

**Escuela Superior politécnica del Litoral**

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

Rediseño y optimización del sistema de control de una máquina empacadora de  
productos aperitivos

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros en Mecatrónica**

Presentado por:

Marcos Andrés Montoya Gutiérrez

Ariel Enrique Dume Gómez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## Dedicatoria

---

Dedico este proyecto de grado a mis padres y hermana por su apoyo fundamental, por su amor, por sus consejos, por su compañía en cada etapa de mi vida estudiantil, por cada uno de sus sacrificios que me han llevado al éxito.

A mis abuelos que siempre tuvieron fe y esperanza en el esfuerzo que dedicaba hacia mi carrera.

A mi enamorada Jennifer quien con su apoyo incondicional me ayudo a seguir en los días difíciles y fue un pilar fundamental para seguir adelante con mis metas.

**Marcos Andrés Montoya Gutiérrez**

## Dedicatoria

---

Dedico este proyecto de grado a los pilares fundamentales de mi vida: a mis queridos padres, cuyo amor, apoyo inquebrantable y sacrificio han sido mi mayor fuente de inspiración y mi motor en este largo viaje académico.

A mi valioso hermano, por su constante ánimo en cada paso de este proceso.

A mi sabia abuela, cuya comprensión y amor incondicional han iluminado mi camino.

A mis fieles compañeros de cuatro patas, que han llenado de alegría mis días de estudio. Este logro es un tributo a todos ustedes, quienes han sido mi fuerza y mi motivación.

**Ariel Enrique Dume Gomez**

## Agradecimientos

---

Agradezco a mis padres Lucrecia Aracelly Gutiérrez Duarte y Andrés Marcos Montoya Zamora que me han acompañado en el proceso de culminar con la carrera.

A mis abuelos que me aconsejaban en continuar con un perfil técnico, los mismos que, aunque no estén me dan fuerza y valor.

A mis profesores que con sus clases y consejos pudieron guiarme y brindarme las herramientas necesarias para alcanzar las metas.

Agradezco al tutor del proyecto Doctor Wilton Edixon Agila Galvez, quien desde el primer momento reconoció el valor del proyecto y su potencialidad.

A mis compañeros de la empresa YUPI por ayudarme en este proceso de materia integradora.

**Marcos Andrés Montoya Gutiérrez**

## Agradecimientos

---

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, Alex Enrique Dume Alcívar y Gina Gardenia Gómez García, quienes estuvieron apoyándome incondicionalmente en todo momento de la carrera. Gracias por siempre creer en mí y alentarme a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Sus palabras de ánimo y comprensión fueron fundamentales para que todo esto pudiera darse.


También quiero expresar mi gratitud al Doctor Marcelo Fajardo Pruna, quien durante un tiempo fue mi consejero académico. Sus consejos, orientación y paciencia hicieron que pudiera llegar hasta aquí hoy. No puedo expresar lo agradecido que estoy por todo lo que ha hecho por mí durante mi carrera. Aprecio enormemente su tiempo y esfuerzo invertidos en mi formación.

**Ariel Enrique Dume Gómez**

## Declaración Expresa

---

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Marcos Andrés Montoya Gutiérrez y Ariel Enrique Dume Gómez y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Marcos Andrés Montoya Gutiérrez



Ariel Enrique Dume Gomez

## Evaluadores

---

**Ph.D. Marcelo Fajardo Pruna**

Profesor de Materia



---

**Ph.D. Wilton Agila Galvez**

Tutor de proyecto

## Resumen

El presente proyecto se desarrolla a favor de una empresa de alimentos de nombre YUPI S.A.S., ubicada en el parque Industrial Inmaconsa de la ciudad de Guayaquil, cuyos productos son SNACKS y su requerimiento parte de la necesidad de crecimiento constante y expansión de la empresa como marca, lo cual implica obtener mayor cantidad de productos terminados en un periodo de tiempo aumentando la magnitud de sus ventas. Se planteo como objetivo el diseño de una máquina empacadora para productos de distintos gramajes de envoltura considerando la automatización de está implementando un PLC como receptor de señales, procesadas mediante la programación ejecutando acciones de manera rápida y continua con el fin de instalarla dentro de la línea de producción de fritos de la empresa. Este equipo ha sido diseñado para obtener resultados de eficiencia dentro del sistema de empaque, con la confiabilidad de durabilidad y robustes, aumentando el número de golpes por minuto que tienen las empacadoras antiguas cuyo promedio de golpes es de 60 golpes por minuto, buscando un aumento a 85 golpes por minuto. Con estos resultados, se concluye que aumentar la cantidad de golpes por minuto genera un incremento significativo de la producción.

**Palabras Clave:** Empacadora, Industria alimentaria, Diseño, Automatización.



## **Abstract**

*This project is developed in favor of a food company named YUPI S.A.S., located in the Inmaconsa Industrial Park in the city of Guayaquil, whose products are SNACKS and its requirement is based on the need for constant growth and expansion of the company as a brand, which implies obtaining a greater quantity of finished products in a period of time, increasing the magnitude of its sales. The objective was the design of a packaging machine for products of different wrapping weights considering the automation of a PLC as a signal receiver, processed by programming, executing actions quickly and continuously to install it within the line. of production of fried foods of the company. This equipment has been designed to obtain efficiency results within the packaging system, with the reliability of durability and robustness, increasing the number of strokes per minute that old balers have, whose average stroke is 60 strokes per minute, seeking an increase at 85 blows per minute. With these results, it is concluded that increasing the number of strokes per minute generates a significant increase in production.*

*Keywords: Packaging, Food industry, Design, Automation.*

## Índice general

Resumen .....	I
Abstract .....	II
Abreviaturas .....	VI
Simbología .....	VII
Capítulo 1 .....	1
1.1 Introducción .....	2
1.2 Descripción del problema .....	3
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 Objetivo general .....	5
1.4.2 Objetivos específicos .....	5
1.5 Marco teórico .....	5
1.5.1 Automatización en la industria alimentaria .....	5
1.5.2 Maquinas Empacadoras .....	6
1.5.2.1 Empacadora Vertical .....	7
1.5.2.2 Empacadora Manual .....	7
1.5.2.3 Empacadora Horizontal .....	7
1.5.2.4 Empacadora con Sistema Masico .....	7
1.5.2.5 Empacadora Volumétrica .....	8
1.5.2.6 Empacadora Multi-Cabezal .....	8
1.5.2.7 Empacadora Semiautomática .....	8
1.5.2.8 Empacadora Automática .....	9
1.5.3 Sistema de Dosificación .....	9
1.5.3.1 Dosificación volumétrica .....	10
1.5.3.2 Dosificación mediante Tornillo .....	10
1.5.3.3 Dosificación por Peso .....	10
1.5.4 Programación de PLC en la automatización de maquinaria de empaque .....	10

1.5.5 Mejora de la eficiencia en la línea de producción de fritos (SNACKS) .....	11
1.5.6 Estado del arte .....	11
1.5.7 Estudios comparativos de maquinaria de empaque.....	13
Capítulo 2 .....	15
2.1 Planteamiento y selección de solución.....	15
2.1.1 Parámetros de evaluación .....	21
2.1.2 Restricciones y limitaciones .....	26
2.2 Proceso de diseño .....	26
2.2.1 Modelado y rediseño de puesta de película .....	26
2.2.2. Modelo matemático .....	29
2.2.2 El análisis de elementos finitos.....	29
2.2.3 Análisis de la potencia de motor de caja reductora .....	30
2.2.4. Análisis de la transmisión de fuerza. ....	31
2.3 Cambio de computadora central a PLC.....	39
2.3.1 Arquitectura de control .....	40
2.3.2 Programación del PLC.....	40
2.3.2.1 Secuencia de Funcionamiento de la máquina.....	40
2.3.2.2 Variables del PLC.....	42
2.3.2.4 Programación HMI.....	46
Capítulo 3 .....	48
3.1 Análisis de Resultados .....	49
3.2 Diseño 3D del proceso .....	52
3.2.1 Análisis de elementos finitos.....	52
3.2.2 Diseño 3d de implementación de sistema de cambio de film automático .....	55
3.3 Interfaz HMI .....	58
3.4 Prueba de funcionamiento .....	61
3.5 Análisis de costes .....	68
Capítulo 4.....	71

4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	72
4.1.1 Conclusiones.....	72
4.1.2 Recomendaciones .....	73
Referencias .....	74
Apéndice .....	77

## Abreviaturas

PLC	Controlador lógico programable
HMI	Interfaz humano maquina
SKF	Fabrica sueca de rodamiento de bolas
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
I	Intensidad de Corriente

**Simbología**

w	Vatio
mm	milímetro
m	metro
t	tiempo
s	segundos
v	Voltio
N	Newton
Nm	Newton metro
RPM	Revoluciones por minuto
Hp	caballos de fuerza
$\theta$	Ángulo

## Índice de figuras

Figura 1.1 Diagrama de flujo del Proceso de la máquina empacadora .....	12
Figura 2.1 Piezas que conforman el sistema de cambio de película automático .....	27
Figura 2.2 Diagrama de elementos que conforman el modelo matemático. ....	29
Figura 2.3 Diseño de sistema de cambio automático de rollo de película de empaque. ....	29
Figura 2.4 Especificaciones de la banda seleccionada PHG-480-8M-50 .....	37
Figura 2.5 Especificaciones de las poleas con relación a la banda seleccionada PHP 22-8M-50 RSB .....	38
Figura 2.6. PLC SIMATIC S7-1500. ....	39
Figura 2.7. Conexión del PLC con el HMI .....	40
Figura 2.8 Diagrama de Flujo de funcionamiento.....	41
Figura 2.9 Variables Reales del sistema obtenidas de la programación en Tía portal. ....	42
Figura 2.10 Variables Internas del sistema obtenidas de la programación en Tía portal.....	42
Figura 2.11 Bloques del programa obtenidos de la programación de Tía portal .....	43
Figura 2.12 Main de la programación del PLC segmento 1-5 .....	43
Figura 2.13 Bloque “Main” de la programación del PLC segmento 6 bloque de función de temperatura de operación. ....	44
Figura 2.14 Main de la programación del PLC segmento 8 Bloque de función de parámetros iniciales.....	45
Figura 2.15 Programación del Botón INICIO del HMI .....	46
Figura 2.16 Programación del Botón STOP del HMI.....	46
Figura 2.17 Programación del Botón CAMBIO DE FILM del HMI.....	46
Figura 2.18 Programación del Campo ES que muestra la Temperatura Horizontal 1 del HMI ...	47
Figura 2.19 Programación del Indicador visual que muestra el estado del MOTOR DEL ROLLO del HMI .....	47
Figura 3.1 Gráfico que representa la reducción del tiempo de producción.....	51
Figura 3.2. Análisis de elementos finitos: Tensión de Von Mises .....	52
Figura 3.3 Análisis de elementos finitos: Primera Tensión Principal .....	53

Figura 3.4 Análisis de elementos finitos: Tercera Tensión Principal. ....	54
Figura 3.5 Análisis de elementos finitos: Desplazamiento .....	54
Figura 3.6. Análisis de elementos finitos: Coeficiente de seguridad. ....	55
Figura 3.7 Implementación del sistema de cambio de rollo automático en maquina TNA existente. .....	56
Figura 3.8 Diseño de cambio de rollo automático. ....	56
Figura 3.9. Banda sincrónica, poleas dentadas y tensor del diseño del sistema de rollo. ....	57
Figura 3.10 Pantalla Inicial .....	58
Figura 3.11 Pantalla general del sistema.....	58
Figura 3.12 Pantalla de información 1 .....	59
Figura 3.13 Pantalla de información 2 .....	60
Figura 3.14 Pantalla de información 3 .....	60
Figura 3.15 Pantalla previa a pulsar el botón iniciar.....	61
Figura 3.16. Resistencias en proceso de alcanzar temperatura .....	62
Figura 3.17. Visualización de motores apagados.....	62
Figura 3.18 Valores iniciales.....	63
Figura 3.19. Temperatura alcanzada .....	64
Figura 3.20 Motores de trabajo activados .....	64
Figura 3.21. Valores de tiempo y cantidad de producto.....	65
Figura 3.22 Paro por cambio de film.....	65
Figura 3.23 Listo para seguir operando.....	66
Figura 3.24 Cambio de motor de Film por cambio de rollo.....	67
Figura 3.25 Valores luego del paro .....	67
Figura 3.26 Error en motores .....	68
Tabla 3.6 Rubros del proyecto .....	69
Figura A.1. Programación Main del PLC segmento 1-3.....	78
Figura A.2. Programación Main del PLC segmento 4-6.....	79
Figura A.3. Programación Main del PLC Segmento 7 y 8 .....	80



Figura A.4. Programación Main del PLC Segmento 9 y 10 .....	81
Figura B.1. Programación del bloque activación motores .....	83
Figura B.2. Programación del bloque cambio film .....	83
Figura B.3. Programación del bloque Encoder Motores .....	84
Figura B.4. Programación del bloque Encoder Bailarín .....	84
Figura B.5. Programación del bloque Termocuplas .....	84
Figura B.6. Programación del bloque Parámetros iniciales .....	85
Figura B.7. Programación del bloque Sellar-Cortar-Imprimir .....	86
Figura B.8. Programación del bloque Temperatura de operación.....	87

**Índice de tablas**

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas importantes ..... 16

Tabla 2.2 Especificaciones deseadas..... 17

Tabla 2.3 Análisis de alternativas ..... 20

Tabla 2.3 Evaluación del peso específico de cada criterio..... 21

Tabla 2.4 Clasificación de cada criterio de acuerdo con su peso ..... 22

Tabla 2.5 Evaluación de criterios, Mantenimiento. .... 22

Tabla 2.6 Evaluación de criterios, Control..... 23

Tabla 2.7 Evaluación de criterios, Versatilidad. .... 23

Tabla 2.8 Evaluación de criterios, Vida útil..... 24

Tabla 2.9 Evaluación de criterios, Costo..... 24

Tabla 2.10 Evaluación de criterios, Dimensiones. .... 25

Tabla 2.11 Matriz de decisión ..... 25

Tabla 2.12 Listado de piezas para el sistema de cambio de película automático ..... 28

Tabla 2.13 Especificaciones previas al análisis de esfuerzos del sistema de cambio automático de película. .... 30

Tabla 2.14. Características del motor con caja reductora. .... 31

Tabla 2.15 Requerimientos iniciales que considerar del sistema de película. .... 32

Tabla 2.16 Cálculos para determinar el tipo de correa sincrónica adecuada, especificándose en cada paso que se va a realizar..... 32

Tabla 2.17 Tabla extraída del manual SKF donde se clasifica el sistema de arranque del sistema. 32

Tabla 2.18 Tabla extraída del manual SKF para determinar el factor de servicio según la aplicación del sistema ..... 33

Tabla 2.19 Diagrama extraído del manual SKF para seleccionar la familia de correas según la potencia y velocidad del motor ..... 34

Tabla 2.20 Tabla extraída del manual SKF para determinar la distancia entre centros del generador del movimiento como del sistema actuador. .... 34

Tabla 2.21 Tabla extraída del manual SKF para realizar la corrección de la potencia..... 35

Tabla 2.22 Tabla extraída del manual SKF para determinar el Power Rating según las condiciones previamente determinadas.....	36
Tabla 2.23 Tabla extraída del manual SKF para verificar la potencia que puede transmitir. ....	36
Tabla 2.24 Tabla extraída del manual SKF para determinar las distancias necesarias para la instalación de las correas.....	37
Tabla 2.25 Síntesis de cálculos de la distancia de instalación de correa.....	37
Tabla 2.26 Elementos necesarios para la implementación del sistema diseñado.....	38
Tabla 3.1 Tiempo de cambio de rollo .....	49
Tabla 3.2. Tiempo de cambio de rollo ajustado .....	50
Tabla 3.3 Tiempo de fabricación por lote. ....	50
Tabla 3.4 Reducción del tiempo de producción.....	51
Tabla 3.5. Tabla de comparación Golpes por minuto, relación de tiempo y eficiencia.....	57

**Índice de planos**

Referencia de partes .....	90
Medidas de piezas del sistema .....	91

# Capítulo 1

## 1.1 Introducción

Dentro de la industria alimenticia dedicada a los snacks, se experimenta un constante flujo de productos en todos los puntos de venta, lo cual requiere un abastecimiento continuo. Sin embargo, esta industria también se enfrenta a diversas problemáticas que pueden afectar su calidad, eficiencia y rentabilidad, siendo la competencia en el mercado una de las más destacadas.

La industria alimenticia de snacks es un sector dinámico y en constante crecimiento debido a la popularidad y el consumo masivo de productos como papas fritas, tortillas de maíz, tocineta, galletas, cereales y otros aperitivos. Sin embargo, esta creciente demanda conlleva desafíos significativos para los fabricantes de snacks.

Uno de los principales desafíos es la competencia en el mercado. Con la proliferación de marcas y la entrada de nuevos competidores, las empresas de snacks deben diferenciarse y destacar entre una amplia variedad de opciones disponibles para los consumidores. Esto implica desarrollar estrategias de marketing efectivas, innovar en la creación de nuevos sabores y presentaciones, y mantener una calidad constante que satisfaga las expectativas de los clientes.

Las marcas dentro de la industria de snacks han reconocido la importancia de la innovación continua de productos y el análisis de su aceptación por parte de los consumidores. Esta estrategia les permite enfocar la producción en los productos más demandados, al mismo tiempo que equilibran las ventas y el inventario disponible. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones de las máquinas empacadoras, ya que no se puede producir más de lo que estas pueden procesar.

Un factor relevante en esta industria es la capacidad de producción de las distintas líneas de producción. Es necesario considerar que el ritmo de elaboración del producto esté en consonancia con la velocidad de empaqueo. Estimar la cantidad de productos que se obtienen por minuto implica evaluar si se requiere la adquisición de maquinarias adicionales para satisfacer la demanda de producción. En ocasiones, puede ocurrir que se produzca una cantidad mayor de productos de la que se puede empaquetar, lo cual genera retrasos en el proceso.

Es esencial realizar un análisis cuidadoso de la capacidad de producción de las máquinas empacadoras existentes y determinar si es necesario invertir en más equipos para aumentar la eficiencia y cumplir con la demanda del mercado. Esta evaluación debe considerar tanto el rendimiento actual de las máquinas como las proyecciones de crecimiento y las metas de producción de la empresa. Además, es importante establecer una comunicación efectiva entre los equipos de producción y empaque para garantizar una sincronización adecuada y evitar retrasos o acumulación de productos sin empaque. Esto implica una coordinación precisa para lograr un flujo de trabajo eficiente y evitar desequilibrios entre la producción y el empaque.

En función a lo descrito el proyecto busca solventar la problemática de la cantidad empaque por minuto dentro del proceso de producción. Además, se enfoca en garantizar la durabilidad del sistema y su capacidad de replicabilidad para adaptarse a las necesidades de crecimiento y ampliación de las líneas de proceso de la empresa.

## **1.2 Descripción del problema**

La industria alimenticia dedicada a snacks tiene un flujo constante de demanda, por lo tanto, la producción no puede detenerse, es así como, se busca mantener un equilibrio entre la satisfacción de la demanda actual de snack que se tiene en el mercado nacional en función a la cantidad de producto que puede abastecer la fábrica incurriendo directamente con la capacidad actual de producción de las maquinas, así como, de la sincronía entre la velocidad del empaque y la cantidad que se esté produciendo.

De esta manera dentro de la empresa YUPI S.A.S. empresa alimenticia de productos snacks, misma que, distribuye sus productos en el territorio ecuatoriano, se ha identificado un incremento en las ventas, lo cual, ha generado que las líneas de producción trabajen a su máximo para intentar solventar la demanda, situación que ha generado una alta fatiga en las maquinas, en consecuencia, existen problemas que han ameritado mantenimiento correctivo con más frecuencia. De esta manera se busca una manera para aumentar la eficiencia en el sistema de empaque de la planta

para maximizar la confiabilidad de producción, dando como resultado una mayor cantidad de producto terminado en un menor tiempo, manteniendo el equilibrio descrito.

### **1.3 Justificación del problema**

Mejorar el sistema de empaque dentro de una empresa dedicada a producir snacks es importante por varias razones, que tienen que ver con mejorar la rapidez de respuesta frente a las necesidades del mercado nacional, esto ocurre debido a que se conduce a un aumento significativo en la productividad de la línea de producción.

Al optimizar el diseño y el rendimiento de las máquinas, se puede lograr una mayor velocidad de empaque y una mayor eficiencia en el proceso. Esto permite producir más snacks en menos tiempo, lo que se traduce en un aumento en la capacidad de producción y la rentabilidad de la empresa. Por otro lado, una máquina empacadora mejorada es menos propensa a averías y requerirán menos mantenimiento correctivo. Esto significa que habrá menos tiempos de inactividad no planificados debido a fallas en las máquinas. Al minimizar los tiempos de inactividad, se evita la interrupción de la producción y se optimiza la utilización de los recursos disponibles.

En consecuencia, se podrá producir una mayor cantidad de productos en menos tiempo, lo que conduce a una mayor eficiencia en la línea de producción. Una vez mejorada la respuesta de parte de la empresa generara una satisfacción al cliente, ya sea, mayoristas o minoristas. Estos factores contribuyen a mejorar la imagen de marca de la empresa llegando hacia nuevos distribuidores debido a la alta eficiencia, contribuyendo al desarrollo tanto de la empresa como del ingreso hacia el personal que la conforma.



## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Rediseñar, optimizar y modelar en 3D una máquina empacadora de productos snacks con elementos eléctricos y mecánicos, automatizando el proceso para lograr una mayor eficiencia en el empaqueo de snacks, optimizando la velocidad, precisión y capacidad de producción.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

1. Aumentar la velocidad y eficiencia del proceso de empaque de snacks. Esto implica reducir los tiempos de ciclo, optimizar los movimientos y operaciones de la máquina, y maximizar la productividad global.
2. Diseñar un marco resistente y estable para soportar todas las partes mecánicas y eléctricas e incorporar mecanismos de seguridad, como interruptores de límite, para evitar lesiones o daños a la máquina y operadores, considerando que sea fácil de realizar limpieza y mantenimiento.
3. Utilizar un controlador de lógica programable (PLC) para controlar el funcionamiento de la máquina. El PLC debe ser capaz de recibir información de los sensores y activar los actuadores correspondientes.
4. Realiza simulaciones y pruebas virtuales para verificar la funcionalidad y detectar posibles problemas antes de la construcción física por medio del uso de herramientas de modelado como Autodesk Inventor 2023.

## **1.5 Marco teórico**

### ***1.5.1 Automatización en la industria alimentaria***

La automatización ha revolucionado la industria alimentaria al mejorar los procesos de producción de manera significativa. La implementación de tecnologías automatizadas permite aumentar la eficiencia, reducir los tiempos de producción y minimizar los errores humanos. En el contexto del empaque de alimentos, la automatización ofrece numerosos beneficios, como la mejora de la precisión y consistencia del empaque, la optimización del uso de materiales y la reducción de los costos operativos [1].

La automatización en la industria alimentaria no está exenta de desafíos. La integración de sistemas automatizados requiere inversiones significativas en términos de tiempo, recursos y capacitación del personal. Además, se deben abordar aspectos relacionados con la seguridad alimentaria, la adaptabilidad de los sistemas a diferentes productos y la flexibilidad para enfrentar cambios en la demanda y en los requisitos normativos [2].

### ***1.5.2 Maquinas Empacadoras***

El empaque se refiere al proceso de envolver o contener productos alimentarios. Este concepto es vital para garantizar la seguridad y la calidad de los alimentos, así como para atraer a los consumidores mediante una presentación atractiva [3].

La importancia del empaque en la industria alimentaria radica en su capacidad para preservar la frescura y la integridad de los productos, protegerlos de la contaminación, facilitar su manipulación y ofrecer información relevante al consumidor, como ingredientes, fecha de vencimiento y etiquetas nutricionales. Además, el empaque puede influir en la percepción de la calidad del producto y diferenciarlo de la competencia en el mercado [3].

En la actualidad, hay diversas variedades de maquinaria de empaquetado disponibles:

- Vertical
- Manual
- Horizontal
- Sistema másico
- Volumétrica
- Multi-cabezal
- Semiautomático
- Automático [4]

**1.5.2.1 Empacadora Vertical.** En el empaqueo vertical, se requiere colocar el producto dentro de la tolva situada en la parte superior de la máquina. Aprovechando la fuerza de la gravedad, el producto se desliza hacia abajo para su posterior empaquetado, culminando con la obtención del producto final en la parte inferior. Algunos ejemplos comunes de productos empleados en este tipo de máquinas son: arroz, granulados, sal y caramelo en forma de polvo [5].

**1.5.2.2 Empacadora Manual.** Estas máquinas de empaqueo vertical fueron una de las primeras en utilizarse en las líneas de producción. Su eficiencia dependía en gran medida del trabajo y habilidades del operario encargado [4].

En aquel entonces, se utilizaban selladores manuales que eran uno de los primeros modelos disponibles en el mercado. Estos selladores contaban con un sistema de calentamiento básico mediante resistencia y transferencia de calor. A pesar de esto, algunos fabricantes incorporaron mecanismos adicionales a estas máquinas con el fin de aumentar su capacidad de producción [4].

**1.5.2.3 Empacadora Horizontal.** El empaqueo horizontal se emplea para productos de tamaño mediano que pueden ser empacados en una sola pieza, y se benefician de lotes homogéneos. Algunos ejemplos de estos productos son helados, jabones, galletas, entre otros [4]. Este tipo de máquina empaquera utiliza una banda transportadora que facilita el movimiento del producto desde la entrada hasta la salida, donde se obtiene el producto final empaado y listo para su despacho [5].

**1.5.2.4 Empacadora con Sistema Masico.** El control de estas máquinas se basa en el peso del producto, ya que se considera el método más confiable. Para lograr esto, se utilizan celdas de carga que permiten medir con precisión el peso del producto durante el proceso de empaado. Es importante diseñar el sistema de control de manera exhaustiva, ya que las vibraciones mecánicas pueden generar interferencias en la medición del peso y afectar la precisión del proceso [5].

**1.5.2.5 Empacadora Volumétrica.** Estas máquinas son ampliamente utilizadas para manipular granulados, polvo y, sobre todo, líquidos, donde el volumen que ocupa el producto es una característica principal para su comercialización. Sin embargo, también pueden adaptarse para manipular productos sólidos, aunque esto puede afectar la funcionalidad de la máquina. En este caso, la variación del volumen del producto está sujeta al proceso de producción.

Estas máquinas cuentan con dispositivos integrados que almacenan el producto por fracciones de segundos antes de ser empacado. Para lograr esto, se utilizan moldes extrusores y bandejas con cilindros que se llenan según el volumen requerido. Es importante tener en cuenta la densidad del producto, ya que esto influye en el proceso de empacado [5].

**1.5.2.6 Empacadora Multi-Cabezal.** La principal característica de este tipo de máquinas es su alta velocidad de producción. Esto se logra mediante la incorporación de múltiples balanzas o contenedores que suman volúmenes o masas individuales según las especificaciones del producto y las necesidades de empacado. En algunas áreas, la velocidad de producción puede oscilar entre 180 y 200 fundas por minuto, permitiendo un procesamiento rápido y eficiente de los productos [5].

**1.5.2.7 Empacadora Semiautomática.** Las pequeñas y medianas empresas han optado por implementar un enfoque de empaque que combina la intervención del operario con el funcionamiento semiautomático de la máquina. El objetivo es lograr una línea de producción efectiva y económica.

En este tipo de empacadoras, suele haber un solo operario encargado de empaquetar y dosificar el producto. La velocidad de producción está directamente relacionada con el trabajo y rendimiento del operador, ya que su desempeño influye en la eficiencia y rapidez del proceso. Esta estrategia permite a las empresas optimizar recursos y mantener costos bajos mientras se busca mantener una producción eficiente [4].

**1.5.2.8 Empacadora Automática.** Las empacadoras modernas combinan sistemas eléctricos, mecánicos y electrónicos que están controlados por sistemas de control lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés), con el objetivo de lograr una alta producción en el empaquetamiento.

En los últimos años, los sistemas de control han experimentado mejoras significativas, lo que ha permitido que las empacadoras evolucionen tanto en su diseño como en su funcionalidad. Se han incorporado sistemas automáticos de control que pueden llevar a cabo funciones complejas de procesamiento mediante el uso de sensores y actuadores [5].

El control automático en el ámbito de los procesos industriales ha incrementado el nivel de producción y ha posibilitado aumentar la calidad del producto final, en cumplimiento de los estándares internacionales.

Estas empacadoras reducen al mínimo la cantidad de operadores requeridos, ya que su labor se limita a supervisar el proceso. Esto contribuye a aumentar la rentabilidad del sistema implementado [4].

En este proyecto en particular, se decidió implementar este tipo de empacadora debido a que presenta las mejores características y prestaciones disponibles en el mercado.

### ***1.5.3 Sistema de Dosificación***

Los dosificadores son dispositivos utilizados en la industria para suministrar una cantidad precisa de producto durante una cadena de procesos. Estos sistemas suelen incluir componentes eléctricos, neumáticos y electrónicos o una combinación de ellos. Su función es controlar con precisión la dosificación del producto en cada etapa del proceso, asegurando una producción eficiente y de alta calidad [6].

Existen 4 tipos de dosificación:

- Volumétrica
- Mediante tornillo
- Por peso

- Volumétrica, por pistón neumático

**1.5.3.1 Dosificación volumétrica.** Estas máquinas son utilizadas en conjunto con empacadoras semiautomáticas o completamente automáticas. Su diseño y construcción varían según el tipo de envase utilizado, considerando factores como el material, la forma y la capacidad del vaso. Por lo general, estos envases son fabricados en acero y son recomendados para procesos que involucran productos en polvo [4].

**1.5.3.2 Dosificación mediante Tornillo.** En este tipo de dosificador, se utiliza un tornillo en la parte inferior de la tolva para suministrar una cantidad de producto en función de su velocidad de giro. Está construido en acero inoxidable y es recomendado para dosificar partículas difíciles de deslizar. Además, incluye un sistema de reducción de velocidad integrado al motor eléctrico o variador de velocidad. Este método permite cuantificar la producción por empaque de forma precisa [4].

**1.5.3.3 Dosificación por Peso.** Este dosificador emplea vibraciones para desplazar el producto de manera que se evita su descomposición en el puerto de carga. Se utiliza un sensor conectado a una entrada analógica del microcontrolador para lograr dosificaciones altamente precisas [4].

Estos dosificadores son utilizados en empacadoras automáticas en combinación con múltiples tolvas, o bien, para dosificar pequeñas cantidades de forma semiautomática [4].

#### ***1.5.4 Programación de PLC en la automatización de maquinaria de empaque***

Los PLCs (Programmable Logic Controllers) desempeñan un papel crucial en la automatización de la maquinaria de empaque. Estos dispositivos programables permiten coordinar y controlar los diferentes componentes de la máquina de empaque de manera eficiente y precisa. Los PLCs utilizan lenguajes de programación específicos para ejecutar las acciones requeridas en el proceso de empaque [7].

La programación de PLC implica la creación de algoritmos y secuencias de instrucciones que determinan el comportamiento de la maquinaria de empaque. Los lenguajes de programación

más comunes son el ladder logic, el structured text y el function block diagram. La programación adecuada de PLCs garantiza una operación confiable y optimizada de la maquinaria de empaque, permitiendo ajustes y modificaciones según sea necesario [8].

#### ***1.5.5 Mejora de la eficiencia en la línea de producción de fritos (SNACKS)***

La mejora de la eficiencia en la línea de producción de fritos es un objetivo clave en la industria alimentaria. Diversas estrategias pueden implementarse para lograr este objetivo, como la optimización de los flujos de trabajo, la reducción de los tiempos muertos y el uso eficiente de los recursos. En el contexto del empaque de fritos, es crucial garantizar la consistencia en el proceso de empaque, minimizando los errores y maximizando la productividad [9].

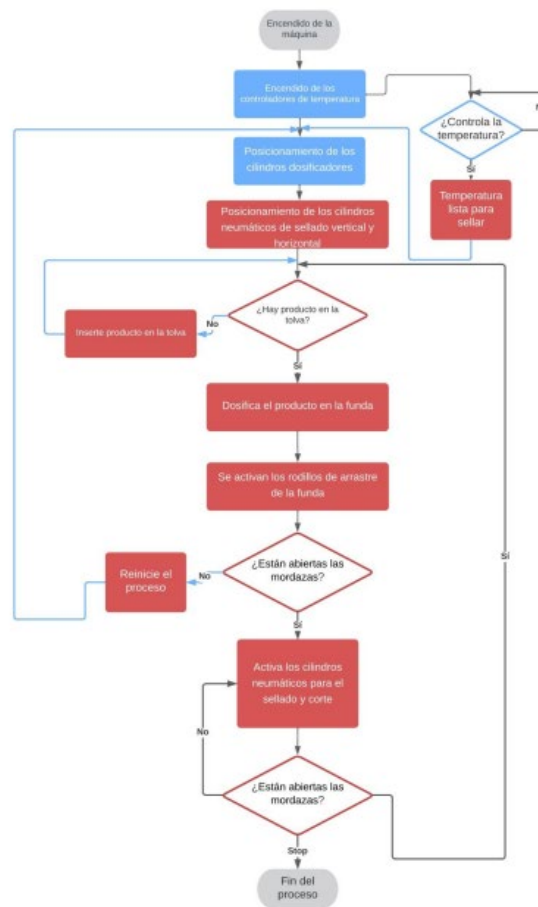
La optimización del empaque en la producción de fritos implica considerar aspectos como la selección adecuada de materiales de empaque, el diseño de empaques funcionales y atractivos, y la implementación de tecnologías de empaque eficientes. Además, la planificación y organización eficientes de la línea de producción son fundamentales para minimizar los tiempos de cambio de producto y maximizar la capacidad de producción [9].

#### ***1.5.6 Estado del arte***

Dentro del ámbito correspondiente al empleo de las máquinas empacadoras de snacks, se identifica una extensa variedad de dichos dispositivos, los cuales se encuentran en constante desarrollo. De forma recurrente, emergen nuevas máquinas de mayor tecnología, lo cual resulta en la obsolescencia progresiva de las generaciones anteriores. En este contexto, nuestro objetivo consiste en rediseñar una máquina dispensadora y empacadora, ya que su disponibilidad de repuestos ha cesado y se requiere una adaptación. Consecuentemente, esta situación ha generado problemas operativos. Para fundamentar el estado del arte, se mencionarán dos trabajos previamente presentados, que se enfocan más en el diseño desde cero de maquinaria de este estilo. El primer estudio a mencionar, resaltando que ambos se llevaron a cabo en Ecuador, se centra en la automatización de una máquina destinada a la producción de snacks.

**Figura 1.1**

*Diagrama de flujo del Proceso de la máquina empacadora*



La figura 1.1 presenta un esquema del proceso del empaquetado de snack, el proceso comienza con la puesta en marcha de la máquina, que incluye posicionamiento preciso de los motores a pasos del dosificado y los actuadores neumáticos del sellado [10].

En este trabajo, se desarrolla completamente desde cero una máquina empacadora específicamente solicitada por una empresa. Un aspecto destacado del proyecto es la utilización de controladores lógicos programables (PLC) para gestionar el sistema. Consideramos que esta implementación resulta favorable, ya que nos permitiría lograr una mayor eficiencia y facilitar la sustitución de componentes a largo plazo, lo cual contribuiría a la economía del sistema [10].

El segundo estudio presentado, más reciente en su realización, también se enfoca en el diseño de una empacadora de snacks. El enfoque y el funcionamiento de esta máquina son muy



similares a los del estudio anterior. Es importante destacar que se pueden encontrar numerosos trabajos de este tipo, ya que la temática ha sido ampliamente explorada. De hecho, existe un interés significativo en encontrar soluciones que permitan llevar a cabo este proceso con una inversión mínima [11].

### ***1.5.7 Estudios comparativos de maquinaria de empaque***

Para seleccionar la maquinaria de empaque más adecuada, es importante realizar estudios comparativos que evalúen el rendimiento y la eficiencia de diferentes equipos disponibles en el mercado. Estos estudios permiten analizar características clave, como la velocidad de empaque, la precisión de llenado, la facilidad de uso y mantenimiento, y la calidad del sellado [12].

La evaluación de la maquinaria de empaque también debe considerar aspectos como la durabilidad y la fiabilidad de los equipos, el soporte técnico del fabricante y la adaptabilidad a las necesidades específicas de empaque de fritos. La comparación de diferentes máquinas de empaque proporciona información valiosa para la toma de decisiones informada y la selección de la mejor opción para el proyecto [12].

## **Capítulo 2**

## 2.1 Planteamiento y selección de solución

El problema principal que actualmente la Empresa de alimentos YUPI.SA afronta es el incremento de la demanda de productos, lo que obliga a la Empresa a poner a trabajar a sus máquinas dosificadoras y empacadoras de productos a su máxima capacidad, esto conlleva a un incremento de fatiga de las máquinas, haciendo que las mismas fallen con mayor frecuencia y provocando que las mismas dejen de trabajar por mayores cantidades de tiempo al necesitar mayor mantenimiento correctivo, lo que se busca realizar es el aumento de la eficiencia de las máquinas para así maximizar la producción.

Partimos con la idea de modificar las maquinas empacadoras de la Empresa, por lo que se procedió a recolectar información de todas las maquinas empacadoras que son parte de esta.

Actualmente la Empresa YUPI.SA cuenta con 9 número de máquinas empacadoras las cuales están divididas en 3 diferentes modelos listados a continuación:

- TNA ROBAG TX 3CI -Mordaza de rotación individual
- ASTRO-S-203
- Woodman G3

En la tabla 2.1 se presentan algunas de las especificaciones técnicas de las maquinas empacadoras a las cuales podríamos atacar para poder resolver el problema:

**Tabla 2.1.***Especificaciones técnicas importantes*

<i>Maquina</i>	<i>Velocidad Máxima de Circulación (BPM)</i>	<i>Consumo de energía (kW)</i>	<i>Material de construcción</i>	<i>Dimensiones</i>			
				<i>Altura (mm)</i>	<i>Ancho (mm)</i>	<i>Profundidad (mm)</i>	<i>Peso (kg)</i>
ROBAG TX 3CI	100	2,8	Revestido con acero dulce o acero inoxidable	1800	900	1910	1000
ASTRO-S- 203	80	2.8	Revestido con acero dulce o acero inoxidable	1750	1170	1870	500
Woodman G3	100	7	Bastidor tubular de acero soldado, con recubrimiento de polvo de acero inoxidable, con parte de aluminio anodizado endurecido.	1819	1713	2215	1273

A partir del conocimiento de las especificaciones técnicas de las maquinas empacadoras, y a la necesidad de tener una perspectiva más profunda del problema se procedió a realizar una lista de requerimientos y deseos para poder así conocer que aspectos de estas empacadoras se pueden mejorar:

**Tabla 2.2**

*Especificaciones deseadas*

<i>Empresa Cliente:</i>		<i>Productos:</i>		<i>Fecha: 25/06/2023</i>
<i>YUPI.SA</i>		<i>Maquinas Empacadoras</i>		
<i>Página 1/1</i>				
<i>Especificaciones</i>				
<i>Concepto</i>	<i>Fecha</i>	<i>Propone</i>	<i>R/D</i>	<i>Descripción</i>
Función	25/06/2023	P	R	Disminuir el tiempo de cambio de rollo
	30/06/2023	P	R	Aumentar la capacidad de empaque de 65 a 85 BPM
	2/07/2023	P	R	Disminuir el atascamiento de producto en el formador
	3/07/2023	M	R	Actualización de sistema de maquinas
	8/07/2023	M	R	Aumentar la duración del sistema de mordazas

8/07/2023	M	D	Disminuir el tiempo de mantenimiento correctivo en puntos constantes
9/07/2023	M	R	Disminuir el tiempo de paradas por tema de mantenimiento
12/07/2023	M	D	Plantear un sistema flexible con controladores automáticos que permitan varios cambios o añadir elementos a futuros
12/07/2023	M		Mejorar el plan de mantenimiento de las maquinas en función de las horas de averías anuales
14/07/2023	P+M	D	Utilizar elementos que generen confiabilidad en tema de uso y por ende tenga larga duración de trabajo útil

P->Producción

M->Mantenimiento

R-> Requerimiento

D-> Deseo

Con la información obtenida en la tabla 2.2 a partir de las ideas de los trabajadores de la empresa, se propusieron las siguientes alternativas de solución:

- A. Modelado y rediseño de puesta de film o película.
- B. Cambio de póker en función de servomotores.

- C. Cambio de freno de manera mecánica.
- D. Cambio de computadora central al PLC.
- E. Cambio de sistemas de mordazas de cilindros neumáticos a servomotores y cilindros paso a paso en el área del formador.

Para poder seleccionar las mejores soluciones posibles y aplicables en el rediseño de la maquina empacador se procedió a hacerse un análisis comparativo basándose en las ventajas y desventajas de cada una de ellas expresadas en la tabla 2.3.

Tabla 2.3

## Análisis de alternativas

## Alternativas de Solución

Nombre	Descripción	Ventajas	Desventajas
Alternativa A	Modelado y rediseño de puesta de film o película		
Alternativa B	Cambio de póker en función de servomotores		
Alternativa C	Cambio de freno de manera mecánica		
Alternativa D	Cambio de computadora central al PLC		
Alternativa E	Cambio de sistemas de mordazas de cilindros neumáticos a servomotores y cilindros paso a paso en el área del formador.		
	Sustituir los sistemas de mordazas de cilindros neumáticos que tiene actualmente la empacadora por servomotores		
	1.- Flexibilidad 2.- Velocidad de respuesta 3.- Precisión 4.- Control de fuerza	1.-Reducir tiempos de parada 2.-Reducir desgaste por cambio	1.-Suceptible a trabarse 2.- Aumento de complejidad de sistema
	Sustituir la computadora central a un PLC	1.-Aumentar la velocidad 2.-Aumentar Precisión	1.-Complejidad 2.-Dependencia de la electrónica
	Cambio de computadora central al PLC	1.-Simplificación 2.-Menor uso de fuentes de energía externas 3.-Costo	1.-Menor precisión y control 2.-Desgaste y mantenimiento
	Cambio de computadora central al PLC	1.-Mayor confiabilidad 2.-Menor tamaño y espacio requerido 3.-Tiempo de respuesta rápido 4.-Facilidad de programación y cambios Mayor durabilidad en entornos industriales	1.- Capacidad de procesamiento limitada 2.-Limitaciones de interfaz de usuario 3.-Actualizaciones de software
	Cambio de sistemas de mordazas de cilindros neumáticos a servomotores y cilindros paso a paso en el área del formador.		



### 2.1.1 Parámetros de evaluación

Se definen los siguientes parámetros de evaluación para las alternativas de solución con la idea de seleccionar las más adecuadas.

- Costo: Se requiere que los costos para el rediseño sean accesibles y se obtenga una rentabilidad.
- Dimensiones: Se espera que las dimensiones sean similares a las ya presentes en todas las demás maquinas empacadoras de la planta.
- Mantenimiento: Dado la cantidad de máquinas, se espera que el mantenimiento de las empacadoras sea menor a los que inicialmente tenían.
- Control: Se espera tener una forma de control más sencilla con respecto a las previamente existentes en cada una de las empacadoras.
- Versatilidad: Hace referencia al comportamiento colectivo de todos los componentes de un sistema cuando funcionan juntos como un conjunto. En otras palabras, se refiere a cómo todos los elementos se desempeñan cuando están acoplados para operar dentro de los parámetros normales de la máquina para la cual fueron diseñados.
- Vida Útil: Se espera una vida útil superior a las que tienen las empacadoras en la empresa para poder reducir gastos y considerar la inversión.

Una vez determinados los criterios a evaluar, se procedió a determinar cuánto influye cada uno a partir de un peso específico indicado en la *Tabla 4*.

**Tabla 2.3**

*Evaluación del peso específico de cada criterio*

Criterio	Costos	Dimensiones	Mantenimiento	Control	Versatilidad	Vida Util	$\Sigma+1$	Ponderacion
Costo		1	0,5	0	0	0,5	3	0,143
Dimensiones	0		0	0	0,5	0,5	2	0,095
Mantenimiento	0,5	1		0,5	1	0,5	4,5	0,214
Control	1	1	0,5		0,5	0,5	4,5	0,214
Versatilidad	1	0,5	0	0,5		0,5	3,5	0,167
Vida Util	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		3,5	0,167
						Suma	21	1

**Tabla 2.4***Clasificación de cada criterio de acuerdo con su peso*

		<b>Peso Total</b>	21
<b>Pesos</b>	<b>Criterio</b>	<b>Clasificación</b>	<b>% de decisión</b>
4.5	Mantenimiento	1	21%
4,5	Control	2	21%
3,5	Versatilidad	3	16%
3,5	Vida útil	4	16%
3	Costo	5	14%
2	Dimensiones	6	9%

Con los pesos específicos determinados se puede tener en consideración cuales son los parámetros de mayor influencia en cuanto a la selección final de una alternativa, conociendo esa información que se procede a evaluar cada una de las alternativas de solución con respecto a cada uno de los criterios y así poder obtener cual o cuales de ellas tendrían mayor impacto si se las realizara.

**Tabla 2.5***Evaluación de criterios, Mantenimiento.*

<b>Sostenibilidad</b>	<b><math>E&gt;D=A&gt;C=B</math></b>					<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
	<i>Alternativa A</i>	<i>Alternativa B</i>	<i>Alternativa C</i>	<i>Alternativa D</i>	<i>Alternativa E</i>		
<i>Alternativa A</i>		0	1	1	0,5	3,5	0,233
<i>Alternativa B</i>	0,5		0,5	0	0	2	0,133
<i>Alternativa C</i>	0,5	0,5		0	0	2	0,133
<i>Alternativa D</i>	0	1	1		0,5	3,5	0,233
<i>Alternativa E</i>	0,5	0,5	1	1		4	0,267
					<b>Suma</b>	<b>15</b>	<b>1</b>



**Tabla 2.8***Evaluación de criterios, Vida útil.*

**A>D=E>B=C**

<b>Sostenibilidad</b>	<i>Alternativa A</i>	<i>Alternativa B</i>	<i>Alternativa C</i>	<i>Alternativa D</i>	<i>Alternativa E</i>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<i>Alternativa A</i>		0,5	0,5	1	1	4	0,267
<i>Alternativa B</i>	0,5		0,5	0	0	2	0,133
<i>Alternativa C</i>	0,5	0,5		0	0	2	0,133
<i>Alternativa D</i>	0	1	1		0,5	3,5	0,233
<i>Alternativa E</i>	0	1	1	0,5		3,5	0,233
					<b>Suma</b>	<b>15</b>	<b>1</b>

**Tabla 2.9***Evaluación de criterios, Costo.*

**D=E>A>B=C**

<b>Sostenibilidad</b>	<i>Alternativa A</i>	<i>Alternativa B</i>	<i>Alternativa C</i>	<i>Alternativa D</i>	<i>Alternativa E</i>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<i>Alternativa A</i>		0,5	0,5	0,5	0,5	3	0,2
<i>Alternativa B</i>	0,5		1	0	0	2,5	0,167
<i>Alternativa C</i>	0,5	0		0	1	2,5	0,167
<i>Alternativa D</i>	0,5	1	1		0	3,5	0,233
<i>Alternativa E</i>	0,5	1	0	1		3,5	0,233
					<b>Suma</b>	<b>15</b>	<b>1</b>

**Tabla 2.10***Evaluación de criterios, Dimensiones.***B>D>A>C>E**

<b>Sostenibilidad</b>	<i>Alternativa A</i>	<i>Alternativa B</i>	<i>Alternativa C</i>	<i>Alternativa D</i>	<i>Alternativa E</i>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<i>Alternativa A</i>		0	1	0,5	0,5	3	0,2
<i>Alternativa B</i>	1		1	0,5	0,5	4	0,267
<i>Alternativa C</i>	0	0		0,5	1	2,5	0,167
<i>Alternativa D</i>	0,5	0,5	0,5		1	3,5	0,233
<i>Alternativa E</i>	0,5	0,5	0	0		2	0,133
						<b>Suma</b>	<b>15</b>
							<b>1</b>

Una vez se realizó la evaluación de criterios de cada uno de los parámetros establecidos como se puede ver en las *Tablas 2.5 – 2.10*, se procede a realizar una matriz de decisión con el objetivo de determinar que alternativa de solución tiene mayor impacto y poder elegirla para aplicarla en el rediseño de la empacadora.

**Tabla 2.11***Matriz de decisión*

	<b>Criterios</b>						<b>Resultados</b>		
<b>Pesos</b>	4,5	4,5	3,5	3,5	3	2			
<b>Aternativas</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Control</b>	<b>Versatilidad</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Costo</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Puntuación Bruta</b>	<b>Puntuación ponderada</b>	<b>Clasificación</b>
A	3,5	3	3,5	4	3	3	20	70,5	1
B	2	3	3	2	2,5	4	16,5	45	3
C	2	2	3	2	2,5	2,5	14	48	2
D	3,5	4	2	3,5	3,5	3,5	20	70,5	1
E	4	3	3,5	3,5	3,5	2	19,5	70,5	1

La información que se obtuvo a partir de la matriz de decisión nos muestra que las opciones que mayor impacto tienen con respecto a los criterios proporcionados visibles en la tabla 2.11 y que por ende son las mejores alternativas realizables son 2:

- Alternativa A: Modelado y rediseño de puesta de film o película.
- Alternativa D: Cambio de computadora central al PLC.

### ***2.1.2 Restricciones y limitaciones***

En este apartado se comentarán las observaciones dadas por el cliente para poder considerar a la empacadora como apta para puesta en marcha dentro de planta.

1. La máquina debe adaptarse a las nuevas tecnologías y proporcionar la facilidad de agregar nuevos elementos según se requiera.
2. El rediseño de la maquina debe permitir la intervención de mantenimiento correctivo o preventivo con una adecuada flexibilidad de parte del equipo de la empresa.
3. Las modificaciones que se realicen se deben ajustar bajo el marco de la ley en cumplimiento de las normativas acerca del tipo de material que se utilice, mismos que se deben ajustar a la industria alimentaria
4. La máquina debe presentar una mejora en la cantidad de empaques por minuto que se obtengan, estimar un incremento de 60 golpes por minuto que generan las maquinas actuales en promedio a un valor de 80 o 85 golpes por minuto.
5. Las dimensiones de la maquina no debe de superar las dimensiones del espacio donde será instalado, que será de 2400 mm altura y procurar no exceder 1000mm de ancho, el largo queda a discreción del diseñador.

## **2.2 Proceso de diseño**

En cuyo caso, se puede determinar que entre los cambios de rediseño que se están planteando se basan en el cambio la fuente generadora del movimiento hacia un sistema que eleve la confiabilidad y mantenga su precisión a altos esfuerzos de trabajo.

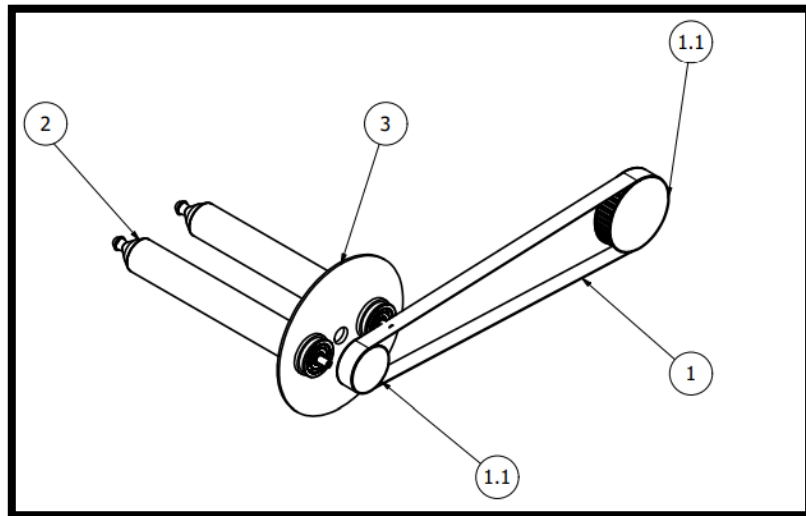
### ***2.2.1 Modelado y rediseño de puesta de película***

En este apartado se debe considerar que las empacadoras que tiene la empresa actualmente no cuentan con un sistema de cambio automático del rollo de película, proceso que actualmente se lo hace de manera manual, mismo que produce un tiempo de parada para la maquina y todo el proceso, tiempo importante dentro del proceso de producción debido a que el tiempo promedio de

cambio de rollo e instalación del mismo esta alrededor de los 25 minutos, tiempo que incluye la parada de la máquina, búsqueda de rollo, ubicación del rollo en el eje, cuadro del rollo a la medida anterior y medida ubicada del formador para no descuadrar todo, por último el tiempo de prueba de empaque con sellado y prueba de calidad. Debido a lo antes descrito se busca realizar un sistema que reduzca por completo este tiempo de parada que en un turno de trabajo puede llegar a generar paradas largas, por lo tanto, lo que se ha planteado es realizar el diseño de un sistema de cambio automático de rollo, lo cual contara con dos ejes en la cual se apoyaran dos rollos de películas, un sistema de acople para estos dos ejes, la transmisión de la potencia al eje que hará mover a todo el sistema de cambio automático y a su vez al sistema que permite mover a cada rollo, como se describe en el siguiente diagrama.

**Figura 2.1**

*Piezas que conforman el sistema de cambio de película automático*



**Tabla 2.12***Listado de piezas para el sistema de cambio de película automático*

1	Correa Sincrónica de transmisión
1.1	Polea de transmisión hacia sistema de película
1.2	Polea de transmisión desde el servomotor
2	Eje sujetador de película
3	Ensamble sujetador de los ejes de películas

En este caso se consideró que la fuente de transmisión para este sistema fue por medio del uso de un motor con caja reductora, el cual será usado debido a su alta precisión, las especificaciones del motor se estiman en base a la carga que va a tener que soportar y a su vez transmitir potencia, previamente descritas.

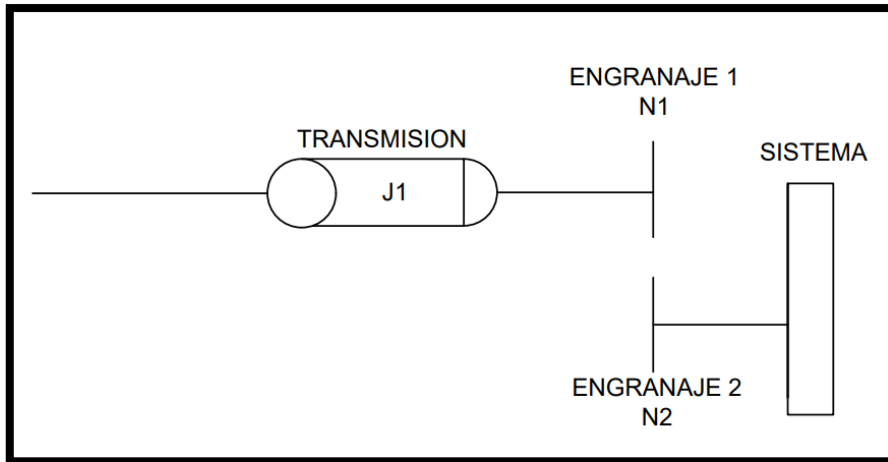
En base a este requerimiento lo que se hará es usar las bandas de sincronización, debido a que este tipo de bandas tiene como ventaja que no se estiran y por lo cual transmite la potencia de manera constante en relación con la velocidad angular la cual se conserva. Haciendo uso de las ventajas de las bandas de sincronización, se permitirá tener una eficiencia entre un rango de 95-98% de confiabilidad, lo cual permite tener una mayor precisión en el movimiento.



### 2.2.2. Modelo matemático

**Figura 2.2**

*Diagrama de elementos que conforman el modelo matemático.*

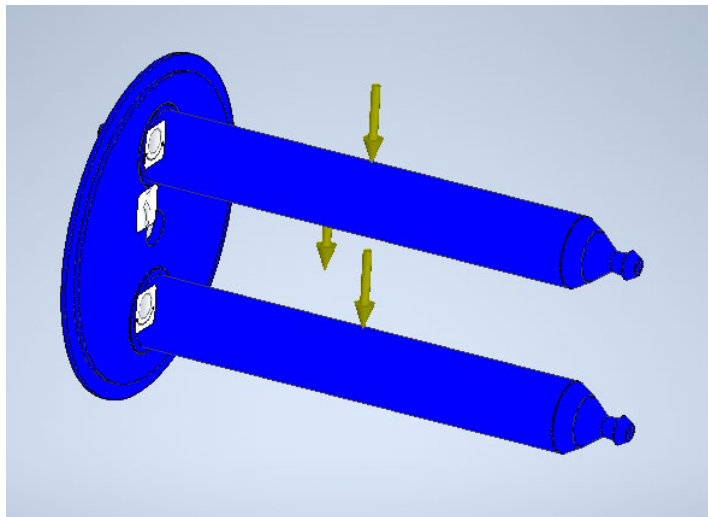


$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\theta_1}{\theta_2} \quad (2.1)$$

### 2.2.2 El análisis de elementos finitos

**Figura 2.3**

*Diseño de sistema de cambio automático de rollo de película de empaque.*



Para el análisis se debe considerar las variables que estarán presentes, descritas en la tabla 2.13.

**Tabla 2.13**

*Especificaciones previas al análisis de esfuerzos del sistema de cambio automático de película.*

Datos por considerar

Material	Descripción	Peso
Acero inoxidable de grado alimenticio 304	Soporte de ejes sujetadores de película.	50 [N]
Acero inoxidable de grado alimenticio 304	Eje hueco sujetador de película.	300 [N]
Acero inoxidable de grado alimenticio 304	Eje hueco sujetador de película.	300 [N]

La tabla 2.13 muestra valores estimados a los requerimientos que se quieren atender, en base al peso máximo que soportaran los ejes, considerando los diferentes cambios de referencia, en base al cambio de gramaje del producto final.

### **2.2.3 Análisis de la potencia de motor de caja reductora**

Para el análisis de la potencia de motor se debe estimar el peso máximo, en este caso, se ha estimado, el valor total del peso que va a soportar, como se puede apreciar en el cálculo.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \quad (2.2)$$

$$P_T = (300 + 50 + 300)[N]$$

$$P_T = (650)[N]$$

Con el valor de peso total, se debe realizar el cálculo de torque en función de la distancia que tendrá la transmisión de la misma. La distancia será de 0.5[m], en base a esto el torque será:

$$T = P_t * r \quad (2.3)$$

$$T = 650 * 0.4[Nm]$$

$$T = 260[Nm]$$

Esto quiere decir que se debe escoger un motor con caja reductora capaz de alcanzar este torque, por lo cual, se ha investigado y se ha podido determinar que un motor con caja reductora, con relación de 60:1, permite tener un movimiento suave con alto torque. Los datos se pueden verificar en la Tabla 2.14.

**Tabla 2.14.**

*Características del motor con caja reductora.*

AC/DC	AC
Voltaje	Trifásico 208V, 230V
Índice de Protección	IP44
Par Nominal	208 Nm
Velocidad nominal de Rotación	28 rpm
Relación de engranajes (X: 1)	60:1

Nota. Los datos de obtuvieron a partir de información encontrada en el catálogo de distribución de oriental motor [13]

En base a esto podemos determinar que las revoluciones que tendrá el motor con caja reductora en función del torque necesario serán de 28 rpm. En función a esto podremos calcular el tipo de banda y los ejes y las poleas dentadas a su vez.

#### ***2.2.4. Análisis de la transmisión de fuerza.***

En este apartado se ha considerado el manual de SKF, como una de pasos para calcular las dimensiones correctas según nuestros requerimientos, tanto de las bandas, como de la polea.

**Tabla 2.15**

*Requerimientos iniciales que considerar del sistema de película.*

Característica	Descripción	Nomenclatura
Motor con Caja Reductora	28	rpm
Tiempo de Servicio	2	Hora/día
Distancia entre centros	40	mm

**Tabla 2.16**

*Cálculos para determinar el tipo de correa sincrónica adecuada, especificándose en cada paso que se va a realizar.*

Calculo	Variable	Valor	Unidad
Potencia de servomotor	P	750	W
Factor de servicio	C2	1,4	
Potencia de diseño	Pd	1050	W
Relacion de velocidades	Ir	1	
Numero de dientes P1	N1	22	
Numero de dientes P2	N2	22	
Largo de banda	B1	152	mm
Diametro polea 1	D1	56,02	mm
Diametro polea 2	D2	56,02	mm
Correccion de factor	C1	1	
Teeth in Mesh	TIM	278,6666667	
Correccion de factor por TIM	C4	1	
Correccion Potencia de Diseño	Pb	1050	

Lo primero que se debe hacer es clasificar el sistema de arranque, en nuestro caso, se considera que el arranque es en AC y el movimiento no debe ser brusco, se considera como un arranque suave.

**Tabla 2.17**

*Tabla extraída del manual SKF donde se clasifica el sistema de arranque del sistema.*

Types of prime mover	
Soft starts	Heavy starts
Electric motors:	Electric motors:
AC – Star delta start	AC – Direct-on-line start
DC – Shunt wound	DC – Series and compound wound
Internal combustion engines with 4 or more cylinders	Internal combustion engines with less than 4 cylinders.
Prime movers fitted with centrifugal clutches, dry or fluid couplings or electronic soft start devices	Prime movers not fitted with soft start devices

Se considera que la maquina debería trabar turnos de 12 horas seguidas donde el tiempo de interrupción es para cambios de referencias, limpieza, tiempos de descansos o comidas del personal, pese a ello, el sistema no trabajar todo el tiempo, por lo cual se lo puede considerar por debajo de 10 horas de trabajo.

**Tabla 2.18**

*Tabla extraída del manual SKF para determinar el factor de servicio según la aplicación del sistema*

Types of driven machinery		Soft starts			Heavy starts		
		Duty time h/day 10 and under	Over 10 to 16	Over 16	Duty time h/day 10 and under	Over 10 to 16	Over 16
Class 1 Light duty	Blowers, exhausters and fans (up to 7,5 kW), centrifugal compressors and pumps. Belt conveyors (uniformly loaded).	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9
Class 2 Medium duty	Agitators (uniform density), blowers, exhausters and fans (over 7,5 kW). Rotary compressors and pumps (other than centrifugal). Belt conveyors (not uniformly loaded), generators and excitors, laundry machinery, lineshafts, machine tools, printing machinery, sawmill and woodworking machinery, screens (rotary).	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0
Class 3 Heavy duty	Agitators and mixers (variable density), brick machinery, bucket elevators, compressors and pumps (reciprocating), conveyors (heavy duty). Hoists, mills (hammer), pulverisers, punches, presses, shears, quarry plant, rubber machinery, screens (vibrating), textile machinery.	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
Class 4 Extra heavy duty	Crushers (gyratory-jaw roll), mills (ball-rod-tube).	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5

El valor del factor de servicio será  $C_2=1.4$

Por lo tanto, al realizar la corrección de la potencia del diseño se obtiene:

$$P_d = P_r * C_2 \quad (2.4)$$

$$P_d = 750 * 1.4$$

$$P_d = 1050 \text{ W}$$

Una vez considera la correccion realizada, se considera la relación de velocidades.

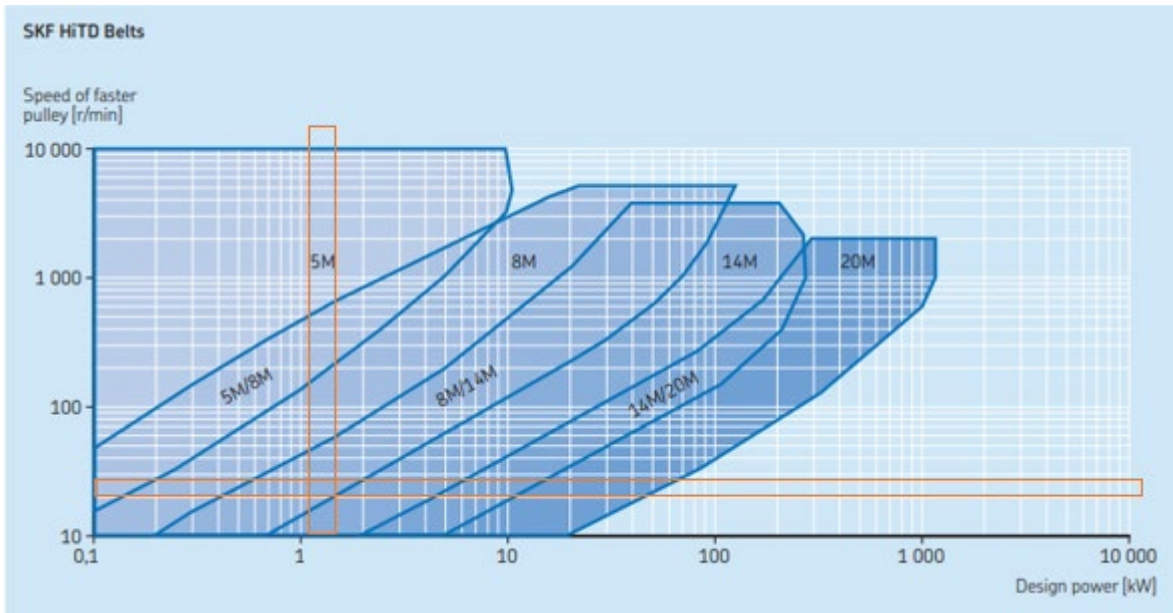
$$I_r = \frac{\text{Revoluciones Motor}}{\text{Revoluciones esperadas}} \quad (2.5)$$

$$I_r = \frac{28}{28}$$

$$I_r = 1$$

**Tabla 2.19**

Diagrama extraído del manual SKF para seleccionar la familia de correas según la potencia y velocidad del motor



En este caso en base a los datos estimados por la gráfica de la tabla 2.19 se puede visualizar que la familia adecuada esta entra la 8M o 14M, se escogerá la que sea más conveniente.

**Tabla 2.20**

Tabla extraída del manual SKF para determinar la distancia entre centros del generador del movimiento como del sistema actuador.

Speed ratio	Driver Number of Pitch teeth	Pitch diameter	Driven Number of Pitch teeth	Pitch diameter	Belt lengths												
					480	560	600	640	720	800	880	960	1040	1120	1200	1280	
1.00	80	203.72	80	203.72	-	-	-	-	-	-	-	-	240.0	280.0	320.0	-	
1.00	72	183.35	72	183.35	-	-	-	-	-	-	-	232.0	272.0	312.0	352.0	-	
1.00	64	162.97	64	162.97	-	-	-	-	-	-	184.0	224.0	264.0	304.0	344.0	384.0	
1.00	56	142.60	56	142.60	-	-	-	-	-	176.0	216.0	256.0	296.0	336.0	376.0	416.0	
1.00	48	122.23	48	122.23	-	-	-	168.0	208.0	248.0	288.0	328.0	368.0	408.0	448.0	488.0	
1.00	44	112.05	44	112.05	-	-	124.0	144.0	184.0	224.0	264.0	304.0	344.0	384.0	424.0	464.0	
1.00	40	101.86	40	101.86	-	120.0	140.0	160.0	200.0	240.0	280.0	320.0	360.0	400.0	440.0	480.0	
1.00	38	96.77	38	96.77	-	128.0	148.0	168.0	208.0	248.0	288.0	328.0	368.0	408.0	448.0	488.0	
1.00	36	91.67	36	91.67	-	136.0	156.0	176.0	216.0	256.0	296.0	336.0	376.0	416.0	456.0	496.0	
1.00	34	86.58	34	86.58	104.0	144.0	164.0	184.0	224.0	264.0	304.0	344.0	384.0	424.0	464.0	504.0	
1.00	32	81.49	32	81.49	112.0	152.0	172.0	192.0	232.0	272.0	312.0	352.0	392.0	432.0	472.0	512.0	
1.00	30	76.39	30	76.39	120.0	160.0	180.0	200.0	240.0	280.0	320.0	360.0	400.0	440.0	480.0	520.0	
1.00	28	71.30	28	71.30	128.0	168.0	188.0	208.0	248.0	288.0	328.0	368.0	408.0	448.0	488.0	528.0	
1.00	26	66.21	26	66.21	136.0	176.0	196.0	216.0	256.0	296.0	336.0	376.0	416.0	456.0	496.0	536.0	
1.00	24	61.12	24	61.12	144.0	184.0	204.0	224.0	264.0	304.0	344.0	384.0	424.0	464.0	504.0	544.0	
1.00	22	56.02	22	56.02	152.0	192.0	212.0	232.0	272.0	312.0	352.0	392.0	432.0	472.0	512.0	552.0	
1.05	38	96.77	40	101.86	-	124.0	144.0	164.0	204.0	244.0	284.0	324.0	364.0	404.0	444.0	484.0	
1.06	36	91.67	38	96.77	-	132.0	152.0	172.0	212.0	252.0	292.0	332.0	372.0	412.0	452.0	492.0	
1.06	34	86.58	36	91.67	100.0	140.0	160.0	180.0	220.0	260.0	300.0	340.0	380.0	420.0	460.0	500.0	
1.06	32	81.49	34	86.58	108.0	148.0	168.0	188.0	228.0	268.0	308.0	348.0	388.0	428.0	468.0	508.0	
1.07	30	76.39	32	81.49	116.0	156.0	176.0	196.0	236.0	276.0	316.0	356.0	396.0	436.0	476.0	516.0	
1.07	28	71.30	30	76.39	124.0	164.0	184.0	204.0	244.0	284.0	324.0	364.0	404.0	444.0	484.0	524.0	
1.08	26	66.21	28	71.30	132.0	172.0	192.0	212.0	252.0	292.0	332.0	372.0	412.0	452.0	492.0	532.0	
1.08	24	61.12	26	66.21	140.0	180.0	200.0	220.0	260.0	300.0	340.0	380.0	420.0	460.0	500.0	540.0	
1.09	44	112.05	48	122.23	-	-	-	135.9	175.9	215.9	255.9	296.0	336.0	376.0	416.0	456.0	
1.09	22	56.02	24	61.12	148.0	188.0	208.0	228.0	268.0	308.0	348.0	388.0	428.0	468.0	508.0	548.0	
1.10	40	101.86	44	112.05	-	-	131.9	151.9	191.9	231.9	272.0	312.0	352.0	392.0	432.0	472.0	
1.11	72	183.35	80	203.72	-	-	-	-	-	-	-	-	215.8	255.8	295.8	335.8	
1.11	36	91.67	40	101.86	-	127.9	147.9	167.9	207.9	247.9	288.0	328.0	368.0	408.0	448.0	488.0	
1.12	34	86.58	38	96.77	-	135.9	155.9	175.9	215.9	255.9	296.0	336.0	376.0	416.0	456.0	496.0	

En este caso como la relación es de 1 a 1 entre las poleas, no existe penalización, de todas maneras, se corrobora determinando el factor TIM.

$$TIM = \frac{0.5 - (D - d)}{6C_d} Z_s \quad (2.6)$$

$$TIM = 278.67$$

**Tabla 2.21**

*Tabla extraída del manual SKF para realizar la corrección de la potencia.*

Teeth in mesh (TIM) Correction factor $C_4$	
TIM	$C_4$
6 and above	1
5	0,8
4	0,6
3	0,4
2	0,2

Considerando los valores obtenidos mediante el cálculo de TIM, valor en la Tabla 2.21, se puede determinar que el factor de corrección es de 1, por lo cual, la potencia de diseño estimada se mantiene.

Luego se determina el Power Rating para las correas según las condiciones que hemos planteado previamente y se visualizan la Tabla 2.22.

**Tabla 2.22**

Tabla extraída del manual SKF para determinar el Power Rating según las condiciones previamente determinadas

Faster shaft speed Number of teeth	Rated power per belt for small pulley pitch diameter [mm]										
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Pitch diameter [mm]	56,02	58,56	61,11	63,66	66,20	68,75	71,30	73,84	76,39	78,94	81,48
r/min	kW										
100	0,61	0,65	0,69	0,72	0,76	0,79	0,83	0,87	0,90	0,94	0,97
200	1,03	1,10	1,17	1,23	1,30	1,36	1,43	1,49	1,55	1,62	1,68
300	1,40	1,50	1,59	1,68	1,77	1,86	1,95	2,04	2,13	2,22	2,30
400	1,74	1,86	1,97	2,09	2,20	2,32	2,43	2,54	2,65	2,76	2,87
500	2,05	2,19	2,33	2,47	2,61	2,74	2,88	3,01	3,14	3,28	3,41
600	2,35	2,51	2,67	2,83	2,99	3,15	3,30	3,46	3,61	3,76	3,91
700	2,63	2,82	3,00	3,18	3,36	3,54	3,71	3,88	4,06	4,23	4,40
720	2,69	2,88	3,06	3,25	3,43	3,61	3,79	3,97	4,14	4,32	4,49
800	2,91	3,11	3,31	3,51	3,71	3,91	4,10	4,30	4,49	4,68	4,86
900	3,18	3,40	3,62	3,84	4,06	4,27	4,48	4,69	4,90	5,11	5,32
960	3,33	3,57	3,80	4,03	4,26	4,48	4,71	4,93	5,15	5,36	5,58
1 000	3,44	3,68	3,92	4,15	4,39	4,62	4,85	5,08	5,31	5,53	5,75
1 100	3,69	3,95	4,21	4,46	4,71	4,96	5,21	5,46	5,70	5,94	6,18
1 200	3,94	4,22	4,49	4,76	5,03	5,30	5,56	5,82	6,08	6,34	6,60
1 300	4,18	4,48	4,77	5,06	5,34	5,63	5,91	6,18	6,46	6,73	7,00
1 400	4,42	4,73	5,04	5,34	5,65	5,95	6,24	6,53	6,82	7,11	7,40
1 440	4,51	4,83	5,15	5,46	5,77	6,07	6,37	6,67	6,97	7,26	7,55
1 500	4,65	4,98	5,31	5,63	5,94	6,26	6,57	6,88	7,18	7,48	7,78
1 600	4,88	5,23	5,57	5,90	6,24	6,57	6,89	7,21	7,53	7,85	8,16
1 700	5,11	5,47	5,82	6,17	6,52	6,87	7,21	7,54	7,88	8,21	8,53

Se estima que en este caso el ancho de la banda sincrónica no es suficiente para nuestro sistema, considerando el valor de la potencia del sistema. Debido a ello se escogerá una banda de 50mm

**Tabla 2.23**

Tabla extraída del manual SKF para verificar la potencia que puede transmitir.

Belt width [mm]			
20	30	50	85
Width multiplier			
0,633	1	1,734	3,02

Con esto ya se ha determinado que la correa que se deba seleccionar debe permanecer a la familia 8M y debe tener 50mm de ancho.



**Tabla 2.24**

Tabla extraída del manual SKF para determinar las distancias necesarias para la instalación de las correas

Datum length mm	Minimum take-up allowance for tensioning mm	Minimum installation allowance - for fitting								
		5M	8M	14M	XL	L	H	XH	XXH	
< 1 525	4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4,5	5,5	No flanged pulleys
1 525-3 050	7	5	5	5	5	5	7	8		
> 3 050	10	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	9,5	10,5		
< 1 525	4	14	22	37	14	14	22	38	54	One flanged pulleys
1 525-3 050	7	17	25	39	17	17	25	41	54	One unflanged pulleys
> 3 050	10	17	27	42	17	17	27	43	56	
< 1 525	4	20,5	35	60	20,5	20,5	35	61	84	Both flanged pulleys
1 525-3 050	7	23	37	62	23	23	37	64	84	
> 3 050	10	23	40	65	23	23	40	66	86	

**Tabla 2.25**

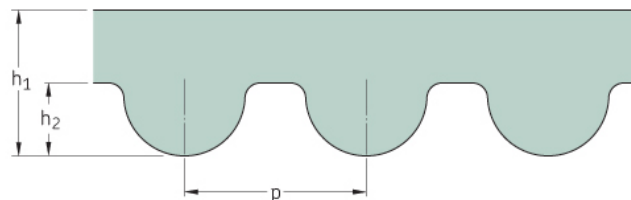
Síntesis de cálculos de la distancia de instalación de correa

Distancia de Instalacion de correas	
MIA	27
MTA	4
CC	152
CC min	125
CC max	148

**Figura 2.4**

Especificaciones de la banda seleccionada PHG-480-8M-50

No. of teeth	60
Pitch length (in)	18.9
Pitch length (mm)	480
h1 = Height (mm)	5.6
Width (mm)	50
Sleeve (Y/N)	N

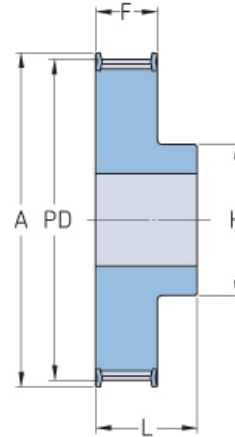


La información de la Figura 2.4. fue obtenida a partir de las características del producto de la página de distribución de SKF [14]

**Figura 2.5**

Especificaciones de las poleas con relación a la banda seleccionada PHP 22-8M-50 RSB

Número de dientes	22
Diámetro primitivo (mm)	56.02
Diámetro exterior (mm)	54.65
Tipo de polea	1F
Agujero mínimo (mm)	12
Agujero máximo (mm)	29
Flange A (mm)	65
H	43
F	60
L	70
Peso (kg)	1



La información de la Figura 2.5. fue obtenida a partir de las características del producto de la página de distribución de SFK [15]

Con esto se ha determinado que, para realizar el sistema de filme automático, se requiere de lo descrito en la siguiente tabla:

**Tabla 2.26**

Elementos necesarios para la implementación del sistema diseñado.

Motor con caja reductora	1Hp, 220V.
Banda sincrónica	PHG-480-8M-50
Poleas Dentadas	PHP 22-8M-50 RSB

### 2.3 Cambio de computadora central a PLC

Se realiza el cambio de la computadora central presente en la Empacadora TNA Robag por un PLC SIMATIC S7-1500, debido a que la computadora central se maneja bajo un software cerrado que no permite ampliaciones presentando limitaciones, se seleccionó este modelo de la familia SIMATIC debido a la cantidad de entradas y salidas que nos proporciona, además de la velocidad de trabajo requerida por la empacadora.

**Figura 2.6.**

*PLC SIMATIC S7-1500.*

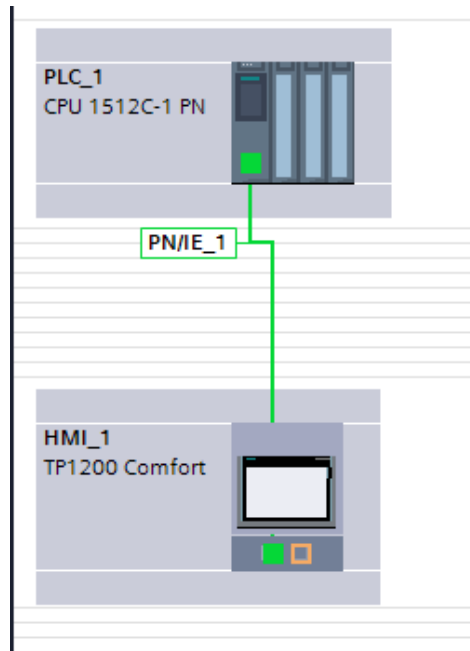


La información de la Figura 2.6. fue obtenida a partir la página de productos de SIEMENS.

### 2.3.1 Arquitectura de control

**Figura 2.7.**

*Conexión del PLC con el HMI*



### 2.3.2 Programación del PLC

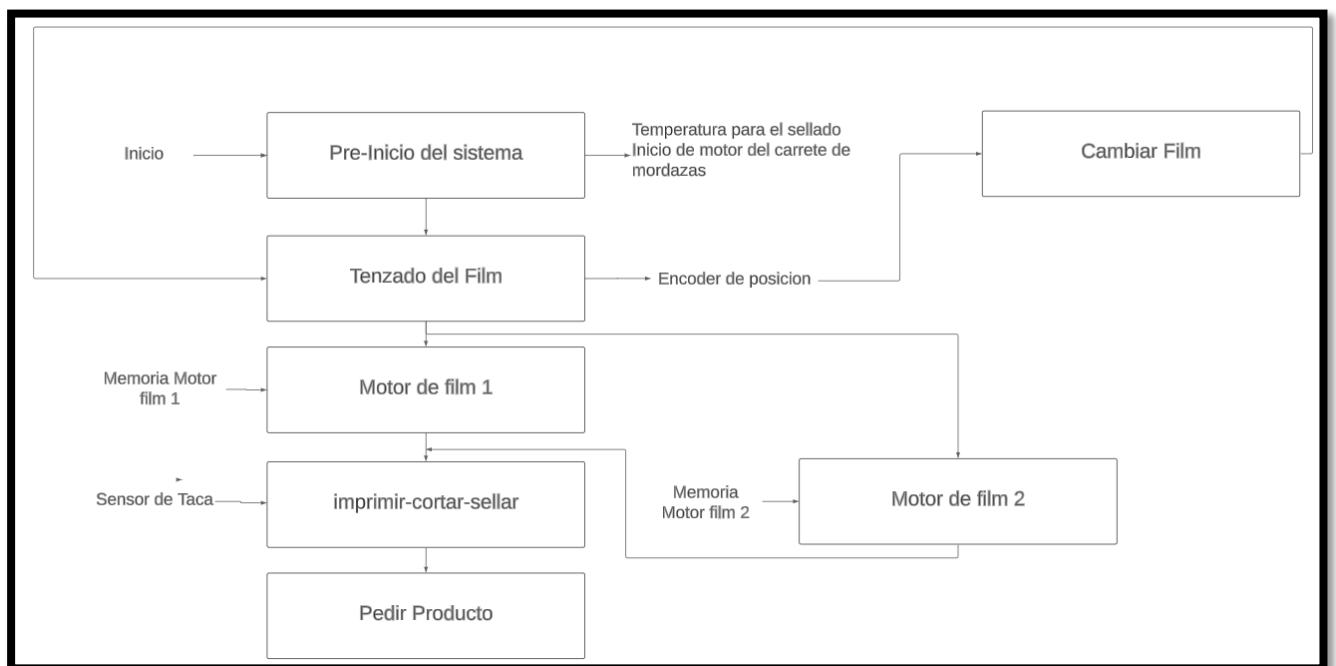
#### 2.3.2.1 Secuencia de Funcionamiento de la máquina.

El proceso inicia a partir de que se coloca el film a través de toda la maquina empacadora, una vez colocado, se procede a iniciar la maquina a partir de un botón de inicio, que enciende el motor del carrete de las mordazas que siempre estarán en movimiento, se encienden los controles de temperatura del sellado y se activa el sistema de corte, una vez todos los sistemas estén listos para el proceso, se activa el cilindro para el tensado del Film(bolsas) y el motor en donde están situados estos se activa y comienza a correr el Film, durante el proceso, se encuentran situado un mecanismo de impresión que marca los empaques con los respectivos datos de PVP, fecha de elaboración, expiración, numero de lote , la señal que marca los empaques es dado por un sensor de Taca, al a par del proceso de impresión se realiza el sellado y corte de los empaques que están comandados por el mismo sensor de Taca, estos 3 procesos ocurren al simultaneo, una vez se

realiza el sellado y el corte, en el tiempo entre cortes, se envía una señal de pedir producto a la dosificadora, la cual entrega el producto a los empaques cayendo por acción de la gravedad, haciendo que las bolsas se llenen, adicionalmente cuando un rollo esta por acabarse, el encoder da la señal de vacío, por lo que detiene el sistema, para luego hacer la preparación del segundo film previamente cargado y luego se le da al botón de cambiar film y automáticamente, durante el proceso, cambia el film.

**Figura 2.8**

*Diagrama de Flujo de funcionamiento*



### 2.3.2.2 Variables del PLC.

**Figura 2.9**

*Variables Reales del sistema obtenidas de la programación en Tía portal.*

Variables Reales			
	Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	Inicio	Bool	%I0.0
2	Sensor de Taca	Bool	%I0.1
3	Cambio de Rollo	Bool	%I14.0
4	Encoder Mordazas	Real	%ID8
5	Encoder Bailarin	Real	%ID36
6	Emergency Stop	Bool	%I40.0
7	Datos Termocupa Horizontal 1	Int	%IW44
8	Datos Termocupa Horizontal 2	Int	%IW2
9	Datos Termocupa Vertical	Int	%IW12
10	Datos Encoder Bailarin	Int	%IW6
11	Datos Encoder Mordazas	Int	%IW4
12	Sensor de nivel Rollo 1	Bool	%I0.4
13	Sensor de Nivel Rollo 2	Bool	%I0.5
14	Sensor Inductivo	Bool	%I0.6
15	Imprimir	Bool	%Q0.3
16	Resistencia Sellador vertical	Bool	%Q0.5
17	Resistencia Sellador Horizontal 1	Bool	%Q0.6
18	Resistencia Sellador Horizontal 2	Bool	%Q0.7
19	Cilindro Rodillo Bailarin	Bool	%Q1.1
20	Motor Rodillo Tensador	Bool	%Q0.4
21	Motor Mordazas	Bool	%Q1.2
22	Motor Rollo 1	Bool	%Q1.3
23	Motor Rollo 2	Bool	%Q1.4
24	Alineador de Mordazas	Bool	%Q1.0
25	Cortar	Bool	%Q2.0
26	Sellar Vertical	Bool	%Q1.5
27	Sellar horizontal	Bool	%Q1.6
28	<Agrega>		

**Figura 2.10**

*Variables Internas del sistema obtenidas de la programación en Tía portal.*

	Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	Temperatura Minima	Real	%MD28
2	Temperatura Maxima	Real	%MD32
3	Memoria 1	Bool	%M1.0
4	Memoria 2	Bool	%M1.2
5	Memoria 3	Bool	%M1.4
6	Memoria 4	Bool	%M1.6
7	Memoria 5	Bool	%M2.0
8	Memoria 6	Bool	%M2.2
9	Memoria 7	Bool	%M2.4
10	Memoria 8	Bool	%M2.6
11	Sistemas Preparados	Bool	%M2.7
12	Marca Inicio	Bool	%M3.0
13	Señal Auxiliar	Bool	%M3.4
14	Pedir Producto	Bool	%Q1.7
15	Termocupa Horizontal 1	Real	%MD16
16	Termocupa Vertical	Real	%MD20
17	Termocupa Horizontal 2	Real	%MD24
18	Temperatura Operacion	Real	%MD4
19	Productos Empaquetados	Int	%MW2
20	<Agrega>		

### 2.3.2.3 Programación en LADDER.

Figura 2.11

Bloques del programa obtenidos de la programación de Tía portal

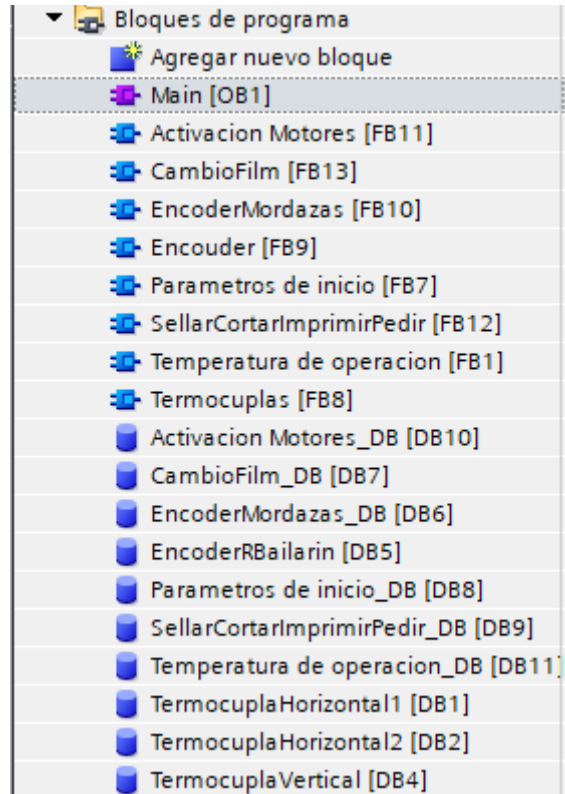
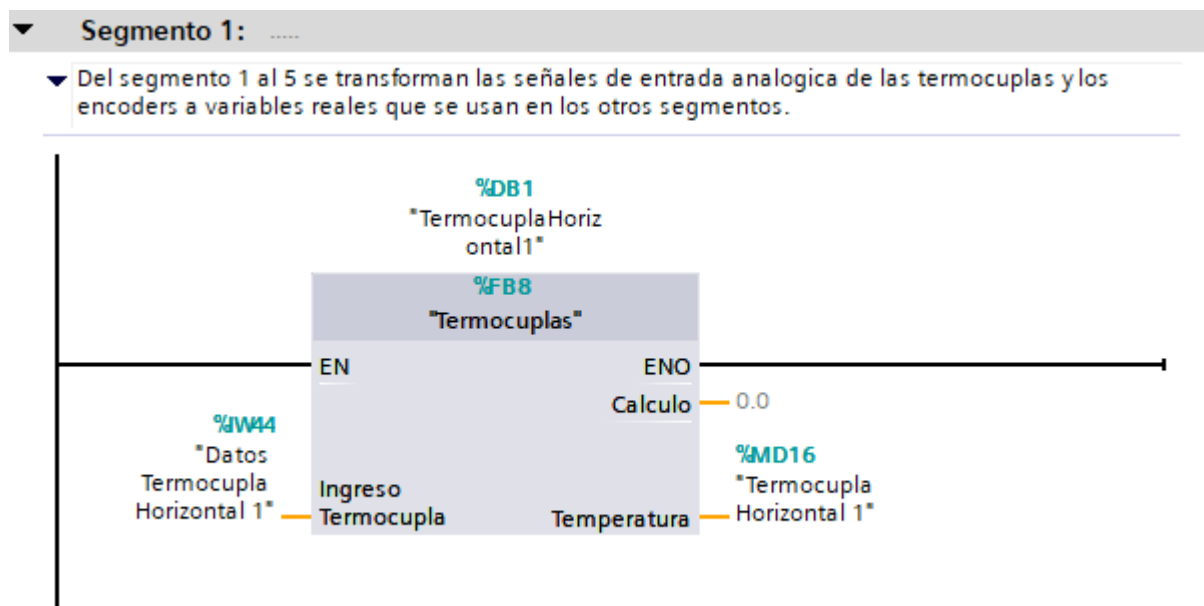


Figura 2.12

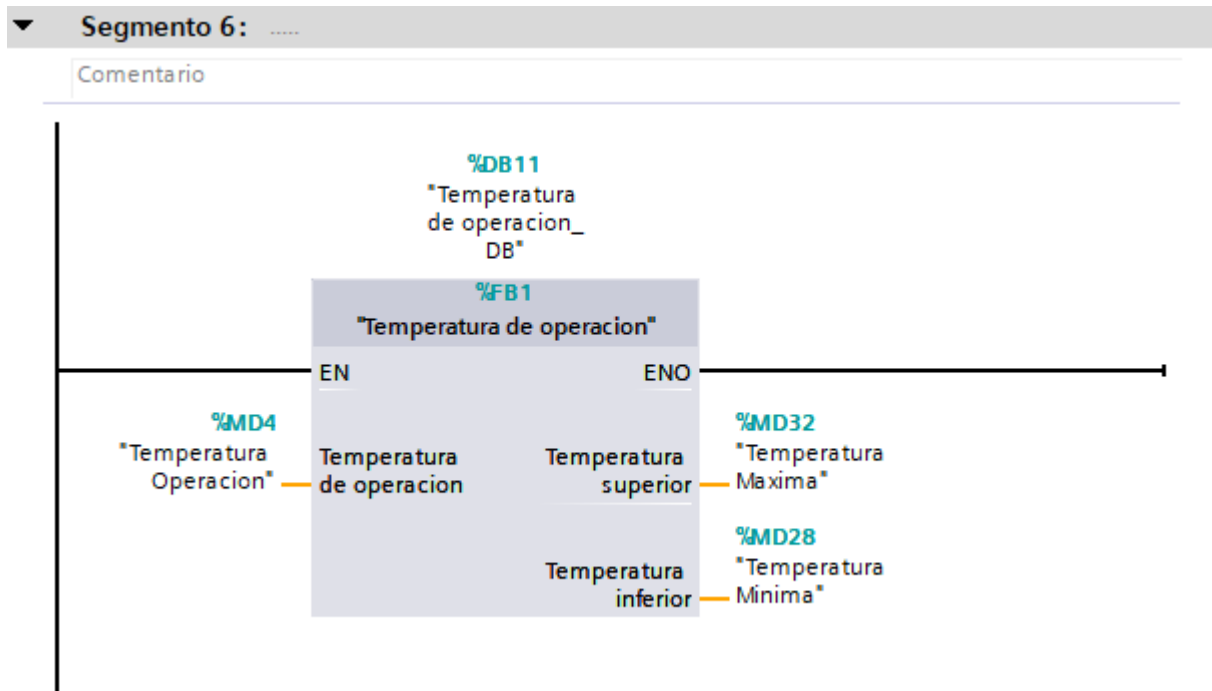
Main de la programación del PLC segmento 1-5



Los bloques de función de los segmentos 1 al 5 se encargan de transformar las variables de entrada analógica de las termocupas y los encoders en señales que puedan ser usadas en la programación

**Figura 2.13**

*Bloque "Main" de la programación del PLC segmento 6 bloque de función de temperatura de operación.*

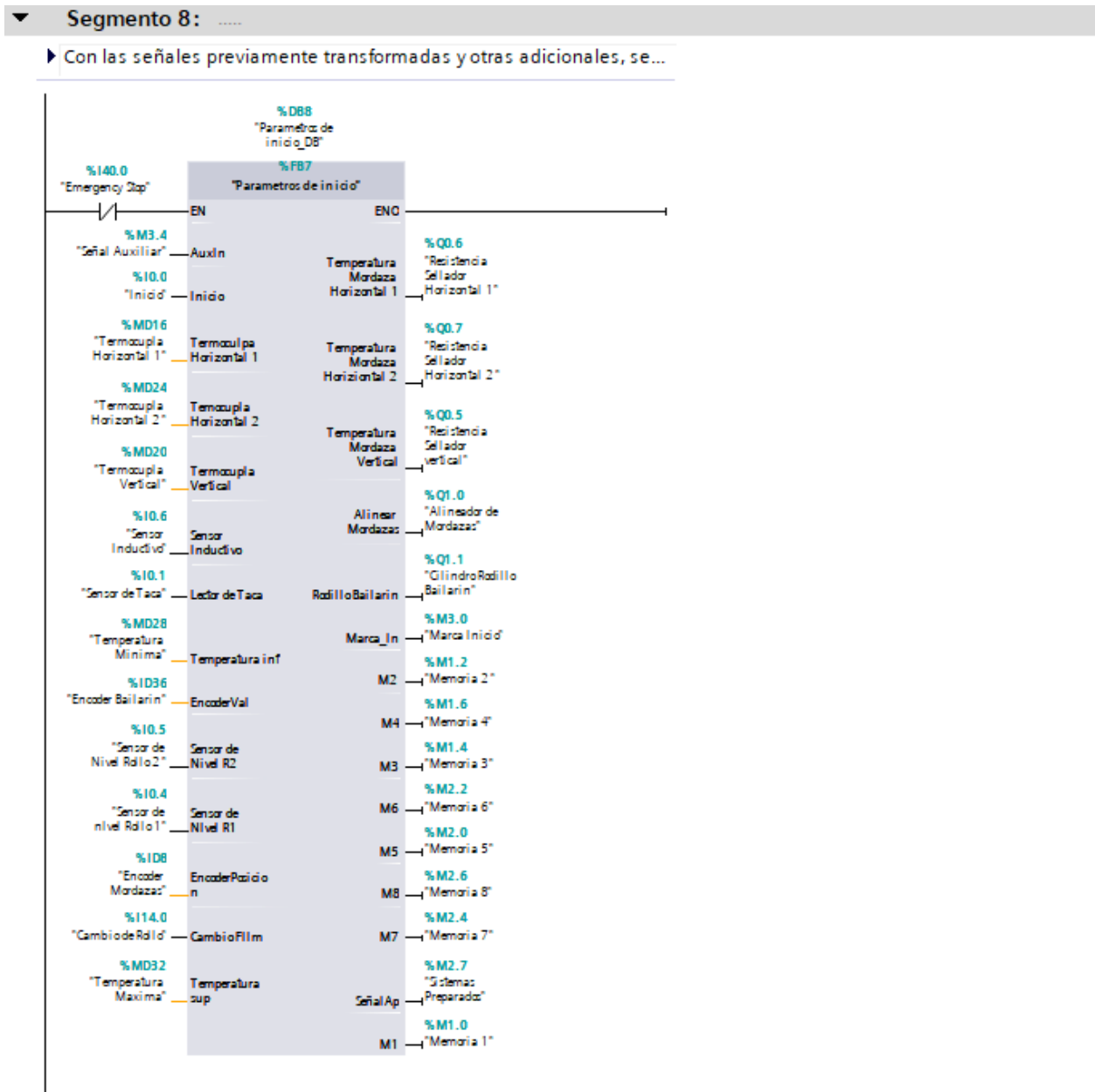


Este bloque se encarga de determinar temperaturas aptas para la histéresis para cualquier valor de operación ingresado por el operario.



Figura 2.14

Main de la programación del PLC segmento 8 Bloque de función de parámetros iniciales.

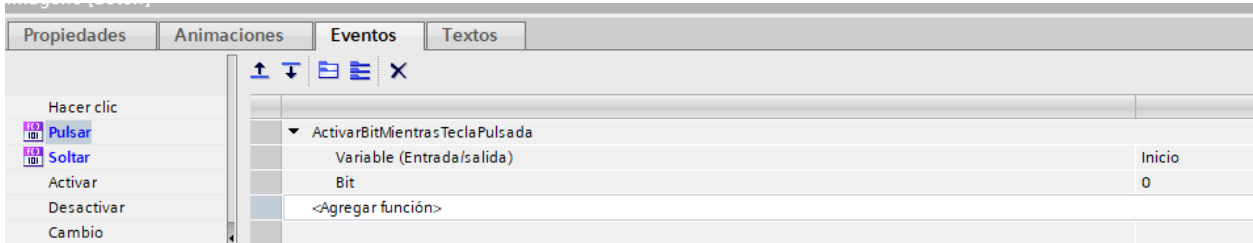


Este bloque de funciones se encarga de luego del inicio de la máquina, todas las condiciones de operación estén listas, tales como alcanzar la temperatura de sellado, tensarse el film, para así poder luego activarse los motores y realizarse el proceso de empaquetado

### 2.3.2.4 Programación HMI

**Figura 2.15**

*Programación del Botón INICIO del HMI*



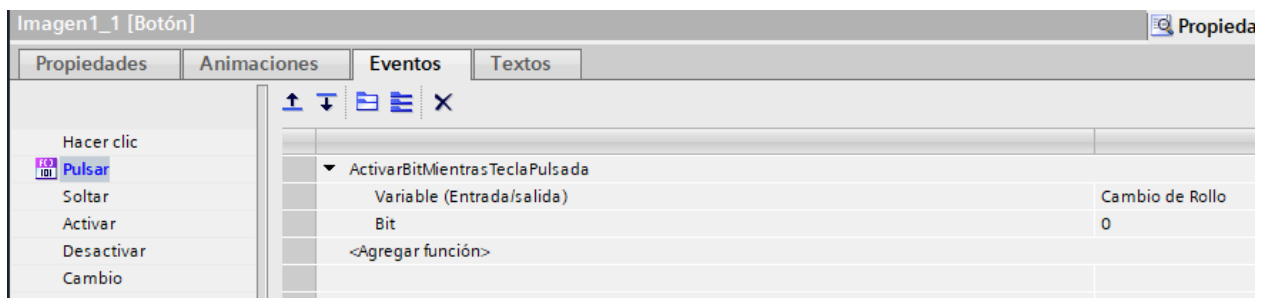
**Figura 2.16**

*Programación del Botón STOP del HMI*



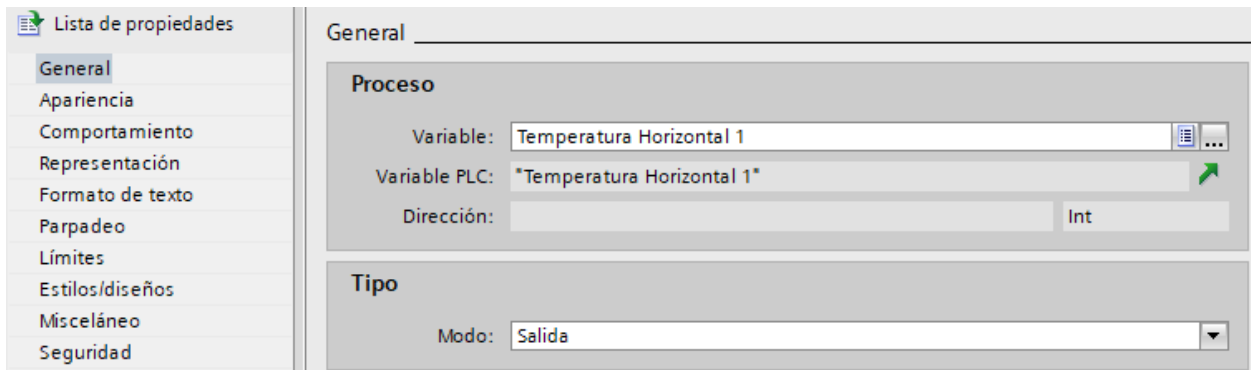
**Figura 2.17**

*Programación del Botón CAMBIO DE FILM del HMI*



**Figura 2.18**

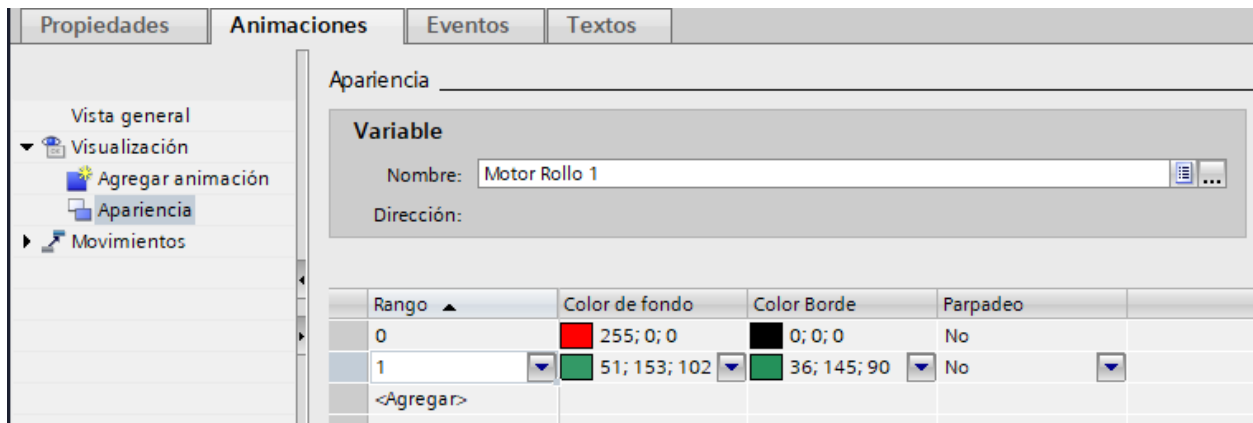
*Programación del Campo ES que muestra la Temperatura Horizontal 1 del HMI*



La Figura 2.18 muestra cómo se programa el Campo ES para que se muestre la información de temperatura Horizontal 1 que es entregada por las termocuplas el mismo proceso aplica para la Temperatura de la termocupla Horizontal 2, termocupla vertical, el tiempo transcurrido, el numero de productos empaquetados y el tiempo de paro

**Figura 2.19**

*Programación del Indicador visual que muestra el estado del MOTOR DEL ROLLO del HMI*



La Figura 2.19, muestra cómo se programa el indicador visual del estado de Motor del rollo 1, este proceso es el mismo para todos los indicadores presentes en el HMI

## **Capítulo 3**

### 3.1 Análisis de Resultados

En esta sección se da apertura la justificación de viabilidad del proyecto realizado, el mismo, que considera satisfacer a las necesidades de la empresa y basándose en las limitaciones y restricciones que se impusieron dentro del análisis previo al desarrollo de las soluciones viables.

Se desarrollaron dos soluciones las cuales se consideraron viables y de alto impacto, por un lado la solución enfocada en el rediseño mecánico, la cual estaba dirigida a crear un sistema de cambio de película de empaque automático dentro del proceso, es decir, tener un sistema que permita realizar el cambio sin generar tiempo de paradas estimadas en un promedio de 25 a 30 minutos a reducirlo a valores de 5 a 10 minutos, reduciendo considerablemente el tiempo de parada, datos que se detallan en la tabla 20 y 21, valores que se consideran dentro del proceso como un factor de pérdida frente al ritmo de producción. Para una empresa dentro de sus prioridades es el tiempo de entrega de un producto, mientras se mantenga en un rango competitivo, se logra lo que se estima.

Para poder determinar si existe un ahorro en el tiempo de producción y si existe una eficiencia se considera los valores del tiempo de preparación para la operación, cantidad de productos, tiempo de ciclo para la operación, tiempo de no operación, datos reflejados en la tabla 22.

**Tabla 3.1**

*Tiempo de cambio de rollo*

TIEMPO DE CAMBIO DE ROLLO	
DESCRIPCION	TIEMPO (min)
OBTENER ROLLO DE MATERIA P.	10
LIMPIAR MAQUINA	5
LIMPIAR CODIFICADORA	5
AJUSTAR NUEVO ROLLO	10
TIEMPO TOTAL DE MAQUINA PA	30

En la tabla 3.1. Se describen los valores de tiempo que actualmente tiene la empresa cuando se realiza un cambio de rollo, estos valores están sujetos a cambio dependiendo la destreza del operador y el despachador del rollo en materia prima, se consideró el mayor tiempo posible.

Se describen los valores de tiempo considerando la implementación del sistema de cambio automático de rollo. Se desestiman las variables de obtener el rollo debido a que el operador debe obtener dos rollos a la vez o, en consecuencia, obtener los rollos a cambiar mientras esté en funcionamiento la máquina.

**Tabla 3.2.**

*Tiempo de cambio de rollo ajustado*

TIEMPO DE CAMBIO DE ROLLO AJUSTADO	
DESCRIPCION	TIEMPO (min)
LIMPIAR CODIFICADORA	3
AJUSTAR NUEVO ROLLO	2
TIEMPO TOTAL DE MAQUINA PA	5

Una vez que se han estudiado los valores que se ha buscado satisfacer, se logra denotar que hay una disminución en el tiempo de entrega total del producto, una carga que demoraba 1 día y medio, se ha reducido a un valor de 1 día, dando el 32.3% de reducción en el tiempo, estimando una ganancia para la empresa y en el aumento de capacidad para producir, valores que se registran en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.3**

*Tiempo de fabricación por lote.*

TIEMPO DE FABRICACION POR LOTE				
DESCRIPCION	VARIABLE	VALOR PREVI	VALOR ESPERAD	UNIDAD
TIEMPO DE PREPARACION PARA LA OPEI	Tsu	0,67	0,25	hora/lote
CANTIDAD DE PIEZA O PRODUCTOS	Q	800,00	800,00	UNIDAD
TIEMPO DE CICLO DE OPERACIÓN	Tc	0,01	0,01	min/unidad
TIEMPO DE NO OPERACIÓN	Tno	2,00	1,50	hora/operación
DIAS DE OPERACION	no	6,00	6,00	dias/semana
TOTAL		16,93	11,46	hora

Descripción de los tiempos de fabricación por lote, se estima un total de 800 cajas por turno, valor estimado con el cual la empresa ha trabajado según el ritmo y eficiencia de las empacadoras que tienen a su disposición.

**Tabla 3.4**

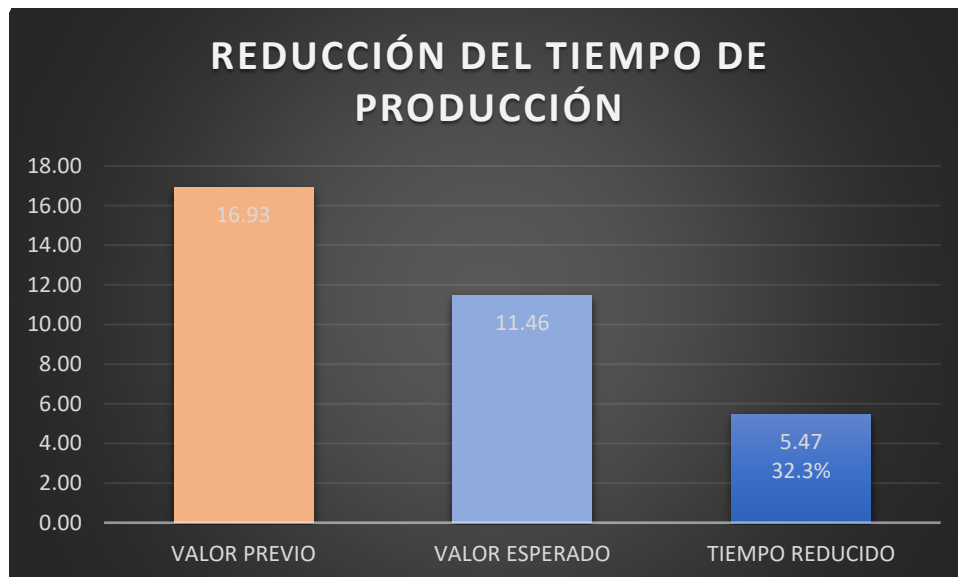
*Reducción del tiempo de producción.*

REDUCCION DEL TIEMPO DE PRODUCCION	
VALOR PREVIO	16,93
VALOR ESPERADO	11,46
TIEMPO REDUCIDO	5,47
PORCENTAJE REDUCIDO	32,30%

En la tabla 3.4, se presenta el tiempo que se prevé reducir con respecto a la cantidad estimada de cajas.

**Figura 3.1**

*Gráfico que representa la reducción del tiempo de producción.*



En la figura 3.1, se presenta el análisis del tiempo desde un valor alto a una reducción del 32.3%.

Debido a esto, se logra corroborar que el diseño del sistema automático de cambio de rollo de película para empacar permite una ganancia importante, es así como, se presenta el rediseño en

3D de la maquina empacadora de snacks, de cómo se espera que se implemente a la maquina existente

Se mostrará el análisis de elementos finitos del conjunto de piezas que serán sometidas a fuerzas. De igual manera, se mostrará la lógica de programación y la manera como se ha estimado que el usuario u operador interactúa con la máquina, cabe resaltar que en la parte de programación se consideró realizar la programación del funcionamiento de toda la maquina como tal, dando paso a la actualización del sistema y posible puesta en marcha de manera masiva de la lógica intelectual de la programación realizada.

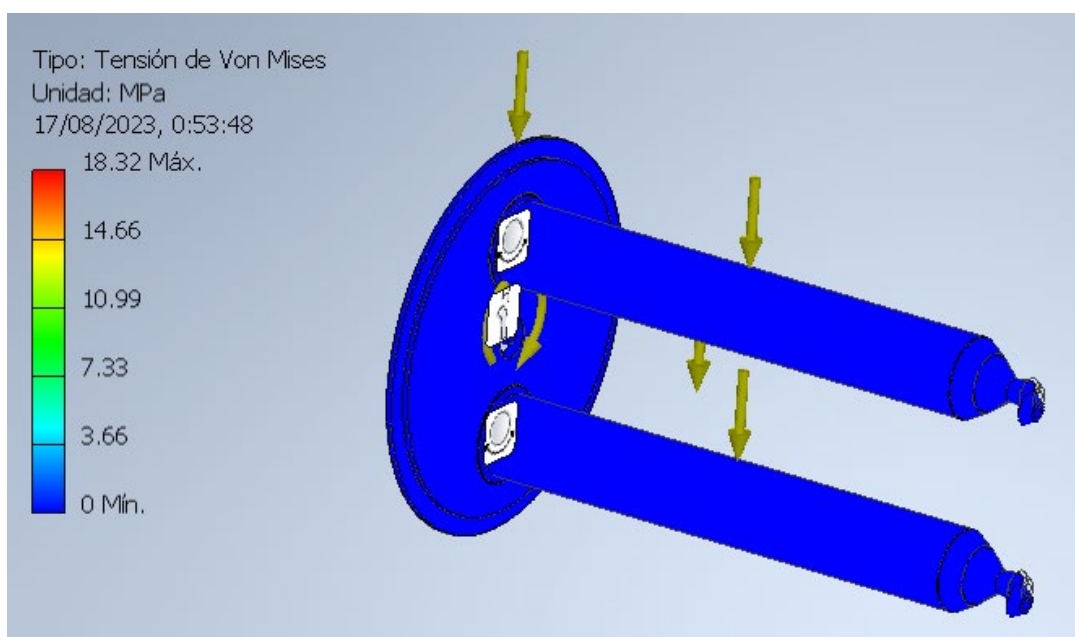
### 3.2 Diseño 3D del proceso

Mediante el análisis previo realizado en base a las consideraciones iniciales que se pueden revisar en la Tabla 2.14, se realiza el análisis de elementos finitos del diseño realizado.

#### 3.2.1 Análisis de elementos finitos.

**Figura 3.2.**

*Análisis de elementos finitos: Tensión de Von Mises*

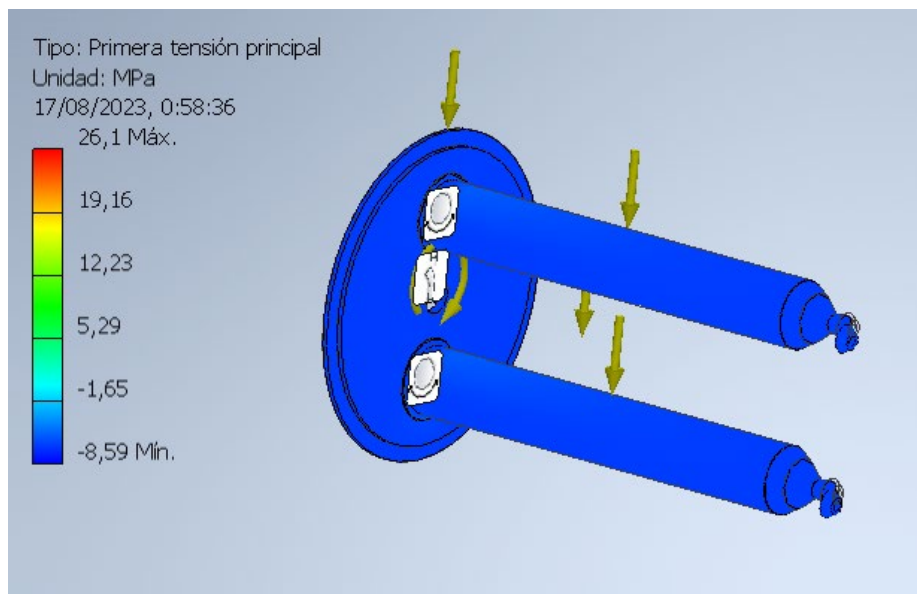




Se realiza el análisis del elemento por el criterio de Tensión de Von Mises, donde se aprecia que la pieza puede estar sometida a altas tensiones, cuyo valor máximo es de 18.32MPa, además según las tensiones ubicadas el elemento no presentará un punto crítico, lo cual indica que el sistema no tendrá problema al momento de la implementación, pese a ello igual se realiza el análisis de los demás criterios.

**Figura 3.3**

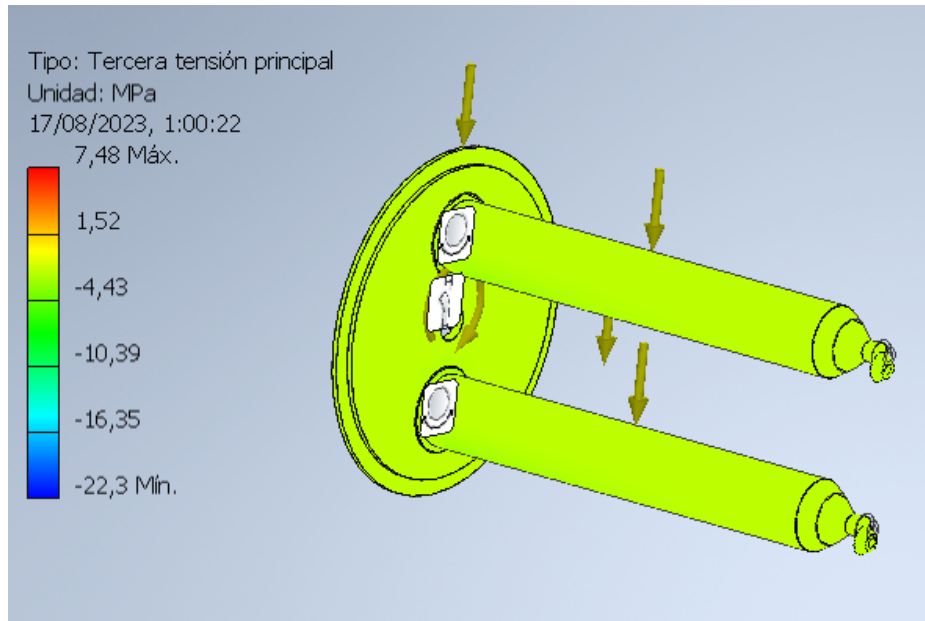
*Análisis de elementos finitos: Primera Tensión Principal*



Se realiza el análisis por medio del estudio de primera tensión principal, dando el resultado de fiabilidad de la pieza diseñada, demostrando que las fuerzas que van a ejercer sobre el cuerpo no representaran un mayor problema.

**Figura 3.4**

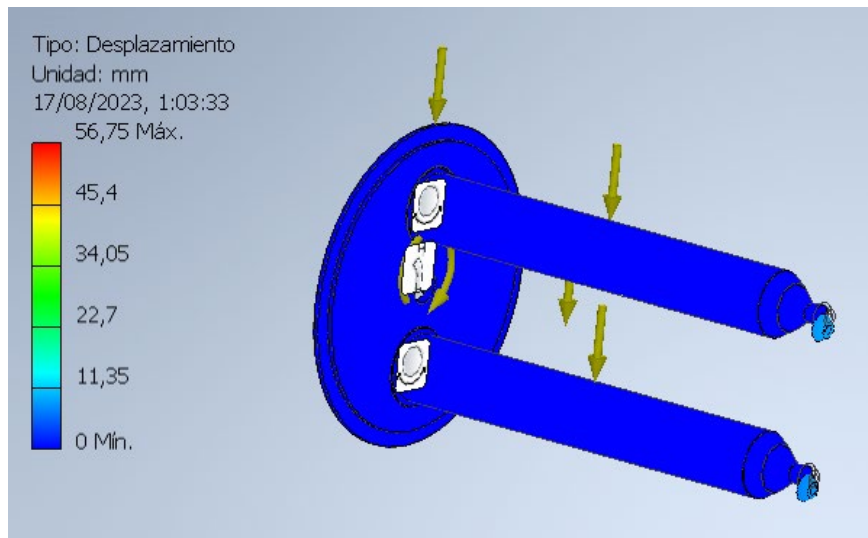
*Análisis de elementos finitos: Tercera Tensión Principal.*



Similar a los análisis realizados de la figura 3.2 y 3.3, se puede observar que el sistema se encuentra de un rango estable donde no presentara problemas en su puesta en marcha.

**Figura 3.5**

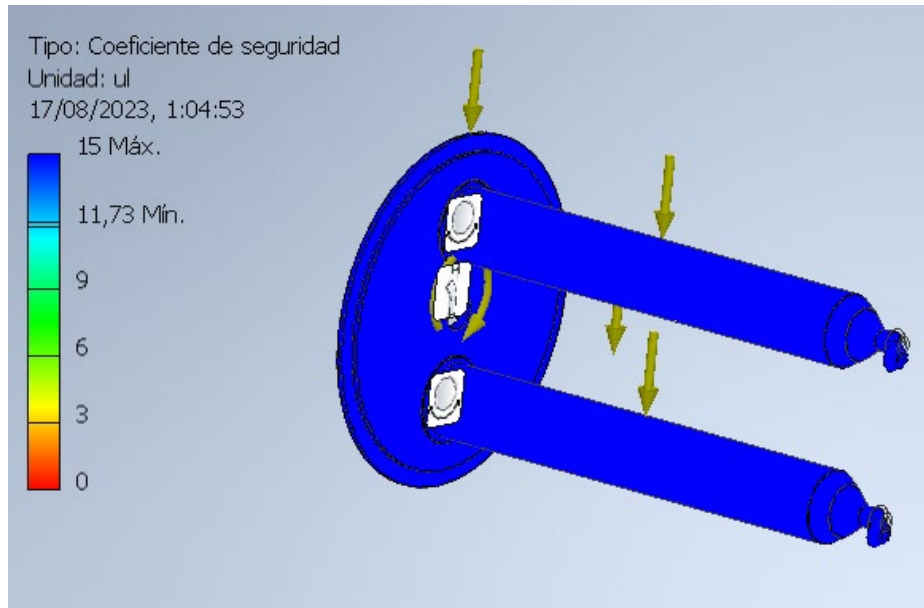
*Análisis de elementos finitos: Desplazamiento*



Se realiza el estudio del desplazamiento en el cual debido a que la pieza soporta pequeñas fuerzas no sufrirá algún desplazamiento o deformación que tenga alto grado de relevancia.

**Figura 3.6.**

*Análisis de elementos finitos: Coeficiente de seguridad.*



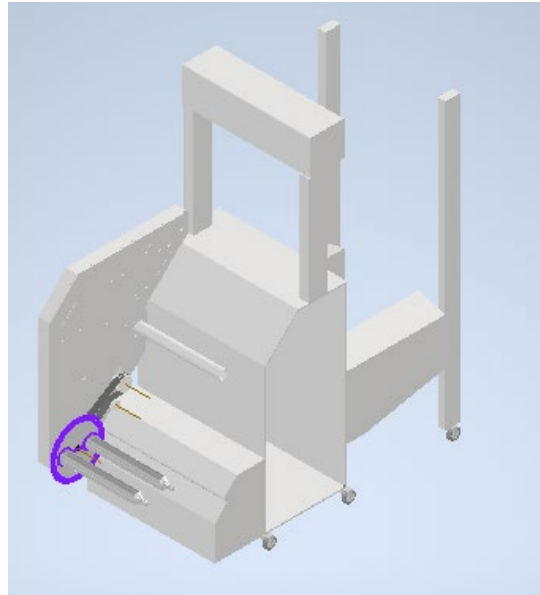
En la figura 3.6, se puede reconocer que según el análisis el coeficiente de seguridad será de 15ul, lo cual indica que es mayor al rango establecido para indicar un coeficiente de seguridad. Lo cual implica que el sistema es factible.

### ***3.2.2 Diseño 3d de implementación de sistema de cambio de film automático en maquina empacadora.***

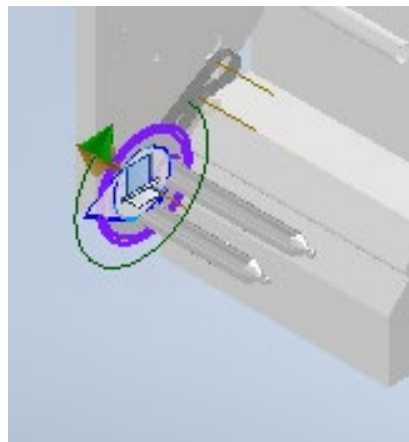
Una vez realizado los cálculos realizados en el capítulo 2 y el análisis de elementos finitos representado en las figuras de la 3.2 hasta la 3.6, se realiza la implementación del sistema y se denota como quedaría el sistema instalado y funcional.

**Figura 3.7**

*Implementación del sistema de cambio de rollo automático en maquina TNA existente.*

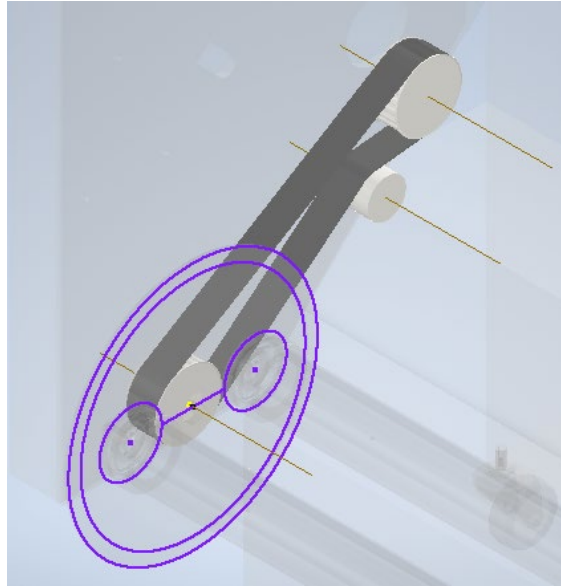
**Figura 3.8**

*Diseño de cambio de rollo automático.*



**Figura 3.9.**

*Banda sincrónica, poleas dentadas y tensor del diseño del sistema de rolo.*

**Tabla 3.5.**

*Tabla de comparación Golpes por minuto, relación de tiempo y eficiencia.*

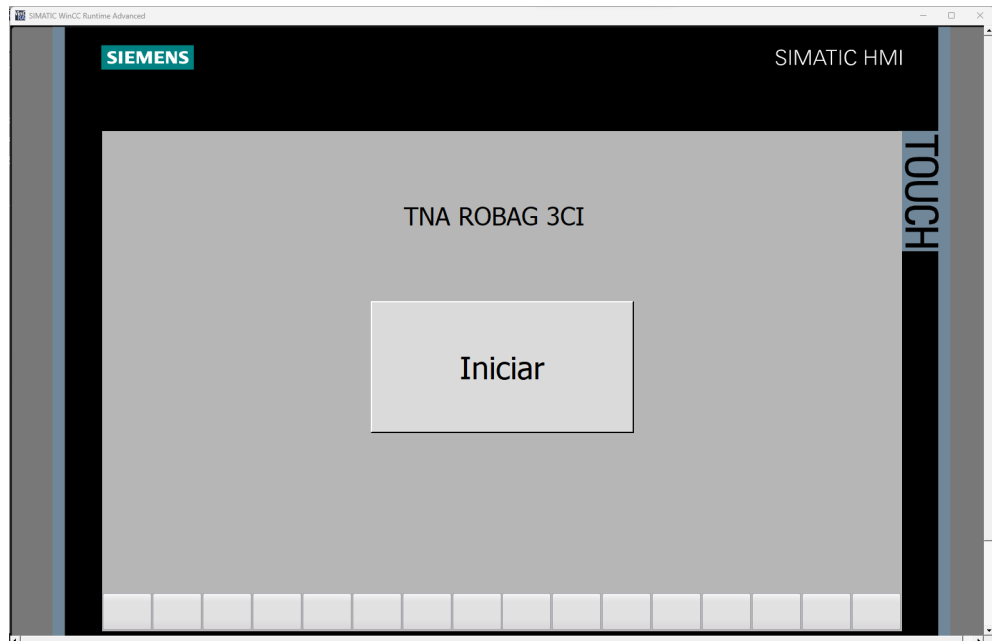
Golpes por minuto	Relación de tiempo	Aumento de eficiencia
60	1s/golpe	41.6%
85	0.70s/golpe	

En la tabla 3.5 se muestra que al haber un aumento de 60 golpes por minuto a 85 que es lo que actualmente la empacadora trabaja, obtenemos un aumento del 41,6% en la producción, lo que mejora considerablemente la producción de snacks a largo plazo.

### 3.3 Interfaz HMI

**Figura 3.10**

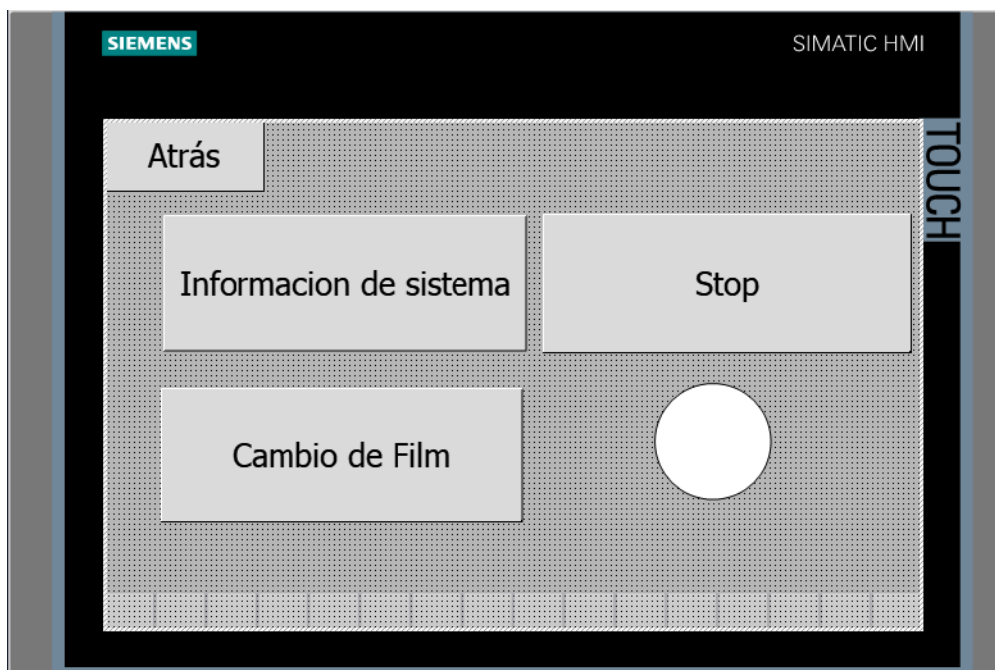
*Pantalla Inicial*



La figura 3.10 muestra la Imagen Raíz del HMI, es la pantalla principal donde se ubica el botón de inicio y al presionarlo, se da una señal de inicio que prepara los parámetros iniciales del sistema antes del trabajo y cambia a la pantalla 2

**Figura 3.11**

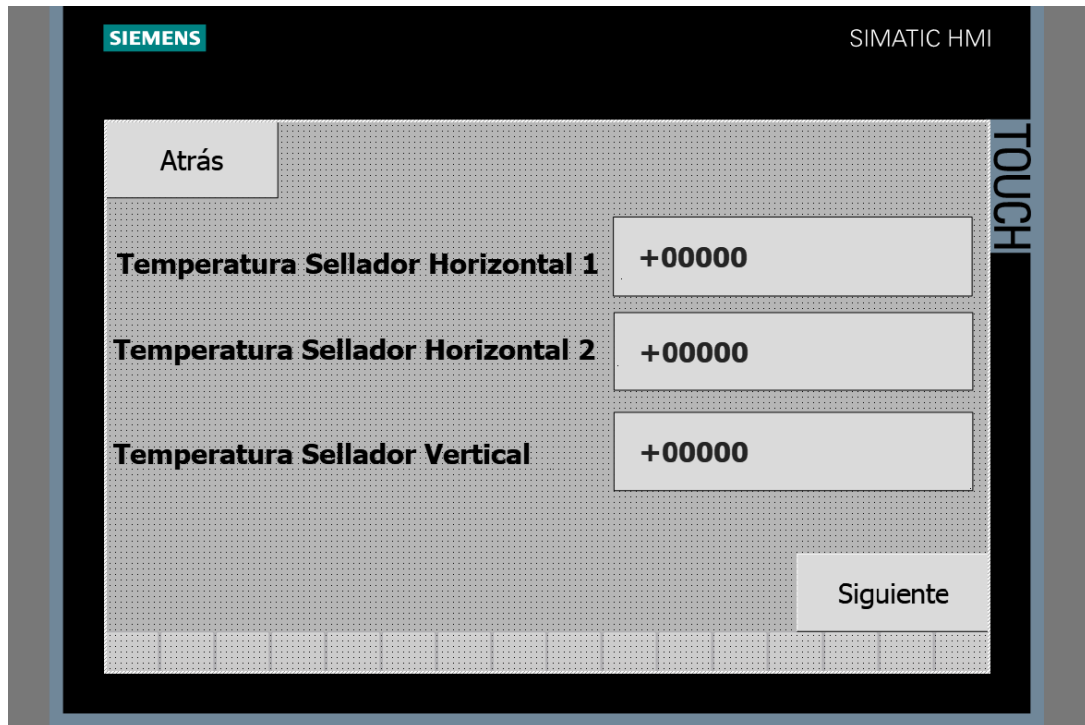
*Pantalla general del sistema*



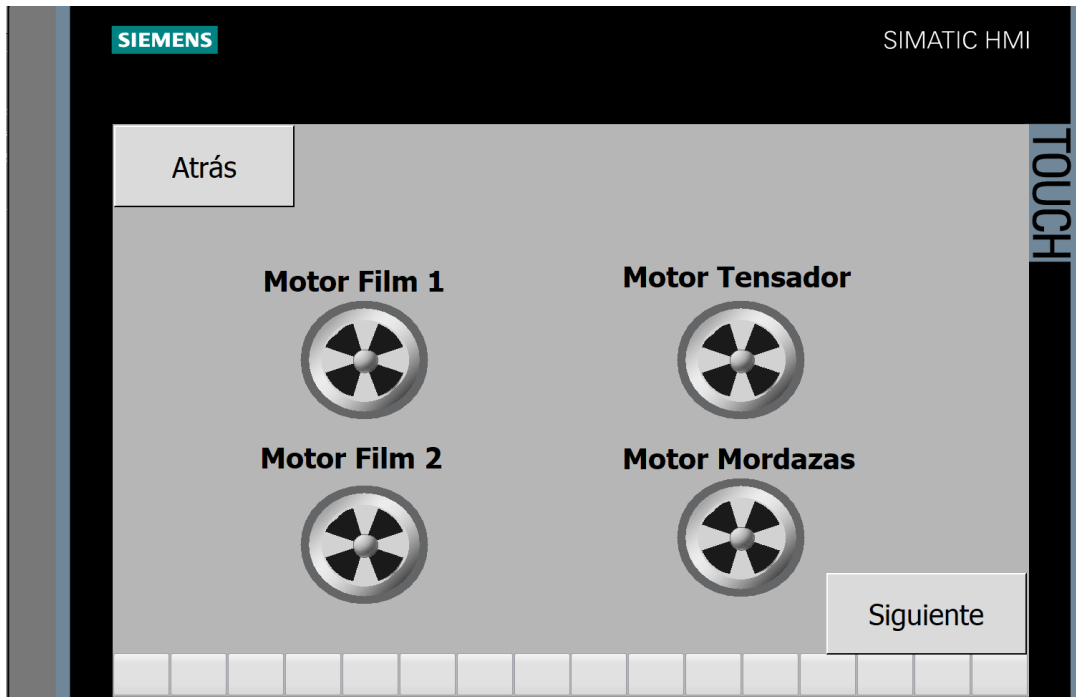
La figura 3.11 muestra la pantalla 2 que tiene un botón Atrás que regresa a la pantalla anterior, además de contener el botón para realizar el cambio de film y el indicador que marca cuando se necesita el cambio, también tiene un botón que lleva a una pantalla de información del sistema y un botón de stop para detener el proceso

**Figura 3.12**

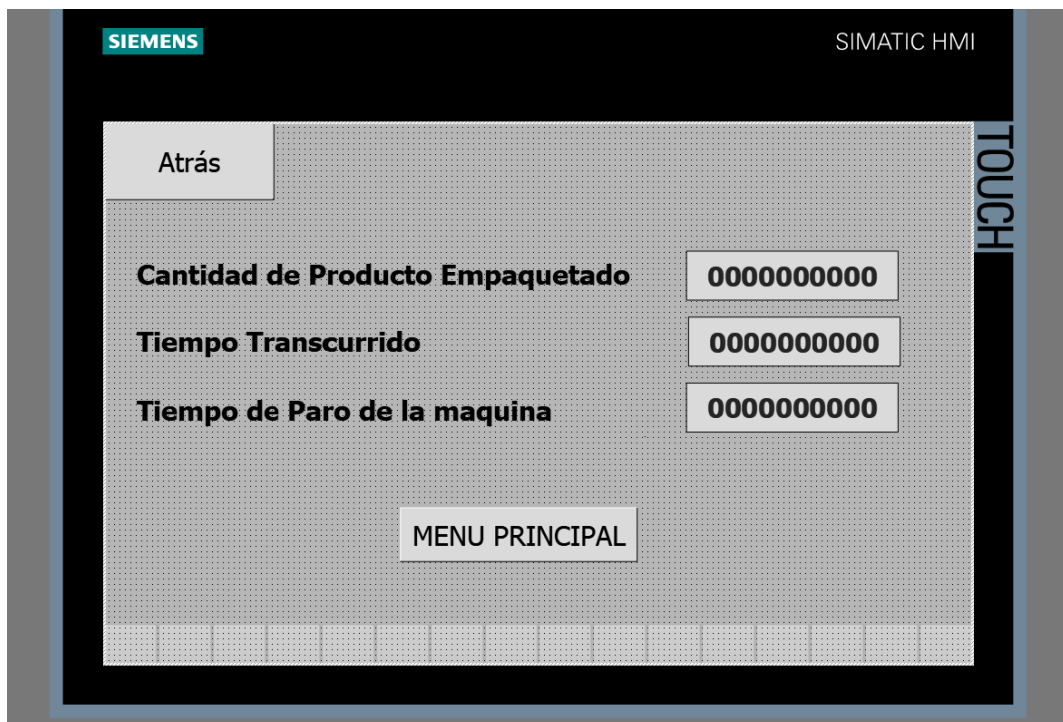
*Pantalla de información 1*



La figura 3.12 muestra la pantalla 3 Al igual que el anterior también tiene un botón Atrás que lleva a la ventana anterior, además de mostrar las temperaturas de las 3 termocuplas que hay en el sistema, aparte de un botón Siguiete para continuar a la siguiente ventana

**Figura 3.13***Pantalla de información 2*

La figura 3.13 muestra la pantalla 4, cuenta con un botón atrás y siguiente respectivamente, además de contener los indicadores visuales del estado de los motores

**Figura 3.14***Pantalla de información 3*

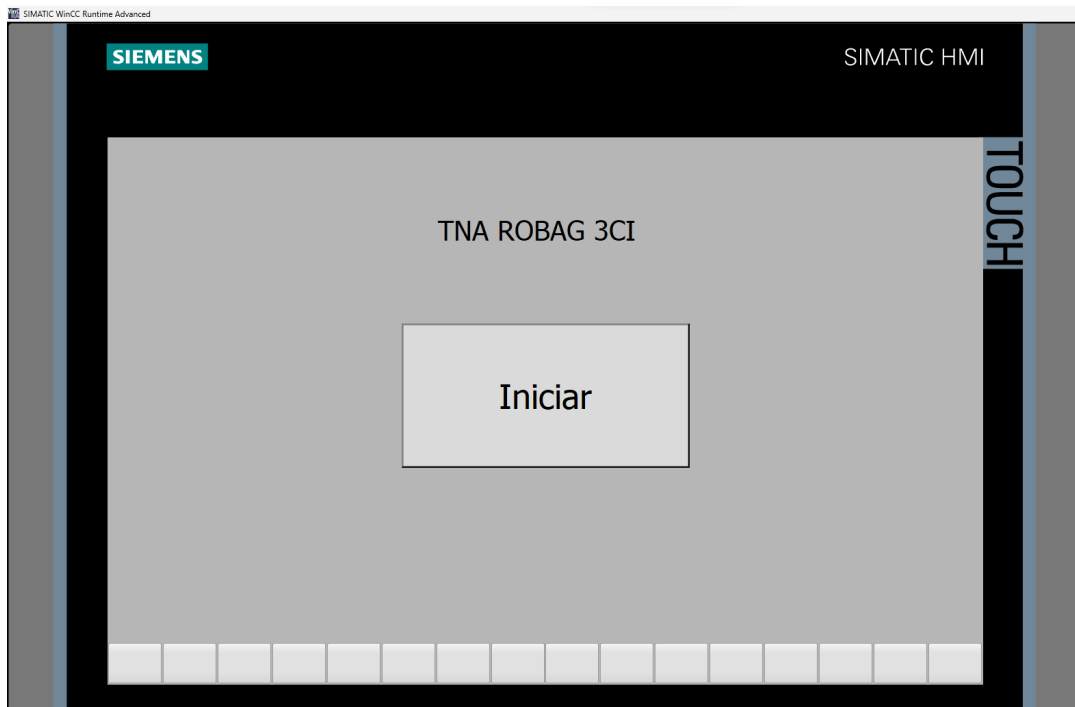


La figura 3.15 muestra la pantalla 5 que tiene un botón atrás, y un botón de menú principal que lleva a la pantalla 2, además de mostrar los valores de cantidad de producto empaquetado, tiempo transcurrido y tiempo de paro.

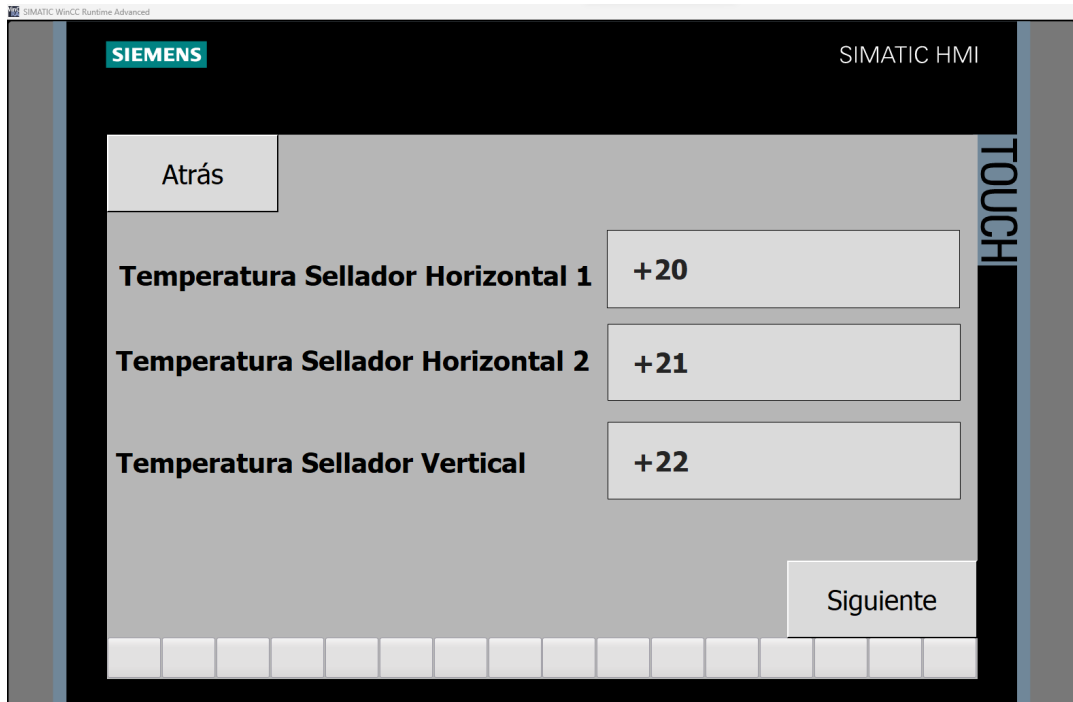
### 3.4 Prueba de funcionamiento

**Figura 3.15**

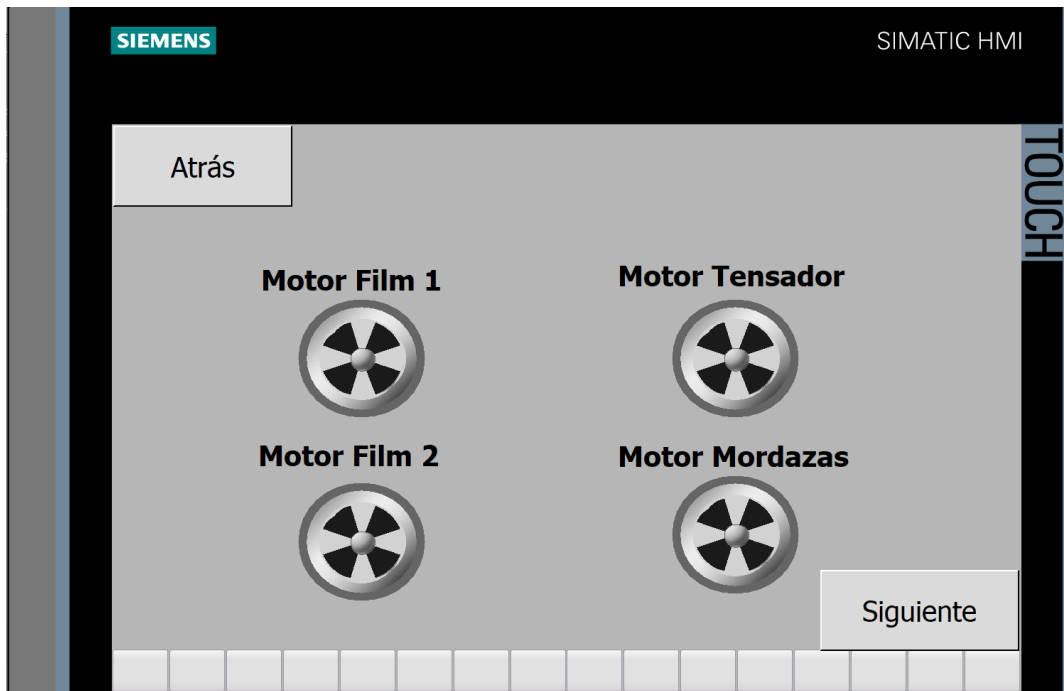
*Pantalla previa a pulsar el botón iniciar*



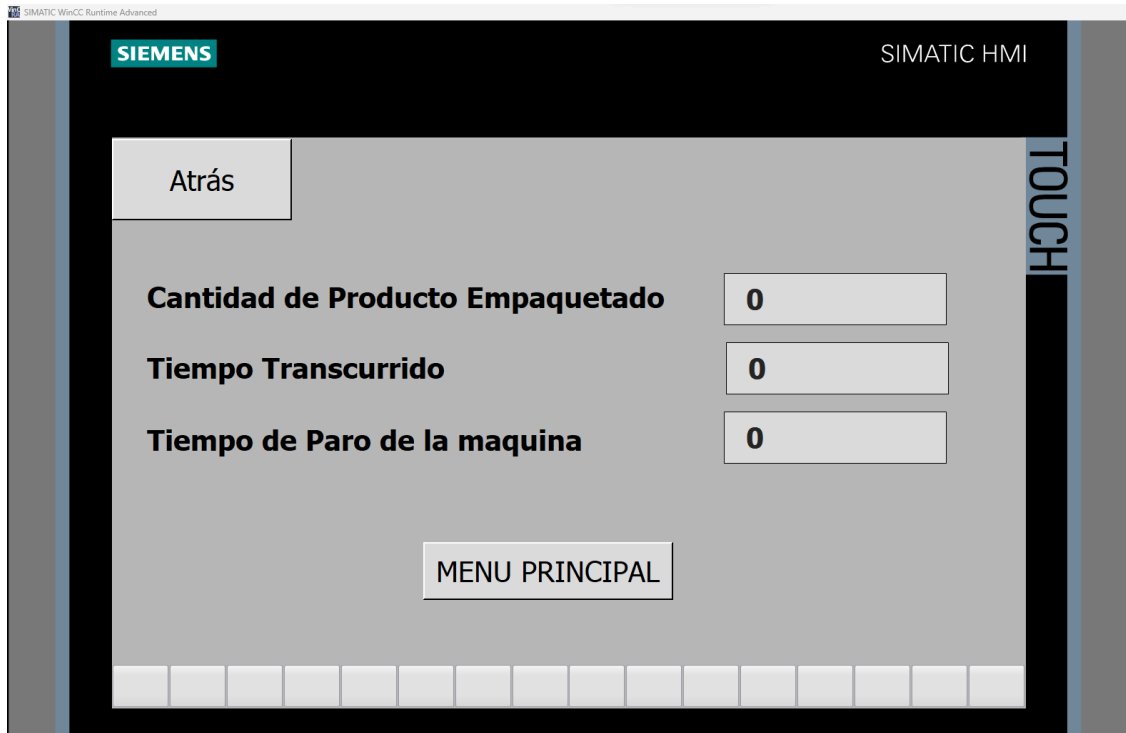
Pantalla inicial, inicia sistemas

**Figura 3.16.***Resistencias en proceso de alcanzar temperatura*

La temperatura va aumentando hasta alcanzar la adecuada que en este caso es 150, actualmente van entre 20 y 22.

**Figura 3.17.***Visualización de motores apagados*

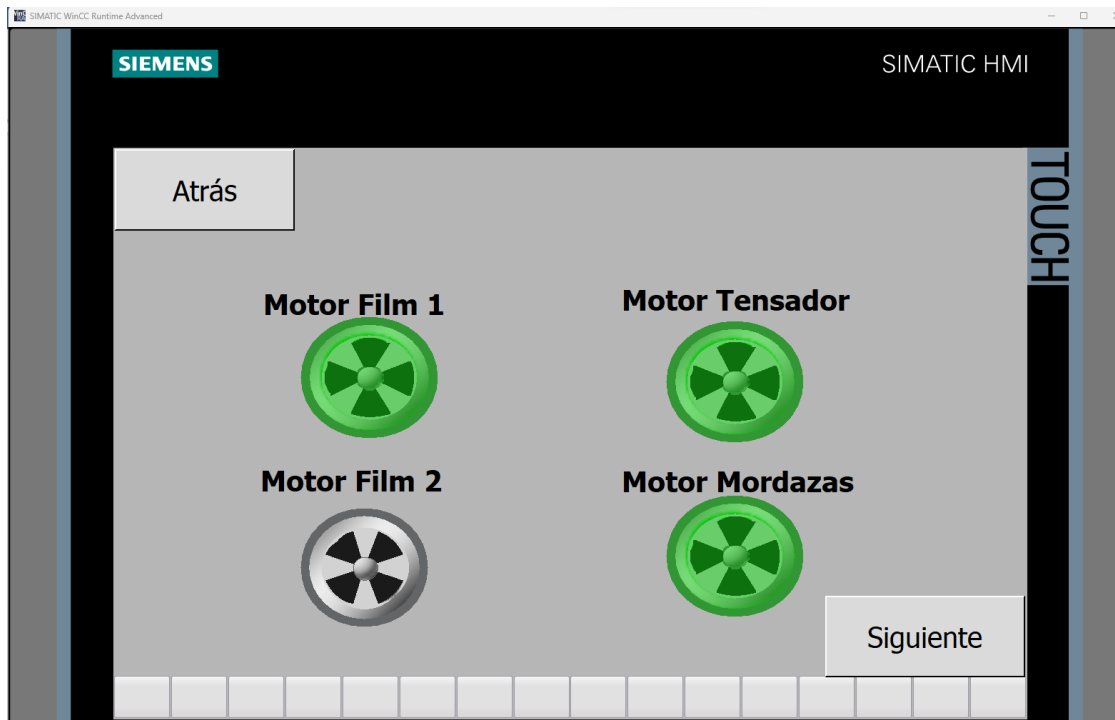
Como no se encuentra en la temperatura adecuada, no se cumplen las condiciones de inicio, así que todos los motores se encuentran apagados

**Figura 3.18***Valores iniciales*

Al no iniciar el proceso, no se han empaquetado productos y el tiempo empieza a transcurrir con la activación de todas las condiciones

**Figura 3.19.***Temperatura alcanzada*

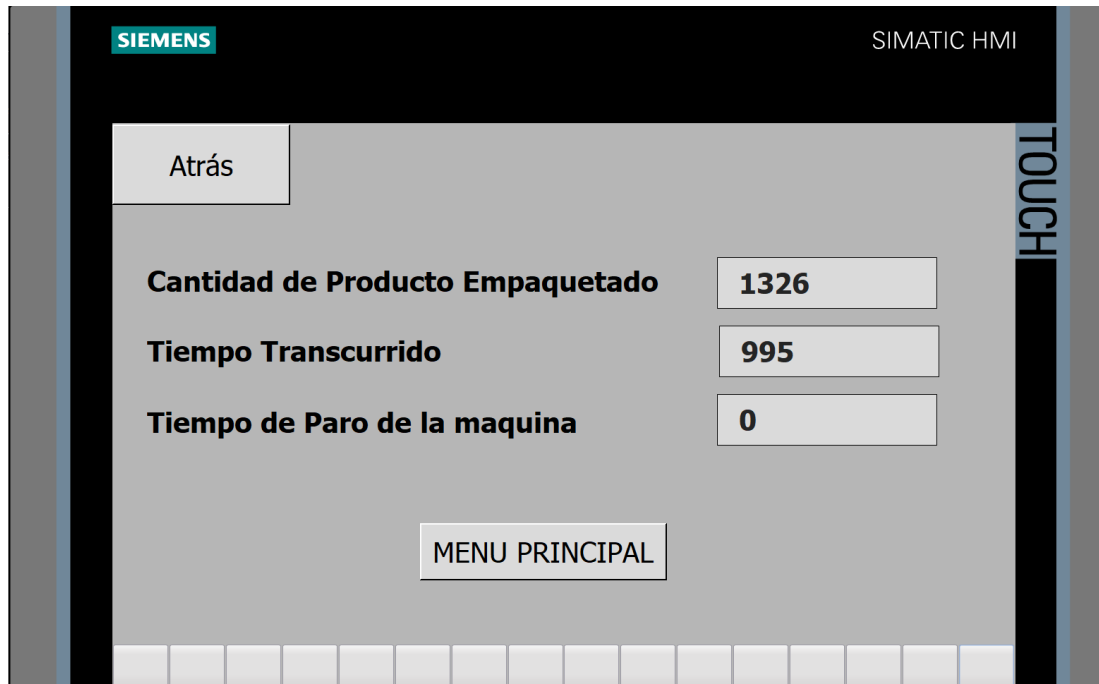
Se muestran que las temperaturas han llegado al punto necesario

**Figura 3.20***Motores de trabajo activados*

Se activan los motores para trabajar, como se encuentra la película actualmente en el rollo que se determina 1, entonces el motor del film 1 esta activado

**Figura 3.21**

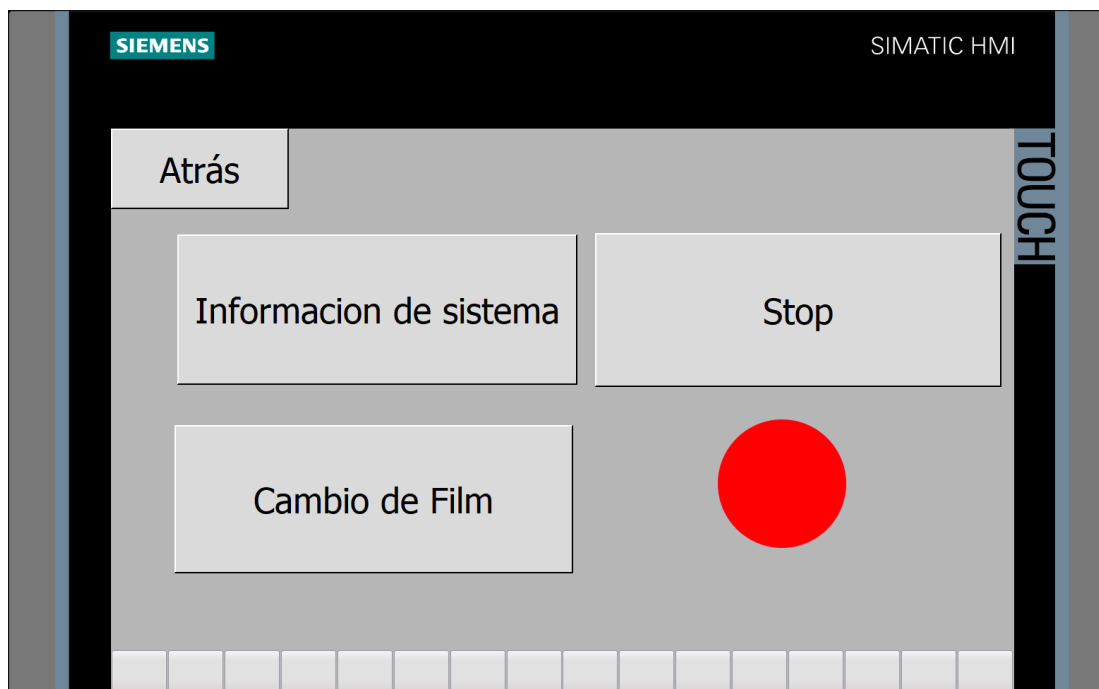
*Valores de tiempo y cantidad de producto*



Se ven que se han empacado ciertos productos en una cantidad de tiempo transcurrido

**Figura 3.22**

*Paro por cambio de film*



Cuando el sensor de nivel indica que ya no hay película, el proceso de los motores se detiene, hasta que se proceda a poner la película nueva y continuar el proceso dándole al botón de cambio de film, si se da al botón cambio de film sin tener la película puesta, entonces NO continuara el proceso hasta que se ponga una nueva película

**Figura 3.23**

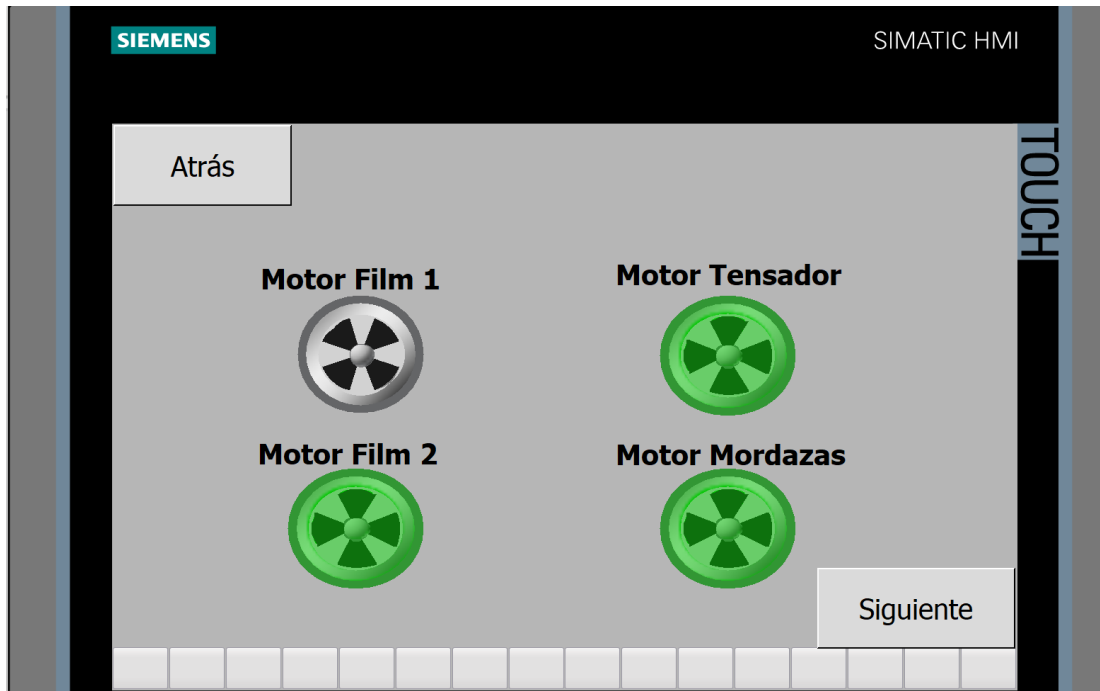
*Listo para seguir operando*



Una vez se haya dado el cambio de película correctamente el led se encenderá en verde y continuara el trabajo

**Figura 3.24**

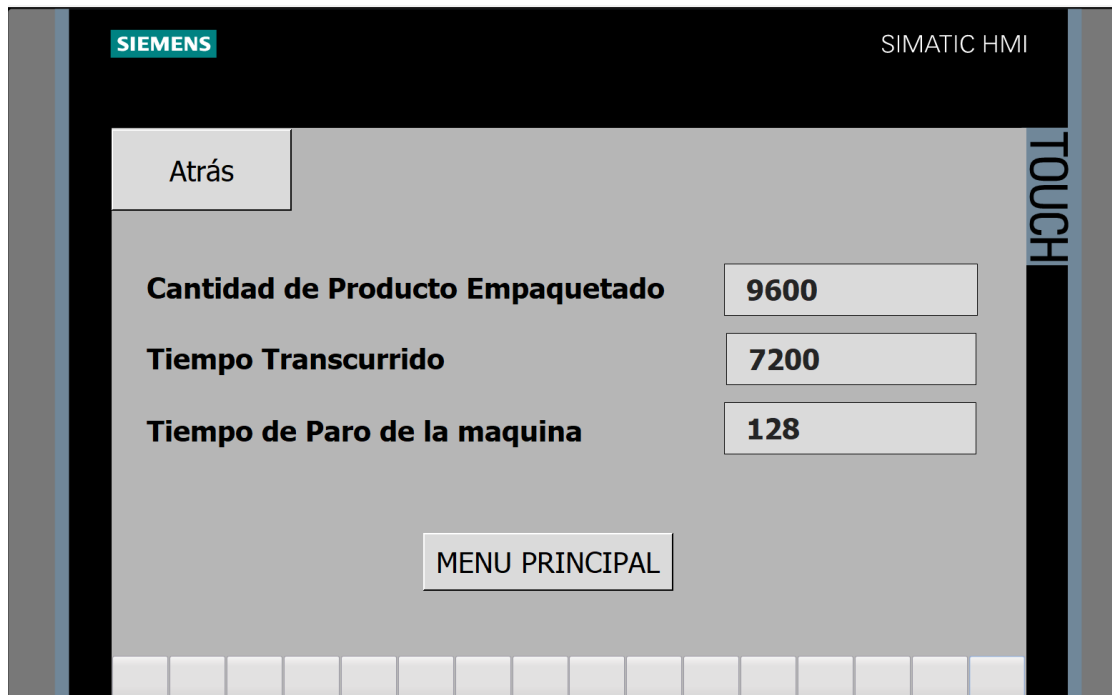
*Cambio de motor de Film por cambio de rollo*



Como hubo un cambio en el rollo, se desactiva el motor de la película 1 y se activa el motor del rollo de la película 2

**Figura 3.25**

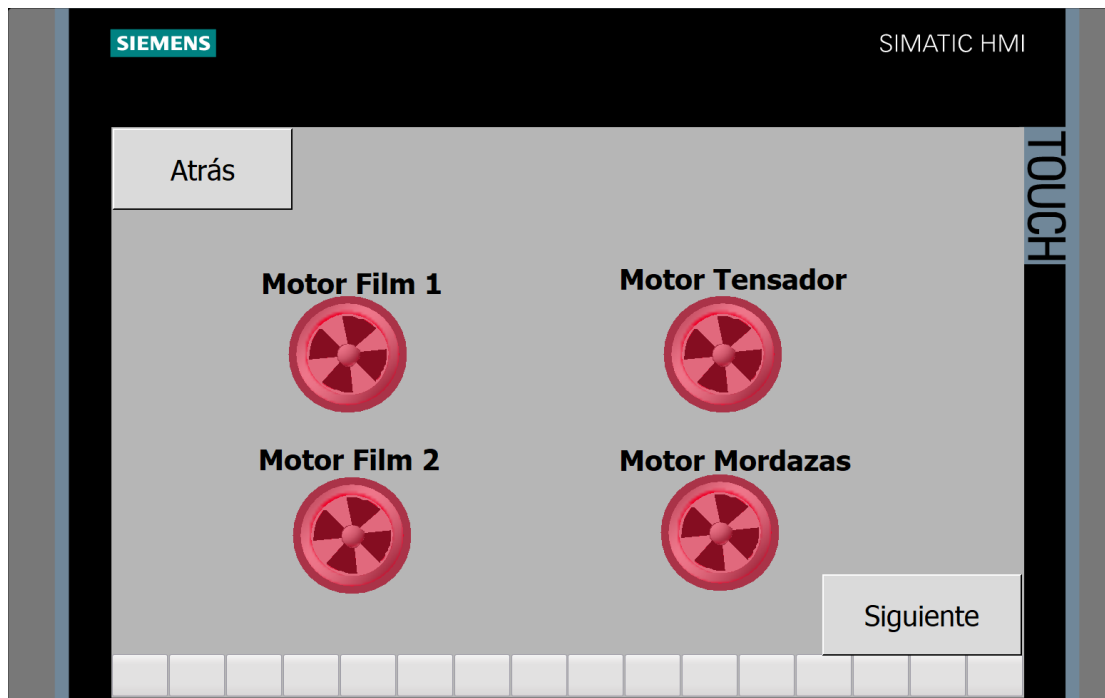
*Valores luego del paro*



Se aprecia que hubo un paro de aproximadamente 2 minutos que fue lo que se tomó en cambiar la película, mientras que el tiempo que ha transcurrido de todo el proceso es de alrededor de 2 horas con 9600 unidades de producto.

**Figura 3.26**

*Error en motores*



En el caso de que se experimente algún fallo con los motores, se indicara en la pantalla HMI a través de un indicador color rojo.

### 3.5 Análisis de costes

En función de los materiales que se han identificado durante el proceso, se han diferenciado los rubros a considerar:

- Elementos o piezas mecánicas
- Elementos eléctricos y electrónicos.
- Programación del PLC.
- Diseño mecánico y análisis de elementos finitos para su validez
- Análisis de fiabilidad de sistema mecánico y eléctrico.



- Tiempo de investigación, análisis y desarrollo

**Tabla 3.6***Rubros del proyecto*

Costos del Proyecto					
Descripción	Cantidad	Descripción	Costo Unidad	Costo total	
Soporte de ejes sujetadores de sistema de películas	1	Acero inoxidable de grado alimenticio 304	200	200	
Eje hueco sujetador de película	2	Acero inoxidable de grado alimenticio 304	250	500	
Motor con caja reductora	1	1 hp, 220V	639,39	639,39	
Banda sincrónica	1	PHG-480-8M-50	50	50	
Poleas dentadas	2	PHP 22-8M-50 RSB	50	100	
PLC SIMATIC 1500/ 6ES7512-1CK01-0AB0 SIEMENS	1	tiene entre 8, 16 y 32 canales Entradas analógicas	2536,97	2536,97	
HMI/ 6AV2123-2MB03-0AX0 SIEMENS	1	19 pulgadas	1208,03	1208,03	
Costo por estudio: Análisis mecánico, eléctrico.	500	Horas trabajadas	15	7500	
Total Costo				12734,39	

En la tabla 3.6, se observa el detalle de los costos que se deben considerar para llevar a cabo el proyecto, considerando el valor total sin I.V.A., adicional se debe tener en cuenta que los materiales mecánicos son de grado alimenticio por lo cual tiene un valor elevado, así como, el PLC, tiene un costo debido a su robustez y escalabilidad que puede tener inclusive para futuros proyectos de parte de la organización. Por otro lado, se estima el valor del estudio según las horas empleadas en el mismo, en este caso un promedio del tiempo trabajado y a su vez el conocimiento brindado u obtenido, el cual, consideramos es importante destacar.

Para una industria que produce una gran cantidad de snacks y que esta supuesto a escalar en su producción los cambios planteados, tendrán un alto impacto en la eficiencia y en la productividad.

## **Capítulo 4**

## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1.1 Conclusiones

- El proyecto ha demostrado que la implementación de un sistema automático de cambio de rollo de película para empacar ha reducido considerablemente los tiempos de parada en el proceso de empaque de snacks, lo que se traduce en una mejora del 32.3% en el tiempo de entrega total del producto. Esto representa una ganancia significativa para la empresa y un aumento en su capacidad de producción.
- La incorporación de este sistema automático no solo reduce los tiempos de parada, sino que también aumenta la eficiencia y la producción. El aumento de 60 golpes por minuto a 85 obteniendo una mejora del 41.6% en la producción demuestra que el proyecto tiene un impacto positivo en la capacidad de la empresa para satisfacer la demanda de sus productos de snacks.
- Se ha evidenciado que el rediseño no solo se centra en la eficiencia y la productividad, sino que también aborda la seguridad. El diseño de un marco resistente y estable, junto con mecanismos de seguridad como interruptores de límite, garantiza que la máquina sea segura tanto para los operadores como para la maquinaria en sí. Esto reduce el riesgo de lesiones y daños.
- Por medio del estudio del análisis de elementos finitos realizado en el proyecto confirma la robustez y la viabilidad de las piezas y componentes del sistema. Esto proporciona una sólida base técnica para la implementación de las soluciones propuestas, asegurando que el sistema funcione de manera efectiva y sin problemas.
- La incorporación de una interfaz hombre-máquina (HMI) intuitiva y funcional mejora la usabilidad de la máquina empacadora. Con una pantalla fácil de entender y botones de control claros, el operador puede interactuar de manera eficiente con la máquina, lo que facilita su operación y mantenimiento.

#### ***4.1.2 Recomendaciones***

- Recomendamos aprovechar la capacidad del PLC SP 1500, un dispositivo de alta gama utilizado en la programación del control de la empacadora, para agregar funciones adicionales en el futuro. Dado que su capacidad supera ampliamente la que estamos utilizando actualmente, esto nos brinda la oportunidad de expandir y mejorar las funcionalidades del sistema si es requerido.
- Se recomienda llevar a cabo un análisis exhaustivo del trabajo realizado en el proyecto en colaboración con el equipo técnico de la empresa. Esto tiene como objetivo compartir los detalles del proceso de rediseño y realizar un control previo antes de considerar su posible implementación.
- La retroalimentación del personal técnico también puede generar mejoras adicionales en el diseño y control de la máquina empacadora, lo que podría resultar en una solución aún más eficiente.

## Referencias

- [1] S. V. Ilyukhin, T. A. Haley, and R. K. Singh, “A survey of automation practices in the food industry,” *Food Control*, vol. 12, no. 5, pp. 285–296, Jul. 2001, doi: 10.1016/S0956-7135(01)00015-9.
- [2] A. I. Papadopoulos and P. Seferlis, “Automation for a sustainable food industry: computer aided analysis and control engineering methods,” *Robotics and Automation in the Food Industry: Current and Future Technologies*, pp. 441–485, Jan. 2013, doi: 10.1533/9780857095763.2.441.
- [3] K. L. Hawley, C. A. Roberto, M. A. Bragg, P. J. Liu, M. B. Schwartz, and K. D. Brownell, “The science on front-of-package food labels,” *Public Health Nutr*, vol. 16, no. 3, pp. 430–439, Mar. 2013, doi: 10.1017/S1368980012000754.
- [4] M. F. Iza Castro and A. F. Medina Carrillo, “Diseño y construcción de una máquina dosificadora y empacadora controlada por PLC para la línea de producción de snacks de la empresa Ecuamex S.A.,” 2013. Accessed: Jun. 22, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/6535>
- [5] G. Vaca Aguirre, “Máquina de pesado automático para panela granulada,” 2013. Accessed: Jun. 22, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3516>
- [6] E. Patricio and M. Zapata, “Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz,” 2010. Accessed: Jun. 22, 2023. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1287>
- [7] M. Karkhanis, D. Shevade, and S. K. Yadav, “Design and Automation of Food Dispensing and Packaging Machinery using PLC,” *International Journal of Science and Research*, 2018, doi: 10.21275/SR201031195347.
- [8] A. Sapena-Bano *et al.*, “Automatic translation of Programmable Logic Controllers (PLC) control programs in packaging machinery,” *2014 9th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference: Challenges of Change - Shaping the Future, IMPACT 2014 - Proceedings*, pp. 445–448, 2014, doi: 10.1109/IMPACT.2014.7048380.
- [9] K. Mustafa and K. Cheng, “Improving Production Changeovers and the Optimization: A Simulation Based Virtual Process Approach and Its Application Perspectives,” *Procedia Manuf*, vol. 11, pp. 2042–2050, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.PROMFG.2017.07.356.

- [10] K. Quintuaña, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DOSIFICADORA Y EMPACADORA SEMIAUTOMÁTICA PARA SNACKS CON UNA CAPACIDAD DE 1000 cm<sup>3</sup>,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito, 2023.
- [11] P. Guamán, ““AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENVASADO VOLUMÉTRICO PARA LA PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA COFICA EXPORT S.A.”” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL, Quito, 2019.
- [12] G. Crompton, “Packaging machinery and line operations,” *Packaging Technology*, pp. 490–537, Jan. 2012, doi: 10.1533/9780857095701.3.490.
- [13] “Item # F3S35N60-MB08TAVEB4, Brother Gearmotor F3 High Torque AC Gear Motor with Brake On Oriental Motor USA.” <https://catalog.orientalmotor.com/item/brother-gearmotors-three-phase-gear-motors-for-inv/1-hp-three-phase-brother-gear-motors/f3s35n60-mb08taveb4?plpver=1082> (accessed Jul. 31, 2023).
- [14] “Belts - PHG 480-8M-50.” <https://www.skfptp.com/CategoryDetails?productId=341195&languageId=1> (accessed Jul. 31, 2023).
- [15] “Poleas - PHP 22-8M-50RSB.” <https://www.skfptp.com/CategoryDetails?productId=362338&languageId=11> (accessed Jul. 31, 2023).

## **Apéndice**

## **Apéndice A**

### **Programación del main del PLC**



Figura A.1. Programación Main del PLC segmento 1-3

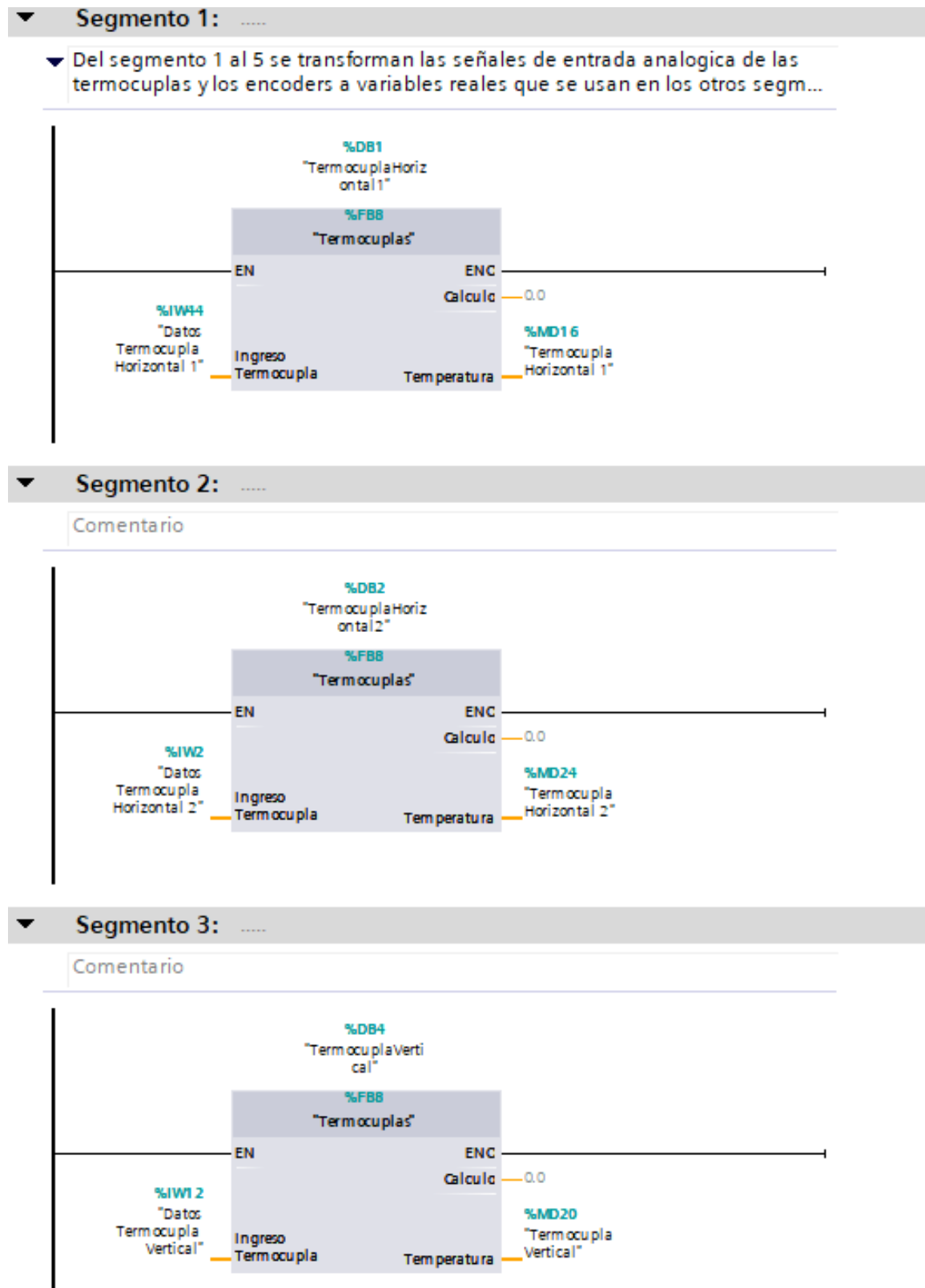


Figura A.2. Programación Main del PLC segmento 4-6

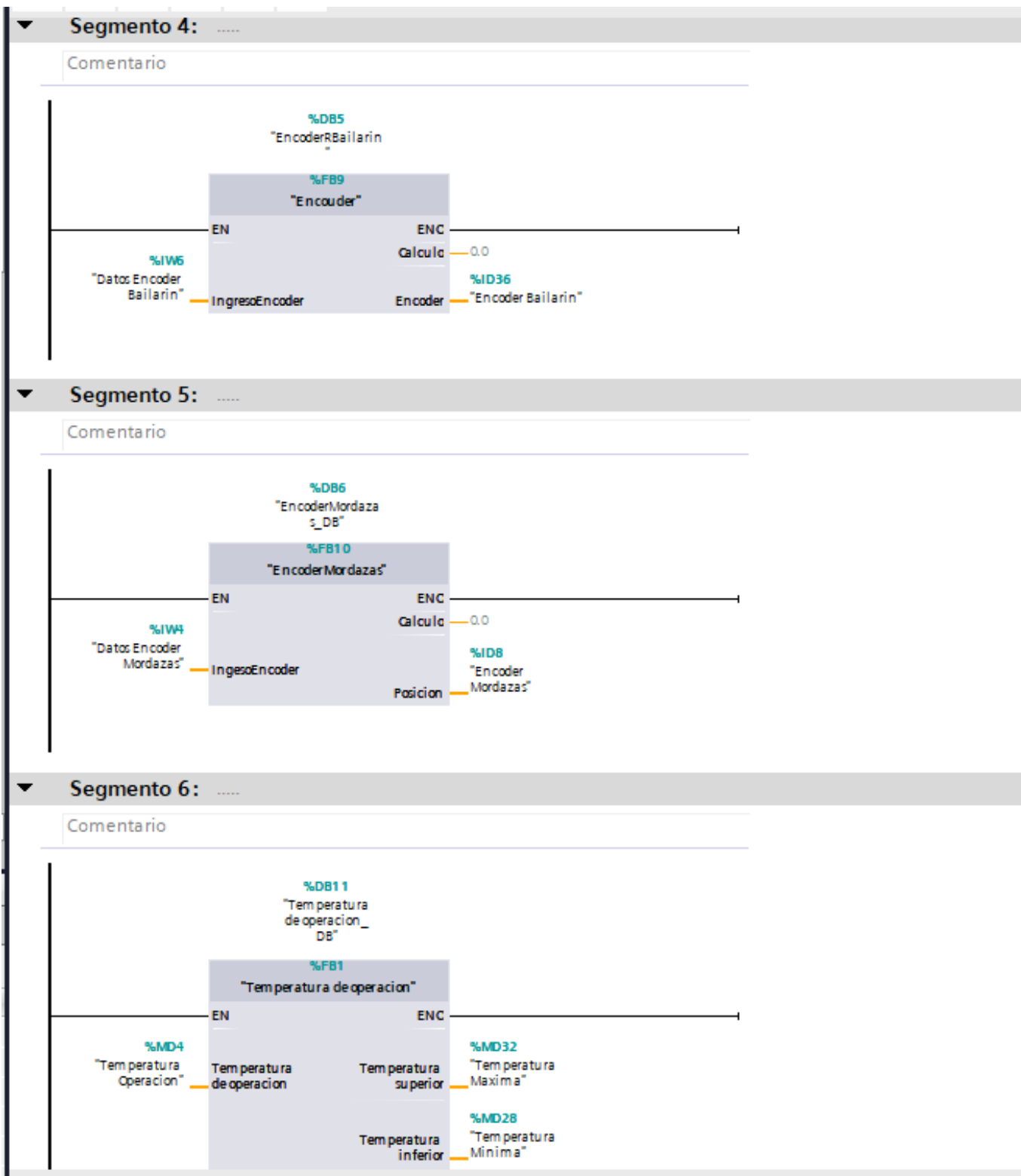
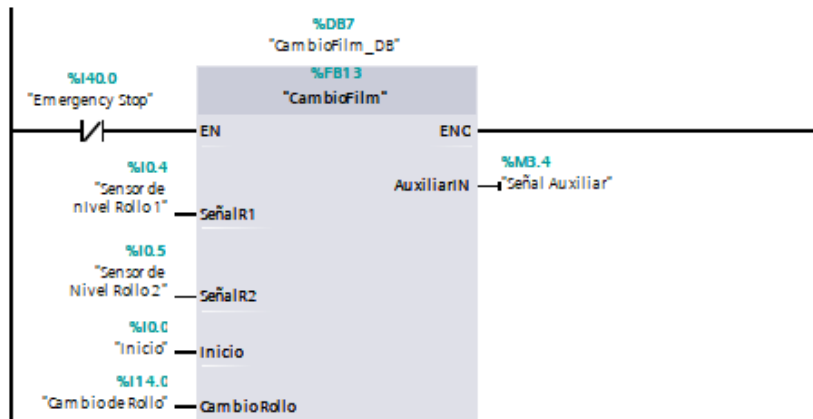


Figura A.3. Programación Main del PLC Segmento 7 y 8

**Segmento 7: .....**

► Se define un bloque nombrado cambio de film que entrega una señal auxiliar ...



**Segmento 8: .....**

► Con las señales previamente transformadas y otras adicionales, se determin...

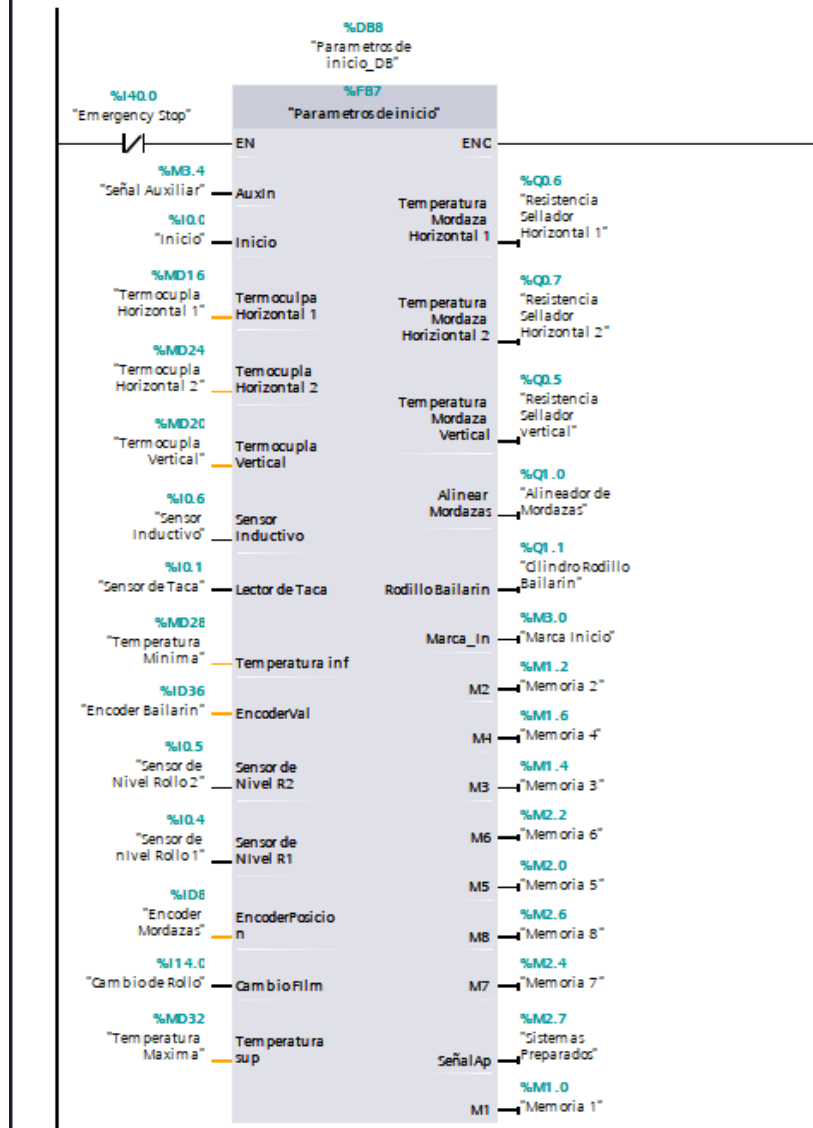
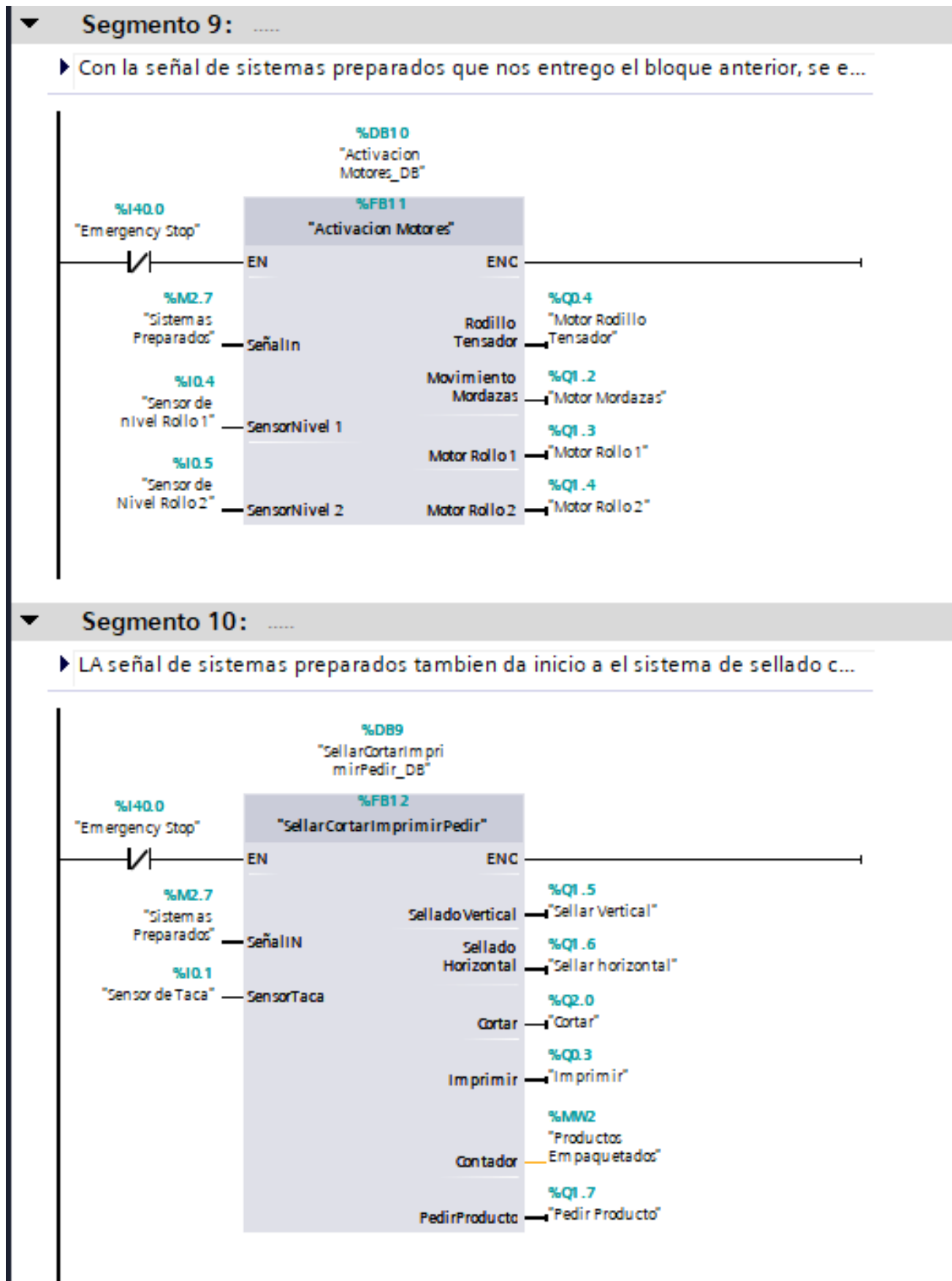


Figura A.4. Programación Main del PLC Segmento 9 y 10



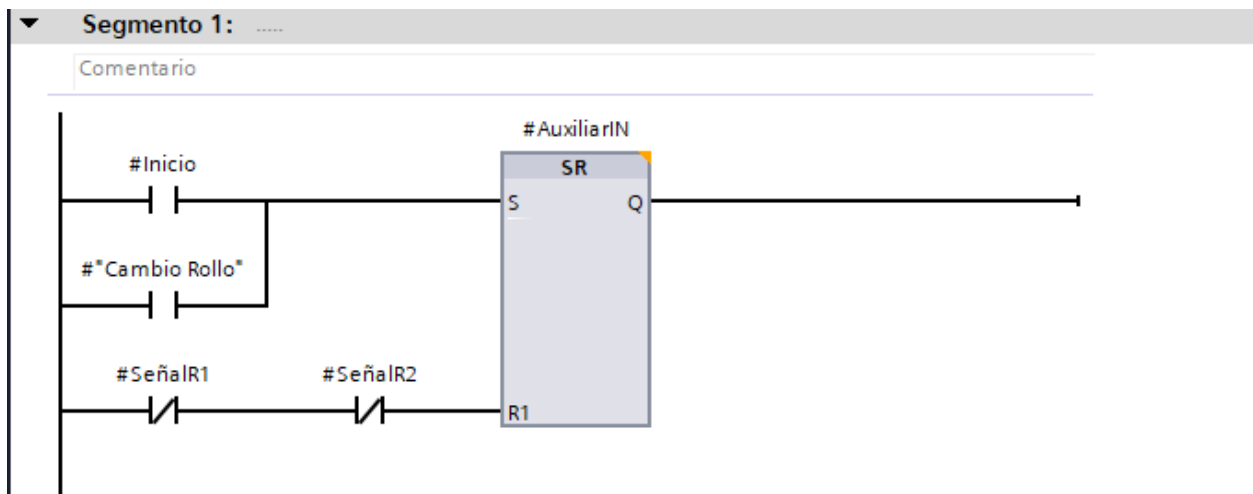
## **Apéndice B**

### **Bloques de funciones creados**

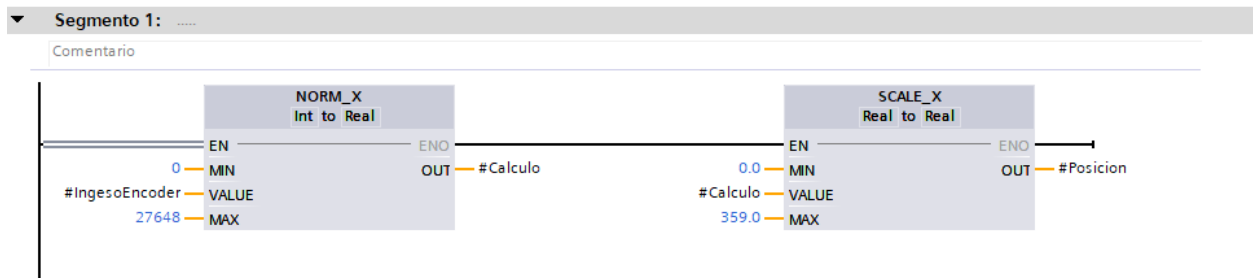
**Figura B.1. Programación del bloque activación motores**



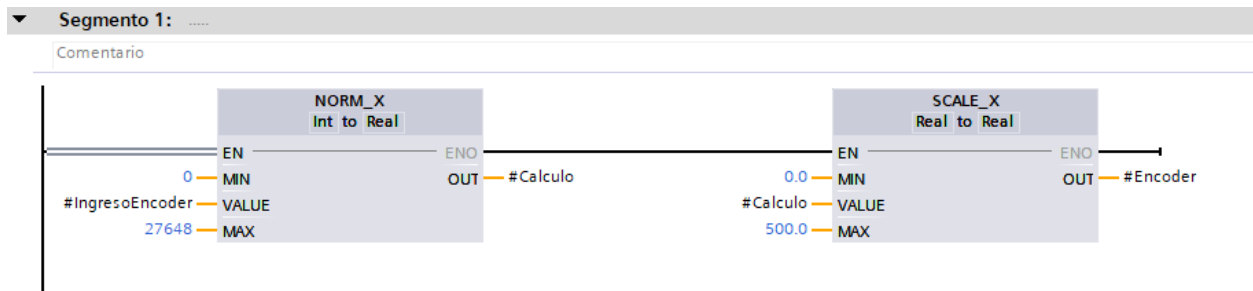
**Figura B.2. Programación del bloque cambio film**



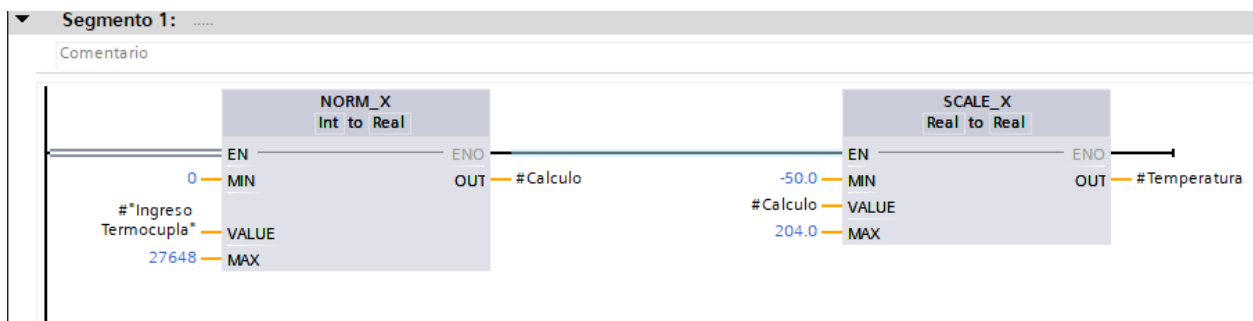
**Figura B.3. Programación del bloque Encoder Motores**



**Figura B.4. Programación del bloque Encoder Bailarín**



**Figura B.5. Programación del bloque Termocuplas**



**Figura B.6. Programación del bloque Parámetros iniciales**

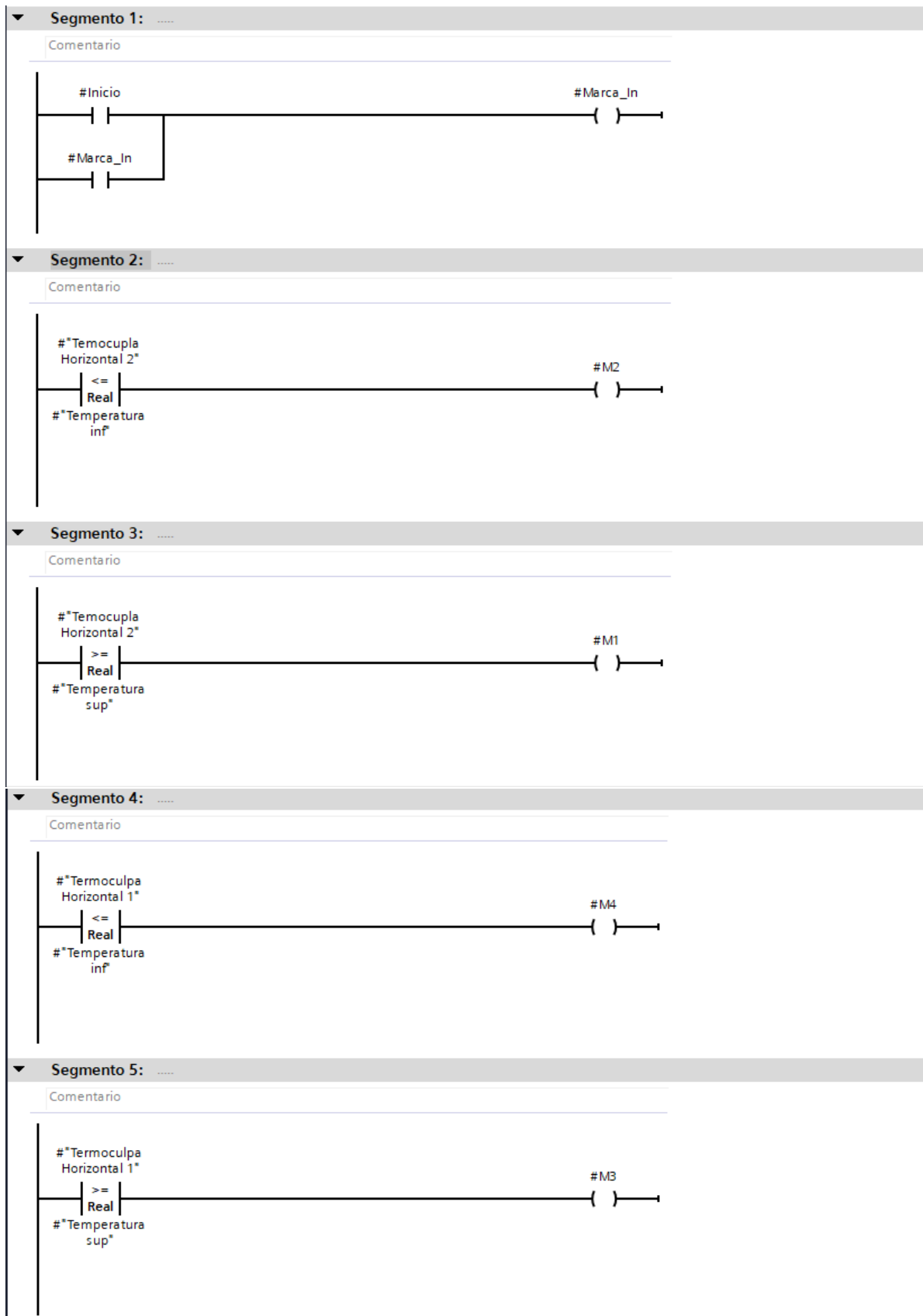




Figura B.7. Programación del bloque Sellar-Cortar-Imprimir

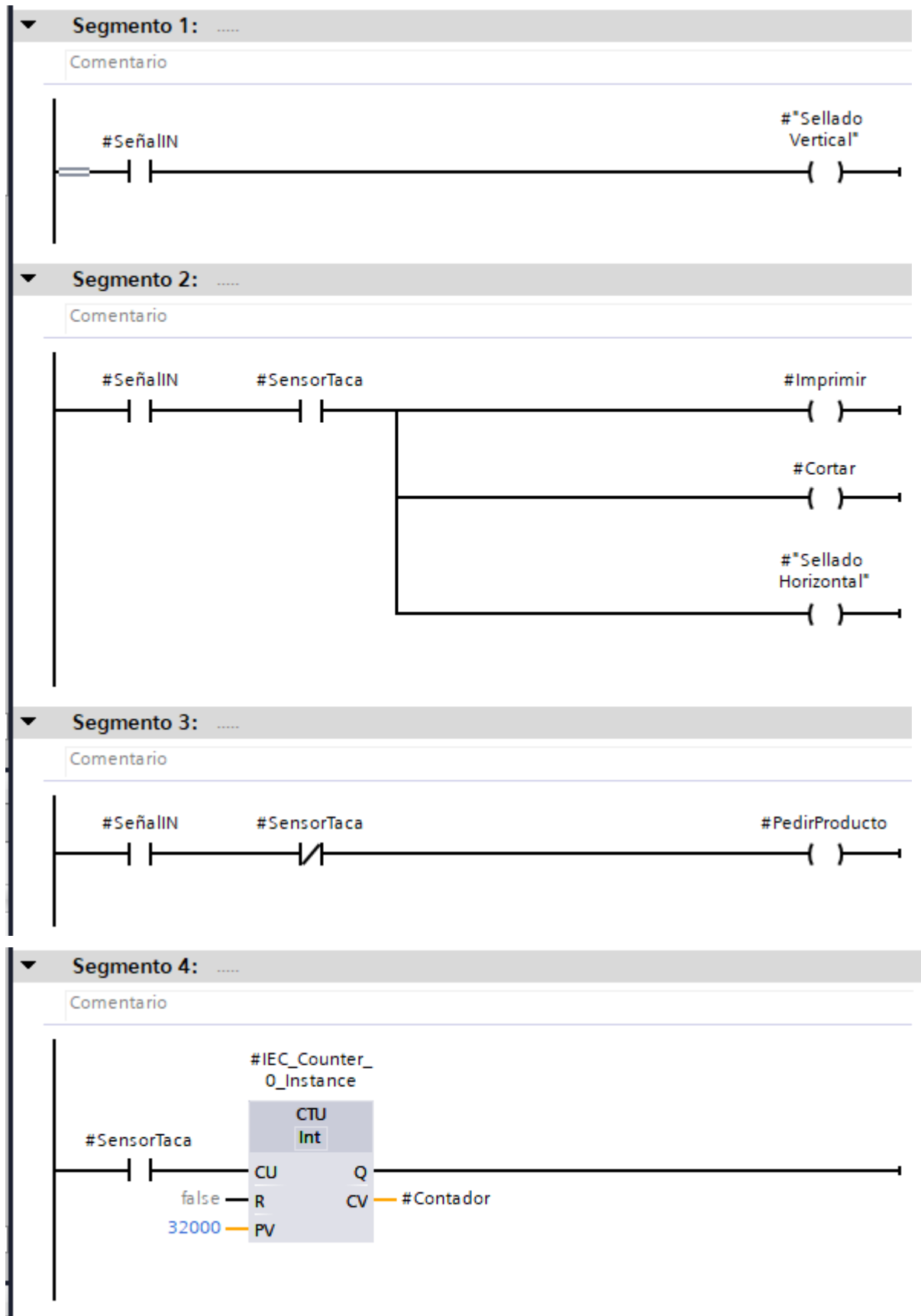
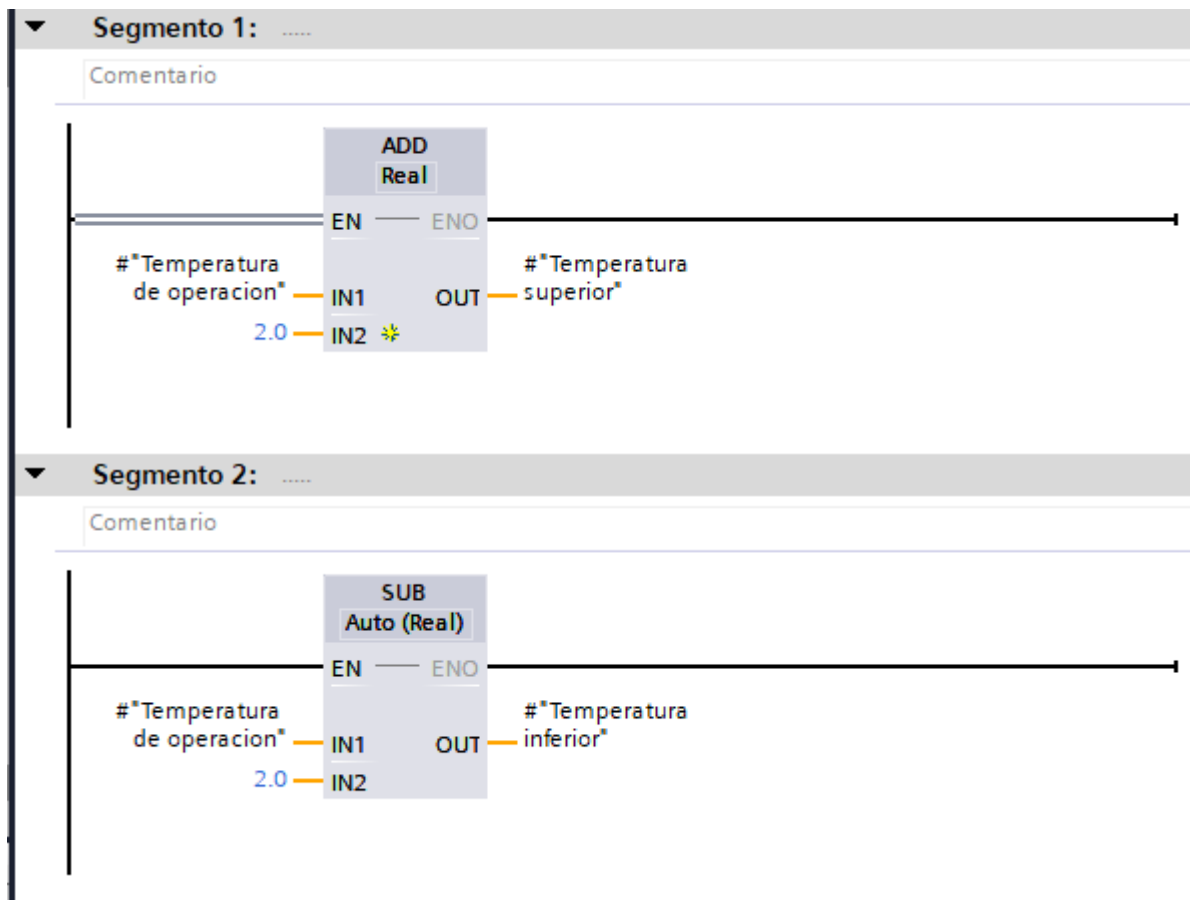
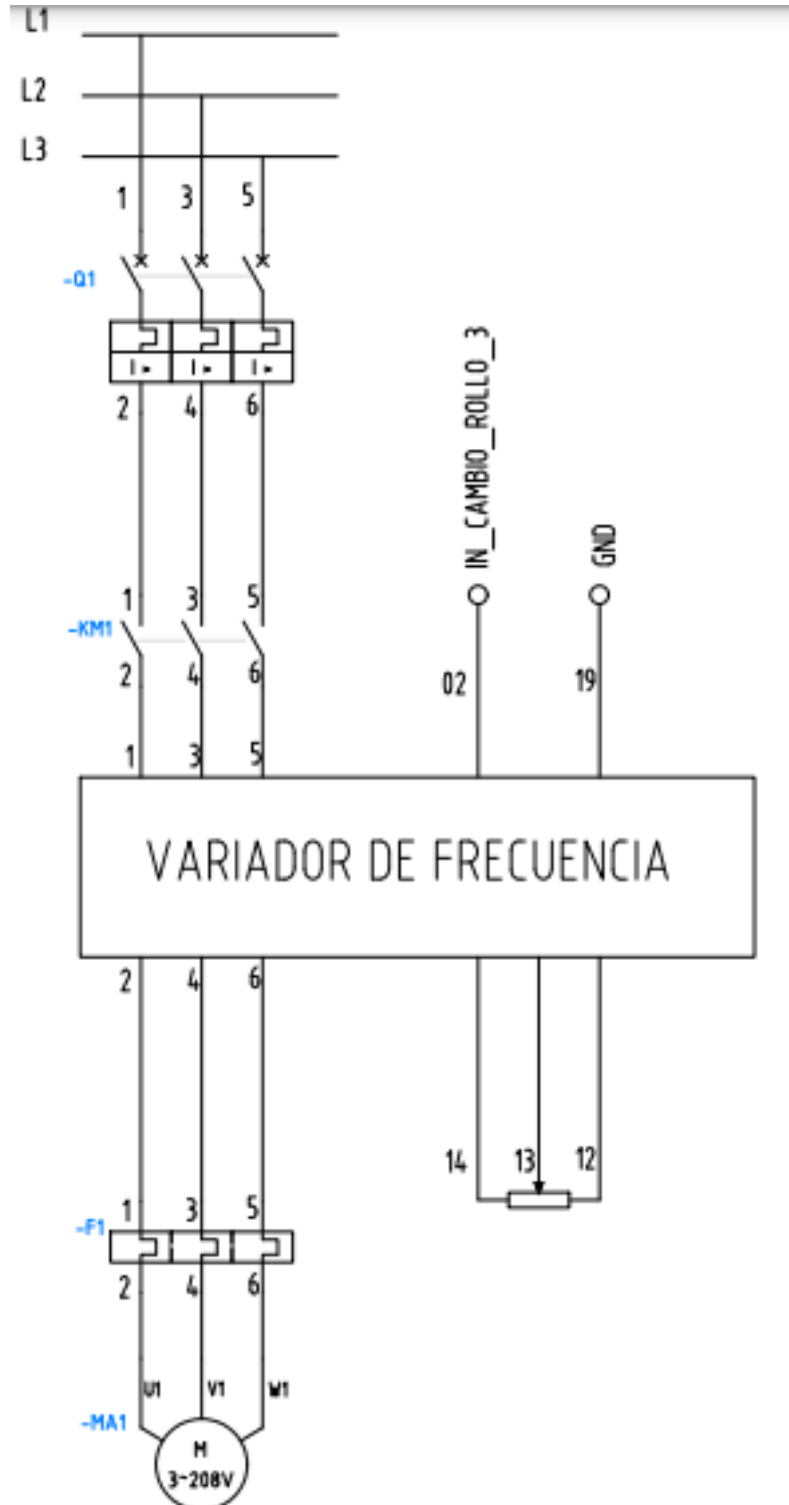


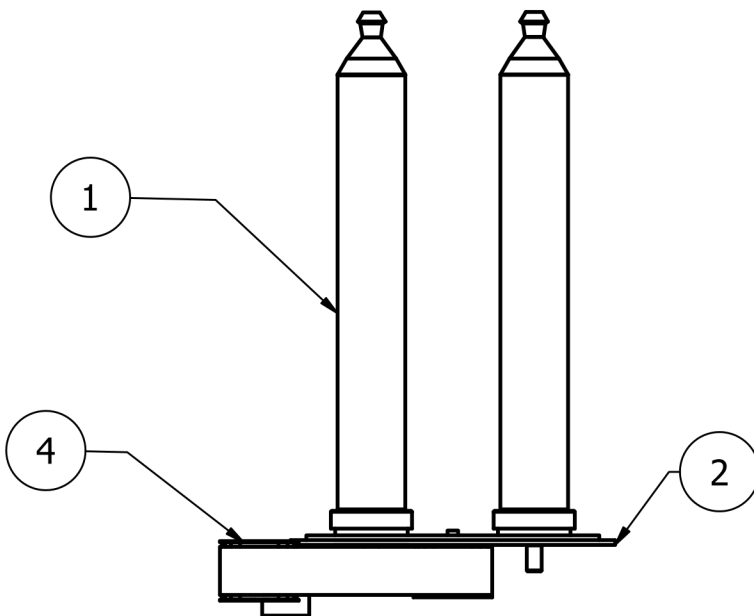
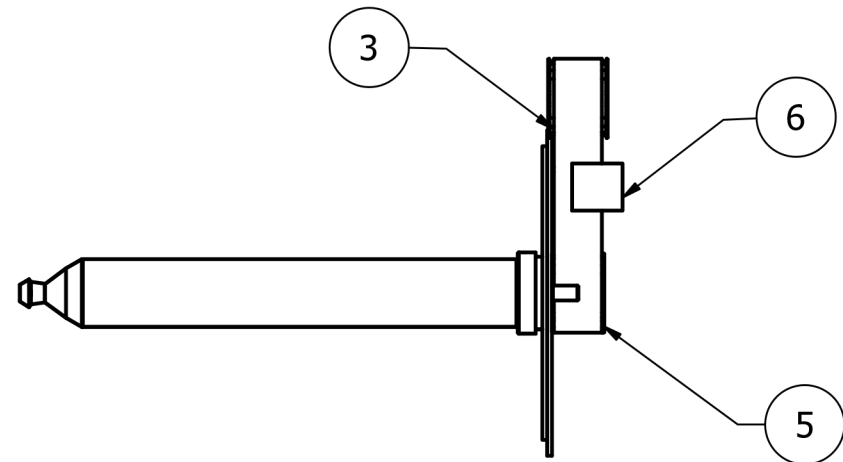
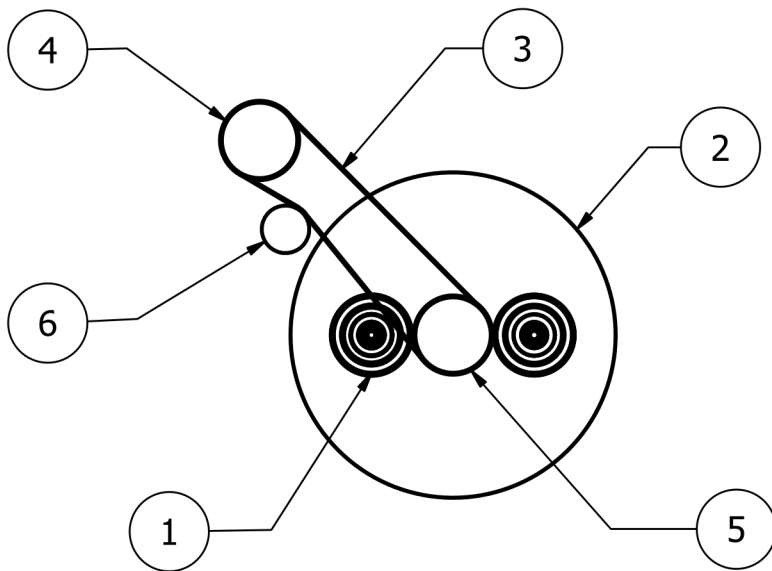
Figura B.8. Programación del bloque Temperatura de operación



**Apéndice C**  
**Diagrama eléctrico**

Conexión de motor trifásico-208V con circuito de control del variador de frecuencia y entrada digital y analógica del PLC, correspondiente al sistema de cambio de rollo de empaque automático.





### LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Eje hueco sujetador de rollo	Acero inoxidable de grado alimenticio 304
2	1	Sujetador de sistema	Acero inoxidable de grado alimenticio 304
3	1	Correa síncrona	PHG-480-8M-50
4	1	Polea síncrona1	PHP 22-8M-50 RSB
5	1	Polea síncrona2	PHP 22-8M-50 RSB
6	1	Tensor	

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN.

Tutor: Phd. Ágila

Alumnos: Montoya G  
Dume G.

Lámina: 1

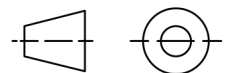
Escala: 1:8

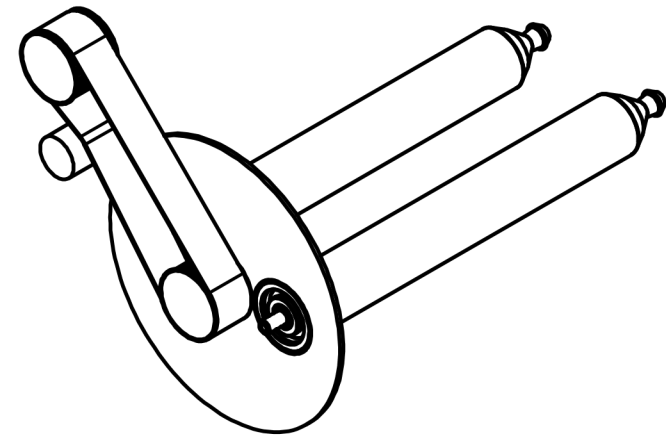
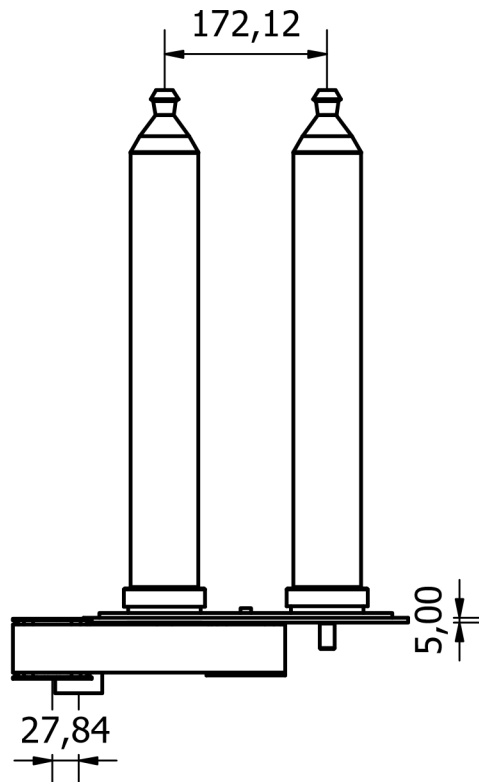
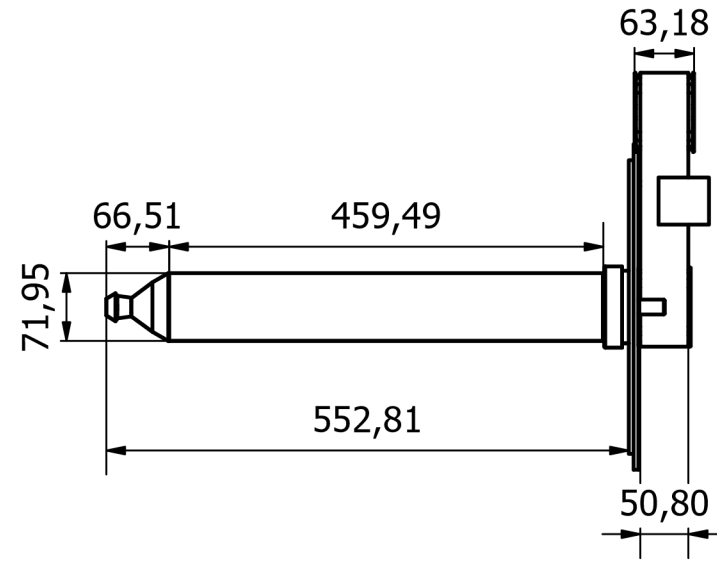
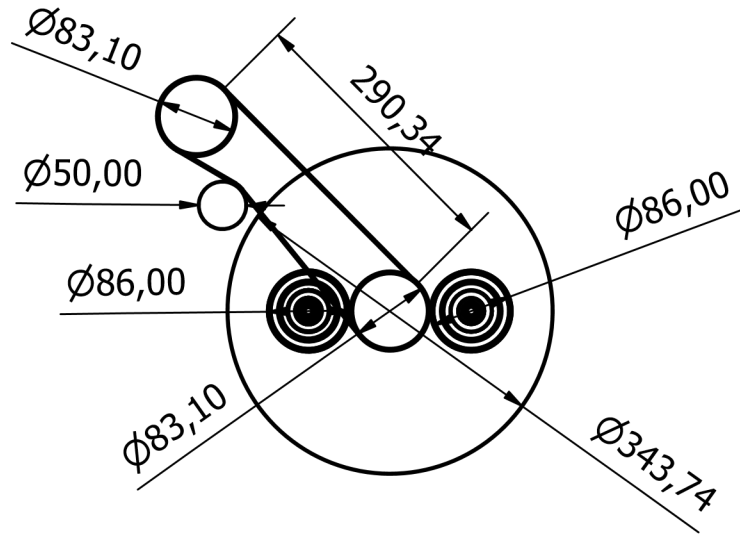
Proyecto  
Integrador

Rediseño y optimización de máquina de snacks

Vista General

I Término





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN.		Tutor:	Phd. Ágila
		Alumnos:	Montoya G Dume G.
		Lámina:	2
Proyecto Integrador	Rediseño y optimización de máquina de snacks	Escala:	1:8
I Término	MEDIDAS DE PARTES		

