

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA ENVOLTURA DE CHOCOLATES

CODIGO DEL PROYECTO: PG-21-2-05



CRISTIAN STIVEN ALVAREZ MEDINA

CÓDIGO: 1720623

IDENTIFICACIÓN: C.C 1002583545

EDUARDO LONDOÑO GERSTENBLUTH

CÓDIGO: 1720633

IDENTIFICACIÓN: C.C 1020842653

BRAYAN SMIT RUIZ RUIZ

CÓDIGO: 1720567

IDENTIFICACIÓN: C.C 1010087922

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D. C.

2021

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA ENVOLTURA DE CHOCOLATES

CRISTIAN STIVEN ALVAREZ MEDINA

CÓDIGO: 1720623

IDENTIFICACIÓN: C.C 1002583545

EDUARDO LONDOÑO GERSTENBLUTH

CÓDIGO: 1720633

IDENTIFICACIÓN: C.C 1020842653

BRAYAN SMIT RUIZ RUIZ

CÓDIGO: 1720567

IDENTIFICACIÓN: C.C 1010087922

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO DE LA
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

Director:

Marco Antonio Jinete

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D. C.

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que el (los) estudiante (s) ha cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, cumple a cabalidad con los Lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Mecatrónica y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentra(n) preparado(s) para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. A. Jinete', is written over a horizontal line.

Marco Antonio Jinete

Director del proyecto

DEDICATORIA

Cristian Stiven Álvarez Medina

Tu lucha, tus esfuerzos y sacrificios del día a día hicieron que mis sueños y metas se convirtieran en una realidad, cada palabra, cada sonrisa, cada consejo construyeron la persona que soy, es por esto y más que quiero dedicar este proyecto de grado a una mujer maravillosa, llena de virtudes, cualidades, que hacen que destaque en cualquier lugar y que tengo el gran orgullo de llamar mamá. Te amo, por ti y para ti. También quiero dedicar este proyecto a mi hermana Gabriela, que es fuente de motivación, orgullo, lucha y sacrificio.

Eduardo Londoño Gerstenbluth

Este proyecto lleva cultivándose en la familia varios años y me acuerdo de la cara de alegría que pusiste cuando decidimos embarcarnos con este proyecto y hacer nuestro mayor esfuerzo por sacarlo adelante. Este proyecto no hubiera iniciado sin tu idea y no hubiera salido adelante sin tus constantes aportes y experiencia. Por esto, de la manera mas especial, me gustaría dedicar este trabajo a mi abuelo León Gerstenbluth y estoy seguro que no nos vas a dejar en paz hasta que halla una máquina empacando en la choco.

Brayan Smit Ruiz Ruiz

Dedico de manera especial este trabajo de grado a mis padres que fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida personal y profesional, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más en mi vida, gracias por brindarme el apoyo y motivación en cada momento que lo he necesitado, se que todo este proceso no ha sido nada fácil pero que poco a poco y con un gran esfuerzo hoy se cumple.

A mi madrina Alexandra Ruiz y su esposo Luis Francisco Cajigas por el apoyo que me han brindado en cada momento de mi vida, este logro se los debo a ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Cristian Stiven Álvarez Medina

Al finalizar otra etapa de mi vida, quiero agradecer profundamente a todas las personas que con su ayuda hicieron posible cumplir este gran sueño. Quiero hacer una mención especial a mis padres y padrino que sin ellos nada de esto hubiera sido posible, que con su ejemplo, paciencia, amor y apoyo me han ayudado a finalizar esta maravillosa etapa. Nunca tendré como pagarles toda esa entrega y confianza que tienen por mí, muchas gracias.

A mi papa Pablo que sin duda todo el esfuerzo y sacrificio que ha hecho por nosotros y para nosotros se ve reflejado en este triunfo que es tanto mío como tuyo, gracias y mil gracias te amo inmensamente.

Mi hermano Juan que sin lugar a duda es una de las personas más importantes en mi vida, un amor tan sincero y transparente que siempre alegra mi vida, el motor que me mueve e inspira, gracias por estar siempre para mí.

A mi sobrina Sara que con su ternura y amor hace que sea muy feliz cada día, a mi hermana Gabriela, que admiro, respeto y amo profundamente por la persona que es y por lo que ha conseguido aun cuando todo se hizo mas difícil, gracias por siempre poder contar contigo.

A mi tía Vanessa que siempre ha estado para nosotros, su amor, apoyo, compañía hicieron que todo fuera más fácil, te amo y muchas gracias por tanto. A mis amigos y en especial a Eduardo Londoño que desde primer semestre siempre nos acompañamos en cada locura e idea que teníamos, sin duda un gran apoyo y ayuda, mil gracias.

A Ricardo Moreno que al pasar el tiempo nos hicimos buenos amigos y siempre me apoyo y ayudo cuando lo necesite.

Al Ingeniero Marco Antonio Jinete Gómez, director del proyecto que además de ser un gran docente es una gran persona, ingeniero y que tengo el orgullo de llamar amigo,

con su ejemplo, consejos, apoyo, ayuda y entrega hoy soy una mejor persona gracias a él y en un futuro próximo también ingeniero, estaré eternamente agradecido él.

Y para finalizar al ingeniero Néstor Fernando Penagos Quintero quien también me ayudo y apoyo en cada paso que di durante este proceso de formación profesional y personal, muchas gracias.

Eduardo Londoño Gerstenbluth

Esta es la culminación de casi 5 años de esfuerzo y dedicación los cuales estuvieron llenos de aprendizaje y éxitos que solo abrirán las puertas de mi carrera profesional. Sin embargo esto no hubiera sido ni remotamente posible sin la ayuda de muchas personas que me han dado su apoyo incondicional y constante durante toda la carrera y por esto, me gustaría agradecer a algunas de estas personas.

A mis papás y a mi hermana por estar siempre pendientes de mis proyectos y brindarme toda la ayuda que necesito, aguantarme en mis momentos de estrés y celebrar todos y cada uno de los éxitos sin importar que pequeños sean.

A mi gran amigo Cristian Álvarez que de no haberlo conocido, el transcurso de la carrera hubiera sido inimaginable, no solo por los proyectos sino por todas las experiencias que compartimos. Aunque este es el último proyecto que vamos a hacer en la universidad estoy seguro que no será la ultima vez que trabajemos juntos. Por todo esto y por todo el apoyo no puedo agradecerte lo suficiente.

A Brayan Ruiz por ser un excelente compañero de tesis, este proyecto no tendría ni pies ni cabeza sin todos tus aportes.

A Marco Antonio Jinete Gómez por apoyarnos durante nuestra estadía en la universidad, desde estar trabajando a diario en el cangrejo, trasnochar hasta que nos sacaban de la Universidad con los drones y el inmenso apoyo durante este trabajo. Tu eres un profesor que se preocupa por sus estudiantes e inviertes gran parte de tu tiempo para formarnos no solo como ingenieros sino como unos excelentes investigadores y como buenas personas, por todo esto eres de las pocas personas a las considero como mi maestro.

Soy increíblemente suertudo de haberte conocido, por todo esto muchas gracias.

A todos los profesores que aportaron sus conocimientos para formarme de la mejor manera, especialmente a Néstor Fernando Penagos Quintero, Erick Sang Ramirez y José Fernando Callejas Basto con quienes construí una relación de amistad. Disfruté al máximo sus clases y todos los proyectos que realizamos en conjunto (proyección social, mecatrónica al día) convirtieron mi estadía en la universidad en una experiencia inolvidable. Muchas gracias.

Brayan Smit Ruiz Ruiz

Quiero agradecer a todos los docentes que a lo largo de toda esta profesión me brindaron sus conocimientos y herramientas para desarrollarme profesionalmente.

Por otro lado, a Cristian Álvarez y Eduardo Londoño por ser mis compañeros de tesis, por los conocimientos que cada uno aportó al desarrollo de este trabajo de grado y que sin ellos esto no hubiera sido posible.

Finalmente quiero agradecer a todos mis amigos que hicieron parte de este proceso de formación, en especial a mis amigos Hernán Martínez y Cristian Ochoa, por los buenos momentos que llegamos a vivir juntos, gracias por hacer esta trayectoria más amena.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	13
2. RESUMEN	14
3. ABSTRACT	16
4. GENERALIDADES	18
4.1. Planteamiento del problema	18
4.2. Antecedentes del problema	18
4.3. Descripción del problema	18
4.4. Formulación del problema	19
4.5. Línea de investigación del programa	19
5. JUSTIFICACIÓN	19
6. OBJETIVOS	19
6.1. Objetivo General	19
6.2. Objetivos Específicos	20
7. ALCANCES Y LIMITACIONES	20
7.1. Alcances	20
7.2. Limitaciones	20
8. ESTADO DEL ARTE	21
9. MARCO REFERENCIAL	22
9.1. Caracterización del producto	22
9.1.1. Tableta de chocolate	22
9.1.2. Papel aluminio	23
9.1.3. Requerimientos de producción	23

9.2. Pruebas de concepto	24
9.2.1. Prototipo cepillos	25
9.2.2. Prototipo Paredes	25
9.3. Normatividad	26
10.DISEÑO	27
10.1. Requerimientos de diseño	27
10.2. Diseño Conceptual	27
10.3. Diagramas de funcionamiento	28
10.4. Metodología de toma de decisiones	28
10.4.1. Selección de materiales	31
10.4.2. Selección de actuadores	32
10.4.3. Selección del sistema de control	34
10.4.4. Resultados del proceso de selección	35
10.5. Sistema de plegado	36
10.5.1. Paso 1	36
10.5.2. Paso 2 y 3	36
10.5.3. Paso 4 y 5	37
10.6. Detalle de movimientos	38
10.7. Selección de Actuadores Neumáticos	43
10.8. Válvulas	45
10.9. Tipos de accionamiento	47
10.10. Circuito	47
10.11. Algoritmo	49
10.12. Diseño Neumático	53
11.CÁLCULOS	54
11.1. Cálculos del Sistema Mecánico	54
11.1.1. Esfuerzos por flexión	54

11.1.2. Esfuerzos por compresión	59
11.2. Cálculos del sistema neumático	60
11.3. Cálculos del sistema electrónico	62
11.3.1. Saturación de los transistores	62
11.3.2. Fuente de alimentación	62
12.DISEÑO FINAL	63
13.RESULTADOS	66
14.RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN	67
15.CONCLUSIONES	68
16.TRABAJOS FUTUROS	69
17.Anexos	72
17.1. Anexo 1: Código	72

Índice de figuras

1. Maquina W-CH200. Fuente 1	21
2. Máquina empacadora de la empresa SACMI. Fuente 2	22
3. Tableta de chocolate	23
4. Papel aluminio utilizado para envolver las tabletas de chocolate	24
5. Producto empacado en papel aluminio	24
6. Cepillos para el doblado del aluminio	25
7. Diseño CAD y fotos del prototipo #2	26
8. Diagrama del proceso	28
9. Diagrama del proceso	28
10. Proceso de selección	31

11. Pliegue 1	36
12. Pliegue 2 y 3	37
13. Pliegue 4 y 5	37
14. Numeración Actuadores	38
15. Movimiento 1	39
16. Movimiento 2	40
17. Movimiento 3 y 4	40
18. Movimiento 5 y 6	41
19. Movimiento 7	41
20. Movimiento 8 y 9	42
21. Movimiento 10	42
22. Tipos de actuadores lineales	44
23. Esquema del circuito implementado	50
24. Render de la PCB diseñada	51
25. Diagrama de flujo del algoritmo	52
26. Esquema del circuito neumático	53
27. Representación de cargas de los actuadores 3, 4, y 5	54
28. Balance de fuerzas y momentos	55
29. Diagrama de cortante	56
30. Diagrama de momento	56
31. Diagrama de cuerpo libre para el actuador 1	59
32. Fotografía de la máquina construida	63
33. Panel de control	64
34. Corte transversal de la máquina	64
35. Matriz de posicionamiento	65
36. Chocolate empacado por la máquina	67

Índice de cuadros

1. Características de la tableta de chocolate	23
2. Detalle de pesos por criterio	30
3. Selección cualitativa para la selección del material para la estructura . .	32
4. Selección cualitativa para la selección de los actuadores	33
5. Selección cualitativa para la selección del sistema de control	35
6. Resumen del proceso de selección	35
7. Resumen de movimientos	43
8. Selección de actuadores neumáticos	45
9. Características de los actuadores	46
10. Características de las válvulas	48
11. Selección de microcontrolador	49
12. Resultados de la medición de corrientes	49

1. INTRODUCCIÓN

Durante una conversación realizada con Leon Gerstenbluth, gerente de la empresa Truffelinos - La Chocolatería comentó que el mercado colombiano de chocolates se puede dividir en dos grandes grupos, el primero es el mercado masivo de productos de chocolates que se distribuyen a tiendas y supermercados que son reconocidas por todo el país. El segundo grupo es el mercado corporativo, donde las empresas quieren tener una tableta de chocolate o unas cajas de chocolates para regalar a los clientes o empleados. Un ejemplo de esto son las tabletas de chocolate que dejan en las habitaciones de los hoteles para los huéspedes todos los días. En Colombia, este producto es comúnmente producido por pequeños fabricantes de chocolates, y los volúmenes que se manejan son de unos pocos cientos o miles de chocolates mensuales.

Para este proyecto se realizó una alianza con una empresa fabricante de chocolates que entra en esta segunda categoría, que está interesada en construir una máquina que sea capaz de empacar su producto en papel aluminio, con el fin de reducir los costos de producción. En esta empresa ya hubo una propuesta de automatización, sin embargo, el proyecto no se llevó a su culminación y el problema permanece. En una primera etapa vamos a revisar las falencias que tuvo esta propuesta para poder ofrecer una solución diferente. Posteriormente, se comenzara todo el proceso de diseño y construcción, finalizando con una etapa de pruebas de campo para determinar si la propuesta es funcional o se deben realizar modificaciones.

2. RESUMEN

TÍTULO: Diseño y construcción de un sistema para la envoltura de chocolates.

AUTORES: Cristian Stiven Alvarez Medina, Eduardo Londoño Gerstenbluth, Brayan Smit Ruiz Ruiz.

PALABRAS CLAVES: Automatización, Empacado, Industria Alimenticia, Neumática

DESCRIPCIÓN: El objetivo de este trabajo es realizar el diseño y construcción de un sistema automatizado capaz de realizar el proceso de empackado de una tableta de chocolate producida por la empresa Truffelinos: La Chocolatería. Esto con el fin de disminuir el tiempo que tarda este proceso para aumentar la productividad de la empresa.

Este trabajo se enfoca en realizar el proceso de manera automatizada, manteniendo las características estéticas del producto y buscando un tiempo de empackado de 1 chocolate por minuto. Teniendo en cuenta que el material de empaque es papel aluminio y el diseño debe velar por la seguridad de los operarios.

Durante la etapa de diseño se realizaron diversos procesos de selección para elegir los materiales y componentes teniendo en cuenta factores tanto cuantitativos como cualitativos, terminando en un prototipo funcional, automatizado y confiable, con varios sistemas de seguridad y de las menores dimensiones posibles para adaptarse a las instalaciones de la empresa.

La implementación final consta de un sistema neumático de actuadores lineales que realizan pliegues sobre el papel aluminio cubriendo el chocolate en su totalidad. Adicional a esto, el prototipo cuenta con un sistema de control basado en un microcontrolador que se encarga del funcionamiento general de la máquina y de detener el proceso en

caso de una emergencia.

Concluyendo con una máquina capaz de realizar el proceso de empaclado en 20s, igualando el tiempo que tarda una persona en realizar este proceso de forma manual, manteniendo un diseño estético en el chocolate empaclado. Esto, dejando campo para trabajos futuros de mejorar los diferentes sistemas dentro de la máquina para que pueda operar de manera óptima en una producción de chocolates.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingeniería Mecatrónica

Director: Marco Antonio Jinete

3. ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SYSTEM FOR WRAPPING CHOCOLATE BARS

AUTHORS: Cristian Stiven Alvarez Medina, Eduardo Londoño Gerstenbluth, Brayan Smit Ruiz Ruiz.

KEY WORDS:

Automatization, Wrapping, Food Industry, Pneumatics

DESCRIPTION: This document details the design and construction of an automated system capable of carrying out the wrapping process of a chocolate bar produced by the Truffelinos: La Chocolatería company. with the objective to lower the time it takes for this process and increase the productivity of the company.

This work focuses on carrying out the process in an automated way, maintaining the aesthetic characteristics of the product and seeking a wrapping time of 1 chocolate per minute. Taking into account that the wrapping material is aluminum foil and the design must ensure the safety of the operators.

During the design stage, various selection processes were carried out to choose the materials and components taking into account both quantitative and qualitative factors, ending in a functional, automated and reliable prototype, with various safety systems and the smallest possible dimensions to adapt to the company's facilities.

The final implementation consists of a pneumatic system of linear actuators that make

folds on the aluminum foil, covering the chocolate in its entirety. In addition to this, the prototype has a control system based on a micro controller that is responsible for the general operation of the machine and for stopping the process in case of an emergency.

Concluding with a machine capable of carrying out the packing process in 20 seconds, matching the time it takes for a person to carry out this process manually, maintaining an aesthetic design in the wrapped chocolate. All this, leaving room for future work to improve the different systems within the machine so that it can operate optimally in a chocolate production.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingeniería Mecatrónica

Director: Marco Antonio Jinete

4. GENERALIDADES

4.1. Planteamiento del problema

Como disminuir los tiempos de producción de tabletas de chocolate al implementar un sistema de empaque automatizado.

4.2. Antecedentes del problema

En el 2017, un grupo de estudiantes de la Universidad Piloto de Colombia realizaron su proyecto de grado en Truffelinos. Durante ese trabajo se presentó una solución automatizada al problema de la envoltura de chocolates, en este caso, utilizando un carro que transporta el chocolate y realizaba los respectivos dobleces.

En el documento se concluye con un prototipo capaz de reducir el tiempo de empaquete en un 50 %. Sin embargo, el gerente de la empresa concluyó que esta solución no era efectiva pues en varias ocasiones destruía el producto, por lo que sigue buscando una solución a esta problemática.

4.3. Descripción del problema

El lunes 7 de junio de 2021 se realizó una entrevista con el Señor Leon Gerstenbluth, gerente de la empresa “Truffelinos: La Chocolatería”. Durante esta entrevista se expuso una problemática que ocurre en su proceso de producción. La empresa produce tabletas de chocolates envueltas en papel aluminio con una etiqueta. El proceso de envolver el chocolate en aluminio se realiza de forma manual por distintos motivos: Las máquinas empacadoras que se encuentran en el mercado están diseñadas para empacar cientos de chocolates por minuto, velocidades que no se adaptan a las necesidades de una empresa pequeña (PYME), además los costos de estos equipos son muy altos para dichas empresas. Actualmente, el precio de venta del producto está directamente relacionado a los costos de mano de obra del empaquetado del chocolate. Adicionalmente, el trabajo de envolver los chocolates es un proceso sumamente repetitivo, lo que trae una serie de

problemas de salud a largo plazo, como lo menciona la Asociación chilena de seguridad (ACHS) “Una de las principales consecuencias del trabajo repetitivo son los Trastornos Musculotendíneos conocidos como aquellas patologías que afectan directamente los tejidos blandos, musculatura, tendones, bursas, nervios, como resultado de la ejecución constante un mismo movimiento”. [3].

4.4. Formulación del problema

¿Como se puede automatizar el proceso de envoltura de chocolates para que se adapte a las necesidades de una empresa productora pequeña de chocolates?

4.5. Línea de investigación del programa

Línea de automatización y domótica.

5. JUSTIFICACIÓN

En Colombia existen muchos fabricantes de chocolates que empaican sus productos a mano, lo cual trae una serie de desventajas cuando se comparan con un sistema de empaclado automatizado, como un aumento tanto en los costos como en los tiempos de producción. Sin embargo las máquinas que se encuentran en el mercado actualmente son económicamente inaccesibles para estos fabricantes, lo que nos lleva a pensar en una solución. Por esto, con el diseño de esta máquina se plantea una propuesta económicamente accesible a estas empresas para lograr aumentar su productividad.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Diseñar y construir un sistema automatizado para la envoltura de chocolates en papel aluminio.

6.2. Objetivos Específicos

1. Diseñar y construir una estructura mecánica que permita la integración de los diferentes componentes para la correcta envoltura del chocolate.
2. Implementar un sistema electrónico para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina.
3. Diseñar e implementar un algoritmo de control que permita empacar chocolates de forma adecuada.
4. Comprobar el funcionamiento de la máquina en campo.

7. ALCANCES Y LIMITACIONES

7.1. Alcances

El proyecto está enfocado en la envoltura en papel aluminio del producto llamado “Rayitas” producido por la empresa “Truffelinos: La Chocolatería”. Se desarrollará e implementará un prototipo funcional basado en las necesidades de empaque que tiene actualmente la empresa.

7.2. Limitaciones

Durante el transcurso de este proyecto no se realizará un modelo matemático de la máquina. Por lo tanto, el sistema de control solamente se refiere a su funcionamiento. Las rayitas, adicional al aluminio que las envuelve, van con una etiqueta de papel normalmente impresa. En este trabajo solo se tendrá en cuenta la envoltura de aluminio, dejando de lado la automatización del proceso de poner esta etiqueta. Por otro lado, el prototipo diseñado durante este trabajo no tendrá en cuenta la normativa para el manejo de alimentos. Además, la máquina solo será capaz de empacar un chocolate por minuto y esta estará diseñada para trabajar en las condiciones ambientales de

las instalaciones internas de la empresa sin estar expuesta a condiciones extremas de temperatura ni de humedad y no estará diseñada para operar bajo la lluvia.

8. ESTADO DEL ARTE

Actualmente existen muchas empresas dedicadas a la producción de dulces y chocolates. Para lograr estos niveles de automatización, empresas como Schubert se dedican exclusivamente al diseño y producción de máquinas para los procesos de manufactura de dulces y chocolates. A continuación, se muestran una serie de ejemplos.

La empresa Loesch Verpackungstechnik GmbH, presentó en la Interpack un equipo de envoltura en una sola línea capaz de envolver una amplia gama de chocolates pequeños a una velocidad de hasta 600 chocolates por minuto.

Figura 1: Maquina W-CH200. Fuente [\[1\]](#)

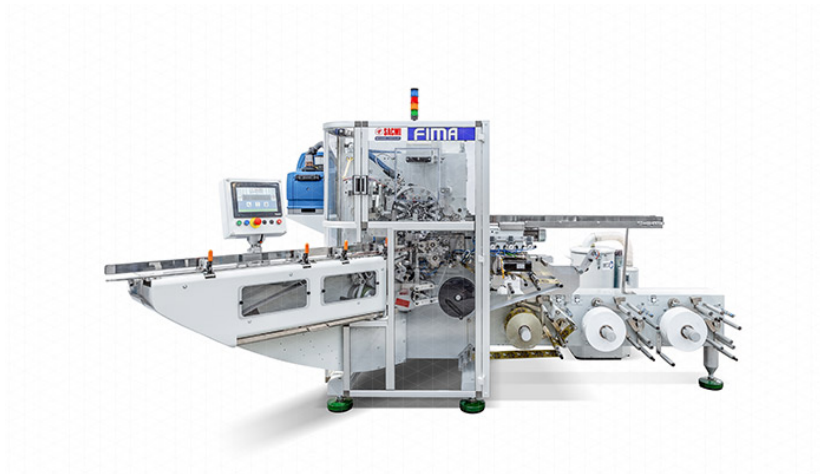


Por otro lado, la empresa Ammar conformada por ingenieros, diseñadores y especialistas del sector manufacturero desarrollaron la W-CH200 Chocolate Wrapping (figura [\[1\]](#)), empleada en el empaquetamiento de diversos chocolates pequeños con una velocidad

de 135 chocolates por minuto y un peso de 650 kg.

Asímismo, la empresa SACMI ofrece máquinas para realizar la envoltura de chocolates y dulces de diferentes maneras. Sus máquinas varían de velocidad en un rango desde los 150 hasta los 1000 productos empacados por minuto [2]. En la figura 2 se observa una de estas máquinas.

Figura 2: Máquina empacadora de la empresa SACMI. Fuente [2]



9. MARCO REFERENCIAL

9.1. Caracterización del producto

En esta sección se caracteriza el chocolate y el aluminio que lo envuelve como punto de partida para el diseño de la máquina.

9.1.1. Tableta de chocolate

La tableta de chocolate analizada en este estudio es la producida por Truffelinos y es llamada rayitas (figura 3). Se escogió este producto por requerimiento de la empresa pues es un producto que se fabrica en grandes cantidades y con una alta demanda. Las rayitas son un bloque de chocolate macizo sin relleno, tiene un peso promedio de 15 g y las dimensiones de la tableta se listan en el cuadro 1.

Figura 3: Tableta de chocolate



Cuadro 1: Características de la tableta de chocolate

Característica	Valor	Unidad
Peso	5	gr
Largo	37.5	mm
Ancho	32	mm
Espesor	5	mm

9.1.2. Papel aluminio

Con el fin de proteger el producto elaborado, este se envuelve en papel aluminio de colores con unas dimensiones de 55 x 100 mm (figura 4). La envoltura debe cubrir la totalidad del chocolate sin dejar partes expuestas y no puede tener dobleces en la cara superior por razones estéticas (figura 5).

9.1.3. Requerimientos de producción

En Truffleinos la Chocolatería, el proceso de empackado se realiza por tres trabajadoras en un horario de tiempo completo, logrando empackar hasta diez tabletas por minuto (alrededor de tres tabletas por persona cada minuto). Sin embargo, por requerimiento de la empresa este prototipo debe empackar al menos un chocolate por minuto, dejando

Figura 4: Papel aluminio utilizado para envolver las tabletas de chocolate



Figura 5: Producto empacado en papel aluminio



campo para futuros trabajos de disminuir este tiempo y lograr superar la barrera de diez chocolates por minuto y lograr disminuir los tiempos de empaquetado.

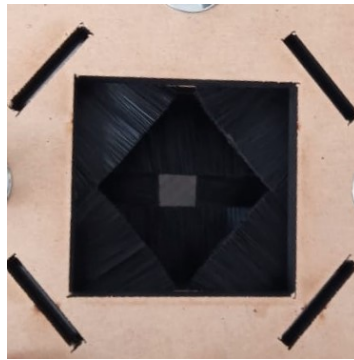
9.2. Pruebas de concepto

Según la conversación realizada con el gerente de la empresa, y una revisión del estado del arte, se determinó que la parte crítica del proceso es realizar el primer pliegue sobre el papel aluminio. Por este motivo, antes de realizar el proceso de diseño se construyeron dos alternativas diferentes para determinar la mejor manera de realizar los pliegues.

9.2.1. Prototipo cepillos

El primer prototipo se realizó con el objetivo de probar el sistema de doblado. Este debe ser capaz de realizar pliegues en el papel aluminio sin romperlo. Para esto se utilizaron cepillos (figura 6) los cuales actúan de forma independiente entre si, adaptándose a la forma del chocolate y asegurando un dobléz firme sin que el papel aluminio se rompa.

Figura 6: Cepillos para el dobléz del aluminio

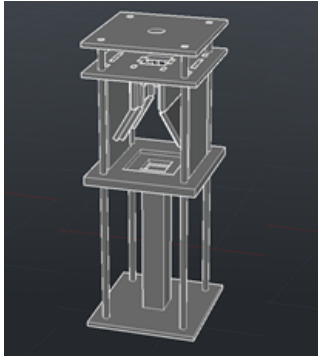


Este sistema mostró resultados favorables, empacando el chocolate de la manera deseada sin romper el papel aluminio.

9.2.2. Prototipo Paredes

Se realiza el diseño y la construcción de un segundo prototipo el cual se diferencia del primero en la forma en que se dobla el papel ya que en este caso no se realiza con cepillos, si no mediante el uso de paredes; la ventaja deriva en que este sistema no requiere de ajustes y desgastes de cepillos a lo largo del tiempo, sin embargo, el molde solo funciona para un tipo de chocolate. A continuación, se muestra el diseño CAD y su construcción física (Figura 7). Teniendo en cuenta las ventajas del este prototipo, se tomó la decisión de descartar el prototipo #1 y continuar el proceso de diseño con el prototipo #2

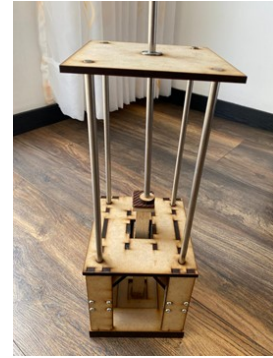
Figura 7: Diseño CAD y fotos del prototipo #2



(a) Diseño CAD del prototipo #2



(b) Prototipo #2



(c) Prototipo #2

9.3. Normatividad

El uso de equipos y utensilios en la industria alimenticia está regido por el decreto 3075 de 1997 en el capítulo II.

”Los equipos y utensilios utilizados en el procesamiento, fabricación, preparación, de alimentos dependen del tipo del alimento, materia prima o insumo, de la tecnología a emplear y de la máxima capacidad de producción prevista. Todos ellos deben estar diseñados, contruidos, instalados y mantenidos de manera que se evite la contaminación del alimento, facilite la limpieza y desinfección de sus superficies y permitan desempeñar adecuadamente el uso previsto”. [4]

En Colombia, la resolución 683 de 2012 [7] por medio de la cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano.

Adicionalmente, los reglamentos (UE) 10/2011 [5] y (UE) No 10/2011 [6] regulan el uso de materiales que entran en contacto con los alimentos.

10. DISEÑO

10.1. Requerimientos de diseño

Con el objetivo de reducir sus tiempos de producción, Truffelinos - la Chocolatería solicitó el diseño de un sistema automatizado para envolver su producto llamado rayitas en papel aluminio. Por requerimiento de la empresa, la máquina debe ser económicamente accesible, debe disminuir los tiempos de producción actuales (al menos una tableta por minuto) y debe cumplir con los estándares para una producción de alimentos, todo esto sin disminuir la estética ni la calidad del producto.

10.2. Diseño Conceptual

Truffelinos: la Chocolatería es consciente de una demora en su proceso de producción en la etapa de empackado del chocolate. Actualmente, esto se realiza de manera manual por lo que la empresa vio necesario el diseño de una máquina que disminuya estos tiempos de producción.

Después de una revisión de las máquinas empackadoras de chocolate que se encuentran en el mercado, se decidió realizar un sistema de actuadores neumáticos, económicamente accesible, capaz de envolver el papel aluminio de manera rápida y consistente, sin realizar ningún doblez en la cara superior del chocolate para conservar la estética del producto, ofreciendo un sistema de calidad, robusto, fácil de usar y de bajo costo de mantenimiento, aumentando la productividad de la empresa al reducir los tiempos de empackado del producto.

Además, se solicitó que las dimensiones de la máquina sean las menores posibles para una fácil instalación.

10.3. Diagramas de funcionamiento

En la figura 8 se muestra un diagrama de flujo del funcionamiento general de la máquina, en la figura 9 se detalla de manera visual el proceso separado por los diferentes componentes de la máquina.

Figura 8: Diagrama del proceso

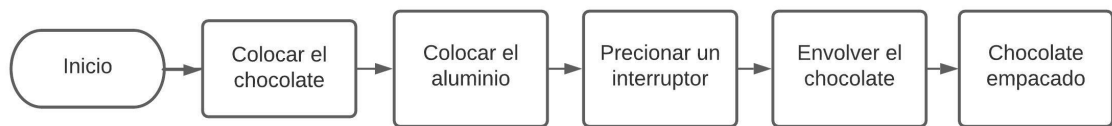
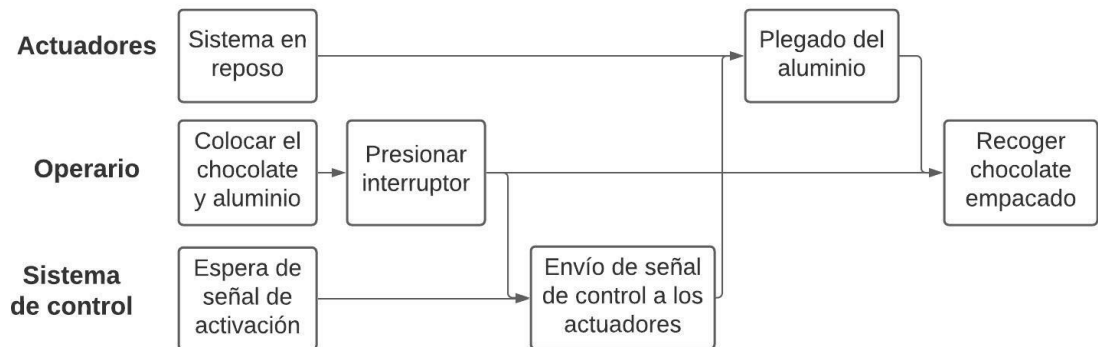


Figura 9: Diagrama del proceso



10.4. Metodología de toma de decisiones

Metodología de selección El proceso de selección tomará en cuenta criterios cualitativos y cuantitativos para la toma de decisiones. Para los criterios cualitativos se realizarán análisis cualitativo ponderados. Cuando se requiera un análisis cuantitativo se utilizarán expresiones matemáticas acorde al problema.

Selección de criterios A continuación se muestran los criterios a tener en cuenta en el proceso de selección de materiales, esto con el fin de cumplir los requerimientos de

diseño descritos anteriormente. Para cada criterio se asigna un valor de peso correspondiente a la importancia que tiene para este proyecto.

Los factores de peso se dan en una escala de 0-5, siendo 0 para un criterio nada importante y 5 para uno de suma importancia. Adicionalmente se define una escala de satisfacción de los criterios de 0-10 donde 0 significa que no satisface de ninguna manera y 10 donde satisface en su totalidad.

Los criterios escogidos se listan a continuación:

- **Velocidad:** Es necesario tener en cuenta la velocidad de funcionamiento del sistema, pues el objetivo es reducir el tiempo de producción. Por esto un sistema mas rápido recibirá una calificación mayor.
- **Costo:** El sistema debe ser económicamente accesible para pequeñas y medianas empresas, por lo que un sistema económico recibirá una calificación superior.
- **Facilidad de uso:** Es un criterio importante durante este proceso. Dificultades a la hora de utilizar la máquina puede resultar en un mayor consumo de tiempo. Por esto, a mayor facilidad, mayor puntaje.
- **Facilidad de implementación:** Criterio que establece la facilidad de producir la máquina, una implementación compleja puede resultar en costos mayores. Una implementación sencilla recibirá mayor calificación.
- **Facilidad de mantenimiento:** Es importante que realizar procesos de mantenimiento en la máquina sea lo mas sencillo posible, se otorga menor puntaje si el mantenimiento es costoso y complejo.
- **Durabilidad:** Los componentes que se utilicen deben tener una durabilidad alta para disminuir costos y comprometer de esta manera la productividad al tener que realizar procesos de mantenimiento constantemente. Por este motivo, una durabilidad alta recibirá calificación alta.

- **Precisión y exactitud:** El sistema debe ser capaz de envolver un gran número de unidades presentando muy pocos errores que causen el deterioro o destrucción del producto. Por esto es necesario tener en cuenta la precisión y exactitud del sistema, otorgando calificaciones altas para sistemas muy precisos y muy exactos.'
- **Seguridad:** Es prioritaria la seguridad de los operarios de la máquina, así como la de todos los trabajadores de la empresa. Por esto se puntuará mas alto aquellos sistemas que velan por la seguridad de los trabajadores.
- **Capacitación:** La máquina no debe requerir de una capacitación extensa para lograr operar la máquina, generando sobre costos por capacitaciones constantes. Por esto sistemas fáciles de enseñar a usar recibirán una mayor calificación.

En el cuadro 2 se detallan los pesos otorgados a cada criterio de selección.

Cuadro 2: Detalle de pesos por criterio

Criterio	Peso
Velocidad	5
Costo	5
Facilidad de uso	3
Facilidad de implementación	3
Facilidad de mantenimiento	3
Durabilidad	4
Precisión y exactitud	4
Seguridad	5
Capacitación	2

Cabe resaltar que no se utilizarán todos los criterios para cada una de las decisiones a tomar, en cada caso se utilizarán los criterios que apliquen con los sistemas a evaluar. El proceso de selección se detalla en la figura 10. La ponderación se realiza utilizando la formula $\frac{\sum p*c}{\sum p}$ donde p es el peso y c la calificación.

Figura 10: Proceso de selección



10.4.1. Selección de materiales

A continuación se realiza el proceso de selección del material para la estructura de la máquina. Las alternativas analizadas se listan a continuación:

- Acero inoxidable
- Aluminio
- MDF
- Aglomerado de madera

Y los criterios a tener en cuenta son:

- Costo
- Durabilidad
- Facilidad de mantenimiento
- Facilidad de implementación

En el cuadro 3 se detallan las calificaciones otorgadas en esta categoría, así como los resultados de la ponderación y se observa resaltada la alternativa que puntuó mas alto. Cabe resaltar que esta selección es para el material del que estará construido el prototipo y es necesario realizar un nuevo proceso de selección cuando se construya la máquina final.

Cuadro 3: Selección cualitativa para la selección del material para la estructura

Categoría	Peso	Calificación			
		Acero inoxidable	Aluminio	MDF	Aglomerado
Costo	5	2	4	8	3
Durabilidad	4	8	6	2	2
Facilidad de mantenimiento	3	5	5	7	5
Facilidad de implementación	3	2	2	6	3
Total / Ponderación	15	4.2	4.3	5.8	3.1

10.4.2. Selección de actuadores

En esta sección se detalla el proceso de selección de los actuadores utilizando el método de selección descrito anteriormente. Para esto, se evaluaron las siguientes alternativas:

- Motores Paso a Paso
- Servomotores
- Actuadores Neumáticos

Y los criterios que se tienen en cuenta en este proceso son:

- Velocidad
- Costo
- Facilidad de uso
- Facilidad de implementación
- Facilidad de mantenimiento
- Durabilidad

- Precisión y exactitud
- Seguridad
- Capacitación

En el cuadro 4 se detallan las calificaciones otorgadas en esta categoría, así como los resultados de la ponderación y se observa resaltada la alternativa que obtuvo un mayor puntaje. Estas calificaciones se otorgaron en base a la aplicación que van a tener estos actuadores dentro de la máquina y no en sus capacidades en una situación general.

Cuadro 4: Selección cualitativa para la selección de los actuadores

Categoría	Peso	Calificación		
		Paso a Paso	Servomotor	Neumática
Velocidad	5	3	4	7
Costo	5	8	4	3
Facilidad de uso	3	3	5	8
Facilidad de implementación	3	3	3	5
Facilidad de mantenimiento	3	4	4	6
Durabilidad	4	5	4	8
Precisión y Exactitud	4	5	3	7
Seguridad	5	8	8	3
Capacitación	2	5	5	5
Total / Ponderación	34	5.1	4.5	5.6

Para justificar las calificaciones otorgadas para el criterio de velocidad y el de precisión es la siguiente.

Para el criterio de velocidad se otorgó una calificación mayor a los actuadores neumáticos por dos razones principales: la primera es que todos los movimientos que se requieren son lineales y, por este motivo, al utilizar motores paso a paso o servomotores es necesario tener un mecanismo de conversión de movimiento rotacional en lineal, y esto trae reducciones de velocidad. La segunda es que la regulación de velocidad de los actuadores neumáticos es considerablemente mas sencilla de realizar.

Para el criterio de precisión y exactitud, se consideró el hecho de que la construcción interna de los actuadores lineales no permiten movimientos mayores a su carrera (teniendo en cuenta las tolerancias correspondientes). Al utilizar otros tipos de actuadores se deben tener sistemas adicionales que garanticen una precisión y exactitud altas.

Por estos motivos se otorgaron las calificaciones detalladas en el cuadro 4.

10.4.3. Selección del sistema de control

Para asegurar un buen funcionamiento de la máquina se realiza un proceso de selección para el sistema de control a utilizar. Para esto, se seleccionaron las siguientes alternativas:

- PLC
- Microcontrolador
- Arduino

Y los criterios a tener en cuenta son:

- Costo
- Facilidad de uso
- Facilidad de implementación
- Facilidad de mantenimiento
- Durabilidad
- Seguridad
- Capacitación

En el cuadro 5 se detallan las calificaciones otorgadas en esta categoría, así como los resultados de la ponderación y se observa resaltado la alternativa que puntuó mas alto.

Cuadro 5: Selección cualitativa para la selección del sistema de control

Categoría	Peso	Calificación		
		PLC	Microcontrolador	Arduino
Costo	5	2	8	6
Facilidad de uso	3	2	4	8
Facilidad de implementación	3	4	4	8
Facilidad de mantenimiento	3	3	4	6
Durabilidad	4	8	6	2
Seguridad	5	8	5	2
Capacitación	2	2	5	8
Total / Ponderación	25	4.5	5.4	5.2

10.4.4. Resultados del proceso de selección

Los procesos de selección realizados dan el punto de partida para comenzar el proceso de diseño de la máquina. En el cuadro **6** se detallan las alternativas elegidas por el proceso de selección que serán utilizadas. Cabe resaltar que estos materiales se utilizarán para la construcción de un prototipo funcional. Sin embargo, si se desea construir para la operación dentro de una producción alimenticia es necesario un nuevo proceso de selección siguiendo la normatividad correspondiente.

Cuadro 6: Resumen del proceso de selección

Categoría	Alternativa seleccionada
Material estructura	MDF
Actuadores	Neumáticos
Sistema de control	Microcontrolador

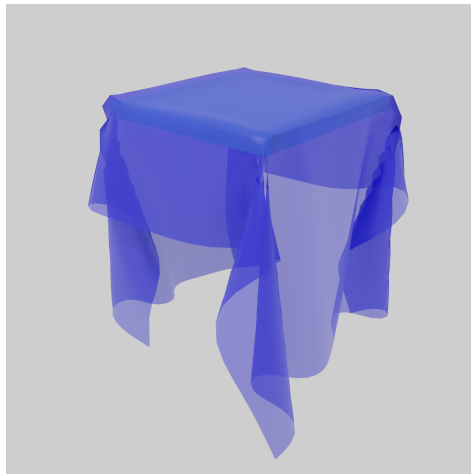
10.5. Sistema de plegado

Para lograr el objetivo de envolver la tableta de chocolate se proponen cinco dobleces sobre el papel aluminio. Los cuales se detallan a continuación.

10.5.1. Paso 1

El proceso empieza colocando el papel aluminio sobre la tableta de chocolate, que a su vez se coloca en una matriz de posicionamiento en la base de la máquina. El resultado de este doblez es el aluminio quedando en forma de “mantel” (figura 11). Este doblez tiene dos objetivos. El primero es que la parte superior del chocolate quede sin pliegues visibles, el segundo es que permite que el papel aluminio tome la forma del chocolate sin importar las pequeñas imperfecciones que éste puede presentar.

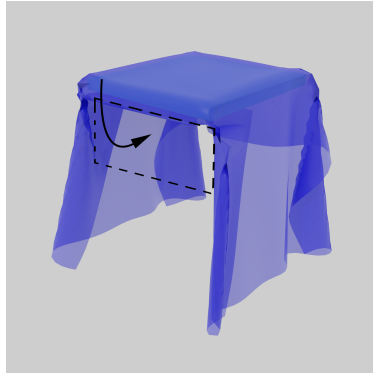
Figura 11: Pliegue 1



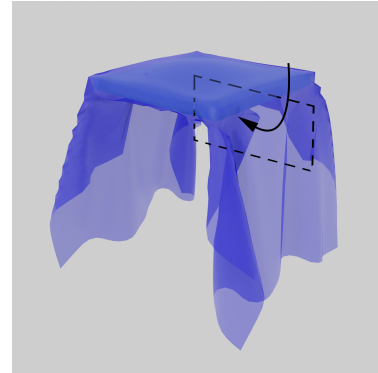
10.5.2. Paso 2 y 3

Los pliegues 2 y 3 se encargan de doblar los lados izquierdo y derecho de este “mantel” (figura 12). Estos dos se realizan de manera simultanea.

Figura 12: Pliegue 2 y 3



(a) Pliegue 2

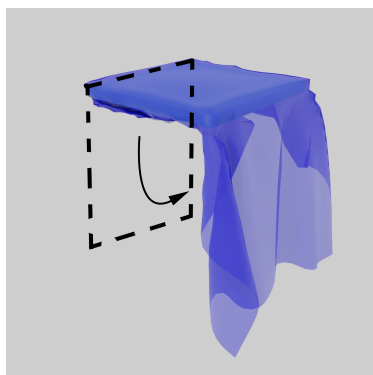


(b) Pliegue 3

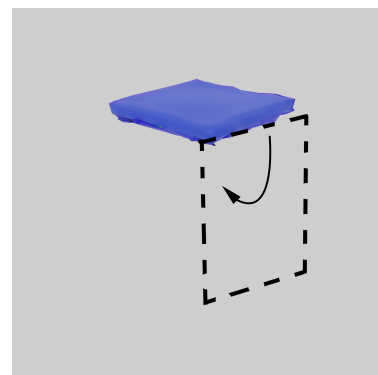
10.5.3. Paso 4 y 5

Los pliegues 4 y 5 se encargan de terminar de envolver el chocolate, creando una segunda capa de protección en el lado inferior del mismo, evitando que se desdoble por si solo (figura 13).

Figura 13: Pliegue 4 y 5



(a) Pliegue 4

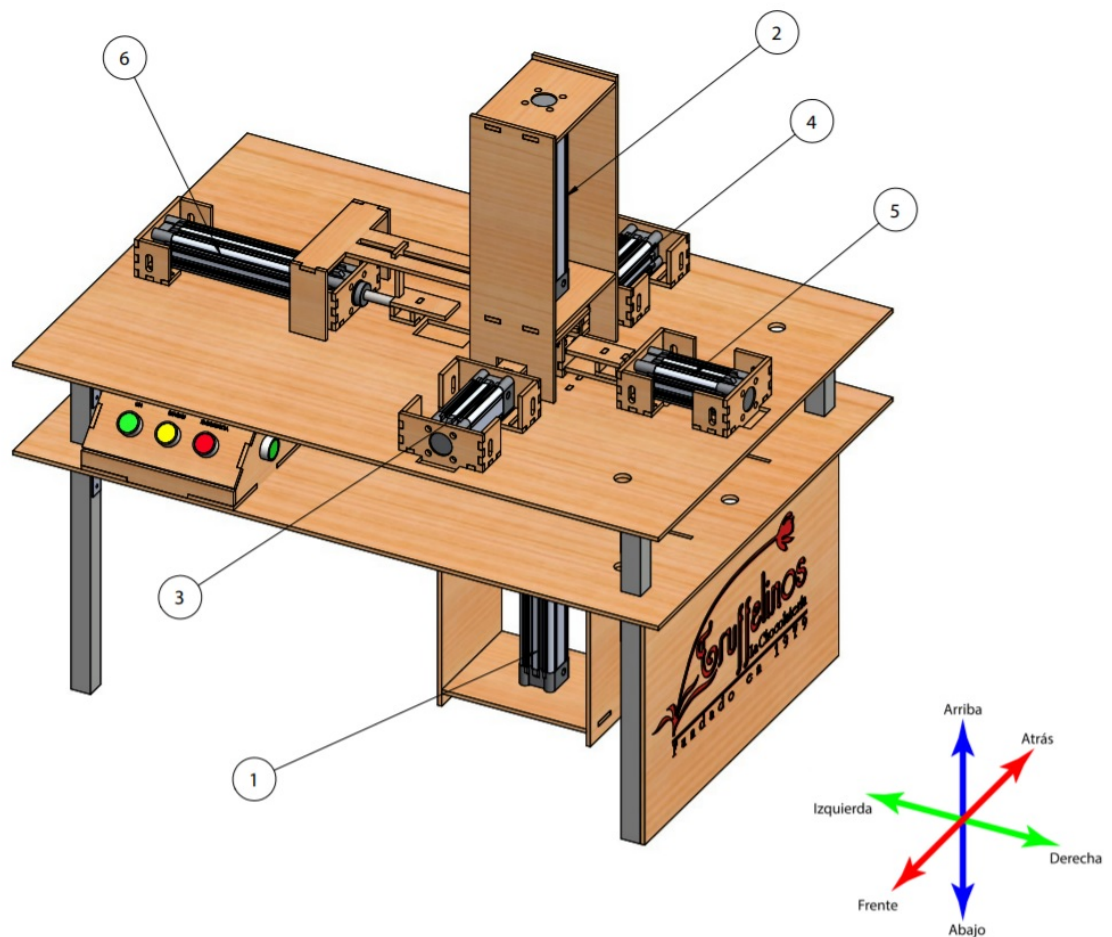


(b) Pliegue 5

10.6. Detalle de movimientos

Antes de definir los movimientos, en la figura 14 se define el sistema de coordenadas a utilizar y la numeración de los actuadores utilizados. Cabe resaltar que el operario de la máquina debe poner la tableta de chocolate y el papel aluminio en posición para ser envuelto de forma manual, esto se debe realizar antes de comenzar el proceso de empackado.

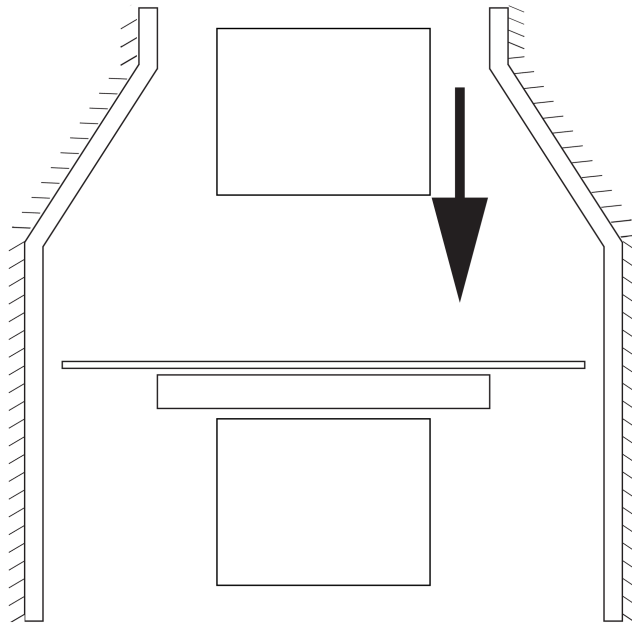
Figura 14: Numeración Actuadores



Teniendo en cuenta los dobleces descritos anteriormente se pueden definir los mo-

vimientos requeridos para lograr estos pliegues. El desplazamiento está basado en las dimensiones del chocolate y del aluminio. El resumen de los movimientos se pueden ver en el cuadro 7. Es necesario que exista un elemento de soporte que sujete el papel aluminio y el chocolate en posición, sin obstruir el mecanismo encargado de realizar el dobléz #1. Para esto se, propone que un elemento descienda y aprisione el papel aluminio al chocolate, como se muestra en la figura 15. Este movimiento requiere un desplazamiento de 160 mm.

Figura 15: Movimiento 1



Luego, se realiza el primer dobléz. Para esto, se propone utilizar una serie de paredes que se encargan de doblar el aluminio alrededor del chocolate (figura 16). Este movimiento requiere de un desplazamiento de 160 mm (Espacio suficiente para colocar el chocolate y el papel aluminio en posición para comenzar el proceso).

Antes de realizar mas dobleces y posterior al siguiente paso, una pinza sujeta el chocolate luego de pasar por las paredes (figura 17a), permitiendo que la base que sostiene el chocolate y el aluminio se retire dejando descubierto el lado inferior del chocolate (figura 17b). Este movimiento requiere un desplazamiento de 160 mm.

Figura 16: Movimiento 2

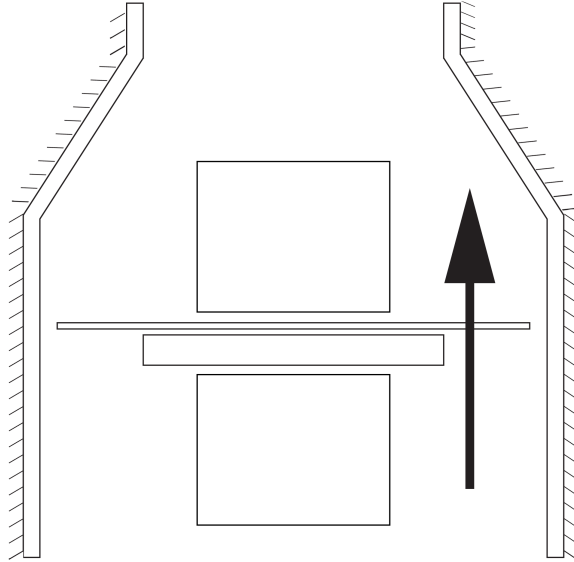
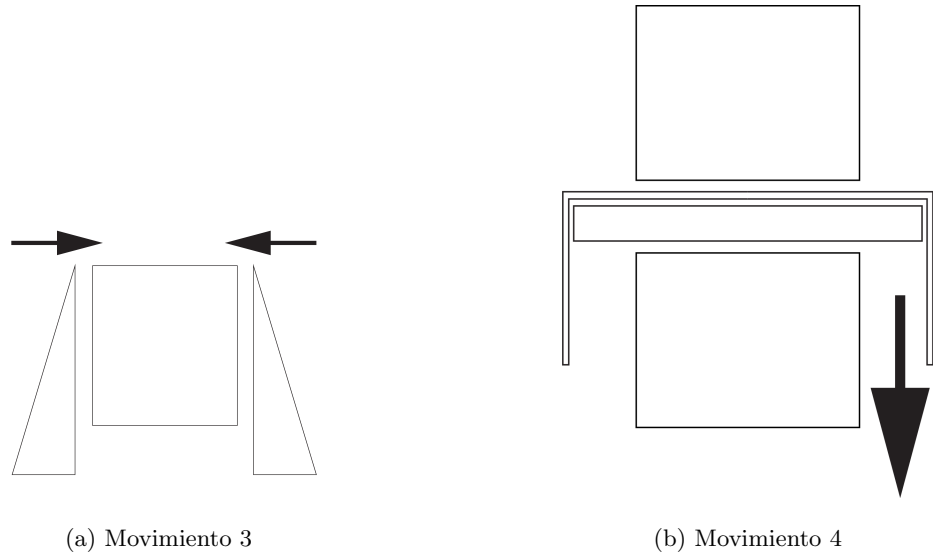


Figura 17: Movimiento 3 y 4



Luego, se realiza el doblado por el lado derecho y izquierdo del chocolate. Este movimiento requiere de 40mm para el actuador derecho (figura 19) y 160mm (figura 18a) para el actuador izquierdo.

A continuación, se realizan dobleces por el lado delantero y trasero del chocolate,

haciendo uso de unas paletas de MDF (figura 19). Estos dos movimientos se realizan de forma simultánea con el fin de reducir el tiempo de doblez y cada uno de estos movimientos requieren de un desplazamiento de 40mm.

Posteriormente, el actuador 1 avanza para aplanar todos los dobleces realizados (20a). Esto se realiza con la finalidad de mejorar la estética de los dobleces. El proceso acaba por abrir la pinza (figura 20b) y regresar el actuador 1 a su posición original figura 21).

Figura 18: Movimiento 5 y 6

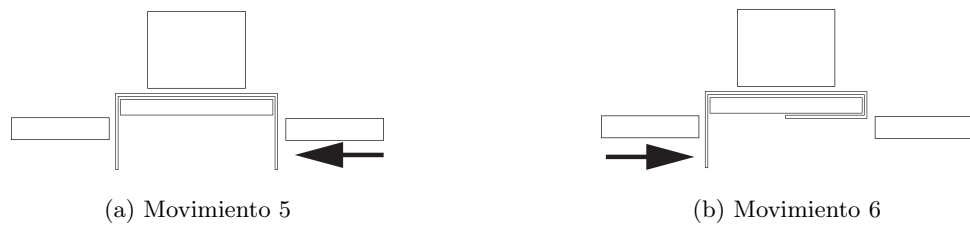


Figura 19: Movimiento 7

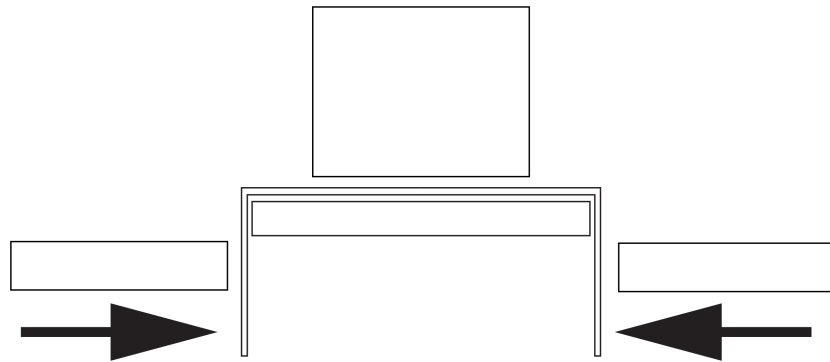


Figura 20: Movimiento 8 y 9

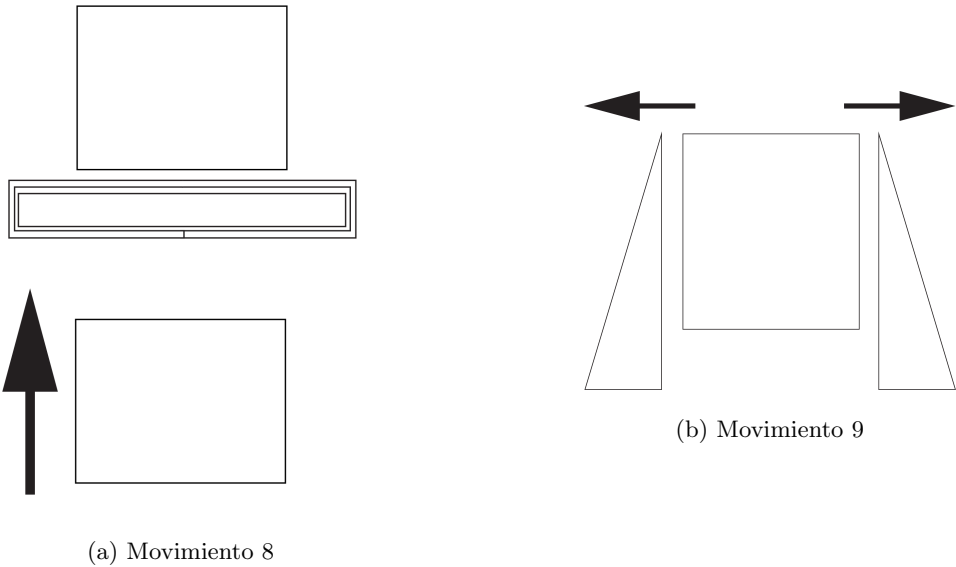
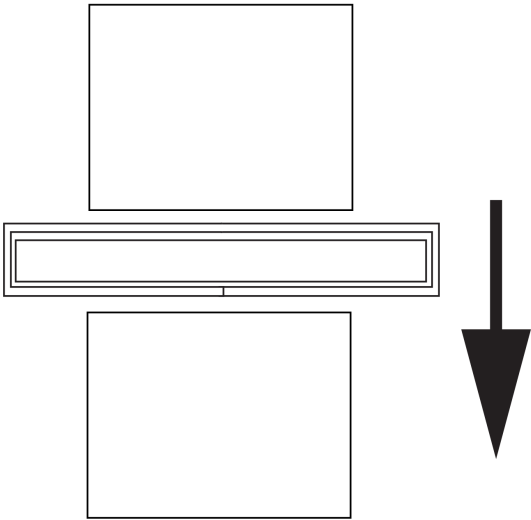


Figura 21: Movimiento 10



Cuadro 7: Resumen de movimientos

Número	Actuador	Desplazamiento (mm)	Dirección
1	2	160	salir
2	1 y 2	160	1 salir, 2 entrar
3	Pinza	-	cerrar
4	1	160	entrar
5	5	40	salir y entrar
6	6	40	salir y entrar
7	3 y 4	40	salir y entrar
8	1	160	salir
9	Pinza	-	abrir
10	1	160	entrar

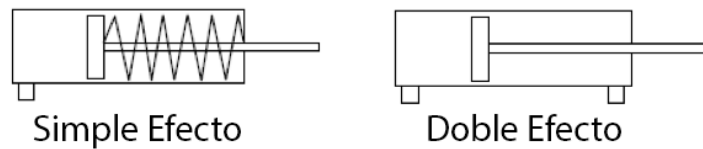
10.7. Selección de Actuadores Neumáticos

Los actuadores neumáticos son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo. Según A. Brunete, P. S. Segundo y R. Herrero en el capítulo 2.3 de su libro Introducción a la automatización industrial [8], unas de las principales características de estos sistemas son:

- Permite transportar y almacenar fácilmente la potencia mecánica.
- No necesita circuito de retorno ya que la salida puede expulsarse al aire directamente.
- Es limpio y no contamina.
- No es muy sensible a la temperatura y es antideflagrante.
- La fuerza que es capaz de desarrollar es limitada (depende de la presión y el caudal entre otras cosas).
- El hecho de que el fluido sea comprensible limita la calidad de los movimientos realizables.

Los actuadores neumáticos se pueden clasificar de diferentes maneras. Las más comunes son por el tipo de movimiento que generan, este puede ser lineal o rotatorios. También se pueden clasificar por su construcción interna (figura 22), estos pueden ser de simple efecto, donde el avance se realiza por acción del aire comprimido y el retroceso se realiza por medio de un resorte; También pueden ser de doble efecto, donde tanto el avance y el retroceso se realiza por medio de la acción del aire comprimido.

Figura 22: Tipos de actuadores lineales



Los actuadores de doble efecto, a diferencia de unos de simple efecto, tienen la ventaja de ejercer mayor fuerza al avanzar, pues no tienen un resorte que genera fuerzas en la dirección opuesta al movimiento. Además, tienen mayor posibilidad de control al poder regular el flujo de aire tanto al avance como al retroceso.

Con el fin de tener mayor control sobre el movimiento de los actuadores, se elige el uso de actuadores de doble efecto. A continuación se realiza un proceso de selección entre tres proveedores de actuadores neumáticos, en esta oportunidad no se tomarán en cuenta los pesos de los criterios y las calificaciones se otorgan en un rango de 0 a 10. Las alternativas a tener en cuenta son:

- XCPC
- Festo
- Emerson

Y los criterios a utilizar son:

- Costo
- Durabilidad
- Seguridad
- Capacitación
- Facilidad de mantenimiento
- Disponibilidad (Se agrega este criterio para realizar un mejor proceso de selección)

En el cuadro 8 se detallan las calificaciones otorgadas para cada criterio de selección.

Cuadro 8: Selección de actuadores neumáticos

Criterio	Valor		
	XCPC	FESTO	EMERSON
Costo	8	2	2
Durabilidad	4	8	8
Seguridad	8	8	8
Asesoría	5	8	8
Facilidad de mantenimiento	5	5	5
Disponibilidad	8	3	2
TOTAL (suma)	38	34	33

Teniendo en cuenta la cercanía de las calificaciones totales, se decide adquirir actuadores XCPC por su menor costo. Debido a las longitudes de los movimientos requeridas, es necesario el uso de actuadores doble efecto pues en el mercado no se encuentran actuadores de simple efecto con desplazamientos mayores a los 50mm. En el cuadro 9 se detallan las características de los actuadores adquiridos.

10.8. Válvulas

Las válvulas neumáticas son dispositivos que tienen como función principal controlar, distribuir y dirigir el aire comprimido hacia diferentes tipos de componentes neumáticos

Cuadro 9: Características de los actuadores

Característica	Valor
Tipo de actuador	Doble efecto
Referencia	DNC - 32x40-S y DNC - 32x160-S
Límites de presión	0.05 - 1 MPa
Carrera	40 y 160 mm
Diámetro del vástago	12.2 mm

para que realicen funciones dentro de un circuito neumático.

Tipos de válvulas mas comunes

Válvula 2/2 (2 vías y 2 posiciones) Estas válvulas funcionan como una llave de paso, cuando se activa la válvula ambas vías se unen permitiendo el flujo de aire comprimido y cuando se cierra se corta el paso del aire.

Válvula 3/2 (3 vías y 2 posiciones) Este tipo de válvula cuenta con 3 vías, por la vía 1 ingresa el flujo de aire comprimido a la válvula, al ser activada permite el flujo de aire hacia el interior del circuito, una vez desactivada las vías 2 y 3 se conectan permitiendo la salida de aire comprimido proveniente del circuito.

Válvula 5/2 (5 vías y 2 posiciones) Esta válvula permite que cada posición posea un escape, lo que permite que se pueda regular la velocidad de entrada y salida de forma independiente de un cilindro de doble efecto.

Válvula 5/3 (5 vías y 3 posiciones) Este tipo de válvula es similar a la 5/2, solo que cuenta con una posición central adicional, lo cual le permite a un cilindro doble de efecto adoptar esta posición.

10.9. Tipos de accionamiento

Accionamiento manual El accionamiento manual lo realiza un operador quien es el encargado de decidir cuando quiere que se active o no. Este tipo de accionamiento se puede hacer mediante un pulsador, una palanca o un pedal.

Accionamiento mecánico Este tipo de accionamiento surge cuando se presenta alguna acción mecánica la cual hace que se active la válvula, un ejemplo son las levas o rodillos como un final de carrera, al momento que se activa el rodillo se produce un cambio en la posición de la válvula.

Accionamiento neumático Como dice su nombre estas válvulas son accionadas gracias a la neumática, por lo que es necesaria la presencia de aire comprimido para su funcionamiento. El aire al ejercer presión sobre el puerto de control produce movimiento permitiendo el paso de aire en una y otra dirección.

Accionamiento eléctrico Este tipo de accionamiento requiere de un circuito eléctrico para ser activadas, normalmente la conmutación la genera un dispositivo eléctrico como por ejemplo un relé. A la hora de implementar este tipo de accionamiento es importante conocer el voltaje y el tipo de corriente a usar dentro del proceso.

Teniendo en cuenta los movimientos mencionados en la sección [10.6](#) y el uso de cilindros de doble efecto. Se elige el uso de válvulas 5/2 con accionamiento eléctrico. En el cuadro [10](#) se detallan las características de las válvulas adquiridas. Se decidió adquirir válvulas de marca XCPC puesto que el proveedor nos ofrecía tanto actuadores como válvulas además que tenemos la confiabilidad de usar la misma marca.

10.10. Circuito

Según los resultados del análisis de selección hecho en la sección [10.4.3](#) se determinó utilizar un microcontrolador para el control de los actuadores. Se realizó un proceso de

Cuadro 10: Características de las válvulas

Característica	Valor
Tipo de válvula	5/2
Accionamiento	Electrónico y manual
Retorno	Muelle
Referencia	4V210-08
Límites de presión	0.15 - 0.8 MPa

selección para elegir el microcontrolador a implementar.

Se analizaron tres alternativas de microcontroladores:

- PIC 18F4550
- ATMEGA 328p
- PIC 16F628

Para este proceso de selección, además de los criterios antes mencionados, se agregaron otros para realizar una mejor selección. Esta selección no tiene en cuenta los pesos y los rangos de calificación se otorgan de 0 a 10. En el cuadro [11](#) se detallan los criterios utilizados y las calificaciones otorgadas.

Según los resultados del análisis se toma la decisión de utilizar el PIC18F4550 en gran medida por la alta familiaridad que se tiene con este dispositivo. En la figura [23](#) se muestra el esquema completo del circuito implementado.

Seguridad Con motivo de aumentar la seguridad de los operarios al utilizar la máquina y por requerimiento de la empresa, el inicio del ciclo se realizará utilizando dos pulsadores en serie que no se puedan oprimir con una sola mano. Esto garantiza que el operario tiene las dos manos ocupadas, disminuyendo el riesgo a accidentes. Además, el circuito cuenta con un botón de emergencia, el cual corta la energía a toda la máquina. Para implementar este circuito se realizaron pruebas en una protoboard con en fin de

Cuadro 11: Selección de microcontrolador

Criterio	Valor		
	PIC 18F4550	ATMEGA 328p	PIC 16F628
Costo	4	6	7
Numero de pines	8	4	4
Tamaño	4	8	8
Familiaridad con el dispositivo	8	2	4
Facilidad de implementación	5	5	5
Durabilidad	8	4	6
Capacidad de memoria	8	4	4
TOTAL (suma)	45	33	38

comprobar el correcto funcionamiento de todos los componentes. Posteriormente, se realizó el montaje del circuito en una baquela universal y se diseñó una PCB (figura 24) para la implementación final.

Luego de realizar la implementación en una protoboard se midió la corriente consumida tanto en stand-by como en circuito activo. en el cuadro 12 se muestran los resultados de esta medición.

Cuadro 12: Resultados de la medición de corrientes

Experimento	Valor
Stand-by	36.17 mA
Circuito Activo	217 mA

10.11. Algoritmo

Para realizar los pliegues detallados en la sección 10.5 se diseñó un algoritmo que permita realizar los movimientos necesarios además de velar por la seguridad del operario. En primera instancia y según los movimientos descritos en la sección 10.6 podemos

Figura 23: Esquema del circuito implementado

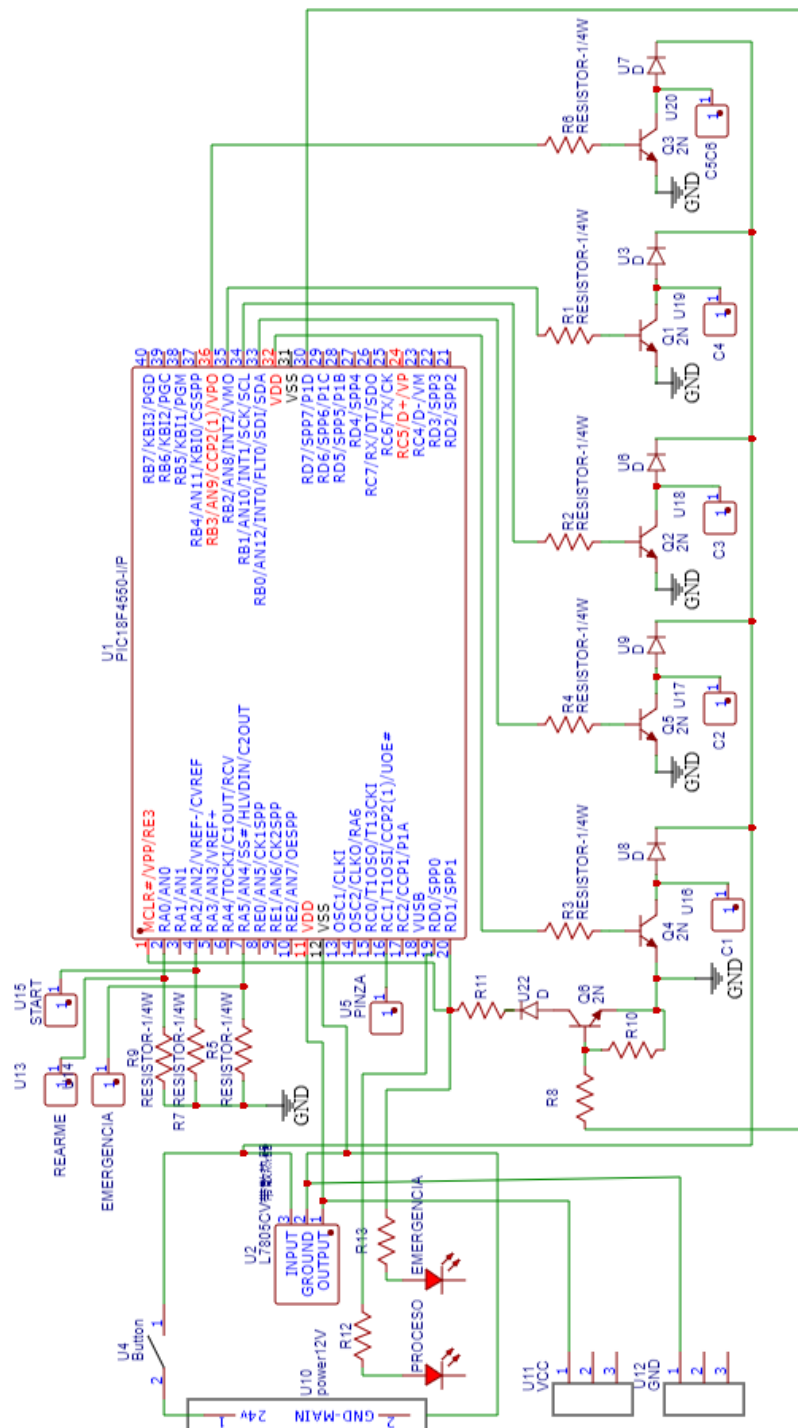
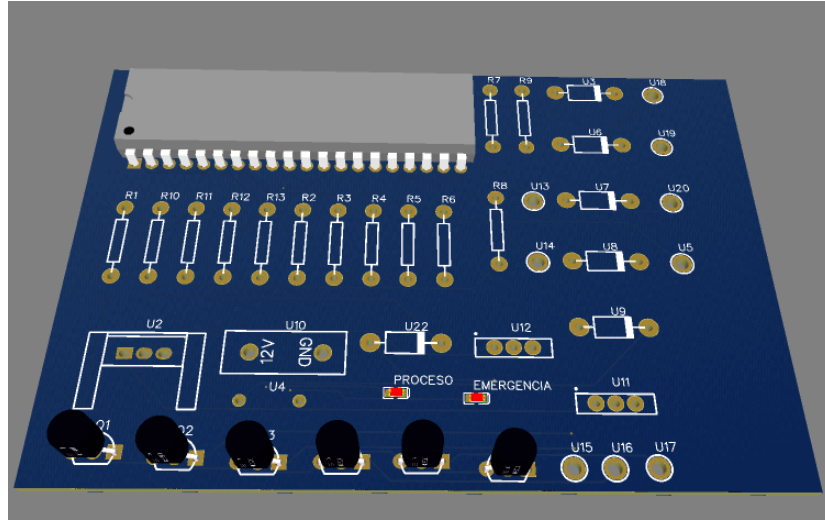


Figura 24: Render de la PCB diseñada



definir la siguiente ecuación de movimiento:

$$2+; \binom{1}{2}+; P+; 1-; \binom{3}{4}+; \binom{3}{4}-; 5+; 5-; 6+; 6-; 1+; 1-; P-; \quad (1)$$

donde:

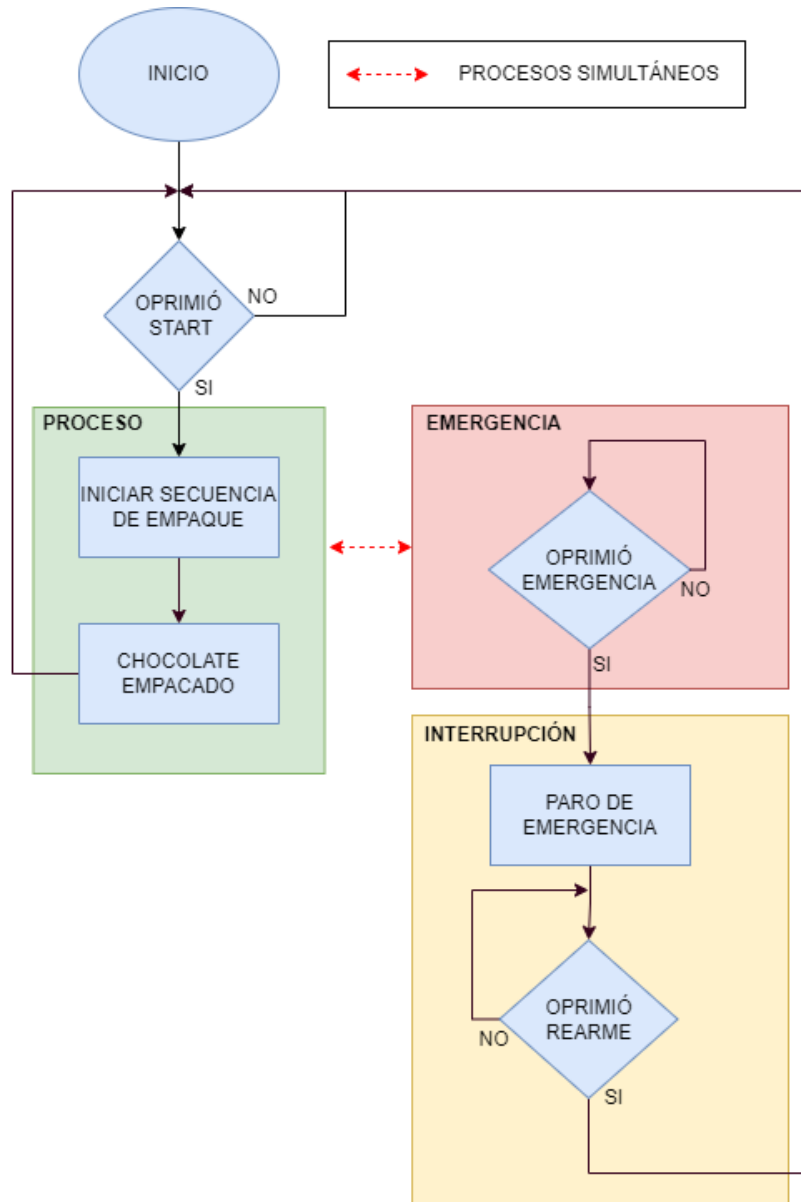
- 1-6 son los actuadores numerados en la figura [14](#)
- P es la pinza

Para realizar esto, el algoritmo tiene una pausa después de realizar cada movimiento para evitar que los actuadores colisionen entre si o con el chocolate.

Para evitar posibles accidentes durante la operación de la máquina, se implementó un botón de emergencia, el cual interrumpe el funcionamiento de la máquina y bloquea la máquina. Una vez el botón de emergencia se libera, es necesario oprimir un segundo botón para reiniciar la máquina y desbloquearla. En la figura [25](#) se muestra el diagrama de flujo que representa este algoritmo en su totalidad.

Implementación Para la implementación de este algoritmo se programó un microcontrolador PIC18F4550. A falta de la posibilidad de realizar dos procesos simultáneos en

Figura 25: Diagrama de flujo del algoritmo



en microcontrolador, se implementó una función de interrupción la cual se ejecuta cada 1ms para evaluar el estado del botón de emergencia y, de ser el caso de estar oprimido, detiene el proceso hasta que se realice la secuencia: Desactivar el botón de emergencia y presionar el botón de rearme. Adicional a esto, se agregaron unos indicadores LED para cada estado del proceso: En funcionamiento, estado de emergencia, estado de rearme.

El código que corre este algoritmo se puede ver en el anexo 1.

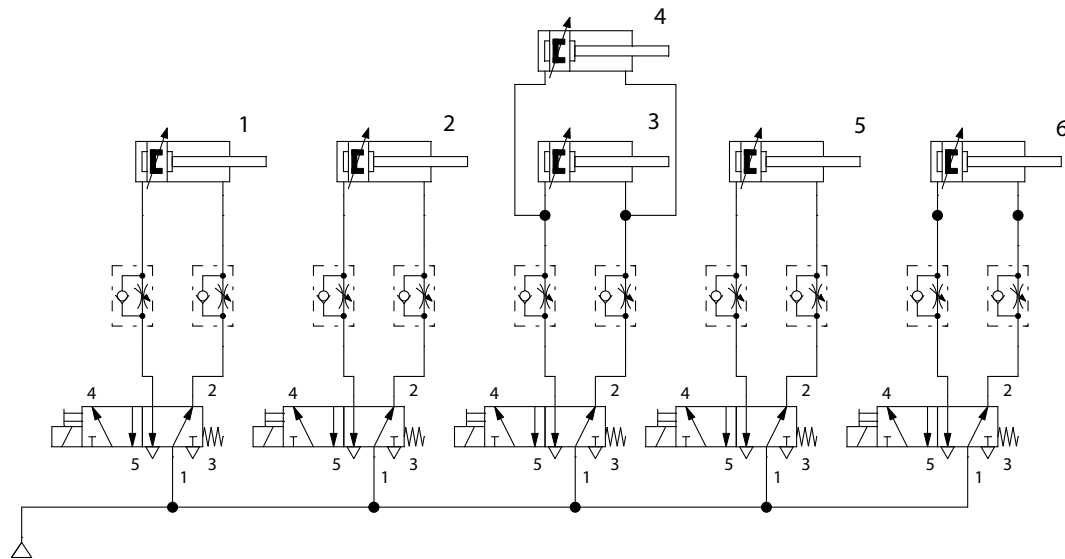
10.12. Diseño Neumático

El circuito neumático está formado por 6 actuadores lineales de doble efecto, los cuales se dividen en 3 actuadores con carrera de 40mm y 3 con carrera de 160mm.

Además se tienen 5 electro-válvulas 5/2 para controlar el movimiento de los actuadores, se adicionaron válvulas reguladoras de caudal tanto a la entrada como a la salida de aire para regular las velocidades de salida de los actuadores. Cabe resaltar que dos de los actuadores de 40mm comparten una misma válvula con el fin de realizar un movimiento simultáneo, por esta razón se tienen 6 actuadores pero solo 5 válvulas.

Por último, se tiene un compresor para la generación de aire comprimido. Las especificaciones del compresor se detallan en la sección [11.2](#). En la figura [26](#) se puede detallar el circuito neumático implementado. Los números representan el numero del actuador detallado en la figura [14](#)

Figura 26: Esquema del circuito neumático



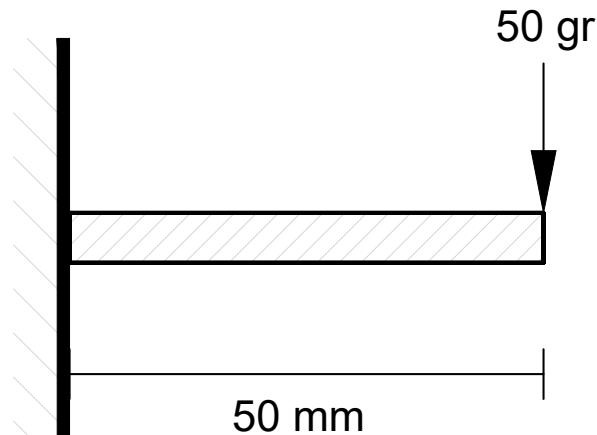
11. CÁLCULOS

11.1. Cálculos del Sistema Mecánico

11.1.1. Esfuerzos por flexión

En esta sección se realizan los cálculos mecánicos sobre los actuadores que debe soportar un mayor esfuerzo de flexión pues, de ser así, se puede inferir que el resto de actuadores serán capaces de soportar los esfuerzos correspondientes. En este caso, el mayor esfuerzo lo reciben los actuadores 3, 4 y 5, en la figura [27](#) se puede ver la representación de este sistema como una viga empotrada en un extremo que recibe una carga en su otro extremo. Se analizó utilizando una distancia de 50mm puesto que a esta distancia hay un segundo soporte que vuelve despreciables los efectos de flexión.

Figura 27: Representación de cargas de los actuadores 3, 4, y 5



A partir de esto, se puede realizar el balance de fuerzas y momentos para obtener las reacciones correspondientes. En la figura [28](#) se observan los resultados de este análisis. y a continuación, en las figuras [29](#) y [30](#) se muestran los diagramas de cortante y momento

máximos sobre la viga estudiada respectivamente.

Figura 28: Balance de fuerzas y momentos

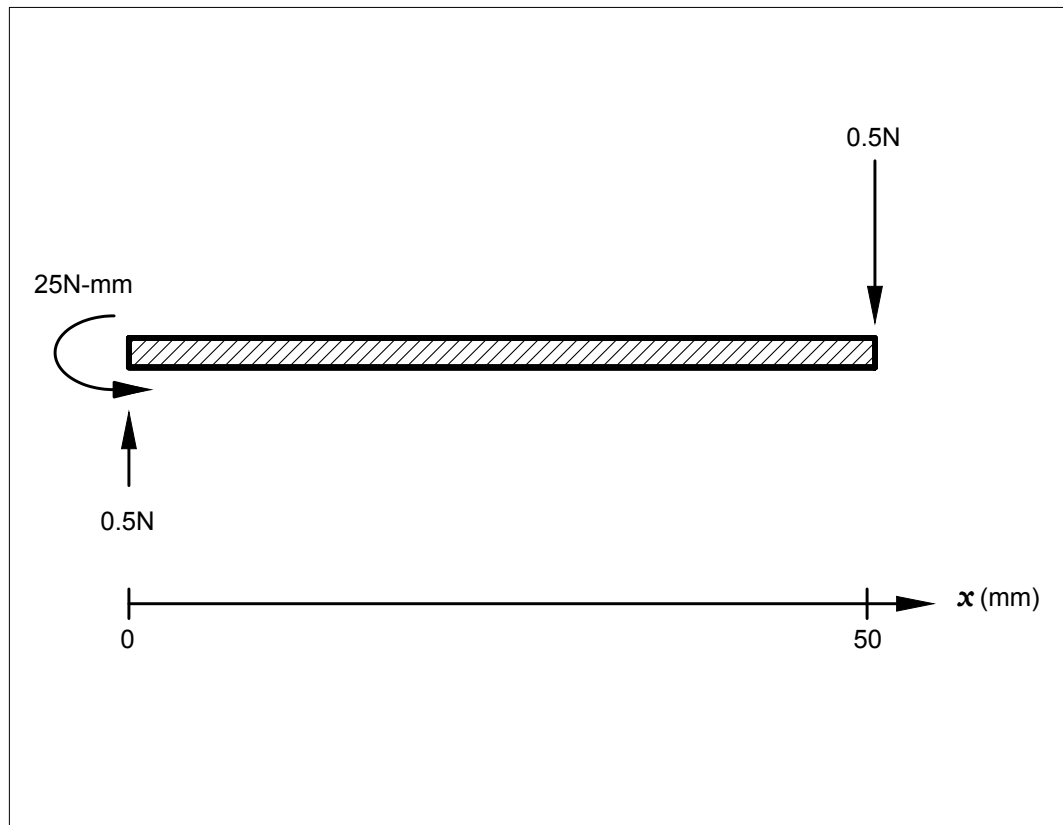
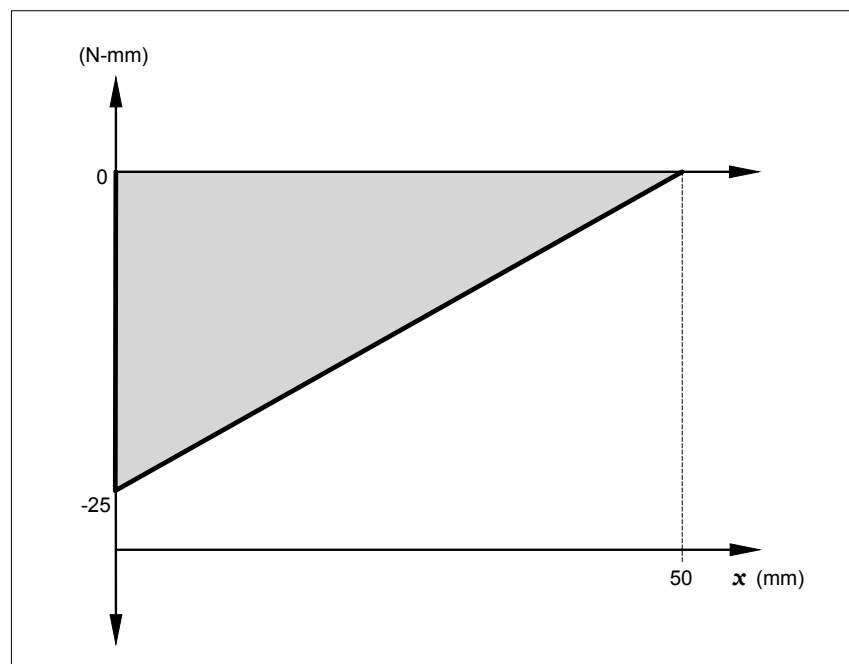
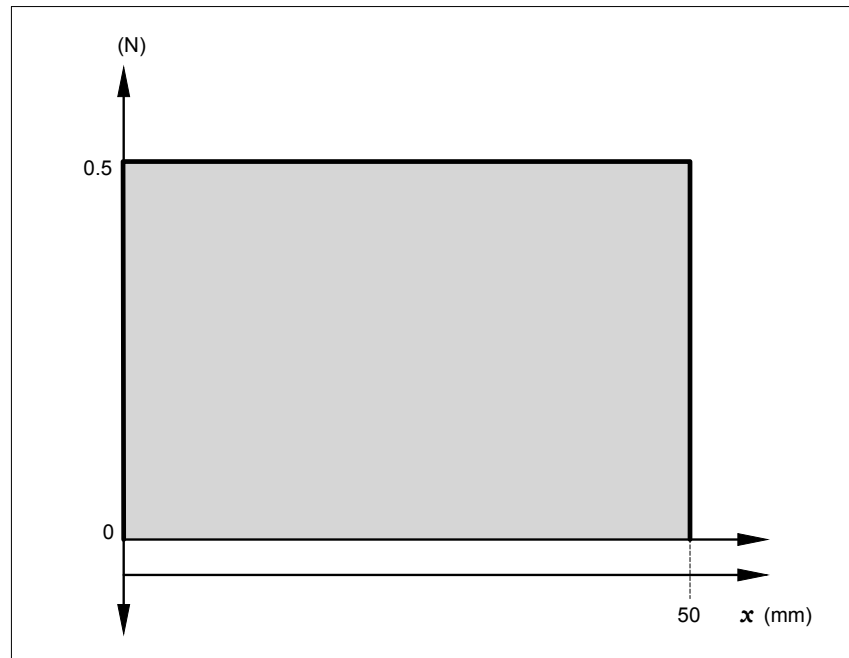


Figura 30: Diagrama de momento



Diámetro del émbolo A continuación se muestra el análisis matemático para calcular el diámetro mínimo que debe tener el eje de los actuadores por resistencia:

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{MC}{I}\right)^2 + \left(\frac{4V}{3A}\right)^2} \quad (2)$$

donde:

$$c = \frac{\phi}{2} \quad (3)$$

$$I = \frac{\pi}{64}\phi^4 \quad (4)$$

$$A = \frac{\pi}{4}\phi^2 \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{S_y}{\eta} \quad (6)$$

reemplazando en la ecuación 2 se tiene que:

$$\sigma = \frac{S_y}{\eta} = \sqrt{\left(\frac{M\frac{\phi}{2}}{\frac{\pi}{64}\phi^4}\right)^2 + \left(\frac{4V}{3\frac{\pi}{4}\phi^2}\right)^2} \quad (7)$$

Se sabe que S_y es el factor de fluencia (235 MPa para el acero inoxidable 305 [10]) y η el factor de diseño que según R. Mott puede tener un valor entre 2 a 2.5 [9] (se trabajará con 2). reemplazando en la ecuación 7

$$\sigma = \frac{S_y}{\eta} = \sqrt{\left(\frac{32M}{\pi\phi^4}\right)^2 + \left(\frac{16V}{3\pi\phi^2}\right)^2} \quad (8)$$

Reemplazando $V = 0.5N$ y $M = 25 \frac{N}{mm}$ en 8 se tiene que:

$$\frac{235}{2} = \sqrt{\left(\frac{32(25)}{\pi\phi^4}\right)^2 + \left(\frac{16(0,5)}{3\pi\phi^2}\right)^2} \quad (9)$$

Despejando ϕ tenemos que:

$$\phi = 1,21mm \quad (10)$$

Deflexión del émbolo A continuación se calcula el diámetro mínimo en base a una deflexión máxima deseada (1mm). Sabemos que la deflexión en una viga empotrada está dada por:

$$y = \frac{v * x^3}{3EI} \quad (11)$$

Donde:

- y es la deformación
- v es la carga aplicada
- E es el módulo de elasticidad del material
- I es el momento de inercia

También se sabe que:

$$I = \frac{\pi}{64} \phi^4 \quad (12)$$

Reemplazando I en [11](#) y despejando para ϕ tenemos:

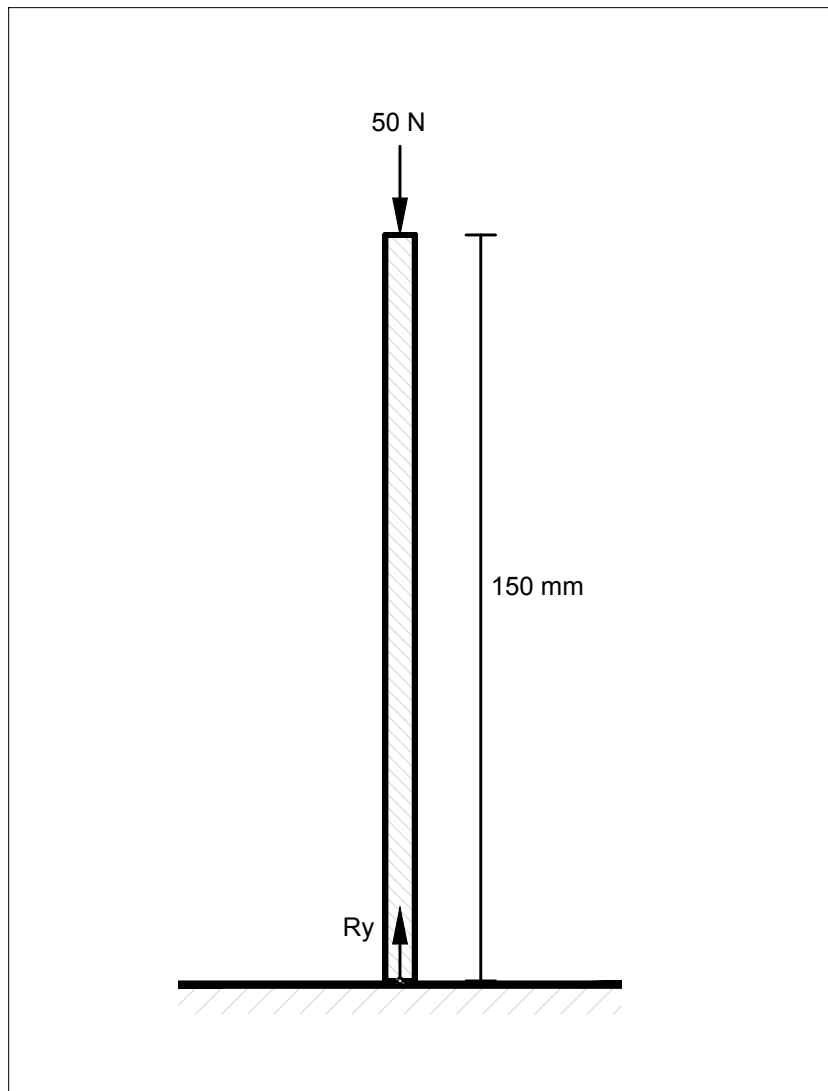
$$\phi = \sqrt[4]{\frac{vx^3}{3E\frac{\pi}{64}y}} = \sqrt[4]{\frac{50 * 0,15^3}{3 * 210 * 10^9 * \frac{\pi}{64} * 1 * 10^{-3}}} = 8,59 * 10^{-3}m = 8,59mm \quad (13)$$

Luego de este análisis se determina un diámetro mínimo para los émbolos de los cilindros de 8mm asegurando un diseño de acuerdo a los parámetros establecidos.

11.1.2. Esfuerzos por compresión

Los actuadores 1 y 2 deben soportar un esfuerzo de compresión, en esta sección se muestra el análisis matemático para calcular el diámetro mínimo admisible para estos actuadores. El análisis se realiza sobre el actuador 1, pues es el que recibe un mayor esfuerzo. En la figura 31 se observa el diagrama de cuerpo libre para comenzar el análisis.

Figura 31: Diagrama de cuerpo libre para el actuador 1



Para verificar el tipo de columna, calculamos $\frac{KL}{r}$ y C_c :

$$\frac{KL}{r} = \frac{2 * 0,15}{\frac{1}{4} * 0,0122} = 98,36 \quad (14)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 210 * 10^9}{235 * 10^6}} = 132,81 \quad (15)$$

Como $\frac{KL}{r} < C_c$ se puede continuar el análisis como columna intermedia. Se calcula el esfuerzo admisible:

$$\sigma = \left(1 - \frac{\frac{KL}{r}}{2C_c^2}\right) \frac{\sigma_y}{N} \quad (16)$$

$$N = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{\frac{KL}{r}}{C_c}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{\frac{KL}{r}}{C_c}\right)^3 = 1,89 \quad (17)$$

reemplazando valores en la ecuación [16](#), se tiene que:

$$\sigma = \left(1 - \frac{98,36^2}{2 * 132,81^2}\right) \frac{235 * 10^6}{1,89} = 90,23 * 10^6 N/m \quad (18)$$

calculando el factor de seguridad:

$$\eta = \frac{90,23 * 10^6}{\frac{\pi}{4} * 0,0122^2} = 210,21 \quad (19)$$

Con esto podemos se puede afirmar que los actuadores están dentro de los parámetros de diseño.

11.2. Cálculos del sistema neumático

Teniendo en cuenta los límites de presión de los actuadores y válvulas y considerando que la fuerza que deben realizar los actuadores para plegar el aluminio es despreciable, podemos definir la presión mínima dentro del circuito neumático. Considerando una caída de presión del 50 % podemos determinar una presión de 0.3 MPa.

Con esto, se puede calcular el caudal necesario para mover dos actuadores de 160mm (movimiento donde se requiere mayor caudal):

$$Q_n = 1,41 \left(\frac{\pi * \phi^2 * v(P + 1,013) * 60}{4 * 10^6} \right) \quad (20)$$

donde:

- Q_n es el caudal máximo
- ϕ es el diámetro del vástago del actuador en mm
- v es la velocidad del actuador en mm/s
- P es la presión de trabajo en bar

reemplazando valores:

$$Q_n = 1,41 \left(\frac{\pi * 12,2^2 * 300 * 10 * 2(3 + 1,013) * 60}{4 * 10^6} \right) \approx 238 \frac{L}{min} \quad (21)$$

Posteriormente, el volumen del acumulador se puede calcular utilizando la formula:

$$V = \frac{Q}{10} = \frac{238}{10} = 23,8L \quad (22)$$

Con esto, se pueden determinar las características mínimas para el compresor:

- Caudal: $238 \frac{L}{min}$
- Presión mínima: 3 bar
- Presión máxima: 8 bar
- Volumen del acumulador: 23.8 L

11.3. Cálculos del sistema electrónico

11.3.1. Saturación de los transistores

En el circuito, los transistores están configurados para trabajar en corte y saturación. A continuación se realizan los cálculos para el valor de la resistencia que permita la saturación del transistor. Se utilizaron transistores 2N2222 que tienen un β de 298.

Se sabe que:

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_b + \beta * R_e} \quad (23)$$

$$I_e \approx I_c = \beta I_b \quad (24)$$

Teniendo en cuenta que $V_{cc} = 24V$, $I_c = 20mA$ y un factor de seguridad de 2 se puede calcular la resistencia de base:

$$I_b = \frac{2 * 20mA}{242} = 165,29\mu A \quad (25)$$

$$R_b = \frac{24 - 0,7}{165,29 * 10^{-6}} = 140,96k\Omega \quad (26)$$

11.3.2. Fuente de alimentación

Teniendo en cuenta las características de corriente y voltaje del circuito, 217mA y 24V respectivamente, podemos calcular la potencia mínima de la fuente de alimentación:

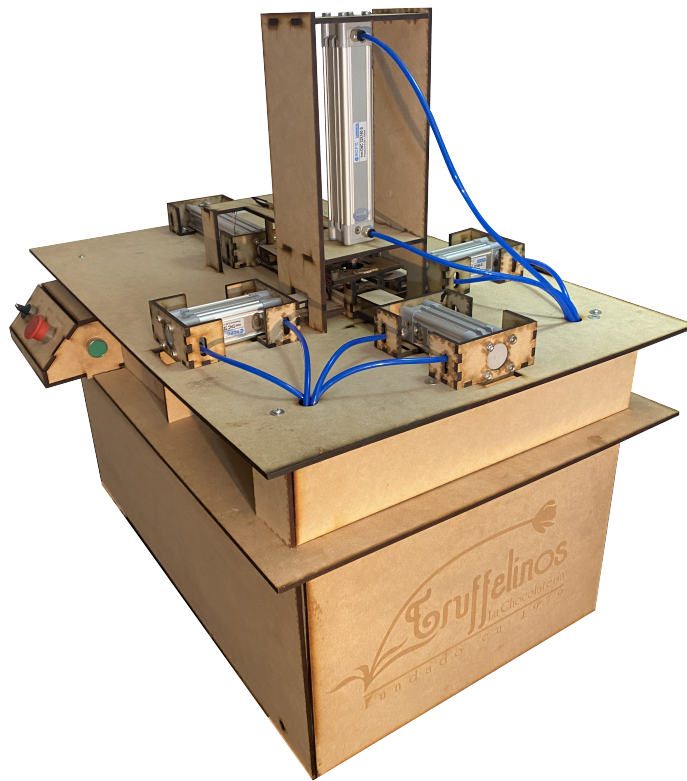
$$W = 24 * 217 * 10^{-3} = 5,208W \quad (27)$$

Si se tiene en cuenta un factor de seguridad de 2, la potencia mínima de la fuente debe ser de 10,4 W. Según estos cálculos, se adquirió una fuente de 24V y 50W. Con el fin de preservar los componentes del circuito, se implementó un fusible como protección contra la sobre carga de corriente. Según la medición de corriente realizada (cuadro 12), se implementó un fusible de 500 mA.

12. DISEÑO FINAL

A continuación se muestra el diseño real y final de la máquina. En la figura 32 se pueden ver la imagen del diseño final. Las medidas totales de la máquina son: 849 x 524 x h 814 mm.

Figura 32: Fotografía de la máquina construida



Por otro lado, en la figura 33 se puede ver el panel de control con los interruptores de start y rearme, además del botón de emergencia y el interruptor de encendido. En la figura 34 se puede apreciar un corte transversal de la máquina donde se ve el mecanismo de paredes para realizar el primer dobléz.

Adicional a esto, se adicionó una matriz de posicionamiento para el chocolate y el aluminio para evitar errores de funcionamiento (figura 35). Esta matriz asegura que el chocolate está centrado y no colisionará con ningún elemento de la máquina.

Figura 33: Panel de control

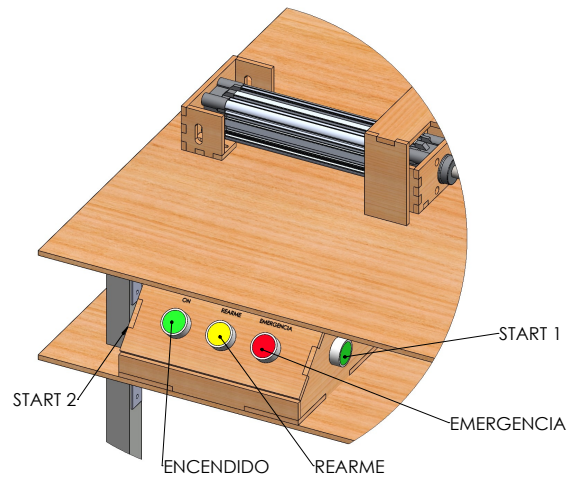


Figura 34: Corte transversal de la máquina

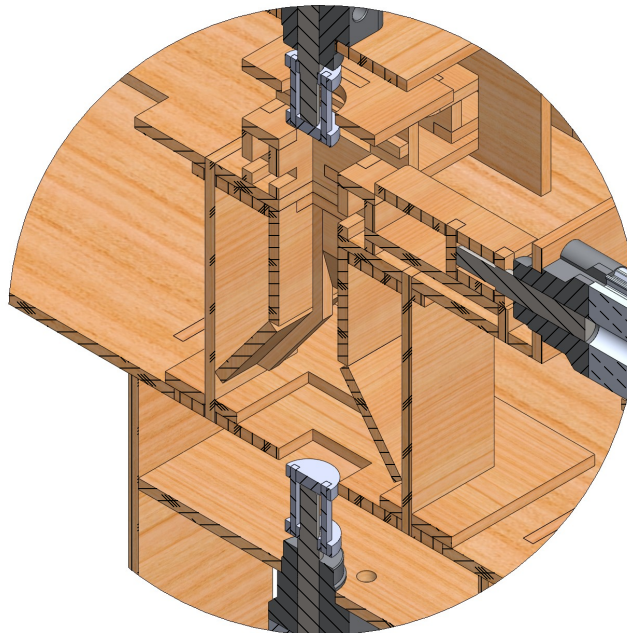
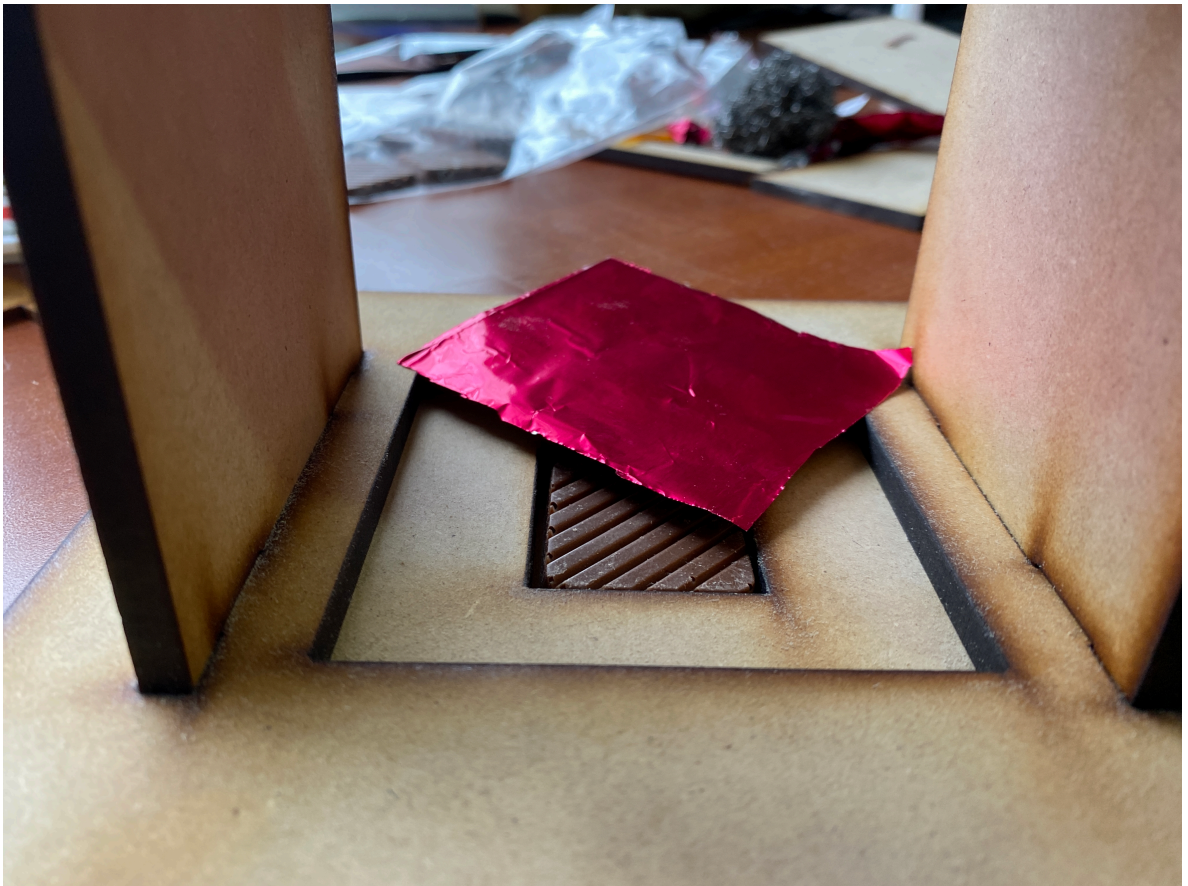


Figura 35: Matriz de posicionamiento



13. RESULTADOS

De acuerdo con el diseño y construcción del prototipo se tienen los siguientes resultados:

Ahorro de tiempo Se realizó la medición del tiempo que tarda la máquina en envolver el chocolate y se comparó con los tiempos de empaque actuales. Se realizaron varias mediciones del tiempo que se tarda desde que el operario agarra el chocolate y el aluminio, hasta que termina el proceso de empaque. En promedio, este proceso tarda 18s en envolver el chocolate lo que iguala el tiempo que tarda una persona en realizar el mismo proceso de forma manual. Sin embargo, se determinó un tiempo total desperdiciado de alrededor de 10 a 15s. Al ganar este tiempo se estarían empacando 12 chocolates por minuto, reduciendo el tiempo de empaque actual de la empresa (contando los tres empleados) en un 20 %.

Diseño estético Se cumplió el requerimiento de la empresa de no realizar ningún pliegue en la cara superior del chocolate para preservar la presentación del producto, como se puede observar en la figura [36](#).

Seguridad para los trabajadores La máquina cuenta con varios sistemas para evitar posibles accidentes durante su operación. Cuenta con un botón de emergencia que detiene el proceso y bloquea la máquina hasta que se realice un reseteo total de la máquina. Además, la señal de inicio del proceso se da oprimiendo dos pulsadores de forma simultánea, obligando al operario a tener las dos manos ocupadas.

Conservación del material de empaque Durante el diseño de la máquina se evaluó la posibilidad de cambiar el material de empaque. Se propuso utilizar papel aluminio de mayor calibre para evitar que este se rompa así como cambiar las dimensiones del mismo. Sin embargo, luego de las pruebas de funcionamiento se pudo conservar el material, evitando sobre costos por la necesidad de utilizar un material mas costoso.

Figura 36: Chocolate empacado por la máquina



14. RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN

Teniendo en cuenta la operación de la máquina, los actuadores y componentes utilizados y la naturaleza del proceso se realizan las siguientes recomendaciones:

- Tener en cuenta las características de todos los componentes utilizados y no exceder por ningún motivo los límites de presión, de voltaje y de corriente ya que esto podría ocasionar daños irreparables en los componentes.
- Durante la operación de la máquina existe un alto riesgo de que esta provoque lesiones al operario por la salida y entrada de los actuadores. Si bien este riesgo se disminuye por la necesidad de oprimir dos pulsadores para dar inicio al proceso, se recomienda no introducir las manos en la máquina cuando esta se encuentre en operación.
- Si en algún momento la máquina no opera como es debido, se recomienda oprimir el botón de emergencia inmediatamente para detener todo el proceso.

- Teniendo en cuenta los materiales utilizados, no se recomienda el consumo ni venta de chocolates empacados en la máquina.
- Los actuadores están diseñados para soportar cargas pequeñas, no se debe tratar de plegar materiales diferentes al papel aluminio o, de ser necesario, verificar que no se introduzcan esfuerzos superiores a los establecidos para evitar daños tanto en los actuadores como en la estructura

15. CONCLUSIONES

Según lo expuesto en este documento se puede concluir que:

- Se realizó el diseño y construcción de un sistema automatizado para la envoltura de chocolates según los requerimientos de la empresa.
- El algoritmo de control diseñado garantiza tanto el correcto funcionamiento de la máquina, como una secuencia adecuada para paros de emergencia y rearme. Esto permite una operación confiable y segura.
- Teniendo en mente la seguridad de los empleados y utilizando varios sistemas de seguridad, se disminuye en gran medida la posibilidad de accidentes durante la operación de la máquina.
- El sistema electrónico y de control implementado garantiza el correcto funcionamiento de la máquina, aumentando el grado de automatización y reduciendo posibles errores humanos durante el proceso de empaado.
- El sistema de plegado utilizando actuadores neumáticos logró envolver el chocolate en papel aluminio, permitiendo realizar este proceso en una serie de movimientos sencillos de avance y retroceso, simplificando en gran medida la operación de la máquina.
- según los análisis matemáticos realizados y teniendo en cuenta las bajas cargas y velocidades a las que se ven sometidos los actuadores y los factores de seguridad,

podemos afirmar que la vida útil de los actuadores en un orden de magnitud de 10^9 ciclos.

- Según las pruebas realizadas en campo, es correcto afirmar que la máquina realiza el proceso de empaque de manera exitosa sin dañar el chocolate ni el papel aluminio.

16. TRABAJOS FUTUROS

Si bien en este documento se expone un prototipo funcional para el empaque de chocolates en papel aluminio, hay grandes posibilidades de mejora que permitirían la operación de esta máquina en una industria alimenticia. En primera instancia, es necesario hacer una revisión de la normatividad para maquinaria en una producción de alimentos y realizar los cambios necesarios para cumplirla. Se debe descartar el uso de MDF asegurando que todos los materiales utilizados deben ser aptos para el manejo de alimentos.

Por otro lado, existe gran posibilidad de optimización en el tiempo de empaque, permitiendo aumentar aún más la productividad de la empresa y, posiblemente, ser de utilidad para producciones de mayor volumen.

Este prototipo está diseñado para empaquetar un solo tamaño de chocolate, sin embargo, las empresas productoras de chocolate tienen una variedad de productos muy alta. Una posible mejora a este prototipo es que permita el empaque de varios formatos de chocolate, siendo más versátil y acomodándose a los diferentes productos de la empresa.

La propuesta presentada requiere de un operario para colocar el chocolate y el aluminio para realizar el proceso de empaque. Esto da opciones de mejora en dos áreas diferentes. La primera es garantizar que el operario trabaje de manera cómoda siguiendo la normatividad de ergonomía, evitando así posibles problemas de salud a largo plazo. La otra es automatizar este proceso, esto requeriría sistemas para cortar el papel aluminio y para colocar tanto chocolate como papel en posición para ser empaquetado.

Por otro lado, la tableta de chocolate empaquetada por la máquina tiene unos dobleces

por el lado inferior del chocolate que afectan negativamente la presentación del producto. Una posible mejora es mejorar el sistema de plegado para continuar con la buena presentación del producto y no disminuir la calidad del producto. Adicionalmente, el producto ofrecido por Truffelinos además de estar envuelto en papel aluminio, llevan una etiqueta de papel impresa. Existe la posibilidad de optimizar el proceso de poner esta etiqueta, disminuyendo aun mas los tiempos de empaclado.

Por último, hay posibilidades de mejora en el sistema electrónico y de control. Este debe ser capaz de soportar el ambiente industrial y funcionar continuamente, presentando el menor numero de fallos posibles, aumentando el tiempo entre mantenimientos y aumentando la productividad. Se debe evaluar nuevamente el uso de un PLC para realizar el control de la máquina, abriendo posibilidades de mejora en velocidad, seguridad y confiabilidad.

Referencias

- [1] GmbH, (. (2021). Envasadoras e instalaciones de envasado — LoeschPack. Retrieved 6 December 2021, from <https://www.loeschpack.com/es/>
- [2] Wrapping machines for chocolate and candy products . (2021). Retrieved 5 December 2021, from <https://www.sacmi.com/en-US/food-beverage/chocolate-confectionery/Wrapping>
- [3] Digitales, C. (2021). Descubre las consecuencias físicas del trabajo repetitivo (extremidades superiores). Recuperado 10 Junio 2021 de: https://www.achs.cl/portal/achs-corporativo/newsletters/pymes-achs-al-dia/paginas/Consecuencias_fisicas_de_los_trabajos_repetitivos.aspx
- [4] Decreto 3075 de 1997 [Ministerio de Salud]. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979 y se dictan otras disposiciones. Recuperado 11 de Noviembre de 2021 de: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf

- [5] Reglamento (UE) No 10/2011 de la comisión de 14 de enero de 2011 [La Comisión Europea]. sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos. Recuperado 11 de Noviembre de 2021 de: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:012:0001:0089:ES:PDF>
- [6] Reglamento (CE) No 1935/2004 [El Parlamento Europeo y el Consejo De la Unión Europea] sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE. Recuperado 11 de noviembre de 2021 de: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:338:0004:0017:ES:PDF>
- [7] Resolución 683 DE 2012 [Ministerio de Salud] por medio de la cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano. Recuperado 11 de Noviembre de 2021 de: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0683-de-2012.pdf>
- [8] A. Brunete, P. S. Segundo y R. Herrero (2020) Actuadores neumáticos. En Universidad Politécnica de Madrid (Ed.) Introducción a la automatización industrial (ISBN 978-84-09-22291-9. Cap 2.3). Recuperado de: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/actuadoresneumaticos.html
- [9] R. Mott (2006) Factores de diseño. En Pearson Education (Ed.) Diseño de elementos de máquina (ISBN 970-26-0812-0. 4 ed. Cap 5-7).
- [10] Grados Material Mundial (2019). Acero Inoxidable AISI 304 Ficha Técnica, Propiedades, Densidad, Dureza. Recuperado 12 Noviembre de 2021, de: <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/>

17. Anexos

17.1. Anexo 1: Código

```
1 //BOTONES
2
3 #define START RA2_bit
4 #define EMERGENCIA RA5_bit
5 #define REARME RA0_bit
6
7 //VALVULAS
8
9 #define V1 RB0_bit
10 #define V2 RB1_bit
11 #define V3 RB2_bit
12 #define V4 RB3_bit
13 #define V5 RB4_bit
14 #define PINZA RC1_bit
15 #define LED RD1_bit
16 #define LED2 RD0_bit
17 #define RESET RD7_bit
18
19 int CE = 0;
20 int CP = 0;
21 int CS = 0;
22
23 void InitTimer0(){
24     TOCON          = 0xC1;
25     TMR0L          = 0x06;
26     GIE_bit        = 1;
27     TMR0IE_bit     = 1;
28 }
29
30 void Interrupt(){
31     if (TMR0IF_bit){
32         TMR0IF_bit = 0;
33         TMR0L = 0x06;
34
35         if (EMERGENCIA == 0){
36             LED2 = 1;
37             while(1){
```

```

38
39     while(EMERGENCIA == 1){
40         LED2 = 0;
41         if(REAMME == 0 && EMERGENCIA == 1){
42             LED = 0;
43             RESET = 1;
44         }
45
46         if(REAMME == 0 && EMERGENCIA == 1){
47             LED = 0;
48             RESET = 1;
49         }
50     }
51 }
52
53 if (EMERGENCIA == 1) {
54     LED2 = 0;
55 }
56 }
57 }
58 }
59
60 void VDelay_us(unsigned time_us){
61     time_us /= 16;
62     while(time_us--){
63         asm nop;
64         asm nop;
65     }
66 }
67
68 void cierraPinza(unsigned long grados){
69     int i, valor;
70     valor = ((grados * 2000) / 180) + 600;
71
72     for(i = 0; i <= 50; i++){
73         PINZA = 1;
74         VDelay_us(valor);
75         PINZA = 0;
76         VDelay_us(19000);
77     }
78 }
79

```

```

80 void proceso(){
81     if (START == 1){
82         // Movimiento 1
83         LED = 1;
84         V2 = 1;
85         delay_ms(600);
86
87         // Movimiento 2
88         V1 = 1;
89         V2 = 0;
90         delay_ms(3000);
91
92         // Movimiento 3
93         cierraPinza(12);
94         delay_ms(200);
95
96         // Movimiento 4
97         V1 = 0;
98         delay_ms(200);
99
100        // Movimiento 5
101        V5 = 1;
102        delay_ms(200);
103
104        V5 = 0;
105        delay_ms(200);
106
107        // Movimiento 6
108        V3 = 1;
109        delay_ms(1500);
110
111        V3 = 0;
112        delay_ms(1);
113
114        // Movimiento 7
115        V4 = 1;
116        delay_ms(200);
117
118        V4 = 0;
119        delay_ms(200);
120
121        // Movimiento 8

```

```

122     V1 = 1;
123     delay_ms(1500);
124
125     // Movimiento 9
126     V1 = 0;
127     cierraPinza(0);
128     delay_ms(200);
129
130     // Movimiento 10
131     V2 = 1;
132     delay_ms(200);
133
134     V2 = 0;
135     LED = 0;
136 }
137 }
138
139 void main() {
140
141     RESET = 0;
142     OSCCON.B6 = 1;
143     OSCCON.B5 = 1;    //Oscilador interno a 4MHZ
144     OSCCON.B4 = 0;
145     ADCON1 = 15;      //Convertidor analogo digital apagado
146
147     TRISA = 1;        //ENTRADA
148     TRISB = 0;        //ENTRADA
149     TRISC = 0;        //SALIDA
150     TRISD = 0;        //SALIDA
151
152     V1 = 0;
153     V2 = 0;
154     V3 = 0;
155     V4 = 0;
156     cierraPinza(0);
157
158     InitTimer0();
159
160     while(1){
161         proceso();
162     }
163 }

```