

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Diseño de la renovación de una máquina selladora de fundas plásticas

**Proyecto Integrador**

Previo a la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecatrónica**

Presentado por:

Paulo André Valarezo Cano

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## Dedicatoria

---

A mi madre Nuria, quién me ha dado todo su apoyo, dedicación, esfuerzo, amor y tiempo para seguir hacia adelante.

A mi abuelo Alonso, por enseñarme el significado de honradez y trabajo.

## Agradecimientos

---

A Dios.

A mis padres Nuria e Iván, por amarme.

A mis hermanas Keyla, Victoria y Nerea, y a mi sobrino Sebastián, por darme motivos para esforzarme.

A mis familiares. En especial a mi tía Fanny, mi tío Yasmany y mi tío Dennis.

A mis gatos Bruna, Aragorn, Arya, Brunilda y Doro, y a mi perra Clara, que me llenan de momentos de felicidad.

A mis compañeros Andrea, Luis, Julio, Néstor, Alexander, José y Jorge, por enseñarme y ayudarme en este proyecto.

A los ingenieros Xavier Gómez y Blaz Knezevic, por darme la oportunidad de liderar este proyecto.

A mis compañeros mecatrónicos Pedro, Brandon y Lissette, por ser un equipo.

A mis amigos Fernando, Enrique, John y Daniel, por recorrer conmigo este camino.

A Ximena, por tu constante querer y por sujetarme la mano para cruzar la meta.

## Declaración expresa

---

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; yo, Paulo André Valarezo Cano, doy mi consentimiento para que la ESPOOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A handwritten signature in blue ink, reading "Paulo André Valarezo Cano". The signature is fluid and cursive, with a prominent flourish at the end.

**Paulo André Valarezo Cano**

## **Evaluadores**

---

**Bryan Puruncajas, M.Sc.**

Profesor de Materia

---

**Eloy Moncayo, M.Sc.**

Tutor de Proyecto

## Resumen

Una máquina selladora de fundas plásticas ya no se considera rentable para la empresa PLASTIGOMEZ S.A. debido a la baja velocidad a la que opera y a la alta cantidad de desperdicio que provoca. Se requiere aumentar la velocidad de la máquina y disminuir los desperdicios generados durante la producción mediante una renovación teniendo en cuenta criterios de la empresa y de la industria. Para ello, se propuso llevar a cabo un análisis de puntos críticos que afectan a estas dos problemáticas, generando alternativas de renovación para los sistemas que afectan en mayor grado al mal funcionamiento de la selladora. Tras la presentación de alternativas, se llevó a cabo la planificación de renovación de los sistemas de avance y corte, del sistema de sellado, del sistema de calentamiento de cabezales y de la interfaz de usuario. El periodo de pruebas de la máquina permitió conocer los mejores parámetros de operación de diferentes tipos de fundas, logrando alcanzar los 50 GPM, lo que supone un aumento del 138% la velocidad inicial y una disminución de desechos a tan solo 1/3 de lo generado originalmente.

**Palabras Clave:** Selladora, velocidad, desperdicio, planificación, sistemas

### **Abstract**

A plastic bag sealing machine is not considered profitable anymore for PLASTIGOMEZ S.A. due to low operation speeds and high waste generation during operation. It is required to increase the machine's velocity and decrease waste generation through the renovation of the sealing machine taking into account company and industry criteria. In order to achieve that, it was proposed to carry out an analysis of critical points that affect these two problems to, then, generate solution alternatives for systems that affect in a greater scale the machine performance. After showing alternative proposals, the renovation plan took shape, affecting the material advancing and cutting system, the sealing system, the sealing head heating system and the control panel. A testing period after renovation allowed to discover ideal operation parameters for different bags. An increase of 138% in velocity to reach 50 seals per minute was achieved, along with a decrease to a third of the originally generated waste.

**Keywords:** sealing machine, speed, waste generation, plan, systems

## Índice general

Resumen .....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VII
Simbología.....	IX
Índice de figuras .....	X
Índice de tablas .....	XIV
Capítulo 1 .....	1
1.    Introducción.....	2
1.1    Descripción del problema .....	3
1.2    Justificación del problema .....	7
1.3    Objetivos .....	8
1.3.1    Objetivo general .....	8
1.3.2    Objetivos específicos .....	9
1.4    Marco teórico .....	9
1.4.1    Máquinas selladoras comunes .....	9
1.4.2    Máquinas selladoras industriales .....	10
1.4.3    Materiales utilizados en el proceso de sellado.....	10
1.4.4    Trabajos relacionados con la renovación de máquinas selladoras.....	11

1.4.5	Estado del arte .....	12
1.4.6	Estándares y normas .....	12
Capítulo 2	.....	15
2.	Metodología.....	16
2.1	Requerimientos y limitaciones del diseño .....	16
2.1.1	Requerimientos de producción .....	17
2.2	Estudio de la máquina y descubrimiento de puntos críticos .....	20
2.3	Selección de alternativa de solución .....	21
2.4	Sistema de avance y corte .....	25
2.4.1	Velocidad de trabajo según medidas y tiempo de sellado .....	29
2.4.2	Sistema de avance.....	32
2.4.3	Rodillos de arrastre .....	33
2.4.4	Selección de servomotor.....	37
2.4.5	Sistema de corte.....	40
2.5	Sistema de sellado.....	42
2.5.1	Mecanismo de sellado .....	42
2.5.2	Cilindros neumáticos del cabezal transversal .....	44
2.5.3	Cilindros neumáticos de los cabezales laterales .....	50
2.5.4	Unidad de mantenimiento.....	56
2.5.5	Tanque de aire comprimido .....	58
2.5.6	Sistema de calentamiento de cabezales .....	61

2.5.7	Interruptores electromecánicos.....	63
2.5.8	Controlador de temperatura.....	65
2.5.9	Tomacorrientes y clavijas para sistema de calentamiento de cabezales.....	68
2.6	Paneles de control.....	70
2.7	Pruebas en máquina.....	76
Capítulo 3	.....	78
3.	Resultados y análisis.....	79
3.1	Nuevos sistemas de avance y corte.....	79
3.1.1	Instalación de servomotor y servodriver.....	79
3.1.2	Rodillos de arrastre.....	80
3.1.3	Cuchillas de corte.....	81
3.2	Nuevo mecanismo de sellado.....	82
3.2.1	Cilindros neumáticos.....	83
3.2.2	Unidad de mantenimiento.....	84
3.2.3	Tanque de aire comprimido.....	84
3.3	Nuevo sistema de calentamiento de cabezales.....	85
3.3.1	Relés de estado sólido.....	86
3.3.2	Tomacorrientes y clavijas para sistema de calentamiento de cabezales.....	87
3.4	Nuevo panel de control.....	87
3.4.1	Panel de control.....	87
3.4.2	Pantallas de HMI.....	88

3.5	Otras mejoras en máquina.....	91
3.6	Análisis de costos.....	93
3.7	Plan de renovación.....	96
3.8	Pruebas en máquina .....	97
Capítulo 4	.....	101
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	102
4.1	Conclusiones.....	102
4.2	Recomendaciones.....	103
Referencias	.....	104
Apéndices	.....	107

**Abreviaturas**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PIB	Producto Interno Bruto
GPM	Golpes por minuto
IEC	International Electrotechnical Commission
IP	Ingress protection
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWG	American Wire Gauge
PEBD	Polietileno de baja densidad
PEAD	Polietileno de alta densidad
PP	Polipropileno
PET	Polietileno de Tereftalato
BOPP	Polipropileno biorientado
BOPA	Poliamida biorientada
P	Proporcional
PD	Proporcional derivativo
PI	Proporcional integral
PID	Proporcional integral derivativo
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
RPM	Revoluciones por minuto
NPT	National Pipe Thread
PLC	Programmable Logic Controller

HMI      Human-Machine Interface

**Simbología**

%	Porcentaje
\$	Dólar estadounidense
µm	Micrómetro
°C	Grado Centígrado
kV	Kilovoltio
mm	Milímetro
ms	Milisegundo
kW	Kilovatios
kg	Kilogramo
l	Litro
s	Segundo
pulg	Pulgada
rev	Revolución
min	Minuto
Nm	Newton metro
Px	Píxel

## Índice de figuras

Figura 1.1 Máquina selladora 12 .....	4
Figura 1.2 Producción en kilogramos de selladoras en PLASTIGOMEZ en el año 2022 .....	6
Figura 1.3 Producción en porcentaje de selladoras en PLASTIGOMEZ en el año 2022 .....	6
Figura 1.4 Distribución de producción en la Selladora 12 de PLASTIGOMEZ en el año 2022	7
Figura 2.1 Diagrama de mesas que conforman la Selladora 12 .....	17
Figura 2.2 Diagrama de los procesos de doblado, sellado, y corte para conseguir un sello lateral .....	17
Figura 2.3 Diagrama de los procesos de doblado, sellado, y corte para conseguir un sello en U .....	18
Figura 2.4 Diagrama de los procesos de doblado, sellado, y corte para conseguir un sello en T .....	19
Figura 2.5 Diagrama de los procesos de doblado, sellado, y corte para conseguir un sello en T con fuelle .....	20
Figura 2.6 Motor CA del sistema de avance y corte .....	25
Figura 2.7 Reductor de velocidad del sistema de avance y corte .....	26
Figura 2.8 Esquema de transmisión de potencia mecánica del sistema de avance y corte.....	27
Figura 2.9 Funda 1. Empaque para pulpa de fruta.....	29
Figura 2.10 Funda 2. Empaque para camarón .....	30
Figura 2.11 Funda 3. Empaque para pan de hamburguesa .....	31
Figura 2.12 Funda 4. Empaque para fruta cortada .....	31
Figura 2.13 Esquema de rodillos y material .....	33
Figura 2.14 Cuarto rodillo superior de arrastre .....	33
Figura 2.15 Diagrama de posición de rodillo en mesa tensora.....	34

Figura 2.16 Chumaceras y piñones dentados del tercer par de rodillos dentados .....	35
Figura 2.17 Diagrama de posiciones de rodillos en mesa de avance, sello y corte .....	35
Figura 2.18 Servomotor 180SM-M2715NAL .....	39
Figura 2.19 Servodriver SDD50NK10D .....	40
Figura 2.20 Diagrama de sistema de conexiones neumáticas .....	44
Figura 2.21 Cilindros neumáticos del cabezal transversal superior .....	45
Figura 2.22 Cilindro MCQI3-11-63-50M .....	48
Figura 2.23 Diagrama para el mecanizado de orificios en base metálica para cilindros de cabezal transversal.....	49
Figura 2.24 Cilindros del cabezal lateral izquierdo superior .....	50
Figura 2.25 Cilindro MCQI2-11-50-50M .....	54
Figura 2.26 Diagrama para el mecanizado de orificios en bases metálicas para cilindros de cabezales laterales.....	55
Figura 2.27 Unidad de mantenimiento actual.....	56
Figura 2.28 Nueva unidad de mantenimiento con purga automática .....	58
Figura 2.29 Diagrama de conexiones de tomacorrientes de sistema actual de calentamiento de cabezales.....	62
Figura 2.30 Diagrama de conexiones de controlador de sistema actual de calentamiento de cabezales.....	63
Figura 2.31 Diagrama de conexiones internas y externas del relé de estado sólido.....	65
Figura 2.32 Tablero de control de temperaturas en máquina .....	66
Figura 2.33 Controlador de temperatura TCN4H-24R.....	66
Figura 2.34 Conexiones para controlador de temperatura.....	67
Figura 2.35 Tomacorrientes y clavijas de los cabezales de sellado.....	69
Figura 2.36 Panel de control de temperatura .....	71

Figura 2.37 Panel de control de presiones neumáticas .....	71
Figura 2.38 Botones de avance de material y de paro de emergencia.....	72
Figura 2.39 Panel de control principal.....	73
Figura 2.40 PLC XINJE XC3-24R/T/RT-E/C.....	75
Figura 2.41 HMI WECON PI3070i.....	75
Figura 3.1 Diagrama de nuevo sistemas de avance y corte .....	79
Figura 3.2 Instalación de servomotor en la máquina.....	80
Figura 3.3 Cuarto rodillo superior en máquina tras reencauche .....	81
Figura 3.4 Fundas cortadas por cuchillas de corte tras rectificado y afilado.....	82
Figura 3.5 Diagrama de nuevo sistema de conexiones neumáticas.....	82
Figura 3.6 Nuevos cilindros neumáticos instalados en máquina.....	83
Figura 3.7 Nueva unidad de mantenimiento y nuevas conexiones neumáticas.....	84
Figura 3.8 Nuevo tanque de aire comprimido instalado en máquina .....	85
Figura 3.9 Diagrama eléctrico de tomacorrientes de nuevo sistema de calentamiento de cabezales.....	85
Figura 3.10 Diagrama eléctrico de controlador de nuevo sistema de calentamiento de cabezales .....	86
Figura 3.11 Nuevos relés de estado sólido y nuevas conexiones en panel de control de temperaturas.....	86
Figura 3.12 Nuevos tomacorrientes y clavijas.....	87
Figura 3.13 Nuevo panel de control .....	88
Figura 3.14 Pantalla de medida funda y velocidad de máquina .....	89
Figura 3.15 Pantalla de activación de válvulas neumáticas.....	90
Figura 3.16 Pantalla de multiplicador.....	90
Figura 3.17 Pintura de máquina y rodillos pasivos .....	91

Figura 3.18 Nuevos ganchos para ordenamiento de rodillos pasivos.....	92
Figura 3.19 Nuevo ojo electrónico para contar tacas .....	92
Figura 3.20 Planificación de actividades a realizar para la renovación de la máquina .....	97

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Producción y desperdicio de máquina selladoras en PLASTIGOMEZ en el año 2022 .....	5
Tabla 1.2 Guía de Código IP de la IEC 60529 .....	13
Tabla 1.3 Extracto del sistema AWG .....	14
Tabla 2.1 Ponderación de criterios mediante enfrentamiento .....	23
Tabla 2.2 Peso ponderado de criterios por alternativa para selección de alternativa según prioridad.....	24
Tabla 2.3 Características de sistema de motor y reductor .....	26
Tabla 2.4 GPM según medida de funda y tiempo de sellado y corte para máxima velocidad ..	28
Tabla 2.5 Características de sellado de las Fundas 1, 2, 3 y 4.....	32
Tabla 2.6 Alternativas de renovación de los rodillos de arrastre.....	36
Tabla 2.7 Características Servomotor 180SM-M2715NAL.....	40
Tabla 2.8 Alternativas de mejora para el sistema de corte .....	41
Tabla 2.9 Datos de los cilindros neumáticos del cabezal transversal .....	45
Tabla 2.10 Requerimientos de cilindros para cabezal transversal.....	48
Tabla 2.11 Características de los nuevos cilindros MCQI3-11-63-50M para cabezal transversal .....	49
Tabla 2.12 Datos de los cilindros neumáticos de los cabezales laterales .....	51
Tabla 2.13 Requerimientos de cilindros para cabezales laterales.....	53
Tabla 2.14 Características de los nuevos cilindros MCQI2-11-50-50M para cabezales laterales .....	54
Tabla 2.15 Características de unidad de mantenimiento .....	57
Tabla 2.16 Características de nueva unidad de mantenimiento.....	57

Tabla 2.17 Datos de consumo de aire comprimido .....	60
Tabla 2.18 Características y datos del nuevo tanque de aire comprimido.....	61
Tabla 2.19 Alternativas de interruptor electromecánico.....	64
Tabla 2.20 Características del controlador de temperatura actual .....	67
Tabla 2.21 Opciones de tomacorrientes y clavijas .....	69
Tabla 2.22 Datos PLC XINJE XC3-24R/T/RT-E/C.....	75
Tabla 2.23 Datos de HMI WECON PI3070i .....	76
Tabla 3.1 Costo por instalación de servomotor y servodriver .....	80
Tabla 3.2 Costo de trabajos por renovación de rodillos de arrastre.....	80
Tabla 3.3 Costo por trabajos de rectificado y afilado de 2 pares de cuchillas de corte.....	81
Tabla 3.4 Costo por trabajos relacionados a los cabezales de sellado.....	83
Tabla 3.5 Costo por trabajo de fabricación de tanque de aire comprimido.....	84
Tabla 3.6 Costos por trabajos de contratistas .....	94
Tabla 3.7 Costos de componentes .....	95
Tabla 3.8 Costos totales.....	96
Tabla 3.9 Pruebas en máquina.....	98

# Capítulo 1

## 1. Introducción

La industria de plásticos del Ecuador está conformada por más de 600 empresas que, en conjunto, en el año 2022 generaron 490 mil toneladas de plástico [1], lo que supone un valor de \$2.100 millones al año [2]. Esta cifra representa el 2% del PIB bruto del país. [2]. La ciudad más importante para la industria plástica del país es Guayaquil, sede del 64% de empresas que forman la industria del plástico ecuatoriano [2]. Se prevé que el mercado de la industria plástica crezca en un 4,15% anual compuesto durante los próximos 5 años [1].

La industria de plásticos se encarga de la transformación de polímeros orgánicos a través de diversas técnicas en diferentes soluciones plásticas. Las técnicas de transformado de materia prima en productos plásticos más importantes del país son la extrusión, el moldeo por inyección y el moldeo por soplado [1] [2]. En concreto, el subsector de empaques genera, principalmente, fundas de plástico que se utilizan en diversas industrias para empaclar y presentar productos.

La empresa PLASTIGÓMEZ S.A., ubicada en la ciudad de Guayaquil, se encarga de transformar pellets de diferentes plásticos mediante extrusión para producir empaques. En el proceso de extrusión, las máquinas extrusoras transforman los pellets para generar largos rollos de plástico simples o laminados de diferentes medidas, espesores y colores. Las máquinas laminadoras se encargan de unir dos rollos simples de plástico extruido para generar un rollo de plástico laminado. Estos rollos largos de plástico, simples o laminados, pueden ser tratados químicamente si se requiere que en su superficie se imprima un diseño. En el proceso de impresión, el diseño del cliente es impregnado en la superficie de los rollos mediante el uso de máquinas impresoras. Independientemente de si el rollo ha pasado al área de impresión o no, el siguiente paso, y el último del proceso, es que el rollo pase por la línea de sellado. Las máquinas selladoras se encargan de doblar, cortar y sellar el rollo, generando fundas, según las especificaciones dadas por el cliente. El sellado puede variar dependiendo del espesor de la funda, el material, si la funda

es simple o laminada, las dimensiones de la funda, el tipo de sello, si existe doblez para fuelle, y si se requiere algún tipo de troquelado o abre fácil.

La empresa PLASTIGOMEZ S.A. cuenta con 7 máquinas de extrusión, 1 máquina laminadora, 2 máquinas impresoras y 9 máquinas selladoras. En el proceso de producción de empaques plásticos, el producto pasa, de manera obligatoria, por una máquina de extrusión y una máquina selladora. Esto se debe a que las máquinas de extrusión son las encargadas de transformar los pellets de plástico en largos rollos y, las máquinas selladoras son las encargadas de transformar estos rollos en empaques plásticos como producto final. No todos los empaques que se producen son laminados o impresos.

PLASTIGOMEZ S.A. produce, principalmente, empaques plásticos que se utilizan para alimentos, por lo que sus máquinas cuentan estándares de calidad e inocuidad alimentaria.

### **1.1 Descripción del problema**

Dentro del grupo de nueve máquinas selladoras de la empresa se encuentra la máquina Selladora 12, denominada de esa forma por el área de Producción de la empresa, al ser la duodécima selladora adquirida para su uso en planta. Esta selladora fue construida en 2010 por una empresa colombiana, y adquirida de segunda mano por la empresa PLASTIGOMEZ S.A. en 2014. La Selladora 12 se puede visualizar en la Figura 1.1.

**Figura 1.1**

*Máquina selladora 12*



Esta selladora consiste en una estructura con un motor CA principal que, mediante un sistema mecánico de levas, piñones, rodillos y cadenas, permite avanzar el rollo de plástico, sellar y cortar las fundas. También cuenta con un motor CC secundario encargado del movimiento de un balancín, que permite tensar y aflojar el rollo de fundas.

Un sistema neumático con 6 cilindros se encarga de bajar los cabezales con resistencias de temperatura para lograr el sellado de las fundas. Al mismo tiempo, este sistema neumático provee de aire a los troqueles, usados dependiendo del tipo de funda a producir. Un sistema de contactores y resistencias térmicas permite calentar los cabezales de sellado de forma que el plástico, al contacto con ellos, logre sellarse. Un sistema de enfriamiento mediante tanque de agua se encarga de enfriar el sello antes del corte.

La máquina selladora 12 cuenta, como se acaba de detallar, con un conjunto de sistemas dependientes los unos de los otros que logran, finalmente, producir las fundas deseadas según el rollo de plástico utilizado.

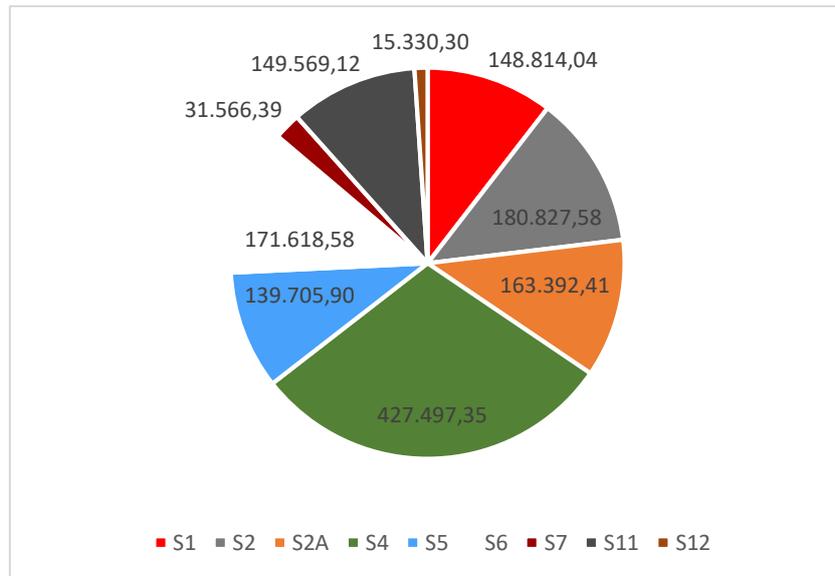
**Tabla 1.1***Producción y desperdicio de máquina selladoras en PLASTIGOMEZ en el año 2022*

Recurso	Fabricado (kg)	Desperdicio (kg)	Total (Fabricado + Desperdicio)	Fabricado (%)	Desperdicio (%)
S1	148.814,04	15.708,44	164.522,48	90,45%	9,55%
S2	180.827,58	7.564,59	188.392,17	95,98%	4,02%
S2A	163.392,41	8.886,52	172.278,93	94,84%	5,16%
S4	427.497,35	11.912,38	439.409,73	97,29%	2,71%
S5	139.705,90	8.650,77	148.356,67	94,17%	5,83%
S6	171.618,58	7.957,82	179.576,40	95,57%	4,43%
S7	31.566,39	7.231,63	38.798,02	81,36%	18,64%
S11	149.569,12	7.434,70	157.003,82	95,26%	4,74%
S12	15.330,30	2.914,52	18.244,82	84,03%	15,97%
<b>TOTAL</b>	<b>1.428.321,67</b>	<b>78.261,37</b>	<b>1.506.583,04</b>	<b>94,81%</b>	<b>5,19%</b>

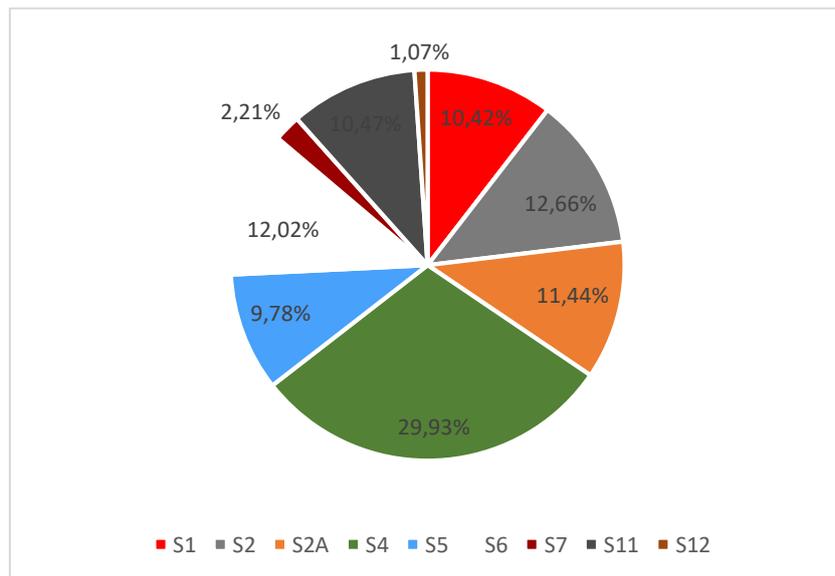
Los datos de la Tabla 1.1 muestran que, actualmente, la máquina selladora 12 es la selladora más lenta de la planta, generando en el año 2022 15.000 kg de productos, muy por detrás del promedio de 159.000 kg producidos por las máquinas en planta. Al mismo tiempo, los desperdicios generados por esta máquina suponen el 15,97% en relación con los empaques fabricados, un porcentaje alto al compararse con el 5,19% del promedio de todas las selladoras. Estos datos se muestran para un mejor entendimiento en la Figura 1.2, en la Figura 1.3 y en la Figura 1.4.

**Figura 1.2**

*Producción en kilogramos de selladoras en PLASTIGOMEZ en el año 2022*

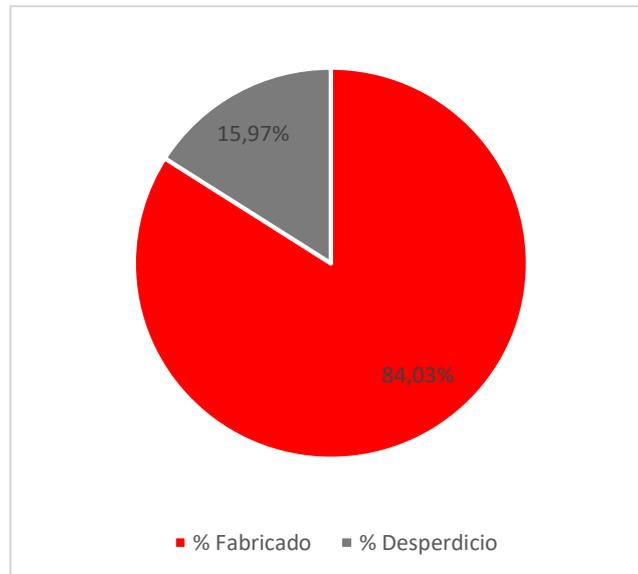
**Figura 1.3**

*Producción en porcentaje de selladoras en PLASTIGOMEZ en el año 2022*



**Figura 1.4**

*Distribución de producción en la Selladora 12 de PLASTIGOMEZ en el año 2022*



La velocidad en las máquinas se mide a través de su GPM (golpes por minuto) que es el número de unidades que una máquina produce en un minuto. Mientras que el resto de las selladoras trabajan a una velocidad que varía entre 60 y 110 GPM, la Selladora 12 trabaja a una velocidad de entre 12 y 21 GPM.

Las características actuales de la máquina selladora 12 invitan a llegar a la conclusión de que no es una máquina productiva para PLASTIGOMEZ, por lo que se necesita una renovación parcial o completa de la máquina, de forma que se logre equiparar al resto de máquinas selladoras en planta. Al mismo tiempo, se requiere que la máquina genere la menor cantidad de desperdicio posibles.

## **1.2 Justificación del problema**

Es necesario un análisis profundo de la máquina selladora 12 para entender cada sistema que lo compone, cómo funcionan de forma independiente y cómo trabajan dependientemente en la máquina para lograr identificar puntos críticos en su funcionamiento y su impacto en el producto final.

Los sistemas mecánicos, eléctricos, de temperatura, hidráulico y neumático, se observan que no han sido modificados desde que se adquirió la máquina, por lo que se deduce que se ha cumplido la vida útil de la mayoría de sus componentes y se consideran obsoletos.

La falta de mantenimiento de estos sistemas provoca que la operación de la máquina resulte tediosa y cansada para los operadores. El avance del rollo es inconsistente provocando que el producto se descuadre, aumentando la intervención en el proceso por parte del operador. A su vez, las inconsistencias generan que varíe la calidad de las fundas, resultando en que un gran porcentaje de las fundas producidas no cumplan con el requerimiento del cliente y se consideren como desperdicio.

Es de vital importancia presentar alternativas de diseño que cumplan con los requerimientos de PLASTIGOMEZ S.A. y de la industria de empaques plásticos para alimentos, para poder evaluar dichas alternativas y seleccionar la más adecuada en cada uno de los sistemas y puntos críticos.

Se necesita escoger un plan de renovación que permita aumentar la actual capacidad productiva de la máquina selladora 12, permitiendo aumentar la velocidad de la máquina hasta los 70 GPM y disminuyendo a la mitad la cantidad de desperdicios generados en el proceso.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Diseñar la renovación de una máquina selladora de fundas plásticas para aumentar su capacidad productiva y disminuir la generación de la cantidad de desperdicio que provoca actualmente, cumpliendo con estándares de seguridad, calidad e inocuidad alimentaria.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Identificar puntos críticos en los sistemas de la máquina de forma que se generen alternativas de solución mediante un plan de renovación y repotenciación parcial o total de la máquina.
2. Seleccionar componentes y soluciones de renovación tomando en cuenta los requerimientos y criterios de la empresa y de la industria.
3. Presentar nuevos planos y diagramas de funcionamiento de sistemas, indicando partes importantes y características que permitan un claro entendimiento de cómo funciona cada sistema y acciones necesarios para el área de mantenimiento de la empresa.
4. Aumentar la velocidad de la máquina hasta los 70 GPM.
5. Disminuir en un 50% los desperdicios generados actualmente.

### **1.4 Marco teórico**

Se reúne a continuación, información para poner en contexto la teoría sobre máquina selladoras, trabajos relacionados al tema de este proyecto, el estado del arte actual con respecto a estas máquinas, y estándares y normas aplicadas para el desarrollo del mismo.

#### **1.4.1 Máquinas selladoras comunes**

Las máquinas selladoras de plásticos que se encuentran mayormente en el mercado son pequeños dispositivos, accionados de forma manual, que permiten sellar fundas de plásticos. El sello se produce al juntar dos cabezales calientes durante el tiempo necesario para que el material colocado entre ambos cabezales se derrita sin quemarse. Por lo general, el cierre de los cabezales para el sellado se lleva a cabo mediante un mecanismo de pedal y cadena que acciona el operador al pisar con el pie, o mediante la aplicación de presión del cabezal móvil con la mano. Los cabezales tienen en su interior resistencias térmicas que se calientan al exponer sus terminales a un potencial eléctrico.

### ***1.4.2 Máquinas selladoras industriales***

Las máquinas selladoras de plástico industriales son dispositivos de funcionamiento automático de mayor envergadura que, además del sellado de los empaques, se encargan de otros procesos necesarios en el proceso de sellado industrial. Las máquinas selladoras industriales permiten cargar material plástico en forma de rollos, de manera que el material avance a través de la máquina, se doble, se selle y se corte hasta obtener el producto final.

Este tipo de máquinas se distinguen, por su complejidad, de la mayoría de máquinas selladoras que se encuentran en el mercado mencionadas previamente. Las selladoras industriales están conformadas, generalmente, por sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos que permiten transformar los rollos de plásticos en una amplia variedad de empaques o fundas, pudiendo modificar el tipo de producto dependiendo de las necesidades del cliente.

### ***1.4.3 Materiales utilizados en el proceso de sellado***

Los materiales usados para la fabricación de empaques plásticos en PLASTIGOMEZ S.A son: “polietileno (de) baja y alta densidad, polipropileno, (...) PET, BOPP (polipropileno biorientado), BOPA (poliamida biorientada)...” [3].

#### **1.4.3.1 Polietileno de baja densidad**

El polietileno de baja densidad (PEBD) es un tipo de termoplástico [4] deformable, resistente al impacto, con alto índice de resistencia a la corrosión pero baja resistencia al calor, que se derrite al alcanzar los 118°C [5].

#### **1.4.3.2 Polietileno de alta densidad**

El polietileno de alta densidad (PEAD) presenta el mayor porcentaje de las soluciones plásticas en la familia del polietileno, es resistente a altos impactos y tiene bajo coeficiente de fricción. Se derrite al alcanzar los 125°C [6].

### **1.4.3.3 Polipropileno**

El polipropileno (PP) es un plástico de moderada resistencia con superficie brillante y utilizado por sus propiedades antibacteriales. Se derrite al alcanzar los 184°C [7].

### **1.4.3.4 Polietileno de tereftalato**

El polietileno de tereftalato (PET) es un ligero plástico resistente a roturas, ideal para soluciones teñidas. Se derrite al alcanzar los 244°C [8].

### **1.4.3.5 Polipropileno biorientado**

El polipropileno biorientado (BOPP, por sus siglas en inglés) es un plástico que se derrite a los 165°C [9].

### **1.4.3.6 Poliamida biorientada**

La poliamida biorientada (BOPA, por sus siglas en inglés), es un plástico que se utiliza en planta y se derrite a altas temperaturas.

## ***1.4.4 Trabajos relacionados con la renovación de máquinas selladoras***

En 2013, Agudelo, Martínez y Muñoz presentan un rediseño para una máquina selladora de plásticos en la ciudad de Medellín, Colombia que logra aumentar la producción de la máquina en un 80%, y una disminución de costos del 40% [10].

En 2021, Mendoza presenta el monitoreo en tiempo real de la producción de una máquina selladora tras un diseño y automatización en la ciudad de Guayaquil [11].

En 2021, López y Menéndez presentan la propuesta de un sistema de seguridad basado en la norma ISO 13849, mediante el estudio del riesgo de atrapamiento en una máquina selladora ZENNER y la comparación entre los gastos por accidentes y los gastos del sistema de seguridad en una empresa en Medellín, Colombia, determinando que el sistema de seguridad es rentable [12].

En 2010, en Quito, Moreno diseña un tipo de máquina selladora y empacadora de fundas para arroz que permite minimizar el desperdicio de arroz y de plástico mediante el estudio del material utilizado en la máquina y los tipos de empaques en la industria. El autor limita el alcance

y presenta especificaciones de máquina para diferentes empaques. Mediante criterios ponderados escoge el diseño más congruente con los objetivos planteados [13].

#### ***1.4.5 Estado del arte***

##### **1.4.5.1 Máquinas selladoras industriales en Latinoamérica**

La empresa Polimáquinas es una empresa ubicada en Bauru, Sao Paulo, Brasil, que fabrica máquinas de corte y sello para embalajes plásticos [14]. Polimáquinas tiene a su disposición una línea de 15 máquinas selladoras que permiten generar diversos tipos fundas o rollos de plástico. Entre los tipos de productos finales que sus máquinas pueden fabricar se encuentran: bolsas de plástico de basuras en rollo (Poliroll 400-Sin tubo), fundas de ración para comida animal de 4 sellos (Polisac 700-4 sellos) y bolsas de tipo camiseta (Multisac 1100/1300) [15].

La empresa MAQUINPLAST, ubicada en Dosquebradas, Colombia, confecciona máquinas para empresas que fabrican empaques plásticos. Entre su catálogo de muestran 3 tipos de máquinas selladoras que funcionan con servomotor y que permiten la fabricación de diversos tipos de fundas de plástico [16].

#### ***1.4.6 Estándares y normas***

##### **1.4.6.1 IEC 60529**

El estándar internacional IEC 60529 [17] es un estándar desarrollado por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés) que evalúa el grado en el que un dispositivo electrónico o eléctrico con un voltaje menor a 72,5 kV evita el ingreso de objetos y agua a su interior mediante el código de Protección de Ingreso (IP por sus siglas en inglés). El código IP permite, mediante dos numerales, conocer el tipo de protección que tiene un dispositivo. El primer numeral indica el tipo de protección contra el ingreso de sólidos y el segundo el tipo de protección contra el ingreso de agua [18], como se muestra en la Tabla 1.2. Por ejemplo, un

dispositivo con IP53, es un dispositivo con protección contra el polvo y protección contra rocío de agua.

**Tabla 1.2**

*Guía de Código IP de la IEC 60529. Adaptado de [18]*

Dígito	1er numeral (objetos sólidos externos)	2do numeral (agua)
0	Sin protección	Sin protección
1	Protección contra objetos de diámetro igual o superior a 50 mm	Protección contra gotas de agua cayendo verticalmente
2	Protección contra objetos de diámetro igual o superior a 12 mm	Protección contra gotas de agua cayendo verticalmente con dispositivo inclinado 15°
3	Protección contra objetos de diámetro igual o superior a 2,5 mm	Protección contra rocío de agua
4	Protección contra objetos de diámetro igual o superior a 1,0 mm	Protección contra salpicadura de agua
5	Protección contra el polvo	Protección contra chorro de agua
6	Hermético al polvo	Protección contra chorro de agua potente
7	-	Protección contra efectos de la inmersión temporal en agua
8	-	Protección contra efectos de la inmersión continua en agua
9	-	Protección contra chorro de agua de alta presión y alta temperatura

#### 1.4.6.2 ASTM B258-14

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) recoge en su estándar ASTM B258-14 [19] la especificación de calibres para cables eléctricos según diámetros nominales y áreas transversales en un solo sistema denominado Indicador de Cable



## **Capítulo 2**

## **2. Metodología**

En este capítulo se muestra la metodología del diseño que se llevó a cabo para realizar el proyecto planteado.

### **2.1 Requerimientos y limitaciones del diseño**

La empresa requiere que la estructura principal de la máquina selladora 12 mantenga sus dimensiones sin variar significativamente debido a su lugar en la planta. Esto incluye la distribución de sus componentes y sus tres mesas: la mesa tensora, la mesa de sellado lateral izquierdo y la mesa de avance, sello y corte. La distribución de estas mesas se visualiza en la Figura 2.1.

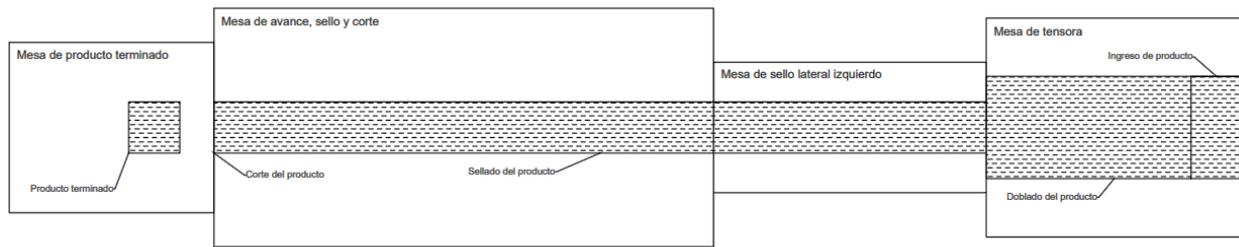
Se requiere que en la renovación se tenga en cuenta que se producen, principalmente, empaques para alimentos.

La máquina utiliza medidas en sistema imperial, por lo que se requiere que, en lo posible, se dimensionen y elijan componentes que utilicen este sistema de medición. Esto permite que los operadores de la máquina puedan ajustar y realizar cambios de manera más rápida, al usar solo herramientas en sistema imperial.

El área de compras de PLASTIGOMEZ S.A. trabaja con una lista de proveedores y contratistas previamente certificados y verificados por la empresa, por lo que se trabaja con un sector del mercado limitado. Al escoger componentes para la realización de este proyecto, se presentarán opciones de esta lista de proveedores. De la misma forma, para la realización de trabajos que excedan la capacidad del área de mantenimiento, se presentarán opciones dadas por los contratistas de esta lista.

**Figura 2.1**

Diagrama de mesas que conforman la Selladora 12



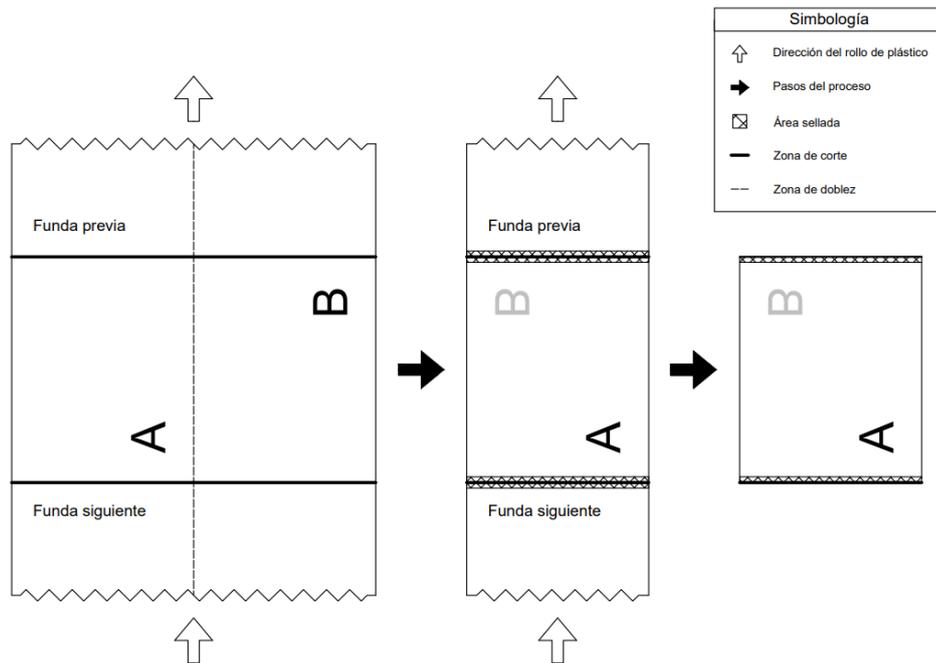
### 2.1.1 Requerimientos de producción

Se requiere que la máquina selladora 12 pueda realizar diferentes formatos de fundas:

- **Sello lateral:** Tipo de sello que se logra al doblar, sellar y cortar el rollo de plástico generando que la funda final tenga una apertura y dos sellos laterales. Se muestran los pasos de los procesos para conseguir un sello lateral en la Figura 2.2.

**Figura 2.2**

Diagrama de los procesos de doblado, sellado, y corte para conseguir un sello lateral

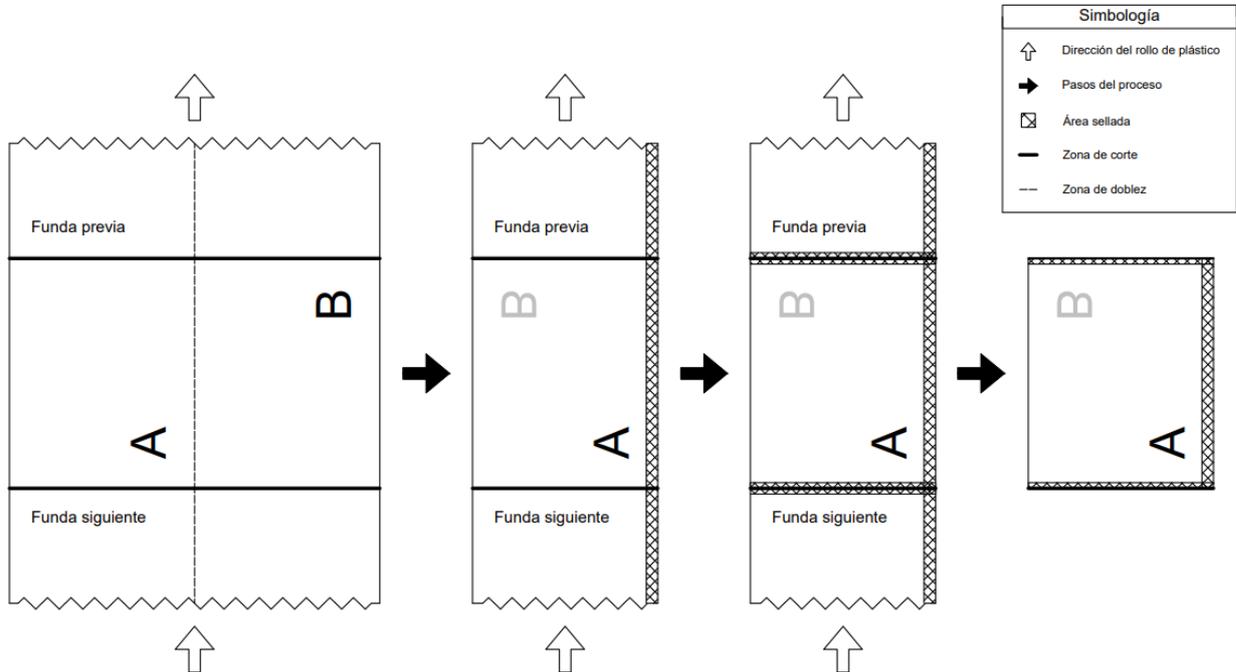


- **Sello en U:** Tipo de sello que se logra al doblar, sellar y cortar el rollo de plástico generando que la funda final tenga una apertura y tres sellos que forman la letra

“U”. Se muestran los pasos de los procesos para conseguir un sello en “U” en la Figura 2.3.

**Figura 2.3**

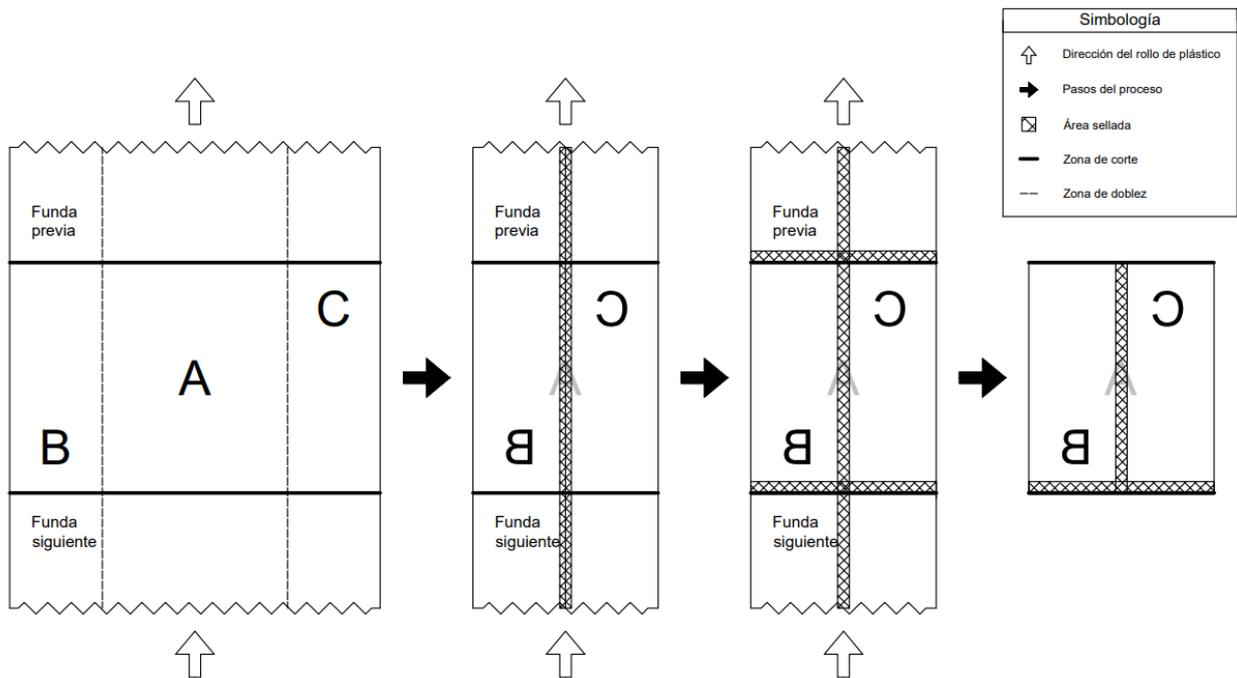
*Diagrama de los procesos de doblado, sellado, y corte para conseguir un sello en U*



- **Sello en T:** Tipo de sello que se logra al doblar, sellar y cortar el rollo de plástico generando que la funda final tenga una apertura y dos sellos que forman la letra “T”. Se muestran los pasos de los procesos para conseguir un sello en “T” en la Figura 2.4.

Figura 2.4

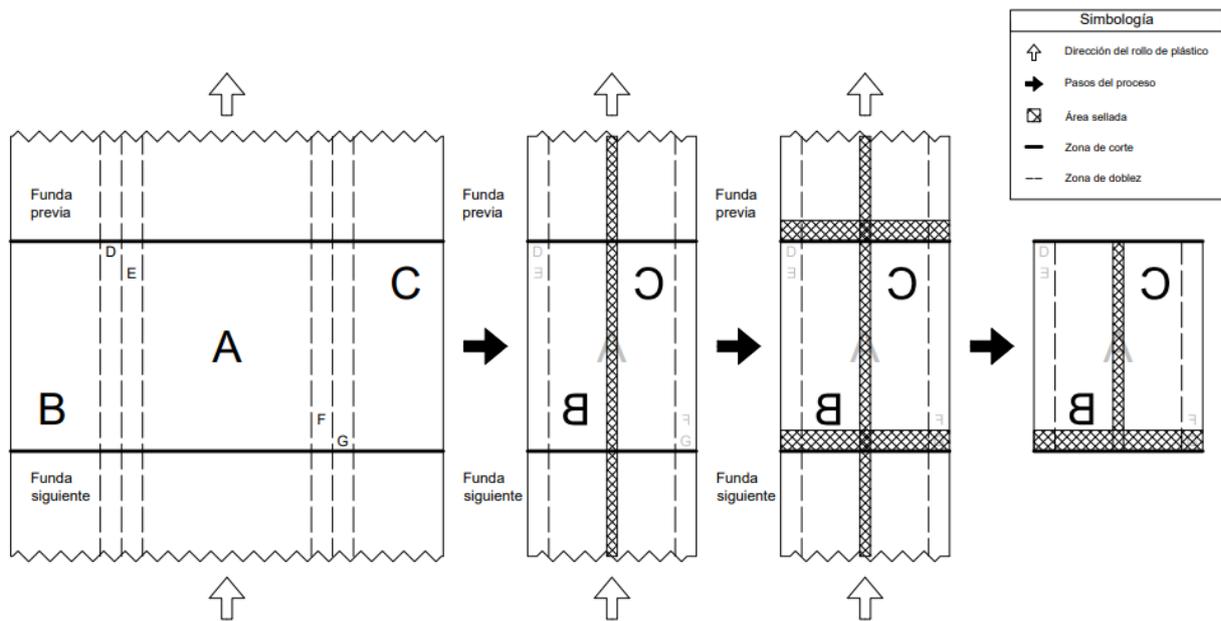
Diagrama de los procesos de doblado, sellado, y corte para conseguir un sello en T



- **Sello en T con fuelle:** Tipo de sello que se logra al doblar, sellar y cortar el rollo de plástico generando que la funda final tenga una apertura, dos sellos que forman la letra “T” y dos fuelles en los laterales de la funda. Se muestran los pasos de los procesos para conseguir un sello en “T” con fuelle en la Figura 2.5.

Figura 2.5

Diagrama de los procesos de doblado, sellado, y corte para conseguir un sello en T con fuelle



## 2.2 Estudio de la máquina y descubrimiento de puntos críticos

Tras conocer los requerimientos y limitaciones de la máquina se realiza un estudio profundo para conocer su funcionamiento general, los sistemas que lo componen, y los puntos críticos que provocan un impacto significativo en la baja velocidad de operación y la alta generación de desechos para conseguir un producto final de calidad. Se menciona a continuación los puntos críticos hallados. Los más importantes se desarrollarán a profundidad en sus respectivas secciones más adelante:

- **Sistema de avance y corte:** los sistemas de avance de material y de corte de fundas mecánicamente dependientes están limitados por el actual sistema de motor y reductor. También se encuentra desgaste en rodillos de avance y cuchilla de corte que afectan a la velocidad de la máquina y a la calidad del producto final.
- **Sistema de sellado:** los componentes neumáticos desgastados por el paso del tiempo afectan al tiempo de respuesta de los cilindros cuando se accionan las electroválvulas que los controlan. Se encuentra agua en el sistema proveniente de

la línea de entrada de aire comprimido. La respuesta del control de temperatura del sistema de calentamiento de cabezales es lenta.

- **Panel de control:** la máquina se opera actualmente mediante un panel de control ubicado sobre la mesa de producto terminado. Este panel permite controlar diversos aspectos del funcionamiento de la máquina, sin embargo, se considera obsoleto y vuelve la operación de la máquina tediosa.

Se mencionan, además, puntos críticos adicionales de menor alcance: Estos puntos no afectan en la misma medida a la velocidad de la máquina y la generación de desperdicios en comparación con los puntos críticos mencionados previamente. Entre ellos se encuentran:

- **Sistema de enfriamiento de sellado:** El sistema de enfriamiento de sellado actual consiste de un tanque de agua encargado del enfriamiento del material tras el sello transversal se sobrecalienta, impidiendo el enfriamiento efectivo del sello, afectando al corte subsecuente.
- **Sistema tensor:** El sistema tensor de material, en ocasiones, sobrepasa el rango de operación del sensor inductivo que lo controla, lo que produce que el material pierda tensionamiento y, consecuentemente, genere que el rollo se descuadre.

### 2.3 Selección de alternativa de solución

Tras el estudio total de la máquina se plantearon 2 alternativas de solución en conjunto con la empresa.

- **Alternativa 1:** Renovación de la máquina de forma parcial, que pone el enfoque en la repotenciación de aquellos sistemas que se consideren vitales para el funcionamiento de la selladora.
- **Alternativa 2:** Renovación total de la máquina de forma que se repotencie cada uno de los sistemas, incluyendo la renovación estética de la máquina.

Para la selección efectiva de alguna de las alternativas presentadas, se plantearon diferentes criterios que formarían parte del proceso de diseño y del diseño de renovación final. Se muestra a continuación la descripción de los criterios:

- **Adaptabilidad:** Grado en el que se puede variar la configuración de la máquina para cambiar de un producto a otro tras la renovación.
- **Comodidad de operación:** Grado de bienestar del operador en su área de trabajo durante la producción tras la renovación.
- **Costo:** Precio de materiales y mano de obra externo a la empresa durante la renovación.
- **Facilidad de uso:** Grado de sencillez de la operación de la máquina cuando se requiere configurar un producto por primera vez o realizar un cambio durante la producción tras la renovación.
- **Prioridad del sistema:** Grado de enfoque a la renovación los sistemas que más afecten a la calidad de los productos durante la renovación.
- **Reducción de desechos:** Grado en el que se disminuye la cantidad de desechos generados por la máquina durante la producción tras la renovación.
- **Seguridad:** Grado de operación de la máquina de forma segura tras la renovación.
- **Tiempo de ejecución:** Duración del proceso de renovación.
- **Velocidad:** Velocidad a la que funciona la máquina tras la renovación.

Se evaluaron los criterios mediante enfrentamiento en una matriz de filas y columnas. Para ello, se colocaron las siguientes calificaciones en cada enfrentamiento:

- **1:** si el criterio de la fila supera en importancia al criterio de la columna
- **0,5:** si el criterio de la fila es similar en importancia al criterio de la columna
- **0:** si el criterio de la fila es superado en importancia por el criterio de la columna

Se obtuvo, con ello, la importancia de cada criterio con respecto al resto y su ponderación en porcentaje. Las ponderaciones se pueden visualizar en la Tabla 2.1. Se obtiene la siguiente relación de criterios:

*Seguridad = Velocidad = Reducción de desechos > Adaptabilidad*

*= Prioridad del sistema > Facilidad de uso = Comodidad de operación*

*> Tiempo de ejecución*

**Tabla 2.1**

*Ponderación de criterios mediante enfrentamiento*

Criterio	Seguridad	Velocidad	Reducción de desechos	Adaptabilidad	Prioridad del sistema	Facilidad de uso	Comodidad de operación	Tiempo de ejecución	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación (%)	
Seguridad	-	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	8	17,78	
Velocidad	0,5	-	0,5	1	1	1	1	1	1	8	17,78	
Reducción de desechos	0,5	0,5	-	1	1	1	1	1	1	8	17,78	
Adaptabilidad	0	0	0	-	0,5	1	1	1	1	5,5	12,22	
Prioridad del sistema	0	0	0	0,5	-	1	1	1	1	5,5	12,22	
Facilidad de uso	0	0	0	0	0	-	0,5	1	1	3,5	7,78	
Comodidad de operación	0	0	0	0	0	0,5	-	1	1	3,5	7,78	
Tiempo de ejecución	0	0	0	0	0	0	0	-	1	2	4,44	
Costo	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	2,22	
										Total	45	100,00

Para seleccionar la alternativa que mejor cumpla los objetivos del proyecto teniendo en cuenta cada criterio, se realiza una tabla de ponderación de criterios según cada alternativa donde

la filas indican las alternativas y la columna el criterio. Para ello se colocaron las siguientes calificaciones:

- **1:** si la alternativa de la fila cumple con el criterio de mejor manera que la alternativa de la columna.
- **0.5:** si la alternativa de la fila cumple con el criterio de la misma manera que la alternativa de la columna.
- **0:** si la alternativa de la fila es superada en el cumplimiento del criterio por la alternativa de la columna.

Se calificó de forma ponderada los criterios teniendo en cuenta ambas alternativas y se obtuvo como resultado que la alternativa más adecuada para llevar a cabo el proyecto es la Alternativa 2, como se puede apreciar en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2**

*Peso ponderado de criterios por alternativa para selección de alternativa según prioridad*

Alternativas	Ponderación (%)										
	17,78	17,78	17,78	12,22	12,22	7,78	7,78	4,44	2,22		
	Criterios										
	Seguridad	Velocidad	Reducción de desechos	Adaptabilidad	Prioridad del sistema	Facilidad de uso	Comodidad de	Tiempo de ejecución	Costo	Peso ponderado	Prioridad
Alternativa 1	0,5	0,5	0,5	0	1	0	0	1	1	0,46	2
Alternativa 2	0,5	0,5	0,5	1	0	1	1	0	0	0,54	1
										Total	1

## 2.4 Sistema de avance y corte

El sistema mecánico de avance, y corte actual se encarga del giro de los rodillos por donde pasa el material para su avance, y del movimiento de subida y bajada de la cuchilla para el corte del material.

El sistema actual está compuesto por los sistemas de avance de material y de corte de forma dependiente. Estos dos sistemas son controlados a través de las señales eléctricas dadas por sensores inductivos y levas, y están unidos mecánicamente a través de sistemas de transmisión de potencia y accionados por un motor de corriente alterna con reductor de velocidad, como se puede apreciar en la Figura 2.6 y en la Figura 2.7. Las características de este sistema se pueden apreciar en la Tabla 2.3. Merece la pena mencionar que el giro producido por las levas del sistema también controla el sistema de sellado mediante señales de accionamiento a las electroválvulas.

Se muestra un diagrama del sistema de avance y corte en la Figura 2.8.

### Figura 2.6

*Motor CA del sistema de avance y corte*

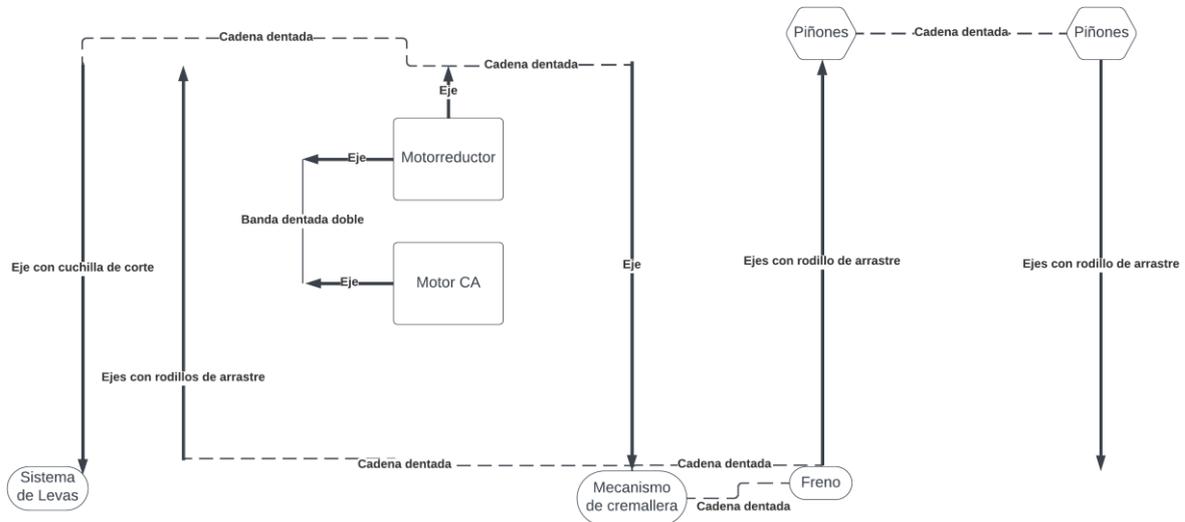


**Figura 2.7***Reductor de velocidad del sistema de avance y corte***Tabla 2.3***Características de sistema de motor y reductor*

Característica	Dato
Voltaje del motor	220 V CA
Velocidad del motor	1800 RPM
Reducción del reductor	20:1
Velocidad de salida del reductor	90 RPM
Tiempo por revolución del reductor	0,67 s

Figura 2.8

Esquema de transmisión de potencia mecánica del sistema de avance y corte



Para conocer los límites mecánicos de la máquina, se decide calcular los GPM máximos que se alcanzan actualmente. Conociendo la velocidad de salida del reductor y el diámetro transversal de los rodillos de arrastre se puede calcular el metraje de material que puede avanzar por minuto en la máquina.

$$Avance_{material}/minuto = \frac{Perímetro_{rodillo}}{revolución} \cdot V_{reductor} \quad (2.1)$$

$$Avance_{material}/minuto = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{rodillo}}{revolución} \cdot V_{reductor}$$

Donde:

- $V_{reductor}$ : velocidad salida del reductor
- $r_{rodillo}$ : radio transversal del rodillo

$$Avance_{material}/minuto = \frac{2 \cdot \pi \cdot 36,25 \text{ mm}}{1 \text{ rev}} \cdot 90 \text{ rev}/min$$

$$Avance_{material}/minuto = 20498,89 \text{ mm}/min = 20,50 \text{ m}/min$$

Se obtiene que la máquina tiene un límite de avance de material de 20,50 m/min. Con esta información se recopila la Tabla 2.4, donde se obtienen los GPM teóricos de la máquina

dependiendo de la medida de la funda y del tiempo de sellado y corte. El tiempo de sellado y corte depende de la temperatura de los cabezales y del material de la funda.

Los valores de la tabla se encontraron usando la siguiente fórmula:

$$GPM = \frac{60s}{T_S + T_A} \quad (2.2)$$

Donde:

- GPM: Golpes por minuto
- T<sub>A</sub>: Tiempo de avance. Tiempo donde avanza el material sin ser sellado o cortado.

$$T_A = \frac{\text{Medida de funda}}{\text{Avance}_{\text{material}}/\text{minuto}} \quad (2.3)$$

- T<sub>S</sub>: Tiempo de sellado. El tiempo necesario para la bajada y subida de los cabezales de sellado.

**Tabla 2.4**

*GPM según medida de funda y tiempo de sellado y corte para máxima velocidad*

	Tiempo de sellado y corte [s]									
	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	
150	52	48	44	41	38	36	34	32	30	
175	49	45	42	39	37	35	33	31	29	
200	46	43	40	37	35	33	31	30	28	
225	44	41	38	36	34	32	30	29	27	
250	41	39	36	34	32	31	29	28	26	
275	39	37	35	33	31	29	28	27	26	
300	38	35	33	31	30	28	27	26	25	
350	34	32	31	29	28	26	25	24	23	
400	32	30	28	27	26	25	24	23	22	
500	27	26	25	24	23	22	21	20	20	
600	24	23	22	21	21	20	19	19	18	
800	19	19	18	17	17	16	16	16	15	
1000	16	16	15	15	14	14	14	13	13	
1200	14	13	13	13	13	12	12	12	11	

### 2.4.1 Velocidad de trabajo según medidas y tiempo de sellado

En el estudio de la máquina selladora se recopilaron 4 productos finales, de los que se tomaron medidas de la velocidad de la máquina durante su producción y el tiempo de sellado. Los datos recopilados se encuentran en la Tabla 2.5. Las tablas de donde se calculó el porcentaje de trabajo se encuentran en Apéndices.

- **Funda 1:** Empaque para pulpa de fruta; se encontró que trabaja al 40% de la velocidad máxima del motor CA. Se puede visualizar en la Figura 2.9.

**Figura 2.9**

*Funda 1. Empaque para pulpa de fruta*



- **Funda 2:** Empaque para camarón; se encontró que trabaja al 59% de la velocidad máxima del motor CA. Se puede visualizar en la Figura 2.10.

**Figura 2.10**

*Funda 2. Empaque para camarón*



- **Funda 3:** Empaque para pan de hamburguesa; se encontró que trabaja al 32% de la velocidad máxima del motor CA Se puede visualizar en la Figura 2.11.

**Figura 2.11**

*Funda 3. Empaque para pan de hamburguesa*



- **Funda 4:** Empaque para fruta cortada; se encontró que trabaja al 16% de la velocidad máxima del motor CA. Se puede visualizar en la Figura 2.12.

**Figura 2.12**

*Funda 4. Empaque para fruta cortada*



**Tabla 2.5***Características de sellado de las Fundas 1, 2, 3 y 4*

	Funda 1	Funda 2	Funda 3	Funda 4
Característica	Dato			
Velocidad de máquina	18 GPM	21 GPM	12 GPM	16 GPM
Tiempo de sellado	1,2 s	1,1 s	0,9 s	1,0 s
Medida de funda (paralela al avance)	267 mm	357 mm	443 mm	143 mm
Espesor	80 $\mu\text{m}$	80 $\mu\text{m}$	40 $\mu\text{m}$	50 $\mu\text{m}$
Tipo de sello	T	U	T	U
Porcentaje de trabajo	40%	59%	32%	16%

#### 2.4.2 Sistema de avance

La potencia mecánica del sistema de avance de material es suministrada a través de un motor CA con reductor de velocidad. Esta potencia se distribuye a través de los tres pares de rodillos de arrastre presentes en la máquina. El accionamiento conjunto de los rodillos permite el avance uniforme del material.

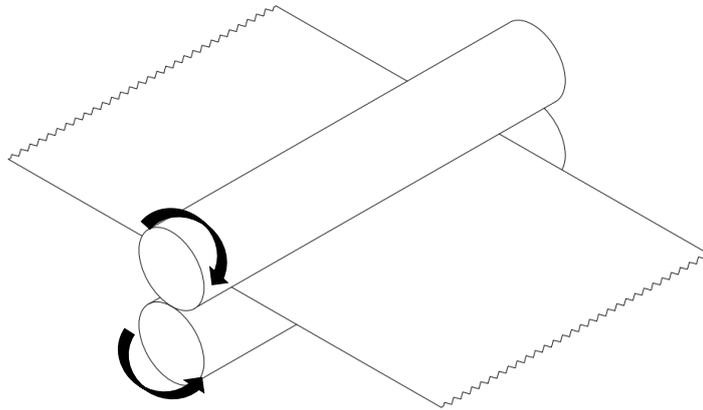
En el estado actual de la máquina, la potencia suministrada por el motor actual no es suficiente para alcanzar la velocidad de la máquina prevista en 70 GPM. Por ello, se propone desacoplar el sistema de avance de material del sistema de corte, de forma que el motor actual se utilice exclusivamente para subir y bajar la cuchilla de corte. Al hacer esto, la velocidad de 90 RPM suministrada por el motor-reductor es suficiente para asegurar la subida y la bajada de la cuchilla en 0,67 s. Un motor secundario se encargaría del giro de los tres pares de rodillos de avance, por lo que se eliminaría la restricción de los 90 RPM del motor-reductor actual en el sistema de avance.

### 2.4.3 Rodillos de arrastre

Los rodillos de arrastre son ejes metálicos encauchados que trabajan en pares y que, cuando se accionan, permiten el avance del material si este se encuentra presionado entre ambos, como se muestra en la Figura 2.13. Se muestra en la Figura 2.14 la posición del cuarto rodillo de arrastre en la mesa de avance, sello y corte.

**Figura 2.13**

*Esquema de rodillos y material*



**Figura 2.14**

*Cuarto rodillo superior de arrastre*



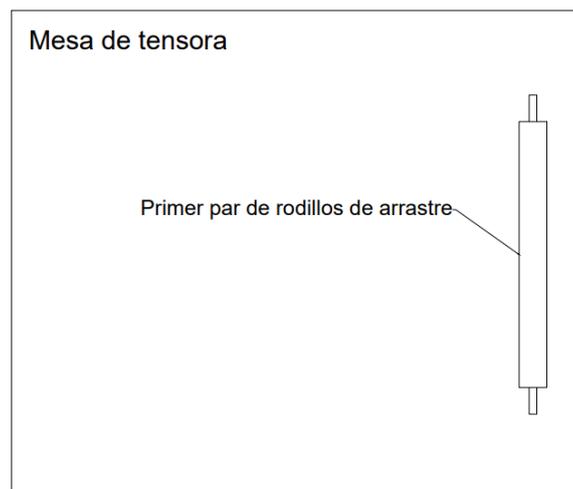
El primer par de rodillos que se encuentra en la mesa tensora se posicionan como se muestra en la Figura 2.15.

Los extremos de cada rodillo descansan en la superficie lateral de la máquina mediante chumaceras tipo brida, como se muestra en la Figura 2.16. Estos rodillos son pasivos, es decir, no se mueven por sí solos, sino producto del movimiento del material a través de ellos. Este primer par de rodillos se utiliza para acomodar la entrada del material a la máquina.

Los tres pares de rodillos que se encuentran en la mesa de avance, sello y corte, se posicionan uno detrás de otro conforme al avance del material, como se muestra en la Figura 2.17. Los extremos de cada rodillo se sujetan como el primer par ya descrito en el párrafo anterior. El segundo par de rodillos de arrastre está situado en la entrada mesa de avance, sello y corte, tras el paso del material por la mesa de sello lateral izquierdo. El tercer par de rodillos de arrastre se encuentra tras el sello lateral derecho. El cuarto par de rodillos de arrastre está situado tras el sello transversal antes del corte y se diferencia del resto por tener canales en su superficie. El sistema de motor y reductor se une mediante cadena dentada y piñón al tercer rodillo inferior, el cual se une a su vez al segundo y cuarto rodillo inferior de la misma forma. En este sistema, los rodillos inferiores conducen a los rodillos superiores mediante piñones dentados con una relación de 1:1.

### Figura 2.15

*Diagrama de posición de rodillo en mesa tensora*

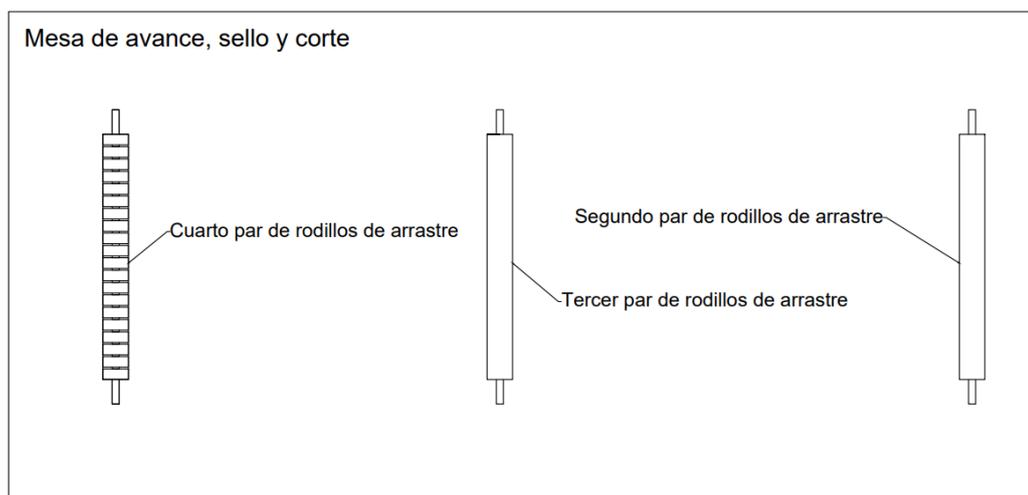


**Figura 2.16**

*Chumaceras y piñones dentados del tercer par de rodillos dentados*

**Figura 2.17**

*Diagrama de posiciones de rodillos en mesa de avance, sello y corte*



El buen estado de los rodillos de arrastre es sumamente importante para el avance uniforme del material. Con el paso del tiempo, es natural el desgaste de la superficie encauchada en la zona central del rodillo, donde hay mayor incidencia del paso del material. El primer par de rodillos mide actualmente 73 mm de diámetro, disminuyendo a 72,5 mm en su zona central. Los pares 2, 3 y 4 miden aproximadamente 71 mm de diámetro transversal, disminuyendo a 69 en su zona central, sin embargo, se evidencia desgaste no uniforme en la superficie de todos los rodillos,

motivo por el cual el material se descuadra fácilmente. Se presenta en la Tabla 2.6 las alternativas de renovación de los rodillos.

**Tabla 2.6**

*Alternativas de renovación de los rodillos de arrastre*

Alternativa	Descripción	Criterios positivos
Rectificado de los rodillos actuales	Reducción del diámetro los rodillos del sistema al diámetro mínimo actual en el sistema	Costo Tiempo de ejecución Comodidad de
Reencauche de los rodillos actuales	Eliminación del caucho actual y reemplazo por caucho nuevo para alcanzar un diámetro requerido	operación Velocidad Reducción de desechos

Si bien el rectificado de los rodillos actuales parece ser una opción válida, el proceso consiste en la reducción de los diámetros de los rodillos al mínimo diámetro presente en el sistema para mantener una relación de arrastre de 1:1 en los rodillos. El desgaste actual de los rodillos supondría una reducción significativa del diámetro de los mismo, lo que pone en riesgo la presencia de presión en cada par, tomando en consideración las chumaceras actuales. En caso de que la presión desaparezca, consideraciones adicionales se debería tomar en cuenta para la sujeción mediante chumaceras y piñones. Estas consideraciones son importantes para los tres pares de rodillos presentes en la mesa de avance, sello y corte, pues el giro de los rodillos debe ser sincronizado, de forma que el material no se estire de manera no uniforme. Sin embargo, el primer par de rodillos de avance, al estar mecánicamente independiente del resto, puede girar libremente sin que la diferencia de su diámetro con respecto a los demás pares afecte a la calidad de las fundas.

Teniendo en cuenta los criterios positivos de ambas alternativas, se decide que la opción más adecuada para este plan de renovación es el reencauche de los seis rodillos de la mesa de avance, sellado y corte, para obtener un diámetro de 73 mm en cada uno de ellos, y el rectificado de los dos rodillos de la mesa tensora para rebajarlo a 72 mm. El tiempo de ejecución dado por el contratista es de 11 días de calendario. El precio del trabajo del contratista es de \$1,270.

#### 2.4.4 Selección de servomotor

Para seleccionar un servomotor que se dedique exclusivamente al movimiento de los rodillos de arrastre, se necesita saber la velocidad a la que necesita trabajar tras la renovación. Para ello se tiene en cuenta la funda más larga que se produce en la máquina: una funda con 1100 mm de largo. Si se requiere que la máquina trabaje a 70 GPM y se necesita un tiempo mínimo de sellado de 0,65 s, se debe calcular el tiempo de arrastre por minuto. Los cálculos se muestran a continuación:

$$Tiempo_{total}/minuto = Tiempo_{arrastre}/minuto + Tiempo_{sellado}/minuto \quad (2.4)$$

$$Tiempo_{sellado}/minuto = (GPM - 1) \cdot Tiempo_{sellado \text{ de material}} \quad (2.5)$$

Donde:

- GPM: golpes por minuto máximos a los que se desea trabajar

$$Tiempo_{sellado}/min = (70 - 1) \cdot 0,65 \text{ s}$$

$$T_{sellado}/min = 44,85 \text{ s}$$

Se calculó el tiempo de arrastre por minuto:

$$Tiempo_{arrastre}/minuto = Tiempo_{total}/minuto - Tiempo_{sellado}/minuto$$

$$Tiempo_{arrastre}/minuto = 60 \text{ s} - 44,85 \text{ s}$$

$$Tiempo_{arrastre}/minuto = 15,15 \text{ s}$$

A continuación, teniendo en cuenta el diámetro de los rodillos de arrastre, se calcula la velocidad a la que debe ir el servomotor:

$$V_{\text{arrastre}} = \frac{\text{GPM} \cdot \text{Ancho}_{\text{funda}}}{\text{Tiempo}_{\text{arrastre}} / \text{min}} \quad (2.6)$$

Donde:

- $V_{\text{arrastre}}$ : velocidad de arrastre a la que se desea que trabaje el sistema
- GPM: golpes por minuto máximos a los que se desea trabajar

$$V_{\text{arrastre}} = \frac{70 \cdot 1100 \text{ mm}}{15,15 \text{ s}}$$

$$V_{\text{arrastre}} = 5082,51 \text{ mm/s}$$

Se calcula el avance por revolución del rodillo:

$$\text{Perímetro}_{\text{rodillo}} = 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{rodillo}} \quad (2.7)$$

Donde:

- $r_{\text{rodillo}}$ : radio transversal del rodillo

$$\text{Perímetro}_{\text{rodillo}} = 2 \cdot \pi \cdot 36,25 \text{ mm}$$

$$\text{Perímetro}_{\text{rodillo}} = 227,76 \text{ mm} = 227,76 \text{ mm}$$

Se tiene en cuenta que el perímetro del rodillo es la distancia que recorre el material en una revolución si el rodillo gira sin deslizar:

$$\text{Perímetro}_{\text{rodillo}} = \text{Avance}_{\text{revolución}} \quad (2.8)$$

$$\text{Avance}_{\text{revolución}} = 227,76 \text{ mm/rev}$$

Con los cálculos realizados previamente se puede, finalmente, calcular la velocidad que debe alcanzar el motor si se requiere trabajar a 70 GPM con los rodillos actuales:

$$V_{\text{motor}} = \frac{V_{\text{arrastre}}}{\text{Avance}_{\text{revolución}}} \quad (2.9)$$

Donde:

- $V_{\text{motor}}$ : velocidad mínima que debe alcanzar el motor

$$RPM = \frac{5082,51 \text{ mm/s} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}}{227.76 \text{ mm/rev}}$$
$$RPM = 1338,91 \text{ rev/min}$$

Se necesita un motor capaz de generar, por lo menos, 1338,91 RPM. Se presenta en la Figura 2.18 un servomotor CA que cumple con la característica. Así mismo, se presenta su driver en la Figura 2.19. Ambos componentes fueron ser seleccionados como la mejor opción entre las opciones mostradas por los diferentes proveedores, teniendo en cuenta su costo. Las características del servomotor se muestran en la Tabla 2.7.

**Figura 2.18**

*Servomotor 180SM-M2715NAL [21]*



**Figura 2.19***Servodriver SDD50NK10D [22]***Tabla 2.7***Características Servomotor 180SM-M2715NAL [21]*

Característica	Dato
Potencia	4.3 kW
Velocidad	1500 RPM
Torque nominal	27,0 Nm
Precio de mercado	\$ 2750,00

Se decide instalar un nuevo servomotor con servodriver a través de un contratista especializado. El tiempo de ejecución dado por el contratista para la instalación y programación es de 9 días de calendario. El precio del trabajo del contratista es de \$2,000.

#### **2.4.5 Sistema de corte**

El sistema de corte actual está dado por un eje, una polea y una cuchilla que, una vez por revolución son accionados para provocar la subida y bajada de la cuchilla para generar un corte en el material. El corte se realiza entre la cuchilla móvil y una cuchilla estática. En el proceso de subida del corte, se realiza el avance del material mientras que, en el proceso de corte, el material se encuentra estático y se realiza el sellado del mismo.

Las cuchillas de corte actuales se encuentran desafiladas, se puede observar variación en la medida del perfil de corte. Por este motivo se influencia la decisión de limitar la velocidad de funcionamiento de la máquina por parte de los operadores, reduciendo la capacidad productiva de la misma.

Se proponen diversas alternativas de mejora para el sistema de corte actual y se comparan en la Tabla 2.8.

En la tabla se propone un nuevo sistema de cuchillas mediante resorte, este nuevo sistema permitiría que la cuchilla retorne de forma automática tras el corte, disminuyendo el tiempo de interacción entre la cuchilla y el material. Aunque se intuya más conveniente para la velocidad de la máquina, el cambio del sistema supondría cambios adicionales en la estructura de la cuchilla, y en el sistema mecánico de polea que mueve la cuchilla, aumentando el costo y el tiempo de ejecución de la mejora.

**Tabla 2.8**

*Alternativas de mejora para el sistema de corte*

Alternativa	Criterios positivos
Afilamiento y rectificado de cuchillas actuales	Seguridad
	Costo
	Tiempo de ejecución
	Velocidad
Nuevo sistema de cuchillas mediante resorte	Adaptabilidad
	Facilidad de uso
	Reducción de desechos

Se decide realizar el afilamiento de cuchillas actuales teniendo en cuenta el costo, al ser más barato que la implementación de un nuevo sistema con resorte, tomar menos tiempo para su ejecución y no suponer un cambio significativo en el resultado final de la calidad de las fundas.

Para esta mejora se deciden afilar y rectificar 2 pares de cuchillas que se intercambian cada cierto periodo de tiempo. El tiempo de ejecución dado por el contratista para la rectificación y el afilado de las cuchillas es de 8 días de calendario. El precio del trabajo del contratista es de \$265,68.

## **2.5 Sistema de sellado**

Para sellar una funda en la máquina se pueden accionar tres cabezales diferentes, que permiten generar los diferentes sellos en la funda. Estos cabezales se calientan hasta alcanzar la temperatura de sellado especificada para el material a sellar, y se accionan para calentar la zona de sello del material durante un periodo corto de tiempo. En cada ciclo de avance, el material se sella una vez, pudiendo accionar los cabezales al mismo tiempo. En la práctica, ningún sello involucra a los tres cabezales al mismo tiempo.

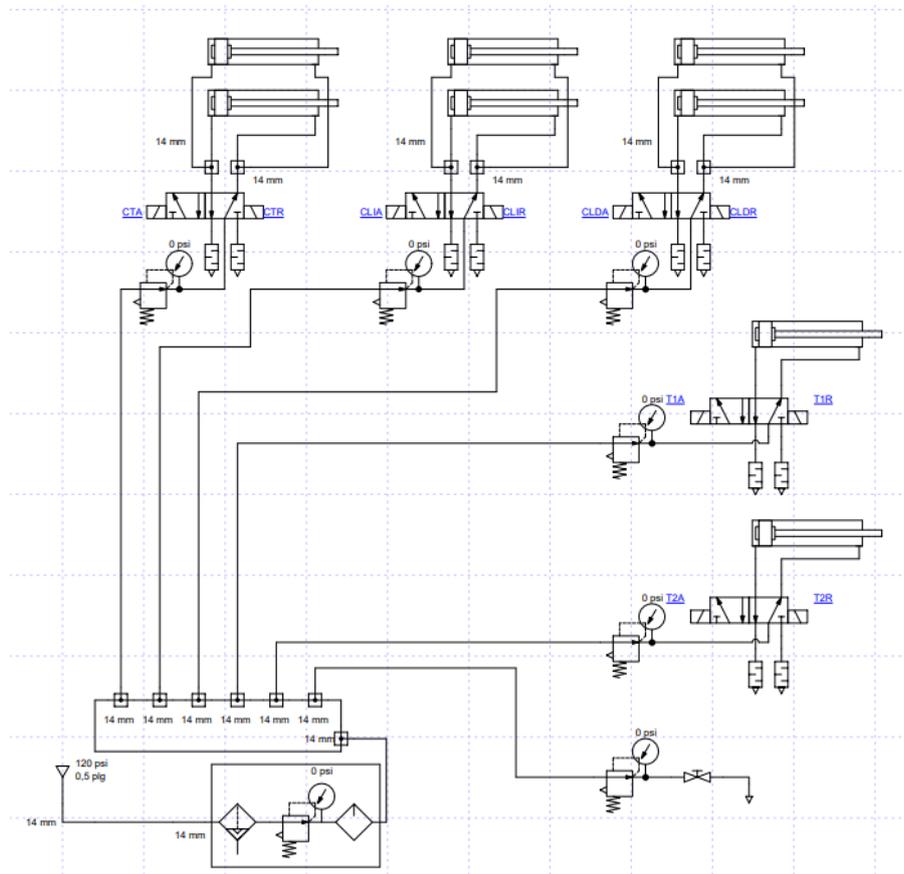
### **2.5.1 Mecanismo de sellado**

La máquina cuenta con tres pares de cabezales que pueden generar sellos:

- **Cabezales transversales:** par de cabezales de 70 cm de largo colocados de forma perpendicular al avance del material en la mesa de avance, sello y corte. El cabezal inferior es estático y contiene una mordaza moleteada, mientras que el cabezal superior es móvil, contiene una mordaza de goma y es accionado por dos cilindros neumáticos que permiten que se mueva verticalmente, alejando y juntando el cabezal superior al inferior.
- **Cabezales laterales derechos:** par de cabezales de 60 cm colocados en dirección paralela al avance del rollo en la mesa de avance, sello y corte. El cabezal inferior es estático y contiene una mordaza moleteada de 5 mm de ancho, el cabezal superior es móvil y contiene una mordaza moleteada, accionado por dos cilindros neumáticos de menor envergadura que permiten el movimiento vertical, generando el sello.

- **Cabezal lateral izquierdo:** cabezal superior de 60 cm adaptado para trabajar de forma individual en la mesa de sellado lateral izquierdo. Contiene una mordaza moleteada de 5 mm de ancho. El cabezal logra sellar cuando choca el material contra la superficie de una mesa. El movimiento se produce por dos cilindros neumáticos.

Los cabezales superiores son accionados por un par de cilindros cada uno. Estos cilindros se mueven mediante el accionamiento de electroválvulas de cinco vías y dos posiciones. En total, tres electroválvulas se encargan del movimiento de los cabezales en la máquina. Adicionalmente, la máquina cuenta con dos salidas más con electroválvulas, para añadir troqueles, y una salida regulada que es usada, principalmente, para limpieza de la máquina. La señal de las electroválvulas está dada por un sistema de levas y sensores inductivos. Las conexiones neumáticas en la máquina se presentan en la Figura 2.20.

**Figura 2.20***Diagrama de sistema de conexiones neumáticas*

### 2.5.2 Cilindros neumáticos del cabezal transversal

En la actualidad, el cabezal transversal superior del mecanismo de sellado es elevado por un par de cilindros neumáticos emperrados a una base metálica, como se observa en la Figura 2.21. Los cilindros actuales son los seleccionados por el fabricante originalmente, por lo que se estima que han cumplido con 13 años de vida útil. Los cilindros actuales muestran fugas de aire comprimido cuando se sobrepasa una presión de trabajo de 95 psi. Los datos de los cilindros actuales se visualizan en la Tabla 2.9.

**Figura 2.21***Cilindros neumáticos del cabezal transversal superior***Tabla 2.9***Datos de los cilindros neumáticos del cabezal transversal*

Característica	Dato
Tipo de cilindro	Doble efecto
Número de vástagos	1
Presión de trabajo	< 95 psi
Altura	155 mm
Anchura	80 mm
Área de pistón	~3318 mm <sup>2</sup>
Carrera	25 mm
Distancia entre orificio para pernos	55 mm
Medida de pernos	1/4 pulg x 1/2 pulg

Se requiere sustituir los cilindros actuales por nuevos cilindros neumáticos que puedan levantar el peso del mismo cabezal utilizando los orificios ya existentes en la base metálica. El

cabezal lateral superior con una resistencia de tubo interna y una mordaza de sellado tiene una masa total cercana a 8 kg. Se calcula el peso total del cabezal.

$$F_{cabezal} = m_{cabezal} \cdot g \quad (2.10)$$

Donde:

- $F_{cabezal}$ : Peso del cabezal
- $m_{cabezal}$ : masa del cabezal
- $g$ : gravedad

$$F_{cabezal} = 8 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{cabezal} = 78,48 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 78,48 \text{ N}$$

Teniendo en cuenta que los cilindros trabajan en conjunto para levantar y bajar dicha masa, y suponiendo que ambos cilindros se encuentran simétricamente enroscados en la superficie superior del cabezal se calcula la fuerza que debe ejercer cada cilindro.

$$F_{cilindros} = F_{cabezal} \quad (2.11)$$

$$2 \cdot F_{cilindro} = F_{cabezal} \quad (2.12)$$

$$F_{cilindro} = \frac{F_{cabezal}}{2} \quad (2.13)$$

Donde:

- $F_{cilindro}$ : fuerza que debe realizar el cilindro
- $F_{cabezal}$ : peso del cabezal

$$F_{cilindro} = \frac{78,48 \text{ N}}{2}$$

$$F_{cilindro} = 39,24 \text{ N}$$

Una vez obtenida la fuerza que debe ejercer cada cilindro y teniendo en cuenta el rango presión al que trabaja el sistema neumático se calcula el área de pistón necesaria para cumplir con el requerimiento de la máquina y que la pérdida por fricción es nula, se calcula el área transversal que debe tener el pistón para cumplir con su trabajo.

$$F_{cilindro} = P_{aire\ máximo} \cdot A_{pistón} - f \quad (2.14)$$

$$A_{pistón} = \frac{F_{cilindro} - f}{P_{aire\ máximo}} \quad (2.15)$$

Donde:

- $A_{pistón}$ : Área del pistón
- $F_{cilindro}$ : Fuerza que debe realizar el cilindro
- $f$ : fricción en el pistón
- $P_{aire\ máximo}$ : Presión máxima de trabajo del sistema

$$A_{pistón} = \frac{39,24\ N - 0}{120\ psi \cdot \frac{1\ MPa}{145\ psi}}$$

$$A_{pistón} = 47.54\ mm^2$$

$$F_{cilindro} = P_{aire\ mínimo} \cdot A_{pistón} - f \quad (2.16)$$

$$A_{pistón} = \frac{F_{cilindro} - f}{P_{aire\ mínimo}} \quad (2.17)$$

Donde:

- $A_{pistón}$ : Área del pistón
- $F_{cilindro}$ : Fuerza que debe realizar el cilindro
- $f$ : fricción en el pistón
- $P_{aire\ mínimo}$ : Presión mínima de trabajo del sistema

$$A_{pistón} = \frac{39,24\ N - 0}{50\ psi \cdot \frac{1\ MPa}{145\ psi}}$$

$$A_{pistón} = 113.80\ mm^2$$

Se requiere, entonces, que los nuevos cilindros para el cabezal transversal cumplan con los requerimientos expuestos en la Tabla 2.10.

**Tabla 2.10***Requerimientos de cilindros para cabezal transversal*

Requerimiento	Dato	Prioridad
Tipo de cilindro	Doble efecto	Obligatorio
Número de vástagos	1	Obligatorio
Presión de trabajo	$\geq 120$ psi	Obligatorio
Anchura	$< 80$ mm	Opcional
Área de pistón	$\geq 113.80$ mm <sup>2</sup>	Obligatorio
Carrera	45 mm	Obligatorio
Distancia entre orificio para pernos	55 mm	Obligatorio
Medida de pernos	1/4 pulg x 1/2 pulg	Obligatorio

Se presenta en la Figura 2.22 el modelo de cilindro neumático MCQI3-11-63-100M que cumple con la mayoría de los datos requeridos [21]. Las características del cilindro se encuentran en la Tabla 2.11.

**Figura 2.22**

*Cilindro MCQI3-11-63-50M [23]*



**Tabla 2.11**

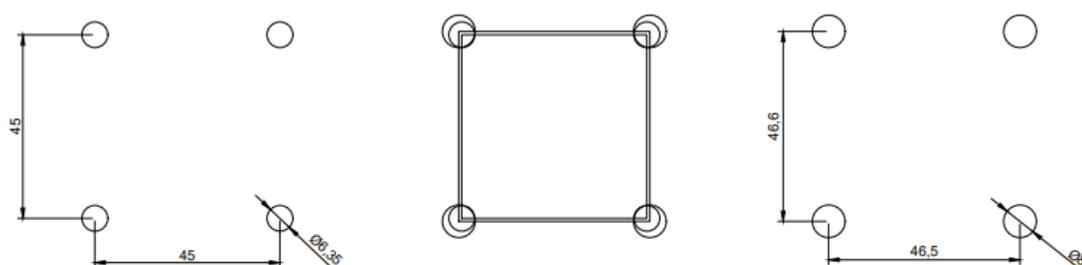
*Características de los nuevos cilindros MCQI3-11-63-50M para cabezal transversal [23]*

Característica	Dato
Tipo de cilindro	Doble efecto
Número de vástagos	1
Diámetro de pistón	63 mm
Área de pistón	3117.24 mm <sup>2</sup>
Presión de operación	7,25 - 145 psi
Velocidad	50 – 500 mm/s
Carrera	50 mm
Anchura	78 mm
Distancia entre orificios de pernos	56,5 mm
Medida de pernos	M8 x 1.25 mm

La distancia entre orificios de pernos y la medida de pernos son la única característica que no cumple el cilindro, sin embargo, ambas son ligeramente superiores a la requeridas. De esta forma se pueden agrandar ligeramente los orificios de los pernos de forma que el centro de los cilindros se mantenga el mismo, como se muestra en la Figura 2.23.

**Figura 2.23**

*Diagrama para el mecanizado de orificios en base metálica para cilindros de cabezal transversal*



### 2.5.3 *Cilindros neumáticos de los cabezales laterales*

Los cabezales laterales superiores derecho e izquierdo del mecanismo de sellado son iguales. En la actualidad, ambos son elevados por pares de cilindros neumáticos. Los cilindros del cabezal lateral derecho se encuentran sobre una base metálica original de la máquina, mientras que los cilindros del cabezal lateral izquierdo se han adaptado para trabajar empernados en otra base metálica, como se observa en la Figura 2.24. Los datos de los cilindros actuales se visualizan en la Tabla 2.12.

**Figura 2.24**

*Cilindros del cabezal lateral izquierdo superior*



**Tabla 2.12***Datos de los cilindros neumáticos de los cabezales laterales*

Característica	Dato
Tipo de cilindro	Doble efecto
Número de vástagos	1
Presión de trabajo	< 95 psi
Altura	150 mm
Anchura	65 mm
Área de pistón	~1963 mm <sup>2</sup>
Carrera	40 mm
Distancia entre orificio para pernos	45 mm
Medida de pernos	1/4 pulg x 1/2 pulg

Se desarrollan los cálculos al igual que se hizo para el cabezal transversal, teniendo en consideración que los cabezales laterales superiores tienen una masa total de 6 kg, tomando en cuenta su resistencia eléctrica interior y las mordazas de sellado.

$$F_{cabezal} = m_{cabezal} \cdot g \quad (2.18)$$

Donde:

- $F_{cabezal}$ : Peso del cabezal
- $m_{cabezal}$ : masa del cabezal
- $g$ : gravedad

$$F_{cabezal} = 6 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{cabezal} = 58,86 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 58,86 \text{ N}$$

$$F_{cilindros} = F_{cabezal} \quad (2.19)$$

$$2 \cdot F_{cilindro} = F_{cabezal} \quad (2.20)$$

$$F_{cilindro} = \frac{F_{cabezal}}{2} \quad (2.21)$$

Donde:

- $F_{cilindro}$ : fuerza que debe realizar el cilindro
- $F_{cabezal}$ : peso del cabezal

$$F_{cilindro} = \frac{58,86 N}{2}$$

$$F_{cilindro} = 29,43 N$$

Tras obtener la fuerza que debe ejercer cada cilindro y teniendo en cuenta el rango presión al que trabaja el sistema neumático se calcula el área de pistón necesaria para cumplir con el requerimiento de la máquina y que la pérdida por fricción sea nula. Se calcula el área transversal que debe tener el pistón para que el cilindro cumpla con el trabajo requerido.

$$F_{cilindro} = P_{aire\ máximo} \cdot A_{pistón} - f \quad (2.22)$$

$$\frac{F_{cilindro} - f}{P_{aire\ máximo}} = A_{pistón} \quad (2.23)$$

Donde:

- $A_{pistón}$ : Área del pistón
- $F_{cilindro}$ : Fuerza que debe realizar el cilindro
- $f$ : fricción en el pistón
- $P_{aire\ máxima}$ : Presión máxima de trabajo del sistema

$$\frac{29,43 N - 0}{120\ psi \cdot \frac{1\ MPa}{145\ psi}} = A_{pistón}$$

$$A_{pistón} = 35.56\ mm^2$$

$$F_{cilindro} = P_{aire\ mínimo} \cdot A_{pistón} - f \quad (2.24)$$

$$A_{pistón} = \frac{F_{cilindro} - f}{P_{aire\ mínimo}} \quad (2.25)$$

Donde:

- $A_{pistón}$ : Área del pistón
- $F_{cilindro}$ : Fuerza que debe realizar el cilindro
- $f$ : fricción en el pistón

- $P_{\text{aire m\u00ednimo}}$ : Presi\u00f3n m\u00ednima de trabajo del sistema

$$A_{\text{pist\u00f3n}} = \frac{29,43 \text{ N} - 0}{50 \text{ psi} \cdot \frac{1 \text{ MPa}}{145 \text{ psi}}}$$

$$A_{\text{pist\u00f3n}} = 85,347 \text{ mm}^2$$

Se requiere, entonces, que los nuevos cilindros para los cabezales laterales cumplan con los requerimientos expuestos en la Tabla 2.13.

**Tabla 2.13**

*Requerimientos de cilindros para cabezales laterales*

Requerimiento	Dato	Prioridad
Tipo de cilindro	Doble efecto	Obligatorio
N\u00famero de v\u00e1stagos	1	Obligatorio
Presi\u00f3n de trabajo	$\geq 120$ psi	Obligatorio
Anchura	$< 65$ mm	Opcional
\u00c1rea de pist\u00f3n	$\geq 85,35$ mm <sup>2</sup>	Obligatorio
Carrera	40 mm	Obligatorio
Distancia entre orificio para pernos	45 mm	Obligatorio
Medida de pernos	1/4 pulg x 1/2 pulg	Obligatorio

Se presenta en la Figura 2.25 el modelo de cilindro neum\u00e1tico MCQI3-11-63-100M [22] que cumple con la mayor\u00eda de los datos requeridos. Las caracter\u00edsticas del cilindro se encuentran en la Tabla 2.14.

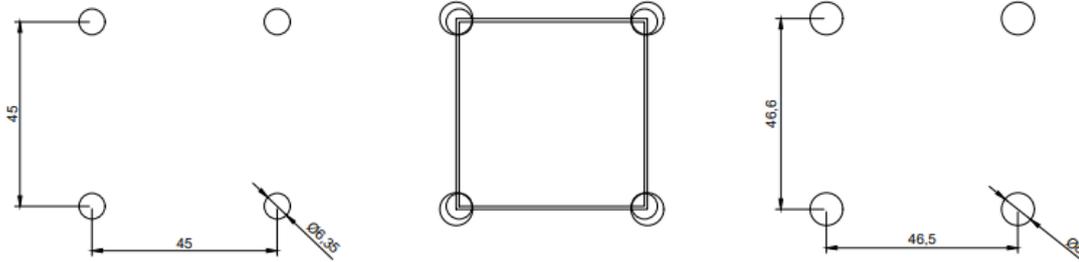
**Figura 2.25***Cilindro MCQI2-11-50-50M [22]***Tabla 2.14***Características de los nuevos cilindros MCQI2-11-50-50M para cabezales laterales [22]*

Característica	Dato
Tipo de cilindro	Doble efecto
Número de vástagos	1
Diámetro de pistón	50 mm
Área de pistón	1963,50 mm <sup>2</sup>
Presión de operación	7,25 - 145 psi
Velocidad	50 – 500 mm/s
Carrera	50 mm
Anchura	65 mm
Distancia entre orificios de pernos	46,5 mm
Medida de pernos	M8 x 1.25 mm

Al igual que para los cilindros del cabezal transversal, la distancia entre orificios de pernos y la medida de pernos son la única característica que no cumple el cilindro, sin embargo, ambas son ligeramente superiores a la requeridas. De esta forma se pueden agrandar ligeramente los orificios de los pernos de forma que el centro de los cilindros se mantenga el mismo, como se muestra en la Figura 2.26.

**Figura 2.26**

*Diagrama para el mecanizado de orificios en bases metálicas para cilindros de cabezales laterales*



Por lo tanto, se decide instalar dos nuevos tipos de cilindros neumáticos, que sustituyen a los cilindros actuales. Para poder instalarlos en las mismas bases metálicas sobre las que se encuentran los cilindros actualmente, se deben mecanizar nuevos orificios, por lo que se contacta a un contratista externo para realizar el trabajo según los diagramas provistos en cada caso. El tiempo de ejecución dado por el contratista para el mecanizado de 24 orificios (4 orificios por cilindro y 6 cilindros en total) es de 3 días de calendario. El precio del trabajo del contratista es de \$200.

Adicionalmente, se contactó con el mismo contratista para aislar el vástago de los cilindros del sello transversal de los cabezales, los cuales llegan a temperaturas de hasta 280°C. Esta mejora se realiza mediante la instalación de unas barras de celerón, material utilizado en la industria con alta resistencia a carga e impactos [23], condición necesaria al tratarse de cabezales que chocan en cada ciclo. Se incluye también, una mejora para el cambio de teflón del cabezal transversal. Este material se utiliza para que los perfiles de sello de los cabezales no choquen entre ellos y que el material no impacte directamente en el perfil. Tiras de teflón se colocan a lo largo de los perfiles y su cambio se da tras el desgaste, aun cuando los cabezales están calientes. La mejora del sistema permite cambiar el teflón sin tocar el cabezal, lo que evita que los operadores interactúen con el cabezal caliente. El tiempo de ejecución dado por el contratista para la fabricación de las barras de

celerón y el nuevo sistema de cambio de teflón es de 10 días de calendario. El precio de trabajo del contratista es de \$201,15.

#### ***2.5.4 Unidad de mantenimiento***

Se considera que la unidad de mantenimiento actual, que se muestra en la Figura 2.27, ha cumplido su ciclo de vida útil, al haber estado presente en la máquina desde su llegada a la planta. La unidad de mantenimiento contiene un lubricador y una purga de tipo manual. Se identifica presencia de agua en el sistema a través de la entrada de aire comprimido a la máquina. El agua se acumula en el vaso de purga, sin embargo, los operadores no retiran el agua acumulada con regularidad, por lo que el agua se mantiene en el sistema llegando a las electroválvulas y a los cilindros neumáticos. Se presenta en la Tabla 2.15 las características de dicha unidad.

**Figura 2.27**

*Unidad de mantenimiento actual*



**Tabla 2.15***Características de unidad de mantenimiento*

Característica	Dato
Presión de trabajo	10 – 140 psi
Puertos de entrada de aire	1/4 pulg NPT
Temperatura de trabajo	-10 – 60 °C
Purga	Sí
Lubricador	Sí
Tipo de purga	Manual

Se decide que la mejor opción es reemplazar la unidad de mantenimiento por una nueva unidad con características similares a excepción de la inclusión de una purga automática que expulse el exceso de agua en el sistema cuando el volumen de agua sobrepase un límite dado por el fabricante.

Se presenta en la Tabla 2.16 los datos de una nueva unidad de mantenimiento que cumple con los datos requeridos. La unidad de mantenimiento se muestra en la Figura 2.28.

**Tabla 2.16***Características de nueva unidad de mantenimiento*

Característica	Dato
Presión de trabajo	7 – 141 psi
Puertos de entrada de aire	1/2 pulg NPT
Temperatura de trabajo	-10 – 60 °C
Purga	Sí
Lubricador	Sí
Tipo de purga	Automática

**Figura 2.28**

*Nueva unidad de mantenimiento con purga automática [24]*



### **2.5.5 Tanque de aire comprimido**

La presencia de un tanque de aire comprimido en un sistema neumático es fundamental para el correcto funcionamiento y la eficiencia energética del mismo. El sistema neumático actual de la selladora no cuenta con un tanque de aire comprimido, a diferencia de otras máquinas selladoras en planta y en la industria, por lo que es común durante la operación de la máquina presenciar accionamientos neumáticos incompletos debido al consumo excesivo de la máquina en comparación al aire que suministra la línea de entrada. El tanque de aire comprimido sirve para almacenar el aire comprimido, suministrarlo a los elementos neumáticos según la demanda, estabilizar la presión del aire comprimido, amortiguar las fluctuaciones causadas por cambios de consumo de otras selladoras en planta y separar el agua del aire comprimido mediante gravedad.

Para ello, se decide calcular el consumo total de la máquina, teniendo en cuenta los nuevos cilindros neumáticos y sus consumos individuales, como se muestra a continuación:

$$\text{Consumo requerido} = Qn_{total} \quad (2.26)$$

$$Qn_{total} = 2 \cdot Qn_{grande} + 4 \cdot Qn_{pequeño} \quad (2.27)$$

El consumo de cualquier cilindro está dado por la siguiente expresión:

$$Qn = (A_a + A_b) \cdot l \cdot \frac{P+0.101}{0.101} \cdot n \cdot 10^{-6} \quad (2.28)$$

Donde:

Qn: Consumo de cilindro

A<sub>a</sub>: Área de pistón sin vástago

A<sub>b</sub>: Área de pistón con vástago

l: Carrera

P: Presión de trabajo (en MPa)

n: Número de ciclos

Se calcula el consumo de los cilindros grandes y los cilindros pequeños, a continuación:

$$Qn_{grande} = (3117,25 \text{ mm}^2 + 2803,09 \text{ mm}^2) \cdot 50\text{mm} \cdot \frac{60\text{psi} \cdot \frac{1 \text{ MPa}}{145 \text{ psi}} + 0.101}{0.101} \cdot 70 \cdot 10^{-6}$$

$$Qn_{grande} = 105,62 \text{ L/min}$$

$$Qn_{pequeño} = (1963,50 \text{ mm}^2 + 1649,34 \text{ mm}^2) \cdot 50\text{mm} \cdot \frac{60\text{psi} \cdot \frac{1 \text{ MPa}}{145 \text{ psi}} + 0.101}{0.101} \cdot 70 \cdot 10^{-6}$$

$$Qn_{pequeño} = 64,45 \text{ L/min}$$

$$= 2 \cdot 105,62 \text{ L/min} + 4 \cdot 64,45 \text{ L/min}$$

$$Qn_{total} = 469,04 \text{ L/min} = 7,81 \text{ L/s} = 6,70 \text{ L/n}$$

Se muestra en la Tabla 2.17 os datos de entrega de aire y consumo de aire en el sistema neumático.

**Tabla 2.17***Datos de consumo de aire comprimido*

Característica	Dato
Volumen de entrega de aire	506 L/min
Volumen de consumo de aire comprimido	469,04 L/min

El consumo máximo de la máquina es de 469,04 L/min, en caso de que los tres cabezales trabajen de manera conjunta a una velocidad de 70 GPM. Sin embargo, ningún sello en funda actual utiliza los tres cabezales de sellado al mismo tiempo, por lo que el consumo máximo de la máquina no se alcanza en la práctica. De todas formas, el volumen de entrega de aire de la línea de entrada de aire comprimido se midió que es de 506 L/min, por lo que el consumo máximo queda cubierto.

Si bien, la diferencia entre las medidas de entrega y consumo queda en el rango admisible para que al aire no falte en la máquina, la entrega de aire puede variar, debido a que la línea de entrada es compartida por las 9 máquinas de sellado. Cuando la demanda crece en el resto de selladoras, la selladora 12 recibe menos aire por consecuencia. La entrega de aire disminuye por picos, y no de forma constante, por lo que se decide fabricar de un tanque de aire comprimido que proteja el trabajo de la máquina durante estos picos de demanda.

Se proporciona la Tabla 2.18 donde se muestran los datos de la fabricación de un nuevo tanque de aire comprimido por un contratista. Las medidas del tanque permiten almacenar 18,22 L de aire comprimido, que supone alrededor de tres ciclos de funcionamiento por encima de la capacidad actual de entrega de aire, suficiente para proteger las pérdidas momentáneas de aire comprimido por demanda de otras máquinas.

**Tabla 2.18***Características y datos del nuevo tanque de aire comprimido*

Característica	Dato
Diámetro transversal	20 cm
Largo	58 cm
Volumen de aire	18,22 L

El tiempo de ejecución dado por el contratista para la fabricación del tanque de aire comprimido es de 3 días de calendario. El precio de trabajo del contratista es de \$380.

### **2.5.6 Sistema de calentamiento de cabezales**

Los cabezales tienen en su interior resistencias térmicas, que aumentan su temperatura cuando sus terminales están expuestos a un potencial eléctrico. Los cabezales actuales tienen diferentes configuraciones:

- **Cabezales transversales:** el cabezal inferior contiene una resistencia de cartucho de 30 ohms. El cabezal superior no contiene actualmente resistencia.
- **Cabezales laterales derechos:** ambos cabezales contienen resistencias de terminales de 30 ohms.
- **Cabezal lateral izquierdo:** el cabezal lateral izquierdo superior contiene una resistencia de terminales de 27 ohms.

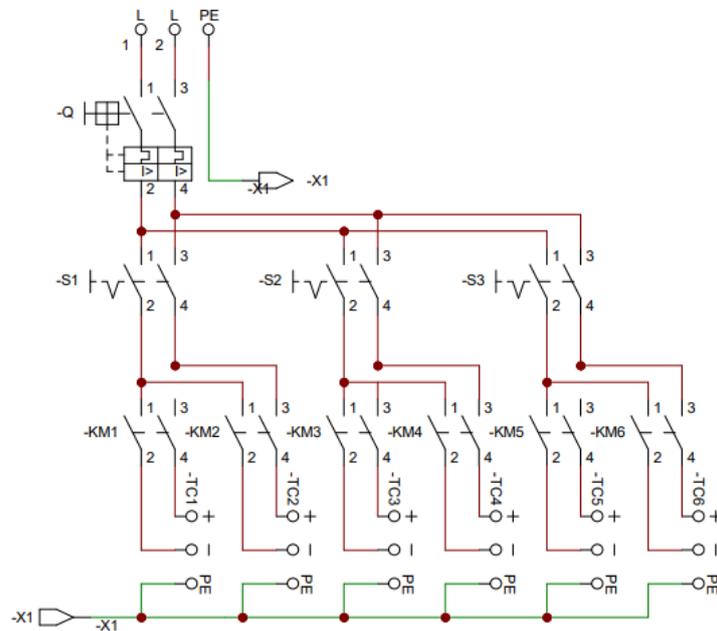
Como se mencionó previamente, el cabezal lateral izquierdo, originalmente trabajaba en conjunto a un segundo cabezal inferior para operar junto al cabezal lateral derecho, sin embargo, con el paso de los años se adaptó para que trabaje individualmente y específicamente para sellos en T.

Dependiendo del material, los cabezales deben llegar a cierta temperatura para lograr el sello. El control de la temperatura actual se da individualmente en cada cabezal mediante un controlador de temperatura TCN4H-24R, que permite al operador fijar una temperatura deseada y

controlar la temperatura actual activando y desactivando un contactor. La medición de temperatura en cada cabezal se da a través de un termopar tipo J. Los terminales de cada resistencia están conectados a clavijas de 220V que se conectan a tomacorrientes que son energizados por el controlador. El operador puede activar y desactivar los disyuntores, activar y desactivar los interruptores, configurar los controladores, y conectar y desconectar las clavijas de los tomacorrientes dependiendo del producto a producir. Se muestra en la Figura 2.29 y en la Figura 2.30 los diagramas eléctricos de conexión del sistema de calentamiento de cabezales actual.

**Figura 2.29**

*Diagrama de conexiones de tomacorrientes de sistema actual de calentamiento de cabezales*





**Tabla 2.19***Alternativas de interruptor electromecánico [25][26]*

áquina.	Nombre	Descripción / Características	Criterios positivos
	Contactor LC1D09	220 VCA de salida 9-38 A de salida CA de entrada Tiempo de switch 12- 22 ms	Costo Facilidad de uso Tiempo de ejecución
	Relé de estado sólido SSR-DA4840	75 - 480 VCA de salida 40 A de salida CC de entrada Tiempo de switch <10ms	Reducción de desechos Adaptabilidad Prioridad del sistema Comodidad de operación

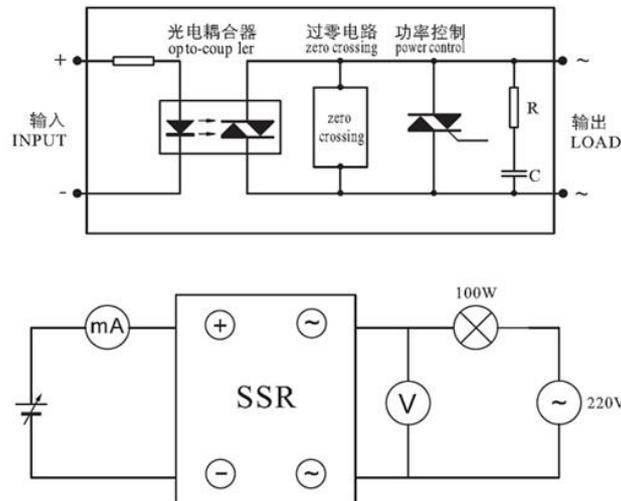
Si bien los contactores usados actualmente tienen como ventaja la disponibilidad de repuestos actuales debido a su amplia utilización en la planta, lo cual abarata tu costo significativamente, el relé de estado sólido presenta una oportunidad de mejora del tiempo de respuesta y la estabilidad de las temperaturas en los cabezales, lo cual afecta directamente a la productividad de la máquina. En cuanto a características de operación, se encuentra que los relés de estado sólido tienden a sobrecalentarse, por lo que es necesaria la implementación de disipadores de calor para el uso de este tipo de interruptores automáticos.

Por lo tanto, se decide adquirir e instalar nuevos relés de estado sólido con bases disipadoras de calor para la máquina.

Se muestra en la Figura 2.31 las conexiones para el relé de estado sólido presentado.

**Figura 2.31**

*Diagrama de conexiones internas y externas del relé de estado sólido [26]*



### 2.5.8 Controlador de temperatura

El control de la temperatura actual en cada una de las seis resistencias en los cabezales originales se da a través de un controlador TCN4H-24R, que es un controlador de temperatura PID (Proporcional Integral Derivativo) con indicador dual [27].

El tablero de control de temperaturas se muestra en la Figura 2.32. El controlador se muestra en la Figura 2.33, sus conexiones eléctricas se muestran en la Figura 2.34 y sus características principales se detallan en la Tabla 2.20.

**Figura 2.32**

*Tablero de control de temperaturas en máquina*

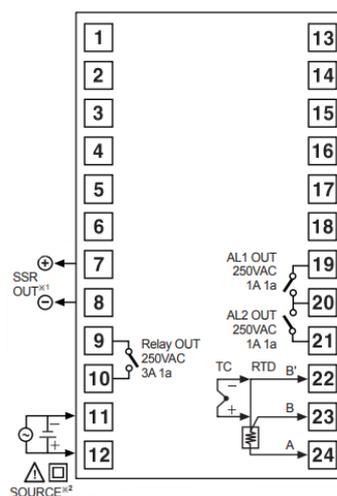
**Figura 2.33**

*Controlador de temperatura TCN4H-24R [26]*



**Figura 2.34**

*Conexiones para controlador de temperatura [25]*

**Tabla 2.20**

*Características del controlador de temperatura actual*

Descripción / Características	Criterios positivos
100-240 V AC	Reducción de desechos
Control por relé de estado sólido o contactor	Adaptabilidad
Periodo de sampleo de 100 ms	Prioridad del sistema
Control P, PI, PD y PID	Facilidad de uso
Sintonización automática (Autotuning)	Comodidad de operación
Dos alarmas programables	Tiempo de ejecución
	Costo

Se decidió mantener el controlador de temperatura TCN4H-24R para todas las resistencias en los cabezales debido a que cumple con las características requeridas por el sistema tras la renovación. Este controlador es ampliamente usado en las máquinas de PLASTIGOMEZ S.A, por

lo que los operadores no necesitarían tiempo de adaptación al dispositivo ni capacitaciones adicionales sobre su correcto uso. La interfaz es sencilla y útil, y proporciona la información necesaria al operador de la temperatura en cada cabezal. El dispositivo cuenta con un sistema de sintonización automática que permite utilizar un ciclo de calentamiento del cabezal para obtener y configurar de forma automática los valores PID. Esto es útil en caso de que se cambie una resistencia o un termopar en dicho cabezal. Las alarmas programables permiten añadir periféricos como bocinas o luces que indiquen al operador si la temperatura del cabezal ha superado límites superiores o inferiores establecidos. Este controlador permite usar su salida tanto para contactores como para relés de estado sólido, por lo que es compatible con los nuevos relés instalados.

### ***2.5.9 Tomacorrientes y clavijas para sistema de calentamiento de cabezales***

En la actualidad, los tomacorrientes y las clavijas de la máquina tienen distintos estándares. Entre ellos se encuentran pares de tomacorrientes y clavijas NEMA 2-20 y NEMA 6-15, como se muestra en la Figura 2.35. Ante la presencia de vibraciones producto del aumento de velocidad previsto tras la renovación, se prevé que las clavijas sin sistema de seguridad pueden desconectarse de imprevisto, afectando directamente a la calidad de las fundas y a la seguridad del operador. De la misma forma, los cables de conexión eléctrica varían de clavija a clavija, y se encuentran cables con recubrimiento 2x12 AWG, 3x12 AWG y 12 AWG de alta temperatura. La diferencia entre tomacorrientes, clavijas y cables resulta poco conveniente para el operador y los técnicos de mantenimiento, afectando su comodidad al momento de operar la máquina.

**Figura 2.35**

*Tomacorrientes y clavijas de los cabezales de sellado*



Se propone cambiar los tomacorrientes y clavijas actuales por un mismo estándar de conexión, las opciones se visualizan en la Tabla 2.21.

**Tabla 2.21**

*Opciones de tomacorrientes y clavijas [28][29][30]*

Imagen	Nombre	Diagrama de conexión	Descripción / Características	Criterios positivos
	NEMA 10-50P		3 pines y 3 polos 50 A. 125 a 250 V	Costo
	NEMA 10-50R			

	NEMA L14-30P		Clavija de seguridad Se inserta en el tomacorriente y se fija al girarla. Tomacorriente de seguridad. 4 pines y 3 polos.	Seguridad Adaptabilidad Facilidad de uso
	NEMA L14-30R		125 a 250 V. 30 A. IP20. 75 °C	Comodidad de operación

Se seleccionó el conjunto de tomacorrientes y clavijas NEMA L14-30 porque proporciona alta seguridad mediante el mecanismo de inserción y giro, que evita la caída de la clavija ante la presencia de vibraciones o tirones inesperados [31]. La retención de la clavija en el tomacorriente evita la exposición de los pines, disminuyendo riesgos eléctricos o desconexiones inadvertidas que eviten el funcionamiento corriente del sistema de caliente de cabezales.

## 2.6 Paneles de control

Actualmente, el operador de la máquina puede modificar diferentes parámetros durante la operación dependiendo del tipo de fundas que está produciendo. Estos parámetros se modifican en diversos paneles en la máquina, entre los que se encuentran:

- **Panel de control de temperaturas:** permite controlar la temperatura deseada en cada uno de los cabezales. Se visualiza en la Figura 2.36.

**Figura 2.36**

*Panel de control de temperatura*



- **Panel de control de presiones neumáticas:** permite modificar la presión de aire comprimido general de la máquina e individualmente para cada salida. Se visualiza en la Figura 2.37.

**Figura 2.37**

*Panel de control de presiones neumáticas*



- **Botones de avance y paro:** Botones en máquina que permiten el avance de material sin activar el mecanismo de sellado, y el paro de la máquina en caso de emergencia. Se visualizan en la Figura 2.38.

**Figura 2.38**

*Botones de avance de material y de paro de emergencia*



- **Panel de control general:** permite visualizar y/o modificar diversos parámetros. Se visualiza en la Figura 2.39.
  - Interruptor principal. Permite apagar y encender toda la máquina mediante una perilla.
  - Arranque y paro de motor principal. Permite el accionamiento mediante botonera.
  - Arranque y paro de motor de tensión de material. Permite el accionamiento mediante botonera.
  - Encendido de 5 electroválvulas del sistema neumático: cabezal transversal, cabezal lateral derecho, cabezal lateral izquierdo y dos salidas auxiliares denominadas Perforador y Troquelador. El encendido se lleva a cabo mediante perillas.

- Contador de número de fundas y lotes: contador CT6S-1P recibe la señal del sistema de levas, por cada vuelta suma un número al contador. Se puede activar y desactivar mediante una perilla, Un botón reinicia el conteo.
- Voltímetro analógico. Permite visualizar el voltaje en máquina.
- Golpes por minuto: Permite establecer la velocidad en la máquina mediante un controlador.
- Horómetro analógico: Permite visualizar las horas de operación de la máquina.

**Figura 2.39**

*Panel de control principal*



Se decide mantener los paneles de control de temperatura y de presiones neumáticas tal y como se encuentran actualmente, sin embargo, se considera que el panel general necesita una renovación, de forma que el operador pueda modificar parámetros a través de una pantalla y se deje atrás el uso de perillas y botoneras.

Para la implementación de un nuevo panel de control, se debe considerar que se recibirán y emitirán señales eléctricas de control para un servomotor CA, un motor CC y cinco electroválvulas, por ello, se decide instalar un PLC que acompañe al nuevo panel de control en

conjunto con un HMI (Interfaz hombre-máquina, por sus siglas en inglés) con el que interactúe el operador.

Se requiere la programación de las siguientes pantallas, con sus respectivos requerimientos para la operación de la máquina:

- **Pantalla de medida y velocidad:** pantalla que permite configurar la velocidad a la que se desea que opera la máquina, en GPM, y la medida de la funda paralela al avance en máquina, en milímetros.
- **Pantalla de activación de válvulas neumáticas:** pantalla que permite activar o desactivar el control mediante bobina de las electroválvulas del sistema.
- **Pantalla de multiplicador:** pantalla que permite realizar saltos de corte sin sello. Esto es útil ya que la medida de los cabezales paralelos al avance puede ser más corta que la medida de la funda a realizar. La pantalla debe permitir elegir el número de saltos del corte
- **Pantalla de ojo electrónico:** pantalla que permite realizar la operación de la máquina de forma automática teniendo en cuenta tacas en la superficie de la funda.

Se presenta en la Figura 2.40 y en la Figura 2.41 los modelos de PLC y HMI provistos por los proveedores. Sus características se muestran en la Tabla 2.22 y en la Tabla 2.23, respectivamente.

**Figura 2.40***PLC XINJE XC3-24R/T/RT-E/C [32]***Tabla 2.22***Datos PLC XINJE XC3-24R/T/RT-E/C [32]*

Característica	Dato
Voltaje	110-220VCA
Entradas	14 Digitales
Salidas	2 Digitales 8 Relé

**Figura 2.41***HMI WECON PI3070i [33]*

**Tabla 2.23***Datos de HMI WECON PI3070i [33]*

Características	Datos
Tamaño de pantalla	7 pulg
Resolución	800 x 480 px
Voltaje de alimentación	24 VCC

Se decide instalar el nuevo PLC junto al HMI para mostrar las características del panel de control actual en pantalla.

El tiempo de ejecución dado por el contratista para la programación e instalación del PLC y del HMI es de 8 días de calendario. El precio de trabajo del contratista es de \$1800.

## 2.7 Pruebas en máquina

Tras la renovación de la máquina, se planifica un periodo de pruebas en máquina que consiste en la prueba de sellos de fundas variando:

- Material: variación de pruebas según disponibilidad de material de desechos de PP, PEAD y PEBD.
- Tipo de sello: variación de pruebas de sello lateral, sellos en U, sellos en T y sellos en T con fuelle.
- Temperatura de las resistencias en cabezales: variación de pruebas de temperatura buscando aumentar la temperatura de los cabezales para disminuir el tiempo de sellado y lograr aumentar la velocidad de operación.
- Presión de los cilindros en cabezales: variación de pruebas de presión buscando aumentar la presión de los cilindros neumáticos para disminuir el tiempo de sellado y lograr aumentar la velocidad de operación.
- Velocidad de la máquina: variaciones en aumento de GPM.

Cada parámetro se varía poniendo énfasis en determinar el rango de mayor velocidad en el que la calidad de la funda se mantenga. Así mismo, se tiene cuenta la cantidad de desperdicios generados para determinar si un conjunto de parámetros es correcto para la producción en la máquina.

## **Capítulo 3**

### 3. Resultados y análisis

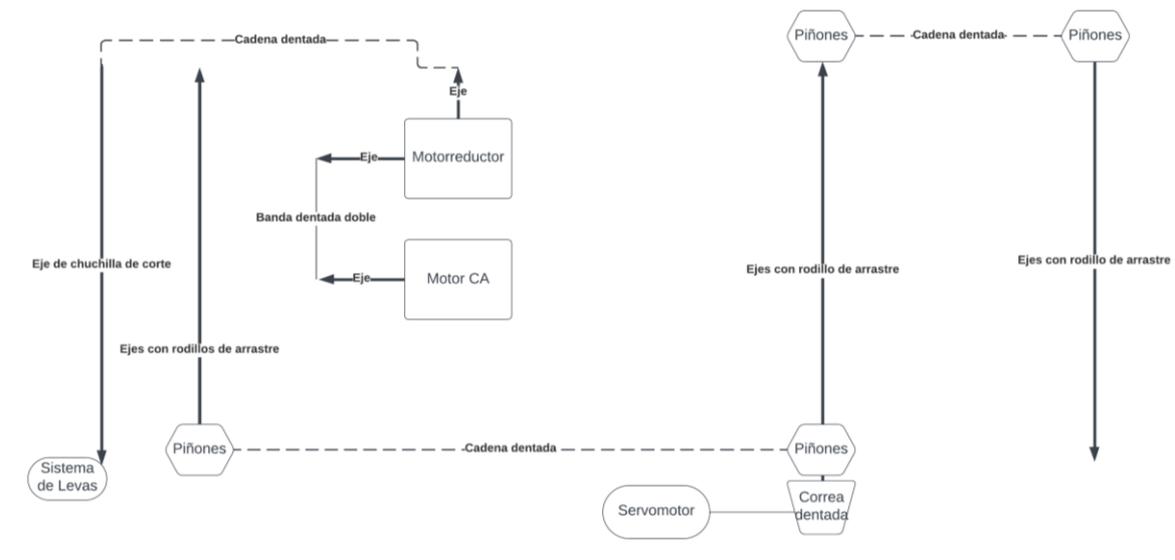
Se presentan a continuación los resultados obtenidos en la realización de este proyecto.

#### 3.1 Nuevos sistemas de avance y corte

Se separaron los sistemas de avance y corte, de forma que operan de independientemente, permitiendo la inclusión de un segundo motor para el sistema de avance. Se muestra en la Figura 3.1 el diagrama con ambos sistemas de forma independiente.

**Figura 3.1**

*Diagrama de nuevo sistemas de avance y corte*



##### 3.1.1 Instalación de servomotor y servodriver

Se instaló un nuevo servomotor junto a un servodriver en el nuevo sistema de avance. Los detalles de costo se muestran en la Tabla 3.1. El servomotor instalado se observa en la Figura 3.2.

**Tabla 3.1***Costo por instalación de servomotor y servodriver*

Trabajo realizado	Tiempo de realización	Contratista	Costo
Instalación de servomotor y servodriver	9 días de calendario	Contratista 1	\$ 2000,00
Total			\$ 2000,00

**Figura 3.2***Instalación de servomotor en la máquina*

### 3.1.2 Rodillos de arrastre

Se renovaron los rodillos de arrastre presentes en la máquina. Los detalles de costo se muestran en la Tabla 3.2. Un rodillo reencauchado e instalado se muestra en la Figura 3.3.

**Tabla 3.2***Costo de trabajos por renovación de rodillos de arrastre*

Trabajo realizado	Tiempo de realización	Contratista	Costo
Reencauchar cuatro rodillos de arrastre	6 días de calendario	Contratista 3	\$ 720,00
Reencauchar dos rodillos de arrastre con canales			\$ 450,00
Rectificar dos rodillos de arrastre			\$ 100,00
Total			\$ 1270,00

**Figura 3.3**

*Cuarto rodillo superior en máquina tras reencauche*



### 3.1.3 Cuchillas de corte

Se renovaron las cuchillas de corte del sistema. Los detalles de costo se muestran en la Tabla 3.3. El trabajo de corte tras los trabajos realizados se evidencia en la Figura 3.4.

**Tabla 3.3**

*Costo por trabajos de rectificado y afilado de 2 pares de cuchillas de corte*

Trabajo realizado	Tiempo de realización	Contratista	Costo
Rectificar y afilar 2 pares de cuchillas de corte	8 días de calendario	Contratista 4	\$ 265,68
Total			\$ 265,68

**Figura 3.4**

*Fundas cortadas por cuchillas de corte tras rectificado y afilado*

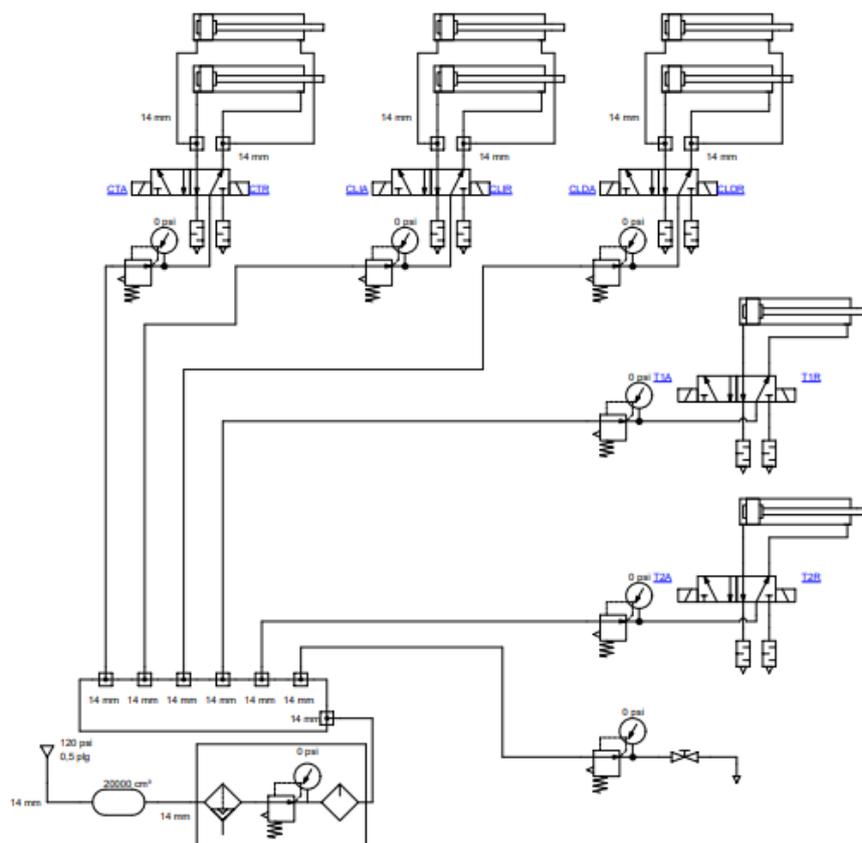


### 3.2 Nuevo mecanismo de sellado

Se renovó el mecanismo de sellado de la máquina. Se presenta en la Figura 3.5, el diagrama del nuevo sistema de conexiones neumáticas.

**Figura 3.5**

*Diagrama de nuevo sistema de conexiones neumáticas*



### 3.2.1 Cilindros neumáticos

Se renovaron los cilindros neumáticos del sistema y modificó la base donde asientan para acomodar los nuevos modelos de cilindros. Los detalles de costo se muestran en la Tabla 3.4. Los nuevos cilindros instalados se muestran en la Figura 3.6.

**Tabla 3.4**

*Costo por trabajos relacionados a los cabezales de sellado*

Trabajo realizado	Tiempo de realización	Contratista	Costo
Mecanizado de 24 orificios para nuevos cilindros neumáticos	3 días de calendario		\$200,00
Fabricación de barras de celerón		Contratista 3	\$155,30
Fabricación nuevo sistema de cambio de teflón	10 días de calendario		\$247,00
<b>Total</b>			<b>\$602,30</b>

**Figura 3.6**

*Nuevos cilindros neumáticos instalados en máquina*



### 3.2.2 Unidad de mantenimiento

Se instaló una nueva unidad de mantenimiento y se renovaron las conexiones neumáticas. Los trabajos de instalación de la nueva unidad de mantenimiento y las nuevas conexiones neumáticas en el panel se muestran en la Figura 3.7.

**Figura 3.7**

*Nueva unidad de mantenimiento y nuevas conexiones neumáticas*



### 3.2.3 Tanque de aire comprimido

Se instaló un nuevo tanque de aire comprimido en la máquina. Los detalles de costo se muestran en la Tabla 3.5. El nuevo tanque instalado en la máquina se observa en la Figura 3.8.

**Tabla 3.5**

*Costo por trabajo de fabricación de tanque de aire comprimido*

Trabajo realizado	Tiempo de realización	Contratista	Costo
Fabricar nuevo tanque de aire comprimido	3 días de calendario	Contratista 2	\$ 380,00
Total			\$ 380,00

**Figura 3.8**

*Nuevo tanque de aire comprimido instalado en máquina*

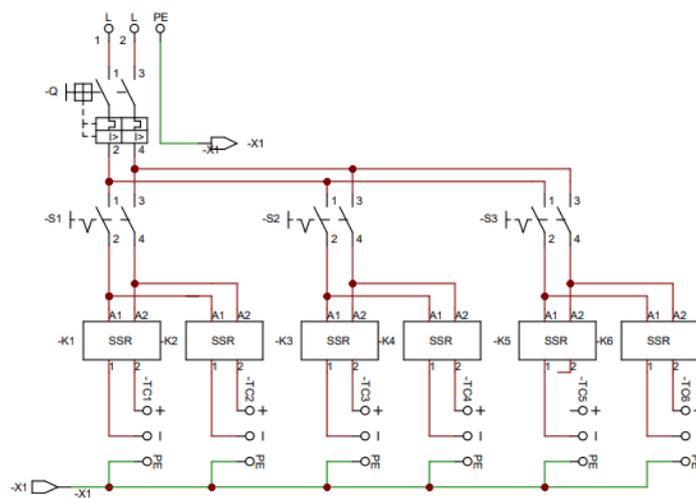


### 3.3 Nuevo sistema de calentamiento de cabezales

Se renovó el sistema de calentamiento de cabezales mediante la instalación de relés de estado sólido y de nuevos tomacorrientes y clavijas. Los nuevos diagramas eléctricos se muestran en la Figura 3.9 y en la Figura 3.10.

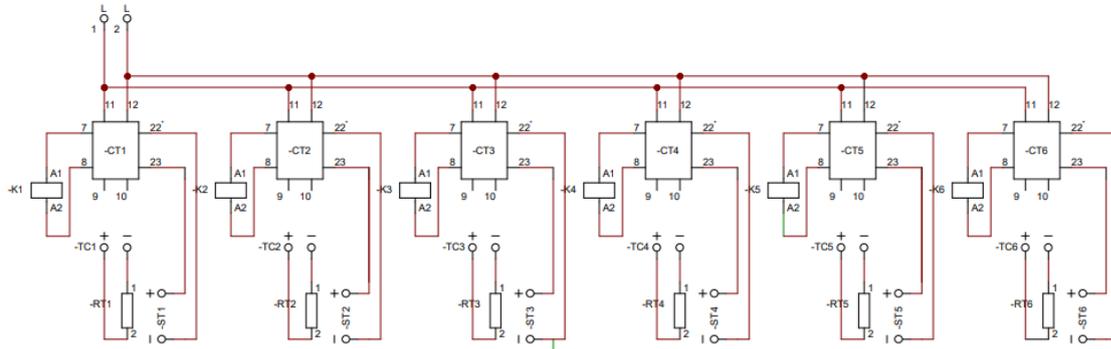
**Figura 3.9**

*Diagrama eléctrico de tomacorrientes de nuevo sistema de calentamiento de cabezales*



**Figura 3.10**

*Diagrama eléctrico de controlador de nuevo sistema de calentamiento de cabezales*

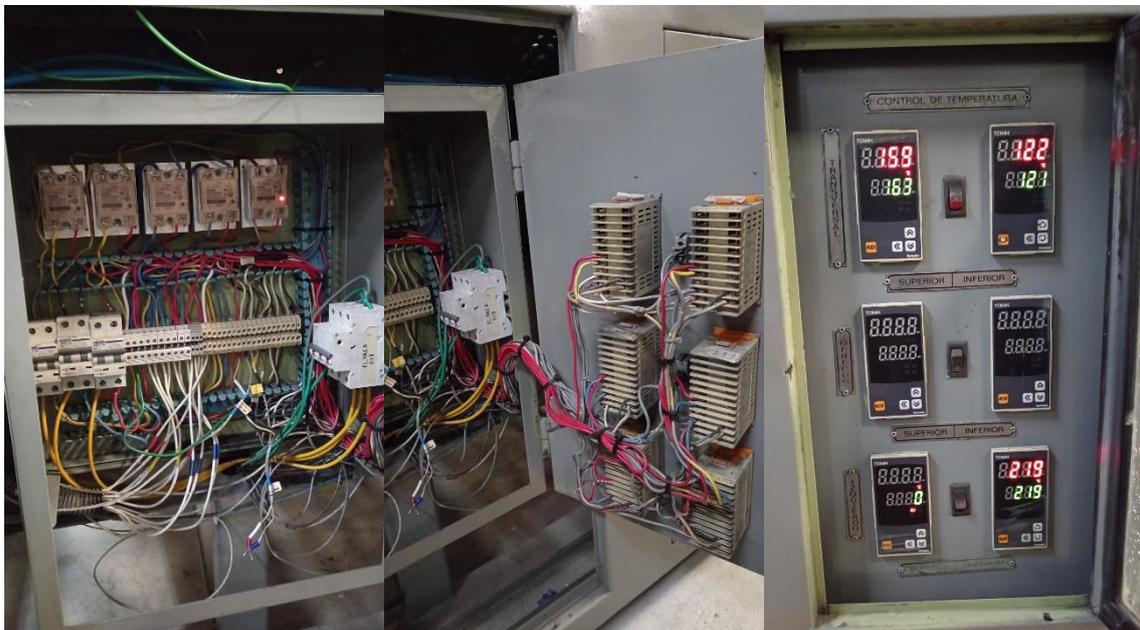


### 3.3.1 Relés de estado sólido

Se instalaron nuevos relés de estado sólido como interruptores electromecánicos del sistema de control de calentamiento de cabezales. Se muestran los relés instalados en el panel, en la Figura 3.11.

**Figura 3.11**

*Nuevos relés de estado sólido y nuevas conexiones en panel de control de temperaturas*



### 3.3.2 Tomacorrientes y clavijas para sistema de calentamiento de cabezales

Se instalaron nuevos tomacorrientes y clavijas de seguridad para sistema de calentamiento de cabezales. Se muestran los nuevos tomacorrientes y las nuevas clavijas en la Figura 3.12.

**Figura 3.12**

*Nuevos tomacorrientes y clavijas*



## 3.4 Nuevo panel de control

### 3.4.1 Panel de control

Se instaló un nuevo panel de control que sustituye al panel de control principal antiguo, que implementa un HMI táctil con pantallas personalizadas para la operación de la máquina. El nuevo panel se muestra en la Figura 3.13.

A parte de la incorporación de la pantalla, se añade el contador utilizado en el panel antiguo, un dispositivo CT6M-1P que permite visualizar las fundas realizadas en la máquina. Cada corte de la máquina aumenta en uno la cuenta. Una bocina configurada a la salida de relé del contador emite un sonido cuando se alcanza el número de fundas especificadas para un lote, y cuando se alcanza el número de lotes especificado por el operador. Una perilla permite apagar y encender el contador, mientras que un botón permite reiniciar la cuenta.

Un botón de encendido y otro de paro permiten la activación de los cabezales del sistema, mientras que una perilla de avance permite la activación del servomotor que se encarga del avance del material.

**Figura 3.13**

*Nuevo panel de control*



### 3.4.2 Pantallas de HMI

#### 3.4.2.1 Pantalla de medida de funda y velocidad de máquina

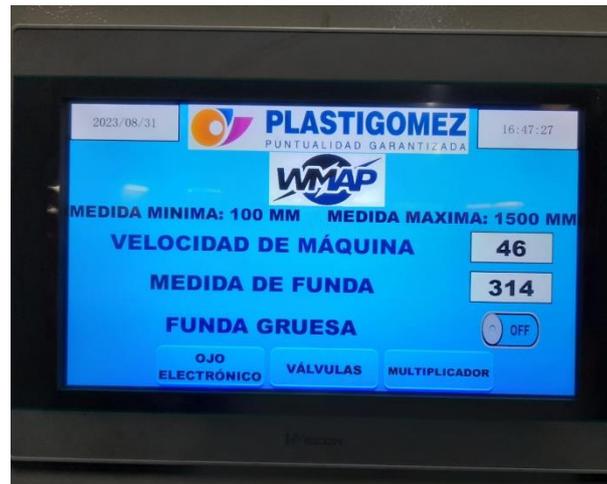
Esta pantalla permite configurar la velocidad a la que se desea que opera la máquina, en GPM, y la medida de la funda paralela al avance en máquina, en milímetros. Se colocaron restricciones de medida mínima de 100 mm y máxima de 1500 mm.

Adicionalmente, un botón virtual permite activar la opción de funda gruesa, que disminuye la frecuencia de giro del motor CA original que controla, mediante levas, el tiempo en el que se mantiene un cabezal sellando la funda. De esta forma duplica el tiempo de sellado, disminuyendo los GPM especificados en el primer campo. La nueva velocidad se visualiza en dicho campo.

La pantalla se muestra en la Figura 3.14.

**Figura 3.14**

*Pantalla de medida funda y velocidad de máquina*



### 3.4.2.2 Pantalla de activación de válvulas neumáticas

Pantalla que permite activar o desactivar el control mediante bobina de las electroválvulas del sistema. De esta forma, solo se accionan aquellos cabezales activados en pantalla. Se añade una electroválvula extra programada en caso de ser necesaria. Las válvulas se enumeran de la siguiente forma:

- **Válvula 1:** Válvula de control del cabezal transversal.
- **Válvula 2:** Válvula de control del cabezal lateral derecho.
- **Válvula 3:** Válvula de control del cabezal lateral izquierdo.
- **Válvula 4:** Válvula de control de salida auxiliar para troqueles o perforadores.
- **Válvula 5:** Válvula de control de salida auxiliar para troqueles o perforadores.
- **Válvula 6:** Válvula de control extra no presente en sistema.

La pantalla se muestra en la Figura 3.15.

**Figura 3.15***Pantalla de activación de válvulas neumáticas*

### 3.4.2.3 Pantalla de multiplicador

Pantalla que permite realizar saltos de corte sin sello mediante la activación de un botón virtual y la elección del número de saltos. La pantalla se muestra en la Figura 3.16.

**Figura 3.16***Pantalla de multiplicador*

### 3.4.2.1 Pantalla de ojo electrónico

Pantalla que permite la activación de operación automática del sistema mediante la lectura de tacas de fundas por parte de un ojo electrónico. Esta pantalla, aunque se añadió, no fue programada durante este proyecto.

El ojo electrónico en el sistema actual se utiliza para contar tacas.

### 3.5 Otras mejoras en máquina

- **Pintura de máquina:** se lijó y pintó la máquina con los colores requeridos por la empresa. De esta forma se da un aspecto renovado a la máquina, que acompaña a los demás cambios realizados, y se protege la estructura metálica contra la corrosión y la oxidación.
- **Rodillos pasivos:** se pulió la superficie de los rodillos pasivos que se encuentran en la máquina. Se cambiaron los rodamientos de aquellos que no operaban con la libertad demandada por la operación de la máquina. Esta mejora, junto a la anterior se observa en la Figura 3.17.

**Figura 3.17**

*Pintura de máquina y rodillos pasivos*



- **Ganchos para ordenamiento de rodillos pasivos:** se fabricaron dos nuevos ganchos para colocar aquellos rodillos pasivos que no se están utilizando durante la operación. Los nuevos ganchos permiten colocar hasta tres rodillos bajo la mesa de sello lateral izquierdo, evitando que se coloquen en suelo y aumentando la seguridad en el área de trabajo. La mejora se muestra en la Figura 3.18.

**Figura 3.18**

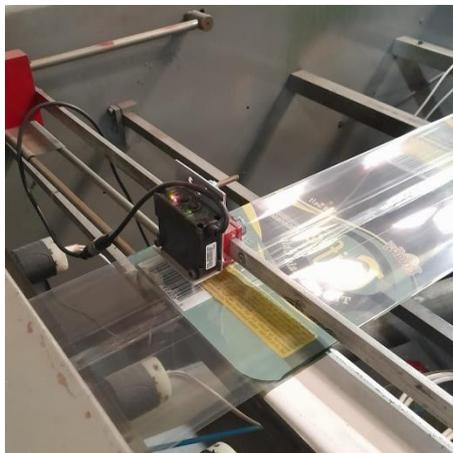
*Nuevos ganchos para ordenamiento de rodillos pasivos*



- **Ojo electrónico:** Se instaló un nuevo ojo electrónico debido a que el anterior se encontraba dañado. Se planteó durante el proyecto la utilización del ojo electrónico para la implementación de un modo automático mediante la lectura de tacas, sin embargo, no fue realizado durante la realización del mismo. El ojo electrónico se puede utilizar para contar las fundas realizadas mediante la lectura de tacas. El nuevo ojo se muestra en la Figura 3.19.

**Figura 3.19**

*Nuevo ojo electrónico para contar tacas*



- **Perfiles de sellado:** se fabricaron nuevos sellos de 10 mm de espesor para sellos más gruesos y se rectificaron los perfiles de los sellos de 5 mm de espesor que lo necesitaban.

- **Botones de emergencia:** se instalaron nuevos botones de emergencia en la máquina, en diversos puntos, para mayor seguridad en la operación en caso de emergencia.

### 3.6 Análisis de costos

Como se explicó de forma previa, la disponibilidad de contratistas para realizar un trabajo y la disponibilidad de un componente mediante un proveedor está limitada por el área de compras de la empresa. Dentro de los contratistas, se destacan cinco diferentes, que realizan diversos trabajos en el sistema de avance, el sistema de corte y el sistema de sellado. En total, se obtiene un costo de trabajos de contratistas de \$7027,98. De este precio, el mayor gasto es incurrido en el sistema de avance, donde la instalación del servomotor, servodriver, PLC y HMI es lo más demandante. Los trabajos por contratistas y su costo se muestran en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6***Costos por trabajos de contratistas*

Trabajo	Contratista	Costo unitario	Cantidad	Costo
Sistema de avance				
Instalación de servomotor y servodriver	Contratista 1	\$ 2.000,00	1	\$ 2.000,00
Instalación de PLC y HMI	Contratista 1	\$ 1.800,00	1	\$ 1.800,00
Reencauche de rodillos con canales	Contratista 3	\$ 225,00	2	\$ 450,00
Reencauche de rodillos	Contratista 3	\$ 180,00	4	\$ 720,00
Rectificación de rodillos	Contratista 3	\$ 50,00	2	\$ 100,00
Subtotal				\$ 5.070,00
Sistema de corte				
Afilar par de cuchillas de corte	Contratista 4	\$ 132,84	2	\$ 265,68
Subtotal				\$ 265,68
Sistema de sellado				
Mecanizado de 24 orificios para nuevos cilindros neumáticos	Contratista 2	\$ 200,00	1	\$ 200,00
Fabricación de barras de celerón	Contratista 2	\$ 77,65	2	\$ 155,30
Fabricación nuevo sistema de cambio de teflón	Contratista 2	\$ 247,00	1	\$ 247,00
Fabricación de nuevo tanque para aire comprimido	Contratista 2	\$ 380,00	1	\$ 380,00
Rectificado y moleteado de perfil de sello de 10 mm	Contratista 5	\$ 350,00	1	\$ 350,00
Fabricación de perfil de sello moleteado en bronce de 10 mm	Contratista 2	\$ 360,00	1	\$ 360,00
Subtotal				\$ 1.692,30
<b>TOTAL DE CONTRATISTAS</b>				<b>\$ 7.027,98</b>

La suma total de costo de componentes es de \$9294,07. De la misma forma, el mayor gasto se centra en el sistema de avance, donde los equipos necesarios para la renovación del sistema son los más caros. Los componentes y sus costos se muestran en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7***Costos de componentes*

Componente	Costo unitario	Cantidad	Costo
Sistema de avance			
Servomotor	\$ 2.750,00	1	\$ 3.750,00
Servodriver		1	
PLC	\$ 1.000,00	1	\$ 1.000,00
HMI		1	
Misceláneos de instalación	\$ 2.568,78	1	\$ 2.568,78
Piñones y bandas	\$ 495,00	1	\$ 495,00
Ojo electrónico	\$ 650,00	1	\$ 495,00
Subtotal			\$ 7.308,78
Sistema de sellado			
Cilindro neumático grande	\$ 94,97	2	\$ 189,94
Cilindro neumático pequeño	\$ 79,48	4	\$ 317,92
Unidad de mantenimiento	\$ 145,55	1	\$ 145,55
Electroválvula 5/2	\$ 32,00	5	\$ 160,00
Metro de manguera PU de 14 mm	\$ 3,27	3	\$ 9,81
Metro de manguera PU de 10 mm	\$ 1,25	1	\$ 1,25
Metro de manguera PU de 8 mm	\$ 1,06	10	\$ 10,60
Metro de manguera PU de 6 mm	\$ 0,80	5	\$ 4,00
Racores de varios tamaños	\$ 1,05	39	\$ 40,95
Conexiones neumáticas en Y de varios tamaños	\$ 0,65	8	\$ 5,20
Enchufe de 4 pines	\$ 21,83	6	\$ 130,98
Tomacorriente de 4 pines	\$ 20,74	5	\$ 103,70
Relé de estado sólido	\$ 8,13	5	\$ 40,65
Base disipadora de relé de estado sólido	\$ 3,56	5	\$ 17,80
Resistencia de cartucho	\$ 80,00	5	\$ 400,00
Termopar tipo J	\$ 15,86	5	\$ 79,30
Subtotal			\$ 1.657,65
Otros gastos			
Cerradura de 2 pines para caja eléctrica con llave	\$ 9,58	8	\$ 76,64

Pintura y herramientas para pintado	\$ 251,00	1	\$ 251,00
Subtotal			\$ 327,64
TOTAL DE COMPONENTES			\$ 9.294,07

En total, la planificación de la renovación de la máquina selladora tiene un precio de \$16322,05, como se muestra en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8**

*Costos totales*

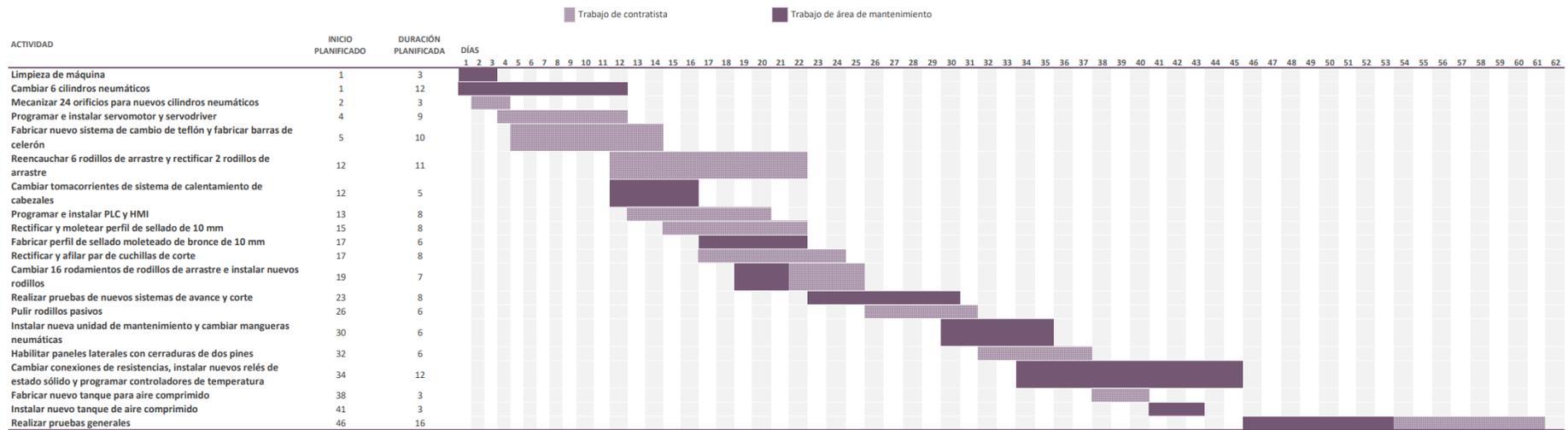
TOTAL DE CONTRATISTAS	\$ 7.027,98
TOTAL DE COMPONENTES	\$ 9.294,07
COSTO TOTAL	\$ 16.322,05

### 3.7 Plan de renovación

Se presenta en la Figura 3.20 el plan de renovación de la máquina. En esta planificación se utilizan los días de calendario desde el inicio hasta el final de la renovación, teniendo en cuenta los siete días de la semana. Si bien, los contratistas y los tiempos de espera de componentes se dan en días hábiles, la planta opera todos los días, por lo tanto, se incluyen actividades a realizar fuera de días hábiles. Se planifica un periodo de 45 días para la ejecución de las actividades, y un periodo final de pruebas generales que dura 15 días, con lo que se completan los dos meses máximos requeridos por la empresa. Tras las mejoras en los sistemas de avance y corte se incluye un periodo corto de pruebas para comprobar que la instalación del servomotor ha sido exitosa.

**Figura 3.20**

*Planificación de actividades a realizar para la renovación de la máquina*



### 3.8 Pruebas en máquina

Se presenta un extracto de las pruebas en máquina llevadas a cabo durante los 15 días después de la finalización de la renovación en la Tabla 3.9, a continuación.

**Tabla 3.9***Pruebas en máquina*

Material	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (µm)	Sello	Largo de rollo (mm)	Refill	Velocidad (GPM)	Medida de Funda (mm)	Temperatura Cabezal Transversal Inferior (°C)	Temperatura Cabezal Lateral Izquierdo Superior (°C)	Presión Cabezal Transversal (psi)	Presión Cabezal Lateral Derecho (psi)	Presión Cabezal Lateral Izquierdo (psi)	Adecuado (S/N)
BD Natural	214	340	80	Sello lateral	750	S	50	215	155	169	60	60	60	S
Laminada	227	160	46	T	350	N	25	228	221	185	60	60	60	S
Laminada	227	160	46	T	350	N	30	228	221	185	60	60	60	N
Laminada	227	160	46	T	350	N	30	228	197	180	60	60	60	S
Laminada	227	160	46	T	350	N	31	228	197	180	60	60	60	N
Laminada	377	160	46	T	350	N	21	381	175	180	60	60	60	S
Laminada	377	160	46	T	350	N	25		175	180	60	60	60	S



---

Laminada														
BOPP														
NATURAL 30	180	130	42	Fuelle	290	N	44	181	270	200	60	60	60	N
+ PET														
NATURAL 12														

---

Durante el periodo de pruebas se varió diversos parámetros y se encontró con un tipo de funda con sello lateral que llegó a los 50 GPM. Se observaron mejoras en los GPM en comparación con el rango entre 12 a 21 GPM observados previamente, sin embargo, aún no se logra llegar a los 70 GPM planteados como objetivo en este proyecto.

## **Capítulo 4**

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

Se presentan a continuación las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado.

##### 4.1 Conclusiones

- Se identificaron los puntos críticos en los sistemas que influyen con mayor incidencia en la velocidad y generación de desechos de la máquina.
- Se seleccionaron soluciones de renovación y componentes en cada punto crítico teniendo en cuenta requerimientos y criterios de la empresa y de la industria.
- Se presentaron nuevos planos y diagramas de funcionamiento tras la renovación de cada sistema donde se identificaron puntos críticos.
- Se planificó la renovación de los sistemas de la máquina donde se identificaron puntos críticos para la implementación por parte de la empresa, teniendo en cuenta trabajos a realizar por contratistas y por el área de mantenimiento de la empresa
- Se alcanzó los 50 GPM en una funda de sello en U, con 160 mm de largo. Esta velocidad supone un incremento del 138% en la velocidad teniendo en cuenta los 21 GPM que se alcanzaban previamente. No obstante, no se alcanzan los 70 GPM propuestos inicialmente.
- Tras periodos de ajustes en máquina para probar diferentes modelos de producto final, se logró disminuir el desperdicio al 6%, aproximadamente tres veces más bajo que el 15% obtenido inicialmente.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda extender el periodo de pruebas, de forma que se alcancen parámetros ideales de temperatura de sello, presión de trabajo y tiempo de sellado teniendo en cuenta el material, espesor, ancho, largo y tipo de sello.
- Se recomienda la implementación de un sistema de remoción de refile mediante el uso de un motor soplador. El refile es el material que se recorta del producto final antes del sello transversal y, para llevarlo a una zona de acumulación de refile, los operadores usan aire comprimido. El uso de este nuevo motor soplador permitiría eliminar el uso de aire comprimido, que puede suponer la disminución de caudal en el sistema neumático de sellado.
- Se recomienda implementar un sistema de enfriamiento de sello mediante el uso de un motor soplador. En la actualidad, los operadores direccionan aire comprimido a la salida del sello. Implementar el nuevo motor permitiría eliminar el uso de aire comprimido para este fin, que actualmente supone la posibilidad de la disminución de caudal en el sistema neumático de sellado.
- Se recomienda estudiar puntos críticos de menor alcance y la viabilidad de procesos de mejora en cada uno de ellos. Entre ellos se destacan la mesa tensora, donde se pierde tensión cuando el material es arrastrado por los rodillos; la posibilidad de añadir una cuchilla de corte con sistema de resortes; la programación del ojo electrónico para realizar función de avance automático mediante la detección de tacas; la fabricación de perfiles de sello adicionales para incrementar la variedad productos que puede generar la Selladora 12.

## Referencias

- [1] EMR, *Informes de Expertos*, 2022.
- [2] ASEPLAS, *Informe de Gestión 2020-2022*, 2023.
- [3] PLASTIGOMEZ, “PLASTIGOMEZ - Productos,” 2023. [En línea]. Available: <https://plastigomez.com/page/productos>. [Último acceso: 21 Junio 2023].
- [4] D. S. Achilias, C. Roupakias, . P. Megalokonomos, A. A. Lappas y E. V. Antonakou, “Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP)” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 149, n° 3, pp. 536-542, 19 Noviembre 2007.
- [5] Laminated Plastics, *Technical Data Sheet Low Density Polyethylene*.
- [6] Laminated Plastics, *Technical Data Sheet High Density Polyethylene*.
- [7] Laminated Plastics, *Technical Data Sheet Polypropylene*.
- [8] Xometry, *Data Sheet PET*.
- [9] Gulf Pack, *MATERIAL SAFETY DATA SHEET*, Al Jubail, 2015.
- [10] A. Agudelo, E. Martínez y E. Muñoz, *RE-DISEÑO DE UNA SELLADORA DE EMPAQUES PLASTICOS PARA*, Medellín, Antioquía: INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO, 2013.
- [11] K. Mendoza, *Diseño y automatización del proceso de sellado de fundas plásticas y monitorización de producción en tiempo real*, Guayaquil, Guayas: ESPOL-FIEC, 2021.
- [12] S. López y D. Méndez, *Propuesta de implementación de dispositivos de seguridad basado en la instalación de sensores de blanking fijo y blanking flotante en máquina selladora de empaques ZENER 01, en una empresa del sector de plástico ubicada en Medellín, Colombia.*, Medellín, Antioquía, 2021.

- [13] E. Moreno, *Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz*, Quito, Pichincha: QUITO/ EPN/ 2010, 2010.
- [14] Polimáquinas, “Polimáquinas” 2023. [En línea]. Available: <https://es.polimaquinas.com.br/>. [Último acceso: 23 Junio 2023].
- [15] Polimáquinas, “Polimáquinas – Productos” 2023. [En línea]. Available: <https://es.polimaquinas.com.br/site/produtos>. [Último acceso: 21 Junio 2023].
- [16] Maquinplast, “Maquinplast – Productos” 2019. [En línea]. Available: <https://maquinplast.com/inicio/>. [Último acceso: 21 Junio 2023].
- [17] International Electrotechnical Commission, *IEC 60529:1989+AMD1:1999+AMD2:2013 CSV*, 2013, p. 207.
- [18] International Electrotechnical Commission, “IP ratings” [En línea]. Available: <https://www.iec.ch/ip-ratings>. [Último acceso: 12 Agosto 2023].
- [19] American Society for Testing and Materials, *Standard Specification for Standard Nominal Diameters and Cross-Sectional Areas of AWG Sizes of Solid Round Wires Used as Electrical Conductors*, vol. 02.03, 2018.
- [20] PMCI, *PMCI, Precision Manufacturing Company Inc.*, 2017.
- [21] Mindman, *MCQI3*, Taipei City, Datong District.
- [22] Mindman, *MCQI2*, Taipei City, Datong District.
- [23] Poly Lanema, “Compuestos celerón” [En línea]. Available: <https://www.polylanema.pt/es/plasticos-de-ingenieria-1/compuestos/celeron-1/>. [Último acceso: 1 Septiembre 2023].
- [24] RS, *Unidad FRL Festo, G 1/2, Purga Automática, Grado de Filtración 40µm*.
- [25] Schneider Electric, *LC1D09M7*, 2022.

- [26] XURUI, *Solid State Relay / XSSR-DA Series*.
- [27] Autonics, *TCN4 Series*, 2018.
- [28] EAGLE, *Enchufe, 50A, 125/250V~, 3P-3W, NEMA 10-50P*, 2023.
- [29] Stay Online, *HUBBELL HBL2411 AC Plug NEMA L14-20 Male*, 2023.
- [30] Stay Online, *HUBBELL HBL2710 AC Receptacle NEMA L14-30 Female Black 125/250 Volt 30 Amp*, 2023.
- [31] Newark, *L1430P*, 2023.
- [32] XINJE, *XC3-24R/T/RT-E/C*.
- [33] WECON, *PI3070i HMI*, 2021.
- [34] Bergerda, “180 series AC servo motor” 2023. [En línea]. Available:  
<https://en.bergerda.com/product/626.html>. [Último acceso: 16 Agosto 2023].
- [35] Bergerda, *SDD50NK10D*, 2023.
- [36] Autonics, *TCN4H-24R*, 2023.

## **Apéndices**

## Apéndice A

### GPM según medida de funda y tiempo de sellado y corte para varias velocidades

Los cálculos realizados para hallar la ecuación para calcular los GPM se detallan a continuación.

$$T_{1\ min} = T_S \cdot GPM + T_A \cdot GPM$$

$$T_{1\ min} = GPM(T_S + T_A)$$

Donde:

- $T_{1\ min}$ : Tiempo en un minuto
- GPM: Golpes por minuto
- $T_S$ : Tiempo de sellado
- $T_A$ : Tiempo de avance

$$T_A = \frac{Medida_{funda}}{Velocidad_{máquina}}$$

Entonces:

$$T_{1\ min} = GPM \left( T_S + \frac{Medida_{funda}}{Velocidad_{máquina}} \right)$$

$$GPM = \frac{T_{1\ min}}{\left( T_S + \frac{Medida_{funda}}{Velocidad_{máquina}} \right)}$$

$$GPM = \frac{60\ s}{\left( T_S + \frac{Medida_{funda}}{Velocidad_{máquina}} \right)}$$

**Tabla A.1***GPM según medida de funda y tiempo de sellado y corte para velocidad al 40% para la Funda 1*

		Tiempo de sellado y corte (s)								
		0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Medida de funda (mm)	150	33	31	30	28	27	26	25	24	23
	175	30	28	27	26	25	24	23	22	21
	200	27	26	25	24	23	22	21	20	20
	225	25	24	23	22	21	21	20	19	19
	250	23	22	21	21	20	19	19	18	18
	275	22	21	20	19	19	18	18	17	17
	300	20	20	19	18	18	17	17	16	16
	350	18	17	17	16	16	15	15	15	14
	400	16	16	15	15	14	14	14	13	13
	500	13	13	13	12	12	12	12	11	11
	600	11	11	11	11	10	10	10	10	10
800	9	9	8	8	8	8	8	8	8	
1000	7	7	7	7	7	7	6	6	6	
1200	6	6	6	6	6	6	5	5	5	

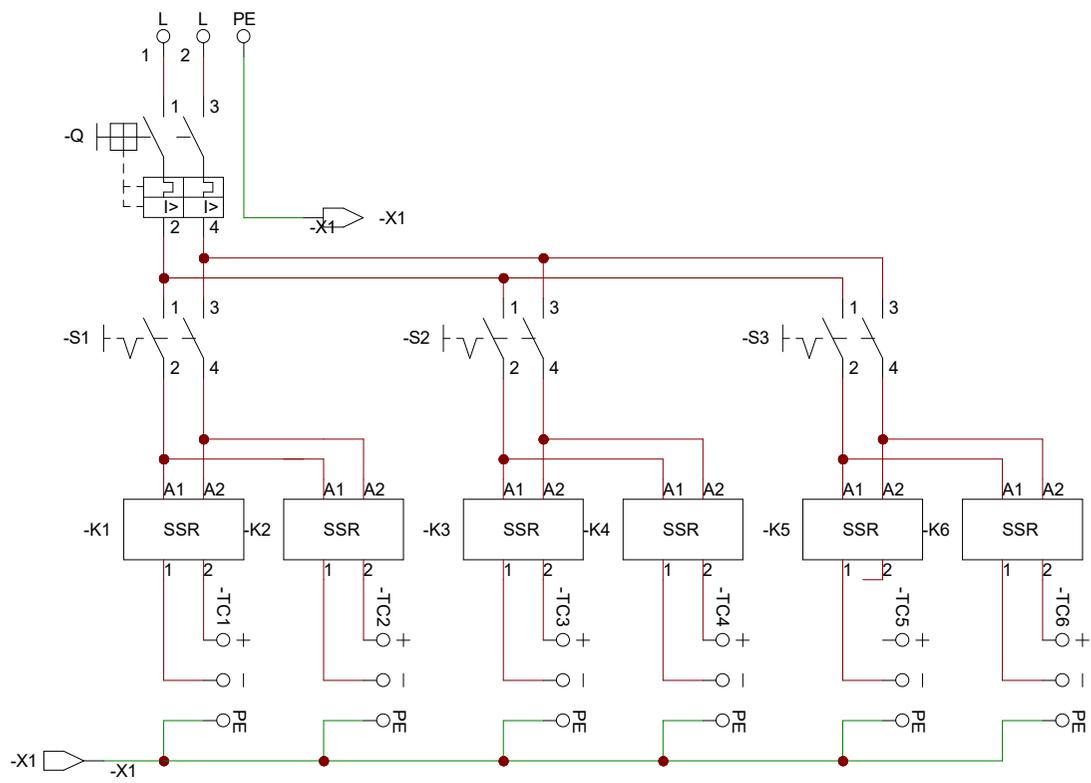


**Tabla A.3**

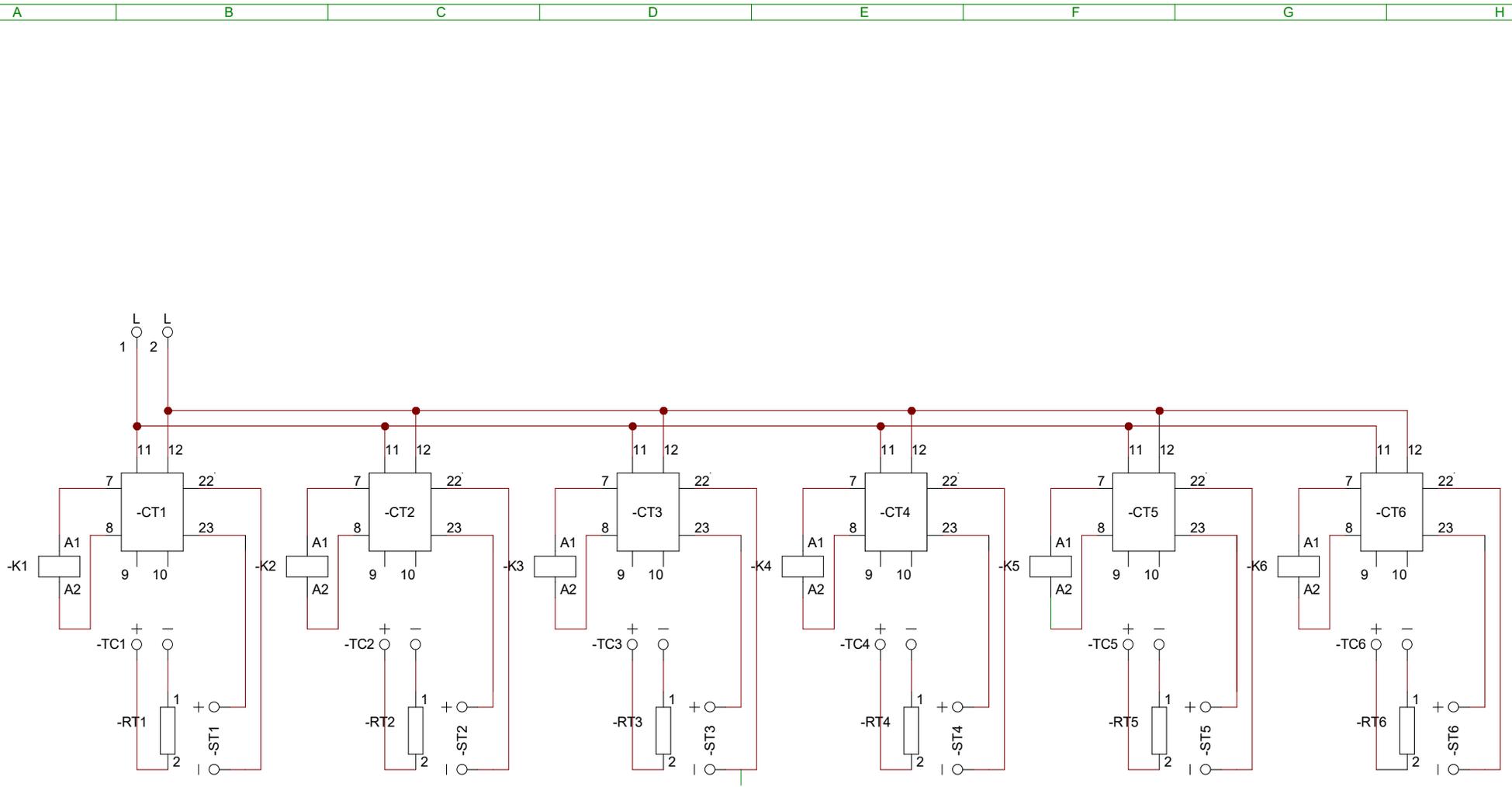
*GPM según medida de funda y tiempo de sellado y corte para velocidad al 32% para la Funda 3*

	Tiempo de sellado y corte (s)									
	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	
150	28	27	26	25	24	23	22	21	20	
175	26	24	23	23	22	21	20	19	19	
200	23	22	21	21	20	19	19	18	18	
225	21	20	20	19	18	18	17	17	16	
250	20	19	18	18	17	17	16	16	15	
275	18	18	17	17	16	16	15	15	14	
300	17	16	16	16	15	15	14	14	14	
350	15	14	14	14	13	13	13	13	12	
400	13	13	13	12	12	12	12	11	11	
500	11	11	10	10	10	10	10	10	9	
600	9	9	9	9	9	8	8	8	8	
800	7	7	7	7	7	7	6	6	6	
1000	6	6	5	5	5	5	5	5	5	
1200	5	5	5	5	4	4	4	4	4	





	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 9-Aug-2023*	Núm.1 de 2
Dibujado	09/08/2023	P. Valarezo		PLASTIGÓMEZ S.A.	Nuevo sistema	Archivo: Sistema de cabezales	
Comprobado							



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 09/08/2023	Nún: 2 de 2
Dibujado	09/08/2023	P. Valarezo		PLASTIGÓMEZ S.A.	Nuevo sistema	Archivo: Sistema de cabezales	
Comprobado							