

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE CONTROL DE CALIDAD Y
EMPACADO DE CUCHARAS PLÁSTICAS DE LA EMPRESA
“TRUPLAST”.**

**AUTORES:
MANUEL ALEJANDRO CHIRIBOGA SALAZAR
CRISTIAN ALEJANDRO VELOZ ARMAS**

**TUTOR:
JAVIER ARTURO ROJAS URBANO**

Quito, agosto del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Manuel Alejandro Chiriboga Salazar con documento de identificación N° 171604763-2 y Cristian Alejandro Veloz Armas con documento de identificación N° 172656685-2, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE CONTROL DE CALIDAD Y EMPACADO DE CUCHARAS PLÁSTICAS DE LA EMPRESA “TRUPLAST”.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

(Firma)

Manuel Alejandro Chiriboga Salazar

Cédula: 171604763-2

(Firma)

Cristian Alejandro Veloz Armas

Cédula: 172656685-2

Quito, agosto 2018

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE CONTROL DE CALIDAD Y EMPACADO DE CUCHARAS PLÁSTICAS DE LA EMPRESA “TRUPLAST”.”, realizado por Manuel Alejandro Chiriboga Salazar y Cristian Alejandro Veloz Armas, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2018



Javier Arturo Rojas Urbano

C.I: 020189802-0

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado para mis padres Grace Y Manuel por no perder la fe en mí, por nunca rendirse, sé que el camino ha sido difícil, largo y sinuoso. A mis hermanas en especial a Laurita por ser uno de los pilares más importantes en mi vida, mi apoyo incondicional en todo momento.

Manuel

Dedico este trabajo a mis padres Segundo y Janeth por ser mi motor y fortaleza, por cada abrazo y palabra de aliento que me levantaron cuando me sentía derrotado, a mi hermano Esteban por su amor incondicional, a mi familia y amigos.

Cristian

AGRADECIMIENTO

A mis padres, a todos mis amigos por su apoyo Vini, Héctor, Kevin, Fernando, Claudio, Christian, Joselyn, mis compañeros con quienes compartí 5 años de experiencias, a los profesores por su dirección y guía y aportaron para culminar con esta etapa de mi vida.

Manuel

A Dios por su amor y enseñanzas, por esta prueba que sin duda alguna me hizo crecer y madurar, a mi familia, mis amigos Paúl Ernesto, Daniel, Gabriela Estefanía, Diego y Adrián, a mis abuelos, y a mis profesores de cátedra y de vida, a todos ustedes que han dejado una huella en mí, aportando en mi formación como persona y profesional, gracias a ustedes pude culminar con esta etapa de mi vida.

Cristian

Además, agradecemos a nuestra institución la Universidad Politécnica Salesiana, a nuestro tutor Ing. Javier Arturo Rojas por sus conocimientos, su apoyo y guía a lo largo de esta etapa, a la empresa TRUPLAST, por abrirnos sus puertas para desarrollar y concluir el presente proyecto.

Los Autores

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
1 CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Tema	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo General	2
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Metodología.....	3
2 CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Empaque y sellado.....	4
2.1.1 Empacado.....	4
2.1.2 Sellado	4
2.1.3 Materiales empleados en empaques.....	5
2.1.4 Configuraciones de empaques flexibles	5
2.2 Máquinas empacadoras	6
2.2.1 Estructura de una máquina empacadora semiautomática	6
2.3 Sistema de control	10
2.4 Sistemas de medición	10

2.5	Control de calidad	10
2.5.1	Control de calidad con visión artificial.....	11
2.6	Visión Artificial en control de calidad.....	11
2.6.1	Filtros digitales	12
2.7	Sistemas de Iluminación.....	13
3	CAPÍTULO III.....	15
3.1	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	15
3.1.1	Empacadora	15
3.1.2	Control de calidad.....	16
3.2	Diseño del sistema.....	17
3.1.3	DISEÑO MECÁNICO	18
3.3	DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.....	24
4	CAPÍTULO IV.....	36
4.1	Máquina empacadora (selladora)	36
4.2	HMI de máquina empacadora	41
4.2.1	Ventana de Inicio	42
4.2.2	Ventana de Monitoreo.....	42
4.2.3	Ventana de Parámetros.....	43
4.2.4	Ventanas Emergentes	43
4.3	Máquina de Control de calidad.....	43
	CAPÍTULO V	47
5.1	PRUEBAS Y RESULTADOS SELLADORA:	47
5.1.1	Prueba de la máquina empacadora.....	47
5.1.2	Calibración de sensor de temperatura.....	48
5.1.3	Pruebas de funcionamiento del sistema de pesaje	50
5.2	Pruebas y resultados de visión artificial	51

5.2.1	Prueba de funcionamiento con matrices buenas	51
5.2.2	Prueba de funcionamiento con matrices defectuosas	52
5.2.3	Prueba de funcionamiento con matrices mixtas	53
5.	CAPÍTULO 6.....	54
6.1	CONCLUSIONES.....	54
6.2	RECOMENDACIONES	55
7	Bibliografía	56
6.	ANEXOS	59
	Algoritmo de Control de Calidad.....	59

TABLA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ramal de cucharas plásticas	4
Figura 2.2 Configuración de empaques	5
Figura 2.3 Clasificación de máquinas empacadoras	6
Figura 2.4 Partes de una máquina empacadora vertical	7
Figura 2.5 Sistemas de dosificación	8
Figura 2.6 Esquema de alternativas de formador	8
Figura 2.7 Esquemas de sistemas de arrastre	9
Figura 2.10 Clasificación de los sistemas de iluminación	13
Figura 2.11 Esquema iluminación lateral	14
Figura 3.1 Diseño estructural de la máquina	17
Figura 3.2 Diagrama de bloques del diseño mecánico	18
Figura 3.3 Esquema de dispensador	18
Figura 3.4 Diseño de formador de funda	19
Figura 3.5 Diseño del sistema de arrastre	20
Figura 3.6 Implementación de máquina empacadora	21
Figura 3.7 Distribución mecánica para el control de calidad	21
Figura 3.8 Banda transportadora	22
Figura 3.9 Sistema de iluminación	22
Figura 3.10 Módulo de análisis de imagen	23
Figura 3.11 Sistema de descarte y aprobación de producto	23
Figura 3.12 Diagrama de bloques del sistema eléctrico y electrónico	24
Figura 3.13 Diagrama de bloques del convertidor analógico HX711	25
Figura 3.14 Conversor TTL a RS232	26
Figura 3.15 Diseño electrónico para control de potencia	28
Figura 3.19 Sistema neumático de la máquina selladora	30
Figura 3.16 Distribución del sistema eléctrico y electrónico de control de calidad	32
Figura 3.17 Circuito de acople para la banda transportadora	33
Figura 4.1 Diagrama de flujo del programa de control de selladora preparación de la máquina	37

Figura 4.2 Diagrama de flujo del Control de Temperatura.	38
Figura 4.3 Diagrama de flujo de Inicio de ciclo.....	39
Figura 4.6 Ventana de inicio.....	42
Figura 4.7 Ventana de Monitoreo.....	42
Figura 4.8 Ventana de parámetros.	43
Figura 4.9 Diagrama de flujo control de calidad.....	44
Figura 4.10 Diagrama de flujo de toma de decisión del control de calidad.....	45
Figura 5.1 Resultados de empaques validados y rechazados.	47
Figura 5.2 Resultados de tipos de fallo	48
Figura 5.3 Datos de medición de temperatura.	49
Figura 5.4 Curva Temperatura vs Valor Digital del Termopar tipo J.....	49
Figura 5.5 Datos de medición de peso	50
Figura 5.6 Visión artificial matriz en buen estado	51
Figura 5.7 Sistema de visión artificial.....	51
Figura 5.8 Gráfica de desempeño de sistema de visión	52
Figura 5.9 Visión artificial matriz defectuosa	52
Figura 5.10 Sistema de visión artificial.....	52
Figura 5.11 Gráfica de desempeño de visión prueba 2.	53
Figura 5.12 Gráfica de desempeño de visión prueba 3.	53

RESUMEN

La Empresa TRUPLAST, dedicada a la producción de plásticos en general, busca satisfacer una de sus mayores demandas a nivel nacional, mejorar su producción, para brindar a los clientes un producto de calidad. Los utensilios plásticos, como las cucharas producidas en sistemas de inyección de colada fría, vienen en ramales las cuales son desprendidas, contadas, inspeccionadas y empacadas manualmente. Debido al crecimiento de la demanda y siendo obsoleto su actual sistema, se diseñó e implemento una máquina de control de calidad y empaque para la automatización de su línea de producción de cucharas plásticas. La máquina empacadora de tipo vertical, realizara un empaque completo de tres sellos, el cual consta de varias secciones como son el formado, sellado y corte de funda, además el sistema de pesado de producto. Su sistema electro neumático se controla por un PLC Panasonic con una pantalla monocromática Panasonic GT02. Se implementa un sistema de control de calidad con el cual se descartara las matrices de productos que se encuentren defectuosas. En base a visión artificial y un módulo que contempla una cámara y el procesador Raspberry Pi 3 para identificar, procesar la imagen y tomar una decisión de aprobación o descarte del producto. Se utiliza las herramientas de OpenCV y el lenguaje Python para desarrollar el código de programación.

ABSTRACT

TRUPLAST Company, dedicated to the production of plastics in general, seeks to satisfy one of its highest demands at the national level, improve its production, to provide customers with a quality product. Plastic utensils, such as spoons produced in cold-cast injection systems, come in ladder strips which are detached, counted, inspected and packed by hand. Due to the growth of its demand and its current system being obsolete, a quality control and packaging machine was designed and implemented for the automation of its production line of plastic spoons. The vertical type packing machine will carry out the process that contemplates a complete packaging of three seals, which consists of several sections such as the forming, sealing and shearing of the sheath, and also the product weighing system. Its electro-pneumatic system is controlled by a Panasonic PLC with a Panasonic GT02 monochromatic screen. A quality control system is implemented with which the matrices of products that are defective will be discarded. Based on artificial vision and a module that includes a camera and Raspberry Pi 3 processor to identify, process the image and make a decision to approve or discard the product. We used the OpenCV tools and the Python language to develop the programming code

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe el desarrollo de una máquina de control de calidad basada en visión artificial y una empacadora semi automática tipo vertical de cucharas plásticas. Se redacta su contenido en cinco capítulos: marco teórico, diseño, programa, pruebas y resultados y por último conclusiones y recomendaciones.

En el primer capítulo se describe la metodología utilizada para desarrollar el proyecto. En el segundo capítulo se realiza el estudio de los materiales de empaque, sistemas de empaado, elementos de una empacadora, sistemas de control de calidad, visión artificial y filtros más utilizados en el control de calidad.

En el tercer capítulo se aborda el diseño mecánico, sistemas y elementos que conforman la máquina, además de los diseños eléctricos y electrónicos instrumentados en la máquina, se describe su control, acondicionadores, sensores y actuadores.

En el cuarto capítulo se utilizan diagramas de flujo para describir el funcionamiento y el código de programación de la máquina empacadora y del control de calidad. El quinto capítulo muestra las pruebas realizadas de los sistemas individuales y en conjunto, validándose en los resultados obtenidos.

En el sexto capítulo se obtienen las conclusiones y recomendaciones que servirán como base para el mejoramiento de los sistemas y futuras investigaciones.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

La creciente demanda de utensilios plásticos han conllevado a que la empresa “TRUPLAST” productora plásticos, invierta en equipo y personal para cumplir con la producción requerida por el mercado, el desvío de personal para empaquetar dicho producto ha conllevado al descuido de otras áreas, además se ha incurrido en gastos extras para conseguir terminar con los pedidos y debido al alto volumen de utensilios el control de calidad visual que se llevaba a cabo por los operarios ha quedado obsoleto.

El producto de mayor demanda de la empresa son las cucharillas plásticas, miden aproximadamente 6 cm de largo, 1,5 cm de ancho y pesan de 1,5 a 2 g cada una, son expulsadas de los moldes de inyección en ramales de 16 cucharillas. Son desprendidas, contadas, verificadas y empaquetadas manualmente, teniendo un margen de error muy alto en el control de calidad; por lo general cuando existe un fallo en el granulado del material, o fallo del cierre del molde de inyección toda la producción siguiente se encuentra deteriorada.

Como solución se plantea el desarrollo de una máquina empacadora semi automática de tipo vertical y un sistema de control de calidad basado en visión artificial. La disposición de la empacadora vertical, permite un alto volumen de producto, limitante de otro tipo de máquinas. Permite realizar empaques de forma semi automática es decir será alimentada de forma continua por un operador, mediante un panel táctil se puede ingresar el lote de producción, valores de control y se podrá monitorizar dichos valores. El sistema de control de calidad será desmontable para fácil manejo, permitiendo ubicarse en distintas inyectoras, realiza la función de separación de matrices aprobadas y descartadas bajo el patrón de matrices incompletas, implicando utilizar la visión artificial para analizar el ramal y contar el número de formaciones o cucharas.

1.2 Tema

DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE CONTROL DE CALIDAD Y EMPACADO DE CUCHARAS PLÁSTICAS DE LA EMPRESA “TRUPLAST”.

1.3 Justificación

La implementación de una máquina de inspección con visión artificial aumentará la calidad del producto entregado a los clientes, reducirá tiempos de proceso y mano de obra para el desempeño de esta labor. Además aumentará la seguridad del operario, al descartar ramales incompletos, los cuales producen cortes.

Se utilizará software libre diseñado para realizar visión artificial, como OpenCV e implementado en Python, este lenguaje de alto nivel utilizando la biblioteca de visión artificial, permitirán la fácil identificación e inspección del producto, para tomar una decisión de valides o descarte.

La velocidad de empacado es un factor fundamental para completar el proceso de producción, y de la misma manera para poder cumplir con la demanda del producto en el mercado. Simultáneamente al obtener una mayor velocidad de empacado a la que se tiene actualmente, se evitara paros innecesarios, causados por el agotamiento humano, aumentará la seguridad del personal, se reducirá el número de operarios destinados; disponiendo del personal para otras labores, mejorará la presentación del producto final y cubrirá la demanda de producción diaria.

La construcción de la máquina es fiable, al disponer equipos e instrumentos para realizar maquinado, se pueden elaborar todos los elementos con tecnología CNC, corte de electro hilo, electroerosión, etc. Además se tiene acceso a instalaciones de neumática y eléctricas alrededor de toda la planta.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar una máquina para el control de calidad y empacado de cucharas plásticas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema mecánico para el descarte y empaçado de cucharas plásticas y el sistema electrónico para el control de calidad.
- Diseñar el sistema de control mediante visión artificial para la inspección de calidad.
- Implementar la máquina en base del diseño para la inspección y control de calidad.
- Validar los resultados del proceso implementado.

1.5 Metodología

- Se dimensiona y limita los errores más evidentes y periódicos evidenciados en el producto para realizar el control de calidad.
- Se realizan visitas técnicas, cotizaciones y se recibe capacitación en varias empresas dedicadas a la elaboración de estas máquinas, para obtener guía para el diseño e implementación de la máquina.
- En base a los requerimientos de la empresa se diseña una solución que contemple efectuar el control de calidad y empaçado del producto: cucharas plásticas en software especializado.
- Se manufacturan las piezas correspondientes en fresas y tornos CNC, todo el dimensionado, diseño y construcción son de inventiva propia de los autores, basados en documentación obtenida en capacitaciones.
- A través de métodos cuantitativos de verificación visual y mediciones de los sistemas se comparará los resultados obtenidos por el proceso controlado, verificándose el cumplimiento de los objetivos planteados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Empaque y sellado

2.1.1 Empacado

El proceso de envase o embalaje consiste en un sistema de sello o envase de un producto, para contener, proteger, transportar y presentar una mercadería para su comercialización. (Rodríguez Tarango, 2005)

El producto deseado a empacar, viene dado por peso, es de dimensiones medianas, requiere buena hermeticidad, no representa fragilidad y es de costo moderado. Las cucharas plásticas se producen en ramales, en la Figura 2.1, se observa un ramal de 16 cucharas plásticas.

Figura 2.1 Ramal de cucharas plásticas



Ramal de 16 cucharas plásticas, mediante inyección de colada fría, (ManuelSalazar & CristianVeloz)

2.1.2 Sellado

El proceso de sellado se encarga de hacer pliegues, o junturas en el empaque para conseguir su hermeticidad, evitando así el deterioro del producto y posibles fugas; el sellado debe garantizar la funcionalidad del empaque que va hacer entregado al consumidor y cumplir con los estándares de calidad y fechas de caducidad establecidas. (Rodríguez Tarango, 2005)

2.1.3 Materiales empleados en empaques

El material del empaque se elige de acuerdo al producto a empaquetar y la presentación final que se desee obtener; existen gran variedad de materiales con diversas propiedades como elasticidad, resistencia, transparencia, densidad y costo. Los empaques más utilizados son hechos de plásticos como el PET, PEAD, PP, PVC. La temperatura aproximada de sello se encuentra de 100 a 250 °C (Moreno Zapata, 2010).

2.1.4 Configuraciones de empaques flexibles

- **Bolsa tipo almohadilla de tres sellos.-** Este tipo de bolsa es de fácil elaboración y costo; está compuesto de un sellado vertical y dos horizontales; generalmente se mano facturan en polietileno o polipropileno.
- **Bolsa tipo almohadilla de tres sellos con fondo plano.-** Este tipo de bolsa proporciona una protección de derrames adicional y una mejor presentación del producto ya que su doblez en el fondo la permite mantenerse levantada, son utilizados para productos sólidos y polvos habitualmente.
- **Bolsa tipo sachet.** - Son ideales para empaque de productos en raciones o dosis personales, poseen de tres a cuatro sellos y están hechas de polipropileno.

En la Figura 2.2 se observan los tres tipos de empaques descritos.

Figura 2.2 Configuración de empaques

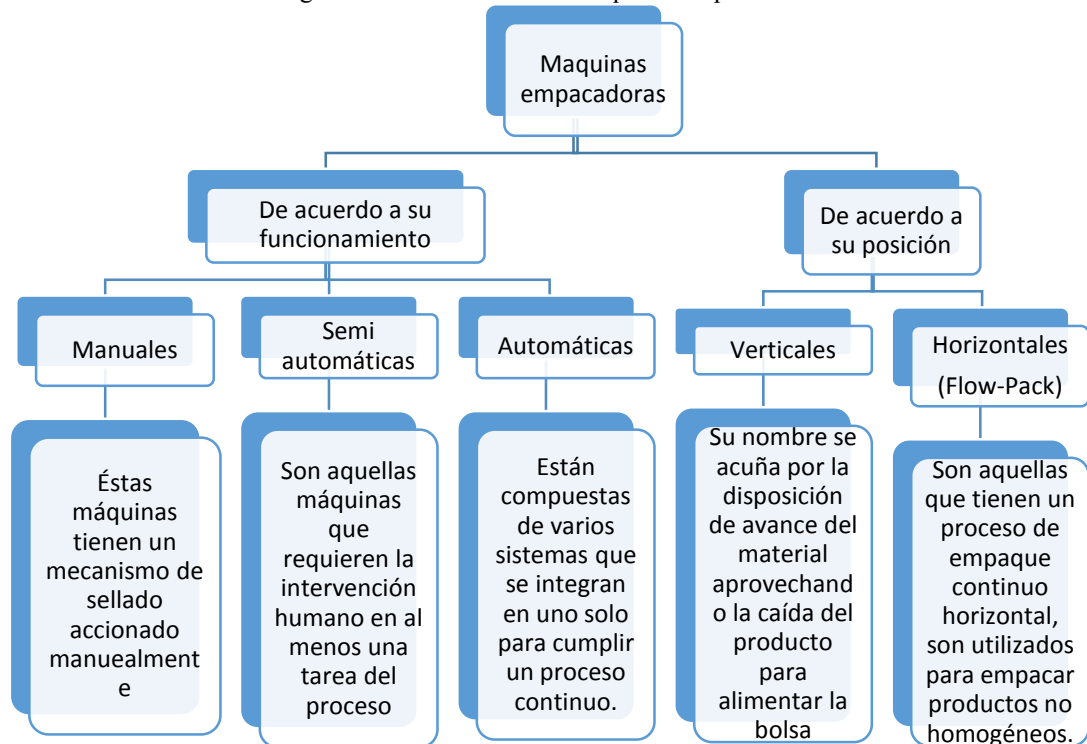


- a) Bolsa multi producto de tres sellos (ManuelSalazar & CristianVeloz) b) Bolsa multi producto de tres sellos con fondo plano (SwissPack, n.d.) c) Bolsa tipo sachet con abre fácil (BGStudios, n.d.)

2.2 Máquinas empacadoras

Son máquinas que envasan o empaquetan un producto para comercializarlo, manipularlo, protegerlo, transportarlo y almacenarlo. Las máquinas empacadoras se clasifican de acuerdo a su funcionamiento y su posición de empaque. Se muestra en la Figura 2.3 su clasificación. La empacadora vertical es el objetivo de este proyecto.

Figura 2.3 Clasificación de máquinas empacadoras

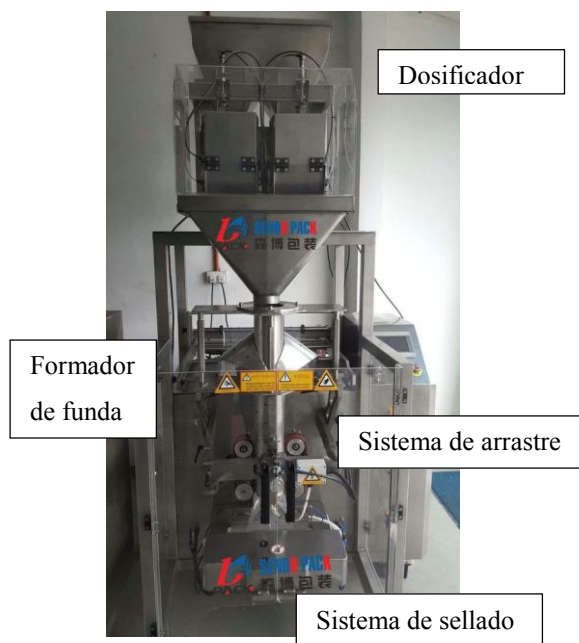


Clasificación de las máquinas empacadoras por su funcionamiento y su posición. (ManuelSalazar & CristianVeloz)

2.2.1 Estructura de una máquina empacadora semiautomática

Una máquina selladora semiautomática está compuesta de sistemas integrados capaces de realizar empaques con la intervención de un operario, que mida la cantidad de producto, controle el sistema de corte o sello o dispense el producto continuamente; la actividad que requiere de la intervención del operario es dada por el fabricante. Los sistemas de una selladora vertical son: sistema de dosificación, sistemas de formación de empaque, sistemas de sellado y sistemas de arrastre de funda. Como se muestra en la Figura 2.4.

Figura 2.4 Partes de una máquina empacadora vertical



Partes de una máquina semiautomática empacadora o selladora vertical (MAPLASCALI, n.d.)

A continuación, se describe cada una de las partes de la empacadora semi automática.

DOSIFICADOR

La Tabla 2.1 describe las tres alternativas de diseño (Moreno Zapata, 2010).

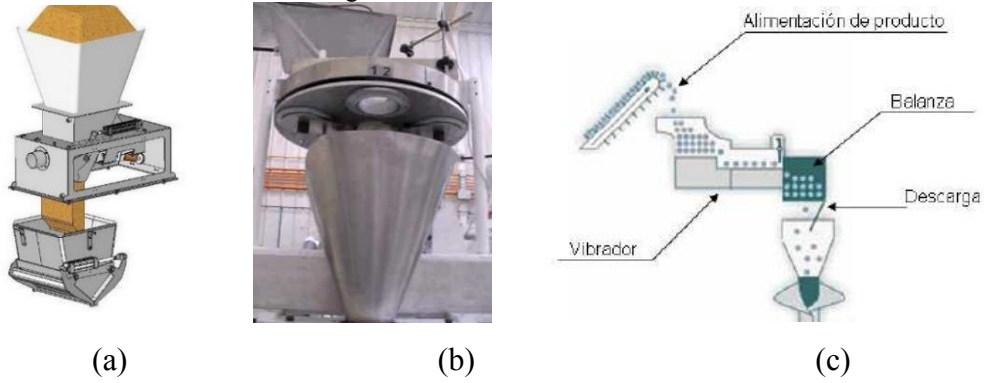
Tabla 2.1 Tipos de dosificador

Tipo	Descripción
Por gravedad de caja volumétrica	El sistema está conformado por una tolva de alimentación y una caja de determinada cantidad de producto.
Volumétrico	El sistema está conformado por una tolva de alimentación y un plato giratorio conformado con vasos volumétricos.
Pesaje	El producto es alimentado por medio de una tolva o elevador, hacia una bandeja, la cual tiene acoplada una balanza.

Tipos de alternativas de dosificador (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Están diseñados como depósito y para la canalización de productos, son construidos para proporcionar un volumen específico de producto, y es montado sobre un chasis que permite el transporte. La Figura 2.5 muestra los esquemas de las alternativas.

Figura 2.5 Sistemas de dosificación



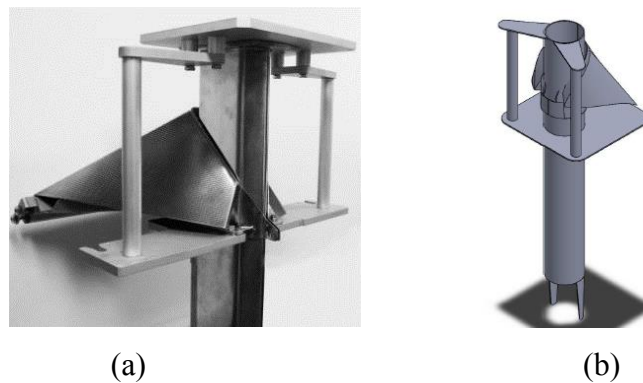
(a) Esquema de dosificador por gravedad (PAYPER, n.d.) (b) Dosificador volumétrico (Moreno Zapata, 2010) (c) Dosificador por pesaje (PAYPER, n.d.)

FORMADOR DE FUNDA

Dan la forma del empaçado; se debe seleccionar y diseñar tomando en cuenta parámetros como forma, tamaño y grosor de la funda; el material del empaçado ingresa por la zona superior y se enrolla alrededor del conducto de alimentación, para formar un tubo continuo.

Son construidos de acero inoxidable y puede ser de forma circular o rectangular, como se observan en la Figura 2.6 (Iza & Medina, 2012).

Figura 2.6 Esquema de alternativas de formador



(a) Formador rectangular (IRTAGroup, n.d.) (b) Formador circular (ManuelSalazar & CristianVeloz)

SISTEMAS DE SELLADO

El sellado se efectúa por medio de presión y calor. En el sistema de niquelinas controladas o mordazas calientes, pueden existir dos tipos, descritos en la Tabla 2.2 describe los distintos tipos de sellado (Iza & Medina, 2012).

Tabla 2.2 Tipos de sellado

Tipos de sellado	Descripción
De aporte de calor continuo	En éste sistema la mordaza tiene contacto con el material en todo el proceso, la temperatura de la mordaza es controlada midiendo continuamente y conmutando la níquelina.
Sellado por impulso	En el sellado por impulso la temperatura no permanece constante en la mordaza, sino que es calentada en una porción de tiempo del ciclo de sellado.

Tipos de alternativas de sellado (ManuelSalazar & CristianVeloz)

SISTEMA DE ARRASTRE

Este va desde el sistema de sujeción y freno donde se coloca el rollo de funda, que es guiado por una serie de rodillos hacia el formador. Y atraído por un sistema de arrastre hacia el sistema de sellado longitudinal como horizontal para realizar una producción continua de empaques. Las alternativas constructivas se muestran en la Tabla 2.3. Mientras la Figura 2.7 muestra los esquemas de sistemas de arrastre.

Tabla 2.3 Tipos de sistemas de arrastre

Tipos	Descripción
Por mordazas	Está dispuesto sobre un marco guiado de arriba hacia abajo para arrastrar la funda. La apertura y el cierre de las mordazas horizontales son efectuados por la acción de un cilindro.
Por correas	La funda es arrastrada por la tracción de un sistema de correas. El avance de la lámina es exacto y veloz, pero necesita un sistema de control costoso.

Tipos de alternativas de sistema de arrastre (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Figura 2.7 Esquemas de sistemas de arrastre



(a) Sistema de arrastre por mordazas (ManuelSalazar & CristianVeloz) (b) Sistema de arrastre por correas (Moreno Zapata, 2010)

2.3 Sistema de control

Es un sistema eléctrico y electrónico capaz de obtener una salida deseada de un sistema o proceso a partir de la medición y regulación de una entrada o variable, utilizando sensores para obtener un valor de voltaje o corriente a partir de una variable física como temperatura, presión, caudal, humedad, ph, etc. Puede ser implementados con: Tarjeta de desarrollo programable, contactores y relés, o con controladores lógicos programables.

2.4 Sistemas de medición

Están formados por sensores, dispositivos diseñados para adquirir variables del medio y ser procesadas y utilizadas para realizar una acción de control específica. Para elegir el tipo de sensor se debe considerar tres aspectos: (Olvera, 2015)

- El tipo de variable a medir y las unidades físicas en que se mide por ejemplo: temperatura (°C, K), presión (Kpa, psi), posición (mm), etc.
- Protección o encapsulado: Este aspecto está relacionado con la interacción del sensor con el proceso y las condiciones a la que va hacer expuesta, e incluso a las normas de seguridad e higiene que rigen la calidad de un producto.
- La señal de salida: El tipo de señal que se produce a la variación de la variable medida esta puede ser eléctrica, mecánica, neumática, etc. Además se debe considerar las características estáticas y dinámicas del sensor.

Se consideran tres tipos de sensores: sensor de temperatura (termopar, TRD y termistores), sensor de posición (capacitivos, inductivos y magnéticos) y sensor de peso o celda de carga.

2.5 Control de calidad

Se considera al control de calidad como el proceso en el cual se verifica y se asegura ciertos estándares propios o externos en la fabricación de productos además de la fiabilidad, mantenimiento y manufactura en el proceso de manufactura.

2.5.1 Control de calidad con visión artificial

La aplicación en el control de calidad es aportar soluciones eficaces y fácilmente integrables en procesos de producción, para detectar defectos específicos en un producto (EDMANS, 2006). Para el control de calidad se utilizan los siguientes tipos de procesamiento de imagen.

Dimensionamiento: este tipo de procesamiento ubica el perímetro de la Figura, busca vértices y centros de círculos triangulando los puntos puede medir la superficie y compararla con una medida pre ordenada.

Búsqueda de patrones: Se procede a buscar características geométricas o aritméticas de la imagen con esto se puede inferir en la comparación de los parámetros establecidos de la imagen para llegar a un resultado esperado.

Comparación entre imágenes: Se compara de manera matricial una imagen con otra imagen patrón tomada como ejemplo.

Algoritmo de aprendizaje: En este caso son utilizadas redes neuronales las cuales por medio de distintos tipos de métodos de aprendizaje pueden notar las diferencias entre puntos de imágenes.

Discriminación por color: En este procedimiento se resalta la luminosidad e intensidad del color, utilizando técnicas de conversión se detecta valores específicos.

Discriminación por forma: En este tipo de procesamiento de resaltan los relieves de la Figura, haciendo evidentes los contornos de la imagen, con ello se puede realizar la comparación con una imagen patrón.

2.6 Visión Artificial en control de calidad

La aplicación de la visión artificial busca la correcta adquisición e interpretación de la información de imagen digital captada mediante cámaras basadas en matrices de sensores sensibles a la luz; la inteligencia artificial es aplicada en la industria para

realizar control de calidad, en el campo del diseño interactivo, para el reconocimiento facial, de gestos, interacción con superficies multitáctiles, etc. (García, 2010)

La visión artificial se enfoca en analizar la imagen digital; procesarla, extraer características, realizar cálculos matemáticos y geométricos para adquirir información necesaria en la toma de decisiones posteriores en un proceso de automatización, robótica, producción industrial y control de calidad. En el proceso de control de calidad mediante visión artificial intervienen los siguientes pasos:

Obtención de la imagen: Proceso realizado por la cámara para obtener una imagen en píxeles dependiendo del tamaño, resolución y tipo de cámara. Digitalización de la imagen: En este proceso se transforma la imagen a una forma matricial en el cual se puede realizar filtros y suavizados a las imágenes. Procesamiento de la imagen: El sistema de análisis de imagen, codifica y procesa cada elemento obtenido. Entre los roles más importantes de la visión artificial en la industria se encuentran: añadir seguridad, dar mayor flexibilidad, abaratar costos y disminuir riesgos humanos.

2.6.1 Filtros digitales

- **Filtro pasa bajos**

También conocido como "suavizado", se emplea para eliminar el ruido de alta frecuencia espacial de una imagen digital. El ruido es a menudo introducido durante el proceso de conversión de analógico a digital.

- **Filtro pasa altos**

Un filtro de paso alto tiende a retener la información de alta frecuencia dentro de una imagen mientras se reduce la información de baja frecuencia. Está diseñado para aumentar el brillo del píxel central en relación con los píxeles vecinos.

- **Filtro mediano**

Reemplazan cada valor de píxel por la mediana de sus vecinos, es decir, el valor tal que el 50% de los valores en el barrio están por encima y el 50% están por debajo. Este método es utilizado para preservar bordes.

- **Filtro direccional**

Un filtro direccional forma la base para algunos métodos de detección de borde. Un borde dentro de una imagen es visible cuando ocurre un cambio grande (un gradiente pronunciado) entre valores de píxeles adyacentes. Este cambio de valores se mide por las primeras derivadas (pendientes) de una imagen.

- **Filtro laplaciano**

Un filtro laplaciano se puede utilizar para calcular las segundas derivadas de una imagen, que miden la velocidad a la cual cambian las primeras derivadas. Esto ayuda a determinar si un cambio en los valores de píxeles adyacentes es un borde o una progresión continua.

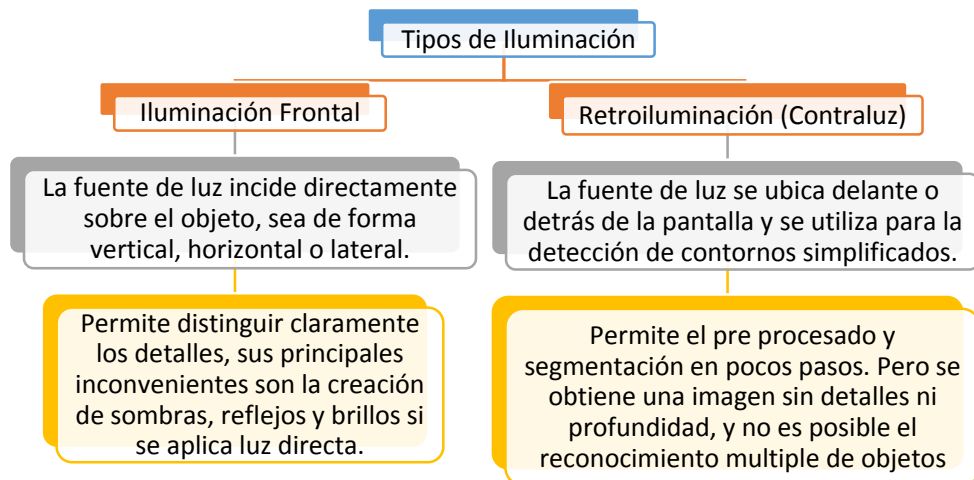
- **Filtros de modo**

En el filtro de modo cada valor de píxel es reemplazado por su vecino más común. Se utiliza para procedimientos de clasificación donde cada píxel corresponde a un objeto que se debe colocar en una clase.

2.7 Sistemas de Iluminación

En la búsqueda de un entorno debidamente controlado, la iluminación es un factor muy importante, para reducir el ruido del ambiente y capturar una imagen de buena calidad. Los tipos de iluminación se muestran en la Figura 2.10 (EDMANS, 2006).

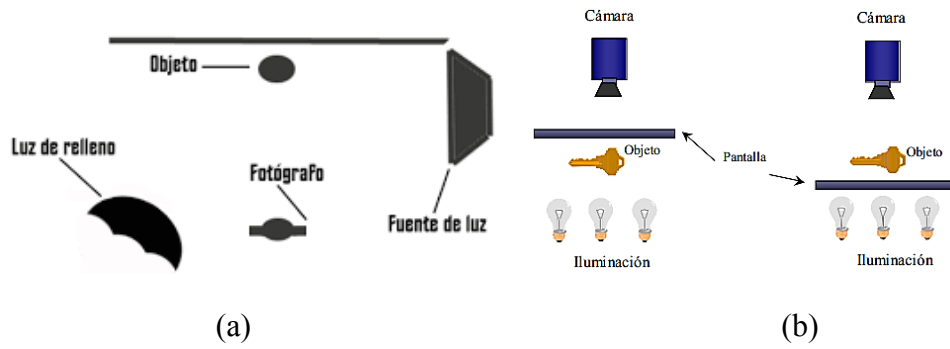
Figura 2.8 Clasificación de los sistemas de iluminación



Tipos de Iluminación (ManuelSalazar & CristianVeloz)

En la Figura 2.11 se muestran los tipos de iluminación mencionados anteriormente.

Figura 2.9 Esquema iluminación lateral



(a) Iluminación lateral (Tiposde, n.d.) (b) Esquema de contraluz (retroiluminación) (EDMANS, 2006)

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA MÁQUINA DE CONTROL DE CALIDAD Y EMPACADO

3.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

3.1.1 Empacadora

La necesidad de empacar el producto no se ha visto cubierta por otras soluciones de máquinas empacadoras por la cantidad, forma y dimensiones de las cucharas, por lo cual el desarrollo del proyecto basa su diseño en los requerimientos proporcionados por la empresa que se observan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Requerimientos para la construcción de la máquina

Requerimientos	Descripción
Distribución de la máquina	Por la disposición y cantidad del producto a empacar debe ser construida de forma vertical.
Tipo de energía neumática	Dada la facilidad de las instalaciones se requiere el uso de actuadores neumáticos.
Empaque automático	Debe realizarse sin la intervención de un operario.
Dosificación por pesaje	La dosificación debe ser pesada en gramos.
Tamaño de empaque ajustable	Debe constar de un mecanismo que permita la modificación del tamaño de la funda.
Sellado con buena hermeticidad	Debe tener buena presión y temperatura de sello, estos parámetros dependen del material de empaque.

Requerimientos de construcción de la empacadora (Manuel Salazar & Cristian Veloz)

El empaque debe ser proporcional al producto empacado máximo de 14 cm de largo y 10 cm de ancho, debe tener tres sellos en material plástico de polipropileno, sus presentaciones vienen en distintos pesos de producto. El sistema requiere el control de dos variables fundamentales:

- La temperatura de sello.
- El pesaje del producto.

Bajo el análisis del material de empaque se requiere que los sensores deban satisfacer los requerimientos de la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Requerimientos para sensores

Variable	Rango de medida	Resolución	Detalles
Temperatura	20 [°C] a 250 [°C]	1 [°C]	Encapsulado roscable
Peso	0 [g] a 100 [g]	1 [g]	No específico
Posición	5 [mm] a 10 [mm]	1 / 0	Diseñado para las ranuras de los cilindros.

Requerimientos para la elección de sensores (Manuel Salazar & Cristian Veloz)

Los actuadores de posición se seleccionan de acuerdo al peso de la estructura y los recorridos de los sistemas. Y los actuadores de temperatura se seleccionan de acuerdo a la temperatura máxima deseada en el sistema de sellado.

3.1.2 Control de calidad

Para el control de calidad se establecieron los siguientes requerimientos:

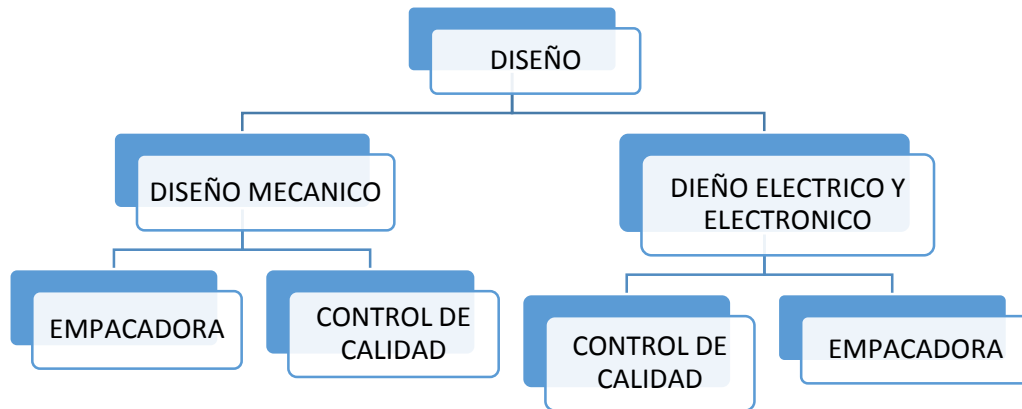
- Se deben detectar fallos en una matriz o ramal de 16 cucharas, donde su error de detección debe ser menor al 5 %.
- El principal factor de detección es de cucharas incompletas, es decir cucharas con menos del 80 % de su formación.
- Se debe tomar una decisión de aprobación o descarte sobre una banda transportadora, el sistema deberá ser de tipo modular, debido a que el molde se montan sobre distintas máquinas inyectoras.

Se requiere detectar la presencia de la matriz de cucharas dentro del canal de la banda transportadora, la cual tiene un ancho de 60 cm, y se desea una resolución de 1/0. Para el control de la posición de la banda se necesita un circuito de potencia trifásico. Y el actuador de descarte se elige de acuerdo al peso del sistema mecánico diseñado.

3.2 Diseño del sistema

En base a la solución planteada la máquina está estructurada como se muestra en la Figura 3.1.

Figura 3.1 Diseño estructural de la máquina



Estructura de diseño de la máquina empacadora y control de calidad (ManuelSalazar & CristianVeloz)

El sistema mecánico en la empacadora debe realizar el empaque del producto, contemplando la dispensación del producto; la formación, el sello y corte de la funda plástica. Por lo cual debe disponer de las siguientes partes:

- Sistema de pesado.
- Sistema formador de funda
- Sistema de arrastre de la funda.
- Sistema de sellado.
- Sistema de Corte

El control de calidad se considera mecánicamente como un módulo con las siguientes partes: Sistema de iluminación y Sistema de descarte y aprobación.

El sistema eléctrico y electrónico en está formado por sensores, actuadores y controladores integrados para controlar al sistema mecánico y neumático para realizar el proceso continuo del empaque del producto. En el caso de la máquina empacadora controlan el posicionamiento de los actuadores neumáticos, el peso y temperatura para realizar el empaque. Mientras que en el control de calidad detecta ramales defectuosos y acciona un separador que rechaza el producto.

3.1.3 DISEÑO MECÁNICO

Empacadora (selladora)

El producto inyectado no tiene dimensiones muy grandes, por lo que se puede obtener un alto rendimiento de empaque, además la cantidad de cucharas a empaquetar es considerable; por éstas razones se diseña una empacadora tipo vertical.

La máquina cuenta con un sistema de pesaje en gramos, para obtener una alta velocidad de sellado y por el tipo de producto a empaquetar se opta por un sistema de sellado por impulso, ideal para fundas plásticas de polipropileno Biorentado. Las dimensiones de la máquina son consideradas por el largo del formador y el espacio de ubicación de la máquina. La empacadora se diseña de acuerdo al esquema de la Figura 3.2.

Figura 3.2 Diagrama de bloques del diseño mecánico

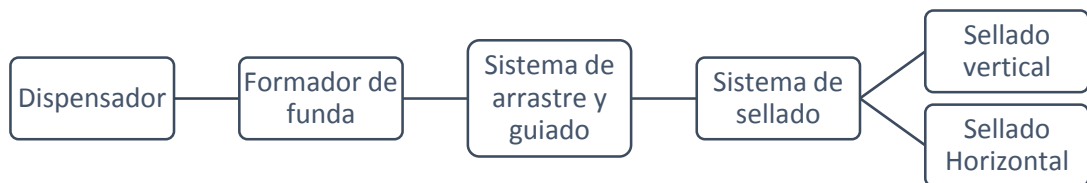
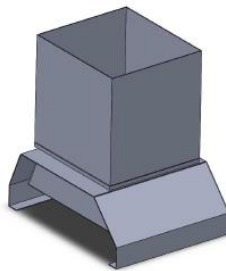


Diagrama de bloques del diseño mecánico (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Dispensador

Es diseñado como depósito y canalización de productos, construido en tol galvanizado, para un volumen específico de 6000 cm^3 , y es montado sobre un chasis que permite su transporte a una base fija tiene acoplada una balanza donde se produce el pesaje y posteriormente se realiza la descarga con un sistema de empuje. Como se muestra en la Figura 3.3.

Figura 3.3 Esquema de dispensador

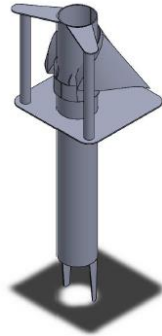


Diseño de dispensador con balanza (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Formador de funda

Se implementa un formador circular en acero inoxidable; el material del empacado ingresa por la zona superior y se enrolla alrededor del conducto de alimentación, para formar un tubo continuo con su traslape que le permite el sellado longitudinal. Tiene un diámetro de 10,5 cm y longitud de 120 cm, como se muestra en la Figura 3.4.

Figura 3.4 Diseño de formador de funda



Diseño de formador circular (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Sistema de sellado

El polipropileno biodegradable es de rápida fundición, por lo que se implementa un sistema de sellado por impulso, conformado por las mordazas con sus sistemas de cierre e impulsadas por cilindros neumáticos.

El sellado horizontal consta de dos mordazas, una sujeta a una niquelina controlada por un sistema de control de temperatura la cual permite realizar el sello. El sellado vertical, también conocido como sellado longitudinal, está compuesta por una mordaza controlada por un sistema de control de temperatura, y guiada con un sistema de empuje.

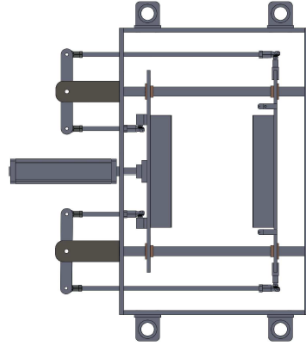
Sistema de arrastre

Esta va desde el sistema de sujeción donde se coloca el rollo de funda, el material de empaque es guiado por una serie de rodillos hacia el formador tensando el plástico. Es atraído por el sistema de arrastre hacia el sistema de sellado longitudinal como horizontal para realizar una producción continua de empaques. Está construido en hierro, y acero; este sistema cumple con tres funciones: el de sellado horizontal, arrastre de la funda y corte.

Sistema de corte

Se utiliza un sistema eléctrico, por medio de un hilo de tungsteno sujeto entre las mordazas de arrastre con un sistema abatible impulsado por un cilindro de carrera. Se muestra en la Figura 3.5 el diseño del sistema de arrastre.

Figura 3.5 Diseño del sistema de arrastre



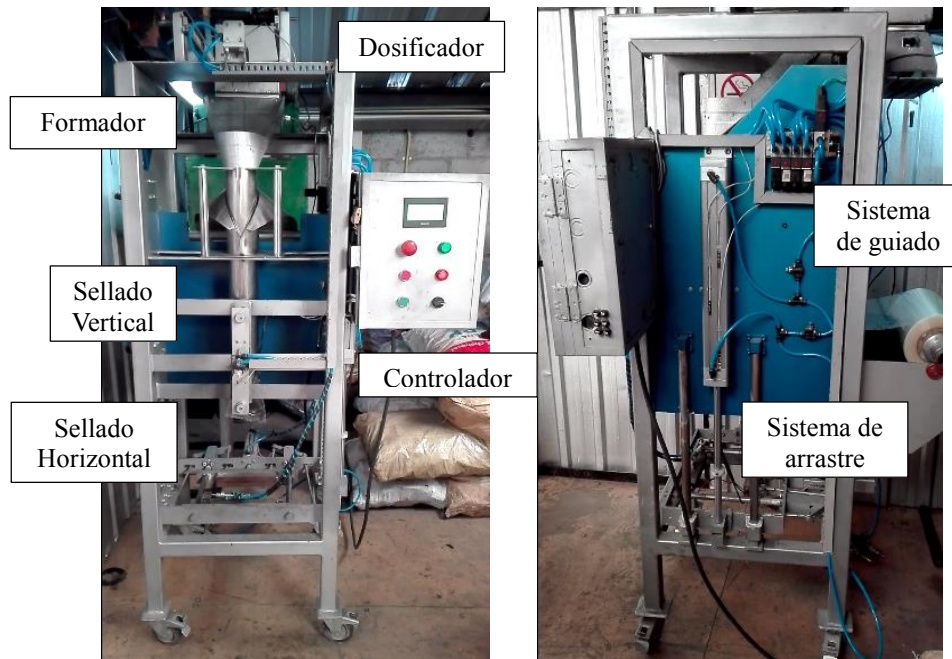
Diseño del sistema de arrastre, sellado horizontal con un solo pistón neumático y sistema de corte
(ManuelSalazar & CristianVeloz)

Para realizar el sellado horizontal, el pistón neumático se extiende, empujando a una de las mordazas y atrayendo a la opuesta, mediante el sistema de vaivén y guiado por las columnas paralelas. En el corte las bisagras paralelas a la mordaza horizontal son abatidas con un cilindro neumático. El sistema de arrastre funciona conjuntamente con el sellado horizontal, las mordazas son cerradas en la parte superior de la funda y el marco es empujado por dos cilindros laterales, y guiados por 4 rodamientos lineales, para realizar un nuevo sello, el marco se desplaza hacia arriba y así continuamente.

La máquina se encuentra constituida como una estructura móvil como se observa en la Figura 3.7, construida en su mayoría de hierro, con un peso aproximado de 190 kg, sus dimensiones son 190 cm de alto x 70 cm de ancho x 90 cm de largo, sin tomar en cuenta la banda transportadora, la cual es de uso común para varias máquinas.

Para el diseño se utilizó SolidWorks 2017 y para su maquinado en CNC fresas y CNC torno, el software MasterCAM 2017. La implementación de la máquina empaedora se muestra en la Figura 3.6.

Figura 3.6 Implementación de máquina empacadora



Máquina empacadora, vista frontal y lateral (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Módulo de control de calidad

El sistema de control de calidad es adaptado al sistema de inyección de plástico de la empresa, como las dimensiones de la banda transportadora ya están preestablecidas, se realiza una estructura adaptable a dichas medidas. Los elementos que conforman el sistema de visión artificial se establecen de acuerdo a la Figura 3.7.

Figura 3.7 Distribución mecánica para el control de calidad.

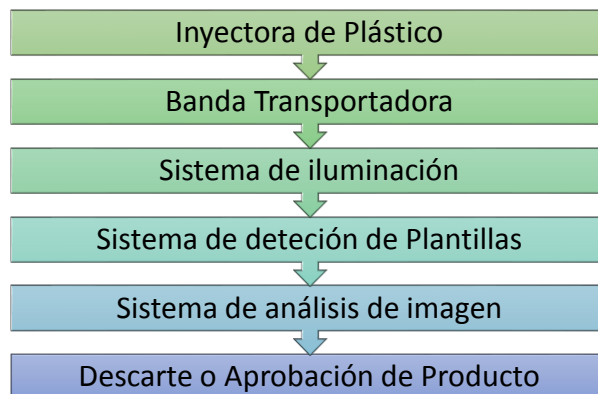


Diagrama de bloques de la distribución mecánica para el control de calidad. (ManuelSalazar & CristianVeloz)

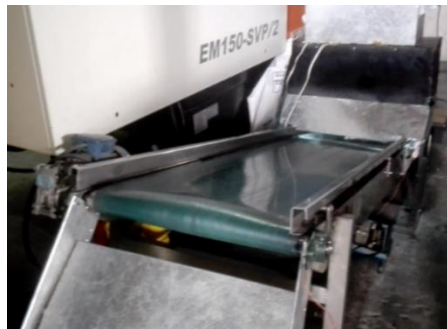
Inyectora de plástico

Es una máquina diseñada para formar piezas plásticas en un molde diseñado específicamente. Se realizará un proceso paralelo para el control de calidad. Evitando la intervención dentro de su sistema.

Banda transportadora

Es un sistema de transporte continuo constituido por una cinta o banda la cual es arrastrada por la fricción de dos tambores y accionada por un motor; el producto que sale desde la inyectora la abastece hasta los diferentes. Esta banda tiene un recorrido de aproximado de dos metros. Como se observa en la Figura 3.8.

Figura 3.8 Banda transportadora



Implementación del módulo sobre la banda transportadora (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Sistema de Iluminación

Se optó por una iluminación lateral-cenital utilizando luz led para evitar que el parpadeo de las luces incandescentes ya que esto afecta directamente a la cámara en el momento de capturar la imagen. Su función es de adaptar la imagen a una exposición de luz continua. Como se observa en la Figura 3.9.

Figura 3.9 Sistema de iluminación



Iluminación tipo cenital – lateral (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Sistema de detección de Plantillas

Se requiere detectar la plantilla de cuchara en el momento preciso en el que se encuentren en la parte inferior de la cámara centrada para conseguir la mejor imagen sin reflejos y que incluya toda la matriz.

Sistema de análisis de imagen

El sistema de análisis de imagen se puede observar en la Figura 3.10.

Figura 3.10 Módulo de análisis de imagen



Sistema de análisis de imagen modular (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Se trata de un módulo hecho en su mayoría de tol galvanizado de 1 mm, y columnas de hierro, sobre él se encuentra el sistema de control eléctrico y electrónico, el procesador y el sistema de iluminación.

Descarte o Aprobación de Producto

El sistema de descarte/aprobación está compuesto por un servo motor, el cuál utiliza una señal eléctrica de control por ancho de pulso (PWM) para entregar una señal de rotación angular de forma mecánica, el servo motor tiene una capacidad de 12kg y es el encargado de mover una paleta metálica posicionada al final de la banda transportadora. Como se observa en la Figura 3.11.

Figura 3.11 Sistema de descarte y aprobación de producto



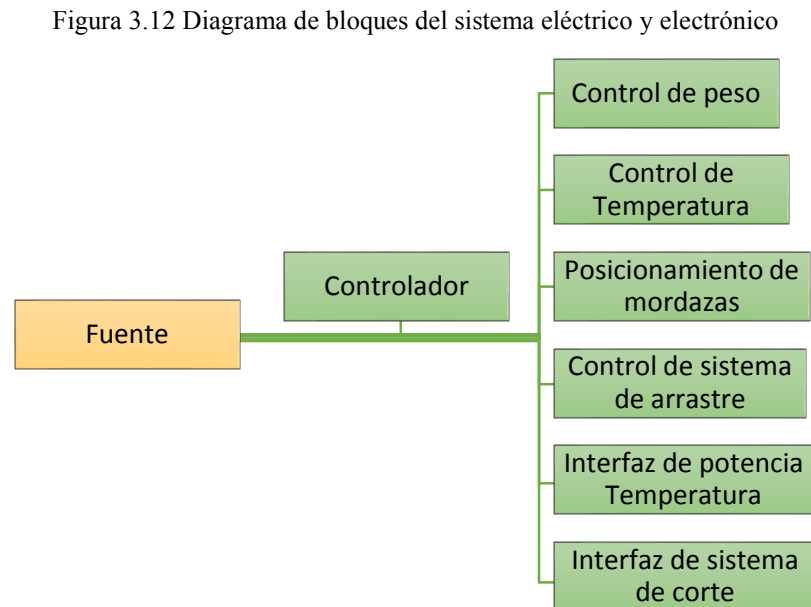
Posición de descarte de producto (ManuelSalazar & CristianVeloz)

3.3 DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

El control del sistema tiene dos partes: el proceso continuo de empaçado y el proceso de control de calidad, el proceso de empaçado requiere de un controlador robusto, dedicado a un ambiente industrial, no requiere de altas prestaciones de procesamiento, pero se debe tomar en cuenta que es necesario medir variables de temperatura, posición y cargo o peso. Mientras que el proceso de control de calidad demanda un alto procesamiento, debe ser capaz de realizar tareas complejas, tener fácil acceso al usuario y se acoplarán periféricos con mayor demanda de manejo de datos como por ejemplo una cámara. Para la máquina selladora (empaçadora) se describen los siguientes elementos:

Sellado o empaçado

El control de la máquina empaçadora se encargará de integrar el control de pesaje, de temperatura de sellado, de posicionamiento de mordazas y el control de sistema de arrastre y corte, comandados por un controlador. La estructura de diseño se muestra en la Figura 3.12.



Distribución de sistema eléctrico y electrónico de empaçadora (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Se considera un trabajo de operación a temperaturas ambientales moderadas de 10 a 40 C, una moderada contaminación por micro residuos de plástico y tiempo de trabajo 24/7.

Control de peso

Los datos de peso pueden ser obtenidos mediante un controlador electrónico, utilizando un convertor análogo digital, o por un puerto de comunicación. Para detectar el peso a empacar se eligió una celda de carga de 3 – 30 kg de alta precisión y el módulo de acondicionamiento o sensor de célula de carga ADC de 24 bits HX711. Las especificaciones de la celda de carga se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.3 Especificaciones de la celda de carga (LogicBus, n.d.)

Célula de carga MT1022		
Tipo de sensor		Célula de carga de punto único
Carga nominal [kg]		3, 5, 7, 10, 15, 20, 30
Sensibilidad nominal [mV/V]		2 ± 0.2
Salida a carga nula		≤ 10
Tensión de funcionamiento [V]		5 – 20 V DC
Resistencia [Ω]	Excitación	410 ± 10
	Salida	350 ± 4
Material		Aluminio
Protección		IP 67
Máximo tamaño del plato [cm]		35 x 35

Características de la celda de carga (ManuelSalazar & CristianVeloz)

HX711 es un convertidor analógico de precisión (ADC) de 24 bits diseñado para la construcción de básculas y aplicaciones de control industrial para interactuar directamente con un puente de Wheatstone externo o en su defecto a las salidas de la celda de carga. El Figura 3.13 muestra el diagrama de conexión interna del convertor.

Figura 3.13 Diagrama de bloques del convertidor analógico HX711

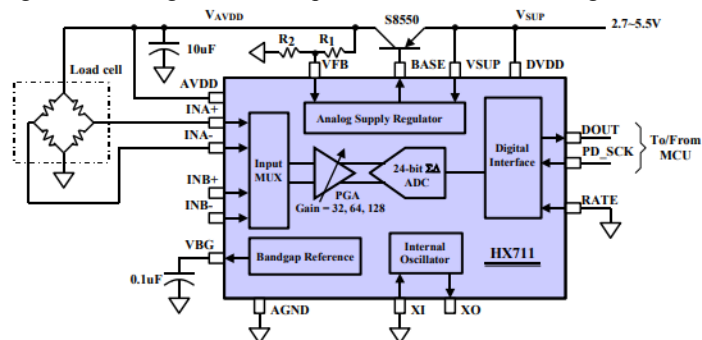


Diagrama electrónico del convertidor HX711 (AVIASEMICONDUCTOR, n.d.)

El convertidor HX711 también elimina el ruido de variaciones de voltaje provocado por la fuente, su señal de salida es tipo serial síncrona.

Tabla 3.4 Especificaciones del módulo HX711 (AVIASEMICONDUCTOR, n.d.)

HX711	
Tipo de sensor	Convertidor ADC 24 bits para celdas de carga
Rango de escala diferencial [V]	$\pm 0,5$
Rango de salida (datos) [Hz]	10 – 80
Tipo de datos de salida	Min 800000 Max 7FFFFFF
ConFiguración de tiempo de salida	50 [ms]

Características del convertidor ADC (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Además será necesario un conversor de TTL a serial para la comunicación serial rs232 con el PLC.

Figura 3.14 Conversor TTL a RS232



Diagrama y circuito del conversor TTL a serial RS232 (Carletti, n.d.)

Dicho conversor está basado en el circuito integrado MAX232, dispositivo encargado de generar los voltajes necesarios para el estándar RS232 (+12V y -12V) a partir de valores de voltaje de tecnología TTL (5V).

Control de temperatura para sellado

Es un sistema de control de lazo cerrado de temperatura, cuando las niquelinas alcanzan una temperatura determinada, o seteada, se desactiva el paso de la corriente a la niquelina, este control se realiza para la mordaza vertical y la horizontal. Para medir la temperatura de las niquelinas se utiliza un sensor tipo J que cumple con los requerimientos mencionados. La Tabla 3.6 muestra las características del sensor.

Tabla 3.6 Características de termopar tipo J (JMIndustrial, n.d.)

JMI -106- J	
Tipo de sensor	Termopar tipo J
Tipo de conexión	Sencillo 2 hilos
Tipo de unión	aterrizada
Encapsulado	De tipo tornillo ¼ Ø x ½"
Material de encapsulado	Acero inoxidable 304
Rango de aplicación	0 a 760 C
Límite de error	± 1.0 C

Características del sensor tipo J (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Interfaz de potencia de temperatura y de sistema de corte

Se ha realizado un circuito de potencia para el control de niquelinas y el accionamiento del sistema de corte, para ello se toma en cuenta los requisitos de potencia:

Tabla 3.7 Características de la carga de niquelinas. (ManuelSalazar & CristianVeloz)

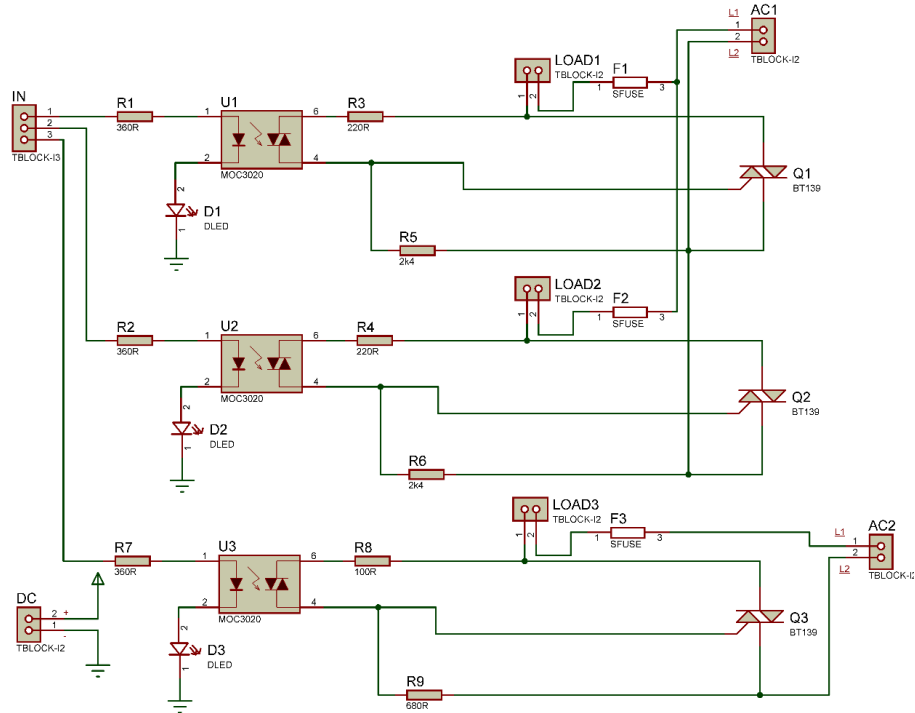
Característica	Detalle
Potencia nominal	100 W
Corriente de consumo	0,5 A
Voltaje nominal	220 V
Tipo de carga	Resistiva

Requerimientos de carga (ManuelSalazar & CristianVeloz)

El sistema de corte se realiza con un hilo metálico y funciona a 12 V AC con una corriente máxima de 0,4 A.

El circuito de potencia de la Figura 3.15 tiene una capacidad de carga de hasta 3500 W, permite una conmutación de alta frecuencia y consta de un aislamiento por medio de opto acoplador. El circuito funciona con una fuente de 24 VDC en la entrada, acondicionando una carga de 220 VAC a la salida.

Figura 3.15 Diseño electrónico para control de potencia



Diseño electrónico para control de potencia de niquelinas y sistema de corte (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Las resistencias R1, R2 y R7 limitan la corriente que circula por los leds D1, D2 a 20 [mA] y de los infrarrojos de los opto acopladores U1 y U2 a 50 [mA]; se calculan utilizando la ecuación (3.1).

$$R_1 = \frac{V_{in}}{I_{D1} + I_{D2}} \quad EC(3.1)$$

$$R_1 = 342,85 [\Omega] \sim 360 [\Omega]$$

Las resistencias R3, R4, R5 Y R6 se calculan de acuerdo a la carga del circuito, sus características se encuentran en la Tabla 9, también es necesario conocer las características del TRIAC (BT139) y del opto acoplador (MOC3020). Las resistencias R3 y R4 aseguran que la tensión de compuerta (V_G) necesaria para la conmutación solo se active con el opto acoplador. La corriente de conmutación debe ser mayor a 0,1 mA como lo indica el fabricante; se ha limitado en este caso a 0,3 mA. Para efectuar el cálculo se utiliza la ecuación (3.2).

$$R_7 = \frac{V_{GT}}{I_{R7}} \quad \text{EC(3.2)}$$

$$R_7 = \frac{0,7 [V]}{0,3 \times 10^{-3} [A]} = 2,333 [\Omega] \sim 2,4 [K\Omega]$$

Las resistencias R5 y R6 aseguran que el Triac se dispare con un determinado V_T , en nuestro caso limitaremos a 25 V; y se determinan conociendo las tensiones de la malla (V_T , V_{MOC1} y V_G) y las corrientes de compuerta y la intensidad fijada anteriormente. Para hallar el valor de resistencia se utiliza la ecuación (3.3).

$$R_6 = \frac{V_{T1} - V_{MOC1} - V_G}{I_{R7} + I_G} \quad \text{EC(3.3)}$$

$$R_6 = \frac{25 - 24 - 0,7 [V]}{(10 + 0,3) \times 10^{-3} [A]} = 230,1 [\Omega] \sim 220 [\Omega]$$

Para hallar R8 y R9 se utilizan las ecuaciones (3.2) y (3.3) con un V_T de 5 V y limitando la corriente de conmutación a 1mA. $R_8 = 680 \Omega$ y $R_9 = 100 \Omega$.

Posicionado de mordazas

Para que la funda tenga las dimensiones adecuadas, se necesita de un límite de extensión de los cilindros conectados al sistema de corte y sellado horizontal, sensores tipo reed, detectarán la posición del vástago del cilindro para realizar el corte de la funda.

Sensor de posición

Se elige sensores de proximidad tipo magnéticos, los cilindros neumáticos tienen en su carcasa un canal diseñado para dichos sensores, esto facilita el posicionamiento y delimitación de la extensión máxima deseada del cilindro, son de fácil reemplazo y su costo es mucho menor a la de cualquier otro sensor de proximidad, además constan de un indicador luminoso que facilita su ubicación, tienen una señal de salida tipo digital, y son resistentes al calor y a la corrosión.

Tabla 3.8 Especificaciones del sensor de proximidad (FESTO, n.d.)

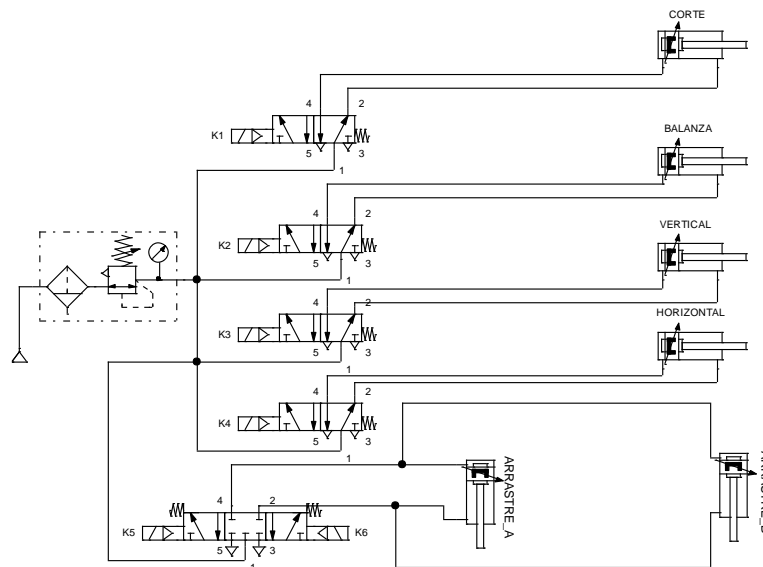
Sensor de proximidad FESTO SMT -8M, PS, para ranura en T	
Tipo de sensor	Sensor de proximidad magneto resistivo
Salida de conexión / conmutación	PNP normalmente abierto, trifilar
Conexión eléctrica	K, Cable de 2,5 m
Indicador de estado de conmutación	LED amarillo
Tensión de funcionamiento	24 V DC
Tiempo de conexión [ms]	≤ 1
Tiempo de desconexión [ms]	≤ 3 ... 5
Frecuencia de conmutación [Hz]	MAX 100

Características del sensor de proximidad (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Control de sistema de arrastre

La distribución del sistema de electroválvulas se muestra en la Figura 3.19

Figura 3.16 Sistema neumático de la máquina selladora



Sistema neumático de la máquina selladora (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Para realizarse el arrastre de la funda se utiliza un sistema neumático, donde es necesario el control de extensión del vástago de los cilindros de arrastre, se han utilizado dos cilindros por el peso de la estructura del sistema de sellado horizontal, para ello se utilizó una electroválvula 5/3, de esta manera se puede controlar la altura

de la funda. K5 comanda la elevación del sistema de arrastre y K6 el descenso de dicho sistema. Para realizar los procesos de corte, retracción de dispensador, sellado vertical y sellado horizontal se utilizan electroválvulas de 5/2, por su acción de simple efecto, K1 realiza el corte, K2 retrae el dispensador una vez pesado el valor seteado, K2 acciona el sistema de sellado vertical y K4 comanda el sellado horizontal. Los cilindros que se utilizan son normalizados.

Controlador

Con la elección previa de sensores y actuadores es necesario: mínimo 8 entradas digitales para sensores de posición, 2 entradas análogas para el sistema de calentamiento de mordazas, y una para el sistema de pesaje. Un puerto de comunicación serial RS232 para la comunicación con la pantalla, un módulo de comunicación serial para el convertidor HX711 y 12 salidas digitales para los actuadores neumáticos y para el control del circuito de potencia. Se escogió el PLC Panasonic AFPX-C30PD, el cual cumple con los requerimientos del sistema, se detalla sus características en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Especificaciones de las entradas para PLC AFPX-30PD

Características		Detalles
Alimentación / Tensión Nominal		24 V DC
Rango de tensión de trabajo		21,6 – 26,4 V DC
Número de entradas		12 Digitales
Comunicación		RS232 periférico pantalla / disponible expansión para realizar otra comunicación
Consumo de corriente		8,0 mA
Tipo de transistor		PNP
Min. Voltaje ON		19,2 V DC
Min. Corriente ON		6 mA
Min. Voltaje ON		2,4 V DC
Min. Corriente ON		1,3 mA
Impedancia de entrada		3 kΩ
Tiempo de Respuesta IN	FALSE -> TRUE	≤ 135 uS: entrada normal ≤ 5 uS: entrada contador de alta velocidad
	TRUE -> FALSE	≤ 135 uS: entrada normal ≤ 50 uS: entrada contador de alta velocidad

Características del controlador (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Tabla 3.10 Especificaciones de las salidas para PLC AFPX-30PD

Características		Detalles
Tensión Nominal de carga		24 V DC
Rango de la tensión de carga		21,6 – 26,4 V DC
Número de salidas		16
Max. Corriente de carga		0,5 A
Corriente de fuga en OFF		≤ 1 uA
Caía de tensión en estado de ON		≤ 0,5 V DC
Tipo de transistor		PNP
Tipo de salida		Optoacoplador
Tiempo de Respuesta IN	FALSE -> TRUE	Y0-Y3: ≤ 2 uS: Corriente carga ≥ 15 mA Y4-Y7: ≤ 20 uS: Corriente carga ≥ 15 mA
	TRUE -> FALSE	Y0-Y3: ≤ 8 uS: Corriente carga ≥ 15 mA Y4-Y7: ≤ 30 uS: Corriente carga ≥ 15 mA
Tipo de protección		Diodo Zener

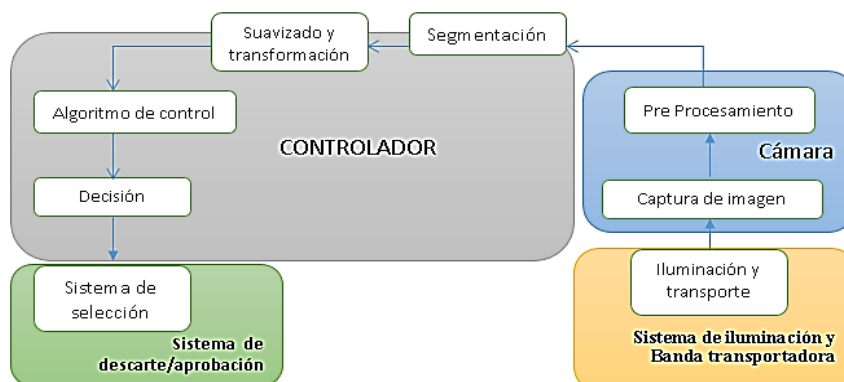
Características del controlador (ManuelSalazar & CristianVeloz)

El PLC AFPX-30PD se cumple con los requisitos del número de entradas y salidas, además permite expansiones para comunicación, entradas análogas, etc.

Control de calidad

El sistema está conformado por cuatro bloques, el sistema de iluminación y banda transportadora encargada de posicionar la matriz y acondicionarla a una incidencia de luz constante, la cámara, el controlador en donde se procesa la imagen y en base a un algoritmo toma una decisión de descarte o aprobación y el sistema de selección, que transforma una señal eléctrica en el movimiento de una paleta. El control de calidad basa la estructura de diseño en la Figura 3.16.

Figura 3.17 Distribución del sistema eléctrico y electrónico de control de calidad

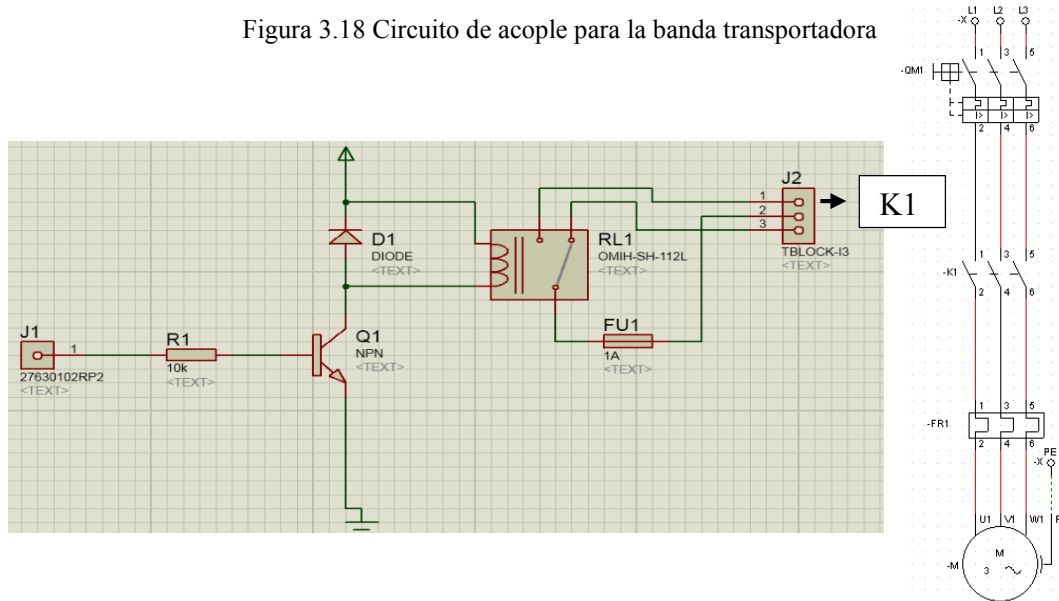


Distribución del sistema eléctrico y electrónico de control de calidad (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Sistema de iluminación y transporte

Se eligió un sistema de iluminación tipo cenital lateral para obtener la mayoría de detalles de las cucharas y resalten detalles del contorno. Para el control del movimiento de la banda transportadora se utiliza un circuito de potencia, el cual posee un transistor en corte y saturación para activar un relé directamente conectado a un contactor para su control. Como se observa en la Figura 3.17.

Figura 3.18 Circuito de acople para la banda transportadora



Circuito de potencia del control de la banda transportadora (ManuelSalazar & CristianVeloz)

La resistencia R_1 controla la conmutación del transistor NPN Q_1 y es calculado con la ecuación (3.4).

$$R_1 = \frac{V_{activación} - V_{Base-Emisor}}{I_{colector}} * \beta_{min} \quad (3.4)$$

$$R_1 = \frac{3,5 [V] - 0,94 [V]}{10^{-3} [A]} * 40 = 10240 [\Omega] \sim 10 [K\Omega]$$

El diodo D_1 en paralelo y en posición inversa protege el elemento de conmutación de la sobretensión causada por el almacenaje de corriente cuando ésta conmuta. El circuito se basa en los requerimientos del motor que se va a controlar, el contactor marca Siemens 3RT1026-1AK60 cumple con los requerimientos del motor trifásico del transportador.

Tabla 3.11 Características del contactor (Siemens, n.d.)

Características	Detalles
Tensión Nominal de bobina	110 V AC
Rango de la tensión de carga	300-400 V AC
Max. Corriente de carga	11 KW
Grado de Protección	IP20
Corriente de carga	40 A por fase

Características del contactor (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Cámara

La obtención de imagen se realiza mediante una WebCam Genius iSlim 310k, posee una resolución de tipo High quality VGA con enfoque ajustable. Se utiliza un sensor de presencia para la detección del ramal, el sensor de barrera fotoeléctrico E-931-S3SRR cumple con los requerimientos, en la Tabla 3.12 se observan sus características.

Tabla 3.12 Características del sensor de presencia (ENFORCER, n.d.)

Características	Detalles
Tipo de sensor	Sensor retro - reflectivo de 1 haz de luz
Rango de tensión de trabajo	12-24 V DC
Tipo de encapsulado	Carcaza plástica sellada categoría IP66
Tipo de sensibilidad	Sensibilidad ajustable
Rango de medición	11 m.

Características de la cámara (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Controlador

Se requiere procesar una cantidad considerable de datos, la viabilidad de ordenadores de bajo costo como lo es la Raspberry PI 3 cumple con los requerimientos para esta labor, las características de este ordenador reducido se muestran en la Tabla 3.13

Tabla 3.13 Características de controlador Raspberry Pi 3 (3, n.d.)

Características	Detalles
Alimentación / Tensión Nominal	5 V DC
Número de entradas y salidas	40 GPIO
Comunicación	RS232, I2C, USB
Consumo de corriente	1.2 A
Velocidad de Procesamiento	1.2 GHz
Memoria RAN	1Gb
Comunicación inalámbrica	BCM43438 wireless LAN

Características del controlador (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Sistema de Descarte o Aprobación

El sistema de descarte o aprobación está compuesto por un servo motor, el cuál utiliza una señal eléctrica de control por ancho de pulso (PWM) para entregar una señal de rotación angular de forma mecánica, el servo motor tiene una capacidad de 25kg y es el encargado de mover una paleta metálica posicionada al final de la banda transportadora.

Tabla 3.14 Características Servo Motor HK15338 (HobbyKing, n.d.)

Características	Detalles
Alimentación / Tensión Nominal	5 V DC
Rango de tensión de trabajo	4.6 –5.5 V DC
Corriente nominal	800 mA
Velocidad de Trabajo	60 ⁰ /0.19s
Tipo de control	PWM

Características del actuador (ManuelSalazar & CristianVeloz)

CAPÍTULO IV

PROGRAMACIÓN

Se describe por medio de diagramas de flujo el comportamiento de las máquinas: selladora o empacadora y de la máquina de control de calidad.

Como se mencionó anteriormente el control de la máquina empacadora se basa en el controlador lógico programable Panasonic AFPX-30PD y el módulo de control de calidad en el microcomputador Raspberry Pi 3. La máquina empacadora posee una interfaz gráfica local, una pantalla monocromática Panasonic, donde se puede monitorizar las variables de la máquina y se ingresan los parámetros de funcionamiento de la máquina. Mientras que la Raspberry utiliza una red hospedada local para comunicarse por un computador por medio de VNC, así es posible visualizar el estado del programa y de su funcionamiento.

Para los programas de las máquinas se utilizaron: el software de programación FPWIN 7 para el PLC, para el HMI se utilizó GTWIN_V3 y el código de la visión artificial fue escrito en Python 3.4 con OpenCV 3.

4.1 Máquina empacadora (selladora)

Para el proceso de empaque la máquina debe realizar las siguientes tareas:

- Controlar el posicionamiento de los actuadores neumáticos, mediante electroválvulas.
- Controlar la temperatura de las mordazas vertical y horizontal.
- Medir el peso del empaque.
- Controlar el tiempo de corte de funda.
- Recibir los datos codificados de la balanza por medio de comunicación serial.

Además consta de niveles de seguridad de usuario, el operador puede acceder al monitoreo mientras que un usuario master puede modificar los parámetros pre seteados. La Figura 4.1 describe el funcionamiento del programa de control de la máquina empacadora.

Figura 4.1 Diagrama de flujo de control de selladora de la preparación de la máquina.

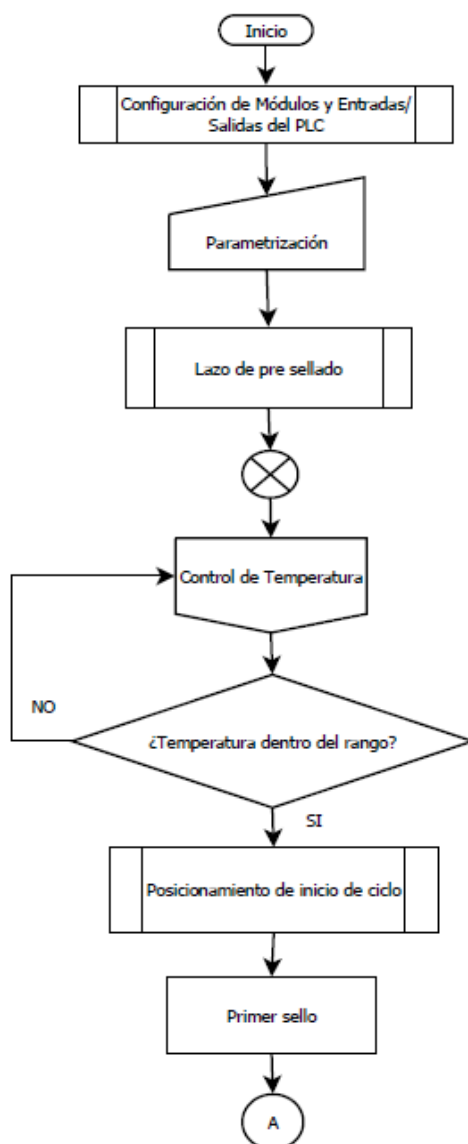


Diagrama de flujo de inicio de programa de empacadora (ManuelSalazar & CristianVeloz)

A continuación se detallan los bloques del diagrama de flujo mostrados anteriormente:

Configuración de Módulos y Entradas/Salidas del PLC

Se configura el cassette de comunicación serial AFPX-COM1 para comunicación con la balanza electrónica a una velocidad de 9600 [bps]. Además se configura el espacio de memoria para la expansión para termopar AFP7TC2. También se declaran variables (Contadores, temporizadores, variables para datos de entradas y salidas, variables auxiliares), por último se declaran constantes de temperatura, peso y tiempos predefinidos.

Parametrización

Por medio de la interfaz gráfica, la máquina se encuentra a la espera de valores de funcionamiento de temperatura, tolerancia máxima y mínima en C°, para las mordazas vertical y horizontal; peso de empaque y su tolerancia en (g) y el número de empaques a realizar.

Lazo de pre sellado

Posicionamiento de mordazas en modo de seguridad, las mordazas horizontales se cierran y se retrae la mordaza vertical.

Control de temperatura

El PLC envía una señal de salida a la tarjeta de control de potencia para la activación o desactivación de las niquelinas. Se observa en la Figura 4.2 su diagrama de flujo.

Figura 4.2 Diagrama de flujo del Control de Temperatura.

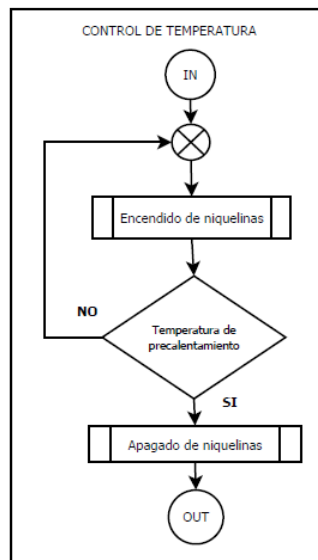


Diagrama de flujo del Control de Temperatura. (ManuelSalazar & CristianVeloz)

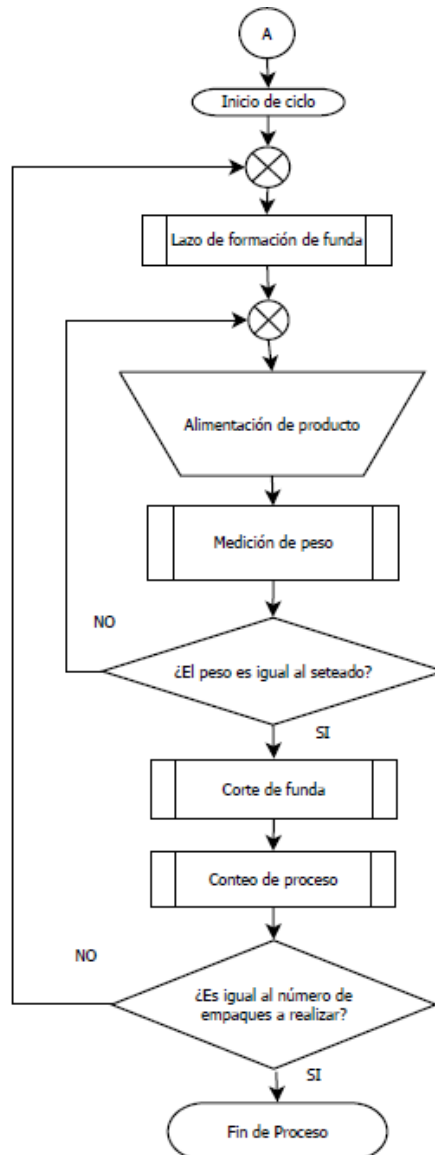
Posicionamiento de inicio de ciclo

Al haber alcanzado la temperatura de sello, el sistema de arrastre y las mordazas se posicionan para comenzar a sellar.

Primer sello

Un botón oculto se muestra visible (“MUZZLE”), para efectuarse el sellado vertical durante 6 segundos, habilitando el botón oculto de Inicio de ciclo.

Figura 4.3 Diagrama de flujo de Inicio de ciclo



Flujograma de máquina empacadora (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Lazo de formación de funda

La funda es posicionada en el formador, las mordazas horizontales sujetan la funda en la parte inferior, se acciona el sistema de arrastre, y se realiza el sellado vertical dos veces debido al tamaño de la funda.

Medición de peso

El PLC recibe el dato de peso medido por la balanza, por medio del cassette de comunicación serial. Se espera la dosificación dentro del rango de seteo de peso. Al llegar al peso seteado se activa una marca auxiliar para realizar el corte.

Corte de funda

El controlador envía la señal de activación a la tarjeta de control de potencia, para realizar el corte con el hilo de tungsteno, durante 5s, y se activa el movimiento del bastidor.

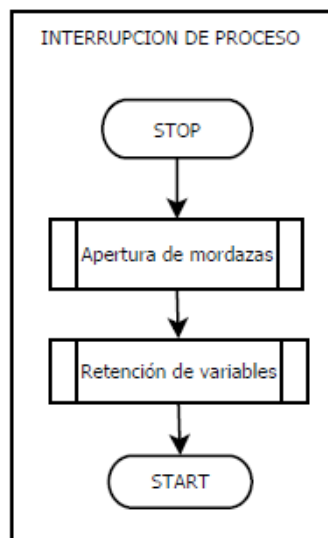
Conteo de proceso

Se cuenta el número de empaques realizados, después de realizar un ciclo completo y se compara el número actual de empaques con el seteado, permitiendo un nuevo ciclo o finalizando el proceso.

Existen dos tipos de parada de máquina, la de interrupción de proceso que permite liberar la funda en caso de rompimiento, atasco, etc.; la máquina se encontrará a espera de continuar con el ciclo interrumpido. La Figura 4.4 muestra el diagrama de bloques de la interrupción de proceso.

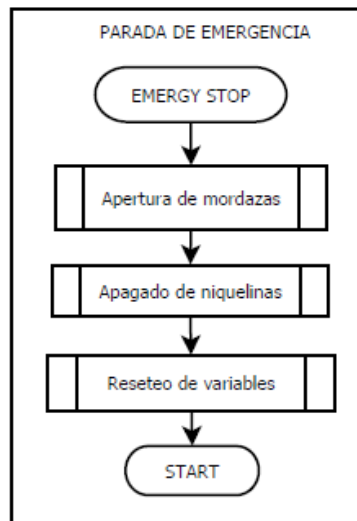
Y la interrupción de emergencia, a más de realizar todas las acciones de la parada de interrupción, resetea todos los valores de empaqueo, obligando a empezar con un nuevo ciclo de empaque; esta parada se prevé para errores de producción, daños de tipo correctivo en la máquina y por errores humanos. La Figura 4.5 muestra el diagrama de bloques de la parada de emergencia.

Figura 4.4 Diagrama de flujo interrupción de proceso.



Flujograma de interrupción de proceso. (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Figura 4.5 Diagrama de flujo parada de emergencia.



Flujograma de parada de emergencia. (ManuelSalazar & CristianVeloz)

La máquina consta de parametrización por defecto, el botón setea los valores de temperatura, peso para determinado producto, tolerancias y un número de empaques predeterminados, dichos parámetros fueron sondeados previamente.

4.2 HMI de máquina empacadora

La Interfaz Hombre Máquina (HMI) realiza las siguientes funciones:

- Indicar mensajes emergentes y estados de proceso.
- Permite acceder a valores de parametrización y monitoreo.
- Monitorea las variables de temperatura, peso y número de empaques.
- Permite ingresar los parámetros de funcionamiento de la máquina.
- Permite realizar el primer sello e iniciar un ciclo de trabajo.
- Accede mediante pantallas emergentes a diferentes niveles de seguridad.

El PLC adquiere valores de seteo de la pantalla, las ventanas previstas en este sistema son:

- Ventana de Inicio.
- Ventana de Monitoreo.
- Ventana de Parámetros.

- Ventanas emergentes.

4.2.1 Ventana de Inicio

En esta ventana como se observa en la Figura 4.6, permite el acceso a las ventanas de Monitoreo y Parámetros, posee botones de inicialización y paro; además muestra mensajes de advertencia y estado del proceso.

Figura 4.4 Ventana de inicio



Pantalla de inicio de la empacadora (ManuelSalazar & CristianVeloz)

4.2.2 Ventana de Monitoreo

En la ventana de monitoreo se puede observar los valores en tiempo real de temperatura, promedio (average) y actual (actually) del sellado vertical y el horizontal, el número de empaque seteado y el actual; y el valor de peso medido y seteado.

Además se encuentran dos botones que permite regresar a la ventana de inicio e ingresar a la ventana de parámetros, previa autenticación.

Figura 4.5 Ventana de Monitoreo.

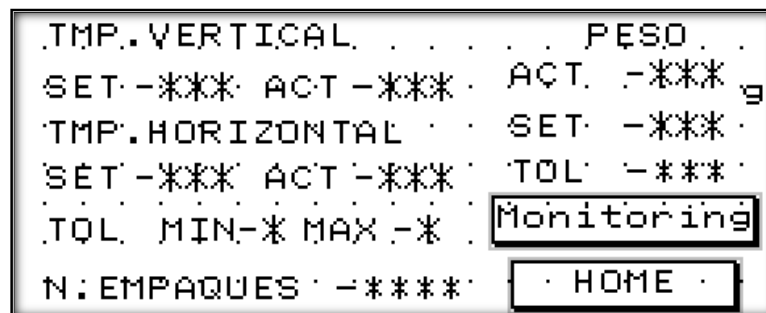


En la ventana de monitoreo se pueden observar las variables medidas (ManuelSalazar & CristianVeloz)

4.2.3 Ventana de Parámetros

En esta ventana se encuentran los valores de actuales y de seteo de temperatura vertical y horizontal, las tolerancias de temperatura máxima y mínima, el peso actual, de seteo y su tolerancia; la tolerancia de peso es dada por el gramaje del producto según su producción; y el número de empaques a realizar. Además se encuentran dos botones “HOME” y “Monitoring” que permite ingresar a la ventana de monitoreo.

Figura 4.6 Ventana de parámetros.



La ventana de monitoreo tiene nivel de seguridad 2. (ManuelSalazar & CristianVeloz)

4.2.4 Ventanas Emergentes

Cada vez que se desea editar un valor de parametrización, la ventana emergente de nuevo valor es lanzada, cuenta con un teclado Decimal y un indicador visual.

La ventana de identificación permite acceder a los diferentes niveles de acceso, colocando la clase correcta.

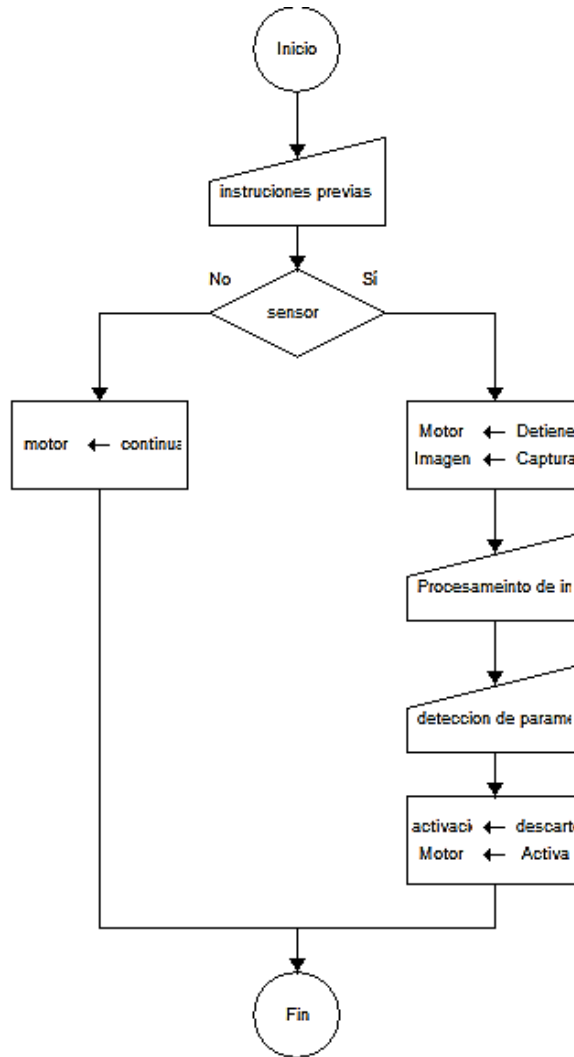
4.3 Máquina de Control de calidad

Para mejor descripción del programa se ha dividido en dos partes, la primera es la inicialización de proceso, en donde la Raspberry se encuentra a la espera de la detección de un objeto para capturar la imagen, mientras activa la banda transportadora.

Inicialización

El diagrama de inicialización del control de calidad se observa en la Figura 4.9.

Figura 4.7 Diagrama de flujo del control de calidad



Flujograma de inicialización del control de calidad (ManuelSalazar & CristianVeloz)

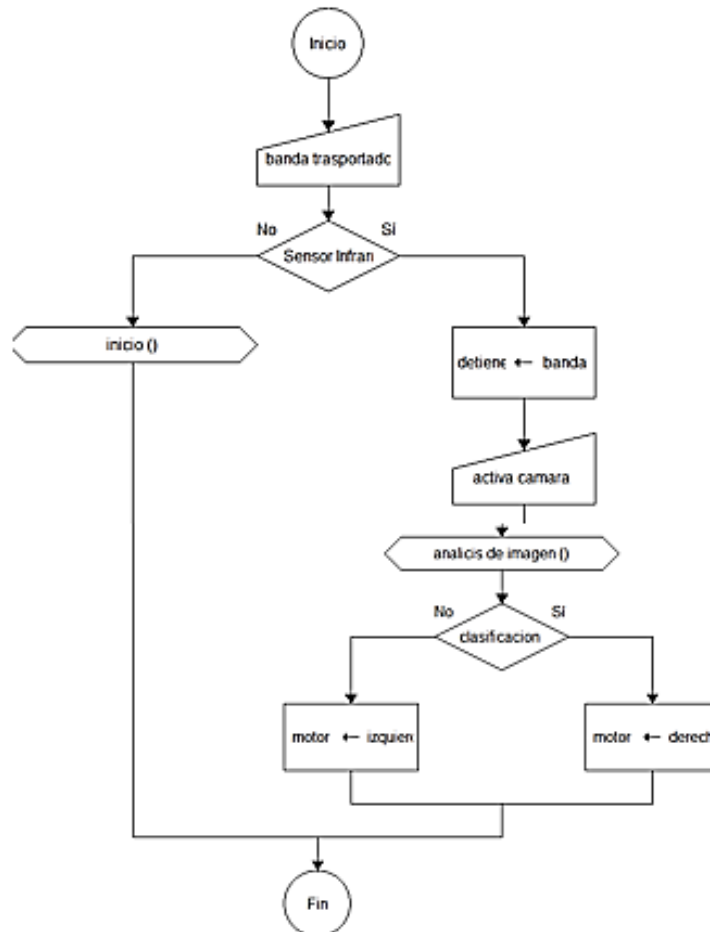
Se importan las librerías de visión artificial, procesamiento de matrices, tiempo y puertos GPIO. Se realiza la Configuración de puertos de entrada/ salida e inicialización del PWM. Se declaran variables (se guarda el ultimo valor de decisión) y constantes (constantes de filtros). Y se captura una primera imagen de fondo la cual sirve para el análisis de imagen posteriormente y también evita errores de matrices vacías.

DetECCIÓN

En la primera sección se observa el estado continuo de la banda transportadora esperando el sensado del sensor de barrera para detener la banda, si la condición es

verdadera se procede a detener la banda para el proceso de análisis de imagen en el cual se detiene la banda por unos mili segundos para enfocar mejor la imagen.

Figura 4.8 Diagrama de flujo de toma de decisión del control de calidad



Flujograma del proceso de toma de decisión de producto (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Pre procesamiento

Se obtiene la imagen en un frame en RGB, se convierte el frame a escala de grises y se aplica un filtro Gaussiano. Y se resta la imagen de fondo con la obtenida en la detección.

Procesamiento de imagen

Existen dos tipos de análisis para comprobar las matrices incompletas, en el primer método se utiliza la escala de grises y se aplica un buscador de patrones: en este caso círculos, para ello se definió un diámetro mínimo y máximo de las circunferencias.

En el segundo caso se filtra a la imagen restada aplicando un umbral y un buscador de contornos.

Análisis de imagen

Utilizando operaciones matriciales, se cuenta el número de círculos dentro de la imagen obtenida, esto se realiza en ambos métodos de detección.

Decisión

Se compara el número de circunferencias encontradas en la imagen con el número mínimo de cucharas para la aprobación del ramal. En base a ello se toma una decisión de descarte o aprobación, llamando a una subrutina con determinado PWM para mover la paleta de descarte.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

Para validar los sistemas implementados, de acuerdo a los requerimientos establecidos por la empresa TRUPLAST se realizaron una serie de pruebas que determinarían el correcto funcionamiento del sistema; además se evalúan los subsistemas de las máquinas mediante sensores normalizados.

5.1 PRUEBAS Y RESULTADOS SELLADORA:

5.1.1 Prueba de la máquina empacadora

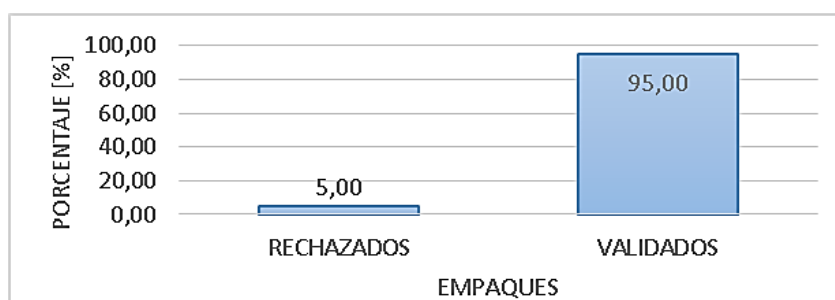
Esta prueba tiene como objetivo comprobar el correcto funcionamiento del sistema completo para realizar empaques.

La prueba se realizó con los siguientes parámetros de funcionamiento:

- **Temperatura de sello vertical:** 115 C°
- **Temperatura de sello horizontal:** 90 C°
- **Tolerancia Máxima de temperatura de sello:** 2 C°
- **Tolerancia Mínima de temperatura de sello:** 2 C°
- **Peso de empaque:** 40 g
- **Número de empaques:** 60

La prueba de sellado y corte se validó visualmente, evaluándose la hermeticidad y presentación del empaque. Mientras que para validar el peso se utilizó una balanza normalizada. Recopilándose los siguientes resultados:

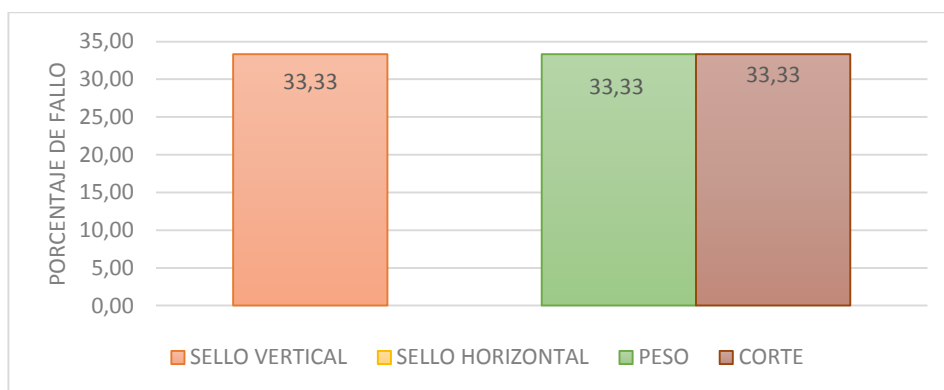
Figura 0.1 Resultados de empaques validados y rechazados.



Porcentaje de empaques rechazados y aceptados. (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Como se observa en la Figura 5.1 el 95 % de las muestras fueron validadas, es decir 52 empaques en buen estado, mientras que 3 empaques correspondientes al 5 % del total fueron rechazados. En la Figura 5.2 se observa el porcentaje de cada fallo, representando el mayor error al pesaje. La suma de todos los tipos de fallos corresponde al 5 % de empaques rechazados.

Figura 0.2 Resultados de tipos de fallo



Porcentajes de los tipos de fallo (ManuelSalazar & CristianVeloz)

5.1.2 Calibración de sensor de temperatura

Las mordazas vertical y horizontales utilizan el mismo sistema de calentamiento y sensor de temperatura; la prueba realizada permite determinar el comportamiento de las niquelinas y la precisión del sensor. Para registrar el error que posee el sistema de medición de temperatura, se realizó una comparación con un instrumento normalizado (Pirómetro digital TEMPRA Nebo) y el sistema de la máquina.

Tabla 5.1 Resultados obtenidos por el sistema de la máquina y el instrumento normalizado

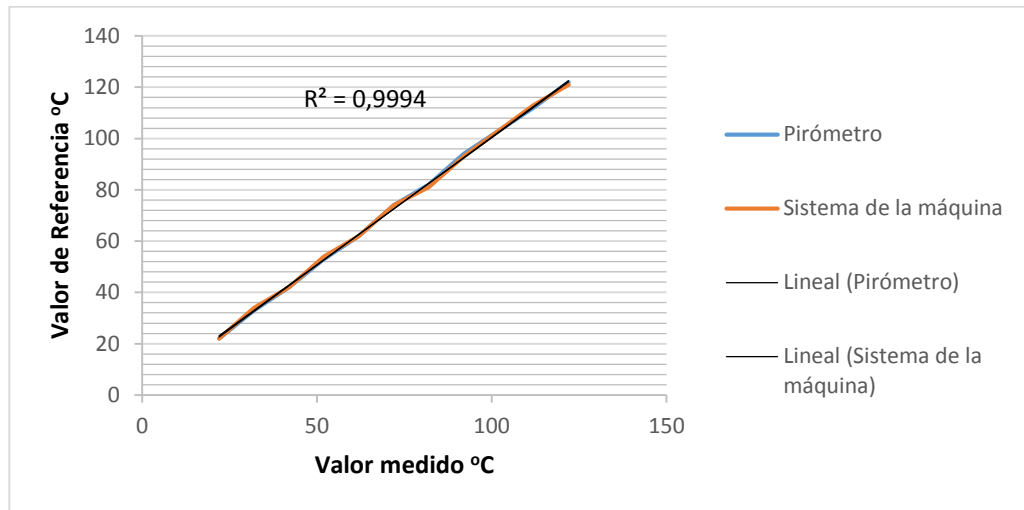
Referencia	Pirómetro	Sistema de la máquina	Error (%)
32	33	34	3,03
82	82	81	1,22
122	122	121	0,82
ERROR ABSOLUTO PROMEDIO			0,89

Resultados de temperatura (ManuelSalazar & CristianVeloz)

La tabla anterior muestra la exactitud de medición del sistema, evidenciándose en el error obtenido, menor al 1 %, es decir que existe una diferencia menor a 1 °C con un

sistema normalizado. La Figura 5.3 muestra gráficamente el seguimiento de la curva del sistema con el del pirómetro normalizado.

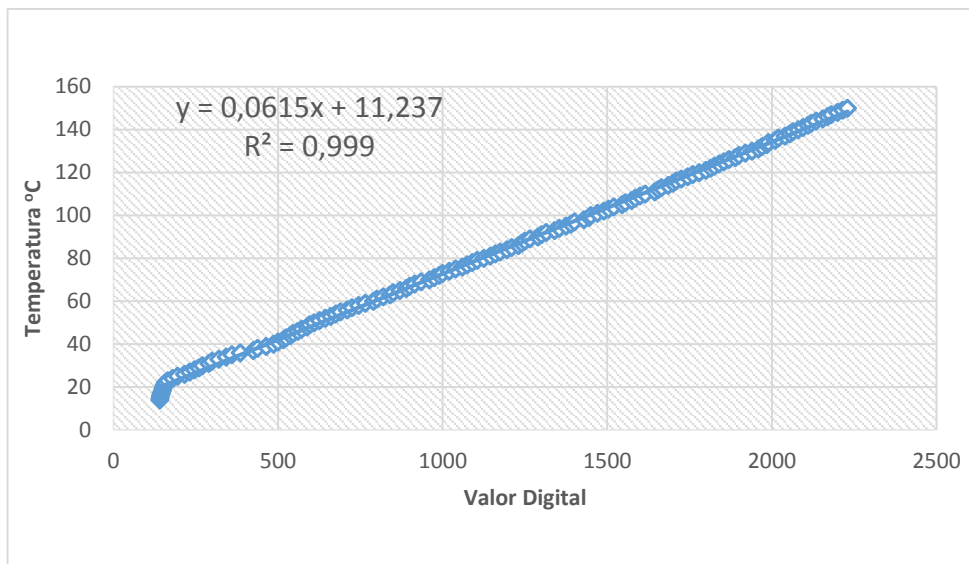
Figura 0.3 Datos de medición de temperatura.



Relación entre el sistema de la máquina y el instrumento normalizado (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Es posible obtener la linealidad mediante el valor digital obtenido en el PLC y la temperatura correspondiente, como se muestra en la Figura 5.4

Figura 0.4 Curva Temperatura vs Valor Digital del Termopar tipo J



Linealidad de la curva del termopar tipo J (ManuelSalazar & CristianVeloz)

5.1.3 Pruebas de funcionamiento del sistema de pesaje

Para comprobar el funcionamiento y registrar el error que posee el sistema de medición de peso, se realizó una comparación con un instrumento normalizado (balanza de 3 kg JADEVER) y el sistema de la máquina, con empaques de distinto peso.

La Tabla 5.2 muestra los datos registrados de peso promedio de empaque esperado y medidos con el sistema de la máquina y de la balanza normalizada. La tolerancia asignada fue de 2 g, uno por encima y uno por debajo del valor seteado.

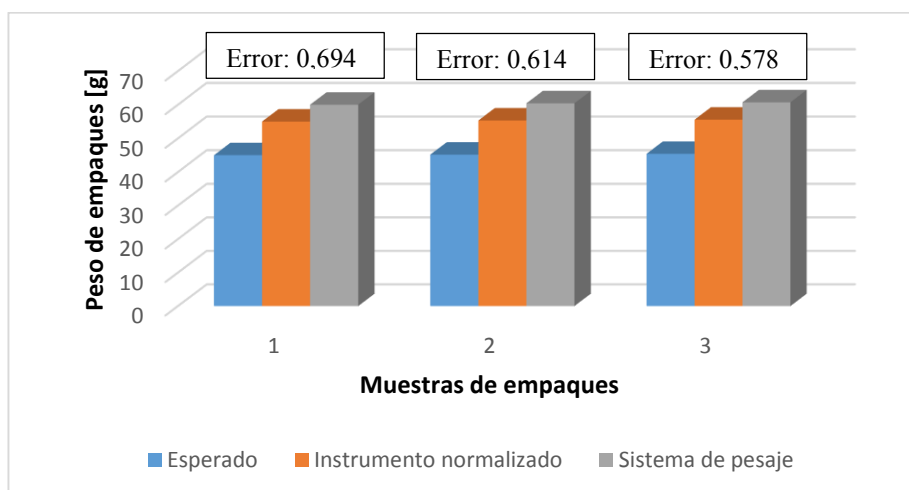
Tabla 5.2 Resultados del sistema de pesaje.

Referencia	Balanza JADEVER	Sistema de la máquina	Error (%)
45	45,165	45,4	0,694
55	55,3	55,55	0,614
60	60,42	60,7	0,578
ERROR ABSOLUTO PROMEDIO			0,623

Resultados de peso (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Gráficamente los datos medidos promedio se muestran en la Figura 5.5; el error aproximado del sistema es del 0,65 % y se encuentra dentro del parámetro de tolerancia seteado. Es decir que su funcionamiento es correcto.

Figura 0.5 Datos de medición de peso



Resultados del sistema de medición de peso (ManuelSalazar & CristianVeloz)

5.2 Pruebas y resultados de visión artificial

Para comprobar el funcionamiento de la visión artificial se realizó prueba del sistema en el mismo se realizó pruebas con matrices buenas, matrices malas y mezcladas.

5.2.1 Prueba de funcionamiento con matrices buenas

Para esta prueba se utilizó 25 matrices todas en perfecto estado, utilizando un software de análisis y tabulación de datos se comprobó que el sistema funciona de manera correcta teniendo un error del 4.34 % en matrices de 24 cucharas como las que se observan en la Figura 5.6, indicando que de cada 25 matrices en buen estado 3 matrices pueden ser descartadas, siendo aceptable y cumpliendo con el requerimiento del sistema.

Figura 0.6 Visión artificial matriz en buen estado



Matriz en buen estado, capturada fuera del módulo con luz natural (ManuelSalazar & CristianVeloz)

En matrices de menor tamaño como las que se muestran en la Figura 5.7, se obtiene un error menor, dado que el cuadro de análisis es más amplio.

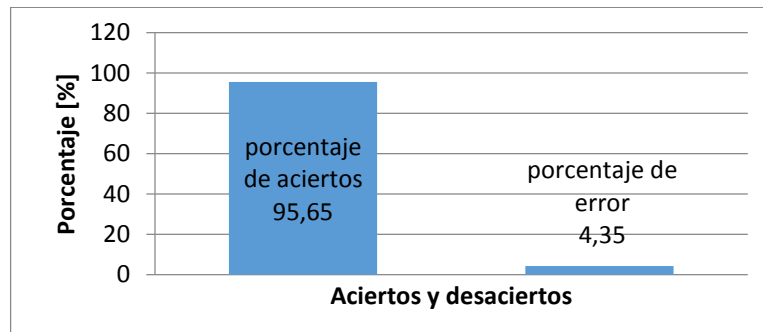
Figura 0.7 Sistema de visión artificial



Matriz capturada dentro del módulo con luz artificial (ManuelSalazar & CristianVeloz)

En la Figura 5.8 se observan los resultados del sistema con matrices en buen estado.

Figura 0.8 Gráfica de desempeño de sistema de visión



Porcentaje de aciertos de matrices en buen estado (ManuelSalazar & CristianVeloz)

5.2.2 Prueba de funcionamiento con matrices defectuosas

Para esta prueba se utilizó 25 matrices todas defectuosas utilizando un software de análisis y tabulación de datos se comprobó que el sistema funciona de manera correcta teniendo un error del 8.69 % lo cual refleja que de cada 25 matrices en mal estado 4 serán admitidas como buen estado.

Figura 0.9 Visión artificial matriz defectuosa



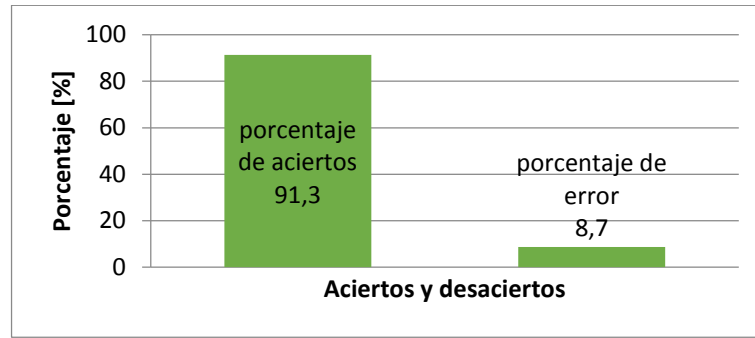
Matriz en buen estado, capturada fuera del módulo con luz natural (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Figura 0.10 Sistema de visión artificial



Matriz incompleta capturada dentro del módulo con luz artificial (ManuelSalazar & CristianVeloz)

Figura 0.11 Gráfica de desempeño de visión prueba 2

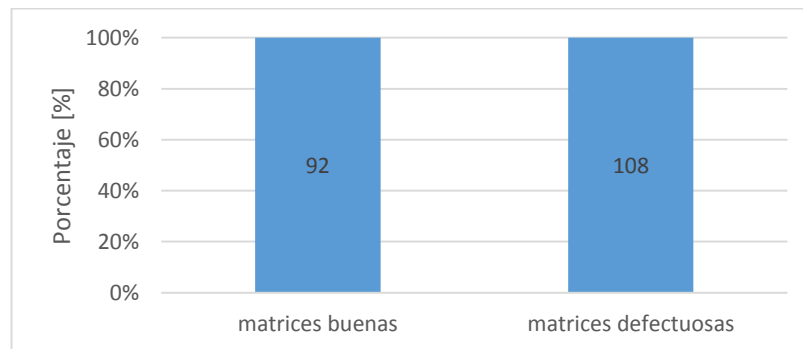


Porcentaje de aciertos de matrices defectuosas (ManuelSalazar & CristianVeloz)

5.2.3 Prueba de funcionamiento con matrices mixtas

Para esta prueba se utilizó 50 matrices de las cuales 25 se encontraban en perfecto estado y 25 defectuosas utilizando un software de análisis y tabulación de datos se comprobó que el sistema funciona de manera correcta teniendo una ligera desviación del 8% hacia las cucharas en mal estado sin embargo este resultado confirma el funcionamiento del sistema

Figura 0.12 Gráfica de desempeño de visión prueba 3.



Porcentaje de decisión de matrices mixtas (ManuelSalazar & CristianVeloz)

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

El diseño de la máquina vertical permite realizar empaques de un volumen mayor de producto sobre una empacadora horizontal, debido al tipo de formador de funda que utilizan, validando uno de los requerimientos de la empresa TRUPLAST.

Se optó por el uso de un PLC en vez de un controlador de menor robustez, obteniéndose mayor estabilidad en un ambiente industrial y se evitan latencias en el sistema; además, el controlador FPX-30PD facilita la obtención de señales como la de los termopares, al no requerir de un circuito de acondicionamiento externos simultáneamente un módulo de comunicación ayuda a la obtención del peso del conversor HX711.

El corte con hilo de tungsteno sin existencia en el mercado, es innovador y representa mayor eficiencia que cortes de tipo convencional, debido a que el corte es instantáneo, no necesita mayor mantenimiento, sólo en caso de ruptura, no deja filos cortantes en la funda y su costo de implementación es muy bajo.

El sistema de pesaje tiene un error absoluto del 0,623 %, comparado con un instrumento estandarizado, mientras que el sistema de control de temperatura evidencia un error del 0,89 % con respecto a un pirómetro digital, la suma de los errores del sistema representan un 5 %, es decir de una muestra de 60 empaques, 3 estuvieron defectuosos, validando el sistema.

En el control de calidad se evidenció que un ramal de 24 cucharas muestra un error del 9 % debido a que posee mayor redundancia a fallos, con respecto a un ramal de 16 cucharas que muestra un error menor de 3,5 % sin embargo esto puede pasar por alto puesto que una matriz incompleta tiene más del 40 % de su totalidad afectadas o rotas.

La calidad de la adquisición de imagen depende en mayor parte de la iluminación de la muestra, ya que factores no controlados como la variación de entrada de luz natural, el mal direccionamiento del haz de luz artificial y su efecto reflejado en la banda

transportadora, pueden provocar que se detecten circunferencias falsas, aumentando el error de detección de cucharas defectuosas. La baja resolución de la cámara y una mala iluminación causan desenfoques inesperados y la obtención de una imagen pixelada.

En el procesamiento de la imagen se observó que el uso de filtros gaussianos y operaciones morfológicas permiten mejorar el desempeño del programa en la búsqueda de patrones ya que aumenta la delimitación entre el objeto y el fondo, además el suavizado de la imagen junto a la binarización ayudan a la discriminación en los patrones esperados y el descarte de fallas por ruidos externos al sistema.

El sistema cumple con su objetivo de realizar control de calidad, evidenciándose en los resultados de decisión de descarte o aprobación de ramales de cucharas, su desviación del 4 % a las cucharas en mal estado se encuentran dentro de los requerimientos del sistema.

6.2 RECOMENDACIONES

Para mejorar la obtención de imagen se recomienda utilizar una cámara con mejores prestaciones; además implementarlo sobre una banda transportadora plana ante reflectiva, evitando la mayor entrada de luz natural directa.

Un controlador para la visión artificial con mayor capacidad de procesamiento, evitará las latencias por la sobre carga del procesador, además se recomienda utilizar un sistema de visualización directa y no con la utilización de datos.

Para mejorar la eficiencia del sistema, aumentar la velocidad de empaque, evitar fallos de pesaje y la intervención directa del personal es recomendable adecuar un sistema de dispensación automático con una banda transportadora que admita el control de velocidad. Además el uso de un formador rectangular ayudará a evitar una mala distribución de cucharas en el empaque, esto reducirá las dimensiones de la funda ahorrando el material de empaque.

Bibliografía

- 3, R. P. (s.f.). Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- AllenBradley. (s.f.). *Allen Bradley*. Obtenido de <https://es.rs-online.com/web/b/allen-bradley/>
- Andinadistribuidora. (s.f.). *Andina distribuidora*. Obtenido de <https://andinadistribuidora.com/es/industria-bar-y-oficina/333-selladoras-repuestos-de-niquelinas-y-teflon-nuevas-de-2030-cm.html>
- AVIASemiconductor. (s.f.). *AVIA*. Obtenido de https://www.mouser.com/ds/2/813/hx711_english-1022875.pdf
- Bausà, J., García, C., Zaragoza, B., Martínez, A., Moreno, D., & Galiana, A. (2010). *Sensores de Temperatura*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- BGStudios. (s.f.). *depositphotos*. Obtenido de <https://mx.depositphotos.com/114057092/stock-illustration-white-blank-sachet-packaging-stick.html>
- Carletti, E. J. (s.f.). *Robots-argentina*. Obtenido de http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_InterfazRS232.htm
- EDMANS. (2006). *Técnicas y Algoritmos básicos de visión artificial*. Universidad de la Rioja.
- ELECTRICAS BC. (2010). *ELECTRICAS BC*. Obtenido de <http://www.electricasbc.com/articulo/contenido/15-reles-de-estado-solido>
- (2009). *Elementos y Equipos Eléctricos*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- ENFORCER. (s.f.). *SECO-LARM*. Obtenido de http://www.seco-larm.com/image/data/A_Documents/02_Manuals/MI_E-931-S33PRGQ_160216.pdf
- FESTO. (s.f.). *FESTO*. Obtenido de https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/468395/SMT-8F-I-EX_2017-06f_8074132e1.pdf
- García, E. M. (2010). *Visión artificial*. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya.

Hacedores. (s.f.). *Hacedores Maker community*. Obtenido de <http://hacedores.com/que-tarjeta-de-desarrollo-elegir-parte-1/>

HobbyKing. (s.f.). Obtenido de https://hobbyking.com/es_es/hobbykingtm-hk15338-giant-digital-servo-mg-25kg-0-21sec-175g.html?__store=es_es

HSONG, C. (s.f.). *MAQUI-CHEN*. Obtenido de <http://www.maqui-chen.com/injectoras-de-plastico/>

Ingeniería Mecafenix. (s.f.). Obtenido de <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-proximidad-capacitivo/>

IRTAGroup. (s.f.). *IRTA GROUP*. Obtenido de <http://irtagroup.com/accesorios-packaging/tubos-formadores/>

Iza, M., & Medina, A. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA CONTROLADA POR PLC PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA ECUAMEX S.A.*. Quito: Escuela Politécnica del Ejército.

JMIndustrial. (s.f.). *JM Industrial Technology S.A.* Obtenido de <https://www.jmi.com.mx/termopar-tipo-j>

LogicBus. (s.f.). *Logic Bus*. Obtenido de http://www.logicbus.com.mx/celdas_de_carga.php

MAPLASCALI. (s.f.). *MAPLASCALI S.A.S.* Obtenido de <http://maplas.co>

Moreno Zapata, E. P. (2010). *Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Olvera, I. (Agosto de 2015). *REPORTERO INDUSTRIAL*. Obtenido de <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Como-elegir-un-sensor+106859>

OMEGA, G. (s.f.). *OMEGA TM*. Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/medicion-temperatura.html>

Panasonic. (s.f.). User's Manual FP-X. Obtenido de https://www.panasonic-electric-works.com/cps/rde/xbcr/pew_eu_en/mn_63489_0013_en_fpx.pdf

PAYPER, S. (s.f.). Obtenido de <http://www.payper.com/dosificador-gravedad-tipo-canal-vibrante#ticker>

- RetráctilyEmbalajePablo. (s.f.). *Retráctil y Embalaje Pablo S.L.* Obtenido de <https://retractilyembalaje.es/selladoras-soldadoras-manuales/11-soldadora-selladora-de-bolsas-msll-300.html>
- Rodríguez Tarango, J. (Mayo de 2005). *El empaque.* Obtenido de <http://www.elempaque.com/temas/Cuando-usar-las-palabras-envase,-empaque-y-embalaje+4040278>
- Salazar, J. (Noviembre de 2013). *El empaque.* Obtenido de Sellado: la clave de un empaque resistente: <http://www.elempaque.com/temas/Sellado,-la-clave-de-un-empaque-resistente+4094980>
- Santacruz Figueroa, E. (2007). *Diseño y modelamiento de una máquina dosificadora y empacadora de frutas deshidratadas.* Bogotá: Universidad de la Salle.
- Siemens. (s.f.). Obtenido de https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens_MAY2015.pdf
- SwissPack. (s.f.). *Swiss Pack España.* Obtenido de <http://www.doypackbolsas.es/envases-para-te/>
- Tiposde. (s.f.). *Tiposde.* Obtenido de <https://www.tiposde.com/luz.html>
- Velasco, O., Pérez, M., & Flórez, J. (Agosto 2014). *Diseño y construcción de una estación de clasificación automática con visión de máquina.* Popayán: Universidad del Cauca.

ANEXOS

Algoritmo de Control de Calidad

```
import numpy as np
import cv2
import time
import RPi.GPIO as GPIO
print("Iniciando el programa...")
banda = 27
camara = cv2.VideoCapture(0)
print("Abriendo Camara")

fondo = None
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(banda, GPIO.OUT)
GPIO.output(banda, 0)
GPIO.setup(18, GPIO.IN)
GPIO.setup(18, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)
GPIO.setup(4, GPIO.OUT)
pwm = GPIO.PWM(4, 100)

duty2= 18.4
duty1 = 12.5
dutyg = 18.4
distancia_minima = 25
resolucion =16
radio_min = 20
radio_max = 24
numero_cucharitas = 10

print("No ingrese matrices al modulo")

ret, frame = camara.read()
time.sleep(2)
gris = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
gris = cv2.GaussianBlur(gris, (5, 5), 0)
print("Listo esperando matriz")
```



```

def buena():
    pwm.ChangeDutyCycle(duty1)
    GPIO.output(banda, GPIO.LOW)
    time.sleep(0.5)
    return duty1

def mala():
    pwm.ChangeDutyCycle(duty2)
    GPIO.output(banda, GPIO.LOW)
    time.sleep(0.5)
    return duty2

while True:
    time.sleep(0.5)
    if GPIO.input(18):

        GPIO.output(banda, GPIO.HIGH)
        time.sleep(0.05)
        (grabbed, frame) = camara.read()
        gris = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        gris = cv2.GaussianBlur(gris, (5, 5), 0)
        gris1= np.float32(gris)
        time.sleep(0.02)

        if fondo is None:
            fondo = gris
            continue

        resta = cv2.absdiff(fondo, gris)
        resta1= np.float32(resta)
        circles2=cv2.HoughCircles(resta,cv2.HOUGH_GRADIENT,1.1,dista
ncia_minima,
param1=55,param2=resolucion,minRadius=radio_min,maxRadius=ra
dio_max)

        umbral = cv2.threshold(resta, 25, 255, cv2.THRESH_BINARY)[1]
        umbral = cv2.dilate(umbral, None, iterations=2)

        circles=cv2.HoughCircles(gris,cv2.HOUGH_GRADIENT,1.1,distanc
ia_minima,param1=55,param2=resolucion,minRadius=radio_min,ma
xRadius=radio_max)

        contornosimg = umbral.copy()
        contornosimg1= np.float32(contornosimg)

```

```

im,contornos,hierarchy= cv2.findContours(contornosimg,
cv2.RETR_TREE,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

for c in contornos:
    if cv2.contourArea(c) < 100:
        continue

if circles is not None:
    circulos_num = len(circles[0,:])
    print ('circulos:',circulos_num)
    font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
    cv2.putText(frame,str(circulos_num),(10,30), font,
    1,(0,255,0),2,cv2.LINE_AA)
    circles = np.uint16(np.around(circles))

    for i in circles[0,:]:

cv2.circle(frame,(i[0],i[1]),i[2],(0,255,0),1)
cv2.circle(frame,(i[0],i[1]),2,(0,255,0),1)

if circles2 is not None:
    circulos_num2 = len(circles2[0,:])
    print ('circulos_negativo:',circulos_num2)
    font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX

    cv2.putText(resta,str(circulos_num2),(10,30)
    ,font, 1,(0,100,255),2,cv2.LINE_AA)
    circles2 = np.uint16(np.around(circles2))
    for i in circles2[0,:]:

cv2.circle(resta,(i[0],i[1]),i[2],(0,255,0),
1)
cv2.circle(resta,(i[0],i[1]),2,(0,0,255),1)

if (circulos_num >= numero_cucharitas or
circulos_num2 >= numero_cucharitas ):
    print ("Matriz aprobada")
    dutyg = buena()
else:
    print ("Matriz descartada")
    dutyg = mala()

```

```
        cv2.imshow("Camara", frame)
    else:
        GPIO.output(banda, GPIO.LOW)
        pwm.ChangeDutyCycle(dutyg)
        time.sleep(1.2)

    key = cv2.waitKey(1) & 0xFF
    time.sleep(0.02)

    if key == ord("s"):
        break

camara.release()
cv2.destroyAllWindows()
```