



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
CLASIFICACIÓN Y EMPAQUETADO AUTOMÁTICO DE  
HELADOS PARA UNA MICRO EMPRESA MEDIANTE  
INTELIGENCIA ARTIFICIAL”.**

**AUTORES: EDISON GEOVANNY PRUNA JÁCOME  
JAIRO ISRAEL VÁSQUEZ SOLÍS**

**DIRECTOR: ING. MENDOZA DARÍO  
LATACUNGA**

**2018**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y EMPAQUETADO AUTOMÁTICO DE HELADOS PARA UNA MICRO EMPRESA MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.**” realizado por los señores **EDISON GEOVANNY PRUNA JÁCOME** Y **JAIRO ISRAEL VASQUEZ SOLIS**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **EDISON GEOVANNY PRUNA JÁCOME** Y **JAIRO ISRAEL VASQUEZ SOLIS**, para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 26 de febrero del 2017**

---

Ing. Darío Mendoza.

**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **EDISON GEOVANNY PRUNA JÁCOME** con cédula de ciudadanía N° 0504150443 Y **JAIRO ISRAEL VASQUEZ SOLIS**, con cédula de ciudadanía N° 1804629796, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y EMPAQUETADO AUTOMÁTICO DE HELADOS PARA UNA MICRO EMPRESA MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 26 de febrero 2017**

---

Edison Geovanny Pruna Jácome  
C.C: 0503150443

---

Jairo Israel Vásquez Solís  
C.C: 1804629796



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **EDISON GEOVANNY PRUNA JÁCOME** Y **JAIRO ISRAEL VASQUEZ SOLIS**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y EMPAQUETADO AUTOMÁTICO DE HELADOS PARA UNA MICRO EMPRESA MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 26 de febrero del 2017**

---

Edison Geovanny Pruna Jácome  
C.C: 0503150443

---

Jairo Israel Vásquez Solis  
C.C: 1804629796



## DEDICATORIA

*Este proyecto va dedicado a Dios por darme las fuerzas y salud para lograr mis propósitos, a todas las personas que me apoyaron a culminar esta meta propuesta hace algunos años, con sus palabras de aliento me incentivaron a no darme por vencido, que lo que parecía imposible hoy es una realidad, y de manera especial a mis padres Segundo Pruna y Lupe Jácome que han sido un pilar fundamental en mi vida, con su apoyo incondicional he logrado superar toda dificultad.*

**Geovanny Pruna**

*Dedico este presente trabajo principalmente a Dios que me brindó la fortaleza para terminar esta ardua tarea. De igual forma a mis padres y hermanos que han estado presentes brindadme su apoyo incondicional y a todas aquellas personas que han sido parte para culminar este trabajo.*

**Jairo Vásquez**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos principalmente a Dios por brindarme la sabiduría necesaria para alcanzar esta meta tan anhelada.

Agradecemos al Ing. Darío Mendoza quien, con su conocimiento, paciencia y ayuda permanente nos ha guiado para poder culminar satisfactoriamente el proyecto.

A nuestros amados padres por su amor infinito y sacrificio han sido un sostén fundamental para culminar este proyecto.

A los amigos que estuvieron en todo momento, compartiendo su conocimiento en todas las materias complejas, que en la vida no solo es estudio sino también hay diversión.

Gracias por todo  
Geovanny Pruna - Jairo Vásquez

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PORTADA</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>1</b>
1.1    Introducción .....	1
1.2    Objetivos.....	1
1.3    Empaquetado flexible .....	2
1.4    Técnicas de sellado .....	4
1.5    Tipos de maquinarias para empaquetado y sellado .....	5
1.6    Materiales empleados en la industria .....	7
1.7    Factor de seguridad.....	8
1.8    Inteligencia Artificial .....	8
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS</b> .....	<b>16</b>
2.1    Introducción .....	16
2.2    Necesidades y Especificaciones Técnicas .....	16
2.3    Sistema Mecánico .....	18
2.4    Dispositivo para control del Sistema Neumático.....	29
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b> .....	<b>41</b>
3.1    Introducción. ....	41

3.2	Diseño Mecánico .....	41
3.2.2	Base soporte del rodillo .....	43
3.3	Análisis estático .....	54
3.4	Selección de actuadores.....	68
3.5	Diseño del sistema eléctrico. ....	71
3.6	Construcción de la máquina. ....	71
3.7	Diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina .....	74

#### **CAPÍTULO IV**

	<b>SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE HELADOS CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....</b>	<b>75</b>
4.1	Introducción .....	75
4.2	Captura de imagen .....	76
4.3	Segmentación y Procesamiento previo.....	77
4.4	Reconocimiento .....	84

#### **CAPÍTULO V**

	<b>ENSAMBLE, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>87</b>
5.2	Pruebas y análisis de resultados .....	90
5.3	Prueba final.....	95
5.4	Validación de la hipótesis .....	98
5.5	Pruebas de calidad .....	105
5.6	Norma ecuatoriana para alimentos .....	107
5.7	Análisis de costos .....	107

#### **CAPÍTULO VI**

	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>112</b>
6.1	Conclusiones. ....	112
6.2	Recomendaciones. ....	113
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>115</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Materiales para empaquetado .....	2
Tabla 2	Técnicas de sellado .....	4
Tabla 3	Tipos de selladoras .....	6
Tabla 4	Técnicas de iluminación.....	11
Tabla 5	Especificaciones técnicas de la máquina empaquetadora.....	17
Tabla 6	Escala de calificación.....	18
Tabla 7	Comparación de alternativas de Estructura .....	19
Tabla 8	Selección de la estructura.....	20
Tabla 9	Comparación entre los sistemas de accionamiento.....	21
Tabla 10	Evaluación de alternativas del sistema de mecanismos .....	21
Tabla 11	Comparación entre compresores.....	22
Tabla 12	Evaluación de alternativas para la selección del compresor.....	23
Tabla 13	Comparación de alternativas de actuadores neumáticos.....	24
Tabla 14	Evaluación de alternativas del actuador neumático .....	25
Tabla 15	Ventajas y desventajas de utilizar Electroválvulas.....	26
Tabla 16	Comparación de los materiales de plásticos.....	27
Tabla 17	Evaluación de alternativas del material de plástico.....	28
Tabla 18	Comparación de los dispositivos controladores .....	29
Tabla 19	Evaluación de alternativas del controlador.....	30
Tabla 20	Comparación de alternativas de sensores de temperatura.....	31
Tabla 21	Evaluación de alternativas de sensores de temperatura .....	32
Tabla 22	Comparación de controladores de temperatura.....	33
Tabla 23	Evaluación de alternativas de controladores de temperatura .....	34
Tabla 24	Comparación entre tarjetas de procesamiento .....	35
Tabla 25	Alternativas de la tarjeta de procesamiento .....	36
Tabla 26	Comparación de los motores .....	37
Tabla 27	Evaluación de alternativas de los motores.....	38
Tabla 28	Evaluación de alternativas seleccionada .....	39
Tabla 29	Lista de componentes para el hombro formador del empaque .....	46
Tabla 30	Componentes del termo sellado horizontal.....	51
Tabla 31	Componentes del mecanismo de clasificación. ....	53
Tabla 32	Peso del mecanismo de sellado .....	61
Tabla 33	Lista de peso de cada componente de la Máquina.....	64
Tabla 34	Fuerza de los actuadores seleccionados.....	69
Tabla 35	Cilindros neumáticos de la máquina empaquetadora .....	70
Tabla 36	Características de la cámara web.....	76
Tabla 37	Colores vs sabores .....	77
Tabla 38	Valor de puntos blancos por sabor de helado.....	83
Tabla 39	Tiempo de entrenamiento .....	86
Tabla 40	Especificaciones de la máquina.....	90
Tabla 41	Tiempo de empaquetado de la máquina por etapa.....	95
Tabla 42	Helados empaquetados de manera correcta e incorrecta.....	97

Tabla 43	Tiempo de empaquetado método manual.....	99
Tabla 44	Etapas de sellado manual.....	100
Tabla 45	Etapas de sellado automatizado .....	101
Tabla 46	Tiempo para el empaquetado .....	102
Tabla 47	Tabla de contingencia.....	103
Tabla 48	Empaquetado de helados .....	105
Tabla 49	Cálculo de Chi-cuadrado.....	106
Tabla 50	Costos Mecánicos.....	108
Tabla 51	Costos Eléctricos .....	108
Tabla 52	Costos Neumáticos .....	109
Tabla 53	Costos por maquinaria, mano de obra y transporte .....	110
Tabla 54	Costos Directos Totales .....	110
Tabla 55	Costos Indirectos .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Costuras de una bolsa .....	3
Figura 2 Hombro formador.....	4
Figura 3 Factor de seguridad.....	8
Figura 4 Estructura del perceptrón.....	9
Figura 5 Ejemplos de tipos de defectos aluminio.....	14
Figura 6 Arquitectura de red neuronal .....	14
Figura 7 Proceso de diseño .....	16
Figura 8 Componentes mecánicos de la máquina.....	42
Figura 9 Estructura principal .....	43
Figura 10 Base soporte rodillo .....	43
Figura 11 Eje del rodillo. ....	44
Figura 12 Acople de ajuste del rodillo. ....	44
Figura 13 Placa superior.....	45
Figura 14 Hombro formador de empaque.....	45
Figura 15 Bandeja contenedora.....	46
Figura 16 Caja de control.....	47
Figura 17 Depósito inclinado de helados.....	47
Figura 18 Diagrama de cuerpo libre de un helado sobre la resbaladilla. ....	47
Figura 19 Mordaza de sellado.....	49
Figura 20 Soporte de mordaza. ....	50
Figura 21 Corredera.....	50
Figura 22 Sellado horizontal .....	51
Figura 23 Cubierta de cámara .....	52
Figura 24 Mecanismo de clasificación (1) soporte, (2) resbaladilla, (3) motor paso a paso (4), Acople, (5) vista superior. ....	52
Figura 25 Recorrido de lámina polipropileno .....	53
Figura 26 Sujeciones fijas en los extremos del eje .....	54
Figura 27 Fuerzas aplicadas en la estructura .....	54
Figura 28 Mallado del Eje de Rodillo .....	55
Figura 29 Tensión de Von Mises del eje.....	55
Figura 30 Factor de seguridad del eje. ....	56
Figura 31: Diagrama de cuerpo libre del rollo de polipropileno.....	57
Figura 32 Tamaño del empaque del helado. ....	59
Figura 33 Fuerzas en el vástago del cilindro de sellado vertical.....	62
Figura 34 Geometría Fija en la estructura de soporte.....	65
Figura 35 Fuerzas aplicadas en la estructura .....	66
Figura 36 Mallado de la base principal .....	66
Figura 37 Tensión de Von Mises de la estructura.....	67
Figura 38 Esquema de factor de seguridad para la estructura .....	68
Figura 39 Sistema neumático de la máquina clasificadora.....	70
Figura 40: a) Diagrama de construcción b) base de mordazas. ....	71
Figura 41: a) diagrama de construcción b) base selladora horizontal.....	72

Figura 42: a) diagrama de construcción b) hombro formador. ....	73
Figura 43: a) diagrama de construcción b) mecanismo de desenrollado.....	73
Figura 44 a) diagrama de construcción b) resbaladilla .....	73
Figura 45 Sellado horizontal .....	74
Figura 46: Etapas fundamentales del procesamiento digital de imágenes ..	75
Figura 47 Array de luces .....	76
Figura 48 Imagen (1) real (2) hsv.....	78
Figura 49 Imagen segmentada .....	78
Figura 50 imagen (1) Segmentada (2) erosionada .....	79
Figura 51 Imagen (1) segmentada (2) dilatada .....	80
Figura 52 Imagen (1) segmentada (2) apertura .....	80
Figura 53 imagen (1) segmentada (2) cierre.....	81
Figura 54 Imagen procesada .....	81
Figura 55 Umbral para sabor a chocolate (1) helado real, (2)Segmentación (3) helado binarizado, (4) valores de HSV .....	82
Figura 56 Valores de puntos blancos (1) mora, (2) chocolate, (3) chicle, (4) ron pasas.....	82
Figura 57 Arquitectura agente inteligente .....	84
Figura 58 ROI .....	85
Figura 59 Matriz de pesos de neurona escondida .....	85
Figura 60 Ensamble empaquetado .....	87
Figura 61 Mecanismo para Clasificación de helados.....	88
Figura 62 Sistema de inteligencia artificial.....	88
Figura 63 Tablero de control.....	89
Figura 64 Vista (1) frontal, (2) posterior, (3) lateral .....	89
Figura 65 Sellado (1) vertical, (2) horizontal .....	91
Figura 66 Tamaño del empaque .....	91
Figura 67 Corte de funda .....	92
Figura 68 (a) no existe helado (b) indicador neurona de salida .....	92
Figura 69 (a) existe y es helado (b) indicador neurona de salida .....	93
Figura 70 (a) existe y no es helado (b) indicador neurona de salida.....	93
Figura 71 (a) existe y es helado con falla (b) indicador neurona de salida ..	94
Figura 72. Detección de helados (1) sabor chicle, (2) sabor mora, (3) sabor ron pasas, (4) chocolate .....	94
Figura 73 Depósito de helados clasificados.....	95
Figura 74 Bolsa para productos congelados.....	99
Figura 75 Datos del chi-cuadrado .....	103

## RESUMEN

La producción de helados es una actividad comercial desarrollada inicialmente en los cantones de Salcedo y Latacunga, debido a la gran demanda de este producto se ha expandido a nivel nacional e internacional, es por ello que la micro empresa busca mejorar sus procesos, mediante la integración de máquinas automatizadas, razón por la cual el presente proyecto propone implementar un sistema de clasificación y empaquetado de helados mediante inteligencia artificial, el sistema constará de cuatro partes: parte mecánica, control, sistema inteligente de clasificación y una interface con el usuario. El sistema permitirá realizar la clasificación de cuatro sabores de helados, los cuales se encuentren disponibles en un depósito que estará ubicado al costado de la máquina, mismo que facilitará al operador introducir el helado por la resbaladilla para continuar con el proceso de empaquetado, la clasificación la realizará mediante redes neuronales y visión artificial con aprendizaje supervisado, los cuales decidirán a que sabor corresponde cada tipo de helado, desechando los que no cumplen con parámetros de calidad; En lo referente a la parte mecánica estará incluida la estructura, la cual se calculará en función del área de trabajo, la misma que constará de un mecanismo diseñado para distribuir los helados facilitando la etapa de clasificado y posteriormente su empaquetado desde la bandeja de entrada hasta las bandejas de salida con el producto ya clasificado y enfundado. La parte de control empleará un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar y dirigir el comportamiento del sistema. Además constará de una interface que permita visualizar las operaciones que se están ejecutando a la hora de empaquetar y clasificar los helados.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **HELADOS- EMPAQUETADO**
- **REDES NEURONALES**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**

## **ABSTRACT**

The development of ice cream is a commercial activity developed initially in the cantons of Salcedo and Latacunga, due to the high demand for this product has expanded nationally and internationally, which is why the industry seeks to improve their processes, through the incorporation of autonomous machines, reason for which the present project proposes to implement a system of classification and packaging of ice cream, the system will consist of four mechanical parts, part of control, intelligent classification system and an interface with the user. The system will allow the classification of four flavors of ice cream, which are available in a tank that will be located on the side of the machine, which will facilitate the operator to introduce the ice cream through the slide to continue with the packaging process, the classification will be made through neural networks and artificial vision with supervised learning, which will decide which flavor corresponds to each type of ice cream, discarding those that do not meet the quality parameters, the sheathing will be made for each of the ice creams through a positioning mechanism that will place each ice cream in the same way most optimal for easy sealing of the case. Regarding the mechanical part will be included the structure, which will be calculated according to the work area, which will consist of a mechanism designed for the transport of ice cream to facilitate the stage of classification and then its packaging from the tray of entrance until the trays of exit with the product already classified and sheathed. The controlling party will use a set of devices responsible for managing, ordering and directing the behavior of the system. As far as the interface is concerned, it will have a device that allows the supervision and control of the process in real time.

### **KEYWORDS:**

- **ICE CREAMS - PACKAGING**
- **NEURONAL NETWORKS**
- **ARTIFICIAL VISION**

# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **1.1 Introducción**

La elaboración de helados, especialmente en los cantones de Salcedo y Latacunga, se ha venido desarrollando de forma artesanal tanto en su elaboración como en su empaquetado, colocando el producto en grandes congeladoras para su posterior clasificación. Por lo que dificulta el cumplimiento con normas de salubridad (INEN RTE-100), además provocando una sobre agrupación de helados en el área de empaquetado y poca productividad.

La industrialización de la época ha dado paso a la creación de nuevas máquinas con el fin de lograr una mayor productividad en menor tiempo posible, es por ello que los artesanos buscan incorporar este tipo de maquinaria, que agilitan el proceso de empaquetado y a la vez permiten que sus productos se mantengan limpios, facilitar su transporte y protegerlos de la contaminación del medio.

El presente proyecto de investigación está adaptado a las necesidades de la microempresa, aprovechando al máximo los recursos disponibles y simplificando en lo posible los sistemas de empaquetado y clasificación, sin descuidar la integración de nuevas tecnologías.

### **1.2 Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema de clasificación y empaquetado automático de helados para una microempresa mediante inteligencia artificial.

#### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Modelar mediante un software de diseño asistido por computador (CAD) el sistema automático de clasificación y empaquetado de helados.

- Seleccionar los componentes idóneos para automatizar el sistema de clasificación y empaquetado de helados en base a los parámetros establecidos en la investigación.
- Implementar el sistema automático de clasificación y empaquetado de helados con los componentes seleccionados.
- Calibrar, ajustar y efectuar pruebas de funcionamiento al sistema implementado y de ser necesario corregir las posibles fallas.

### 1.3 Empaquetado flexible

El empaquetado flexible en los alimentos u otros productos se ha venido realizando desde tiempos remotos, con el fin de que estos no se contaminen con factores externos como el aire, agentes biológicos como bacterias, para facilitar su transporte. Por esta razón, una vez logrado obtener la calidad deseada, además producir satisfactoriamente el proceso, deben iniciarse entonces los primeros estudios y pruebas sobre la estimación de la vida del producto en stands con el empaque seleccionado, ya sea mediante experimentos de almacenamiento acelerado, midiendo algún atributo o en base a la durabilidad del ingrediente especial que pueda ser tomado como parámetro de calidad del mismo para su posterior comercialización. (Montellano, 2015)

#### 1.3.1 Materiales empleados en los empaques

Existen una amplia gama de materiales ideales para la envoltura de productos, cada uno posee una característica única para aplicarlo en el empaquetado. En la tabla 1 se muestra los tres tipos de materiales más utilizados en la industria.

**Tabla 1**  
**Materiales para empaquetado**

#### Materiales usados para empaques

**Poliétileno.** Es un material a prueba de humedad adecuado para el envasado de cualquier producto congelado, debido a que no emite ningún olor para estropear el producto ya que va a estar expuesto.



**Polipropileno.** Es un material más transparente que el polietileno, rígido y resistente. Además, posee un punto de fusión a los 90 °C, lo cual sería útil para el empaque de varios productos.



**Poliéster.** Es un material muy importante de envasado debido a que presenta una alta resistencia a la humedad, además posee características mecánicas y dimensionales en altas temperaturas. Lo cual sería útil para envasar productos como snacks.

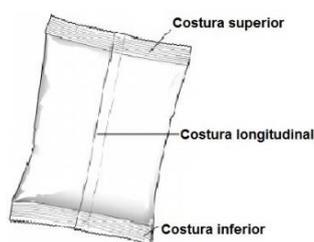


**Fuente:** (Burbupac S.A, 2014)

### 1.3.2 Fabricación de bolsas

Todas las máquinas de empaquetado vertical tienen el mismo funcionamiento, un rollo grande que va al inicio de la máquina, luego pasa por el mecanismo de formado de la bolsa, hasta llegar a donde el producto es distribuido, donde la costura de la parte inferior estará cerrada y tan pronto se deposita el mismo, se sella la otra costura. (BOSCH, 2014)

Una bolsa teóricamente tiene tres costuras: costura longitudinal la cual une los extremos, costura inferior y costura superior.



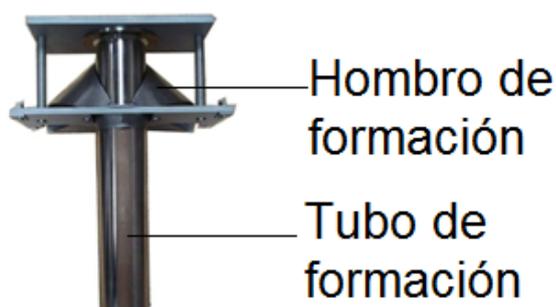
**Figura 1 Costuras de una bolsa**

Fuente: (BOSCH, 2014)

### 1.3.3 Hombro formador

Formación del tubo y formación del hombro, cada máquina de embalaje puede formar diferentes tamaños de empaque, rellenarlos y sellarlos. El tamaño y forma del empaque están determinados por dos componentes; en

la figura 2 se observa el tubo de formación y el hombro de formación, de manera que el material alrededor del tubo se forma, la película plana va sobre el hombro de conformación, de manera que el material alrededor del tubo se transforma de una película plana a un tubo. El hombro y el tubo son denominados colectivamente partes formadoras. Cada ancho de la película plana requiere su propio formador. (BOSCH, 2014)



**Figura 2 Hombro formador**

Fuente: (Edinetwork, 2015)

#### 1.4 Técnicas de sellado

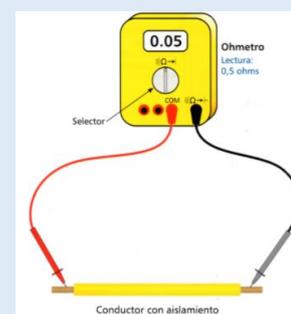
Se ha detallado aspectos fundamentales como el material del empaque, forma de la bolsa, el tipo de máquinas para empaquetado, tipo de máquinas para sellado. Sin embargo (Aguirre, 2013) menciona otro aspecto importante que es el material seleccionado que tiene una influencia vital, así como los sistemas de sellado a utilizar por la máquina envasadora, para esta parte del proceso de empaque, en la industria pueden encontrarse diferentes técnicas de sellado, las cuales se pueden resumir mediante la tabla 2.

**Tabla 2**  
**Técnicas de sellado**

Técnicas de sellado
<p><b>Sellado por ultrafrecuencia</b></p> <p>Es un método dieléctrico usado para sellar materiales como el cloruro de polivinilo (PVC) y su funcionamiento es un proceso sumamente complejo que consiste en generar vibración sobre las moléculas y a su vez genera calor, finalmente se encarga de realizar la fusión del material y por lo tanto el empaque.</p>

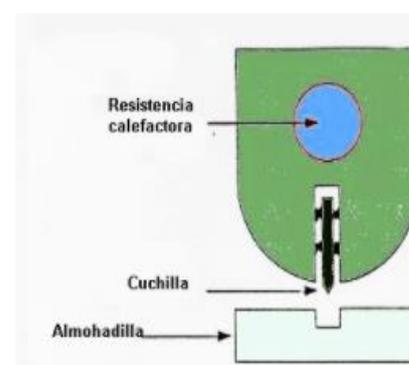
### Sellado por resistencias eléctricas

Los principales sistemas que utilizan resistencias eléctricas como fuente de calor son la “mordaza caliente”, la cual produce una unión del tipo soldadura por presión, donde la temperatura es controlada durante todo el proceso utilizando resistencias eléctricas ensamblados dentro de las mordazas.



### Sellado por impulso eléctrico

Se trata de una técnica en donde la temperatura no permanece constante en la mordaza, el instrumento que sella es una resistencia del tipo banda que solo es calentada en una porción del tiempo pequeña del ciclo de sellado, la cual permite enfriarse rápidamente después de que el sello se ha producido teniendo presiones mayores sin flujo de material fundido, originando una unión más resistente y homogénea.



**Fuente:** (Aguirre, 2013)

## 1.5 Tipos de maquinarias para empaquetado y sellado

### 1.5.1 Máquinas para empaquetado

Se presenta una amplia gama de maquinaria para el empaquetado de productos ya sean sólidos, granulados o líquidos que al final su variación se presenta a la hora de distribuir dicho producto sobre el empaque, es así como se tiene empacadoras verticales y horizontales, donde su aplicación dependerá del espacio y número de empaques que se desea realizar por hora. (Andrade, 2016)

#### a. Máquina de empaquetado vertical

De acuerdo (Andrade, 2016), este tipo de máquinas utilizan un hombro formador para convertir en tubo el plástico de la bobina, con ayuda de un sellador vertical y horizontal que trabaja con el film una vez realizado un desplazamiento por el mecanismo de arrastre. El mecanismo de sellado trabaja con movimientos verticales: las herramientas de sujeción se separan y contraen siguiendo el ciclo determinado de tiempo.

## b. Máquinas empacadoras horizontales

Al igual que la vertical, la horizontal combina las tres operaciones separadas: formado del envase, introducción del material y finalmente el sellado. El proceso puede utilizar al menos una bobina del material para empacar; la principal diferencia radica en que material estirado se ubica en un plano horizontal en el cual se realizan las operaciones de graduación y el sellado final. (Andrade, 2016)

### 1.5.2 Máquinas para sellado

En la tabla 3 se detalla el principio de funcionamiento de máquinas para sellado, el cual consiste en calentar una resistencia y pegar los dos extremos del material destinado.

**Tabla 3**  
**Tipos de selladoras**

<b>Tipos de Selladoras</b>	
<p><b>a. Selladoras de pedal</b></p> <p>Utiliza una niquelina, la cual se calienta y sella la funda de plástico. Esta funciona con un pedal que permite que el cabezal superior descienda y genere una presión para sellar la funda. (Paúl, 2013)</p>	
<p><b>Selladoras de mordaza</b></p> <p>Se caracteriza por su amplia área de sellado gracias a sus grandes mordazas alrededor de 50 cm ver figura 4, posee un control de temperatura variable de 0 a 200 °C, estructura metálica con mesa y pedal para accionar el brazo de sellado, trabaja con voltaje nominal de 127 v y 60 Hz, tiene un consumo aproximado de 250 W/h. (BOSCH, 2014)</p>	
<p><b>Selladoras continuas verticales</b></p> <p>Son utilizadas para manejo de materiales sólidos y líquidos. Se coloca la bolsa de forma lateral a una banda de sellado en continuo movimiento, tiene controles de temperatura, presión. Además, consta de</p>	

---

una impresora de 12 dígitos alfanuméricos para imprimir sobre el sello. (COMEK, 2015)



---

## 1.6 Materiales empleados en la industria

A continuación, se muestran los principales materiales utilizados en la industria alimenticia, para la construcción de los componentes que van estar el contacto directo con los productos.

### 1.6.1 Tipos de aceros

**Serie 400.** Poseen una estructura ferrítica constante ya sea a temperatura ambiente hasta llegar a su punto de fusión. (Metfusion, 2013)

- **Aceros inoxidables martensíticos.** Conocidos como la primera clase entre los aceros inoxidables, conocidos como aceros al cromo. Contienen un porcentaje de carbono relativamente elevado de 0 a 1.2% mientras que su contenido de cromo es de 12 a 18%. Sus principales características son: Alta dureza y fácil maquinado, resistencia moderada a la corrosión, utilizado en ejes, instrumentos quirúrgicos y cuchillería.

**Serie 300.** Conllevan un alto porcentaje de níquel y hasta el 2% de manganeso. En ocasiones se lo puede aliar con molibdeno, cobre, silicio, aluminio, titanio y niobio, estos elementos son agregados para otorgar características especiales. (Inoxidables, 2014)

- **Los Aceros inoxidables austeníticos.** Este tipo de acero es altamente utilizado debido al conjunto de propiedades mecánicas que presenta en este tipo de acero, se lo consigue agregando un porcentaje de Níquel y otros componentes en menor cantidad, lo que hace que la estructura cristalina del material se convierta en austenita. Dentro de sus propiedades se puede mencionar alta resistencia a la corrosión, factor de higiene elevado, maleable, se puede utilizar a temperaturas criogénicas y a temperaturas elevadas.

En el anexo E, se pueden ver los tipos de aceros más comunes en la industria como la soldabilidad de los aceros inoxidables AISI.

## 1.7 Factor de seguridad

Según los datos extraídos de (Mott R. , 2009) se tiene la siguiente distribución de factor de seguridad de acuerdo al trabajo a realizar cada máquina.

FACTORES DE DISEÑO		
VALOR	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1.25 - 2	Estructuras bajo cargas estáticas.	Alto grado de confianza.
2 - 2.5	Elementos de maquina bajo cargas dinámicas.	Promedio de confianza.
2.5 - 4	Estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas incertidumbre.	Incertidumbre en cargas, propiedades de materiales, análisis de esfuerzos o ambiente.
4 o Superior	Estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas.	Incertidumbre en cargas, propiedades de materiales, análisis de esfuerzos o ambiente.

**Figura 3 Factor de seguridad**

Fuente: (Mott R. , 2009)

## 1.8 Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA), se la ha definido como la simulación de procesos de inteligencia humana por parte de máquinas. Los procesos implican el aprendizaje y el razonamiento). (Rouse, 2017)

Existen dos aproximaciones fundamentales dentro del amplio espectro de la inteligencia artificial.

- **La primera aproximación.** Consiste en Inteligencia Artificial simbólica, la misma que se caracteriza por un elevado nivel de abstracción. A esta categoría pertenecen la psicología clásica, los sistemas basados en el conocimiento, el aprendizaje simbólico de máquina, técnicas de búsqueda, y el procesamiento de lenguaje natural. (Alsina, 2013)
- **La segunda aproximación.** Se caracteriza por un bajo nivel de abstracción y modelos biológicos. Las redes neuronales y los algoritmos genéticos se encuentran en esta categoría. (Alsina, 2013)

### 1.8.1 Ramas que componen la inteligencia artificial (IA).

Entre los elementos que componen la IA, se pueden mencionar tres grandes ramas:

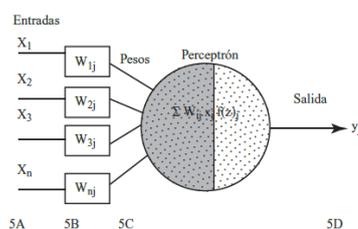
- Lógica difusa
- Redes neurales artificiales
- Algoritmos genéticos

Cada una de ellas posee características especiales, así como una función específica.

#### a. Redes neurales artificiales.

Son un modelo computacional en el cual una gran cantidad de unidades de computo simple (las neuronas) conectadas en red, procesan datos. Una RNA puede definirse formalmente como un procesador paralelo y distribuido que tiene la capacidad de almacenar conocimiento basado en la experiencia. De manera similar al cerebro ya que el conocimiento es adquirido a través de un proceso de aprendizaje y mientras que las conexiones entre las neuronas son usadas para almacenar ese conocimiento. (Rubiolo, 2014)

- **Perceptrón.** Es una clase de red neural artificial. Consta de una suma de las señales de entrada ver figura 6, multiplicadas por pesos escogidos inicialmente en forma aleatoria. En una fase en la que el perceptrón aprende, la entrada se compara con un modelo preestablecido para posteriormente determinar la salida de la red. Si en la comparación la suma de las entradas multiplicadas por los pesos es mayor o igual que el modelo preestablecido, la salida de la red es uno (1); en caso contrario la salida es cero (0). (Ponce Pedro, 2016)



**Figura 4 Estructura del perceptrón**

Fuente: (Ponce Pedro, 2016)

### 1.8.2 Visión Artificial

Siendo una parte importante de la rama de la Inteligencia Artificial, se puede definir a la Visión Artificial como una tecnología que permite analizar y procesar imágenes digitales capturadas mediante un ente tecnológico externo como una cámara web. Uno de los objetivos principales de la visión artificial es simular la capacidad que tiene el ser humano de identificar imágenes, procesarlas y utilizarlas dependiendo de las necesidades. (Ganchozo, 2013)

En la actualidad la rama de la Visión Artificial ha sido implementada en varias aplicaciones tanto de escritorio como web, obteniendo buenos resultados en los sistemas desarrollados.

### 1.8.3 Etapas de un sistema de visión artificial

Independiente del sistema que se está desarrollando, es posible identificar las etapas (adquisición de imágenes, procesamiento, segmentación, representación-descripción y reconocimiento) de un sistema de visión artificial ver figura 7. Estas etapas se pueden agrupar en dos grandes pilares; el primer pilar llamado “Formación de las Imágenes” que está conformado por la iluminación, captación de la imagen y la adquisición. El segundo pilar “Procesamiento de las imágenes” está conformado por todos los algoritmos utilizados para el procesamiento. (Vasco, 2016)

A continuación, se describe fugazmente estas etapas:

**Adquisición de imágenes.** Es la captura de la imagen que va hacer procesada, esta captura de imagen depende mucho del tipo de iluminación, cámara, etc.

**Pre-procesamiento.** En la etapa de procesamiento se trata de mejorar la calidad de la imagen eliminando defectos que se hayan generado al momento de realizar la captura de la imagen, así mismo se resaltan las partes de esta imagen.

**Segmentación.** En la segmentación se decide que secciones de la imagen van a ser analizadas y que secciones no van a ser analizadas.

**Representación y descripción.** Se definen las características que se toman en cuenta para realizar el análisis de las imágenes.

**Reconocimiento.** Es una de las etapas más importantes ya que con una correcta segmentación y una correcta representación se puede realizar un buen reconocimiento de dicha imagen.

#### 1.8.4 Adquisición de imágenes

Un sistema de visión artificial, se realiza la adquisición de imágenes en un plano bidimensional 2D, para posteriormente procesarlas, con el fin de obtener la información requerida de dicha imagen. (Muñoz, 2014)

Para que la adquisición de imagen sea un completo éxito depende de varios factores como: iluminación, dispositivo de captura de imagen y escenario.

**a. Iluminación:** Es uno de los elementos más importantes que intervienen en los sistemas de visión artificial, el sistema de iluminación debe ser elegido dependiendo del entorno en donde se está ejecutando la aplicación, ya que al tomar una mala decisión en la iluminación puede provocar graves problemas los cuales pueden reducir la calidad de la imagen. Los problemas más comunes que se presenta en la adquisición de la imagen son: sombras, niveles muy bajos de contrastes, distorsiones en la imagen. (Romero, 2014)

**b. Técnicas de iluminación:** Aproximadamente un 80% de la información que percibimos llega a través de la vista es por eso ello que se emplean algunas técnicas de iluminación como se puede en la Tabla 4. Un buen sistema de iluminación debe asegurar suficientes niveles de iluminación, contraste y control de deslumbramientos.

**Tabla 4**  
**Técnicas de iluminación**

---

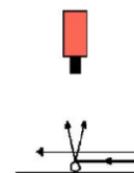
#### Técnicas de iluminación

**Iluminación posterior.** Es una técnica la cual se la utiliza para obtener un mayor contraste de la escena, perfiles detallados y sobre todo debido a que es una técnica muy fácil de implementar



**Iluminación frontal.** Tiene como objetivo conseguir una imagen clara, bien detallada y sobre todo evitar sombras de la escena, esta técnica es utilizada en visión artificial.

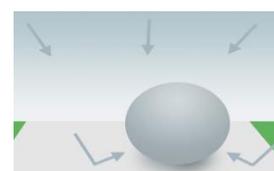
---



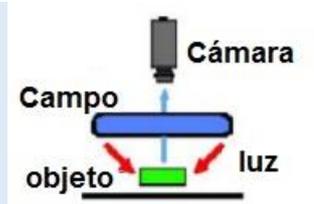
**Iluminación lateral.** Permite visualizar dos costados, el un costado iluminado y claro, y por el otro costado oscuro con sombra.



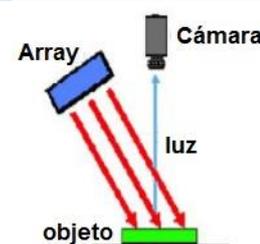
**Iluminación de día nublado.** Esta técnica es muy utilizada en superficies muy irregulares en las cuales el objetivo puede confundirse con la superficie.



**Iluminación en campo oscuro.** Es utilizada para dar mayor visibilidad al objeto debido a que la fuente de luz se encuentra muy cerca de la superficie en la que encuentra el objeto



**Array de luces.** Para resaltar la imagen y ganar un alto contraste de la misma, se debe utilizar la técnica de iluminación array de luces, debido a que esta permite a la luz llegar directamente al objeto obteniendo el resultado mencionado



**Iluminación en campos claros.** Al utilizar esta técnica se debe tomar en cuenta el ángulo en que se encuentra la iluminación, debido a que puede provocar sombras no esperadas en la imagen procesada



Fuente: (Miranda, 2013)

### 1.8.5 Reconocimiento de patrones

El Reconocimiento de Patrones es una disciplina de la ciencia encargada de asignar a los objetos una clase determinada. Los objetos no sólo proceden de los dibujos sino también de señales unidimensionales. (Platero, 2016)

La tarea de clasificación consiste en combinar los vectores de características de los objetos y el conocimiento para asignar etiquetas

cualitativas a los objetos segmentados, para ello se debe tener un conjunto de funciones o de reglas de pertenencias a cada clase. (Platero, 2016)

Los enfoques que se pueden emplear para la clasificación se basan bien en una función discriminante que divida el espacio de las características (clasificadores estadísticos) o bien empleando reglas de pertenencia (clasificadores sintácticos). Existe una tercera alternativa basada en las redes neuronales artificiales, las cuales se asemejan a los clasificadores estadísticos, ya que tratan de seccionar el espacio de las características. Las redes neuronales emulan a los sistemas biológicos y clasifican los objetos empleando etapas previas de aprendizaje. (Platero, 2016)

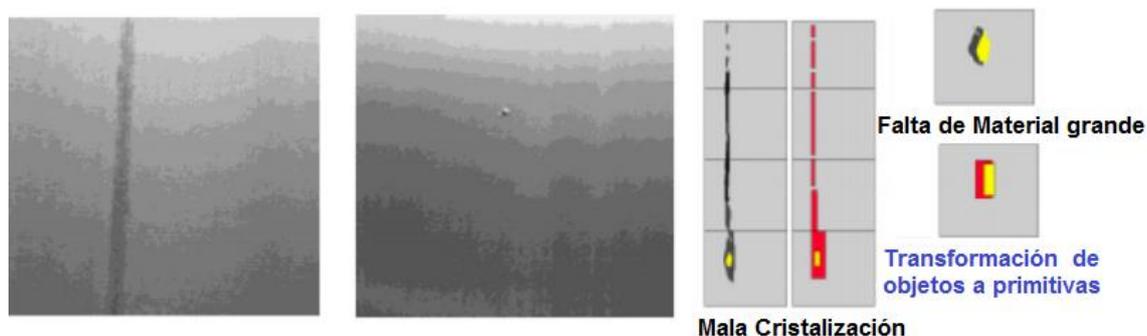
El esquema general del reconocimiento de objetos, tanto estadístico como neuronal, consiste en obtener las funciones discriminantes que divida el espacio de características en tantas clases como estén presentes en el universo del problema. Por tanto, la selección de las características resulta ser esencial para la buena clasificación de los objetos. Éstas deberán de tener las siguientes propiedades: (Platero, 2016)

- **Capacidad de discriminación.** Las características precisan usar valores significativamente distintos para cada clase.
- **Fiabilidad.** Las características requieren usar valores similares para todos los objetos de la misma clase.
- **Correlación.** Las características incomparables no pueden estar correladas unas con otras, en caso contrario reflejarían la misma propiedad del objeto.
- **Número.** La selección de las características debería de elegir el menor número de ellas, ya que permite generalizar. A más características más datos de entrenamiento se requieren para mantener igual grado de generalidad y no de memorización.

Una vez seleccionadas las características más diferentes se realizará la clasificación de los objetos. Existen diversas técnicas de clasificación. Las técnicas más significativas son métodos sintácticos, redes neuronales y clasificadores estadísticos. (Platero, 2016)

### a. Métodos sintácticos

En este caso un objeto es visto como una composición de sus formas simples. Las sub formas más simple a ser reconocidas son llamadas primitivas y una forma compleja es representada en términos de interrelaciones entre estas primitivas ver figura 8. (Platero, 2016)

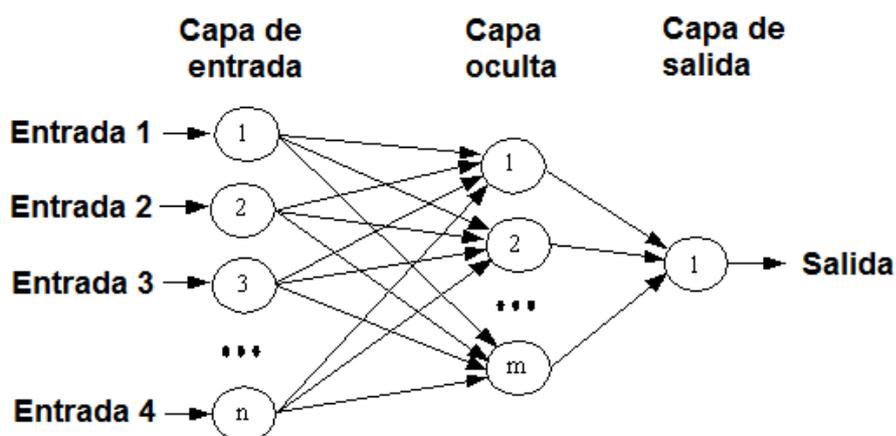


**Figura 5 Ejemplos de tipos de defectos aluminio**

Fuente: (Platero, 2016)

### b. Redes neuronales

Consiste en una red cuyos nodos son neuronas artificiales conectadas mediante enlaces de diferentes ponderaciones. Que tienen la capacidad de aprender complejas relaciones no lineales entre la entrada-salida usando procesos secuenciales de entrenamiento. La arquitectura de una red neuronal está compuesta de tres capas ver figura 9. (Platero, 2016)



**Figura 6 Arquitectura de red neuronal**

Fuente: (Platero, 2016)

### **c. Clasificadores estadísticos**

En esta técnica cada objeto es representado como un conjunto de mediciones de  $k$ -características y puede ser considerado el objeto como un punto en el espacio  $k$ -dimensional. Primero hay que seleccionar aquellas características que permitan a los vectores de los objetos de las distintas clases ocupar regiones disjuntas en el espacio  $k$ -dimensional. Hay dos metodologías: la basada en teoría de decisión y la basada en análisis discriminante.

En la primera las fronteras son determinadas por las distribuciones de probabilidad de cada clase, mientras que en el segundo caso se especifica una forma paramétrica de las fronteras entre las clases lineal, cuadrática y luego se definen basándose en las muestras de aprendizaje. (Platero, 2016)

## CAPÍTULO II

### 2. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

#### 2.1 Introducción

El desarrollo del proyecto en general, se realiza en base al proceso de diseño de ingeniería concurrente, donde se parte de la planeación y necesidades los cuales se identifican en las primeras etapas. En la figura 10 se muestra el proceso a seguir para el desarrollo de cada uno de los subsistemas que interviene en el proyecto.



**Figura 7 Proceso de diseño**

Fuente: (Ulrich & Eppinger, 2013)

#### 2.2 Necesidades y Especificaciones Técnicas

Los requerimientos del proyecto, se extrae a partir de las necesidades requeridas de los usuarios, para lo cual se realiza una encuesta (Anexo A - 1), con la finalidad de extraer información útil que permita establecer los

requerimientos que tendrá la máquina empaquetadora de helados. Las necesidades principales se muestran a continuación.

- El costo de implementación de la máquina sea económico
- Fácil instalación
- Fácil manejo
- Fácil mantenimiento
- Fácil de transportar
- El empaquetado sea de buena calidad
- El empaquetado se realice de forma rápida

Una vez determinado las necesidades o requerimientos de los usuarios, se realiza la matriz de necesidades – métricas (ver anexo A - 2), con la finalidad de obtener los requerimientos técnicos que la máquina poseerá, cumpliendo con los requerimientos del cliente.

### 2.2.1 Especificaciones técnicas

Analizando las necesidades establecidas y la matriz necesidades – métricas (ver anexo A - 2), se consigue obtener las especificaciones técnicas que debe cumplir la máquina como se observa en la tabla 5 y posteriormente seleccionar los componentes.

**Tabla 5**  
**Especificaciones técnicas de la máquina empaquetadora**

Núm.	Métrica	Unidad	Valor
1	Voltaje de alimentación	V	110 - 220
2	Dimensiones de la máquina	mm	LxAxH
3	Peso de la Máquina	Kg	200
4	Fuerza de actuadores	N	7
5	Velocidad de actuadores	cm/s	2
6	Número de entradas del controlador		5 – 10
7	Nivel ruido	dB	55 – 62
9	Temperatura de trabajo	° C	0 – 25

L: largo

A: alto

H: ancho

### 2.2.2 Método de evaluación

Para la selección de los componentes se realiza un análisis comparativo entre las alternativas de componentes posibles a utilizar, la selección de la mejor alternativa se obtiene mediante un proceso de calificación de parámetros, esto mediante escalas de ponderación acorde al nivel de satisfacción ver tabla 6 de los parámetros establecidos.

**Tabla 6**  
**Escala de calificación**

Calificación	Porcentaje (%)	Desempeño Relativo
1	< 20	Pésimo
2	20 – 40	Malo
3	40 – 60	Igual
4	60 – 80	Mejor
5	80 -100	Óptimo

### 2.3 Sistema Mecánico

El sistema mecánico, hace referencia a la estructura de soporte de la máquina empaquetadora, debido a que va soportar el peso de todos los componentes que intervienen en el empaquetado y clasificación de helados, es decir es el elemento principal del proyecto.

#### 2.3.1 Estructura de soporte

La estructura de soporte es el elemento donde van ensamblados todos los componentes tanto eléctricos como mecánicos, por lo cual debe ser un material resistente y que soporte el peso de los demás componentes, para el diseño de la estructura se analiza dos alternativas:

- Estructura de Acero inoxidable
- Estructura de Aluminio

En la tabla 7 se muestra la comparación entre una estructura de acero inoxidable y estructura de aluminio.

**Tabla 7**  
**Comparación de alternativas de Estructura**



**Estructura de Acero  
inoxidable**



**Estructura de Aluminio**

<b>Peso</b>	Es más pesado que el aluminio	Es alrededor de un tercio más liviano que el acero inoxidable
<b>Corrosión</b>	El acero inoxidable se compone de un porcentaje de cromo lo cual le brinda resistencia a la corrosión.	Presenta elevada resistencia a la corrosión y oxidación, gracias a su capa pasivada.
<b>Conductividad Térmica</b>	Conduce el calor de mejor manera.	Tiene mejor conductividad térmica
<b>Propiedades Térmicas</b>	El acero soporta elevadas temperaturas hasta 1510°C.	El aluminio se vuelve maleable entre los 120 y los 150 °C
<b>Soldadura</b>	Es relativamente fácil de soldar	La soldadura es más complicada
<b>Practicidad</b>	Tiene mayor resistencia, por lo cual es más complicado manipular el acero inoxidable.	Es bastante suave, se puede cortar, manipular y moldear con facilidad.
<b>Costo</b>	Accesible económicamente	Accesible económicamente

### **Selección del material de la estructura.**

En la tabla 8 se realiza la evaluación y selección de la estructura de la máquina en base a los criterios de selección y sistema de puntuación establecidos.

**Tabla 8**  
**Selección de la estructura**

Criterios de selección	Peso	Alternativas			
		A		B	
		Estructura de Acero		Estructura de Aluminio	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Soporte Corrosión	15%	4	0.6	3	0.45
Peso	20%	3	0.6	4	0.8
Soldadura	20%	5	1.0	2	0.4
Costo	10%	3	0.3	4	0.4
Propiedad Térmica	5%	3	0.15	4	0.2
Estructura para máquina de alimetos	30%	4	1.2	2	0.6
<b>Total</b>	100%	-	3.85	-	2.85
	Lugar	-	1	-	2
<b>¿Continuar?</b>			<b>Desarrollar</b>		<b>No</b>

La alternativa A es la más adecuada para la construcción de la estructura de soporte de la máquina según la tabla 8 gracias a su elevada resistencia a la corrosión y fácil soldabilidad, sobre todo porque el material acero inoxidable es recomendable para máquinas que están expuestos a trabajar con alimentos.

### 2.3.2 Sistemas de accionamiento

Se analizan tres sistemas:

- Sistema Eléctrico
- Sistema Neumático
- Sistema Hidráulico

En la tabla 9 se realiza una comparación entre las diferentes alternativas de sistemas de accionamientos, estableciendo sus ventajas y desventajas.

**Tabla 9**  
**Comparación entre los sistemas de accionamiento**

	<b>Sistema Eléctrico</b>	<b>Sistema Hidráulico</b>	<b>Sistema Neumático</b>
<b>Generador</b>	Corriente Electrica	Bomba	Compresor
<b>Transporte</b>	Conexiones eléctricas	Tuberías	Tuberías
<b>Fluido</b>	-	Aceite	Aire
<b>Opciones</b>	Corriente continua Corriente alterna Motores	Cilindros Bomba de paletas Bomba de pistones	Cilindros Motor de paletas Motor de Pistón
<b>Ventajas</b>	Precisos Fiables Fácil control Sencilla instalación Silencioso	Rápidos Alta relación potencia-peso Autolubricantes Alta Capacidad de carga Estabilidad frente a cargas estáticas	Baratos Rápidos Sencillos Robustos No contaminantes
<b>Desventajas</b>	Potencia Limitada	Difícil mantenimiento Instalación especial Frecuentes fugas Caros	Preparación del aire Instalación especial Velocidad

### Selección del sistema de mecanismos.

En la tabla 10 se realiza la selección de la mejor alternativa de sistema de mecanismos a implementar, para realizar esta selección se utiliza el sistema de puntuación en relación a los parámetros definidos.

**Tabla 10**  
**Evaluación de alternativas del sistema de mecanismos**

	<b>Alternativas</b>						
		<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>	
		<b>Sistema Eléctrico</b>		<b>Sistema Hidráulico</b>		<b>Sistema Neumático</b>	
<b>Criterios</b>	<b>Peso</b>	<b>Calificación</b>	<b>Evaluación ponderada</b>	<b>Calificación</b>	<b>Evaluación ponderada</b>	<b>Calificación</b>	<b>Evaluación ponderada</b>
Instalación	15%	4	0.6	2	0.3	4	0.6

Mantenimiento	20%	3	0.6	2	0.4	4	0.8
Precisión	10%	4	0.4	3	0.3	3	0.3
Control	20%	4	0.8	3	0.6	4	0.8
Modularidad	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Ruido	15%	4	0.6	4	0.6	3	0.45
Costo	10%	3	0.3	3	0.3	5	0.5
<b>Total</b>	100%		3.7		2.9		3.85
	Lugar		2		3		1
<b>¿Continuar?</b>		<b>No</b>		<b>No</b>		<b>Desarrollar</b>	

De acuerdo con la tabla 10 la mejor alternativa es el sistema de accionamiento neumático, esta elección se realizó también tomando en cuenta el proceso de empaquetado de helados, puesto que se necesita de aire comprimido para abrir el plástico que va a cubrir el producto y envasar al vacío el producto, además mediante el sistema de evaluación el sistema de neumático resulto más conveniente, debido a su rapidez, robustez, sencillez y fácil de controlar.

### 2.3.3 Compresor

El compresor cumple la función de proporcionar la presión de aire querida por el circuito neumático, se analiza dos tipos de compresores.

- Compresor de Pistón
- Compresor de Tornillo

En la tabla 11 se muestra una comparación entre las alternativas de compresores que se pretende utilizar para generar la presión de aire deseada.

**Tabla 11**  
**Comparación entre compresores**



**Compresor de Pistón**



**Compresor de Tornillo**

Tienen una gran eficiencia y rendimiento.	Funcionan por medio de motores eléctricos y motores a gasolina
Abren y cierran las válvulas para que con el movimiento del pistón se aspire y comprima el aire.	Consiste de 2 tornillos que comprimen el aire en una cámara.
Es de baja potencia.	Son muchos más eficientes que los demás compresores, Son silenciosos y brindan un caudal y presiones constantes. Tienen controles electrónicos, los cuales ayudan con el consumo de electricidad, evitando picos de consumo eléctrico.

### Selección del tipo de compresor.

La selección del compresor, se basa en un análisis de la tabla 11 comparativa de las características de los compresores, en la tabla 12 se realiza una selección mediante evaluación ponderada de requerimientos mediante parámetros establecidos.

**Tabla 12**

### Evaluación de alternativas para la selección del compresor

		Alternativas			
		A		B	
		Compresor de Pistón		Compresor de Tornillo	
Criterios	Peso	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Capacidad de aire (volumen)	20%	4	0.8	4	0.8
Eficiencia	30%	3	0.9	4	1.2
Instalación	10%	4	0.4	4	0.4
Presión regulable	20%	3	0.6	5	1.0
Costo	10%	2	0.2	3	0.3
Peso	10%	3	0.3	3	0.3
<b>Total</b>	100%		3.2		4
	Lugar		2		1
<b>¿Continuar?</b>		<b>No</b>		<b>Desarrollar</b>	

La alternativa B (Compresor de tornillo), es la opción más recomendada debido a sus grandes ventajas de uso y en especial a su alta eficiencia de trabajo, la cual cumple a cabalidad todos los requerimientos del sistema neumático y es más que suficiente para brindar la presión de aire necesaria para el circuito. Las especificaciones técnicas completas del compresor se pueden apreciar en el (Anexo B – 1).

### 2.3.4 Actuadores

El actuador, en este proyecto cumple la función de efector final, el cual sirve para empujar los helados hacia el tubo de empaquetado y su posterior sellado, puesto a que anteriormente se escogió para implementar un sistema neumático, se realiza la selección de un actuador neumático, para lo cual se analiza dos alternativas:

- Actuadores lineales
- Actuadores rotativos

En la tabla 13, se realiza una comparación entre estos dos tipos de actuadores neumáticos.

**Tabla 13**

#### **Comparación de alternativas de actuadores neumáticos**



**Actuadores Lineales**



**Actuadores Rotativos**

Convierten el flujo de aire comprimido en movimiento lineal  
 Altamente utilizados en movimientos cortos.  
 Pueden ser de simple efecto o de doble efecto.  
 El desplazamiento lo realiza el émbolo

Convierte la energía neumática en energía rotativa  
 Existe dos grandes grupos: actuadores de giro limitado y motores neumáticos  
 Son livianos y compactos  
 Su arranque y parada instantánea  
 Control sencillo.

- Difícil control de posición

### Selección del actuador.

La selección del actuador se la realiza en la tabla 14 teniendo en consideración los parámetros requeridos del sistema.

**Tabla 14**

#### Evaluación de alternativas del actuador neumático

		Alternativas			
		A		B	
		Actuador Lineal		Actuador Rotativo	
Críterios	Peso	Califi- cación	Evaluación Ponderada	Califi- cación	Evaluación Ponderada
Velocidad	20%	4	0.8	3	0.6
Tamaño	30%	5	1.5	3	0.9
Instalación	10%	3	0.3	3	0.3
Mantenimiento	20%	4	0.8	4	0.8
Costo	10%	4	0.4	3	0.3
Peso	10%	4	0.4	2	0.2
<b>Total</b>	100%		4.2		3.1
	Lugar		1		2
<b>¿Continuar?</b>		<b>Desarrollar</b>		<b>No</b>	

La alternativa más recomendada a seleccionar es la opción A (Actuador Lineal), puesto que se acomoda de mejor manera a los requerimientos del sistema, debido especialmente a su tamaño compacto, bajo peso y ser más económico.

El actuador que cumple con mejor características es el actuador cilíndrico neumático doble efecto, en el anexo (B – 2), se muestran las especificaciones técnicas del dispositivo neumático.

### 2.3.5 electroválvulas

Las electroválvulas cumplen la función de regular el paso del aire, permitiendo seleccionar la posición de los actuadores. La tabla 15 muestra la descripción de ventajas y desventajas de emplear electroválvulas.

Tabla 15

## Ventajas y desventajas de utilizar Electroválvulas

## ELECTROVÁLVULAS



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Pueden accionarse por mandos a distancia</p> <p>Se puede utilizar dispositivos como termostatos, manostatos, relojes de mando entre otros, para activar este tipo de válvulas.</p> <p>Permite mantener determinadas variables como temperatura, presión o nivel</p> <p>Pequeños y compactos</p>	<p>Costo de implementación un poco elevado</p> <p>Personal calificado para la instalación de este tipo de válvulas.</p> <p>En ocasiones pueden activarse por interferencia electromagnética producida por otros dispositivos</p> <p>El mantenimiento lo debe realizar personas especializadas.</p>

Mediante las ventajas y desventajas establecidas en la tabla 15, se opta por utilizar una electroválvula para distribuir y controlar el flujo de aire comprimido, específicamente se selecciona este debido a que es silencioso y compacto.

En el anexo (B – 3) se especifica detalladamente las características técnicas de una electroválvula.

### 2.3.6 Material del plástico para empaquetado

La envoltura del helado debe ser de un material que permita mantener la consistencia y temperatura del helado, para esto se analizan tres alternativas de materiales de plásticos:

- Polietileno

- Polipropileno
- Poliéster

En la tabla 16 se realiza la comparación entre estos tres tipos de materiales.

**Tabla 16**

**Comparación de los materiales de plásticos**

		
<b>Poliétileno</b>	<b>Polipropileno</b>	<b>Poliéster</b>
<p>Es un tipo de plástico Robusto.</p> <p>Gran resistencia a la abrasión, al impacto y al desgaste</p> <p>Resiste las bajas temperaturas, ideal para productos congelados.</p> <p>Es muy elástico, se estira fácilmente</p> <p>Es muy económico</p>	<p>Es de color blanco translúcido de forma natural.</p> <p>Es muy ligero</p> <p>Es resistente a los electrolitos y los acidos abrasivos.</p> <p>Muy buena resistencia y elasticidad, es difícil de romper.</p> <p>Soporta las temperaturas, permanece en condiciones perfectas entre 0°C y 100°C.</p>	<p>Soporta el calor.</p> <p>Resistente a los ácidos, alcalinos y blanqueadores</p> <p>Alta elasticidad.</p> <p>Resistente a la abrasión</p> <p>Se ensucia rápidamente, especialmente de grasa y aceite.</p> <p>Repele el agua y es de secado rápido.</p>

**Selección del material del plástico para envase.**

El tipo de plástico a utilizar debe ser de un material de alta calidad, de buenas propiedades físicas y químicas, la selección de este material se realiza mediante una evaluación de criterios ver tabla 17.

Tabla 17

## Evaluación de alternativas del material de plástico

		Alternativas					
		A		B		C	
		Polietileno		Polipropileno		Poliéster	
Criterios	Peso	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Resistente a la abrasión	20%	4	0.8	4	0.8	5	1.0
Mantenga la temperatura	20%	4	0.8	4	0.8	3	0.6
Sea elástico	15%	4	0.6	5	0.75	3	0.45
Resistente a productos químicos	15%	3	0.45	4	0.6	4	0.6
Repela la suciedad	15%	4	0.6	4	0.6	2	0.3
Se pueda aplicar color	10%	4	0.4	4	0.4	3	0.3
Costo	5%	3	0.15	3	0.15	2	0.1
<b>Total</b>	100%		3.8		4.1		3.95
	Lugar		3		1		2
<b>¿Continuar?</b>		<b>No</b>		<b>Desarrollar</b>		<b>No</b>	

A partir del análisis de la tabla 17, se puede deducir que la mejor alternativa para el material del plástico es el polipropileno, puesto que los plásticos de este tipo de material son resistentes a la abrasión, mantienen la temperatura, que para el caso son temperaturas bajas para la conservación de los helados,

debido a su elasticidad se puede manipular y moldear fácilmente, además de repeler la suciedad especialmente la grasa.

## 2.4 Dispositivo para control del Sistema Neumático

Una vez seleccionado la mayor parte de los elementos mecánicos del sistema, se procede a seleccionar los dispositivos que permiten controlar los elementos neumáticos, al igual que los dispositivos para el control de la variable de temperatura.

### 2.4.1 Controlador.

Éste se encarga de controlar todos los dispositivos mediante las entradas los cuales van conectados a sensores, se analizan tres dispositivos.

- PLC
- Arduino Industrial
- PC Industrial

La tabla 18, muestra una comparación de características de cada tipo de controlador establecido.

**Tabla 18**  
**Comparación de los dispositivos controladores**

	 PLC	 Arduino Industrial	 PC industrial
<b>Canales de E/S digitales, analógicas</b>	SI	SI	SI
<b>Voltaje de trabajo</b>	120 - 230 V AC	6,5 – 32 V DC	110 -220 V AC
<b>Compatibilidad con módulos y sensores</b>	SI	Si	Si
<b>Procesador</b>	CPU 1211C	ATmega 32u4	Core 2 extrem quad-core
<b>Trabajar con base de datos</b>	NO	NO	SI

CONTINÚA 

<b>Memoria</b>	1 Mb interna SDcard	256 Kb interna SDcard	Disco Duro
<b>Programación</b>	Ladder	Arduino	Lenguaje de programación determinado
<b>Dimensión</b>	90x100x75 mm	71,5 x 87 x 58 mm	Depende de la marca

### Selección del controlador.

La selección del controlador se realiza acorde a los parámetros requeridos y mediante un sistema de puntuación ver tabla 19.

**Tabla 19**

### Evaluación de alternativas del controlador

Criterios	Peso	Alternativas					
		A PLC		B Arduino Industrial		C PC Industrial	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
E/S digitales	20%	5	1.0	5	1.0	5	1.0
Controlador	20%	4	0.8	4	0.8	5	1.0
Memoria	15%	4	0.6	3	0.45	4	0.6
Dimensión	15%	5	0.75	5	0.75	2	0.3
Compatibilidad	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Programación	10%	4	0.4	3	0.3	3	0.3
Costo	5%	4	0.2	4	0.2	2	0.1
Peso	5%	4	0.2	4	0.2	2	0.1

CONTINÚA 

<b>Total</b>	100 %	4.35	4.1	3.8
	Lugar	1	2	3
<b>¿Continuar?</b>		<b>Desarrollar</b>	<b>No</b>	<b>No</b>

De acuerdo con la tabla 19, la alternativa del controlador más conveniente es el PLC, ya que cumple con todos los requerimientos establecidos para comandar los diferentes sensores y actuadores, la especificación técnica detallada de este controlador se aprecia en el anexo (B – 4).

### 2.4.2 Sensor de Temperatura

Tiene la función de captar el nivel de temperatura del entorno donde se implementa la máquina:

- Termocupla
- Termistor
- RTD

En la tabla 20 se analizan los tres dispositivos seleccionados:

**Tabla 20**  
**Comparación de alternativas de sensores de temperatura**



**Termocupla**



**RTD**



**Termistor**

<b>Rango de Temperatura</b>	Amplio rango -450°F +4200°F	Amplio -400°F +1200°F	Medio -400°F +500°F
<b>Intercambiable- Bilidad</b>	Excelente	Buena	Malo a Regular
<b>Estabilidad a Largo plazo</b>	Bueno	Malo a Regular	Malo
<b>Exactitud</b>	Alto	Medio	Medio

<b>Repetibilidad</b>	Excelente	Malo a Regular	Regular a Bueno
<b>Sensibilidad</b>	Medio	Bajo	Muy Alto
<b>Respuesta</b>	Medio a Rápido	Medio	Medio a Rápido
<b>Linealidad</b>	Bueno	Regular	Malo
<b>Tamaño</b>	Pequeño a Largo	Medio a Pequeño	Pequeño a Medio
<b>Costo</b>	Alto	Bajo	Bajo

### Selección del sensor de temperatura

La selección de este componente se los realiza en la tabla 21 acorde a parámetros y criterios de selección.

**Tabla 21**

### Evaluación de alternativas de sensores de temperatura

		Alternativas					
		A		B		C	
		Termocupla		RTD		Termistor	
Crterios	Peso	Califi- cación	Evaluación ponderada	Califi- cación	Evaluación ponderada	Califi- cación	Evaluación ponderada
Rango de temperatura	25%	5	1.25	5	1.25	5	1.25
Exactitud	20%	5	1.0	4	0.8	3	0.6
Respuesta	15%	4	0.6	3	0.45	3	0.45
Sensibilidad	10%	3	0.3	2	0.2	4	0.4
Intercambia- Bilidad	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Linealidad	10%	4	0.4	3	0.3	2	0.2
Repetitividad	5%	4	0.2	2	0.1	3	0.15
Costo	5%	3	0.15	4	0.2	4	0.2
<b>Total</b>	100%		4.3		3.7		3.65
	Lugar		1		2		3
<b>¿Continuar?</b>		<b>No</b>		<b>Desarrollar</b>		<b>No</b>	

La alternativa A (Termocupla), resulta la opción más conveniente, puesto a que cumple con todos los parámetros establecidos para medir la temperatura, a pesar que es más costoso que los demás, pero a largo plazo se ve recompensado por la eficacia, precisión y durabilidad del sensor.

### 2.4.3 Controlador de Temperatura

El controlador de temperatura como su nombre lo indica permite mantener la temperatura en un valor determinado, según sea los requerimientos para la aplicación, la elección de este dispositivo se realiza mediante una comparación entre tres marcas de controladores.

- Controlador de temperatura Ibest
- Controlador de temperatura Yudian
- Controlador de temperatura Gefran

En la tabla 22 se realiza la comparación entre los tres controladores de temperatura, con el fin de determinar sus mejores características.

**Tabla 22**

**Comparación de controladores de temperatura**



**Ibest**



**Yudian**



**Gefran**

<b>Tamaño</b>	48 x 48 mm	48 x 96 mm	48 x 48 cm
<b>Alimentación</b>	110 – 220 V AC	100 – 240 V AC	110 – 220 V AC
<b>Salida</b>	Relé, SSR, SCR	SSR, Triac, Tiristor	Relé, SSR
<b>Control que realiza</b>	PID, Fuzzy, ON-OFF	PID, Fuzzy, ON - OFF	PID, Fuzzy
<b>Rango de Temperatura</b>	-10°C – 60°C	-10°C – 60°C	-20°C – 60°C
<b>Humedad Relativa</b>	35 – 85 %	≤ 90 %	≤ 90 %
<b>Dispositivos compatibles</b>	TC (K, E, J, T) RTD (Pt100, Cu50)	Termocupla	Termocupla, RTD
<b>Precisión</b>	± 3 % FS	0.2 % FS	0.3 % FS
<b>Frecuencia de Muestro</b>	500 ms	250 ms	300 ms

## Selección del controlador de Temperatura

La selección se realiza acorde a un conjunto de criterios de evaluación, en base a parámetros establecidos, en la tabla 23 se muestra la evaluación del controlador de temperatura.

**Tabla 23**

### Evaluación de alternativas de controladores de temperatura

Criterios	Peso	Alternativas					
		A		B		C	
		lbest	Yudian	Gefran			
		Califi- cación	Evaluación ponderada	Califi- cación	Evaluación ponderada	Califi- cación	Evaluación ponderada
Rango de Temperatura	15%	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Compatibilidad con sensores	15%	5	0.75	3	0.45	4	0.6
Control que realiza	15%	4	0.6	4	0.6	3	0.45
Precisión	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Frecuencia de Muestreo	10%	3	0.3	4	0.4	4	0.4
Salida	10%	4	0.4	3	0.3	2	0.2
Dimensión	10%	5	0.5	3	0.3	5	0.5
Costo	10%	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Peso	5%	4	0.2	2	0.1	4	0.2
<b>Total</b>	100 %		4.2		3.6		3.8
Lugar			1		3		2
<b>¿Continuar?</b>			<b>Desarrollar</b>		<b>No</b>		<b>No</b>

La Alternativa A resulta el componente idóneo, debido a su precisión, amplia compatibilidad con diferentes sensores de temperatura, diferentes tipos de salida para el control, además de la dimensión y peso aceptable para

la instalación en la caja de control del proyecto, las especificaciones técnicas detalladas del componente se la pueden apreciar en el (Anexo B – 5).

#### 2.4.4 Componentes del sistema Inteligente de Clasificación

La parte de control de calidad y clasificación de los helados se realiza mediante inteligencia artificial, con la finalidad de tener sistema robusto capaz de detectar los diferentes sabores de helados para la clasificación.

#### 2.4.5 Tarjeta de procesamiento

La tarjeta de procesamiento se encarga de procesar la información que recibe de los sensores para realizar la clasificación de los helados, se analizan tres tipos de tarjeta para realizar el control inteligente, entre ellas están:

- LattePanda
- Raspberry Pi3
- PC gama i5

En la tabla 24, se muestra la comparación entre las diferentes tarjetas.

**Tabla 24**

#### Comparación entre tarjetas de procesamiento



**LattePanda**



**Raspberry Pi3**



**PC i5**

<b>Dimensión</b>	8,8 x7 x 1,5 cm	8,6 x 5,4 x 1,7 cm	34x 25 cm
<b>OS</b>	Windows 10, Linux	Linux	Windows 8,ubuntu
<b>Salida de Video</b>	HDMI	HDMI	HDMI
<b>Memoria RAM</b>	2 / 4GB DDR3L	512 MB	4 GB
<b>Voltaje</b>	5 V	5 V	110-220 V

CONTINÚA



<b>Puertos</b>	1 x USB 3.0, 2 x USB 2.0	USB: Cuatro MicroUSB: Uno Ethernet: Uno	3 x USB 3.0
<b>Pines de control</b>	2 GPIO de chips Intel, 20 GPIO para Arduino	40 GPIO	-
<b>Peso</b>	120 gramos	98 gramos	2190 gramos

### Selección de la tarjeta de procesamiento

La selección de la mejor tarjeta de procesamiento se realiza mediante una evaluación de criterios, acorde a parámetros establecidos ver tabla 23

**Tabla 25**

### Alternativas de la tarjeta de procesamiento

Alternativas							
Criterios	Peso	A LattePanda		B Raspberry Pi3		C PC i5	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Procesador	20%	4	0.8	3	0.6	3	0.6
Memoria RAM	15%	4	0.6	4	0.6	4	0.6
E/S Digitales	15%	3	0.45	4	0.6	5	0.75
Almacenamiento	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Salida de Video	5%	4	0.2	4	0.2	4	0.2
Dimensión	5%	5	0.25	3	0.15	5	0.25
Voltaje	10%	5	0.5	5	0.5	5	0.5
Puertos	5%	4	0.2	4	0.2	4	0.2
Costo	10%	2	0.2	4	0.4	5	0.5
Peso	5%	3	0.15	4	0.2	5	0.25
<b>Total</b>	100%		3.75		3.85		4.25
	Lugar		3		2		1
<b>¿Continuar?</b>			<b>No</b>		<b>No</b>		<b>Desarrollar</b>

Analizando la tabla 25, se puede deducir que la alternativa más recomendada un pc gama i5, debido a su estructura robusta que permite prácticamente realizar cualquier tarea de control y monitoreo de variables puesto a que es una computadora.

## 2.4.6 Motores

El motor en el sistema de control de calidad y clasificación, cumple la función de efector final para clasificar los helados, para ello se analizan tres tipos de motores entre ellos:

- Motores DC
- Servomotores
- Motores paso a paso

En la tabla 26 se realiza una comparación entre las características de los motores con el fin de establecer parámetros de selección.

**Tabla 26**  
**Comparación de los motores**

			
	<b>Motor DC</b>	<b>Servomotor</b>	<b>Motor a pasos</b>
<b>Voltaje</b>	1,25 - 6V	4,7 - 12V	9 - 12V
<b>Rotación</b>	360 grados	180 grados	7,5 grados (paso)
<b>Torque</b>	Bajo	Alto	Alto
<b>Compatibilidad</b>	Arduino	MCU - Arduino	Arduino
<b>Precisión</b>	Baja	Media	Alta
<b>Pines</b>	2	3	5
<b>Control</b>	Fácil	Fácil	Medio

CONTINÚA 

<b>Velocidad</b>	Alta Velocidad	Bajo	Bajo
<b>Aplicaciones</b>	Donde se requiera alta velocidad	Donde se requiera alto torque	Donde se requiera Precisión

### Selección de motores

La selección del motor se realiza mediante el análisis de la tabla 27 donde se exponen las principales características de los motores y también realizando un sistema de evaluación acorde a parámetros a tomar en cuenta para la óptima ejecución de la función en el sistema de clasificado.

**Tabla 27**

### Evaluación de alternativas de los motores

		Alternativas					
		A		B		C	
		Motor DC		Servomotor		Motor a pasos	
Crterios	Peso	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Fácil control	15%	4	0.6	3	0.45	4	0.6
Ruido	15%	4	0.6	5	0.75	4	0.6
Precisión	15%	2	0.3	3	0.45	4	0.6
Velocidad	10%	3	0.3	4	0.4	5	0.5
Torque	10%	2	0.2	3	0.3	5	0.5
<b>Rotación</b>	15%	4	0.6	2	0.3	4	0.6
<b>Peso</b>	10%	4	0.4	5	0.5	5	0.5
Costo	10%	5	0.5	3	0.3	3	0.3
<b>Total</b>	100%		3.5		3.45		4.2
	Lugar		2		3		1
<b>¿Continuar?</b>		<b>No</b>		<b>Desarrollar</b>		<b>No</b>	

La alternativa para selección de motor más conveniente es la utilización de motor paso a paso, pues cumple a cabalidad con todos los requerimientos establecidos para una óptima clasificación de los helados, además de ser un motor de alto torque y principalmente fácil de controlar por cualquier tarjeta de procesamiento.

## 2.4.7 Resumen de componentes de alternativas seleccionadas

Cada uno de los componentes cumple con las necesidades establecidas, a más de ello se pueden encontrar fácilmente en el mercado, que cumplen con parámetros de calidad requeridas para una alta durabilidad. En la tabla 26, se resumen los elementos seleccionados.

**Tabla 28**

### Evaluación de alternativas seleccionada

Sistema	Componente y Descripción	Esquema Gráfico
Sistema Mecánico	<p><b>Acero inoxidable AISI-304</b></p> <p>Servirá como material para la construcción de las partes que estarán en contacto con el producto.</p>	
	<p><b>Plástico Polipropileno</b></p> <p>Material de envoltura para los helados.</p>	
Sistema Neumático	<p><b>Compresor de Tornillo</b></p> <p>Encargado de proporcionar el aire comprimido requerido.</p>	
	<p><b>Actuador Lineal de doble efecto</b></p> <p>Cumplen la función de mover los diferentes mecanismos de sellado, empujar el helado y arrastre de rollo.</p>	
	<p><b>Electroválvulas 5/2</b></p> <p>Permite controlar y distribuir el flujo de aire comprimido</p>	

CONTINÚA 

<b>Control</b>	<p><b>PLC Siemens S7-1200</b></p> <p>Dispositivo encargado de administrar, ordenar y dirigir el comportamiento del sistema.</p>	
	<p><b>Sensor de temperatura RTD</b></p> <p>Utilizado para medir la temperatura del entorno de trabajo.</p>	
	<p><b>Controlador de Temperatura Ibest.</b></p> <p>Permite mantener la temperatura en un valor determinado.</p>	
<b>Sistema Inteligente de Clasificación</b>	<p><b>Pc i5</b></p> <p>Controla la parte de clasificación</p>	
	<p><b>Motor paso a paso</b></p> <p>Actuador para clasificación de los helados.</p>	

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

#### 3.1 Introducción.

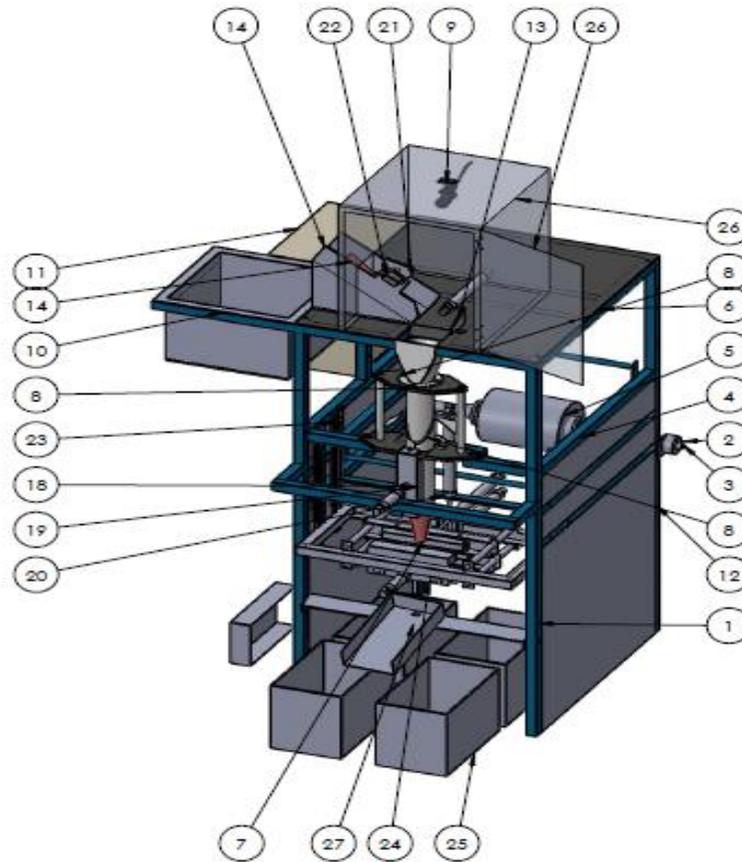
Para desarrollar la máquina se procede a diseñar sus elementos, estructura y mecanismos que permitirán realizar el proceso de empaquetado y clasificado, de acuerdo a los requerimientos del cliente, con ayuda de un Software de dibujo asistido por computador (CAD), se modelará los mecanismos, tratando siempre de utilizar la menor cantidad de recursos para evitar gastos excesivos en mantenimiento mecánico de la máquina.

#### 3.2 Diseño Mecánico

La máquina para empaquetado y clasificación deberá ser capaz de abastecer la capacidad de producción de 240 helados cada hora, es decir que la máquina deberá empaquetar un mínimo de 4 helados por minuto para satisfacer la demanda total de producción de helados.

Tomando en cuenta que el trabajo al cual estará sometida la máquina, el diseño debe constar de materiales que no impliquen riesgos para la salud, de esta manera se utilizará acero inoxidable AISI 304 debido a que la máquina estará en contacto físico directamente con los helados.

En base al análisis y síntesis teórica se ha optado por el sellado mediante resistencias eléctricas para el cual se requiere una níquelina eléctrica, la misma que mantiene elevada su temperatura y suelda herméticamente el polipropileno al hacer contacto con la placa de soporte. Para el diseño de las piezas constitutivas de la máquina empaquetadora se utiliza un software de modelado 3D, los planos y ensambles de la máquina se incluyen en el (Anexo D-1), las partes que constituyen la maquinaria se describen a continuación:

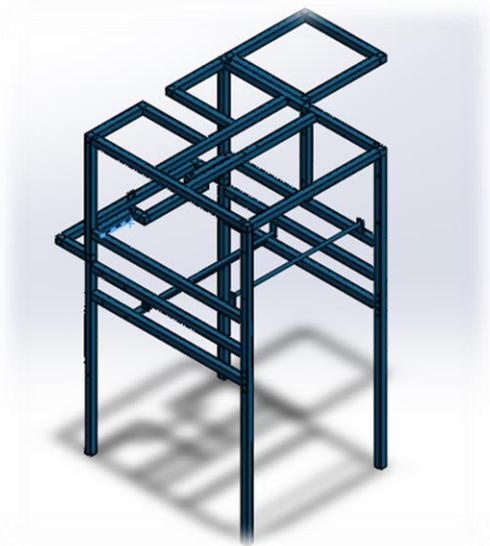


N.º DE ELEMENT	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	Peso Total[N]
1	Estructura principal	1	251,3
2	Base soporte del rodillo	2	5,88
3	Eje del rodillo	1	28,19
4	Acople ajuste rodillo	2	28,87
5	rollo Polipropileno	1	58,8
6	Placa superior	1	97,29
7	helado	2	1,32
8	Ensamble del formador	1	51,55
9	Asieme LifeCam Cinema Microsoft	1	0,4
10	Bandeja	1	83,94
11	Caja de control	1	81,33
12	Tapa_1	2	67,42
13	Tope helados	1	0,7
14	Deposito inclinado de helados	1	14,19
15	Ensamblaje actuador_RAL_20X50-S	1	1,47
16	Ensamblaje actuador_RAL_20X25-S	1	0,69
17	tuerca actuador	1	0,2
18	Mordazas termo sellado vertical	1	21
19	soporte mordaza	1	3,57
20	Ensamblaje actuador_RAL_20X150-S	1	11,6
21	Mecanismo dosificador de helados	1	1,34
22	Servomotor	1	0,55
23	Drawer Slide-Sliding	4	
24	Ensamblaje termosellado horizontal	1	97,90
25	Caja de helados	4	62,9
26	Cubierta de cámara	1	63,9
27	Mecanismo de clasificación	1	12,3

Figura 8 Componentes mecánicos de la máquina

### 3.2.1 Estructura principal.

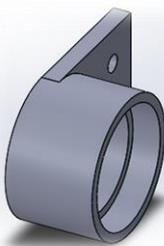
Es el primer componente de la máquina empaquetadora como se muestra en la figura 8, la estructura se la diseñó de tal forma que pueda contener los mecanismos, para esto se escoge un acero inoxidable AISI 304 que soporte las cargas, el aspecto de la estructura se lo puede observar en la figura 9.



**Figura 9 Estructura principal**

### 3.2.2 Base soporte del rodillo.

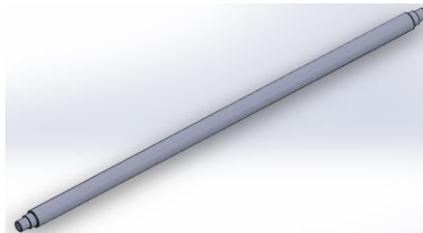
La base para el soporte de rodillo, corresponde al componente número 2 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, esta pieza aloja al rodamiento en el cual está apoyado el eje del rodillo, el rodamiento a utilizar es un AB6202 según el (anexo G), el cual facilitará el desenrollado del rollo de polipropileno ver figura 10.



**Figura 10 Base soporte rodillo**

### 3.2.3 Eje del rodillo.

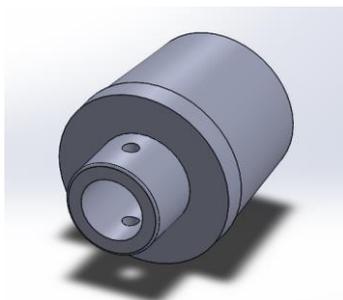
El eje del rodillo, corresponde al componente número 3 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, es el eje que soportará al rollo de polipropileno, está ubicado dentro de la base soporte del rodillo, el modelado del eje se lo observa en la figura 11, estará construido en acero inoxidable AISI 304, diámetro 12,7mm y longitud 600mm.



**Figura 11 Eje del rodillo.**

### 3.2.4 Acople de ajuste del rodillo.

El acople de ajuste del rodillo, corresponde al elemento número 4 del ensamblaje principal de la máquina de la figura 8, su función es sujetar el rollo de polipropileno con el eje del rodillo para facilitar su desenrollado, estará construido en teflón debido a sus propiedades antiadherentes y bajo peso.

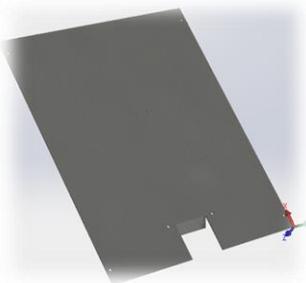


**Figura 12 Acople de ajuste del rodillo.**

### 3.2.5 Placa Superior

La placa superior, corresponde al componente número 6 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, se encuentra ubicado en la parte superior de la estructura y sirve de soporte para la cubierta de cámara, el depósito inclinado y el cilindro que inicia el proceso de empaquetado, cuenta con un

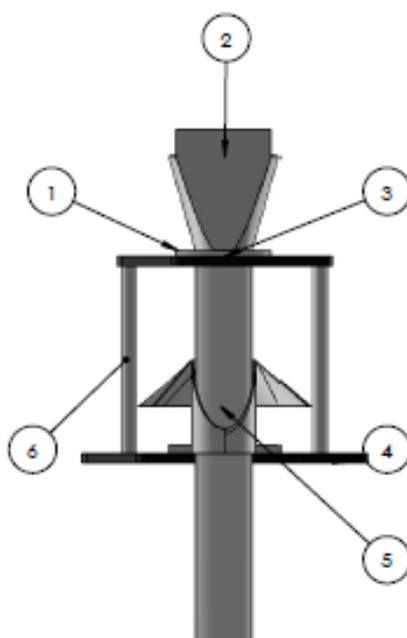
agujero por el cual caerán los helados hacia la funda de polipropileno como se observa la figura 13, está construida en lámina de acero inoxidable AISI 304 de 1 mm de espesor debido a que estará en contacto con los helados.



**Figura 13 Placa superior.**

### **3.2.6 Hombro formador de empaque**

Este conjunto, corresponde al componente número 8 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, su función es doblar la lámina de polipropileno de tal forma que un extremo queda sobrepuesto al otro, listo para que la prensa de sellado vertical sea presionada y se selle verticalmente como se observa en la figura 14, el mecanismo está construido en acero inoxidable AISI 304.



**Figura 14 Hombro formador de empaque.**

En la tabla 29 se indica la lista de componentes que constituyen el hombro formador, tomando en cuenta la figura 14.

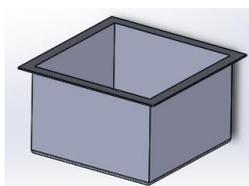
**Tabla 29**

**Lista de componentes para el hombro formador del empaque**

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tubo formador	Dobla la lámina de polipropileno alrededor de sí.	1
2	Resbaladilla	Une la placa base con el formador	1
3	Placa superior tubo formador	Sujeta la parte superior del hombro	1
4	Placa inferior tubo formador	Soportar al hombro formador	1
5	Formador	Inicia el doblado de la lámina de polipropileno	1
6	Separador tubo formador	Separa las placas	2

**3.2.7 Bandeja contenedora.**

La bandeja contenedora corresponde al elemento número 10 del ensamblaje principal de la máquina de la figura 8, es el recipiente donde se llenarán los helados como se observa en la figura 15, estará ubicado en un costado de la máquina de la forma más ergonómica para facilitar el trabajo del operador que se encuentre realizando el proceso de empaquetado.



**Figura 15 Bandeja contenedora**

**3.2.8 Caja de Control.**

Este componente, corresponde al elemento número 11 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, dentro de la caja de control se introducirá

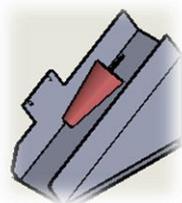
todo el cableado y tarjetas electrónicas que comandaran la máquina empaquetadora, esta caja cuenta con unas dimensiones de 400\*400\*200 mm.



**Figura 16 Caja de control.**

### 3.2.9 Depósito inclinado de helados.

El depósito inclinado de helados, corresponde al componente número 14 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, se lo diseña de tal manera que permitirá que los helados se deslicen libremente hacia abajo una vez dada la instrucción, con una velocidad máxima de 1 m/s ver figura 17



**Figura 17 Depósito inclinado de helados.**

Para evitar que el helado supere esta velocidad se utiliza un ángulo de 30 grados para el depósito inclinado como se muestra en la figura 18.



**Figura 18 Diagrama de cuerpo libre de un helado sobre la resbaladilla.**

Para determinar la velocidad se utilizará un análisis dinámico partiendo de la figura 18, podremos determinar la velocidad con la que caerá cada helado, los datos iniciales están dados en función de la masa del helado ( $m$ ) y de la fuerza de rozamiento la misma que se determinó experimentalmente en el (anexo C).

Datos:

$$m = 135 \text{ g} \quad ; \text{ Masa del helado}$$

$$\mu_c = 0.101 \quad ; \text{ Coeficiente de rozamiento}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2 \quad ; \text{ Gravedad}$$

$$d = 0.14m \quad ; \text{ Distancia de la resbaladilla}$$

Para encontrar la velocidad se debe encontrar la aceleración del sistema para ello es necesario encontrar la fuerza normal (N), para esto se realiza la sumatoria de todas las fuerzas en el eje  $y$  y se despeja la fuerza normal.

$$N = mg * \cos(\emptyset) \quad (1)$$

Donde:

N: Fuerza normal

m: masa del helado

g: Gravedad

$\emptyset$ : ángulo de inclinación del depósito

Con este valor se encuentra posteriormente el valor de la aceleración.

$$\sum F_x = m \cdot a_x \quad (2)$$

Donde:

$F_x$  : Fuerza en el eje x

$a_x$ : aceleración en el eje x

m: masa del helado

$$w_x - F_r = m \cdot a_x$$

$$a_x = \frac{w_x - F_r}{m}$$

$$a_x = \frac{mg * \text{sen}(\theta) - \mu N}{m}$$

$$a_x = g[\text{sen}(\theta) - \mu \cdot \cos(\theta)]$$

$$a_x = (9.81)[\text{sen}(30) - (0.101)(\cos(30))]$$

$$a = 4.04 \text{ m/s}^2$$

Con el valor de la aceleración se determina la velocidad teórica con la que llegaría cada helado a partir de la ecuación 3

$$Vf^2 = V_0^2 + 2a_x \cdot d \quad (3)$$

Conociendo que la velocidad inicia es cero ya que parte del reposo se obtiene el valor de la velocidad final

$$Vf^2 = 2a_x \cdot d$$

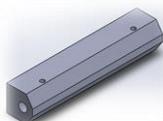
$$Vf^2 = 2(4.04)(0.14)$$

$$Vf = 1.06 \text{ m/s}$$

El valor  $Vf$  se calcula con la finalidad de demostrar que el ángulo asumido no presenta una caída brusca del producto, además pueda vencer la fuerza de rozamiento de la resbaladilla y el helado con el fin de que tenga una caída libre.

### 3.2.10 Mordaza de Sellado

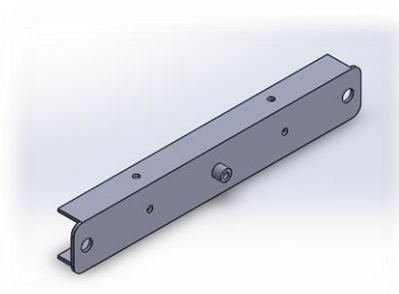
Corresponde al elemento número 18 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, Dentro de este componente se ubicada la niquelina para transmitir la energía a esta mordaza que realizará el sellado tanto horizontal como vertical, en la figura 19 se observa una representación gráfica de dicho elemento.



**Figura 19 Mordaza de sellado**

### 3.2.11 Soporte de mordaza.

Corresponde al elemento número 19 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, permite la unión de la mordaza con el vástago del cilindro neumático para el sellado horizontal como se observa en la figura 20, además disipará el calor de la niquelina para que no se vean afectados los demás elementos.



**Figura 20 Soporte de mordaza.**

### 3.2.12 Corredera.

Estos elementos corresponden al elemento número 23 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8 y se encontrarán ubicados en los extremos del mecanismo de sellado horizontal con el fin de evitar el descentramiento o desplazamientos indebidos, se lo puede observar en la figura 21, durante el ascenso y descenso del cilindro neumático.

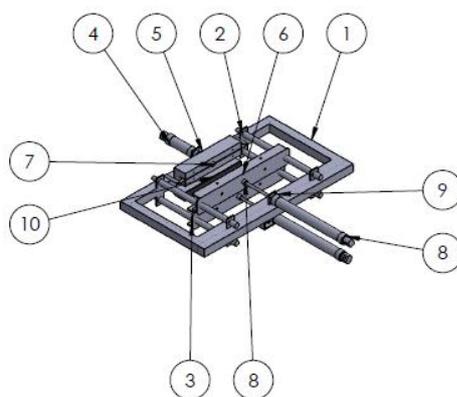


**Figura 21 Corredera.**

### 3.2.13 Sellado Horizontal

Este ensamblaje corresponde al elemento número 24 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, este sistema es un conjunto de elementos

que, sincronizados entre sí, permiten sellar, arrastrar la lámina de polipropileno y finalmente cortar a la distancia exacta entre cada helado. Su desplazamiento se lo realiza en el eje Y mediante un actuador lineal, este componente se apoya en las correderas de sus dos extremos.



**Figura 22 Sellado horizontal**

Este conjunto está compuesto por 10 elementos como se observa en la figura 22 los cuales se detallan en la tabla 30.

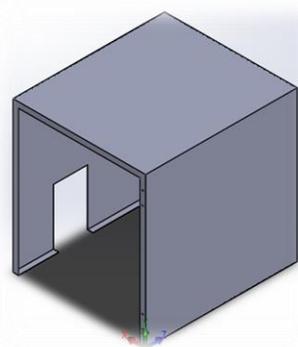
**Tabla 30**

**Componentes del termo sellado horizontal.**

N°	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base sellado horizontal	Soportará a la estructura de sellado.	1
2	Guías termo sellado	Centrará la trayectoria de las mordazas.	4
3	Placa base mordaza termo sellado	Sujeta las mordazas.	2
4	Actuador	Cilindro RACL 20*150	1
5	Mordazas	Arrastrar la lámina de polipropileno.	2
6	Mordaza de sellado.	Sujetarán la lámina polipropileno.	2
7	Cuchilla	Corta la lámina de polipropileno.	1
8	Actuador	Cilindro RACL 20*150.	2
9	Tuerca actuador	Sujetará el cilindro	1
10	Caucho	Evitará el derrape del plástico.	1

### 3.2.14 Cubierta Cámara.

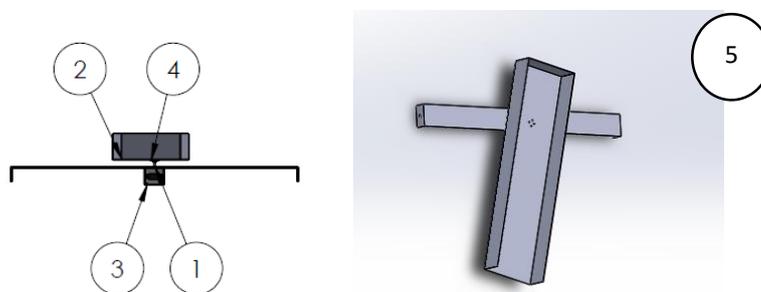
La cubierta de cámara corresponde al elemento número 26 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, este componente se encuentra en la parte superior de la estructura y cumple la función de mantener constante la iluminación en el interior de la misma, por otra parte la cubierta que se observa en la figura 23 sirve de soporte tanto para el sistema de iluminación como para la cámara, a más de ello se lo ha diseñado con una abertura en la parte lateral por la que ingresa el depósito inclinado y alimenta al sistema de empaquetado.



**Figura 23 Cubierta de cámara**

### 3.2.15 Mecanismo de clasificación

Permitirá colocar los helados empaquetados en las respectivas cajas para su posterior almacenamiento, este ensamblaje corresponde al elemento número 26 del ensamblaje principal de la máquina ver figura 8, consta de cuatro elementos, los cuales se pueden observar en la figura 24.



**Figura 24 Mecanismo de clasificación (1) soporte, (2) resbaladilla, (3) motor paso a paso (4), Acople, (5) vista superior.**

El mecanismo de clasificación permitirá a la resbaladilla girar 360 grados para ubicarse en las cajas de salida correspondientes, para esto se utilizará los elementos que se detallan en la tabla 29.

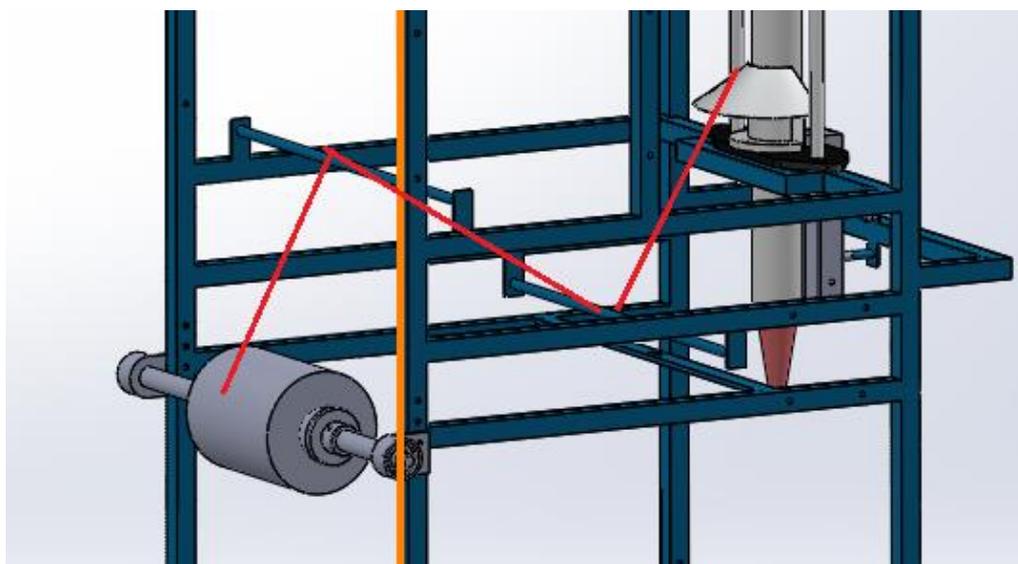
**Tabla 31**

**Componentes del mecanismo de clasificación.**

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte del clasificador.	Soportará a la estructura del clasificador.	1
2	Resbaladilla del clasificador	Permitirá el deslizamiento de los helados a las respectivas cajas.	1
3	Motor a pasos NEMA 16	Posicionará la resbaladilla a la caja correspondiente.	1
4	Acople	Permitirá sujetar el motor con la resbaladilla	1

**3.2.16 Mecanismo de tensado de lámina**

Es el encargado de desenrollar la lámina en coordinación al arrastre producido por el sellado horizontal, la línea roja muestra la trayectoria por la cual se desliza el polipropileno antes de llegar al formador de empaque ver figura 25.



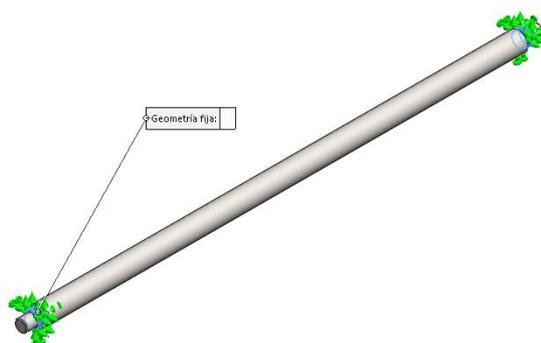
**Figura 25 Recorrido de lámina polipropileno**

### 3.3 Análisis estático

Para el análisis se considera los elementos que están soportando las mayores cargas.

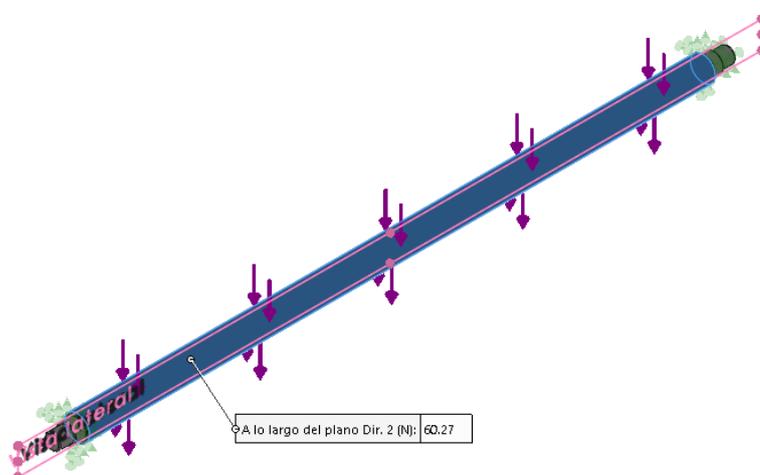
#### 3.3.1 Análisis estático del eje del rodillo

Se empieza diseñando el eje del rodillo, este elemento soportará el peso del rollo de polipropileno, utilizado en el empaquetado de los helados, se realiza un análisis estático para comprobar si no va a existir falla, de igual manera se coloca las fijaciones, en este caso se analiza como si fuera una viga simplemente apoyada fijando los extremos como se puede ver en la figura 26, las dimensiones se la observa en el (anexo D-4).



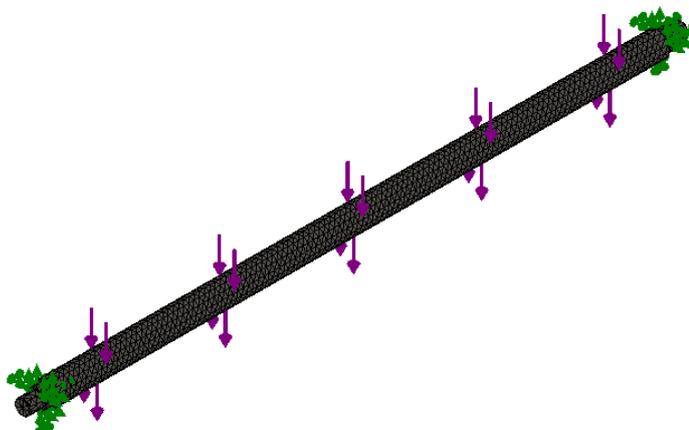
**Figura 26 Sujeciones fijas en los extremos del eje**

Posteriormente se coloca el peso del rollo de polipropileno, que aproximadamente es 6 Kg y también la gravedad ver figura 27.



**Figura 27 Fuerzas aplicadas en la estructura**

En la figura 28 se observa el mallado del eje, de igual manera debe ser fina para mejor precisión de los resultados.

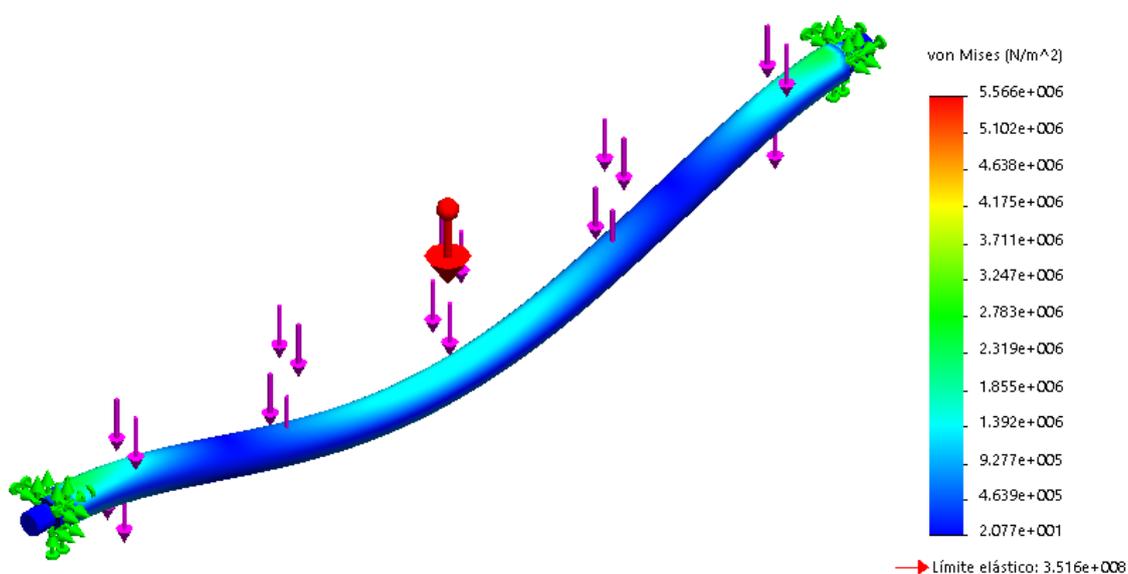


**Figura 28 Mallado del Eje de Rodillo**

Para el análisis de las tensiones de Von Mises según el libro de (Mott R. , 2009), la tensión de límite elástico del material del eje, en este caso el material Acero inoxidable AISI 304, con un diámetro de 12.7 mm y una longitud de 600mm y un límite elástico de 351[MPa],

$$\sigma_{VonMises} < \sigma_{Limite\ Elástico} \quad (4)$$

$$5.56[MPa] < 351[MPa]$$



**Figura 29 Tensión de Von Mises del eje**

Reemplazado los datos de la ecuación 5, con un factor de seguridad de 1.5 según establece (Mott R. , 2009) el cual se detalla en el capítulo I, valor suficiente para que el eje no falle ante cargas estáticas.

$$\frac{S_y}{N} = \sigma_d \quad (5)$$

$$\frac{351 [MPa]}{1.5} = 234 [MPa]$$

Donde:

$S_y$ : Límite elástico

$\sigma_d$ : Esfuerzo de diseño

N: factor de seguridad

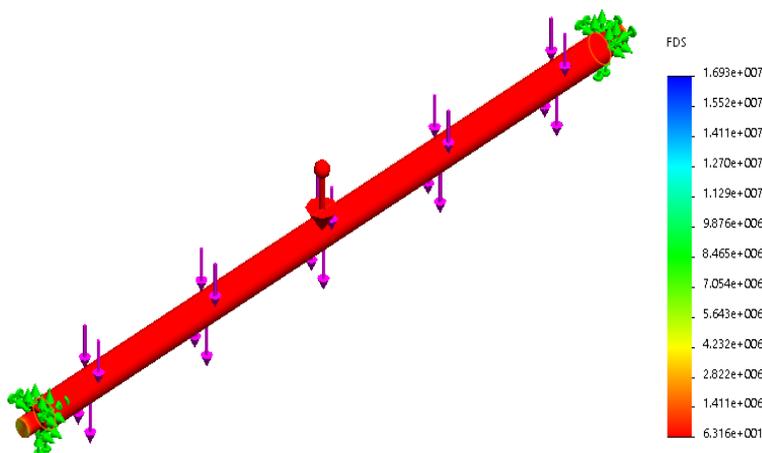
$\sigma'$ : Esfuerzo

La tensión de diseño es de 234 [MPa].

$$\sigma_d \geq \sigma'$$

$$234 [MPa] \geq 5.56 [MPa]$$

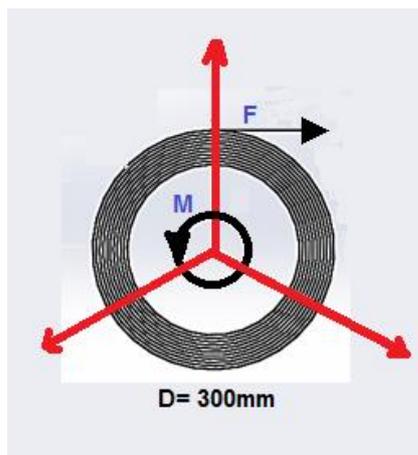
En la figura 30, se puede apreciar que el factor de seguridad mínimo es de 63, por lo cual se deduce que la estructura de soporte es segura, cabe recalcar que se tiene un valor alto de factor de seguridad debido a que no se puede trabajar con un diámetro menor debido a que en el mercado no existe rodamientos de diámetro menor a 10 mm.



**Figura 30 Factor de seguridad del eje.**

### 3.3.2 Fuerza necesaria para el desenrollado del polipropileno.

Para determinar esta carga es necesario encontrar la inercia de la masa, misma que debe superarse para mover el carrete. Partiendo de la Figura 31 se calcula la fuerza necesaria para mover el rollo, los datos iniciales están dados en función del diámetro y el peso del rollo de polipropileno. (Curicho F. , 2015)



**Figura 31: Diagrama de cuerpo libre del rollo de polipropileno.**

Para esto es necesario conocer el valor del radio de giro que está dado por la ecuación (6) y el momento de inercia de la masa del rollo, que se lo encuentra con ayuda de la ecuación (7).

$$r_g = \frac{D}{2} \quad (6)$$

Donde:

$r_g$ : Radio de giro

D: Diámetro del rollo

Datos:

$$D = 300 \text{ mm}$$

$$r_g = \frac{300}{2} = 150 \text{ mm}$$

$$I_M = m \cdot r_g^2 \quad (7)$$

|

Donde:

$r_g$ : Radio de giro

$m$ : peso del rollo

$I_M$ : Momento de inercia de la masa

Datos:

$$m = 6 \text{ Kg}$$

$$I_M = (6) \cdot 150^2$$

$$I_M = 135000 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2$$

La bobina de polipropileno efectúa un movimiento circular al momento que empieza a ser desenrollado, por lo tanto, la máxima fuerza entregada por el cilindro viene dada en función del caudal y el área del cilindro.

$$v = \frac{Q}{S} \quad (8)$$

Donde:

$v$ : Velocidad del cilindro.

$Q$ : Caudal de aire entregado por el compresor.

$S$ : Superficie de empuje

Datos:

$$Q = 125 \text{ L/min}$$

$$S: 10.6 \text{ cm}^2$$

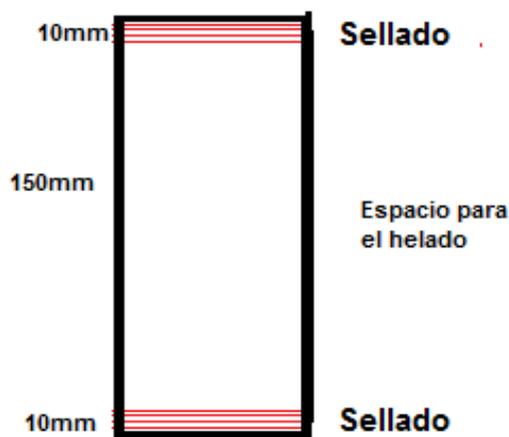
$$V = \frac{125}{10.6}$$

$$V = 196.54 \text{ cm/s}$$

Como esta velocidad es demasiado alta impera utilizar reguladores de caudal.

- **Dimensionamiento de la longitud del actuador de arrastre de funda**

Teniendo en cuenta que la longitud de los helados es de 150mm y que se necesita de 10mm en la parte superior e inferior de la funda para el sellado se da un total de 170mm, como se muestra en la figura 32, por lo que se requiere un cilindro neumático de 170mm de carrera.



**Figura 32 Tamaño del empaque del helado.**

- **Definición de los parámetros de diseño para el arrastre.**

Con el uso de reguladores de caudal se establecerá que el sistema debe recorrer 170 mm en 0.75s, tiempo que está dado por la electroválvula, con estos datos se obtiene la velocidad con la que trabajará el sistema y se la calcula con la ecuación (9).

Datos:

L = 170 mm (Longitud máxima del funda)

t: 0.75 s para arrastrar la funda

$$V = \frac{L}{t} \quad (9)$$

Donde:

V: Velocidad del cilindro.

L: Longitud del cilindro.

t: Tiempo en completar la carrera

$$V = \frac{170}{0.75}$$

$$V = 226,66\text{mm/s.}$$

Con la ecuación 10 se obtiene la velocidad angular del sistema.

$$\omega = \frac{V}{R} \quad (10)$$

$$\omega = 226.66/150$$

$$\omega = 1.51 \text{ rad/s}$$

De igual manera con la ecuación 11 se obtiene la aceleración angular del sistema.

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad (11)$$

$\omega$  : Velocidad angular

$\alpha$ : Aceleración angular

$$\alpha = \frac{0.66}{0.75}$$

$$\alpha = 2.01\text{rad/s}^2$$

Una vez obtenido todos los parámetros se encuentra la fuerza de resistencia con la ecuación (12) que se opone al momento de realizar el arrastre del polipropileno, se considera el 100% adicional de la fuerza de inercia que debe vencer el cilindro debido al rozamiento del tornillo de ajuste en el eje que permite el libre giro del rollo, adicionalmente se considera un 30% por cada dobles de los templadores como se observa en la figura 32.

$$F_r = \frac{2I_M \cdot \alpha}{D} * 2.6 \quad (12)$$

$$F_r = \frac{2(135000)(2.01)}{300} * 2.6$$

$$F_r = 4.68N$$

En la tabla 32 se detalla el peso de cada uno de los elementos que interviene en el mecanismo de arrastre de la lámina de polipropileno.

**Tabla 32**  
**Peso del mecanismo de sellado**

Elemento	Cantidad	Peso [gr]	Peso [N]	Peso Total[N]
Base de Sellador Horizontal	1,0	5236	51.31	51.31
Mordaza de Cuchilla	1,0	2443	23.94	23.94
Mordaza de Sellado	2,0	1900	18.62	37.24
Placa base mordaza	2,0	771	7.56	15.12
Cuchilla	1,0	61.73	0.6	0.6
Ejes del Termo sellado	4,0	404	3.96	15.84
Total				144,05 N

$$F = F_r + F_m \quad (13)$$

Donde

$F$ : Fuerza a vencer.

$F_r$ : Fuerza de resistencia

$F_m$ : Peso del mecanismo de arrastre

Datos

$F_m$ : 144,05 N

Para encontrar la fuerza total de arrastre se utilizará la ecuación (13), y realizando un sumatorio general de todas las fuerzas.

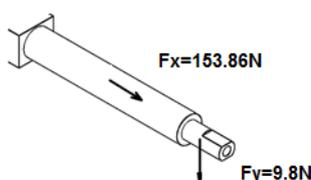
$$F = (4.68) + 144.05$$

$$F = 148.73N$$

Por lo tanto, se debe seleccionar un actuador neumático capaz de superar esta fuerza.

### 3.3.3 Cargas aplicadas en los vástagos.

Todos los vástagos están sujetos a esfuerzos normales combinados, ver figura 33, para el análisis se utilizará el cilindro neumático que está sometido a mayor carga, en este caso es el cilindro desellado vertical, mismo que soporta el conjunto de disipador de calor, para realizar el análisis se utilizará el método de superposición de los esfuerzos, el cual consiste en la sumar algebraicamente cada uno de los esfuerzos normales (Mott R. , 2009), y se expresa con la ecuación 14 .



**Figura 33 Fuerzas en el vástago del cilindro de sellado vertical**

$$\sigma_{comb} = \pm \frac{F}{A} \pm \frac{M}{S} \quad (14)$$

$\sigma_{comb}$ : Esfuerzo combinado

A: área

El esfuerzo combinado es producido por la fuerza de tracción de 153.86 N y la fuerza de flexión de 9.81 N, producida por el sistema de sujeción de mordaza que actúa a una distancia  $d = 20 \text{ mm}$ .

Se debe cumplir con la condición de esfuerzo de Von Mises la cual menciona que el esfuerzo debe ser menor al esfuerzo de diseño.

$$\sigma' < \sigma d$$

Para los cálculos se define un esfuerzo de diseño con cargas que actúan 8 veces por minuto por tanto es repetida y se basa en las instrucciones para determinar el esfuerzo de diseño del apéndice A-21 (Mott R. , 2009) como es un elemento de maquinaria uno de los materiales para este tipo es acero de transmisión 1018, se aplica la ecuación y se calcula.

$$Su = 276 \text{ Mpa} \text{ y } N = 8$$

$$\sigma_d = Su/N$$

$$\sigma_d = 276/8$$

$$\sigma_d = 34.5 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo de diseño es 34.5 Mpa, aplicando la ecuación 14 y encontramos el esfuerzo combinado.

$$\sigma_{comb} = \pm \frac{F_x}{A} \pm \frac{M}{S}$$

$$\sigma_{comb} = \frac{153.86}{\pi * D^2} + \frac{9.81 * 20 * 5}{\pi * D^3}$$

Se conoce que el diámetro del vástago es de 5mm, por lo que se asigna un valor de D=5mm dando un valor de esfuerzo combinado de:

$$\sigma_{comb} = 22,28 \text{ Mpa}$$

La fórmula para calcular la teoría de la energía de distorsión se expresa en la ecuación 15 la misma que será la base del diseño.

$$\sigma' = (\sigma_z^2 - \sigma_z\sigma_x + \sigma_z^2 + 3\tau_{zx}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$\sigma' = (\sigma_z^2 - \sigma_z\sigma_x + \sigma_z^2 + 3\tau_{zx}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_x = 0 \text{ y } \tau_{zx} = 0$$

$$\sigma' = \sigma_z = \sigma_{comb}$$

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$22,28 < 35.4$$

Por lo tanto, se confirma que el diseño cumple por esfuerzo y deformación, lo que se concluye que el diseño es aceptable.

### 3.3.4 Análisis estático de la estructura

El análisis estático de la estructura de la máquina permite constatar la eficiencia de la misma es decir mediante este análisis se pretende verificar si el diseño de la estructura soportará la carga producida de los componentes.

**Tabla 33**

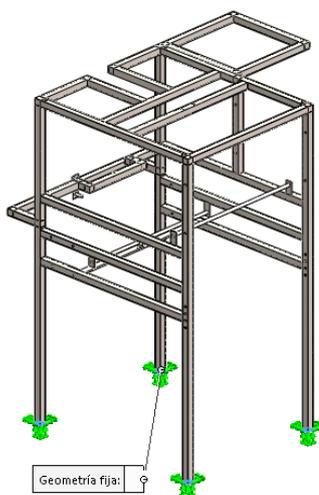
#### Lista de peso de cada componente de la Máquina

Elemento	Cantidad	Peso [gr]	Peso [N]	Peso Total[N]
Estructura Principal	1	25643	251.3	251.3
Bandeja	1	8565	83.94	83.94
Depósito Guía Inclinada	1	10120	99.18	14.19
Cubierta Cámara	1	5784	56.68	56.68
Placa Superior	1	9928	97.29	97.29
Caja de Control	1	8299	81.33	81.33
Resbaladilla	1	481	4.71	4.71
Tubo Formador	1	1460	14.31	14.31
Formador	1	569	5.58	5.58
Placa superior del Tubo	1	983	9.6	9.6
Placa inferior del Tubo	1	1302	12.76	12.76
Separador de tubo	2	114	1.12	2.24
Base de Sellador Horizontal	1	5236	51.31	51.31
Mordaza de Cuchilla	1	2443	23.94	23.94
Mordaza de Sellado	2	1900	18.62	37.24

Placa base mordaza	2	771	7.56	15.12
Cuchilla	1	61.73	0.6	0.6
Ejes del Termo sellado	4	404	3.96	15.84
Eje de Rodillo	1	2872	26.19	26.19
Ajuste Rodillo	2	1473	14.43	28.87
Base soporte del rodillo	2	299	2.93	5.86
Resbaladilla del clasificador	1	1343	13.16	13.16
Acople servo-resbaladilla	1	29.18	0.29	0.29
<b>Total</b>				<b>852,35 N</b>

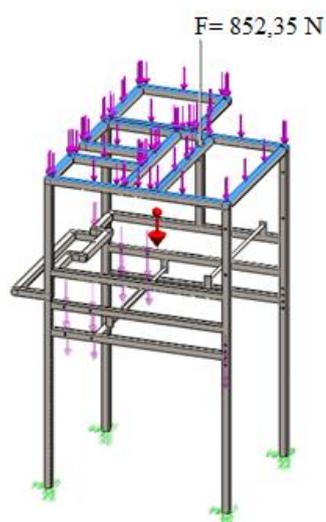
### Análisis estático de la estructura de la máquina

Para realizar esta tarea se recurre a la ayuda de un software de diseño asistido por computador CAD, la primera acción es fijar la pieza, en este caso la estructura se debe fijar en el suelo como se observa en la figura 34, además las dimensiones de la estructura se lo puede observar detalladamente en el (Anexo D-4).



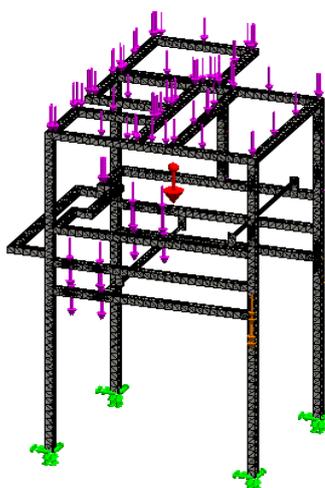
**Figura 34 Geometría Fija en la estructura de soporte**

En el siguiente paso es colocar las fuerzas que intervienen en el sistema, en este caso son los pesos de los componentes y el efecto de la gravedad que dan un total de 852,35 N, posteriormente seleccionar las caras donde se aplican las fuerzas, en la figura 35 se muestra las fuerzas que intervienen, además el perfil a utilizar es un acero inoxidable AISI 304 de 1x1 pulgada y un espesor de 2 mm.



**Figura 35 Fuerzas aplicadas en la estructura**

Se procede a crear un mallado de la pieza, en este caso el mallado es una malla fina de 1,3 mm como máximo como se puede ver en la figura 36, se escoge este tamaño de mallado con la finalidad de obtener resultados lo más próximos a la realidad.



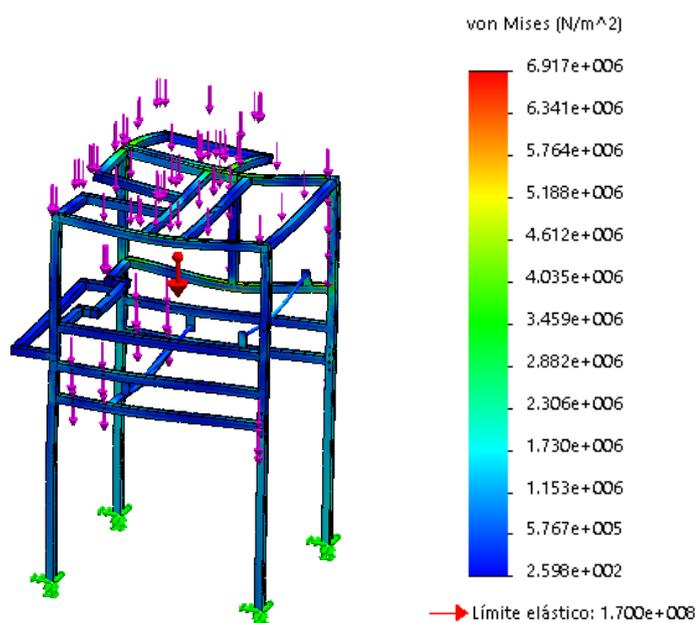
**Figura 36 Mallado de la base principal**

La tensión de Von Mises según (Mott R. , 2009) expone que al aplicar una fuerza sobre piezas de material dúctil estos tienden a deformarse sin romperse, por lo tanto, la tensión de Von Mises debe ser menor que la tensión del límite elástico, en la ecuación 4 se muestra lo mencionado.

En la figura 42, se observa un valor máximo de tensión de Von Mises de 6.917[MPa], este dato se reemplaza en la ecuación 4, y se realiza una comparación con la tensión de límite elástico del material de la estructura en este caso el material es Acero Inoxidable AISI 304 y el límite elástico es de 170[MPa],

$$\sigma_{VonMises} < \sigma_{Limite\ Elástico}$$

$$6.917[MPa] < 170[MPa]$$



**Figura 37 Tensión de Von Mises de la estructura**

Con la ecuación 16, se considera que el esfuerzo de diseño tiene que ser mayor al esfuerzo máximo que soporta la estructura, con el fin de que no fallé la estructura.

$$\sigma_d \geq \sigma' \quad (16)$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad (17)$$

Donde:

$S_y$ : Resistencia a la flexión.

$N$ : Factor de seguridad

$$\frac{S_y}{N} = \sigma_d$$

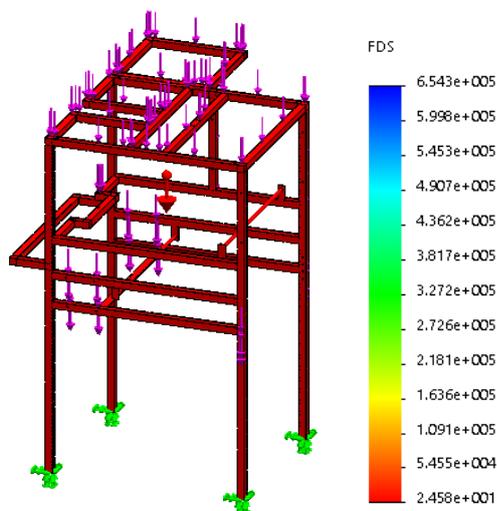
$$\frac{170 [MPa]}{1.5} = 85 [MPa]$$

Reemplazado los datos de la ecuación 16, con un factor de seguridad de 1.5, valor más que suficiente para que no falle, la tensión de diseño es de 85 [MPa].

$$\sigma_d \geq \sigma'$$

$$85 [MPa] \geq 6.917 [MPa]$$

En la figura 38, se puede apreciar que el factor de seguridad mínimo es de 25, por lo cual se deduce que la estructura de soporte es segura.



**Figura 38 Esquema de factor de seguridad para la estructura**

### 3.4 Selección de actuadores.

Tomando en cuenta que la máquina empaquetadora y clasificadora constará de un sistema neumático con un valor de presión promedio de 7 Kgf/cm<sup>2</sup> y conociendo el valor del diámetro respectivo de cada cilindro se

puede encontrar en el catálogo del fabricante (CHELIC) la fuerza de avance y retroceso para cada cilindro.

### 3.4.1 Fuerza teórica de un cilindro

Para la selección de los cilindros se considerarán las dimensiones debido a que la fuerza que se necesita para que el sistema neumático sea menor a la fuerza teórica que indica el fabricante (CHELIC), como se observa en la tabla 35. Se puede escoger cualquier que cumpla con las dimensiones y que supere las cargas mostradas en la tabla 34, por tal motivo se procedió a escoger actuadores de 20 mm de diámetro, excepto para el actuador de arrastre que tiene un diámetro de 40mm.

**Tabla 34**

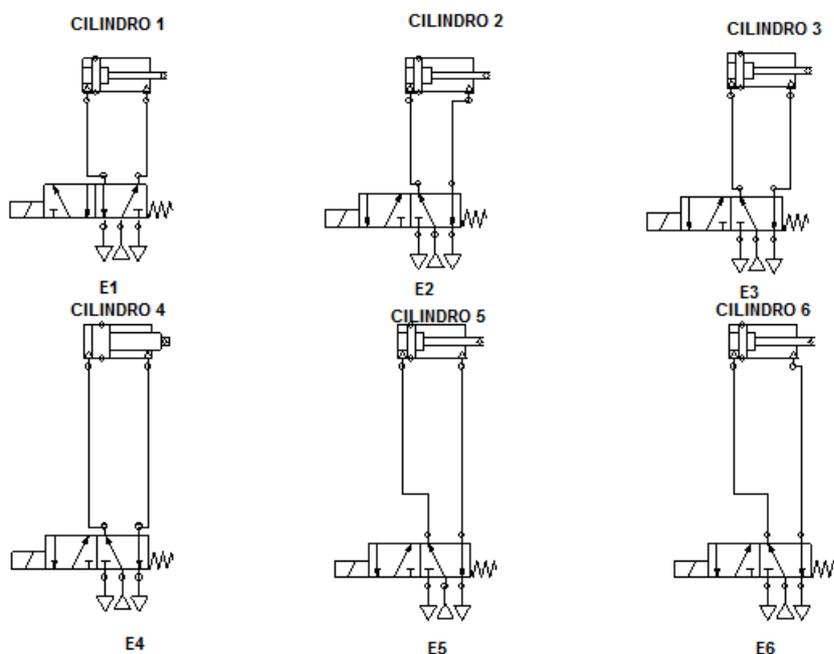
#### **Fuerza de los actuadores seleccionados**

<b>Diámetro</b>	<b>Fuerza máxima necesaria</b>	<b>Fuerza en Kgf</b>	<b>Fuerza en N</b>
<b>Cilindro de 20mm</b>	9.81N	15.7 kgf	153.86 N
<b>Cilindro de 40mm</b>	148.73N	62.8 kgf	615.44 N

#### **Electroválvulas para los movimientos de pistones.**

Los cilindros neumáticos de doble efecto requieren de electroválvulas, para controlar hay que cambiar simultáneamente las líneas de presión y escape. Cuando el pulsador es accionado la vía 1 se conecta a la 4 y la salida 2 a escape por la vía 3 haciendo que el cilindro salga. Cuando se deja de pulsar la vía 1 se conecta a la vía 2 y la 4 a la 5 haciendo que el cilindro entre, como se muestra en la figura 39

Para la máquina empaquetadora y clasificadora se utilizarán 6 cilindros neumáticos como se observa en la figura 39.



**Figura 39 Sistema neumático de la máquina clasificadora.**

Los cilindros neumáticos son los que producen el proceso de arrastre sellado y corte de la máquina empaquetadora, el funcionamiento de cada cilindro se detalla en la tabla 35.

**Tabla 35**

**Cilindros neumáticos de la máquina empaquetadora**

Número de cilindro	Función
<b>Cilindro 1</b>	Empujar al helado al proceso de enfundado.
<b>Cilindro 2</b>	Sellar verticalmente.
<b>Cilindro 3</b>	Arrastrar la funda.
<b>Cilindro 4</b>	Presionar las mordazas
<b>Cilindro 5</b>	Sellar verticalmente.
<b>Cilindro 6</b>	Cortar la lámina de polipropileno.

### 3.5 Diseño del sistema eléctrico.

La máquina empaquetadora estará controlada por un PLC para cumplir con el proceso de empaquetado debido a las peticiones del cliente, para la clasificación se utilizará un Arduino Uno, el cual se describe en el (Anexo H), el mismo que mediante comunicación serial enviará una señal digital a la entrada I0.2 del PLC para indicar el inicio del proceso de empaquetado, el diagrama unifilar de las entradas muestra como está conectado el PLC con el resto de sus componentes, como se observa en el (anexo I-1).

El PLC en sus salidas dispone de electroválvulas las mismas que controlan los actuadores lineales, quienes moverán el mecanismo de sellado vertical, horizontal y de arrastre, dos niquelinas de sellarán verticalmente y horizontalmente las láminas de polipropileno y luces indicadoras para monitorear el correcto funcionamiento de la máquina empaquetadora, el diagrama unifilar muestra las salidas del PLC y los elementos que están conectados en la mismas, como se observa en el (Anexo I-2).

### 3.6 Construcción de la máquina.

#### 3.6.1 Disipador de calor.

Se elabora a partir de los planos que se indican en el Anexo D utilizando un canal en C ASTM A36, donde su descripción se lo observa en el (Anexo J) el proceso de construcción se detalla en la Figura 40.

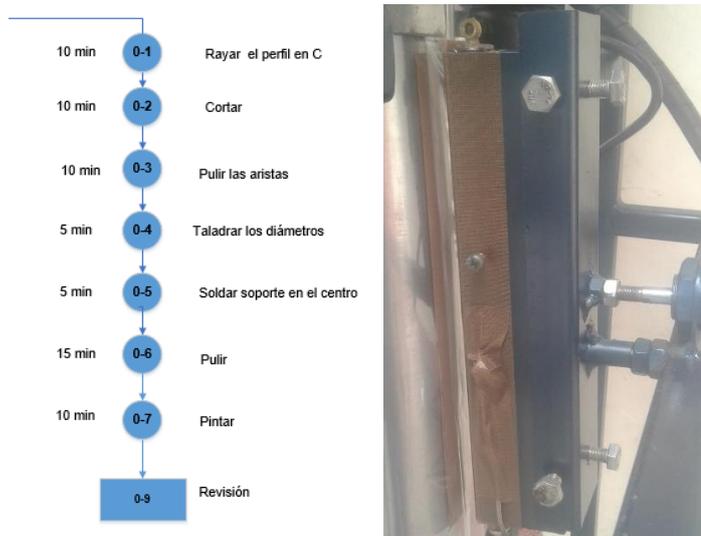


Figura 40: a) Diagrama de construcción b) base de mordazas.

### 3.6.2 Base Selladora Horizontal.

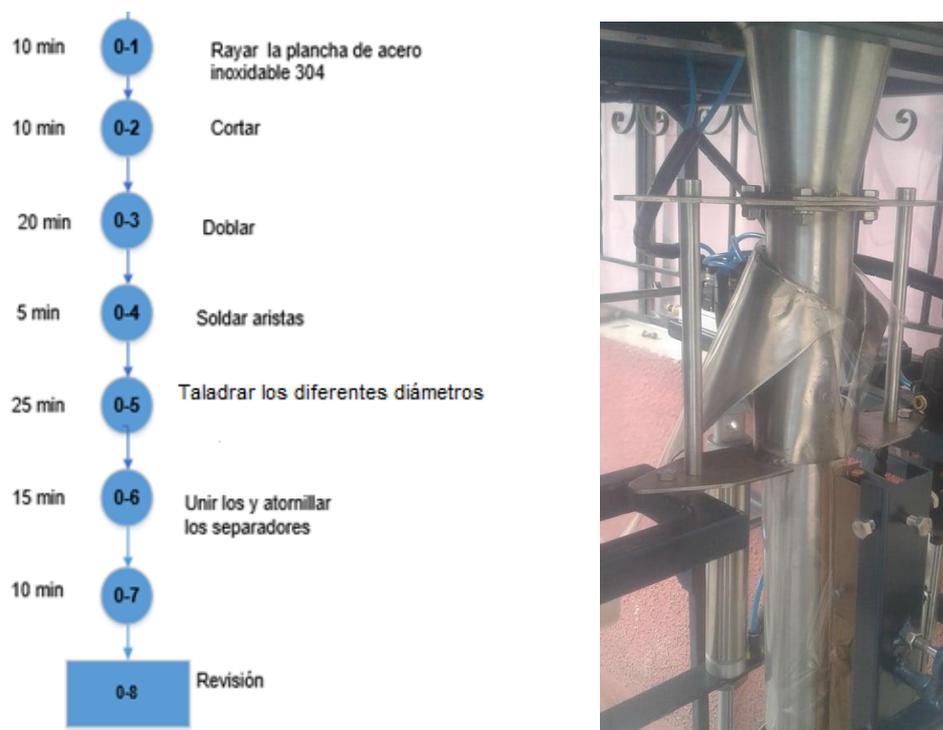
Se elabora a partir de los planos que se indican en el Anexo D, utilizando acero estructural ASTM A36, el proceso se detalla en la Figura 41.



Figura 41: a) diagrama de construcción b) base selladora horizontal.

### 3.6.3 Hombro formador

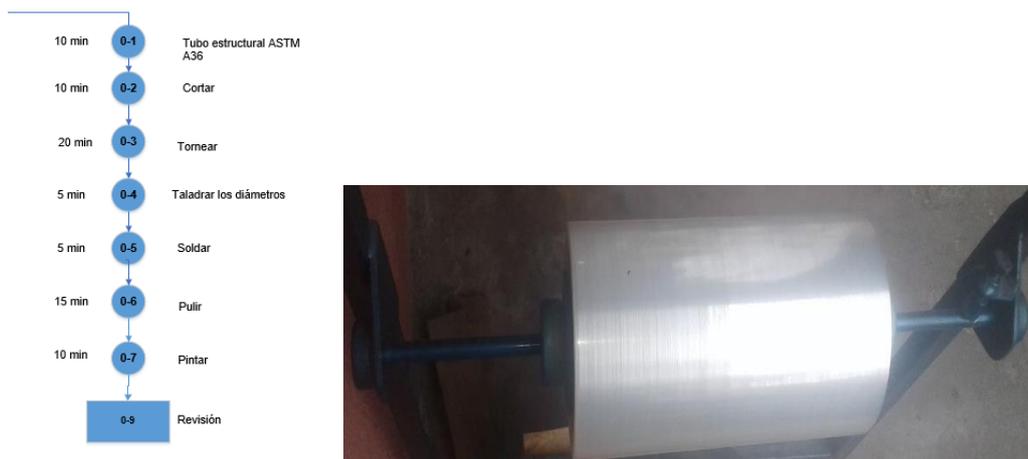
Se realiza en acero inoxidable AISI 304 según los planos especificados en el Anexo D, el proceso se detalla en la Figura 42.



**Figura 42: a) diagrama de construcción b) hombro formador.**

### 3.6.4 Mecanismo de desenrollado del film de polipropileno

De manera similar los componentes se realizan en acero estructural acero inoxidable AISI 304 según los planos especificados en el Anexo D, el proceso se desarrolla en la Figura 43.



**Figura 43: a) diagrama de construcción b) mecanismo de desenrollado**

### 3.6.5 Resbaladilla.

Los componentes se realizan en acero inoxidable según los planos especificados en el Anexo D, el proceso se desarrolla en la Figura 44.



**Figura 44 a) diagrama de construcción b) resbaladilla**

### 3.6.6 Mecanismo de sellado horizontal.

Los componentes se realizan en acero inoxidable AISI 304 según los planos especificados en el Anexo D, el proceso se desarrolla en la Figura 45.



**Figura 45 Sellado horizontal**

### 3.7 Diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina

En el (anexo M-1) se observa el diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina, dividido en 3 partes que viene a ser el sistema para activar alarmas, sellado del empaque y sistema inteligente, de igual manera en el (Anexo M-2) se muestra el manual de operación.

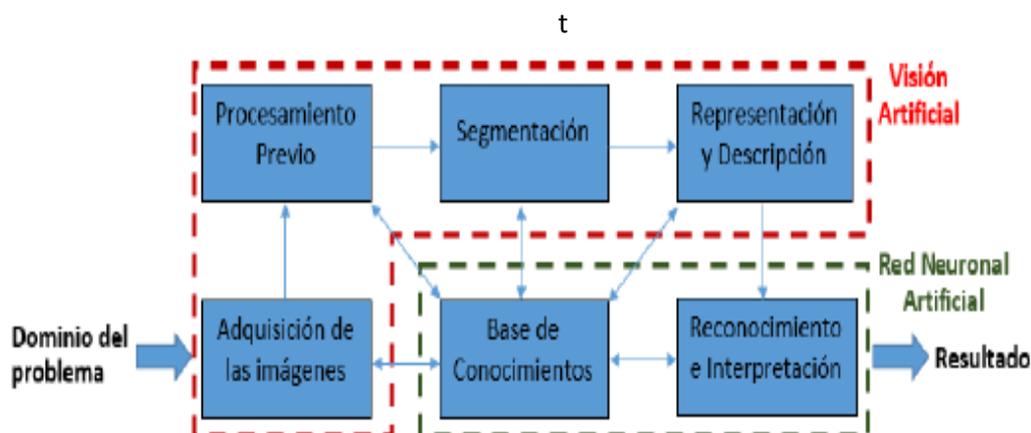
## CAPITULO IV

### 4. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE HELADOS CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

#### 4.1 Introducción

En este capítulo se realizará un sistema de clasificación de helados, el mismo que permitirá separar cuatro sabores de helados que se encuentren disponibles en el depósito previo al llenado del producto por parte del operador, la clasificación se realizará mediante redes neuronales y visión artificial con aprendizaje supervisado, las cuales decidirán a que sabor corresponde cada tipo de helado, se activará una alarma tanto luminosa como sonora, para los helados que no cumplan con los parámetros de calidad, cabe recalcar que los helados con fallas son los que no tienen palo o están cubiertos por excesiva escarcha.

El proceso general del proyecto se ejecuta en base al sistema de visión artificial y redes neuronales ver figura 46, cada uno de estos elementos posee una serie de pasos necesarios que van desde el dominio del problema hasta la obtención de resultados.



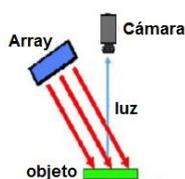
**Figura 46: Etapas fundamentales del procesamiento digital de imágenes**

Fuente: (Zurita, 2016 )

## 4.2 Captura de imagen

Como primera parte de un sistema de visión artificial es la captura o adquisición de la imagen digital, por lo tanto, se requiere digitalizar las muestras de helados.

La iluminación es un elemento fundamental a considerar en un sistema de visión artificial, si es la adecuada permitirá el funcionamiento caso contrario presentará errores, para este caso se ha optado por la técnica de iluminación conocida como array de luces que se puede observar en la figura 47.



**Figura 47 Array de luces**

Para digitalizar la imagen se va a utilizar una cámara web, la cual se comunica con la pc mediante un cable USB, misma que cumple la función de captar la presencia de helado y envía una señal para mover el motor paso a paso 90 grados y permitir clasificar de acuerdo a cada sabor.

**Tabla 36**  
**Características de la cámara web**

Sensor	CMOS de 1,3 MP
Apertura máxima de la lente	F:2,6
Ángulo de visualización de la lente	80 grados
Estructura de la lente	4 elementos
Balance de blancos	2600 – 7600k
Iluminación mínima	< 5 lux
Profundidad de color	24 bits
Resolución de video	1,3 MP
Resolución fotográfica	1,3 MP
Longitud de cable	1 metro
Conexión	USB1.1
Clase de video	UVC
Energía	Suministrada mediante cable USB

Fuente: (Logitech , 2017)

### 4.3 Segmentación y Procesamiento previo

Esta sección contiene dos partes fundamentales que son la segmentación y el procesamiento previo, la primera divide la imagen en regiones de mayor utilidad y la segunda realiza operaciones necesarias para destacar la información de la imagen para facilitar el análisis en las siguientes etapas.

#### 4.3.1 Segmentación

Una vez capturada la imagen, se realiza una segmentación basada en umbralización, la cual es una técnica rápida de bajo costo computacional que permite convertir la imagen inicial a binaria, es decir separar adecuadamente el fondo y el objeto.

La umbralización se define matemáticamente mediante la ecuación 18

$$B(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{si } I(i,j) \in R \\ 0, & \text{si } I(i,j) \notin R \end{cases} \quad (18)$$

$B(i,j)$  Imagen binaria resultante;  $I(i,j)$  Imagen de entrada original;

$R$  Valor de rango de umbral.

Para encontrar el umbral correcto se basa en el histograma de la imagen, es decir permite conocer los rangos de valores de colores más significativos que se encuentran en la imagen.

En el caso de los helados, es fácil separar la imagen del fondo ya que posee una gama de color contraria al fondo negro de la caja, como es el caso de los siguientes sabores:

**Tabla 37**  
**Colores vs sabores**

Color	Sabor
Morado	Mora
Amarillo	Ron pasas
Celeste	Chicle
Café	Chocolate

Para establecer el rango de umbralización se ha convertido la imagen original a una con modelo de color HSV, con la ayuda de las librerías de OpenCV, para ello se ha utilizado la sentencia `cvtColor(img_BGR, img_HSV, COLOR_BGR2HSV)`.

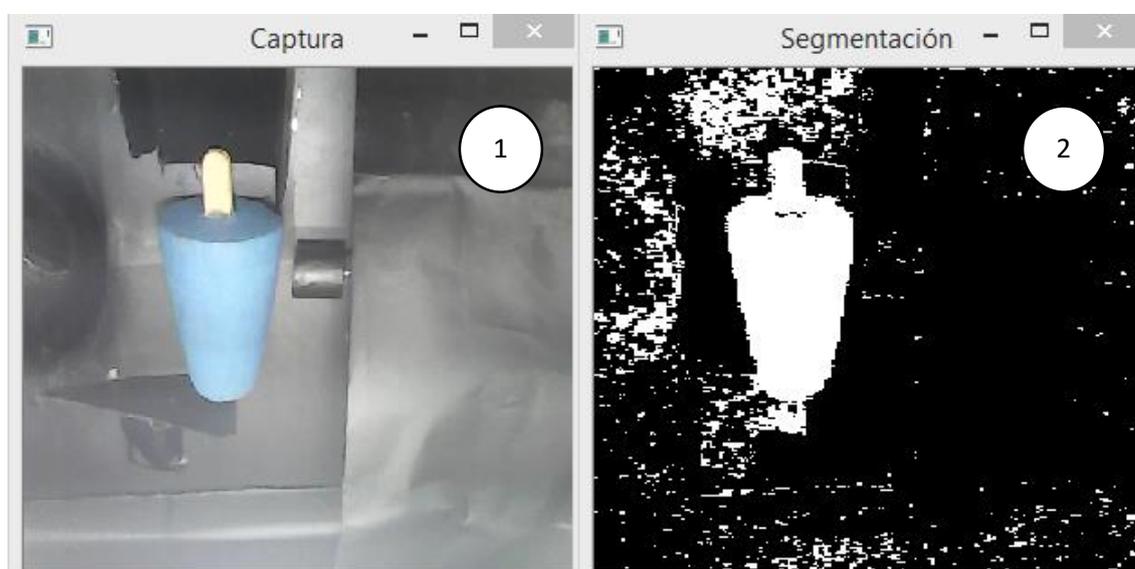
Donde:

`img_BGR` = imagen de entrada.

`img_HSV` = imagen de salida

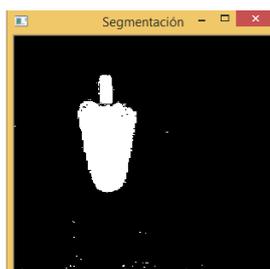
`COLOR_BGR2HSV` = tipo de conversión.

Cabe destacar que en este sistema se deberá determinar 4 umbrales de HSV distintos; uno para cada uno de los sabores.



**Figura 48 Imagen (1) real (2) hsv**

Como se puede observar la figura 48 no es adecuada para continuar con el análisis, debido a que presenta una excesiva presencia de ruido que va afectar el reconocimiento de la forma de los helados, para ello se realiza un afinamiento de los rangos de umbral tanto para el tono, la saturación y el brillo, es así como se tiene la figura 58 libre de ruido.



**Figura 49 Imagen segmentada**

### 4.3.2 Procesamiento

Una vez que se ha segmentado la imagen se procesa mediante los algoritmos para transformarla en información libre de ruido.

En el caso de tener presencia de ruido o se desea afinar la imagen se puede utilizar operaciones morfológicas, las cuales son técnicas matemáticas que tratan directamente con las formas de la imagen, como se detalla a continuación:

Para todas las definiciones matemáticas, sea  $E$  un espacio euclidiano o una cuadrícula entera,  $A$  y  $B$  imágenes binarias en  $E$ . (Zurita, 2016 )

- **Erosión.** - Está definida por:

$$A \ominus B = \{z \in \frac{E}{B_z} \subseteq A\} \quad (19)$$

Donde  $B_z$  es la traslación de  $B$  por el vector  $z$

$$B_z = \left\{ b + \frac{z}{b} \in B \right\}, \forall z \in E \quad (20)$$

En la figura 50 se observa que la operación de erosión elimina la mayor cantidad de puntos blancos que rodean el objeto, pero a su vez también afectan los contornos del helado.



Figura 50 imagen (1) Segmentada (2) erosionada

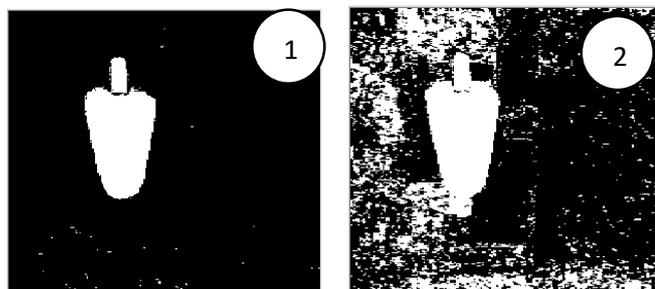
- **Dilatación.** - se refiere al aumento de pixeles, esta operación cumple con la propiedad conmutativa y se define por:

$$A \oplus B = \{z \in \frac{E}{(B^s)_z} \cap A \neq \emptyset\} \quad (20)$$

Donde  $B^s$  denota la simetría de  $B$ , que es:

$$B^s = \left\{ x \in \frac{E}{-x} \in B \right\} \quad (21)$$

A continuación, en la figura 51 se observa una operación de dilatación sobre la imagen segmentada, la cual otorga mayor volumen de píxeles blancos a la imagen y no se puede observar eliminación de ruido.

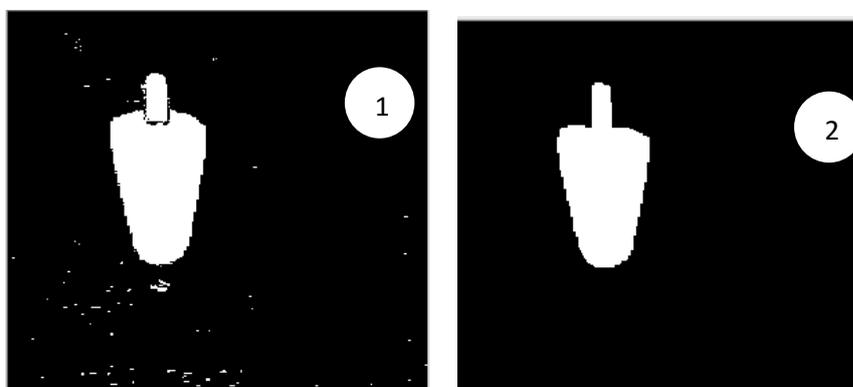


**Figura 51 Imagen (1) segmentada (2) dilatada**

- **Apertura.** - La apertura de A por B se obtiene a través de la erosión de A por B, seguida de la dilatación del resultado por B. Está definida por:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (22)$$

En la siguiente figura 52 se puede observar que la operación de apertura elimina los puntos blancos que rodean el objeto.

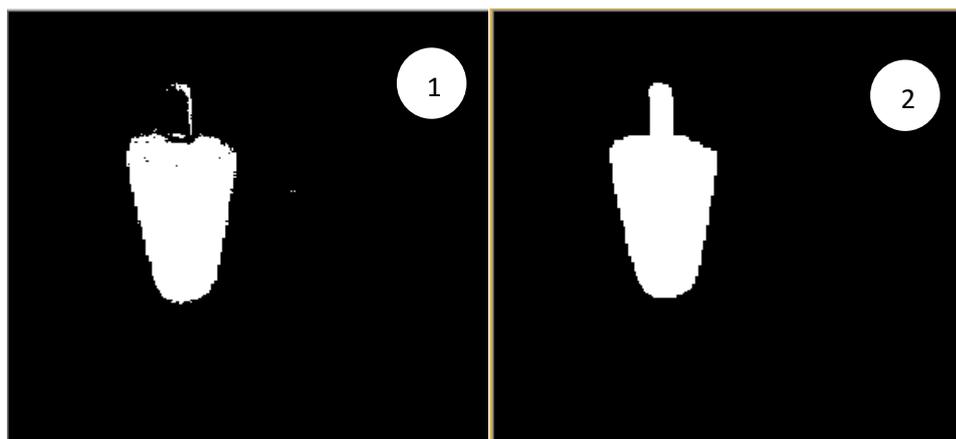


**Figura 52 Imagen (1) segmentada (2) apertura**

- **Cierre.** - El cierre de A por B se obtiene por la dilatación de A por B, seguida por la erosión del resultado por B. se define por:

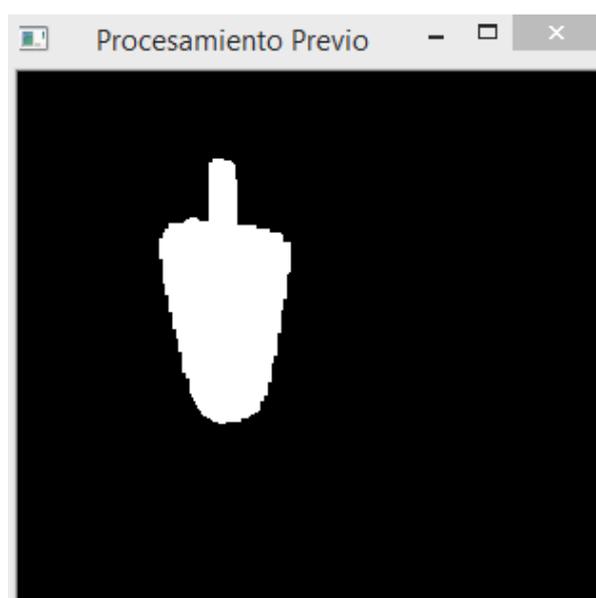
$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (23)$$

En la siguiente figura 53 se puede observar que la operación de cierre elimina puntos negros que están sobre secciones blancas.



**Figura 53 imagen (1) segmentada (2) cierre**

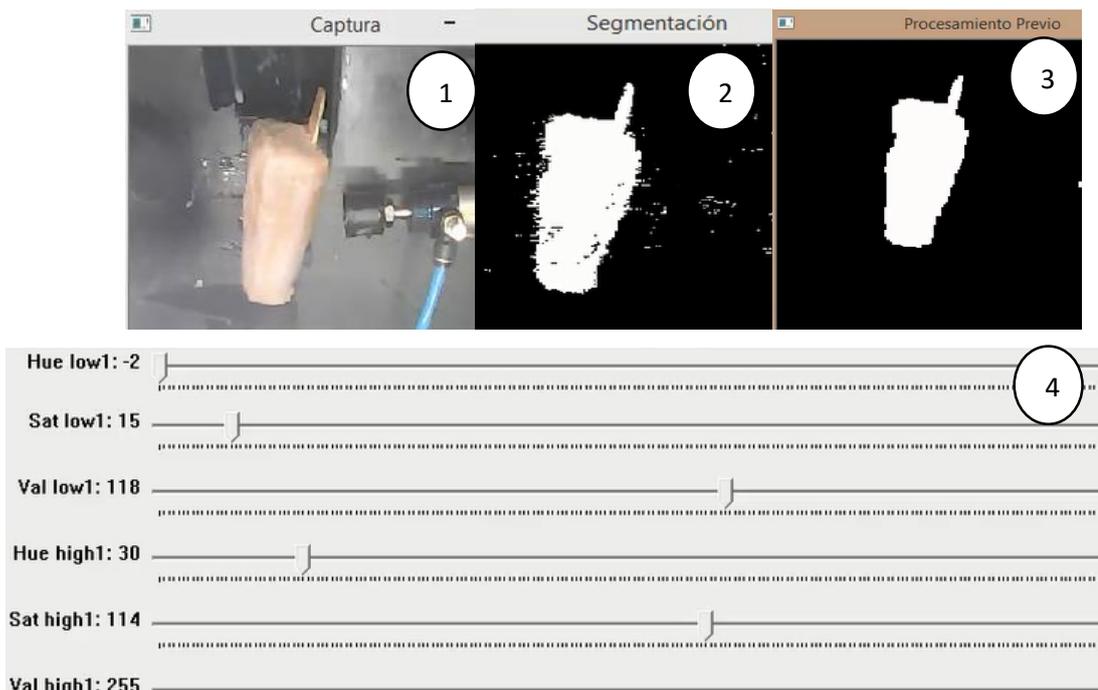
Una vez aplicada estas técnicas matemáticas se obtiene la imagen mejorada como se puede ver en la figura 54, disminuyendo el ruido y de esta manera se resalta el contorno del helado quedando de una forma conocida por el público.



**Figura 54 Imagen procesada**

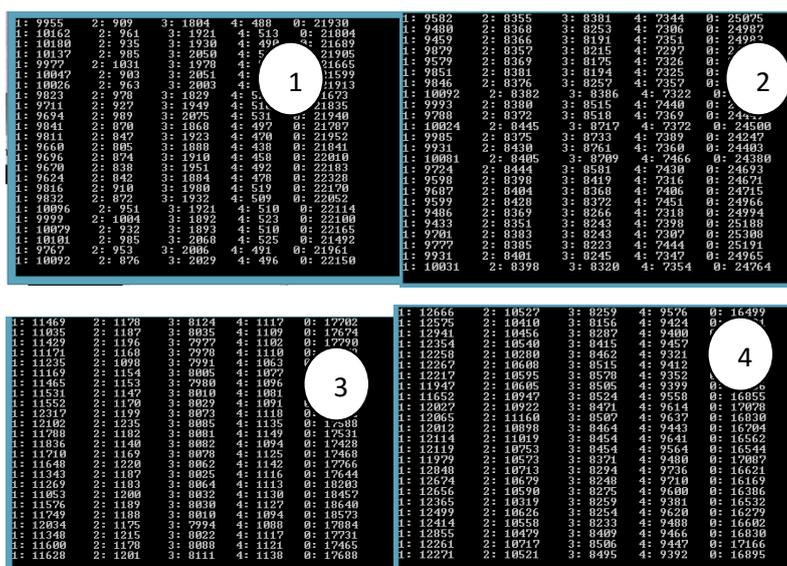
### 4.3.3 Clasificación

Para la etapa de clasificación se ha optado por encontrar el umbral correcto para cada helado, esto quiere decir que se varía los parámetros HSV, sin perder la forma del helado incluido el palo, dando como resultado un número de puntos blancos dentro del área de interés como se muestra en la figura 55.



**Figura 55 Umbral para sabor a chocolate (1) helado real, (2) Segmentación, (3) helado binarizado, (4) valores de HSV**

Cada uno de los rangos de umbral posee valores únicos, ver figura 56, que al ser comparados entre sí mediante condiciones establecidas en la etapa de experimentación, luego de 20 pruebas ver tabla 38, se puede encontrar un patrón que relaciona la cantidad de puntos blancos con el sabor de helado, permitiendo la clasificación del mismo.



**Figura 56 Valores de puntos blancos (1) mora, (2) chocolate, (3) chicle, (4) ron pasas**

**Tabla 38**  
**Valor de puntos blancos por sabor de helado**

N°	Mora	Chocolate	Chicle	Ron pasas
Prueba 1	9955	8355	8124	9576
Prueba 2	10162	8368	8035	9424
Prueba 3	10180	8366	7977	9400
Prueba 4	10137	8357	7978	9457
Prueba 5	9977	8369	8005	9321
Prueba 6	10047	8381	7980	9412
Prueba 7	10026	8376	8010	9352
Prueba 8	9823	8382	8073	9399
Prueba 9	9711	8480	8085	9558
Prueba 10	9694	8372	8081	9614
Prueba 11	9841	8445	8082	9637
Prueba 12	9811	8375	8078	9443
Prueba 13	9660	8405	8075	9641
Prueba 14	9696	8404	8062	9564
Prueba 15	9670	8428	8025	9480
Prueba 16	9624	8369	8064	9736
Prueba 17	9816	8383	8010	9600
Prueba 18	9832	8385	7994	9382
Prueba 19	9999	8401	8022	9620
Prueba 20	10096	8398	8111	9488
Total aprox.	9887	8389	8043	9505

Para la clasificación por sabor de los helados se realiza el siguiente procedimiento:

- Captura de la ROI.
- Se binariza la imagen de acuerdo a los 4 valores determinados previamente de acuerdo a la tabla 38, obteniéndose 4 imágenes distintas (uno por cada sabor).
- Se cuenta los puntos blancos de cada una de las imágenes.

- Se compara los valores obtenidos mediante condiciones establecidas en el momento de las pruebas para poder determinar el sabor específico, observar diagrama de flujo de la figura 70.

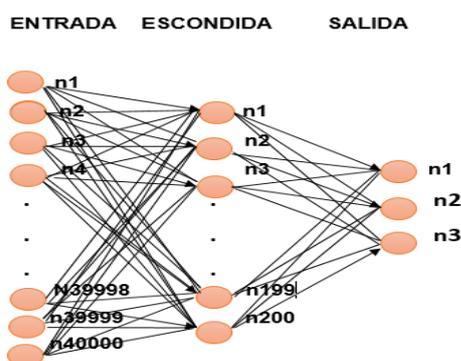
#### 4.4 Reconocimiento

Finalmente tenemos la etapa de reconocimiento, en donde se implementa un clasificador para separar cada uno de los helados dependiendo del sabor detectado por la cámara. En este caso se implementará una red neuronal artificial con aprendizaje supervisado la cual será la encargada de realizar el reconocimiento del helado.

##### 4.4.1 Agente inteligente

El agente inteligente está compuesto por una red neuronal artificial de 3 capas: 40000 neuronas en la capa de entrada, 200 en la capa escondida y 3 en la capa de salida.

En la figura 57, se muestra un esquema representativo de la red neuronal artificial.



**Figura 57 Arquitectura agente inteligente**

La capa de entrada posee 40000 neuronas, cada una representa a un pixel del área de interés (ROI), la misma que está compuesta por un cuadrado de 200 x 200 pixeles, se ha limitado este tamaño con el fin de abarcar el helado por completo, la imagen obtenida en la captura es de 640 x 480 pixeles.

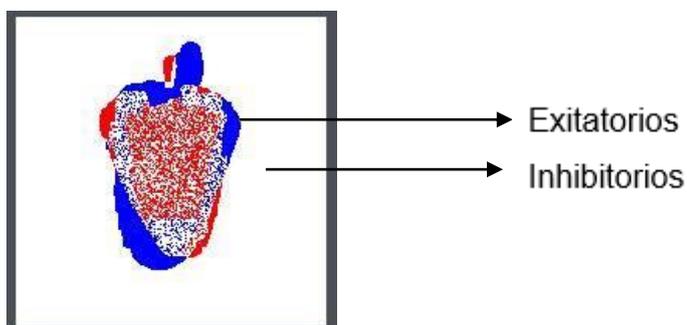
En la figura 58 se representa el área de interés (ROI) que contiene al helado, en base a este tamaño se desarrolla todo el sistema.



**Figura 58 ROI**

La capa escondida contiene 200 neuronas, con esto se comprime a la imagen de 40000 a 200, esto quiere decir que se ha reducido una relación de 100:1, en esta capa es donde se almacenará todos los datos relevantes para que el agente inteligente pueda realizar su trabajo.

Dentro de las neuronas de capa escondida se encuentra las características que han sido extraídas de la capa de entrada durante el entrenamiento de la red. La figura 59 muestra la matriz de pesos de una de las 200 neuronas de capa escondida, se puede observar las características extraídas de las imágenes con las que ha sido entrenado el agente inteligente.



**Figura 59 Matriz de pesos de neurona escondida**

#### 4.4.2 Tiempo de entrenamiento del agente inteligente

Cada reconocimiento tiene como base su conocimiento anterior, de esta forma no se satura a la red con exceso de información y de esta forma se obtiene un mejor entrenamiento

A una red neuronal se suele entrenar por etapas:

En la primera etapa se enseña a la red un helado como tal, es decir la forma que tiene el mismo.

En la siguiente se la enseña con giro, para reconocer en diferentes ángulos, para determinar el ángulo se lo realizo mediante experimentación.

El tiempo de entrenamiento se lo detalla en la tabla 39, para realizar este proceso de enseñanza de la red se utilizó 216000 imágenes.

**Tabla 39**  
**Tiempo de entrenamiento**

Orden	Etapa de entrenamiento	Tiempo en horas
1	Estática	0.5
2	ROI giro 1° por ciclo <<0°-60°>>	6.0

El tiempo aproximado necesario para un correcto entrenamiento fue de 6.5 horas, usando una PC con un procesador Intel® Celeron® N3060 (caché de 2 MB y hasta 2,48 GHz), cabe recalcar que los tiempos se pueden disminuir con un procesador de mejores características.

#### 4.4.3 Diagrama de flujo

En el siguiente diagrama de flujo ver (Anexo M-1) se muestran los procesos utilizados en el sistema de clasificación de helados, mismo que señala cada etapa de funcionamiento.

## CAPÍTULO V

### 5. ENSAMBLE, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 5.1.1 Ensamble de la Máquina Empaquetadora – Clasificadora

Una vez terminado la etapa de diseño y construcción de las partes se procede a ensamblar cada una de ellas junto a los componentes neumáticos, electrónicos, eléctricos.

#### 5.1.2 Ensamble del sistema de empaquetado

Esta sección consta de todos los elementos necesarios para la etapa de empaquetado del producto, misma que está compuesto por: (1) rollo de polipropileno, (2) rodillo tensor de funda, (3) hombro formador, (4) sellado vertical, (5) sellado horizontal, (6) sistema neumático como se observa en la figura 61.

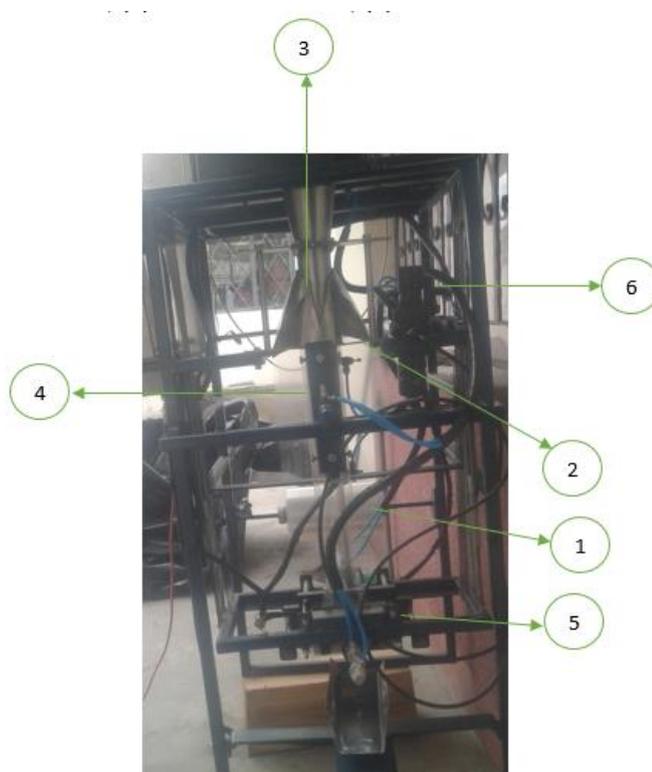


Figura 60 Ensamble empaquetado

### 5.1.3 Ensamble sistema de clasificación

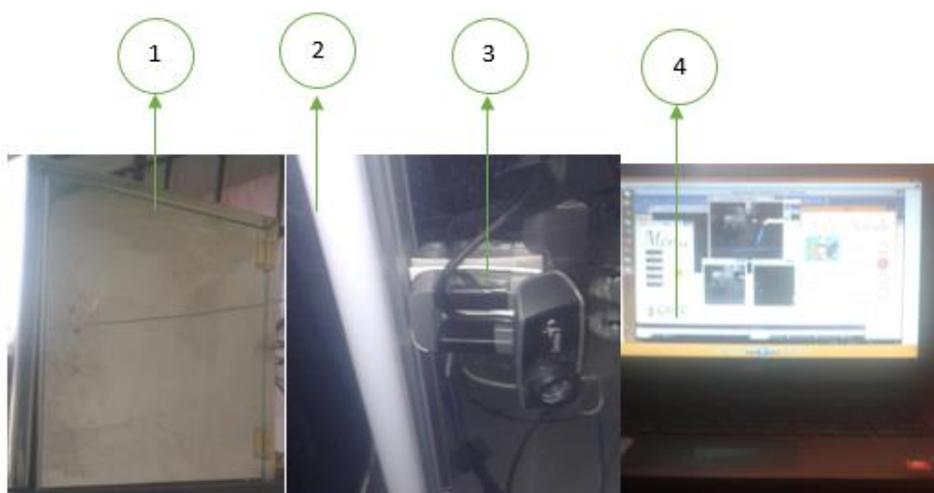
El sistema de clasificación es el encargado de distribuir cada uno de los helados empaquetados a sus diferentes cajas de acuerdo a cada sabor, consta de: (1) motor a pasos, (2) resbaladilla, (3) base del motor, (4) cajas para helados como se observa en la figura 62.



**Figura 61 Mecanismo para Clasificación de helados**

### 5.1.4 Sistema de inteligencia artificial

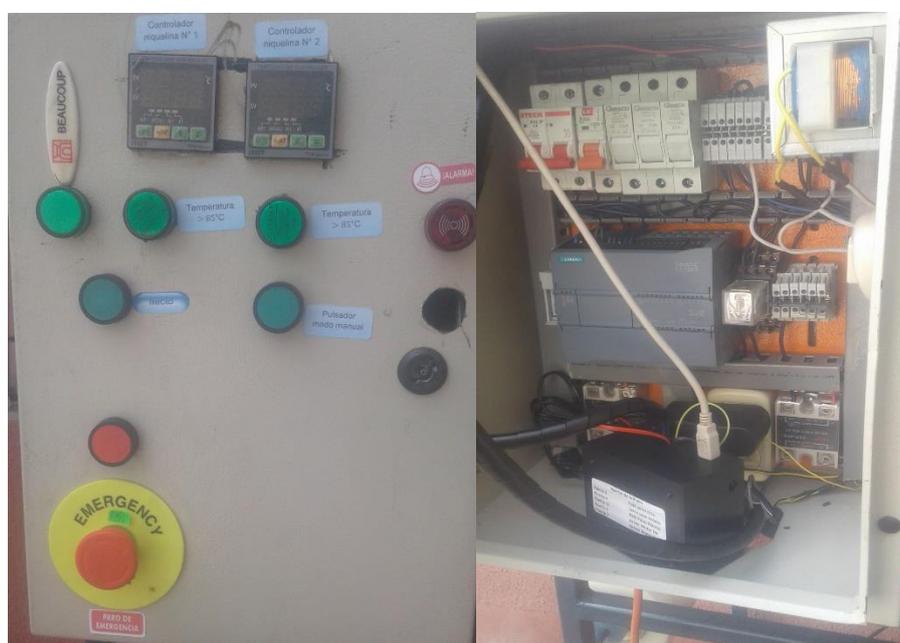
El sistema de visión artificial es el encargado de dar la señal de inicio al verificar la presencia de un helado, una vez que se ha cumplido con las características que fue programado, caso contrario se activa una alarma para retirar el producto con falla, consta de: (1) cubierta, (2) sistema de iluminación, (3) cámara, (4) procesador como se observa en la figura 63.



**Figura 62 Sistema de inteligencia artificial**

### 5.1.5 Tablero de control

Es la unidad que contiene los componentes eléctricos y electrónicos utilizados para el control de la máquina ver figura 64.



**Figura 63 Tablero de control**

Una vez ensamblados todos los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos se proceden a cargar correctamente los programas, entonces la máquina está lista para su funcionamiento. En la figura 65 se puede apreciar en diferentes vistas.



**Figura 64 Vista (1) frontal, (2) posterior, (3) lateral**

### 5.1.6 Especificaciones del sistema implementado

En la tabla 40, se muestra las características de la máquina.

**Tabla 40**  
**Especificaciones de la máquina**

Ancho del rollo del empaque	250-300 mm
Peso del rollo del empaque	50 kg (ver anexo L)
Espesor de la película	0.02 – 0.15 mm (ver anexo L)
Operación de presión de aire	7 Kgf/cm <sup>2</sup>
Dimensiones	1000(L) x 800(A) x 1800(H) mm
Fuente de alimentación	110V /60Hz
Peso total de la máquina	200 Kg
Ambiente operativo	0-45 °C
Clasificación	4 sabores
Velocidad de trabajo	6 helados por minuto.

## 5.2 Pruebas y análisis de resultados

### 5.2.1 Pruebas de la etapa de empaquetado.

Una vez ensamblado los componentes necesarios para el empaquetado se procede a realizar las diferentes pruebas.

#### a) Prueba de sellado vertical y horizontal

Una vez que el rollo ha pasado por el hombro formador de la empaque viene el sellado, el cual consta de una niquelina controlada por un control PID que permite mantener la temperatura a 90°C, que es el punto de fusión de la película de polipropileno provocando así la unión de las dos partes, este proceso se lo realiza tanto para sellar verticalmente, así como horizontalmente.



**Figura 65 Sellado (1) vertical, (2) horizontal**

**b) Prueba de arrastre de la funda**

Para este caso el tamaño de la funda va a depender de la carrera del cilindro ver figura 67, mismo que es de 170mm, entonces la longitud del empaque queda a esta medida, la cual es suficiente para envolver los helados.



**Figura 66 Tamaño del empaque**

### c) Prueba de corte

El corte del empaque se lo ha realizado por medio de una resistencia eléctrica, la cual eleva su temperatura superior al punto de fusión del plástico ocasionando así la separación de las partes ver figura 68 superior e inferior.



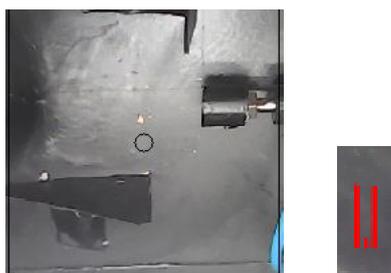
**Figura 67 Corte de funda**

Pruebas de la etapa de reconocimiento de helados.

Para la etapa de reconocimiento tenemos un indicador en la pantalla del HMI el cual consta de una matriz de tres líneas, cada una de ellas representa una neurona en la etapa de salida, a continuación, se detallan cada uno de los casos que pudiesen ocurrir.

- **No existe helado**

Como se puede observar en la figura 69 (b), se activan los nodos de salida de la red, la misma que está representada por líneas verticales, que para este caso se extienden la de los extremos y la de en medio quedando en su forma inicial, esto indica que en el área de interés (ROI), no hay presencia del helado y que se debe introducir uno.



**Figura 68 (a) no existe helado (b) indicador neurona de salida**

- **Existe y es helado**

Como se puede observar en la figura 70 (b) el indicador mencionado anteriormente extiende la línea de la mitad por completo, lo cual indica que es helado y permite realizar el ciclo de empaquetado y clasificación.



**Figura 69 (a) existe y es helado (b) indicador neurona de salida**

- **Existe y no es helado**

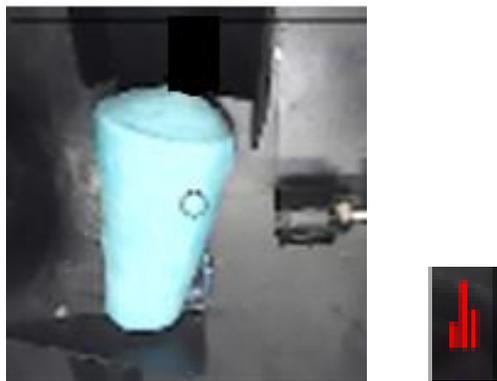
Como se puede observar en la figura 71 (b), la línea del indicador del costado izquierdo se prolonga, esto significa que se encuentra un objeto desconocido en el área de interés (ROI) pero no es helado, entonces se activa una alarma sonora bloqueando el ciclo hasta retirar dicho objeto.



**Figura 70 (a) existe y no es helado (b) indicador neurona de salida**

- **Existe y es helado con falla**

Como se puede observar en la figura 72 (b), la línea del indicador del costado derecho se prolonga un 20 %, además la línea de la mitad se extiende en 80 % y de esta manera se completa el 100% de la salida de la neurona, esto significa que se encuentra un helado en el área de interés (ROI) pero presenta una imperfección, como puede ser que no tiene palo, de igual manera se activa una alarma sonora hasta retirar dicho helado dañado.



**Figura 71 (a) existe y es helado con falla (b) indicador neurona de salida**

Una vez que el sistema detectado cada uno de los sabores se procede a mostrar la imagen del mismo con su respectivo sabor, como se muestra en la figura 73.



**Figura 72. Detección de helados (1) sabor chicle, (2) sabor mora, (3) sabor ron pasas, (4) chocolate**

### 5.2.2 Pruebas de la etapa de clasificación

Una vez que se ha identificado cada uno de los sabores se procede a realizar la clasificación, este proceso se lo realiza por medio del mecanismo mencionado en la figura 8, el mismo que gira a cada posición donde se

depositan los helados de acuerdo a cada sabor: (1) mora, (2) chocolate, (3) chicle, (4) ron pasas.



**Figura 73 Depósito de helados clasificados**

### 5.3 Prueba final

La prueba final realizada a la máquina trata de empaquetar y clasificar 30 helados de diferentes sabores, tomar el tiempo en cada proceso como se puede ver en la tabla 41, este dato se utilizará para validar la hipótesis.

**Tabla 41**

**Tiempo de empaquetado de la máquina por etapa**

Máquina	Control calidad	Formar empaque	Introducir helado	Sellado horizontal	Clasificación
Helado 1	1,0	2,94	1,0	2,95	2,0
Helado 2	1,2	2,88	1,0	3,21	2,0
Helado 3	1,02	3,22	1,0	3,02	2,0
Helado 4	1,2	3,41	1,0	3,14	2,0
Helado 5	1,3	2,9	1,0	3,22	2,0
Helado 6	0,89	2,95	1,0	3,14	2,0
Helado 7	0,98	2,88	1,0	3,22	2,0

<b>Helado 8</b>	0,79	3,00	1,0	2,94	2,0
<b>Helado 9</b>	0,88	2,87	1,0	3,01	2,0
<b>Helado 10</b>	0,88	3,12	1,0	3,20	2,0
<b>Helado 11</b>	0,96	3,20	1,0	3,12	2,0
<b>Helado 12</b>	1,12	3,12	1,0	3,34	2,0
<b>Helado 13</b>	1,11	3,20	1,0	3,27	2,0
<b>Helado 14</b>	1,0	3,02	1,0	3,01	2,0
<b>Helado 15</b>	1,02	3,41	1,0	3,25	2,0
<b>Helado 16</b>	1,0	3,27	1,0	3,34	2,0
<b>Helado 17</b>	1,0	3,28	1,0	3,12	2,0
<b>Helado 18</b>	1,0	2,75	1,0	3,12	2,0
<b>Helado 19</b>	1,0	3,08	1,0	3,14	2,0
<b>Helado 20</b>	1,1	3,02	1,0	3,27	2,0
<b>Helado 21</b>	0,8	3,27	1,0	3,15	2,0
<b>Helado 22</b>	0,92	3,27	1,0	3,08	2,0
<b>Helado 23</b>	1	3,01	1,0	2,88	2,0
<b>Helado 24</b>	0,9	3,22	1,0	2,75	2,0
<b>Helado 25</b>	1	3,14	1,0	3,07	2,0
<b>Helado 26</b>	1	3,14	1,0	3,35	2,0
<b>Helado 27</b>	1,02	2,75	1,0	3,16	2,0
<b>Helado 28</b>	1	3,14	1,0	2,85	2,0
<b>Helado 29</b>	1,23	3,34	1,0	3,44	2,0
<b>Helado 30</b>	1	2,69	1,0	3,27	2,0
<b>Total (seg)</b>	1,01	3,08	1,0	3,13	2,0
<b>Total aprox. (seg)</b>	1,0	3,0	1,0	3,0	2,0

Finalmente se determina el tiempo empleado para empaquetar y clasificar un helado que es de 10 segundos.

En la tabla 42 está detallado el número de helados que fueron empaquetados correctamente (C), así como los que tuvieron fallas (F).

**Tabla 42**  
**Helados empaquetados de manera correcta e incorrecta**

<b>Máquina</b>	<b>Control calidad</b>	<b>Formar empaque</b>	<b>Introducir helado</b>	<b>Sellado horizontal</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Helado 1</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 2</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 3</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 4</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 5</b>	C	F	C	C	C
<b>Helado 6</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 7</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 8</b>	C	C	F	C	C
<b>Helado 9</b>	C	F	C	C	C
<b>Helado 10</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 11</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 12</b>	C	C	F	C	C
<b>Helado 13</b>	C	C	C	F	C
<b>Helado 14</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 15</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 16</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 17</b>	C	C	F	C	C
<b>Helado 18</b>	C	F	C	C	C
<b>Helado 19</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 20</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 21</b>	F	C	F	C	C
<b>Helado 22</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 23</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 24</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 25</b>	C	C	F	C	C
<b>Helado 26</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 27</b>	C	C	C	C	C
<b>Helado 28</b>	C	C	C	C	C

<b>Helado 29</b>	C	F	C	C	C
<b>Helado 30</b>	C	C	C	C	C

	<b>Control calidad</b>	<b>Formar empaque</b>	<b>Introducir helado</b>	<b>Sellado horizontal</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Correcto</b>	29	26	25	29	30
<b>Falla</b>	1	4	5	1	0

## 5.4 Validación de la hipótesis

### 5.4.1 Hipótesis

¿El sistema automático de clasificación y empaquetado de helados permitirá disminuir tareas repetitivas para el operador, además ayudará a la empresa a cumplir con normas de calidad, salubridad y un óptimo desempeño, evitando una sobre agrupación del producto en el área de empaquetado y pérdida de tiempo en el proceso?

### 5.4.2 Variables de la investigación.

- **Variable Independiente**

Sistema de clasificación y empaquetado.

- **Variable Dependiente**

Optimizar tiempos de empaquetado para mayor productividad, calidad e higiene.

### 5.4.3 Comprobación de hipótesis

Con el fin de validar la hipótesis se ha optado por tomar datos de la microempresa, es decir se ha contado el número de helados empaquetados en una hora de forma convencional, dicho dato fue proporcionado por la microempresa ADASI SA. La cual indica que un operador entrenado logra empaquetar un helado en 15 segundos aproximadamente a partir de la funda

pre-fabricada ver figura 75, cabe recalcar que el área de producción de helados en la microempresa es de 240 helados en una hora.



**Figura 74 Bolsa para productos congelados**

**Fuente:** (maqpack, 2018)

En la tabla 43 se detalla el tiempo empleado por el operador para empaquetar una muestra de 10 helados.

**Tabla 43**  
**Tiempo de empaquetado método manual**

<b>N° de pruebas</b>	<b>Introducir helado</b>	<b>Sellado horizontal</b>	<b>Total (seg)</b>
<b>Prueba 1</b>	7	8	15
<b>Prueba 2</b>	6	8	14
<b>Prueba 3</b>	7	9	16
<b>Prueba 4</b>	6	8	14
<b>Prueba 5</b>	8	8	16
<b>Prueba 6</b>	7	7	14
<b>Prueba 7</b>	8	6	14
<b>Prueba 8</b>	7	8	15
<b>Prueba 9</b>	6	9	15
<b>Prueba 10</b>	7	7	13
<b>Total</b>			14.7

**Tabla 44**  
**Etapas de sellado manual**

	<b>Control calidad</b>	<b>Formar empa- que</b>	<b>Introducir helado</b>	<b>Sellado horizon tal</b>	<b>Clasificació n</b>	<b>Total (seg)</b>
<b>Método manual</b>	2	3	7	8	5	25

En la tabla 44 se detalla las operaciones necesarias para el proceso completo de empaquetado método manual, donde:

**Control de calidad.** - En este paso se verifica los parámetros de calidad del producto como es el caso del palo del helado, al estar dañado el mismo se lo rechaza, al operador le toma un tiempo de 2 segundos.

**Formar empaque.** - consiste transformar la lámina de polipropileno en una bolsa mediante el hombro formador para su posterior sellado tanto vertical como horizontal, el cual les toma a las máquinas formadoras de empaque un tiempo de 3 segundos.

**Introducir helados.** - para realizar esta operación al operador le toma 7 segundos ya que debe tomar el empaque, abrirla y depositar el helado para posteriormente sellar el lado faltante.

**Sellado horizontal.** - Esta parte es el complemento de la operación anterior que es el sellado de la bolsa utilizando una selladora manual, le toma un tiempo de 8 segundos, quedando finalmente un tiempo de 15 segundos que es el tiempo que se demora en empaquetar un operador.

**Clasificación.** - Finalmente viene la etapa de clasificación la cual consiste en separar los helados por cada uno de los sabores, al operador le toma 5 segundos decidir a cuál caja le corresponde cada uno.

Quedando finalmente un tiempo total de 25 segundos por cada helado empaquetado y clasificado de forma manual.

**Tabla 45**  
**Etapas de sellado automatizado**

	<b>Control calidad</b>	<b>Formar empaque</b>	<b>Introducir helado</b>	<b>Sellado horizontal</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Total (seg)</b>
<b>Máquina</b>	1	3	1	3	2	10

En la tabla 45 tenemos los datos de la máquina implementada, donde:

**Control de calidad.** - En este paso se verifica los parámetros de calidad del producto como es el caso del palo del helado, al estar dañado el mismo se lo rechaza, esto se lo realiza mediante el sistema de visión artificial, el cual es muy rápido y tan solo le toma 1 segundo.

**Formar empaque.** - consiste en transformar la lámina de polipropileno en una bolsa mediante el hombro formador para su posterior sellado tanto vertical como horizontal, el cual le toma un tiempo de 3 segundos.

**Introducir helados.** - Para realizar esta operación se tarda un segundo ya que es el tiempo que se demora en salir el actuador para empujar el helado hacia el empaque anteriormente formado.

**Sellado horizontal.** - En esta operación se realiza el sellado y corte horizontal del empaque, le toma un tiempo de 3 segundos debido a que se debe fundir las partes de la lámina de polipropileno.

**Clasificación.** - Finalmente viene la etapa de clasificación la cual consiste en separar los helados por cada uno de los sabores, a la máquina le toma 2 segundos decidir a cuál caja le corresponde cada uno, este tiempo es lo que se tarda en girar el motor paso a paso hasta ubicarse en la posición programada.

Quedando finalmente un tiempo total de 10 segundos por cada helado empaquetado y clasificado con la máquina implementada.

Al realizar un análisis entre la tabla 39 y la tabla 40 se calcula que un operador entrenado logra empaquetar 144 helados en una hora, que viene a representar el 60 % del total de helados producidos en la microempresa,

mientras que con la máquina implementada se logra empaquetar 360 helados en una hora, lo cual supera al número de helados producidos en la misma, logrando empaquetar un 50% más del producto, de esta manera se logra mejorar la productividad de la empresa e incluso podría aumentar mayor cantidad de helados/hora.

#### 5.4.4 Comprobación de hipótesis empleando el método chi-cuadrado.

La técnica del chi-cuadrado es un método estadístico, el cual es utilizado para comprobar si existe relación entre las variables dependientes e independientes de una hipótesis, relacionando la diferencia entre el conjunto de frecuencias observadas ( $f_o$ ) en una muestra y el conjunto de frecuencias teóricas ( $f_e$ ) en la misma.

Primero se debe formular los valores de frecuencias observadas mediante los datos obtenidos en la tabla 46.

**Tabla 46**  
**Tiempo para el empaquetado**

	<b>Control calidad</b>	<b>Formar empaque</b>	<b>Introducir helado</b>	<b>Sellado horizontal</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Total (seg)</b>
<b>Máquina</b>	1	3	1	3	2	10
<b>Método manual</b>	2	3	7	8	5	25
<b>Total</b>	3	6	8	11	7	35

Para este caso se trabaja con un nivel de confianza del 90 %, es decir un error del 0.1, para ello se busca el número de grados de libertad mediante la (ecuación 17).

$$n = (\#c - 1) * (\#f - 1) \quad (17)$$

Dónde:

#c: número de columnas

#f: número de filas

$$n = (5 - 1) * (2 - 1)$$

$$n = 4$$

De acuerdo a la figura 76 el valor de chi-cuadrado para (n=4), es de 7,78.

DISTRIBUCION DE  $\chi^2$

Grados de libertad	Probabilidad											
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001	
1	0,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	6,64	10,83	
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82	
3	0,35	0,58	1,01	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	11,34	16,27	
4	0,71	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	13,28	18,47	
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	8,24	11,07	15,09	20,52	
6	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	16,81	22,46	
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	18,48	24,32	
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	20,09	26,12	
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88	
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,59	
	No significativo								Significativo			

**Figura 75 Datos del chi-cuadrado**

Una vez obtenido el valor por tabla del chi-cuadrado se procede a formular la hipótesis ( $H_0$ ) y la hipótesis de trabajo ( $H_1$ ).

Donde:

$H_0$ : El sistema automatizado para el empaquetado y clasificación de helados no mejora el tiempo de empaquetado.

$H_1$  El sistema automatizado para el empaquetado y clasificación de helados mejora el tiempo de empaquetado, de esta manera ayuda a evitar la sobre agrupación del producto en el área de empaquetado.

Posteriormente se procede a elaborar la tabla de contingencia ver tabla 47, para lo cual se debe aplicar la siguiente formula.

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e}$$

**Tabla 47**  
**Tabla de contingencia**

$f_0$	$f_e$	$f_0 - f_e$	$(f_0 - f_e)^2$	$(f_0 - f_e)^2 / f_e$
-------	-------	-------------	-----------------	-----------------------

<b>Control de calidad máquina</b>	1,0	0,857	0,143	0,020	0,024
<b>Formar el empaque máquina</b>	4,0	1,714	2,286	5,224	3,048
<b>Introducir helado máquina</b>	1,0	2,286	-1,286	1,653	0,723
<b>Sellado horizontal máquina</b>	3,0	3,143	-0,143	0,020	0,006
<b>Clasificación máquina</b>	1,0	2,000	-1,000	1,000	0,500
<b>Control de calidad manual</b>	1,0	2,143	-1,143	1,306	0,610
<b>Formar el empaque manual</b>	4,0	4,286	-0,286	0,082	0,019
<b>Introducir helado manual</b>	3,0	5,714	-2,714	7,367	1,289
<b>Sellado horizontal manual</b>	5,0	7,857	-2,857	8,163	1,039
<b>Clasificación manual</b>	3,0	5,000	-2,000	4,000	0,800
<b>Total</b>					8,058

Donde el valor calculado es mayor que el valor crítico.

$$f_0 > f_1.$$

$$8,058 > 7,79$$

Por lo tanto se elimina la hipótesis  $H_0$ , dando validez a  $H_1$ , y demostrando que el proyecto fue positivo al implementarlo, ya que ayuda a mejorar los tiempos de producción. Validando así la hipótesis planteada.

## 5.5 Pruebas de calidad

Para el control de calidad del producto se ha realizado pruebas con 30 helados de diferentes sabores, obteniendo a continuación los siguientes resultados.

**Tabla 48 Empaquetado de helados**

	Control calidad	Formar empaques	Introducir helado	Sellado horizontal	Clasificación	Total (unidades)
<b>Correcto</b>	29	26	25	29	30	139
<b>Incorrecto</b>	1	4	5	1	0	11
<b>Total</b>	30	30	30	30	30	150

Para este caso se trabaja con un nivel de confianza del 90 %, es decir un error del 0.1, para ello se busca el número de grados de libertad con el uso de la (ecuación 18).

$$n = (\#c - 1) * (\#f - 1) \quad [18]$$

$$n = (5 - 1) * (2 - 1)$$

$$n = 4$$

De acuerdo a figura 86 el valor de chi-cuadrado para (n=4), es de 7,78.

Una vez obtenido el valor por tabla del chi-cuadrado de igual forma, se procede a formular la hipótesis ( $H_0$ ) y la hipótesis de trabajo ( $H_1$ ).

Donde:

$H_0$ : La máquina implementada no ayuda a mejorar los parámetros de calidad en el empaquetado y clasificación de helados.

$H_1$ : La máquina implementada ayuda a mejorar los parámetros de calidad en el empaquetado y clasificación de helados.

Por último se procede a elaborar la tabla de contingencia ver tabla 44, para lo cual se debe aplicar la siguiente fórmula.

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e}$$

**Tabla 49**  
**Cálculo de Chi-cuadrado**

	<b>f0</b>	<b>Fe</b>	<b>f0-fe</b>	<b>(f0-fe)<sup>2</sup></b>	<b>(f0-fe)<sup>2</sup>/fe</b>
<b>Control de calidad correcta</b>	27,0	27,800	-0,800	0,640	0,023
<b>Formar la empaque correcta</b>	26,0	27,800	-1,800	3,240	0,117
<b>Introducir helado correcta</b>	25,0	27,800	-2,800	7,840	0,282
<b>Sellado horizontal correcta</b>	29,0	27,800	1,200	1,440	0,052
<b>Clasificación correcta</b>	30,0	27,800	2,200	4,840	0,174
<b>Control de calidad falla</b>	1,0	2,200	-1,200	1,440	0,655
<b>Formar la empaque falla</b>	4,0	2,200	1,800	3,240	1,473

<b>Introducir helado falla</b>	5,0	2,200	2,800	7,840	3,564
<b>Sellado horizontal falla</b>	1,0	2,200	-1,200	1,440	0,655
<b>Clasificación falla</b>	0,0	2,200	-2,200	4,840	2,200
<b>Total</b>					9,193

Donde el valor calculado es mayor que el valor crítico.

$$f_0 > f_1.$$

$$9,193 > 7,79$$

Por lo tanto se elimina la hipótesis  $H_0$ , dando validez a  $H_1$ , y demostrando que el proyecto fue positivo al implementarlo, ya que ayuda a mejorar los parámetros de calidad. De esta manera se valida la hipótesis planteada.

## 5.6 Norma ecuatoriana para alimentos

Según establece la norma RTE INEN 100 ver (Anexo F), que los materiales directos y artículos plásticos confinados a estar en contacto con los alimentos no deben transferir sus componentes a los productos alimenticios en cantidades superiores a 10 miligramos por decímetro cuadrado de superficie de los materiales, para el presente proyecto el empaque de los helados está constituido por polipropileno el cual cumple con esta norma, y está aprobado en la misma como material útil para envolturas de productos congelados, de esta manera se valida que la máquina implementada está bajo normas ecuatorianas que ayudan a mantener el higiene en los alimentos.

## 5.7 Análisis de costos

Para dimensionar la magnitud de la inversión que representa la máquina empaquetadora de helados se realiza el siguiente análisis.

Estos costos se clasifican en directos e indirectos.

### 5.7.1 Costos directos

Se consideran como costos directos al dinero utilizado en la compra de materiales, equipos y mano de obra. Los mismos que se describen a continuación:

- Componentes de la máquina empaquetadora de helados.
- Elementos de la unidad neumática
- Equipos y materiales para la instalación y funcionamiento de la máquina
- Componentes eléctricos.
- Accesorios

La mano de obra es el costo que se genera por la elaboración de la maquinaria este valor se lo carga directamente al producto final.

A los gastos generales se los conoce también como gastos de utilización de equipo y de transporte de materiales. (Ramirez, 2016)

**Tabla 50**  
**Costos Mecánicos**

N°	Descripción	Cantidad	Precio [USD]
1	Tubo Cuadrado ASTM A36 1x1x1/8 "	2	18,00
2	Planchas de acero inoxidable AISI 304 1mm es espesor	2	80,00
3	Rodamientos AB6202	2	20,00
4	Tubo de acero inoxidable de 3"	1	150,00
5	Tubo de acero inoxidable de 1/2"	1	50,00
6	Eje de transmisión AISI 1018	1	10,00
7	Pernos, tuerca arandelas de acero inoxidable	24	24,00
<b>Total</b>			<b>342,00</b>

**Tabla 51**  
**Costos Eléctricos**

N°	Descripción	Cantidad	Precio [USD]
1	Canaleta	1	7,00

2	Control de temperatura	2	160,00
3	Relés Encapsulados	1	6,00
4	Niquelinas	2	40,00
5	Relés de estado solido	2	45,00
6	Termocupla tipo j	2	40,00
7	Cable #16	15 m	15,00
8	Porta fusibles	2	20,00
9	Fusibles	2	1,00
10	Luz Piloto	3	2,50
11	Pulsadores	6	10,00
12	Arduino	1	20,00
13	Módulo Relé	1	5,00
14	Servomotores	2	36,00
15	Computadora	1	500
16	Borneras	20	30,00
17	PLC	1	600,00
<b>Total</b>			<b>1537,50</b>

**Tabla 52**  
**Costos Neumáticos**

N°	Descripción	Cantidad	Precio [USD]
1	Cilindro20*150	2	60,00
2	Cilindro 20*25	2	55,00
3	Cilindros 20*50	1	24,00
4	Cilindro 30*175	1	60,00
5	Electroválvulas	6	240,00
6	Distribuidor de aire	1	40,00
7	Unidad de mantenimiento	1	60,00
8	Compresor	1	300,00
9	Acoples rápidos	18	24,00
10	Reguladores de caudal	12	50,00
11	Manguera 6mm	10m	10,00

CONTINÚA 

12	Silenciadores	2	10,00
<b>Total</b>			<b>583,00</b>

**Tabla 53**  
**Costos por maquinaria, mano de obra y transporte**

<b>N</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio [USD]</b>	
1	Corte y doblado de las planchas de acero inoxidable	30,00	
2	Soldadura del acero inoxidable	80,00	
3	Mecanizado de las piezas	200,00	
4	Acabados	30,00	
5	Transporte desde el taller a la empresa	80,00	
6	Instalación	80,00	
7	Mano de Obra	500,00	
<b>Total</b>			<b>1000,00</b>

**Tabla 54**  
**Costos Directos Totales**

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio [USD]</b>
1	Costos Mecánicos	342,00
2	Costos Eléctricos	1537.50
3	Costos Neumáticos	583.00
3	Costo de Maquinaria, Mano de Obra y Transporte	1000,00
<b>Total</b>		<b>3462.50</b>

### 5.7.2 Costos indirectos

Los costos indirectos se producen por la investigación y las disposiciones tomadas en el durante el desarrollo construcción e instalación de la máquina empaquetadora de helados.

**Tabla 55**  
**Costos Indirectos**

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio [USD]</b>
1	Gastos logísticos	500
	<b>Total</b>	500

### **5.7.3 Costo de producción**

Para obtener este valor se debe sumar los costos realizados tanto directos como indirectos, este valor envuelve el total de los de costos que involucra el desarrollo de la máquina.

- Costo total = Costos directos + Costos Indirectos
- Costo total = \$3462,50 + \$ 500,00
- Costo total = \$ 3962,50

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones.

- Se diseñó e implementó un sistema automático de empaquetado y clasificación de helados mediante inteligencia artificial: en el primer proceso es el reconocimiento del helado de acuerdo a sus características como la forma, contorno, color; el segundo proceso se encarga de formar y sellar el empaque con el helado dentro; el tercer proceso clasifica el helado en cuatro posiciones de acuerdo a cada sabor.
- Los mecanismos y partes para el empaquetado y clasificación de helados se modeló mediante un software de diseño asistido por computador (CAD), mismo que permitió realizar análisis estáticos para que los componentes no fallen antes los esfuerzos producidos por los actuadores.
- Se seleccionó los componentes necesarios para automatizar el sistema de clasificación y empaquetado de helados en base a los diferentes catálogos que poseen cada uno de los fabricantes.
- Se realizó procesos de calibración, ajuste y pruebas de funcionamiento al sistema implementado con el fin de corregir posibles fallas y evitar daños prematuros a futuro.
- El uso de Visión Artificial y redes neuronales permitieron desarrollar un sistema de control de calidad y clasificación automático a bajo costo.
- La implementación de la máquina empaquetadora incrementó la capacidad de producción de helados de 144 a 360 por hora, mediante la reducción de tiempo en el proceso de empaquetado, permitiendo superar el cuello de botella producido por realizar el empaquetado de forma artesanal.
- Se diseñó una máquina empaquetadora vertical, puesto que requiere de menos componentes ya que utiliza la gravedad para el proceso de alimentación del helado.

- La máquina empaquetadora es segura ya que cada uno de los mecanismos que la conforman utilizan un factores de seguridad 1.5 lo cual hace confiables de acuerdo a las diferentes cargas.
- Los controladores de temperatura para el sellado vertical y horizontal permitieron mantener estable el set point a 90°C, detectando cualquier variación y compensándola.
- Se estableció un porcentaje de confiabilidad de 90% tanto para comprobar la calidad de helados como para verificar el tiempo empleado en el empaquetado de los mismos.
- Las redes neuronales artificiales fueron elaboradas con ayuda del software Microsoft® Visual C++ 2010, mientras que el procesamiento fue realizado con el uso de librerías de OpenCV versión 2.4.10.

## **6.2 Recomendaciones.**

- Emplear programas de cómputo para el análisis del diseño mecánico y eléctrico para comprobar que los factores de seguridad, sean correctos, de igual manera para la parte eléctrica impedir caídas de tensión y sobredimensionamiento de protecciones.
- Utilizar una unidad de mantenimiento para el compresor y cumplir con el plan de mantenimiento (ver manual de operación) para evitar daños en los elementos que constituyen la máquina.
- El conjunto de ajuste del rodillo y los templadores evitaron que la lámina de polipropileno se descarrile, a través del hombro formador de empaque y tenga un sellado inapropiado.
- En caso que la máquina sea utilizada para empaquetar helados de menor tamaño se recomienda el desarrollo de un nuevo sistema de arrastre, para evitar desperdicios del rollo polipropileno, dicho cambio debe ser realizado por un técnico especializado.
- Se sugiere limpiar el lente de la cámara así como las partes que estén en contacto con los helados con alcohol industrial y algodón, previa la utilización de la máquina.

- Asegurarse que no existan objetos extraños en el área de trabajo, ya que podría ocasionar obstrucción en los conductos formador de empaque y clasificación.
- Parar la máquina empaquetadora durante las calibraciones, y el cebado de la máquina para evitar producir accidentes.
- Se recomienda el uso de una computadora dedicada exclusivamente para el proceso de clasificación y control de calidad, o la implementación de una computadora industrial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, Jaime. (2013). Teoría de maquinas empaquetadoras .  
Repositorio.utn. Recuperado el 07 de Agosto de 2017, Obtenido de  
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3516/2/04%20MEC%202019%20SEGUNDA%20PARTE.pdf>
- Alsina, G. (2013). Definición de inteligencia artificial. Definicionabc.  
Recuperado el 06 de Marzo de 2017, Obtenido de  
<http://www.definicionabc.com/tecnologia/inteligencia-artificial.php>
- Andrade, C. (2016). Sistema de control. Bibdigital. Recuperado el 15 de Junio de 2017, Obtenido de  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16873/1/CD-7452.pdf>
- BOSCH. (2014). Bolsas para alimentos. boschpackaing. Recuperado el 09 de Agosto de 2017, Obtenido de  
[http://www.boschpackaging.com/media/pa/product/cf/paud/sve\\_3800\\_ab/bosch\\_guide\\_to\\_vffs-web.pdf](http://www.boschpackaging.com/media/pa/product/cf/paud/sve_3800_ab/bosch_guide_to_vffs-web.pdf)
- Burbupac S.A. (2014). Material polipropileno. Corporativoburbupac.  
Recuperado el 13 de Noviembre de 2016, Obtenido de  
<http://corporativoburbupac.com/?cat=61>
- Calliester, W. D. (2007). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México, D.F: Editorial Reverte.
- CHELIC, P. (2013). Cálculo de actuadores neumáticos. CHELIC PNEUMATIC. Recuperado el 08 de mayo del 2017, Obtenido de  
[http://www.chelic.com/Upload/ListPDF/40\\_20150616163526002.pdf](http://www.chelic.com/Upload/ListPDF/40_20150616163526002.pdf)
- COMEK. (2015). Equipos para la Industria Alimentaria. Maquinasempacadoras. Recuperado el 10 de Marzo de 2017, Obtenido de  
<http://www.maquinasempacadoras.com/web/es/selladoras/selladoras-continuas/selladora-continua-vertical-colombia.html>
- Curicho, D., Fierro, J. (2015). Enfundadora automática de líquidos. Repositorio.espe. Recuperado el 10 de Abril de 2017, Obtenido de  
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10566/T-ESPEL-MEC-0063.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Edinetwork. (2015). Aceros inoxidables. Edinetwork. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, Obtenido de

[http://www.edinetwork.net/w8/z/010/index.asp?seccion1=contenido&id\\_web=214&sec=2&id\\_articulo=](http://www.edinetwork.net/w8/z/010/index.asp?seccion1=contenido&id_web=214&sec=2&id_articulo=)

- Ganchozo. (2013). Sistema de ubicación y enrutamiento. dspace.ups. Recuperado el 06 de Julio de 2017, Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5340/1/UPS-ST001023.pdf>
- Horwitz E., H. (2002). *Soldadura, Aplicaciones y Práctica*. Colombia: Alfaomega grupo editor S.A.
- Logitech . (2017). Webcam logitech. siasa. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, obtenido de [http://www.siasa.com/productos/documentos/logitech\\_C920.pdf](http://www.siasa.com/productos/documentos/logitech_C920.pdf)
- Maqpack. (2018). Suministro y equipos para empaquetado. maqpack. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, Obtenido de <https://www.maqpack.com.mx/>
- Metfusion. (2013). Aceros inoxidable.wordpress. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, Obtenido de <https://metfusion.wordpress.com/2013/11/07/que-es-el-acero-inoxidable/>
- Mott, R. (2009). *Resistencia de materiales*. México, D.F: Pearson Educación.
- Muñoz. (2014). Sistema de visión artificial. uvadoc. Recuperado el 04 de Agosto de 2017, Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/11848/1/TFG-P-165.pdf>
- Paúl, M. (2013). Selladora y codificadora automática. Repositorio espe. Recuperado el 09 de Enero de 2016, Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6219/1/T-ESPE-038883.pdf>
- Platero. (2016). Interpretación automática de las imágenes.elai. Recuperado el 18 de Abril de 2017, Obtenido de [http://www.elai.upm.es/moodle/pluginfile.php/1562/mod\\_resource/content/2/cap7Intreplmagv1.9.pdf](http://www.elai.upm.es/moodle/pluginfile.php/1562/mod_resource/content/2/cap7Intreplmagv1.9.pdf)
- Ponce, Pedro. (2016). Inteligencia artificial. slideshare. Recuperado el 01 de Abril de 2017, Obtenido de <https://es.slideshare.net/Heinsinberg/inteligencia-artificial-con-aplicaciones-a-la-ingeniera-67655893>

- Pymar. (2014). Selladora de pedal.Pymar. Recuperado el 2 de Octubre de 2016, Obtenido de <https://itepacp.com/selladora-de-pedal-itzd-hfis-1f450x8/>
- Ramirez, D. (2016).Maquinaria semiautomatizada de helados.Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5626/1/85T00398.pdf>
- Rubiolo, M. (2014). Algoritmos basados en redes neuronales. ria. Recuperado el 17 de Junio de 2017, Obtenido de <http://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1410/MRubiolo%20-%20Tesis%20Doctoral.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (Vol. V). México,D.F: McGraw-Hill.
- Vasco. (2016).Visión artificial. IngEam. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, Obtenido de <http://www.eam.edu.co/ojs/index.php/ingeam/article/view/144/217>
- Zurita, S. (2016 ). Investigacion de un sistema para la detección de trypanosoma cruzi en muestras serológicas usando técnicas de visión artificial. Repositorio espe. Recuperado el 12 de Enero de 2018, obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6219/1/T-ESPE-038883.pdf>

# ANEXOS



**ESPE**  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores; **EDISON GEOVANNY PRUNA JÁCOME Y JAIRO ISRAEL VÁSQUEZ SOLÍS.**

En la ciudad de Latacunga a los 06 días del mes de marzo del 2018

Ing. Darío Mendoza  
**DIRECTOR PROYECTO**

Ing. Vicente Hallo  
**DIRECTOR DE CARRERA**

Aprobado por:

Dr. Rodrigo Vaca.  
**SECRETARIO ACADÉMICO**