110 VAC Out: 24 VDC		X	No es una fuente certificada para trabajos industriales
PLC Dase Sing	-		X	Descontinuado

Nota: Pruebas de funcionamiento realizadas en vacío.

Componentes de la Interfaz Humano-Máquina

En la Figura 22, se puede observar el estado actual del tablero de operación en el cual se encuentra montada la pantalla HMI, botones, y demás elementos que conforman la interfaz humano-máquina actuales.

Figura 22

Tablero de operación de la máquina



Los elementos del tablero de operación fueron evaluados para determinar si estos pueden ser reutilizados o requieren ser sustituidos, los resultados de la evaluación se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Resultados de la evaluación de los elementos del tablero de operación

Elemento	Características	Es reutilizable	No es reutilizable	Observaciones
HMI Dase Sing	-		X	Descontinuado
Botón de inicio	-		X	Deteriorado
Botón de paro	-		X	Deteriorado
Botón de emergencia	-		X	Deteriorado
Potenciómetro	-		X	Deteriorado

Repotenciación Eléctrica, Electrónica y de Control

Diseño del sistema de control

Identificación de componentes indispensables.

Los sensores y actuadores que se encuentran listados a continuación son indispensables para garantizar un correcto funcionamiento de la máquina:

Actuadores.

- Servomotor para el arrastre de la etiqueta
- Servomotor para el corte de la etiqueta
- Motor trifásico de inducción para la expulsión de la etiqueta
- Motor trifásico de inducción con reducción para la alimentación de material (rollo de etiquetas)
- Motor trifásico de inducción con reducción para la banda transportadora (ingreso de productos)
- Motor trifásico de inducción con reducción para el tornillo separador (separación de productos)
- Motor trifásico de inducción para la regulación de altura del cabezal de corte.

Sensores.

- Sensor fotoeléctrico para la detección de producto
- Sensor óptico de contraste (taca)
- Sensor óptico de distancia para la alimentación de material
- Sensor final de carrera para la posición superior del cabezal de corte.

- Sensor final de carrera para la posición inferior del cabezal de corte.

Elementos de maniobra.

- Servo drives para los servomotores de arrastre.
- Variador de frecuencia para el control de velocidad de la banda transportadora.
- Variador de frecuencia para el control de velocidad del tornillo separador.
- Contactores para activación/desactivación y cambio de sentido de giro para el motor trifásico de inducción para la regulación de la altura del cabezal de corte.
- Relés de estado sólido para la activación y desactivación del motor trifásico de inducción para la expulsión de la etiqueta.
- Relés de estado sólido para la activación y desactivación del motor trifásico de inducción para la alimentación de material.

Componentes reutilizables

En la Tabla 6, se presentan los componentes del sistema de control actual que van a ser reutilizados en el diseño del nuevo sistema de control.

Tabla 6

Resumen de componentes reutilizables

Componentes	Función	Características
Servomotor GSK 130JT-M150B (A2)	Arrastre	8.5 A 220 VAC 3Ø
Servomotor XINJE MS-80STE-M02430B-20P7	Corte	750 W 220 VAC 3Ø

Componentes	Función	Características
Motor de inducción Everwin 5IK40GN-S 40 W	Posición Cabezal	40 W 220 VAC 3Ø
Motor de inducción SESAME 5IK60GN-SF	Alimentación de Material	60 W 220 VAC 3Ø
Motor de inducción SESAME 5IK90A-SF	Expulsión	90 W 220 VAC 3Ø
Motorreductor DRdrives Tipo 80B4	Banda transportadora	0.75 kW 220 VAC 3Ø
Motor de inducción NERIMOTORI I71B4	Tornillo separador	0.37 kW 220 VAC 3Ø
Sensor de contraste SICK WF15-40B410	Sensor de taca	24 VDC
Sensor fotoeléctrico Retroreflectivo Panasonic CX-491	Sensor de producto	24 VDC
Sensores finales de carrera TEN AE8-104	Cabezal	1 NC, 1 NO
Servo drive XINJE DS-20P7-AS	Corte	0.75 kW 220 VAC 3Ø
Servo drive GSK GS2050T-NP1	Arrastre	2 kW 220 VAC 3Ø
Variador de frecuencia Mitsubishi FR- E520-0.4K	Tornillo separador	0.4 kW 220 VAC 3Ø

Nota: Los componentes que se encuentran en óptimas condiciones para ser reutilizados servirán como base para el diseño del nuevo sistema de control.

Dimensionamiento y selección de componentes faltantes

Se parte de la necesidad de contar con los componentes listados en el apartado de Identificación de componentes indispensables. Luego de la evaluación de los componentes que se pueden reutilizar para el diseño e implementación del nuevo sistema de control, cuyo resumen se detalla en la Tabla 6, se procede con el dimensionamiento y selección de los componentes faltantes.

Además, se considera que ya existen componentes que trabajan con señales de 24 [VDC], por este motivo, se prevé que el dimensionamiento y selección de los componentes faltantes y el PLC operen bajo las mismas condiciones.

La adquisición de los componentes será realizada por parte de la empresa auspiciante lo que implica que la selección de marca y precio serán decisión de la misma.

A continuación, se presentan los componentes del diseño para el tablero eléctrico del nuevo sistema de control:

Potencia (Fuerza).

Variador de frecuencia para la banda transportadora.

Debido a que el variador que controlaba la velocidad de la banda transportadora se encuentra quemado, se procede a seleccionar un nuevo variador de frecuencia que cumpla con las especificaciones y requerimientos de operación como son el control de un motor de inducción trifásico de 0.75 [kW] con reducción que trabaja a 220 [V] y además que tenga la posibilidad del control de la frecuencia por mando externo que se requiere en el panel de operación a través de un potenciómetro.

Para el proceso de selección, se han considerado las opciones que se detallan en la Tabla 7, las cuales pueden ser obtenidas a nivel nacional.

Tabla 7

Alternativas de variadores de frecuencia para el motor de la banda transportadora

Alternativa	Marca y Modelo	Especificaciones	Precio
1	Mitsubishi FR-E720S-050SC-EC	Potencia nominal del motor 0.75 [kW]	USD 200.50
2	POWTRAN PI150 OR7G1Z	Potencia nominal del motor 0.75 [kW]	USD 172.20
3	WEG CFW100	Potencia nominal del motor 0.75 [kW]	USD 188.70

Nota: Las tres alternativas de variadores de frecuencia se obtuvieron del catálogo proporcionado por el distribuidor RELKOM ubicado en Quito – Ecuador y cuyos precios ya incluyen IVA. Tomado de RELKOM. <https://www.relkom.tech/variadores-de-frecuencia.php>

Se ha considerado como la mejor opción la alternativa 2, ya que posterior a un análisis entre las tres posibilidades, las cuales resultan ser muy similares, el modelo de POWTRAN se encontraba en stock para entrega inmediata y debido a que este incorpora la electrónica MITSUBISHI y la potencia LS en los rectificadores, además de tener el precio más bajo, fue el seleccionado para el control de la velocidad del motor de la banda transportadora de la máquina.

Figura 23

Variador de frecuencia POWTRAN PI150 OR7G1Z



Nota: Tomado de POWTRAN Technology.

<https://www.powtran.com/upload/201912/04/201912040325228100.pdf>

Componente para el accionamiento y cambio de giro del motor del cabezal de corte.

Inicialmente, se ha considerado que el motor que controla posición del cabezal de corte, es decir, debe accionar e invertir el giro de un motor trifásico. Cabe mencionar que esta calibración se la realiza una única vez por jornada de producción por lo que se han considerado dos posibles soluciones para este fin, las cuales se detallan a continuación.

1. Accionamiento e inversión de giro por medio de contactores y relés: el circuito de potencia que permite el accionamiento y el cambio de sentido de giro de un motor trifásico requiere de dos contactores y dos relés que permitan el control de este circuito a través del PLC.

2. Variador de frecuencia: los variadores de frecuencia cuentan con la función de inversión de giro, esta función puede ser controlada por el PLC mediante las entradas digitales del variador.

La mejor alternativa considerando que, el motor que se debe controlar tiene una potencia de 40 [W] y que no requiere de un control de velocidad durante su funcionamiento, se descarta la segunda posibilidad y se selecciona el accionamiento e inversión de giro por medio de contactores y relés, por lo que se procede al dimensionamiento de los componentes con base en los requerimientos detallados en la Tabla 8 y la Tabla 9.

Tabla 8

Requerimiento para el dimensionamiento de contactores

Requerimiento	Especificación
Corriente nominal AC3	> 1 [A]
Número de contactos principales	3
Tensión de bobina	220 [VAC]

Tabla 9

Requerimiento para el dimensionamiento de relés

Requerimiento	Especificación
Corriente nominal	> 0.1 [A]
Número de contactos NA	> 1
Tensión de bobina	24 [VDC]

Los siguientes componentes cumplen con los requerimientos del circuito a implementar y que se encuentran en stock en los distribuidores de componentes eléctricos y electrónicos industriales en Quito – Ecuador se encuentran descritos en la Tabla 10.

Tabla 10

Resumen de especificaciones para los contactores y relés seleccionados

Marca	Modelo	Tensión de bobina	Corriente	Tensión nominal de empleo	Precio
WEG	CWB9-11-30D23	220 [VAC]	9 [A]	600 [VAC]	USD 22.82
CAMSCO	LY-2	24 [VDC]	10 [A]	28 [VDC] 220 [VAC]	USD 5.94

Nota: Tomado de Dielecom. <https://www.dielecom.com/catalogo.html>

Figura 24

Contactador WEG



Nota: Tomado de WEG S.A. <https://bit.ly/3mrzrE930D23/p/12220434>

Figura 25

Relé CAMSCO



Nota: Tomado de Camsco Electric Co. <https://www.camsco.com.tw/spa/phase-voltage-protection-relay/relay-MY-LY-MK.html>

Control.***Sensor para la etapa de alimentación de material.***

Considerando que el sensor con el que contaba anteriormente la máquina se encuentra inoperativo, se ha comprobado que durante el funcionamiento del sistema de alimentación los soportes de los rodillos para liberar la tensión del material los cuales están fabricados de aluminio, se desplazan verticalmente de arriba hacia abajo por lo que uno de estos cuerpos será utilizado como el elemento a sensor para emitir la señal de alimentación al sistema de control. Los requerimientos para la selección de este sensor, se describen en la Tabla 11.

Tabla 11*Requerimientos para la selección del sensor de material*

Requerimiento	Especificación
Tipo	Inductivo
Salida	NPN colector abierto
Alimentación	24 [VDC]

Tomando en cuenta la disponibilidad, precio y requerimientos se ha seleccionado el siguiente sensor cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12*Especificaciones del sensor de material*

Marca	Modelo	Voltaje de alimentación	Tipo	Salida	Precio
Micro Detectors	AM1/AN-2A	24 [VDC]	Inductivo	NPN colector abierto	USD 33.71

Nota: Tomado de Dielecom. <https://www.dielecom.com/catalogo.html>

Relés de estado sólido para la etapa de alimentación de material.

Para la etapa de alimentación de material, se tiene como actuador un motor de inducción trifásico que trabaja a 220 [V] y tiene una potencia de 60 [W]. La velocidad de activación debe ser rápida y se repite varias veces en cortos lapsos de tiempo.

Para la selección de los relés de estado sólido (SSR), se procede a calcular la corriente y el voltaje de activación.

$$P = V \times I \quad (1)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (2)$$

$$I = \frac{60 [W]}{220 [V]} = 0.3 [A] \quad (3)$$

Con el valor de corriente mínima calculado se ha seleccionado el siguiente modelo de relé de estado sólido que cumple con los requerimientos y cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13

Especificaciones de los relés de estado sólido para la etapa de alimentación

Marca	Modelo	Voltaje de control	Corriente de carga	Voltaje de carga	Precio
Q&W	ZG3NC-310B	3 - 32 [VDC]	10 [A]	24 - 480 [VAC]	USD 10

Nota: Tomado de Electro Comercial Mejía. <https://www.grupoecmejia.com/productos>

Relés de estado sólido para la etapa de expulsión de la fajilla.

Para la etapa de expulsión de la fajilla, se tiene como actuador un motor de inducción trifásico que trabaja a 220 [V] y tiene una potencia de 90 [W]. La velocidad de activación debe ser rápida y se repite varias veces en cortos lapsos de tiempo.

Para la selección de los relés de estado sólido (SSR), se procede a calcular la corriente y el voltaje de activación haciendo uso de las ecuaciones (1) y (2).

$$I = \frac{90 [W]}{220 [V]} = 0.4 [A] \quad (4)$$

Tabla 14

Especificaciones de los relés de estado sólido para la etapa de expulsión

Marca	Modelo	Voltaje de control	Corriente de carga	Voltaje de carga	Precio
Q&W	ZG3NC-310B	3 - 32 [VDC]	10 [A]	24 - 480 [VAC]	USD 10

Nota: Tomado de Electro Comercial Mejía. <https://www.grupoecmejia.com/productos>

Fuente de alimentación 24 [VDC].

Para la selección de la fuente de alimentación se ha considerado que al tratarse de un entorno industrial se debe contar con protección para sobre corrientes y corto circuitos, además también se debe calcular la corriente mínima que consumen todos los componentes del sistema de control que trabajan con 24 [VDC].

En la Tabla 15, se encuentran resumidos todos los componentes del sistema de control que estarán conectados a la fuente de alimentación de 24 [VDC].

Tabla 15

Consumo de corriente de los componentes que trabajan con 24 [VDC]

Componente	Corriente consumida	Cantidad	Corriente total consumida
Relés de estado sólido	25 [mA]	6	150 [mA]
Relés mecánicos	25 [mA]	3	75 [mA]
Componente	Corriente consumida	Cantidad	Corriente total consumida

Servodrive Xinje	50 [mA]	1	50 [mA]
Servodrive GSK	15 [mA]	1	15 [mA]
Pantalla HMI	150 [mA]	1	150 [mA]
Sensor producto	20 [mA]	1	20 [mA]
Sensor de taca	40 [mA]	1	40 [mA]
Sensor de material	40 [mA]	1	40 [mA]

Con todos los valores de corriente total consumida de cada uno de los componentes del sistema de control que irán conectados a la fuente de 24 [VDC] se procede a sumar sus consumos para calcular la corriente mínima que deberá proveer la fuente agregando un factor de seguridad.

$$I_{Fuente} = 540 [mA] \quad (5)$$

Se ha considerado un factor de seguridad de 3 considerando que la máquina tiene la posibilidad de habilitar más actuadores y sensores, lo que nos da como resultado un valor de corriente de 1.62 [A].

Con el valor de corriente calculado y considerando que se trata de un ambiente industrial donde se debe tener protección contra sobre corriente y corto circuito, se ha seleccionado una fuente certificada de la marca Mean Well cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 16.

Figura 26

Fuente de alimentación Mean Well EDR-75-24



Nota: Tomado de Dielecom. <https://www.dielecom.com/catalogo.html>

Tabla 16

Especificaciones de la fuente de alimentación de 24 [VDC]

Marca	Modelo	Alimentación	Salida	Corriente	Precio
Mean Well	EDR-75-24	100-240 [VAC]	24 [VDC]	3.2 [A]	USD 80

Nota: Tomado de ASTIMEC S.A. <https://astimec.net/>

Controlador Lógico Programable.

Para el dimensionamiento y la selección del PLC que se va a utilizar para el control de la secuencia del proceso, se consideran todos los actuadores, sensores y elementos de maniobra que forman parte del sistema de control de la máquina.

Los requerimientos y consideraciones para la selección se detallan en la Tabla 17.

Tabla 17

Requerimientos y consideraciones para la selección del PLC

Requerimiento/Consideración	Cantidad	Especificación
Salidas analógicas	-	No
Salidas digitales	10	-
Salida de pulsos para control de servo drives	2	-
Entradas rápidas	-	Sí
Entradas analógicas	-	No
Entradas digitales	10	-
Comunicación con HMI	-	Sí
Protocolo de comunicación Ethernet	-	-
Protocolo de comunicación RS-232	-	-
Salida tipo transistor	-	Sí
Salida tipo relé	-	No
Alimentación de 220 [VDC]	-	-

Tomando en cuenta los parámetros para la selección del PLC, teniendo como prioridad el costo/beneficio y la disponibilidad del componente se consideraron las alternativas que se encuentran descritas en la Tabla 18.

Tabla 18*Alternativas de PLC*

Alternativa	Marca y Modelo	Cumple los requerimientos	Precio
1	Panasonic AFPX-C30T	Sí	USD 468
2	Siemens S7-1200 – 1214C	Sí	USD 750
3	XINJE XCM – 32T4-E	Sí	USD 330

Las tres alternativas consideradas cumplen con los requerimientos para el sistema de control, priorizando el factor costo/beneficio se selecciona la alternativa 3 como el autómata programable para el sistema de control.

Figura 27*PLC XINJE XCM 32T4-E*

Nota: Tomado del catálogo de Alta y Baja tensión.

<https://www.altaybajatension.com/catalogo/index.html>

Protección

Una vez seleccionados todos los componentes del sistema de control, se procede a dimensionar los elementos de protección para el circuito. Por solicitud de la empresa auspiciante, se han dividido los componentes en los siguientes grupos:

- Grupo 1: Motores trifásicos de inducción
- Grupo 2: Servo drives
- Grupo 3: Variadores de frecuencia
- Grupo 4: Alimentación de control

Por solicitud de la empresa auspiciante del presente proyecto, las protecciones se deben sobredimensionar con un factor de seguridad de al menos el doble de la corriente total consumida por cada grupo, la justificación de esta acción radica en que la máquina y la línea de producción cuentan con más componentes que se prevén conectar al panel de control en trabajos futuros.

Grupo 1: Motores trifásicos de inducción.

Para el dimensionamiento de la protección de este grupo, se procede a calcular la corriente total consumida por los motores trifásicos de inducción para lo cual se han tomado los valores de corriente nominal de cada uno de estos como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19

Consumo de corriente de los motores trifásicos de inducción de la máquina

Denominación	Función	Parámetros de operación	Corriente
Motor de inducción Everwin 5IK40GN-S 40 W	Posicionamiento del cabezal de corte	40[W] 220 [VAC]	0.2 [A]
Motor de inducción SESAME 5IK60GN-SF	Alimentación de material	60[W] 220 [VAC]	0.3 [A]
Motor de inducción SESAME 5IK90A-SF	Expulsión de fajilla	90[W] 220 [VAC]	0.4 [A]
	Corriente nominal total consumida		0.9 [A]
	Corriente total (FS = 2)		1.8 [A]

Grupo 2: Servo drives.

Para el dimensionamiento de la protección de este grupo, se procede a calcular la corriente total consumida por los servo drives, para lo cual se han tomado los valores de corriente nominal de cada uno de estos como se muestra en la Tabla 20.

Grupo 3: Variadores de frecuencia.

Para el dimensionamiento de la protección de este grupo, se procede a calcular la corriente total consumida por los variadores de frecuencia, para lo cual se han tomado los valores de corriente nominal de cada uno de estos como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 20*Consumo de corriente de los servo drives de la máquina*

Denominación	Función	Parámetros de operación	Corriente
Servo drive XINJE DS-20P7-AS	Control del servomotor de corte	750 [W] 220 [VAC]	3.5 [A]
Servo drive GSK GS2050T-NP1	Control del servomotor de arrastre	2000 [W] 220 [VAC]	9.1 [A]
	Corriente nominal total consumida		12.6 [A]
	Corriente total (FS = 2)		25.2 [A]

Tabla 21*Consumo de corriente de los variadores de frecuencia de la máquina*

Denominación	Función	Parámetros de operación	Corriente
POWTRAN PI150 OR7G1Z	Control de velocidad del motor de la banda transportadora	750 [W] 220 [VAC]	3.5 [A]
Mitsubishi FR-E520-0.4K	Control de velocidad del motor del tornillo separador	400 [W] 220 [VAC]	2 [A]
	Corriente nominal total consumida		5.5 [A]
	Corriente total (FS = 2)		11 [A]

Grupo 4: Alimentación de control.

Para el dimensionamiento de la protección de este grupo, se procede a calcular la corriente total consumida por los variadores de frecuencia, para lo cual se han tomado los valores de corriente nominal de cada uno de estos como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22

Consumo de corriente del circuito de alimentación de control

Denominación	Función	Parámetros de operación	Corriente
PLC XINJE XCM 32T4-E	Autómata programable del sistema de control	12 [W] 220 [VAC]	0.05 [A]
Fuente de alimentación Mean Well EDR-75-24	Alimentación de 24 [VDC]	220 [VAC]	2 [A]
	Corriente nominal total consumida		2.05 [A]
	Corriente total (FS = 2)		4.10 [A]

Una vez calculado el consumo total de corriente de cada grupo y tomando en consideración que, los interruptores termomagnéticos comerciales normalizados tienen una corriente de interrupción nominal mínima de 6 [A]. Además, la empresa auspiciante dispone de un inventario de componentes del cual, se han seleccionado los elementos de protección cuyas especificaciones mejor se ajustan para cada grupo, priorizando la disponibilidad inmediata y el ahorro en el presupuesto de la implementación.

Los elementos de protección seleccionados para cada grupo se encuentran resumidos en la Tabla 23.

Tabla 23*Elementos de protección seleccionados*

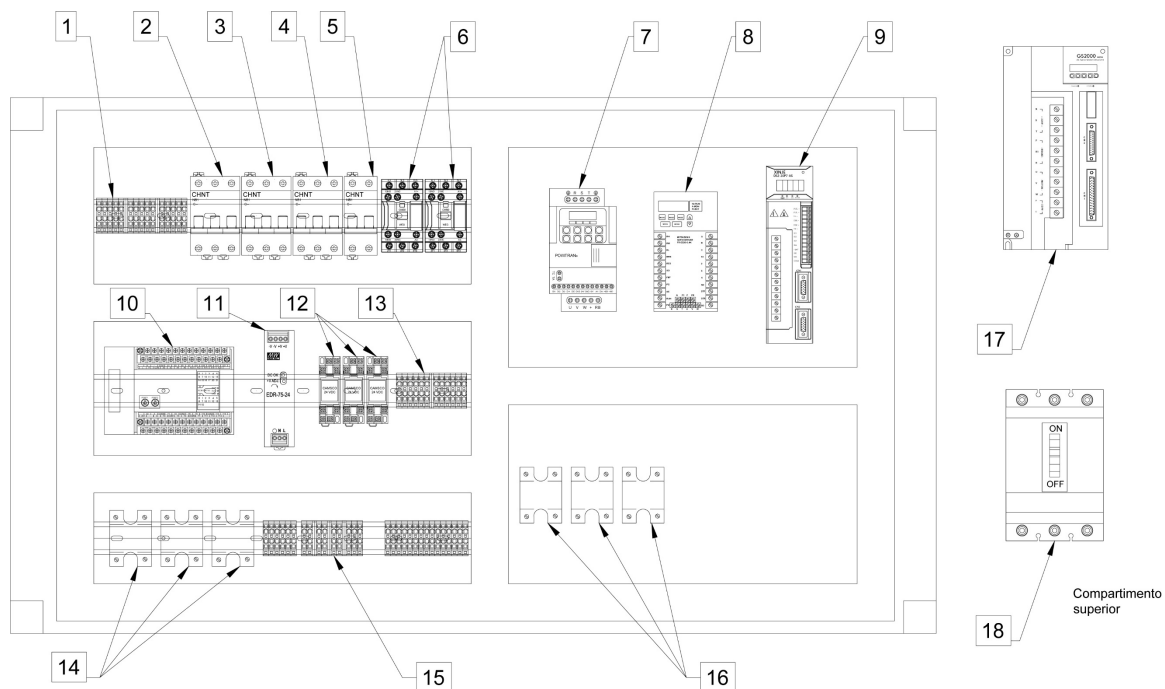
Grupo	Número de polos	Marca y modelo	Corriente mínima requerida	Corriente de la selección
1	3	Schneider Electric Easy9 C16	1.8 [A]	16 [A]
2	3	Delixi DZ47S C40	25.2 [A]	40 [A]
3	3	BKN LS C20	11 [A]	25 [A]
4	2	Delixi DZ47S C25	4.1 [A]	20 [A]

Implementación del Sistema de Control**Armado del tablero de control.*****Planificación de distribución de componentes.***

Para la distribución de los componentes que forman parte del nuevo sistema de control los cuales se resumen en la Tabla 24, se ha realizado un diagrama de distribución considerando las dimensiones y rieles DIN con las que cuenta el tablero de control de la máquina, la distribución planificada se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Diagrama de distribución del tablero de control

**Tabla 24**

Identificación de componentes del sistema de control

No.	Cantidad	Descripción
1	15	Bornera Para Riel DIN
2	1	Breaker Termomagnético Schneider Electric Easy9 C16 3P
3	1	Breaker Termomagnético Delixi DZ47S C40 3P
4	1	Breaker Termomagnético BKN LS C20 3P
5	1	Breaker Termomagnético Delixi DZ47S C25 2P
6	2	Contacto WEG CWB9 3P
7	1	Variador de Frecuencia POWTRAN PI150-0R7G1Z
8	1	Variador de Frecuencia Mitsubishi Fr-E520-0.4k
9	1	Servo Driver XINJE DS2-20P7-AS

No.	Cantidad	Descripción
10	1	PLC XINJE XCM-32T4-E
11	1	Fuente De Voltaje Mean Well EDR-75-24
12	3	Relé mecánico CAMSCO 24 VDC
13	12	Bornera para riel Din
14	3	Relé de estado sólido
15	30	Bornera para riel Din
16	3	Relé de estado sólido
17	1	Servo Driver GSK Gs2000
18	1	Interruptor termomagnético Fuji Electric C50 3P

Planificación de la conexión de componentes.

Para llevar a cabo el proceso de cableado de los componentes, una vez establecida la distribución de estos, se procedió a desarrollar los planos eléctricos para llevar a cabo las conexiones de manera correcta y ordenada. Los planos se los realizó bajo la norma IEC-60617 para simbología eléctrica la cual servirá como base para el proceso de etiquetado (identificación) de las conexiones una vez que el sistema de control este cableado. La importancia de este proceso radica en la capacidad de determinar cómo se encuentra la conexión de cada elemento por si llegase a suscitarse alguna anomalía en el funcionamiento de la máquina, se puede acudir a los planos eléctricos y de distribución para solventarla con agilidad y eficacia.

Dimensionamiento para el cableado de componentes.

Una vez establecida la distribución y conexión de los elementos en el tablero de control, se procedió a ubicarlos de tal manera que el cableado quede ordenado y se pueda identificar de manera correcta posteriormente, además de garantizar que este guarde concordancia con los planos anteriormente desarrollados.

Para el proceso de cableado se utilizaron dos calibres distintos de cable, uno para los circuitos de fuerza y otro para las señales de control de sensores, servo drives, relés mecánicos y relés de estado sólido. Las características de estos calibres se detallan en la Tabla 25.

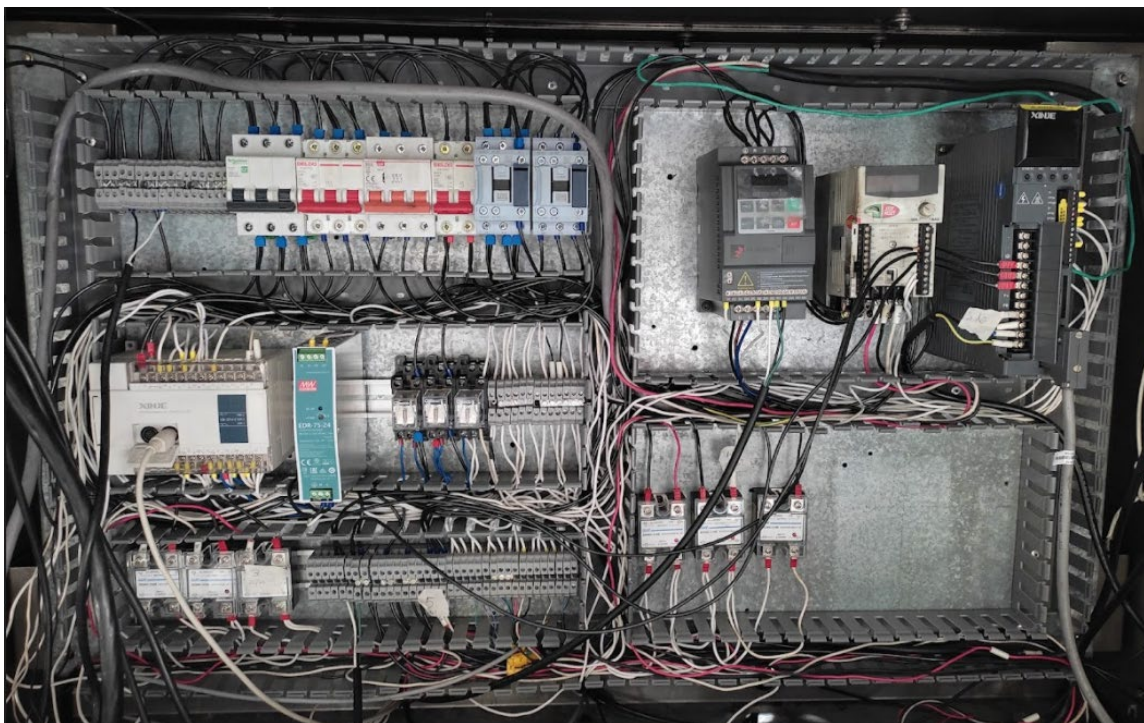
Tabla 25

Características de los cables utilizados

Función	Denominación	Color
Fuerza	AWG 14	Negro
Control	AWG 18	Blanco

Figura 29

Cableado del tablero de control



Nota: El cableado del sistema de control, se llevó a cabo siguiendo los planos de distribución y conexión.

Identificación del cableado.

Es importante que el cableado del sistema de control se encuentre identificado, este proceso se conoce comúnmente como enmarquillado y consiste en la colocación de etiquetas o marquillas en todo el cableado a fin de identificar los componentes y sus conexiones. Para este fin se utilizó una etiquetadora de la marca BRADY modelo BMP 21-PLUS con un cartucho negro sobre amarillo de ½ pulgada.

Para realizar un correcto proceso de identificación de las conexiones se siguió como guía y referencia los planos de distribución y conexión comprobando y garantizando que, la nomenclatura de los planos y del circuito físico concuerden.

Figura 30

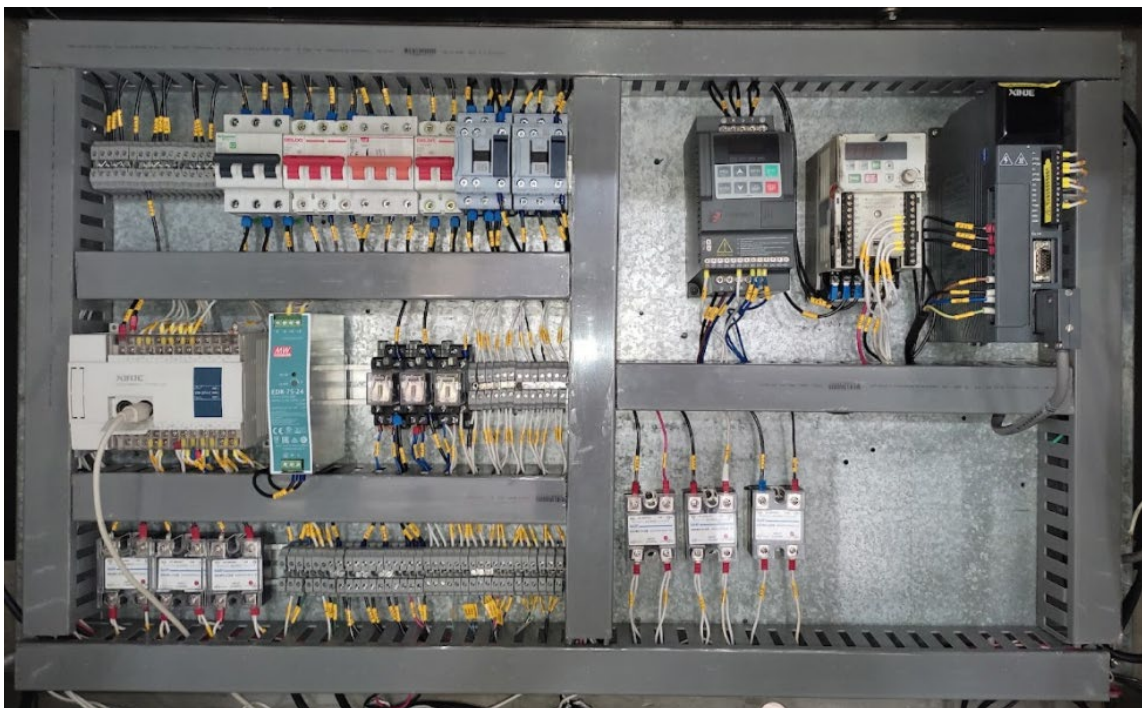
Etiquetadora BRADY BMP 21-PLUS



Una vez identificadas las conexiones del tablero de control, se procede a cerrar las canaletas para la protección del cableado como se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Identificación de las conexiones del tablero de control



Programación del PLC.

Una vez realizada la conexión de los actuadores, sensores y elementos de maniobra del sistema de control, se procede a la programación del PLC para lo cual, se ha seguido la metodología de programación estructurada la cual tiene como base el desarrollo de un diagrama de estados también conocido como GRAFCET y la traducción de este diagrama en el lenguaje Ladder compatible con el software de programación del PLC seleccionado.

Diagrama de GRAFCET

Un diagrama de GRAFCET es una representación gráfica de la secuencia de eventos discretos de un proceso que contiene dos tipos de nodos, estados y transiciones. Cada estado viene acompañado de las acciones que este comprende y para pasar de un estado a otro es necesario que se cumpla la transición establecida. Debido a la complejidad para describir un proceso en un PLC se utiliza esta herramienta gráfica para ese propósito (David, 1995).

Para la programación de la secuencia del proceso de enfajillado de la máquina, se han desarrollado los siguientes diagramas de GRAFCET cuya jerarquía y función se detalla a continuación:

1. Seguridad: en este diagrama, se controla la inicialización de los diagramas de menor jerarquía y también, detiene todo el sistema en caso de emergencia.
 - 1.1. Paro: Realiza la detención de los sistemas de transporte y separación.
 - 1.2. Transportar y Separar: Realiza la activación de los sistemas de transporte y separación.
 - 1.3. Alimentar: Controla la activación del sistema de alimentación de material.

- 1.4. Subir y bajar cabezal: Controla la activación del motor para subir y bajar el cabezal de corte.
- 1.5. Producción: Controla la secuencia del proceso de enfajillado.

Programación estructurada.

Los diagramas de GRAFCET diseñados anteriormente sirven como base para la traducción al lenguaje Ladder, en este caso particular, en virtud de que el PLC XINJE XCM 32T4-E, el cual fue seleccionado para la programación del sistema de control, se maneja el software de programación XCP Pro V3.3 en el cual se puede realizar la programación en lenguaje Ladder y en lista de instrucciones.

Interfaz Humano – Máquina

Pantalla HMI

Para la selección de la pantalla HMI, se debe considerar que esta debe tener compatibilidad con el PLC XINJE XCM 32T4-E, es decir, que se requiere que tenga una conexión bajo el protocolo RS-232. Para el dimensionamiento del tamaño de la pantalla se ha considerado que en esta únicamente presentará funciones principales, sin animaciones ni otros factores que requieran de un espacio considerable para poder ser observadas, por este motivo se ha seleccionado como tamaño ideal una pantalla de al menos 4 pulgadas.

En el mercado nacional, se encuentran las pantallas HMI de la marca TouchWin las cuales son compatibles con los PLC de marca XINJE. Haciendo referencia a los requerimientos de la pantalla como son tamaño y compatibilidad se ha seleccionado el modelo TouchWin TG-465-MT cuyas especificaciones se encuentran descritas en la Tabla 26.

Tabla 26*Especificaciones de la pantalla HMI TouchWin TG-465-MT*

Especificación	Descripción
Alimentación	24 [VDC]
Tamaño de pantalla	4.3 [pulg.]
Tipo de pantalla	Color TFT LCD
Consumo de corriente	140 [mA]
Resolución	480 x 272 [píxeles]
Puertos de comunicación	RS-232/RS-485, USB-B
Protección	IP65

Nota: Tomado de XINJE.

<http://www.xinje.com.ua/images/manual/HMI/TPTHTG%20hardware%20manual.pdf>

Figura 32*Pantalla HMI TouchWin TG-465-MT*

Nota: Tomado de XINJE.

<http://www.xinje.com.ua/images/manual/HMI/TPTHTG%20hardware%20manual.pdf>

Elementos del panel de operación

Para la selección de los elementos del panel de operación, se realizó un análisis de requerimientos del operario y el control adecuado de parámetros de operación de la máquina. Con estas consideraciones, en la Tabla 27, se encuentran detallados los elementos seleccionados.

Tabla 27

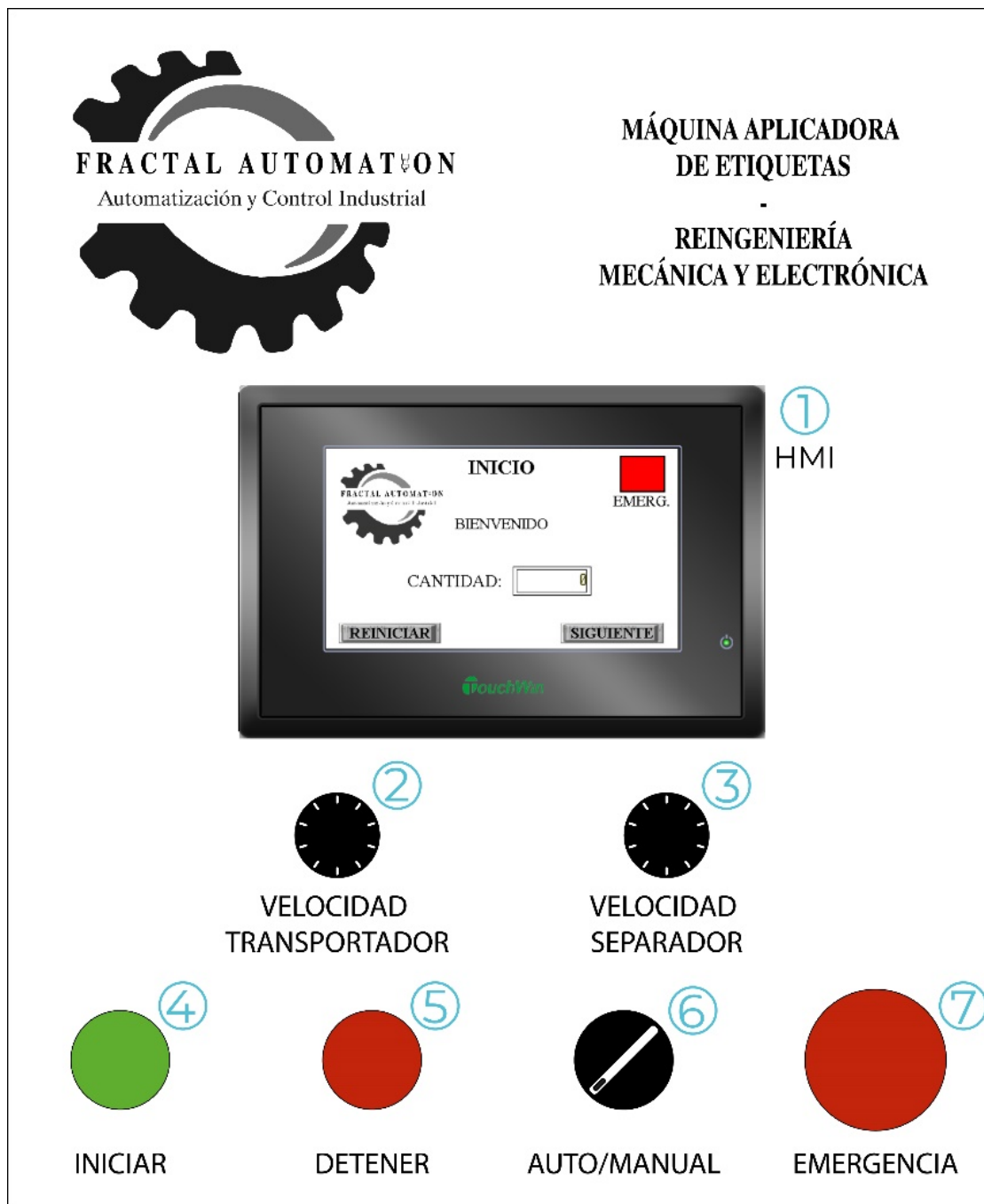
Elementos del tablero de operación

Identificación	Elemento	Función
1	Pantalla HMI	Cibernética
2	Potenciómetro	Velocidad banda transportadora
3	Potenciómetro	Velocidad tornillo separador
4	Pulsador NA	Inicio
5	Pulsador NC	Detener
6	Selector de 2 posiciones	Modo de marcha
7	Pulsador de emergencia NC	Paro de emergencia
8	Selector de 2 posiciones	Habilitación del tornillo

En la Figura 33, se presenta la distribución de los elementos del panel de operación. Por motivos de practicidad y seguridad durante la operación de la máquina el selector de 2 posiciones para la habilitación del tornillo separador será implementado en un cajetín aparte del panel.

Figura 33

Distribución de elementos en el panel de operación



El tablero de operación se manufacturó mediante corte y grabado láser en acero inoxidable.

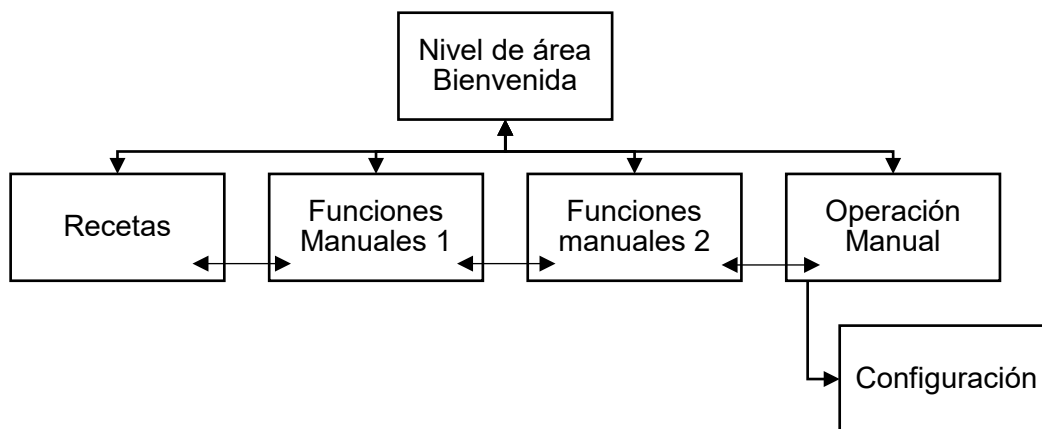
Programación de la pantalla HMI

Arquitectura de pantallas.

Para el diseño de las pantallas de la interfaz HMI, se ha considerado una arquitectura y navegación ancha y compacta mas no vertical como lo indica y sugiere la guía GEDIS.

Figura 34

Arquitectura de pantallas



Pantallas.

Por el tipo de pantalla, se ha considerado utilizar como fondo el color blanco de modo que el texto en color negro y los botones grises contrasten y garanticen una correcta visibilidad.

Figura 35

Pantalla de inicio

Figura 36

Pantalla de recetas

Figura 37

Pantalla de funciones manuales 1

**Figura 38**

Pantalla de funciones manuales 2



Figura 39

Pantalla de operación manual

**Figura 40**

Teclado de ingreso de contraseña



Figura 41

Pantalla de configuración



Reacondicionamiento Mecánico

Rodillos

El estado de los rodillos tanto de la etapa de arrastre como para la de expulsión, es crítico para garantizar un correcto desempeño de la máquina durante el proceso de enfajillado. Debido al desgaste que tenían inicialmente los rodillos, se desmontaron y se enviaron a vulcanizar con un nuevo material que sea compatible con el material de las etiquetas que es PVC, con el objetivo de evitar rasgaduras o impregnaciones de color.

El material seleccionado para el vulcanizado de los rodillos es el nitrilo, pero se han seleccionado diferentes durezas e índices de porosidad para las etapas de arrastre y expulsión.

Rodillos de arrastre.

En la etapa de arrastre, la manga de etiquetas está siempre en contacto con los rodillos por lo que no se presentan rasgaduras, además debido a que en esta etapa no existe presencia de humedad tampoco existen impregnaciones de color sobre las etiquetas, dadas estas condiciones se han vulcanizado los rodillos con las especificaciones detalladas en la Tabla 28.

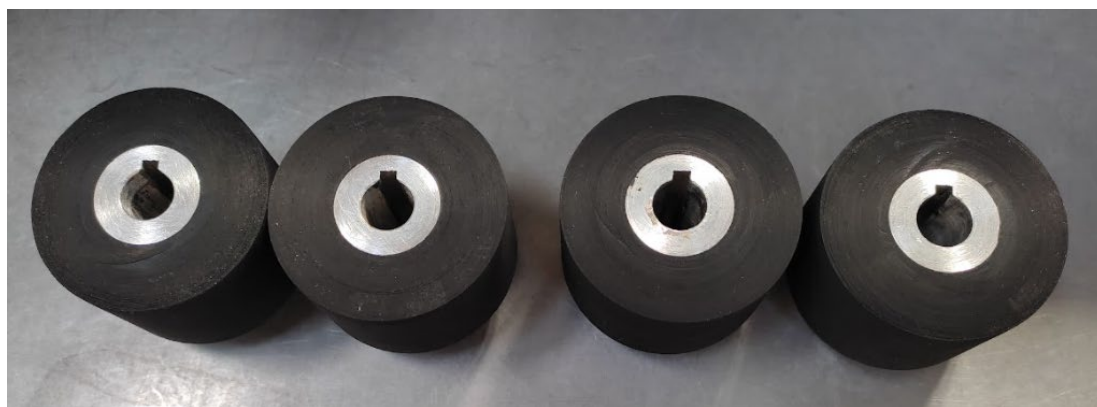
Tabla 28

Especificaciones de los rodillos de arrastre

Material	Diámetro [mm]	Índice de porosidad	Dureza Brinell	Fabricante	Cantidad
Nitrilo	55	40%	70	Super Cauchos Cia. Ltda.	4

Figura 42

Rodillos para la etapa de arrastre



Rodillos de expulsión.

En la etapa de expulsión, luego del corte, la fajilla entra en contacto con los rodillos de expulsión a una velocidad menor de la que giran estos rodillos, provocando rasgaduras en la fajilla e impregnaciones de color debido a que en esta etapa existe presencia de humedad debido a que las latas vienen mojadas y la banda transportadora está en constante lubricación. Para evitar estos efectos indeseables en el producto final, se ha seleccionado el material con las especificaciones que se detallan en la Tabla 29.

Tabla 29

Especificaciones de los rodillos de expulsión

Material	Diámetro [mm]	Índice de porosidad	Dureza Brinell	Fabricante	Cantidad
Nitrilo	55	70%	55	Super Cauchos Cia. Ltda.	2

Figura 43

Rodillos para la etapa de expulsión

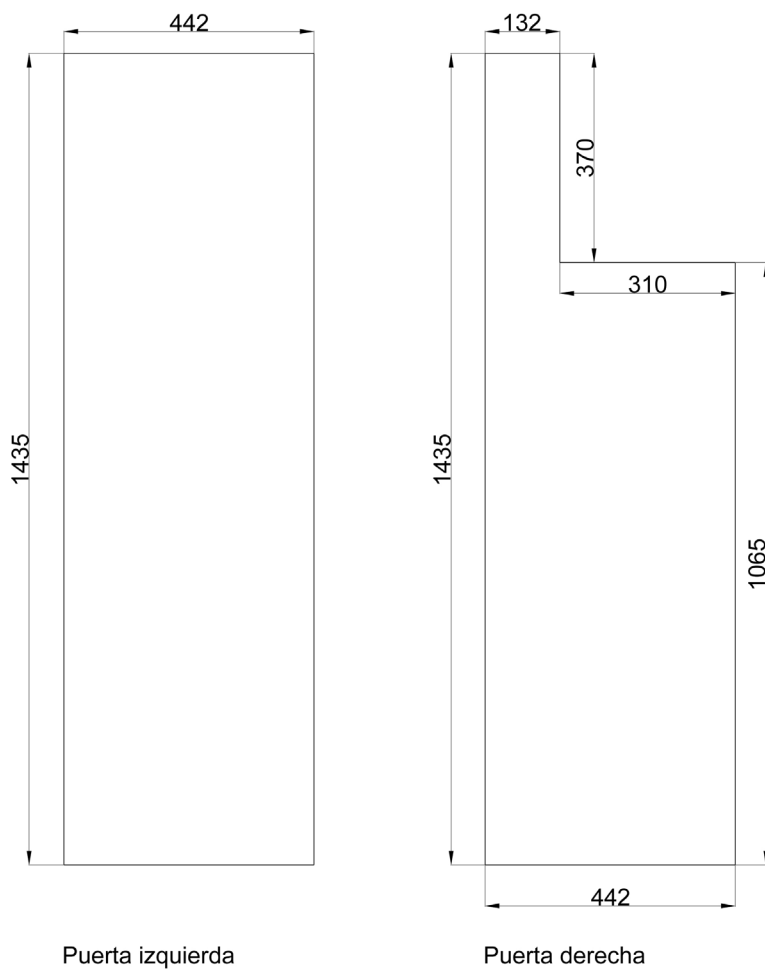


Puertas

Se desmontó los perfiles de las puertas para poder realizar la toma de medidas de las dimensiones para fabricar unas nuevas en acrílico transparente como se muestran en la Figura 44, además fue necesario realizar una limpieza a los perfiles ya que en estos se encontraba residuos de silicona caliente con la que habían sido fijadas las planchas de acrílico anteriores, también fue necesario un proceso de limpieza de los perfiles ya que en estos había impregnación de suciedad.

Figura 44

Dimensiones para los acrílicos de las puertas

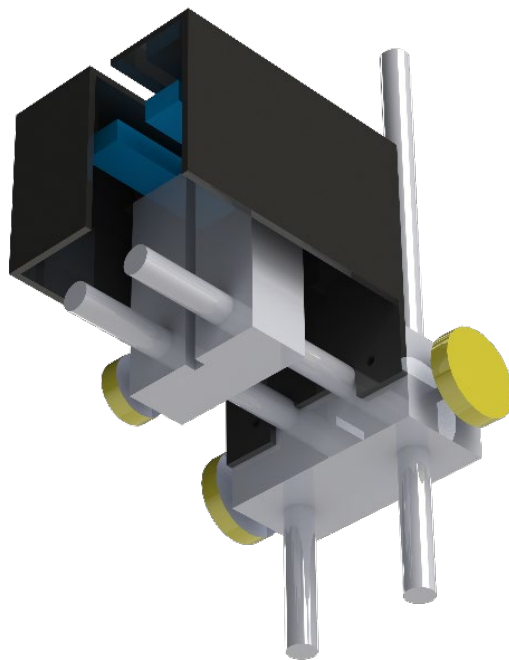


Cubierta

Con el objetivo de reducir el ruido de la luz ambiental que afecta al sensor de contraste (taca), se ha diseñado una cubierta. El modelamiento CAD de esta cubierta que se muestra en la Figura 45, estuvo delimitado por el espacio disponible y el tipo de montaje que se le puede dar además de permitir la calibración y el monitoreo constante del sensor durante el proceso de enfajillado. El material seleccionado para este fin es PLA de color negro con el proceso de manufactura por impresión 3D.

Figura 45

Modelado de la cubierta para el sensor de contraste

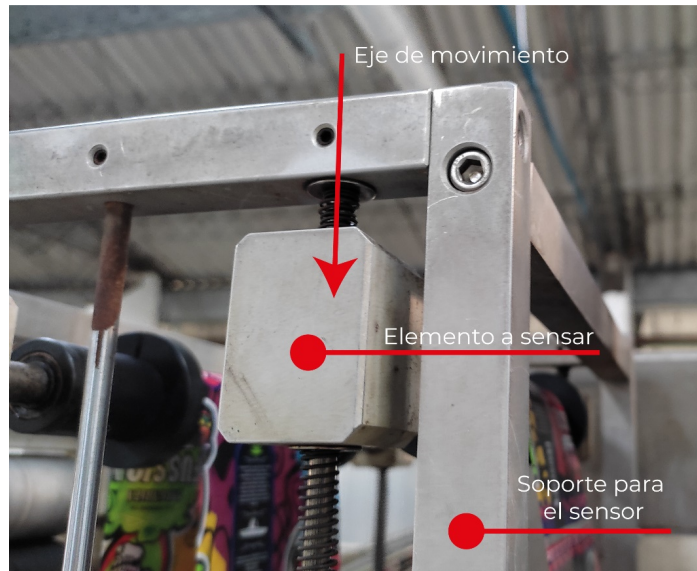


Soporte para el sensor de alimentación de material.

Luego de haber seleccionado el sensor inductivo para la etapa de alimentación de material y con las consideraciones para realizar el montaje que se muestran en la Figura 46, se realiza el diseño del soporte.

Figura 46

Consideraciones para el montaje del soporte del sensor inductivo



Una vez terminado el diseño CAD del soporte que se muestra en la Figura 47, se realiza análisis estáticos para determinar la resistencia considerando su montaje en la estructura y la carga que es el peso del sensor.

Figura 47

Diseño CAD del soporte para el sensor de material

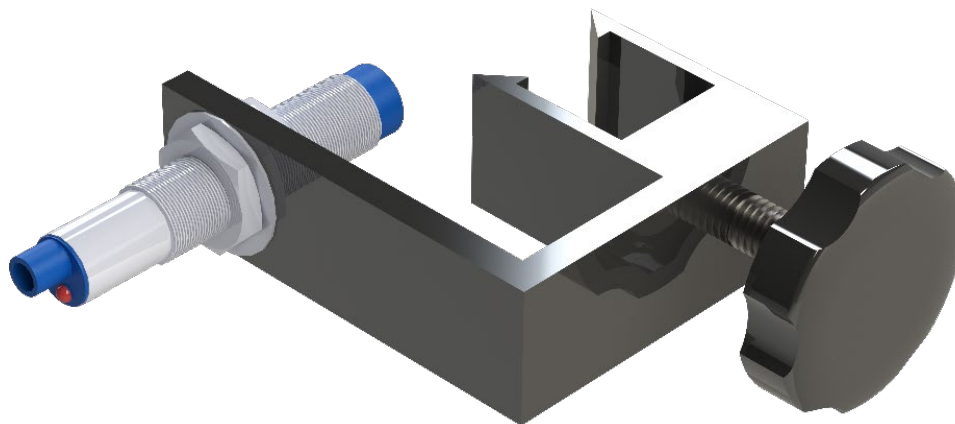
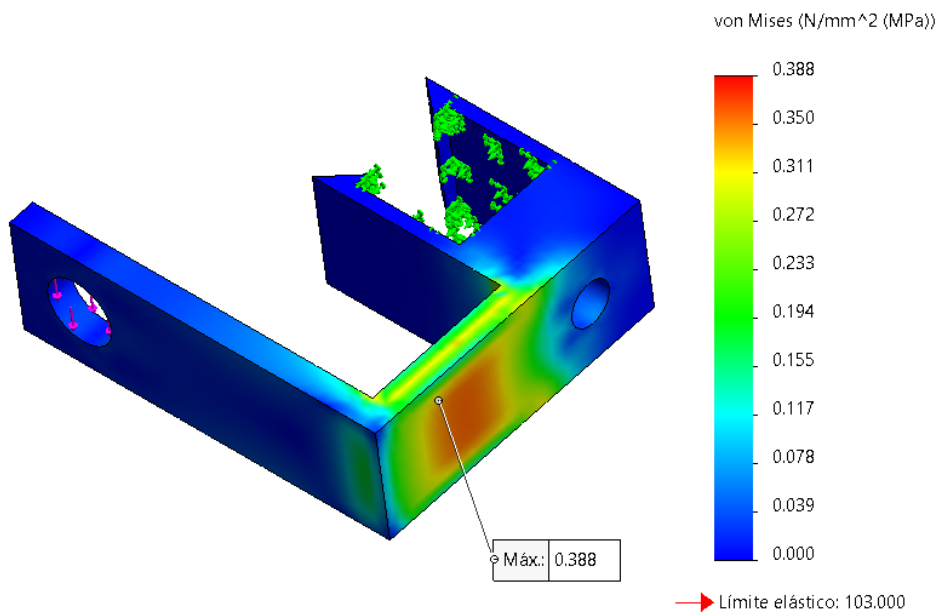
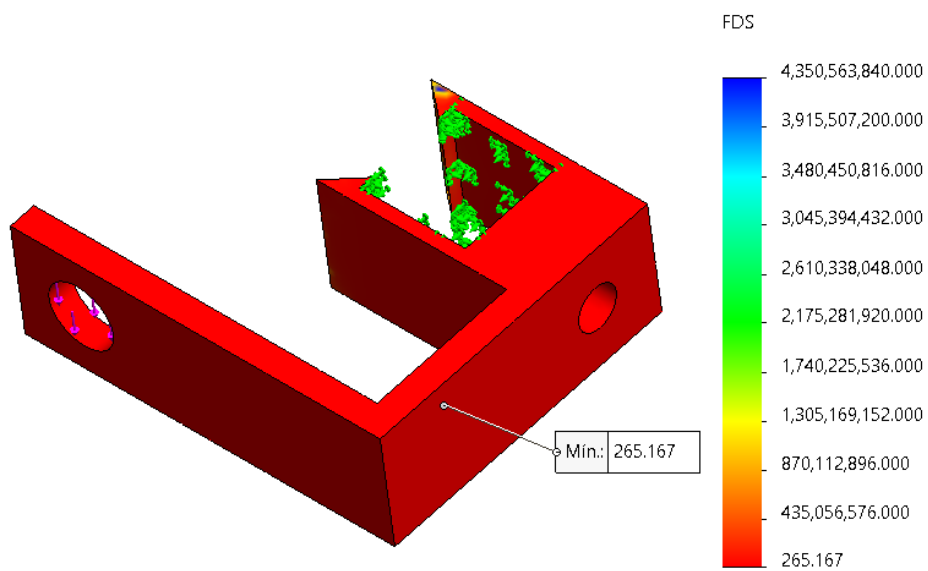


Figura 48

Análisis de esfuerzos del soporte para el sensor de material

**Figura 49**

Análisis del factor de seguridad del soporte para el sensor de material



Previo a la manufactura de la pieza es necesario estudiar si el diseño cumple con los requerimientos de resistencia para la función que desempeñará. Los resultados de los análisis de esfuerzos y factor de seguridad se presentan en la Figura 48 y la Figura 49 respectivamente. Se ha considerado el peso del sensor como la única carga a la que el soporte se encuentra sometido, dando como resultado una fuerza de:

$$F = m \times g \quad (6)$$

$$F = 70 \times 10^{-3} [kg] \times 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (7)$$

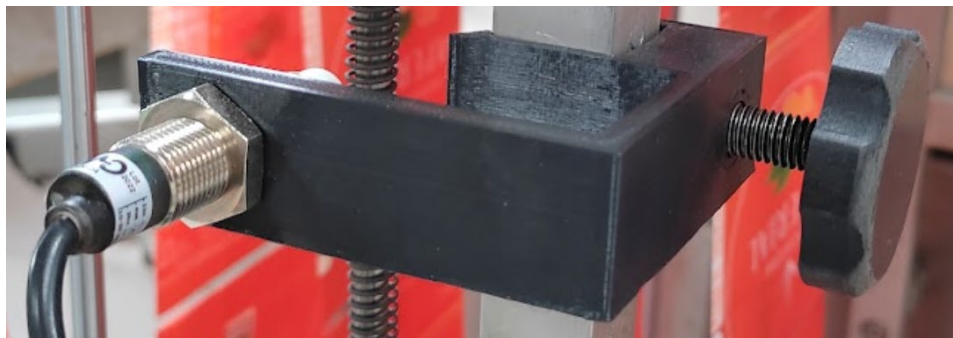
$$F = 0.69 [N] \quad (8)$$

El resultado de los análisis indica que, el soporte diseñado cumple satisfactoriamente los requerimientos de carga.

El proceso de manufactura seleccionado es impresión 3D con el material PLA debido a que ofrece buenas características mecánicas considerando que no se somete a cargas externas considerables, sino que soporta únicamente el peso del sensor, además de que al ser un polímero no se ve afectado por la corrosión.

Figura 50

Montaje del soporte en la estructura de la máquina

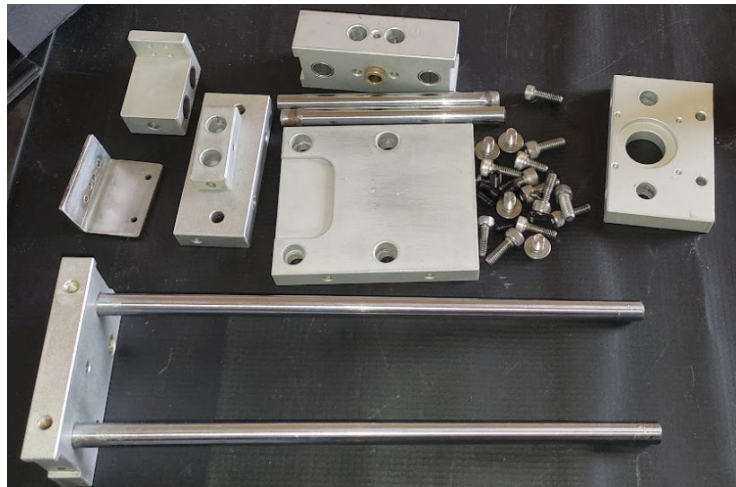


Sistema de posicionamiento del sensor de producto.

Se realizó el desmontaje y despiece del sistema de posicionamiento del sensor de producto, con el objetivo de someterlo a un proceso de limpieza y lubricación, posteriormente se hizo el modelamiento CAD del sistema para diseñar el mecanismo de engranajes y manivela que contralarán la posición del sensor.

Figura 51

Despiece del sistema de posicionamiento del sensor de producto



Una vez modeladas las piezas necesarias del sistema y considerando el espacio disponible para el mecanismo de engranajes y manivela se realizó el dimensionamiento y cálculos del par de engranajes cónicos.

La relación de transmisión se elige como una reducción debido a que se requiere una mejor precisión en el posicionamiento del sensor de producto de manera manual y el módulo se selecciona por condiciones de espacio disponible:

$$i = \frac{4}{3} \quad (9)$$

$$m = 2.25 \text{ mm} \quad (10)$$

Piñón:

$$Z_{p1} = 12 \text{ dientes} \quad (11)$$

$$\phi = 20^\circ \quad (12)$$

$$d_{p1} = m \cdot Z_{p1} = 27 \text{ mm} \quad (13)$$

Rueda:

$$Z_{r2} = Z_{p1} \cdot i = 16 \text{ dientes} \quad (14)$$

$$D_{p2} = m \cdot Z_{r2} = 36 \text{ mm} \quad (15)$$

Parámetros generales

Ángulo de inclinación del piñón:

$$\gamma_{p1} = \text{atan}\left(\frac{d_{p1}}{D_{p2}}\right) = 36.87^\circ \quad (16)$$

Ángulo de inclinación de la rueda:

$$\Gamma_{r2} = \text{atan}\left(\frac{D_{p2}}{d_{p1}}\right) = 53.13^\circ \quad (17)$$

Ángulo entre ejes:

$$\Sigma = \gamma_{p1} + \Gamma_{r2} = 90^\circ \quad (18)$$

Largo del cono de paso:

$$A_o = \sqrt{\frac{D_{p2}^2 + d_{p1}^2}{4}} = 22.50 \text{ mm} \quad (19)$$

Ancho de la cara (se elige este valor para mejorar la durabilidad de las piezas debido a que serán manufacturadas por impresión 3D):

$$B = 15 \text{ mm} \quad (20)$$

Holgura:

$$c = 0.188 \cdot m + 0.002 \cdot 25.4 = 0.47 \text{ mm} \quad (21)$$

Altura de trabajo:

$$h_k = 2 \cdot m = 4.50 \text{ mm} \quad (22)$$

Altura total del diente:

$$h = h_k + c = 4.97 \text{ mm} \quad (23)$$

Adendum de la rueda:

$$a_{r2} = 0.54 \cdot m + \frac{0.46 \cdot m}{i^2} = 1.80 \text{ mm} \quad (24)$$

Dedendum de la rueda:

$$b_{r2} = h - a_{r2} = 3.18 \text{ mm} \quad (25)$$

Dedendum del piñón:

$$b_{p1} = a_{r2} + c = 2.27 \text{ mm} \quad (26)$$

Adendum del piñón:

$$a_{p1} = h - b_{p1} = 2.70 \text{ mm} \quad (27)$$

Ángulo de inclinación del adendum del piñón:

$$\delta_{ap1} = \text{atan}\left(\frac{a_{p1}}{A_o}\right) = 6.85^\circ \quad (28)$$

Ángulo de inclinación del dedendum del piñón:

$$\delta_{bp1} = \text{atan}\left(\frac{b_{p1}}{A_o}\right) = 5.76^\circ \quad (29)$$

Ángulo de inclinación del cono externo del piñón:

$$\gamma_{ap1} = \gamma_{p1} + \delta_{ap1} = 43.72^\circ \quad (30)$$

Ángulo de inclinación del cono interno del piñón:

$$\gamma_{bp1} = \gamma_{p1} - \delta_{bp1} = 31.11^\circ \quad (31)$$

Ángulo de inclinación del adendum de la rueda:

$$\delta_{ar2} = \text{atan}\left(\frac{a_{r2}}{A_o}\right) = 4.57^\circ \quad (32)$$

Ángulo de inclinación del dedendum de la rueda:

$$\delta_{br2} = \text{atan}\left(\frac{b_{r2}}{A_o}\right) = 8.04^\circ \quad (33)$$

Ángulo de inclinación del cono externo de la rueda:

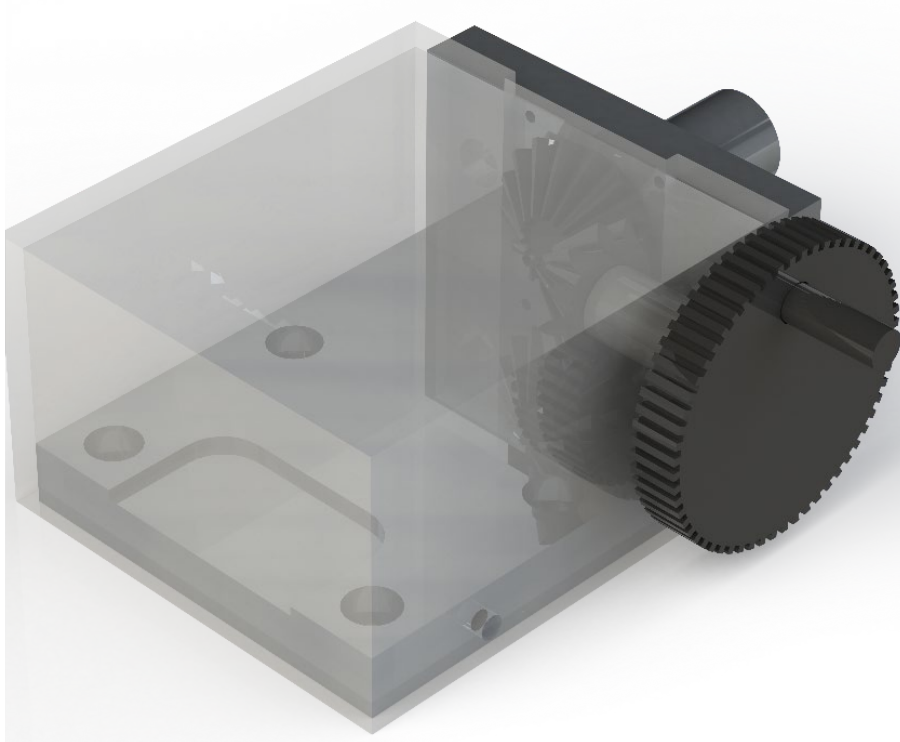
$$\Gamma_{ar2} = \Gamma_{r2} + \delta_{ar2} = 57.70^\circ \quad (34)$$

Ángulo de inclinación del cono interno de la rueda:

$$\Gamma_{br2} = \Gamma_{r2} - \delta_{br2} = 45.09^\circ \quad (35)$$

Figura 52

Modelamiento CAD del mecanismo de engranajes y manivela



Para el análisis de esfuerzos y factores de seguridad en la manivela y en el par de engranajes cónicos del mecanismo, se ha considerado la fuerza máxima promedio de una persona adulta de género masculino la cual corresponde a un valor de 27.5 [kgf] o 269.68 [N] (Lázaro, Losantos, & Bayo, 2008). La carga de este sistema consiste en el sensor de producto y el carro sobre el que se monta el mismo, este conjunto pesa 355.6 [g], para simplificar el análisis por software y debido a que no se tiene un requerimiento de carga muy alto se considerará que la rueda cónica permanece fija.

En la Figura 53, se representan la posición y distancia de la fuerza que se aplica en la manivela para determinar el torque el cual toma un valor de:

$$T = F \times d \quad (36)$$

Donde:

T = Torque [N x m]

F = Fuerza aplicada sobre la manivela [N]

d = Distancia de la fuerza al centro del eje de rotación [m]

$$T = 269.68 [N] \times 0.02 [m] \quad (37)$$

$$T = 5.39 [N \cdot m] \quad (38)$$

Figura 53

Consideraciones para los análisis de esfuerzos y factores de seguridad

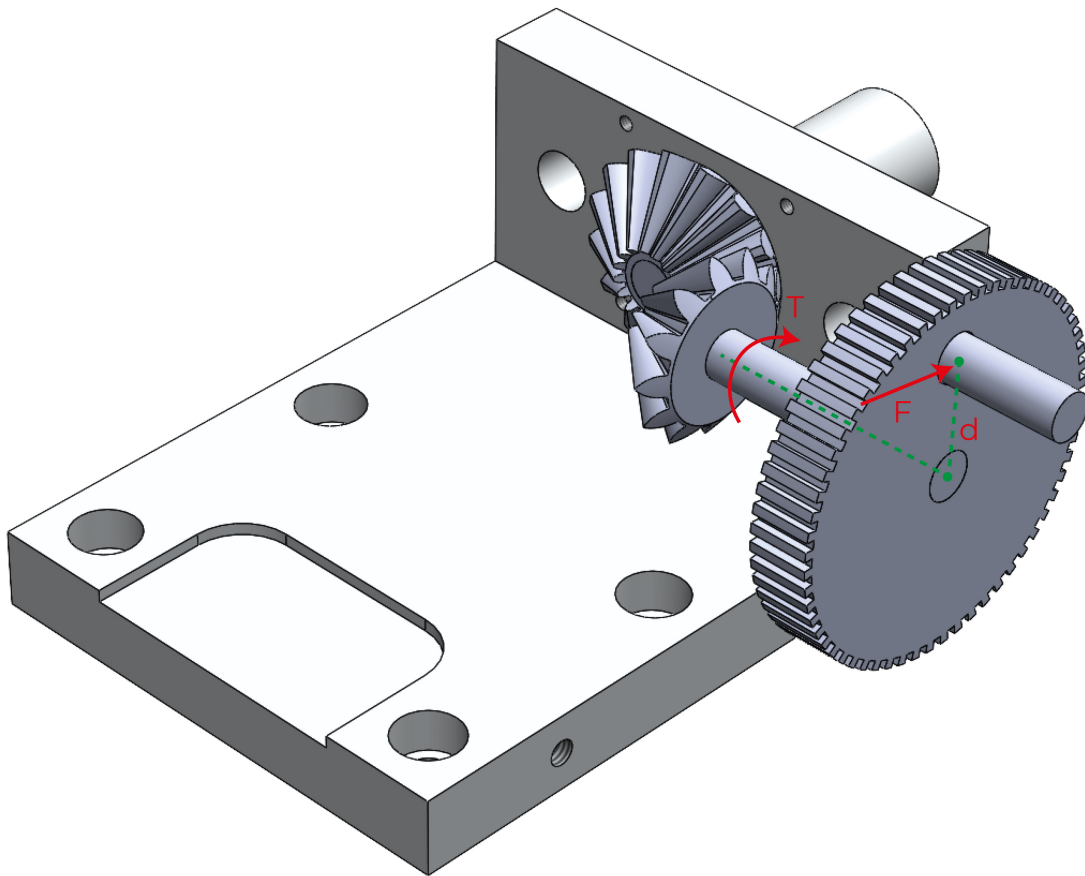


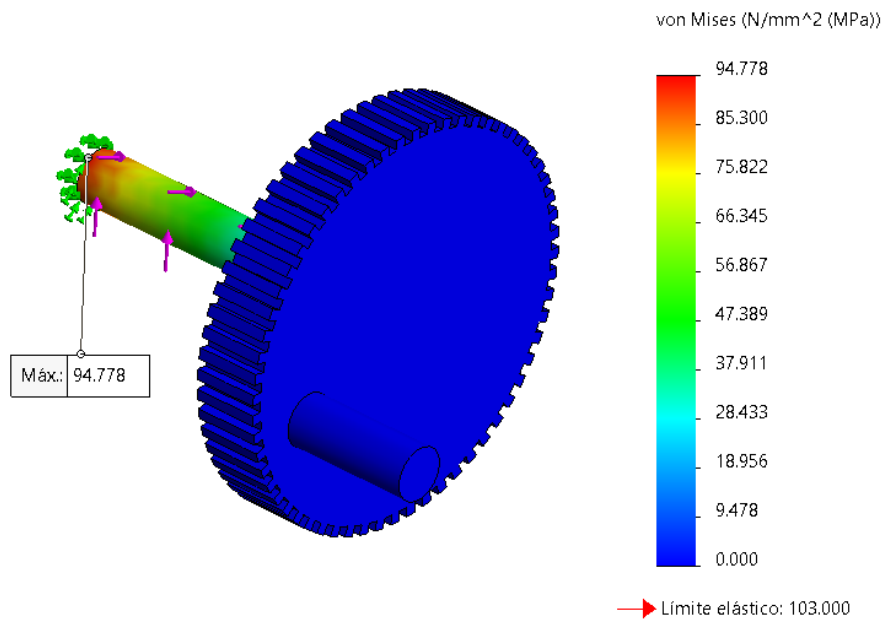
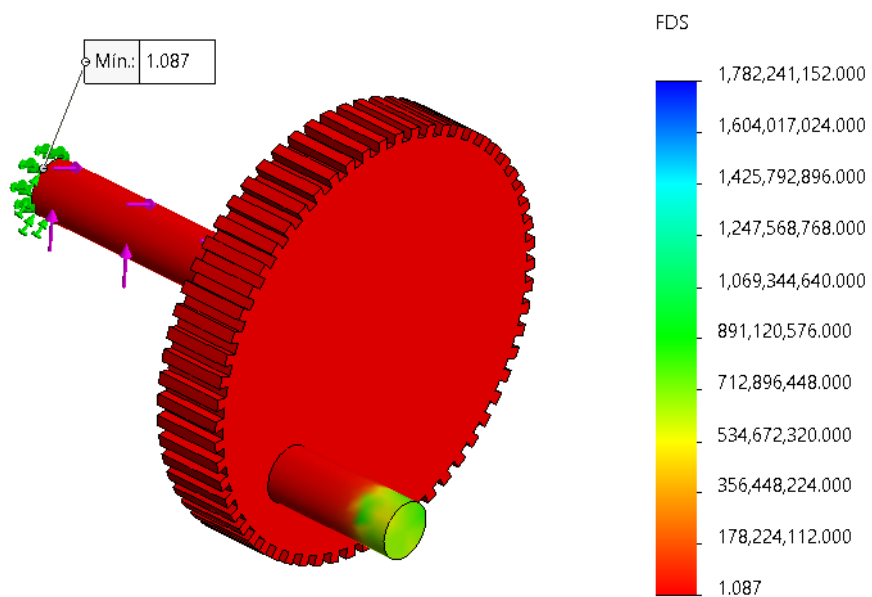
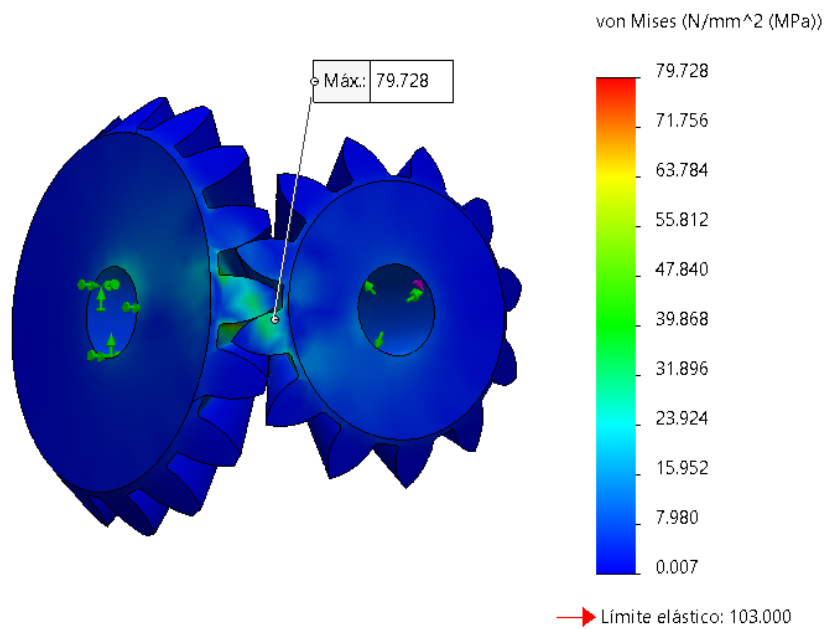
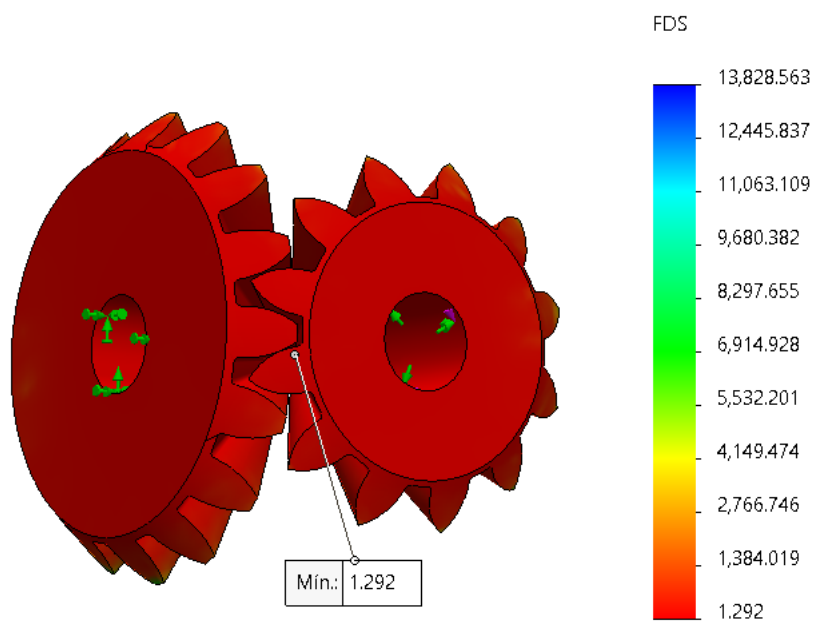
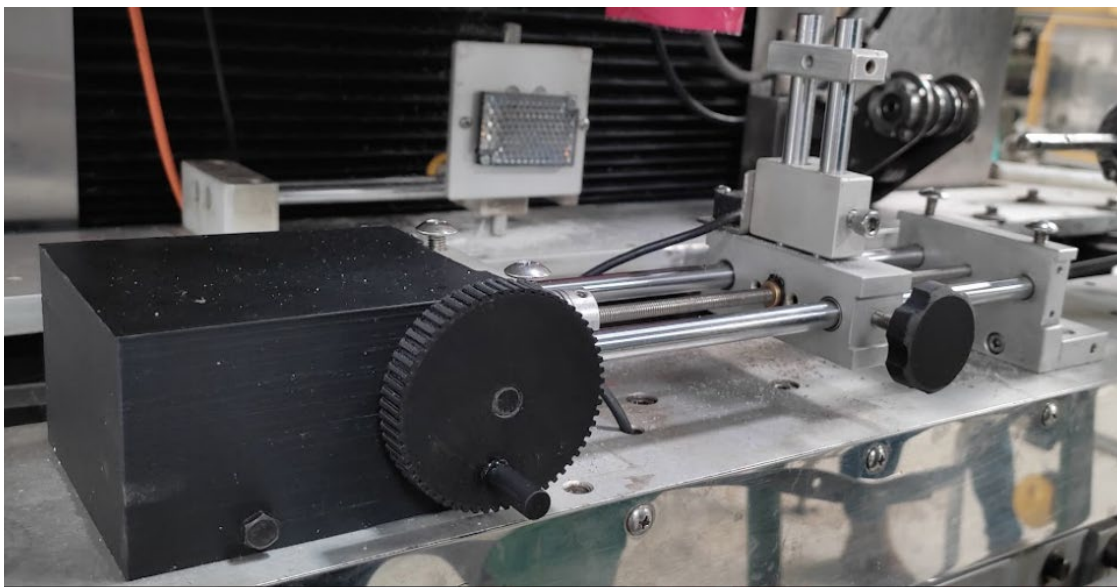
Figura 54*Análisis de esfuerzos de la manivela***Figura 55***Análisis del factor de seguridad de la manivela*

Figura 56*Análisis de esfuerzos de los engranajes***Figura 57***Análisis del factor de seguridad de los engranajes*

Previo al proceso de manufactura del mecanismo, se realizaron los análisis estáticos para determinar esfuerzos y factores de seguridad para los cuales se consideró el material PLA, las dimensiones y por último la fuerza máxima promedio de un hombre. Los resultados de los análisis indican que las piezas del mecanismo si resisten las cargas colocadas y se obtiene un factor de seguridad de 1.1 (menor valor obtenido) lo que podría considerarse como un diseño con un bajo porcentaje de seguridad, sin embargo, el análisis por software se lo realiza con consideraciones para el peor de los casos, es decir, con restricciones de movimiento por lo que una de las piezas del sistema se encuentra fija. Basados en el uso real que este mecanismo tendrá en el funcionamiento de la máquina, este no se vería afectado en su desempeño y durabilidad con su uso frecuente.

Figura 58

Ensamble y montaje del sistema de posicionamiento del sensor de producto

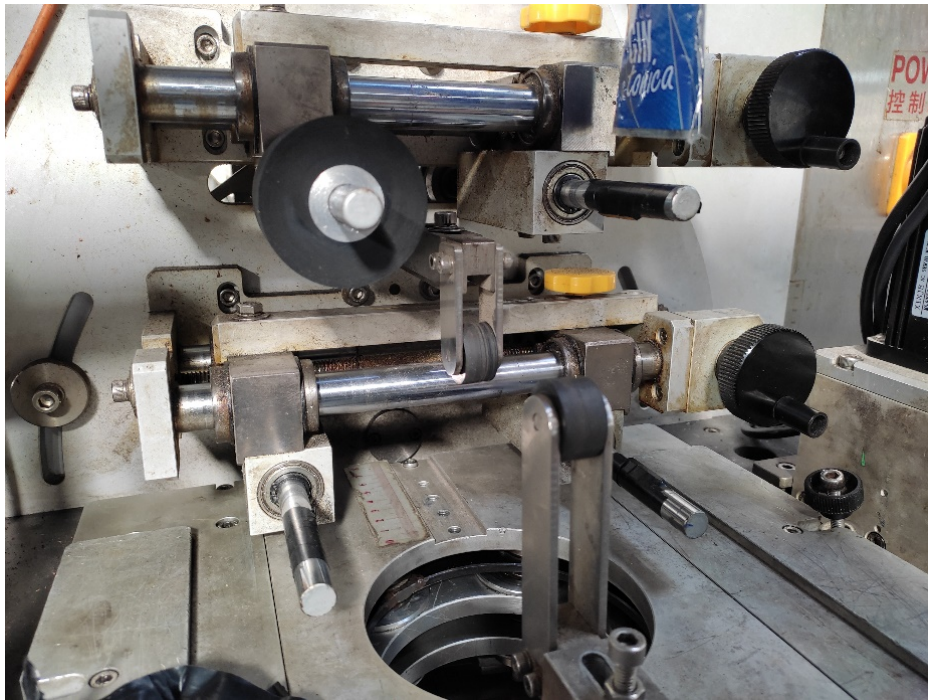


Sistema de transmisión de movimiento para la etapa de arrastre.

El sistema de transmisión de movimiento para la etapa de arrastre se sometió a un procedimiento de mantenimiento preventivo, el cual consistió en el desmontaje, limpieza y lubricación de todos los componentes mecánicos que conforman este sistema.

Figura 59

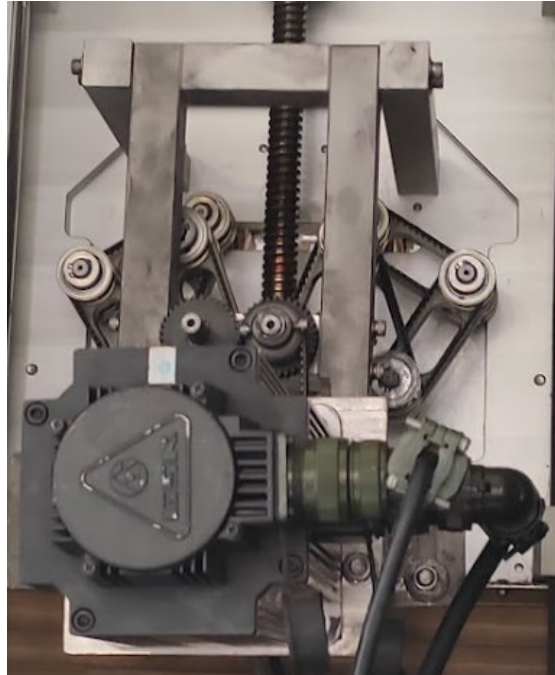
Estado del sistema previo al mantenimiento



Nota: Es evidente la acumulación de suciedad y óxido además de la falta de lubricación presente en los componentes del sistema de transmisión de movimiento de la etapa de arrastre.

Figura 60

Estado del conjunto mecánico de engranajes, poleas y correas previo al mantenimiento

**Figura 61**

Desmontaje para la limpieza y lubricación

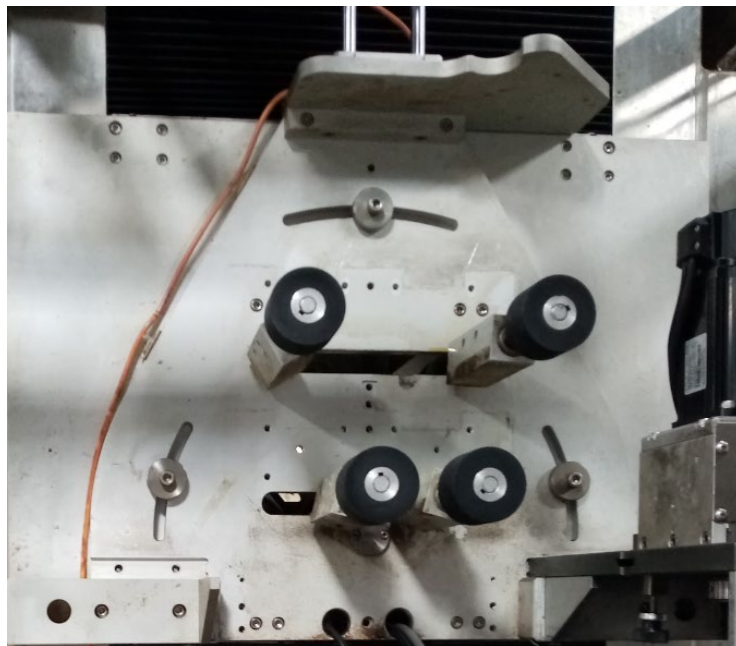
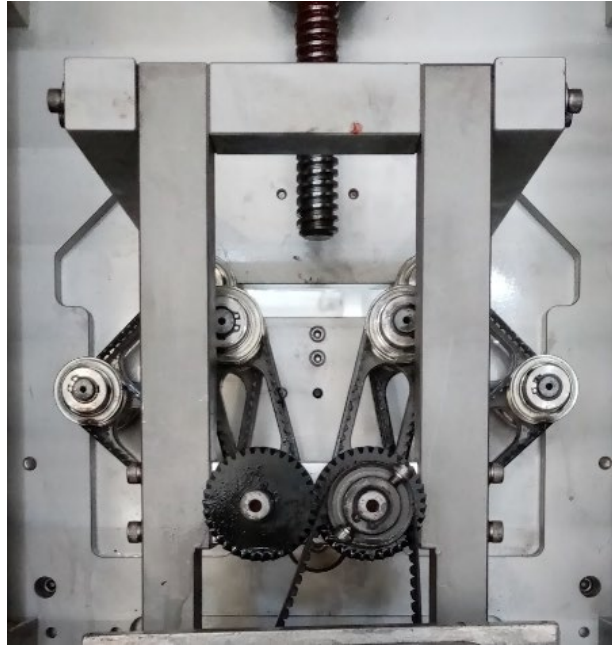
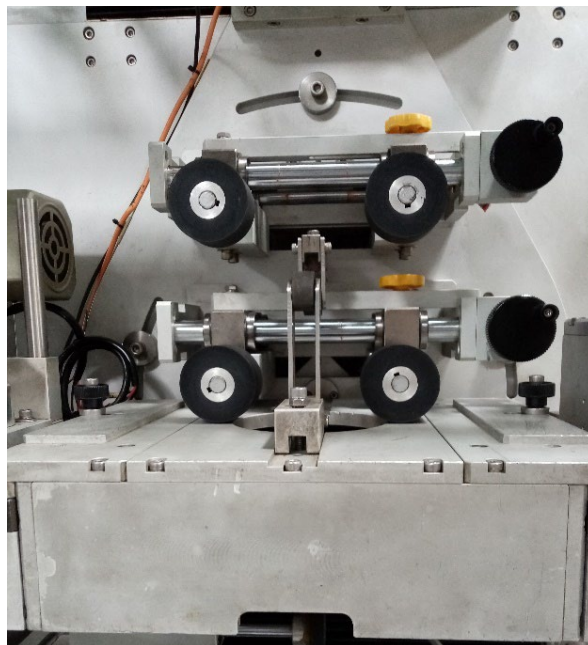


Figura 62

Limpieza y lubricación del conjunto mecánico de engranajes, poleas y correas

**Figura 63**

Estado del sistema posterior al mantenimiento de limpieza y lubricación



Sistema de transmisión de movimiento para la etapa de expulsión.

El sistema de transmisión de movimiento para la etapa de expulsión, de igual manera que para la etapa de arrastre, se sometió a un procedimiento de mantenimiento preventivo, el cual consistió en el desmontaje, limpieza y lubricación de todos los componentes mecánicos que conforman este sistema.

Figura 64

Desmontaje del sistema de transmisión de movimiento de la etapa de expulsión

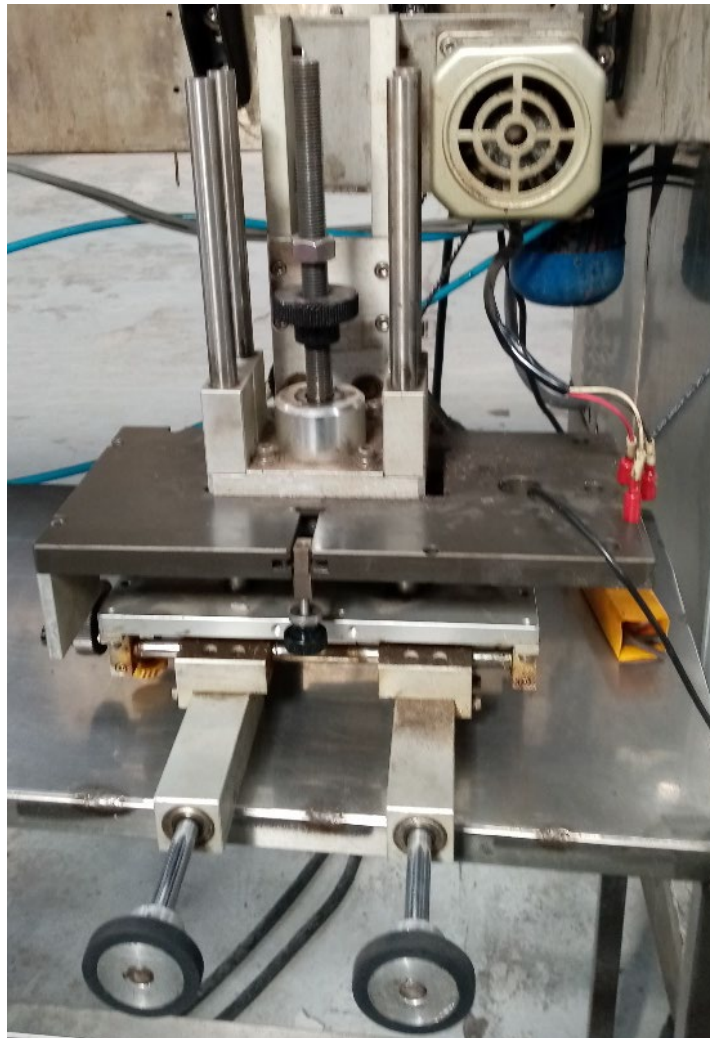
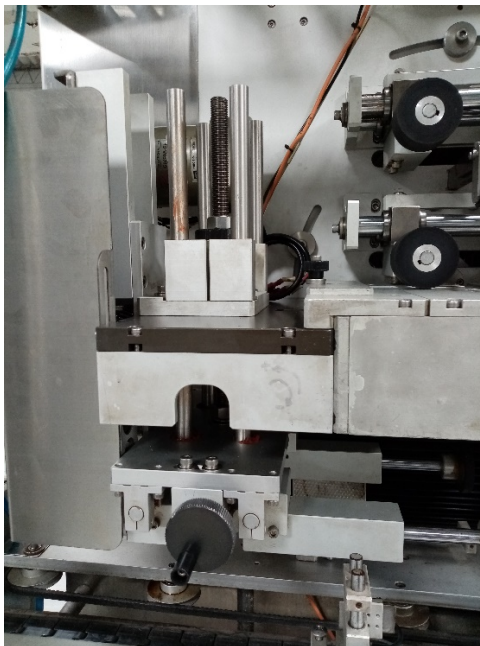


Figura 65

Limpeza y lubricación del conjunto mecánico de engranajes, poleas y correas

**Figura 66**

Montaje del sistema de transmisión de movimiento de la etapa de expulsión posterior al mantenimiento



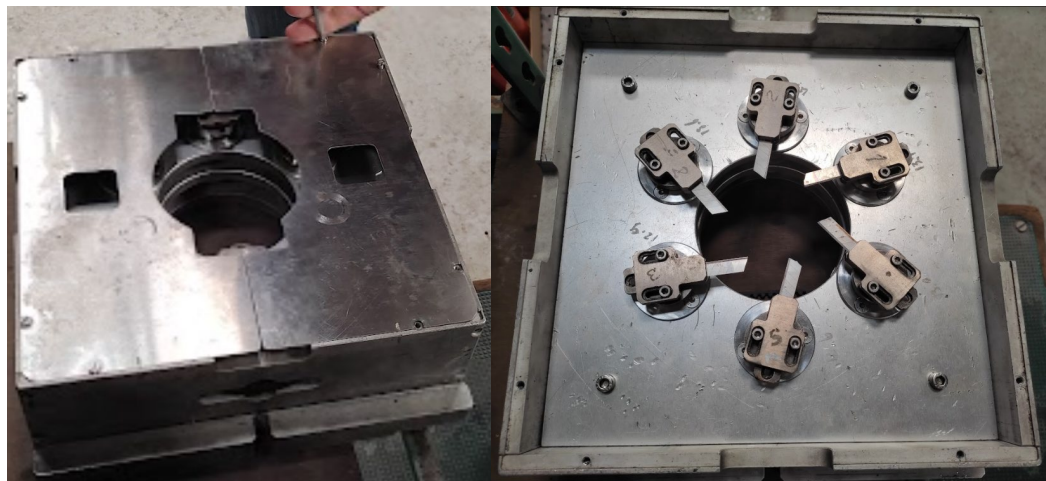
Sistema de cuchillas del cabezal de corte.

Para realizar el mantenimiento correctivo del sistema de cuchillas del cabezal se realizaron los siguientes pasos:

- Desmontaje de las tapas de seguridad que cubren los bujes donde se alojan las cuchillas de corte.
- Desmontaje de las cuchillas de los bujes.
- Desmontaje de los bujes del cabezal.
- Rectificado de la base de referencia para nivelar los 6 bujes.
- Montaje, calibración y sincronización de los bujes.
- Colocación de fijador de roscas.
- Reemplazo de cuchillas.
- Colocación de las tapas de seguridad.

Figura 67

Mantenimiento del sistema de cuchillas del cabezal de corte

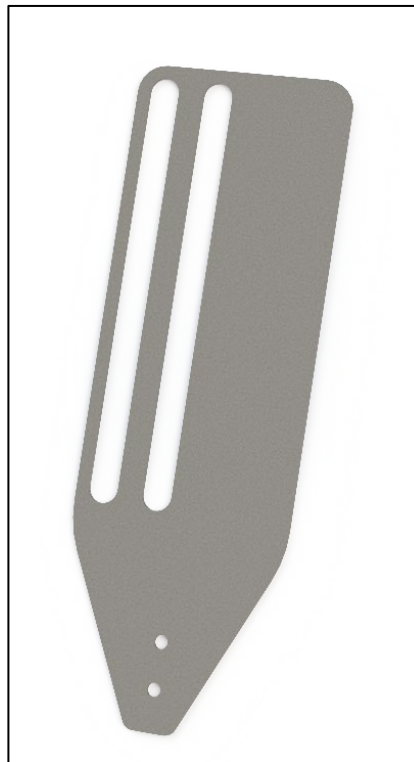


Formador para la manga de etiquetas.

Se realizó la toma de medidas para el modelamiento y rediseño de la paleta del formador para la manga de etiquetas. Se tomaron en cuenta las dimensiones de las etiquetas y la posición del sensor de taca. El material original de la paleta era acero inoxidable AISI 304 de 2 [mm] de espesor por lo que la nueva paleta se manufacturó bajo las mismas condiciones.

Figura 68

Paleta del formador para la manga de etiquetas

**Integración de los sistemas reacondicionados**

Con los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control repotenciados, se procedió a integrarlos a la máquina con el objetivo de desarrollar las pruebas de funcionamiento las cuales se analizan a detalle en el Capítulo 4.

Figura 69

Parte frontal de la máquina con los sistemas mecánicos reacondicionados

**Figura 70**

Parte trasera de la máquina con el sistema de control repotenciado

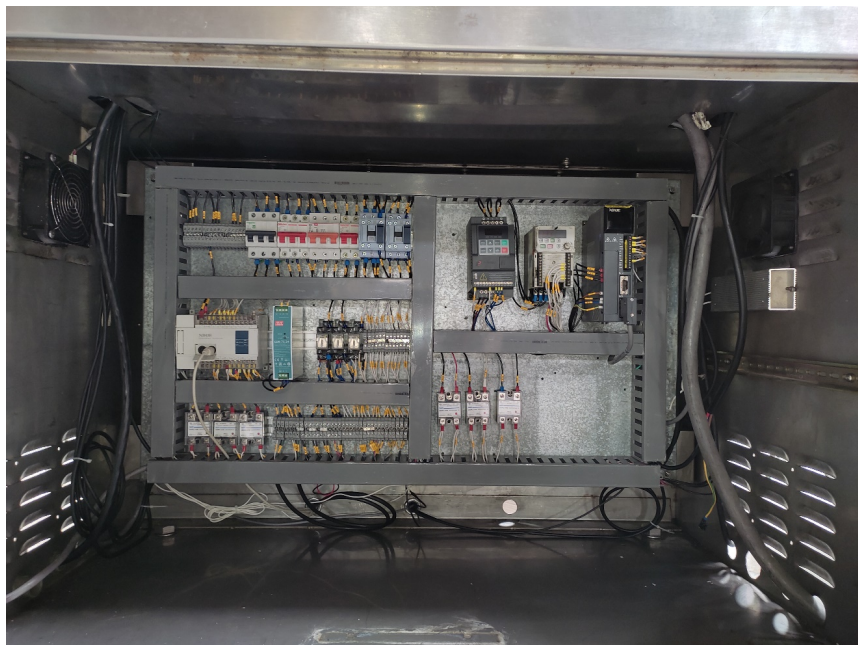
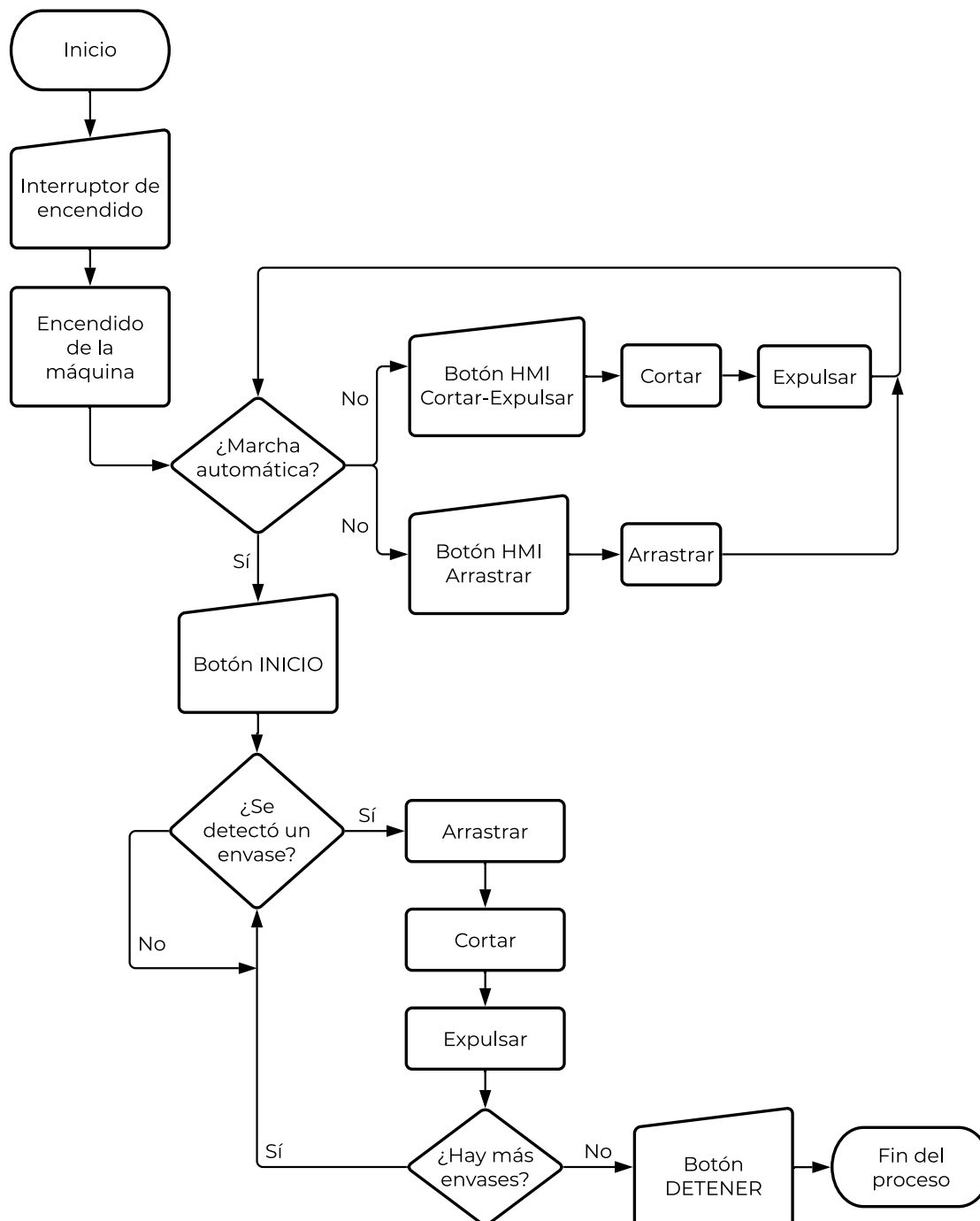


Figura 71

Diagrama de flujo de la máquina enfajilladora



CAPÍTULO 4

Pruebas y Resultados

Protocolo experimental

Una vez integrados los sistemas repotenciados, se procede a realizar pruebas de funcionamiento de la máquina. La puesta en marcha de la máquina sigue una secuencia de pasos los cuales se detallan a continuación:

1. Alinear el formador cilíndrico de etiquetas con respecto al cabezal de corte priorizando el paralelismo y perpendicularidad entre estos elementos.
2. Montar el rollo de etiquetas y ajustar el carrete al diámetro interior del rollo haciendo que estos dos elementos se muevan como un solo cuerpo.
3. Pasar la manga del rollo de etiquetas por el sistema de rodillos liberadores de tensión priorizando la alineación por todo el trayecto hasta llegar al formador.
4. Verificar que los rodillos del motor de alimentación de material, los rodillos de la etapa de arrastre y los rodillos de la etapa de expulsión se encuentren correctamente ajustados.
5. Verificar que el rodillo de tensión no se encuentre debajo del sensor de alimentación.
6. Ajustar la sensibilidad del sensor de contraste según el color de la etiqueta.
7. Alinear las guías de la banda transportadora y el tornillo separador con el formador cilíndrico de etiquetas para el paso de los envases.
8. Calibrar la altura del cabezal de corte considerando que exista al menos 10 cm de separación entre el formador y la parte superior del envase.

9. Calibrar la posición del sensor de producto.
10. Seleccionar la velocidad deseada de la banda transportadora.
11. Ajustar la separación de los envases ajustando la velocidad del tornillo separador.

En la línea de latas de la fábrica para la cual opera la máquina, se maneja una presentación en cajas las cuales contienen 24 envases, por este motivo se ha considerado que todas las pruebas y análisis de resultados exceptuando las de producción se realizaran con este número de iteraciones.

Pruebas en vacío

Objetivos

Verificar el correcto funcionamiento de la secuencia de operación de la máquina.

Verificar que la secuencia de operación cumpla con el proceso de enfajillado adecuadamente.

Responsables

- Charly Bryan Chiriboga Tapia
- Joel Alejandro Parra García

Actividades

1. Realizar la puesta en marcha de la máquina siguiendo el protocolo experimental.
2. Ejecutar la prueba.
3. Inspeccionar el proceso de enfajillado sin interrumpirlo.
4. Verificar el corte de las fajillas.

5. Comprobar la velocidad de producción alcanzada.

Resultados

Una vez culminada la prueba de vacío, los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 30.

Tabla 30

Evaluación de los resultados de las pruebas en vacío

Requerimiento	Observaciones
Las etapas de la secuencia se ejecutan en el orden correcto	Cumple
La etapa de alimentación de material se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de arrastre se realiza adecuadamente	No cumple
La etapa de corte se realiza adecuadamente	No cumple
La etapa de expulsión se realiza adecuadamente	Cumple
El corte de las fajillas es uniforme en todas las iteraciones	No cumple
No existen atascamientos durante el proceso de enfajillado	No cumple

Observaciones

Debido a que, en las pruebas de vacío, el objetivo es verificar que la secuencia programada en el PLC controle de manera correcta el funcionamiento de sensores y actuadores, se omite el uso de envases y únicamente se realiza la activación del sensor de producto manualmente para el inicio de la secuencia de enfajillado.

- Se evidencia que la señal que emite el sensor de contraste no es captada lo suficientemente rápido por el PLC, lo que ocasiona variaciones en el corte de las fajillas.
- Se evidencian atascamientos de la manga de etiquetas entre los rodillos de arrastre y el formador.
- La posición de las cuchillas del cabezal de la etapa de corte no se mantiene constante en cada ciclo, lo que genera atascamientos de la fajilla antes de su expulsión.
- Cuando se realizan varias iteraciones en un corto período de tiempo, las etapas de arrastre y corte sufren un desfase ocasionando un corte a la mitad de la fajilla.
- Cada vez que se ejecuta la etapa de alimentación de material, genera una variación notable en el corte de la fajilla.

Correcciones

- Con el objetivo de mejorar la velocidad de respuesta a la señal emitida por el sensor de contraste, este fue conectado a una entrada rápida del PLC y su señal fue utilizada dentro de una interrupción en la programación.
- La utilización de escuadras y nivel para la colocación del formador, y, además, el ajuste adecuado de los rodillos de arrastre, permiten que la manga de etiquetas tenga holgura y así se pueda evitar el atascamiento durante la etapa de arrastre.
- El control de posición por pulsos para el servo drive de corte, no es suficiente para mantener constante la posición de las cuchillas ya que estas se ven afectadas por la resistencia al corte de la manga de etiquetas en cada ciclo y así

también por la inercia del eje del servomotor, la solución encontrada consiste en mantener siempre habilitado el servo drive el cual mantiene fija la posición de las cuchillas y espera un tren de pulsos para iniciar su movimiento.

- Se realiza un conteo de pulsos en la etapa de arrastre y si únicamente el número enviado de pulsos supera un valor umbral la etapa de corte puede ser ejecutada, este valor umbral es un valor de pulsos correspondiente a los necesarios para arrastrar al menos una cuarta parte de la longitud total de la fajilla.
- El tiempo de alimentación era excesivo por lo que se realizó una calibración utilizando el método prueba y error para determinar un tiempo que reduzca estas variaciones en el corte.

Pruebas preliminares

Objetivos

Verificar el correcto funcionamiento de la secuencia de operación de la máquina.

Verificar que no existan variaciones excesivas en las dimensiones de las fajillas cortadas.

Verificar que las fajillas sean colocadas sobre todos los envases.

Comprobar que la velocidad de producción cumpla con el requerimiento de 150 unidades por minuto.

Responsables

- Charly Bryan Chiriboga Tapia
- Joel Alejandro Parra García

Actividades

1. Realizar la puesta en marcha de la máquina siguiendo el protocolo experimental.
2. Colocar los envases en la banda transportadora.
3. Ejecutar la prueba.
4. Inspeccionar el proceso de enfajillado sin interrumpirlo.
5. Verificar el corte de las fajillas.
6. Verificar la colocación de las fajillas en los envases.
7. Comprobar la velocidad de producción alcanzada.

Resultados

Tabla 31

Evaluación de los resultados de las pruebas preliminares

Requerimiento	Observaciones
Las etapas de la secuencia se ejecutan en el orden correcto	Cumple
La etapa de alimentación de material se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de arrastre se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de corte se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de expulsión se realiza adecuadamente	Cumple
El corte de las fajillas es uniforme en todas las iteraciones	No cumple
Todas las fajillas fueron colocadas en los envases	No cumple

Requerimiento	Observaciones
La velocidad de producción corresponde a 150 unidades por minuto	No cumple
No existen atascamientos durante el proceso de enfajillado	Cumple

Observaciones

Para las pruebas preliminares, se emplearon envases secos que ya se encontraban encajonados y listos para ser enfajillados.

- El corte sigue teniendo variaciones notables en cada ciclo que superan la medida de 1 milímetro que es la permitida por el departamento de control de calidad de la fábrica.
- Las fajillas no caen con firmeza sobre los envases lo que ocasiona que estos caigan y hagan un efecto domino.
- Las fajillas presentan rasgaduras ocasionadas por los rodillos de expulsión.
- La velocidad máxima alcanzada es de 80 unidades por minuto de manera estable.

Correcciones

- La sensibilidad del sensor de contraste debe ser ajustada según el color de la etiqueta de trabajo.
- La frecuencia de operación del servomotor de arrastre debe ser incrementada con el objetivo de aumentar la velocidad de producción, considerando que el corte debe ser constante la frecuencia de operación no puede ser la máxima permitida.

- El carrete donde se encuentra montado el rollo de material cuenta con un freno mecánico el cual debe encontrarse completamente ajustado ya que de esta manera se mantiene una tensión estable durante todo el proceso de enfajillado.
- Para lograr una correcta colocación de las fajillas sobre los envases de producto, es necesario alinear el ingreso de estos con la parte inferior del formador, para lo cual fue necesaria la alineación de la banda transportadora con la máquina.

Comparación de parámetros de producción previos y posteriores a la realización del proyecto de titulación

Parámetros de producción previos a la implementación.

Previa a la implementación del proyecto, el proceso de enfajillado de latas se realizaba de manera manual, los parámetros de producción bajo estas condiciones se detallan en la Tabla 32. Las jornadas de producción para una sola presentación de producto consisten en 5 horas de trabajo para los operarios.

Tabla 32

Parámetros del proceso de enfajillado manual

Parámetro	Descripción
Velocidad de enfajillado	90 [unidades/min]
Porcentaje de desperdicios	0 %
Precisión del corte	± 0.3 [mm]
Volumen de producción (producto terminado)	10000 [unidades/día]
Número de operarios	9

Nota: Realizar un enfajillado manual implica quitar el lote completo de producto envasado de la banda transportadora y luego del enfajillado volver a poner el lote en la línea de producción para continuar el proceso por lo que existe una demora notoria en entregar el producto final.

Parámetros de producción posteriores a la implementación.

Posteriormente al desarrollo del trabajo de repotenciación de la máquina enfajilladora, los parámetros de producción obtenidos se detallan en la Tabla 33.

Tabla 33

Parámetros del proceso de enfajillado semiautomático

Parámetro	Descripción
Velocidad de enfajillado	150 [unidades/min]
Porcentaje de desperdicios	1 %
Precisión del corte	± 1 [mm]
Volumen de producción (producto terminado)	40000 [unidades/día]
Número de operarios	1

Nota: La empresa no cuenta con un sistema de empaquetado automático por lo que se genera un cuello de botella en la última etapa del proceso.

Comparación.

Velocidad de producción.

La velocidad de producción en la línea de enfajillado de latas paso de 90 unidades/min en el proceso manual a 150 unidades/min utilizando la máquina lo que presenta un incremento del 66.67%.

Porcentaje de desperdicios.

Debido a que en el proceso manual la fábrica adquiría las fajillas previamente cortadas, no existían desperdicios por corte u otros factores que afectan la calidad final del producto enfajillado, al utilizar la máquina, debido a que esta trabaja con sensores y actuadores que están sujetos a variaciones por condiciones físicas como velocidad, inercia, vibraciones, entre otros, genera desperdicios de alrededor de 1% en la producción mensual de la línea de latas.

Precisión del corte.

Por las mismas condiciones mencionadas en el apartado de porcentaje de desperdicios, la precisión del corte disminuye notablemente lo cual significa que la variación en el corte aumenta un 233% pero que al encontrarse dichas variaciones en el rango permitido por el departamento de control de calidad de la fábrica no trasciende como un problema considerable.

Volumen de producción.

El volumen de producción es el parámetro que más variación tiene con un incremento positivo de hasta el 300% trabajando a velocidad máxima lo cual permite eliminar el cuello de botella que se generaba en el proceso de enfajillado de la línea de latas.

Número de operarios.

El número de operarios destinados por la fábrica para el proceso de enfajillado reduce un 88.89% pasando de 9 operarios a 1 operario.

Desempeño de la HMI

La evaluación del diseño y desempeño de la HMI se ha realizado tomando las directrices de la guía GEDIS, para la cual se han considerado los indicadores que se encuentran en la Tabla 34 y cuyas ponderaciones van de 1 a 5, siendo 1 la más baja y 5 la más alta (Pere, Marta, & Andreu, 2006).

Los resultados obtenidos de la evaluación realizada a los cuatro operarios designados para la operación de la máquina se encuentran promediados y resumidos en la Tabla 34.

Tabla 34

Evaluación de la HMI

No.	Indicador	Evaluación	Observación
1	Arquitectura	5	Incorpora pantallas para manipular todas las funciones de la máquina
2	Distribución	4	Sigue una plantilla genérica para el diseño de las pantallas
3	Navegación	5	Horizontal
4	Uso del color	5	Contraste entre los colores usados Colores que mejor se visualizan en la pantalla
5	Uso de fuentes e información textual	5	Un solo tamaño y tipo de fuente
6	Estatus de los equipos y eventos del proceso	5	Indicadores de activación y desactivación de actuadores
7	Información y valores de proceso	4	Contador de productos enfajillados
8	Comandos y entradas de datos	4	Modificación de parámetros para recetas

No.	Indicador	Evaluación	Observación
9	Gráficos de tendencias y tablas	No aplica	No aplica
10	Alarmas	No aplica	No aplica
Promedio			4.63

La evaluación global de la HMI diseñada es de 4.63 sobre 5 lo cual indica que su diseño y desempeño considerando que se hizo bajo la solicitud y requerimiento de la fábrica, esta resulta ser fácil de manejar, visualizar y comprender para los operarios.

Pruebas de producción

Objetivos

Identificar y corregir los problemas que surgen en una jornada de producción real ajustando los parámetros necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina repotenciada.

Comprobar que la máquina cumpla con todos los requerimientos de la fábrica para el proceso de producción.

Responsables

- Charly Bryan Chiriboga Tapia
- Joel Alejandro Parra García
- Imperial Bottling Company S.A.
 - Personal de mantenimiento
 - Operarios
 - Departamento de control de calidad
 - Jefe de producción
 - Gerente de planta

Actividades

1. Realizar una capacitación al personal de la fábrica que operará la máquina con el objetivo de que se familiaricen con la máquina y su funcionamiento.
2. Realizar la puesta en marcha de la máquina siguiendo el protocolo experimental.
3. Iniciar la producción.
4. Inspeccionar el proceso de enfajillado sin interrumpirlo.
5. Verificar el corte de las fajillas.
6. Verificar la colocación de las fajillas en los envases.
7. Comprobar la velocidad de producción alcanzada.
8. Realizar un acompañamiento al proceso de control de calidad del producto final.

Resultados

La máquina fue sometida a siete pruebas de producción con un volumen de producción de aproximadamente 23000 unidades por prueba.

Tabla 35

Evaluación de las pruebas de producción

Requerimiento	Observaciones
Las etapas de la secuencia se ejecutan en el orden correcto	Cumple
La etapa de alimentación de material se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de arrastre se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de corte se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de expulsión se realiza adecuadamente	Cumple
El corte de las fajillas es uniforme en todas las iteraciones	No cumple
Todas las fajillas fueron colocadas en los envases	Cumple
La velocidad de producción corresponde a 150 unidades por minuto	Cumple
No existen atascamientos durante el proceso de enfajillado	Cumple

La evaluación de la calidad del producto final se llevó a cabo por el departamento de control de calidad de la fábrica.

Observaciones

Los envases que se transportan a la etapa de enfajillado vienen mojados, por lo que la colocación de las fajillas sobre estos se ve comprometida debido a que el agua presente en la superficie del envase no permite que la fajilla deslice hasta la parte inferior del mismo.

- Bajo un régimen de operación continuo de la máquina se identifican factores que luego de varios ciclos de enfajillado, empiezan a influir provocando variaciones en el corte de las fajillas.

Correcciones

- El control de posición por pulsos para el servo drive de arrastre, no es lo suficientemente preciso por lo que, para eliminar las variaciones en el corte de las fajillas, la solución encontrada consiste en mantener siempre habilitado el servo drive el cual mantiene fija la posición de los rodillos de arrastre y espera un tren de pulsos para iniciar su movimiento.
- Disminuir la frecuencia de operación del servo drive de arrastre mejora la precisión en el corte y no afecta la velocidad de producción.
- Se debe ajustar los valores de rampas de aceleración y desaceleración del servo drive de arrastre para mejorar la precisión en el corte.

Resultados posteriores a las correcciones

Las correcciones realizadas en la máquina lograron solventar el problema en la variación del corte siendo estas las últimas correcciones necesarias para la entrega final de la máquina.

Tabla 36

Resultados de las pruebas de producción posteriores a las correcciones

Requerimiento	Observaciones
Las etapas de la secuencia se ejecutan en el orden correcto	Cumple
La etapa de alimentación de material se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de arrastre se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de corte se realiza adecuadamente	Cumple
La etapa de expulsión se realiza adecuadamente	Cumple
El corte de las fajillas es uniforme en todas las iteraciones	Cumple
Todas las fajillas fueron colocadas en los envases	Cumple
La velocidad de producción corresponde a 150 unidades por minuto	Cumple
No existen atascamientos durante el proceso de enfajillado	Cumple

Los resultados presentados en la Tabla 36 fueron obtenidos de las evaluaciones por parte de la gerencia de la empresa auspiciante y los delegados de la empresa Imperial Bottling Company.

CAPÍTULO 5

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se ha desarrollado el trabajo de repotenciación de la máquina enfajilladora marca DASE SING modelo DSL-345MH, el cual permitió habilitar su funcionamiento en la línea de producción de latas de la fábrica Imperial Bottling Company S.A., logrando con esto un aumento en la velocidad de producción pasando de 90 [unidades/min] a 150 [unidades/min] representando un incremento del 66.67%, un aumento en el volumen de producción pasando de 10000 [unidades/día] a 40000 [unidades/día] lo que implica un incremento del 300%, además se disminuye el número de operarios para el proceso de enfajillado pasando de 9 operarios a 1 operario.

Se diseñó un nuevo sistema de control para los sensores y actuadores que intervienen en el proceso de enfajillado que realiza la máquina, siguiendo la secuencia de funcionamiento adecuada que garantiza un correcto desempeño de la misma en la línea de producción. La implementación de este sistema en el panel de control se llevó a cabo bajo las consideraciones de distribución, cableado e identificación de las conexiones de acuerdo con la norma IEC 60617.

Se diseñó e implementó una HMI que aporta a la cibernética del proceso siguiendo las recomendaciones de la guía GEDIS la misma que fue sometida a una evaluación alcanzando una puntuación de 4.63 sobre 5 lo que indica que su grado de ergonomía para los operarios es alta garantizando una fácil manipulación y comprensión de las funciones que se pueden controlar a través de esta.

Se realizó un trabajo de reacondicionamiento de la parte mecánica de la máquina para lo cual se desempeñaron trabajos de mantenimiento preventivos y correctivos para garantizar un correcto funcionamiento de los sistemas de transmisión de movimiento, sistemas de cuchillas, rodillos de arrastre y expulsión, además se realizó el diseño, manufactura e implementación de piezas mecánicas como el soporte para el sensor para la etapa de alimentación de material, el mecanismo engranajes-manivela para el posicionamiento del sensor de producto y la cubierta para eliminar el ruido de la luz ambiental en el sensor de contraste.

Recomendaciones

Las variaciones identificadas en el corte de las fajillas fueron solventadas, pero aún se puede mejorar buscando una alternativa al sensor de contraste con una respuesta más rápida y además con un rango de sensibilidad mayor que no se vea afectado fácilmente por incidencia de la luz ambiental de la fábrica donde se encuentra operando la máquina.

Si bien el cabezal de corte de la máquina fue sometido a un mantenimiento correctivo, este se encuentra próximo a cumplir su vida útil por lo que es recomendable adquirir e implementar uno nuevo con el objetivo de disminuir las variaciones en el corte o el apareamiento de bigotes en las fajillas cortadas.

La línea de producción de latas está sometida a un constante montaje y desmontaje de máquinas que se utilizan en otras líneas de producción por lo que es importante realizar una nivelación de todas las bandas transportadoras, con el propósito de disminuir los problemas en el montaje del formador cilíndrico de etiquetas y la colocación de las fajillas.

CAPÍTULO 6

Bibliografía

- Banco Central del Ecuador. (2021). *Informe de cuentas nacionales del primer trimestre de 2021*.
- David, R. (1995). Grafcet: A Powerful Tool for Specification of Logic Controllers. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/406973>
- Emblem, A., & Emblem, H. (2012). *Packaging Technology - Fundamentals, materials and processes*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- ExpoSign. (26 de Enero de 2015). *La impresión de latas de bebidas*. Obtenido de <https://www.exposign.com.ar/la-impresion-de-latas-de-bebidas/>
- García, P. (2019). *La persuasión del discurso publicitario en el empaque y etiquetado de productos en un mercado saturado*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Comunicaciones, Lima. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653269/Garc%c3%ada_GP.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Giles, G. (2000). *Design and Technology of Packaging Decoration for the Consumer Market*. Londres: Sheffield Academic Press.
- Gómez, F. (1998). *Tecnología Del Mantenimiento Industrial*. Murcia: Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia.
- Graessler, I., & Hentze, J. (2020). The new V-Model of VDI 2206 and its validation. *at-Automatisierungstechnik*, 312-324. doi:<https://doi.org/10.1515/auto-2020-0015>
- International Labour Organization. (1998). *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. (J. M. Stellman, Ed.)

- Jiang, S.-J., & Huang, J.-H. (2015). *The Technology and Application of Shrink Packaging*. China.
- Kerin, R., Hartley, S., & Rudelius, W. (2015). *Marketing*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Lázaro, M., Losantos, B., & Bayo, P. (Febrero de 2008). Nuevas tablas de fuerza de la mano para la población adulta de Teruel. *Nutrición Hospitalaria*, 23(1). Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112008000100006
- Machado, J. (2010). *Automatización de los procesos productivos en la planta II división partes y piezas para la Empresa Indurama S. A.* Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2627/1/tm4288.pdf>
- Mundo Latas. (Abril de 2020). *Decoración de Envases*. Obtenido de <https://mundolatas.com/decoracion-de-envases/>
- Nogués, J. (2017). *Estudio de plan de mantenimiento de industria alimentaria*. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/88216/GRAU%20-%20Estudio%20de%20plan%20de%20mantenimiento%20de%20industria%20alimentaria.pdf?sequence=1>
- OMRON. (2021). *Shrink Sleever Machine Case Study*. Obtenido de <https://automation.omron.com/en/us/industries/food-and-beverage-packaging/packaging-machine-automation-solutions/high-speed-linear-shrink-sleeve-applicator>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014).
Etiquetado de alimentos. Obtenido de <http://www.fao.org/food-labelling/es/>
- Pere, P., Marta, D., & Andreu, C. (2006). Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión. Obtenido de <https://bit.ly/3wNBjCe>
- Rodríguez, A. (2012). *Manuel de Gestión de Mantenimiento*. Universidad Central "Marta Abreu" De Las Villas, Departamento de Ingeniería Industrial, Santa Clara.
Obtenido de
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/5574/Antonio%20Rodr%C3%ADguez%20Machado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, H. B., Baduí Dergal, S., Álvarez Zavala, A., Hernández Camacho, Y. E., Valdivia López, M., Sandoval Guillén, B. J., . . . Castillo Martínez, L. (2019). *El Papel De Los Alimentos Enlatados En La Salud*. México.
- Stanton, W., Etzel, M., & Walker, B. (2007). *Fundamentos de Marketing*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Winger, R., & Wall, G. (2006). *Food Product Innovation*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.