



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

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

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA
PARA EL PESAJE Y SELLADO DE FUNDAS DE HARINA DESDE 0.5
HASTA 2 LIBRAS, CON SUPERVISIÓN REMOTA PARA EL
COMERCIAL JACQUELINE, UBICADO EN LA CIUDAD DE AMBATO**

AUTORA: ZAMORA SOLIS, JESSICA KARINA

DIRECTORA: ING. REA MINANGO, SYLVIA NATHALY

LATACUNGA

2019



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

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PESAJE Y SELLADO DE FUNDAS DE HARINA DESDE 0.5 HASTA 2 LIBRAS, CON SUPERVISIÓN REMOTA PARA EL COMERCIAL JACQUELINE, UBICADO EN LA CIUDAD DE AMBATO.”*** fue realizado por la señorita ***Zamora Solis, Jessica Karina*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, junio del 2019

Ing. Rea Minango, Sylvia Nathaly

C.C.: 1721261921



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Zamora Solis, Jessica Karina*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PESAJE Y SELLADO DE FUNDAS DE HARINA DESDE 0.5 HASTA 2 LIBRAS, CON SUPERVISIÓN REMOTA PARA EL COMERCIAL JACQUELINE, UBICADO EN LA CIUDAD DE AMBATO.”*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, junio del 2019



Zamora Solis, Jessica Karina

C.C.:1804480810



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

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Zamora Solis, Jessica Karina, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PESAJE Y SELLADO DE FUNDAS DE HARINA DESDE 0.5 HASTA 2 LIBRAS, CON SUPERVISIÓN REMOTA PARA EL COMERCIAL JACQUELINE, UBICADO EN LA CIUDAD DE AMBATO.”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, junio del 2019

Zamora Solis, Jessica Karina

C.C.:1804480810

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios por darme fuerza e inspiración para seguir adelante y no decaer en el camino.

A mi madre Jacqueline que siempre estuvo junto a mí en todo mi proceso educativo dándome amor, fuerza y ánimos para seguir adelante apoyándome en cada meta propuesta, juntas hemos logrado llegar hasta aquí, ha sido un privilegio ser tu hija, eres la mejor MADRE

A mi tía Silvy a quien quiero como a una madre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mis hermanos David, Danny y a mis abuelitos que siempre estuvieron conmigo en el proceso, apoyándome y preguntándome sobre mis avances académicos, disfrutando conmigo cada triunfo y lamentando cada derrota.

AGRADECIMIENTOS

He terminado una etapa de mi vida el escalón más grande, y solo me queda expresar mi más sincero agradecimiento a mi madre, por siempre estar ahí, por creer en mí y por motivarme día a día con sus palabras de aliento y satisfacción TE AMO MAMI gracias por todo.

Sincero agradecimiento a mis familiares, quienes estuvieron pendientes de mi en todo momento, apoyándome y animándome a ser siempre mejor.

De igual manera quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Ing. Nathy, tutora del proyecto quien con su dirección, amistad y conocimiento me ayudo a termina este proceso.

Un sincero agradecimiento al Ing. Vicente Hallo ya que gracias a él y a la carrera logramos unirnos como estudiantes y amigos en todos los eventos sociales y educativos.

Finalmente, a los mejores amigos que Dios me permitió tener David, Diego, Andrés, Katty, Carlos, Stalin, Jhoss, Luis, Daniel, Oscar, Karla y Jeff gracias chicos por todo el apoyo, por las amanecidas estudiando, finalizando proyectos, por las reuniones y por salidas después de los exámenes nada sería igual sin su apoyo y sin su presencia los quiero mucho SON LOS MEJORES.

Gracias a todos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Antecedentes	1
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Máquinas empacadoraS	6
2.1.1. Máquinas de empacado manual	6
2.1.2. Empacadora semiautomática.....	7
2.2. Sistema de envasado o empacado.....	9
2.2.1. Sistema de envasado de 3 costuras	9

2.2.2. Sistema envasado de cuatro costuras	10
2.3. Sistema de pesaje automático	11
2.3.2. Sistemas de pesaje de bandas transportadoras	12
a. Tipos de cintas transportadoras pesadoras:	13
2.3.3. Balanza multi-cabezal	13
2.4. Sistemas de dosificación.....	14
2.4.1. Dosificadores gravimétricos.....	14
2.4.2. Dosificador volumétrico.....	15
2.4.3. Dosificador por tornillo sinfn.....	16
2.4.4. Dosificador por peso	17
2.4.5. Dosificador por tiempo.....	17
2.4.6. Dosificador por transporte neumático.....	18
2.5. Celda de carga.....	19
2.5.1 Tipos de celdas de carga.....	19
a. Celda de carga de único punto	19
b. Celda de carga tipo S.....	19
c. Celda de carga de compresión.....	19
d. Celda de carga tipo barra.....	20
e. Celda de carga doble apoyo	20
2.6. Sistema de arrastre de funda	20
2.6.1. Sistema de arrastre por tornillos.....	20
2.6.2. Sistema de arrastre por bandas.....	21
2.6.3. Sistema de arrastre por correas	21
2.7. Sistema de sellado.....	22
2.7.1. Selladora por barra caliente.....	22
2.7.2. Sellador térmico continuo o selladora de banda	23
2.7.3. Sellador por alambre caliente.....	24
2.7.4. Sellado por lámina.....	25
2.8. Supervisión.....	25
2.8.1. Supervisión y monitoreo remoto.....	26
2.8.2. Programa de supervisión remota.....	27

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

3.1. Selección de componentes	29
3.1.1. Selección del sistema de dosificación.....	31
a. Alternativa 1.- Dosificación por caja volumétrica	34
b. Alternativa 2.-Dosificación por tornillo sinfín y pesaje	34
c. Alternativa 3.- Dosificación gravimétrica	35
3.1.2. Selección del sistema de sellado, formador de la funda	37
a. Alternativa 1.- Cuello circular.....	38
b. Alternativa2.- Cuello rectangular.....	38
3.1.3. Selección del sistema de arrastre de la funda.....	40
a. Alternativa 1.- Arrastre por rodillos.....	41
b. Alternativa 2.- Arrastre por bandas.....	42
3.2. Materiales utilizados	44
3.2.1. Material en contacto con la materia prima.....	44
3.3. Diseño del sistema de alimentación	46
3.3.1. Producto a suministrar.....	46
3.3.2. Volumen del producto a suministrar	46
3.3.3. Dimensionamiento de la tolva.....	47
3.3.4. Diseño de la estructura del proyecto	49
3.3.5. Fuerza máxima a soportar	49
3.3.6. Análisis CAE de la estructura	50
3.4. Diseño del sistema de dosificación.....	52
3.4.1. Diseño del tornillo sinfín.....	52
3.4.2. Diseño del eje del tornillo	57
3.4.3. Diseño de la hélice	65
3.4.4. Diseño del formador de funda.....	75
3.5. Diseño del sistema de sellado horizontal y vertical.....	77
3.5.1. Diseño del sellado vertical	78
3.5.2. Diseño del sellado horizontal	80

3.5.3. Resistencia eléctrica requerida para el sellado.....	80
3.5.4. Controlador de temperatura.....	81
3.6. Diseño del sistema de arrastre de la funda.....	81
3.6.1. Diseño del sistema de guiado del film de plástico.....	81
3.6.2. Selección de los rodillos de arrastre.....	82
3.7. Selección de los elementos eléctricos y electrónicos	90
3.7.6. Selección del controlador del sistema.....	95
4.2.2. Diagrama eléctrico	99
4.2.3. Distribución del tablero eléctrico.....	100
4.2.4. Placa de control	103

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

4.2.5. Distribución de consola de control.....	109
4.3. Diseño del software de la máquina	110
4.3.2. Descripción general.....	112
4.3.3. Desarrollo de la supervisión remota.....	114
a. Supervisión intranet.....	114
b. SMS	116
4.3.4. Desarrollo del código de programación.....	117
4.4. Diseño de la interfaz gráfica para el usuario.....	121
4.4.2. Carátula.....	122
4.4.3. Ventana principal	123
4.4.4. Ventana de parámetros	124
4.4.5. Ventana de alarmas	126

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Pruebas de morocho y machica con un peso de 1 libra	127
5.2. Pruebas de morocho y machica con un peso de 2 libras.....	128
5.3. Pruebas de supervisión remota.....	130

5.4. Validación de la Hipótesis	131
5.8. Análisis económico del proyecto	135

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones	138
6.2. Recomendaciones.....	140

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
---	------------

ANEXOS.....	147
--------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Necesidades del usuario</i>	30
Tabla 2. <i>Selección del concepto de sistemas de dosificación.</i>	33
Tabla 3. <i>Características de diferentes tipos de dosificador seleccionados</i>	36
Tabla 4. <i>Matriz de evaluación de conceptos para el dosificador</i>	37
Tabla 5. <i>Sistema formador de funda</i>	39
Tabla 6. <i>Matriz de evaluación de conceptos para el formador</i>	39
Tabla 7. <i>Selección de componentes sistema de arrastre</i>	40
Tabla 8. <i>Características de los sistemas seleccionados</i>	43
Tabla 9. <i>Matriz de evaluación de conceptos para el sistema arrastre</i>	44
Tabla 10. <i>Características para el sistema de alimentación</i>	46
Tabla 11. <i>Fuerzas de la estructura</i>	49
Tabla 12. <i>Resultados análisis CAE</i>	51
Tabla 13. <i>Diámetros y velocidades del tornillo sinfín</i>	53
Tabla 14. <i>Medidas del eje</i>	58
Tabla 15. <i>Datos obtenidos del diagrama</i>	59
Tabla 16. <i>Resultados de los esfuerzos</i>	64
Tabla 17. <i>Resultados de los parámetros de la hélice</i>	69
Tabla 18. <i>Valores de Kd</i>	74
Tabla 19. <i>Dimensiones de la funda plástica</i>	75
Tabla 20. <i>Características generales de film de plásticos</i>	77
Tabla 21. <i>Resultados sellado horizontal</i>	80
Tabla 22. <i>Tiempo empleado en arrastrar las fundas</i>	84
Tabla 23. <i>Resultados de la velocidad lineal de los rodillos</i>	84
Tabla 24. <i>Inercia de los elementos del film de plástico</i>	86
Tabla 25. <i>Breakers utilizados</i>	91
Tabla 26. <i>Características del motor de descarga</i>	92
Tabla 27. <i>Características del motor del batidor</i>	93
Tabla 27. <i>Especificaciones técnicas Electroválvula</i>	94
Tabla 28. <i>Características de los controladores seleccionados</i>	95
Tabla 29. <i>Matriz de evaluación de conceptos para el controlador de la máquina</i>	97
Tabla 30. <i>Conexiones del PLC</i>	101
Tabla 31. <i>Conexiones de la tarjeta de control hacia el PLC</i>	105
Tabla 32. <i>Parámetros de entrada y salida del sistema RTU</i>	115
Tabla 33. <i>Alarmas</i>	116
Tabla 34. <i>Datos comunicación</i>	119
Tabla 35. <i>Parámetros linealización</i>	120
Tabla 36. <i>Características de la pantalla táctil</i>	121
Tabla 37. <i>Parámetros</i>	125
Tabla 38. <i>Pruebas con 1 lb de morocho</i>	127
Tabla 39. <i>Pruebas con 2 lb de morocho</i>	128

Tabla 40. <i>Resultados de la eficacia de sellado</i>	129
Tabla 41. <i>Resultados de la eficacia de peso</i>	129
Tabla 42. <i>Pruebas de supervisión remota</i>	130
Tabla 43. <i>Resultados de la eficacia de la supervisión remota</i>	130
Tabla 44. <i>Condiciones para la aceptación de las hipótesis alternativas</i>	131
Tabla 45. <i>Resultados validación del peso</i>	133
Tabla 46. <i>Resultados validación de la supervisión remota</i>	134
Tabla 47. <i>Datos obtenidos del usuario</i>	134
Tabla 48. <i>Datos obtenidos de la máquina</i>	135
Tabla 49. <i>Análisis económico de los materiales utilizados</i>	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Máquina empacadora manual.....	6
Figura 2. Proceso de dosificación.....	7
Figura 3. Máquina empacadora semiautomática.....	8
Figura 4. Máquina automática de empacado.....	9
Figura 5. Sistema de envasado de 3 costuras.....	10
Figura 6. Sistema de envasado de 4 costuras.....	11
Figura 7. Tolva de pesaje.....	12
Figura 8. Cinta transportadora pesadora.....	13
Figura 9. Balanza multi-cabecal.....	14
Figura 10. Dosificador gravimétrico.....	15
Figura 11. Dosificador Volumétrico.....	16
Figura 12. Dosificación por tornillosinfín.....	16
Figura 13. Dosificador por peso.....	17
Figura 14. Dosificador por tiempo.....	18
Figura 15. Dosificador por pistón neumático.....	18
Figura 16. Sistema de arrastre por tornillos.....	21
Figura 17. Sistema de arrastre por correas.....	22
Figura 18. Sellado por barra caliente.....	23
Figura 19. Selladora de banda horizontal.....	24
Figura 20. Selladora por alambre caliente.....	24
Figura 21. Selladora por lámina.....	25
Figura 22. Estructura de un sistema SCADA.....	27
Figura 23. Matriz QFD.....	32
Figura 24. Sistema de dosificación por caja volumétrica.....	34
Figura 25. Sistema de dosificación y pesaje.....	34
Figura 26. Sistema de dosificación gravimétrica.....	35
Figura 27. Formador de funda cuello circular.....	38
Figura 28. Formador de funda de cuello rectangular.....	38
Figura 29. Sistema de arrastre por rodillos.....	41
Figura 30. Sistema de arrastre por bandas.....	42
Figura 31. Sistema de arrastre por mordazas de sellado.....	42
Figura 32. Partes de la Tolva.....	47
Figura 33. Medidas de la tolva en mm.....	48
Figura 34. Representación de las fuerzas.....	50
Figura 35. Partes tornillo sinfín.....	52
Figura 36. Tornillo sinfín de hélice continua.....	52
Figura 37. Medidas del canalón en mm.....	54
Figura 38. Esfuerzos en el eje del tornillo.....	58
Figura 39. Diagramas de esfuerzo cortante y momento flexionante.....	59
Figura 40. Representación de la Hélice.....	65

Figura 41. Diagrama de fuerzas de la hélice del tornillo	70
Figura 42. Selladora.....	81
Figura 43. Sistema de guiado del plástico.....	82
Figura 44. Sistema de arrastre	83
Figura 45. Dimensiones del rollo de plástico en mm.....	85
Figura 46. Diseño mecánico del sistema.....	89
Figura 47. Breakers de 1 polo	92
Figura 48. Distribución de los elementos.....	98
Figura 49. Diagrama eléctrico del sistema.....	99
Figura 50. Diagrama eléctrico del tablero de control.....	101
Figura 51. Conexiones PLC	101
Figura 52. Distribución del tablero eléctrico.....	103
Figura 53. Placa del sistema	104
Figura 54. Estructura de la máquina.....	107
Figura 55. Cuello formador	108
Figura 56. Tolva	108
Figura 57. Balanza.....	109
Figura 58. Tablero de control	110
Figura 59. Diagrama de flujo del sistema	111
Figura 60. Etapa 1.....	112
Figura 61. Etapa 2 Sellado Vertical.....	113
Figura 62. Etapa 3 Mecanismo de arrastre.....	113
Figura 63. Etapa 4 Sellado horizontal	114
Figura 64. Recepción alarmas	116
Figura 65. Definición de variables	117
Figura 66. Control del producto	118
Figura 67. Diagrama de flujo S.V	118
Figura 68. Linealización de la celda de carga.....	119
Figura 69. Linealización celda de carga.....	120
Figura 70. Envío de alarmas.....	120
Figura 71. Ventana de información.....	123
Figura 72. Ventana principal	123
Figura 73. Ventana de parámetro	124
Figura 74. Mensaje de configuración.....	125
Figura 75. Ventana de Alarmas.....	126

RESUMEN

El proceso de pesado y sellado en el Comercial Jacqueline al ser manual produce pérdidas, ya sea de tiempo o económicas por fallas en el pesado, por lo cual es necesario implementar un proceso automático. El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un sistema de pesado y sellado automático con supervisión remota, el cual posee una tolva donde deposita la materia prima, seguido de una etapa de pesaje del producto, formación y sellado de la funda a partir del fin de plástico. También cuenta con un sistema de alarmas y avisos, al momento que la materia prima y el film de plástico se han terminado. La programación está realizada de tal manera que el proceso se cumpla de manera secuencial y repetitiva cumpliendo las tareas determinadas. Se verificó que el proceso automático de pesaje y sellado redujo el tiempo de producción además de presentar características óptimas en la formación y pesaje de fundas. La supervisión remota permite acceder a los datos de la máquina por medio de WIFI además de enviar mensajes de texto cuando la máquina tenga algún problema. La implementación de este proyecto se realizó en el Comercial Jacqueline en Ambato.

PALABRAS CLAVE:

- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**
- **SELLADO AUTOMÁTICO**
- **MÁQUINAS EMPACADORAS**
- **MÁQUINAS DOSIFICADORAS**

ABSTRACT

The process of weighing and sealing in the commercial Jacqueline to be manual, that produces the losses, either the time of time or the economic ones due to failures in the weighing, so it is necessary to implement an automatic process. The present project consists of the design and construction of a system of weighing and automatic sealing with remote supervision, which has a hopper where the raw material is deposited, followed by a stage of weighing the product, forming and sealing the sheath from the end of plastic. We also have a system of alarms and warnings; the moment of the raw material and the plastic film have been finished. The programming is done in such a way that the process is carried out in a sequential and repetitive way, fulfilling the determined tasks. It was verified that the automatic weighing and sealing process reduced the production time, in addition to presenting optimal characteristics in the formation and weighing of funds. The remote supervision allows access to the data of the machine in the middle of WIFI as well as sending text messages when the machine has a problem. The implementation of this project was carried out in the Comercial Jacqueline in Ambato.

KEYWORDS:

- **INDUSTRIAL AUTOMATION**
- **AUTOMATIC SEALING**
- **PACKING MACHINES**
- **MACHINES DOSERS**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad varias empresas miran sus proyectos en base a la automatización para así poder elevar la producción, optimizar recursos, mejorar la calidad de los productos que ofrecen y ser más eficientes. La automatización abarca un campo bastante amplio de aplicaciones ya que las microempresas necesitan productos de buena calidad, exactos con los requerimientos establecidos por los clientes, pero a un bajo costo y un corto tiempo de producción.

Las empresas y microempresas del área alimenticia en especial el Comercial Jacqueline que enfundan y pesan harinas, han visto la necesidad de implementar un sistema automatizado para realizar este proceso, ya el procedimiento artesanal presenta varias desventajas como la pérdida de tiempo, inexactitud en el pesado, sellado defectuoso entre otros, lo que genera pérdida en la calidad del producto, desconfianza en los clientes y por lo tanto pérdidas económicas.

1.2.ANTECEDENTES

El proceso de pesado comienza aproximadamente en el año 3500 antes de Cristo debido a las actividades comerciales como el intercambio de productos: por esta situación los ciudadanos se vieron forzados a medir los productos que iban a ser destinados a la venta la máquina usada para medir estaba basada en equivalencias: en un lado la mercadería usada como pago y en el otro el producto a pesar. Años más tarde, Da Vinci, en el siglo XV realizó

la primera medidora de índole automática con un cuadrante graduado en el cual se indicaba el peso del producto. (Equipos y Laboratorio, 2015)

En la actualidad existen pesadoras o balanzas multi-cabezal las cuales logran velocidades entre 45 y 120 paquetes por minuto dependiendo del peso final, esta máquina es automática y se puede usar para diferentes tipos de productos alimenticios ya sean frescos, secos, procesados, de las cuales tenemos: la balanza multi-cabezal Envapack la cual posee un sistema inteligente de pesado con un margen de error de 1g la cual tiene un margen de producción de 70 bolsas/min. (ENVAPACK, 2009).

El Comercial Jacqueline realiza el proceso de pesado y sellado manera artesanal desde hace ya varios años, por lo que los avances tecnológicos en estos procesos han llevado a que dicha microempresa requiera de su automatización.

1. DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO

El proyecto propuesto se trató del diseño y construcción de un sistema de pesado y sellado automático con supervisión remota, cuyo objetivo es disminuir el tiempo de producción y las pérdidas generadas en el proceso de pesaje en la micro empresa Comercial Jacqueline.

Para determinar las dimensiones, normas, y mecanismos óptimos para la construcción de la máquina se realizó una investigación bibliográfica, en base a tesis, publicaciones y artículos científicos, que hagan referencia a máquinas de sellado y pesado, para así determinar el diseño que mejor se ajuste a las necesidades de la empresa.

Para el dimensionamiento de la estructura se realizó un estudio del espacio disponible en la microempresa y de las condiciones ambientales en las que va a operar el sistema.

La parte mecánica del presente proyecto consta de una estructura para el sistema de pesaje y sellado de harinas, con materiales ligeros, modernos y aptos para trabajo con productos alimenticios se aplicará normas técnicas para el diseño.

La programación se realizó por medio de software libre adecuado para desarrollar el algoritmo que regirá la supervisión remota del proyecto. La supervisión remota enviara mensajes de aviso al celular de la persona al momento que el proyecto este por quedarse sin materia prima y film.

En cuanto a la parte electrónica, el control de peso de las fundas de harina se realizó por medio de un sensor que cumpla con los requerimientos del proceso realizado en el Comercial Jacqueline. Se realizó una selección adecuada del controlador a utilizar, el cual comandará el sistema.

El sellado de las fundas de harina se realizó por un mecanismo sellador escogido por medio de una selección conforme con los requerimientos del proceso del Comercial Jacqueline.

Se verificó si existe reducción en el tiempo del proceso de pesado y sellado de las fundas de harina en el Comercial Jacqueline, comparándolo con el tiempo del proceso artesanal, ejecutando a la par pruebas del módulo de supervisión remota.

La supervisión remota se encarga enviar alertas al personal encargado por medio del teléfono celular, las alertas serán envidas cuando la materia prima de la tolva y el film de plástico esta por agotarse.

1.3.JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

En los últimos años las aplicaciones de automatización han tenido una gran acogida en cuanto a procesos industriales se refiere, ya que, en términos de producción, no solo se toma en cuenta la calidad del producto, sino también el tiempo de elaboración y la exactitud del mismo.

Según datos recopilados por la micro empresa Comercial Jacqueline al obtener errores en el pesaje de tan solo una onza por libra se genera pérdidas que representan 1500 dólares anuales debido al volumen de producción actual. Por lo que la implementación del proyecto permitirá obtener un pesado uniforme y un sellado de alta calidad ayudando al desarrollo del Comercial Jacqueline cumpliendo con los estándares de peso exacto, aumentando la productividad con el fin de aumentar la ganancia económica para la empresa en los productos ofertados. Generando clientes satisfechos.

En el Comercial Jacqueline actualmente maneja un proceso artesanal para el enfundado, pesado y sellado de harinas, provocando errores en el pesaje y elevados tiempos de producción.

Al automatizar este proceso, el desempeño de la micro empresa mejorará, ya que las máquinas no son afectadas por factores externos como estado de ánimo, cansancio, u otros factores anímicos, por lo que este sistema permitirá a la micro empresa denominada Comercial Jacqueline mejorar el tiempo de producción, aumentar la productividad, supervisar el proceso y entregar un producto con el pesaje exacto para el mercado, ya que este exige una buena calidad.

Con la implementación de la máquina de pesaje y sellado automático para las fundas de harina desde 0.5 hasta 2 libras en el Comercial Jacqueline, también se motivará la utilización de estos sistemas en el mercado comercial, ya que esta máquina puede aplicarse a las micro empresas de la industria alimenticia del Ecuador.

1.4.OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir una máquina para pesaje y sellado automático de fundas de harina que cuente con un sistema de supervisión remota, para fundas desde 0.5 hasta 2 libras para la micro empresa Comercial Jacqueline.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar sobre el uso del sistema de pesaje y sellado utilizado en las diferentes micro empresas e industria alimenticia.
- Diseñar y seleccionar cada componente que va a formar parte del sistema de pesaje y sellado de harinas, teniendo en cuenta un bajo costo y disponibilidad en el mercado ecuatoriano.
- Comparar los distintos sistemas de control existentes para elegir el mejor sistema de sellado y pesado, acorde a las necesidades de la micro empresa.
- Realizar la calibración y ejecutar pruebas de funcionamiento y validación del sistema, de acuerdo a normativa ecuatoriana.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. MÁQUINAS EMPACADORAS

Para la industria alimenticia la presentación de los alimentos es una de las características más importantes de las marcas. Por lo cual se tiene diversas formas de envasar los alimentos ya sean sólidos, líquidos o harinas. Las máquinas empacadoras pueden ser automáticas o semiautomáticas y cuentan con sistemas de dosificación, sellado y empacado, con una correcta sincronización de los mismos, además de una combinación de mandos electromecánicos y neumáticos. (Giraldo L. A., 2018)

2.1.1. Máquinas de empacado manual

Este tipo de maquinaria consta de un sistema sencillo tanto para el control de temperatura como para el empacado como muestra la Figura 1, donde podemos apreciar las partes de la máquina empacadora manual. Para proceder al empaquetado él sistema requiere de una funda preformada para trabajar.



Figura 1. Máquina empacadora manual.
Fuente: (Moreno, 2010)

El operador coloca la funda al final de la tolva como se puede apreciar en Figura 2 para dosificarla, posteriormente presiona el pedal para sellar la funda, la eficiencia y tiempo de trabajo depende netamente de la fuerza y estado de ánimo del operario, por lo que este tipo de máquina es de carácter doméstico. (Ramos, 2018)



Figura 2. Proceso de dosificación

Fuente: (Ramos, 2018)

2.1.2. Empacadora semiautomática

Este tipo de máquina está diseñada combinando procesos automáticos y manuales para el empaquetado de productos. Muchas de estas máquinas tienen un formador de bolsa para aprovechar al máximo el plástico. Como se puede ver en la Figura 3. El sistema de dosificación y conformación de la bolsa es automático, mientras que el sellado se lo realiza de forma manual con la ayuda de un pedal, que al ser presionado provoca que las mordazas de sellado se junten y realicen el trabajo, obteniendo así una producción en línea más efectiva y más rápida. Este tipo de máquinas son ideales para micro mercados, con producción moderada. (Expomaquinaria, 2016)



Figura 3 Máquina empacadora semiautomática.
Fuente: (Hooper, 1999)

2.1.3. Máquinas empacadoras automáticas

Este tipo de máquinas combinan sistemas mecánicos, neumáticos o electrónicos para lograr una producción elevada de paquetes, motivo por el cual estas máquinas tienen mayor demanda por grandes empresas y medianas empresas, las cuales tienen un volumen elevado de producción. La Figura 4 muestra una máquina empacadora automática.

El proceso de empaquetado de esta máquina es mucho más sofisticado que las anteriores, ya que todos los procesos están sincronizados, es decir conforma la bolsa, dosifica y sella de manera automática, reduciendo así costos de mano de obra ya que la presencia de un operador solo será requerida para monitorear el trabajo de la empaquetadora. (Hooper, 1999)



Figura 4. Máquina automática de empacado
Fuente: (COMAQ, 2017)

2.2. SISTEMA DE ENVASADO O EMPACADO

2.2.1. Sistema de envasado de 3 costuras

La Figura 5 muestra el sistema de envasado vertical de 3 costuras, dos transversales y un longitudinal. El material se dispensa desde el film de plástico hasta el formador donde se realiza el sellado longitudinal. El plástico es arrastrado mediante un mecanismo de tracción el cual a su vez realiza el sellado de la bolsa en la parte inferior una vez realizada la dosificación, el mecanismo realiza el sellado superior y vuelve a arrastrar el material para continuar con el proceso.

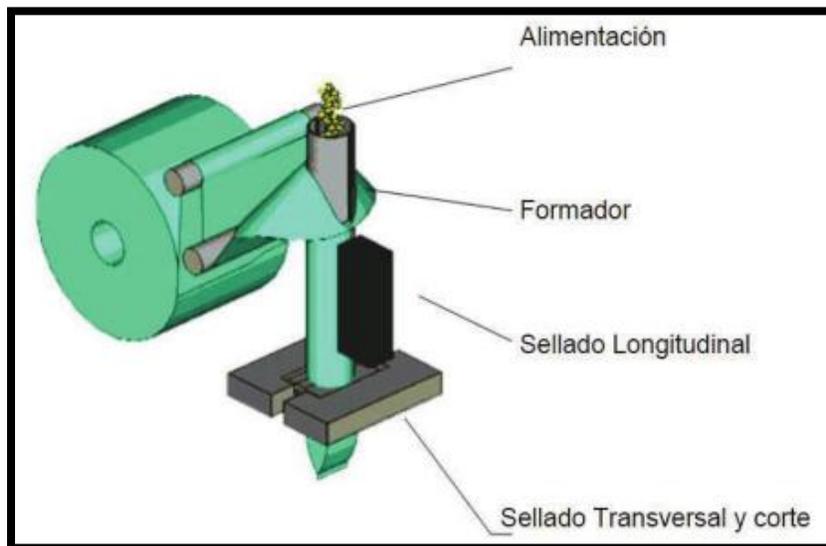


Figura 5. Sistema de envasado de 3 costuras

Fuente: (Instruments, 2014)

2.2.2. Sistema envasado de cuatro costuras

Estas máquinas son diseñadas para cerrar sobres planos de 4 costuras como muestra, ya sea que contengan líquidos, sólidos en polvo y granulados, este sistema es muy sencillo, posee dos bobinas de film de plásticos, las cuales se colocan una en frente de la otra, cuando el film está detenido se produce los sellados longitudinales, posteriormente el film es arrastrado y a la vez se realiza el sellado horizontal inferior, finalmente realiza el sellado horizontal superior de una bolsa e inferior de la bolsa siguiente. (Serrano, 2016).

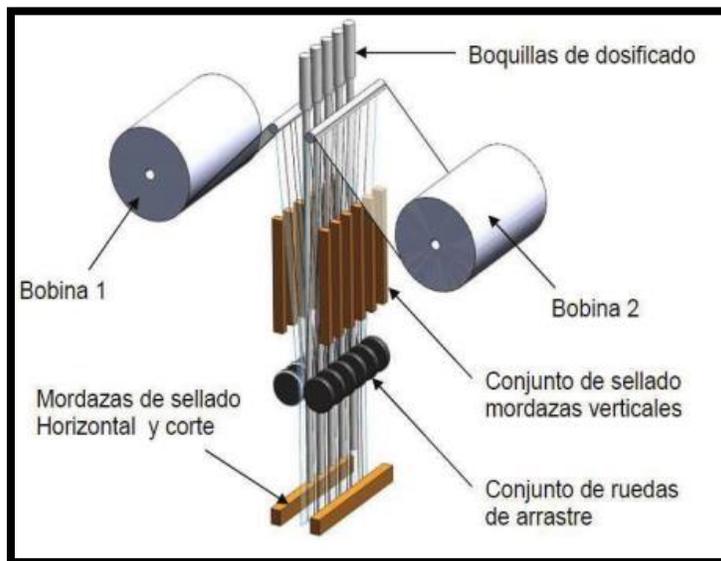


Figura 6. Sistema de envasado de 4 costuras
Fuente: (Serrano, 2016)

2.3.SISTEMA DE PESAJE AUTOMÁTICO

Los sistemas de pesaje y dosificación son de alta importancia para la producción de diversas industrias, por esto conviene disponer de una instalación de pesaje fiable y preciso. Un sistema de dosificación consiste en la medición utilizando tolvas de pesaje, medidores de flujo, entre otros, para tener una secuencia especificada. Estos sistemas se pueden implementar en plantas nuevas o en proyectos ya existentes. (Precisión, 2017).

2.3.1. Sistema basado en tolvas de pesaje

Este método se utiliza para conocer la cantidad de un producto que se encuentra en un recipiente; permite controlar y facilitar el proceso de llenado, pesado y producción de líquidos, polvos, materiales viscosos o sólidos granulados, ya sea que estén almacenados en una tolva o tanque sin que su forma afecte el rendimiento del sistema, para lo cual es necesario adaptar una celda de carga como se puede apreciar en la Figura 7. (Avilés, 2011).

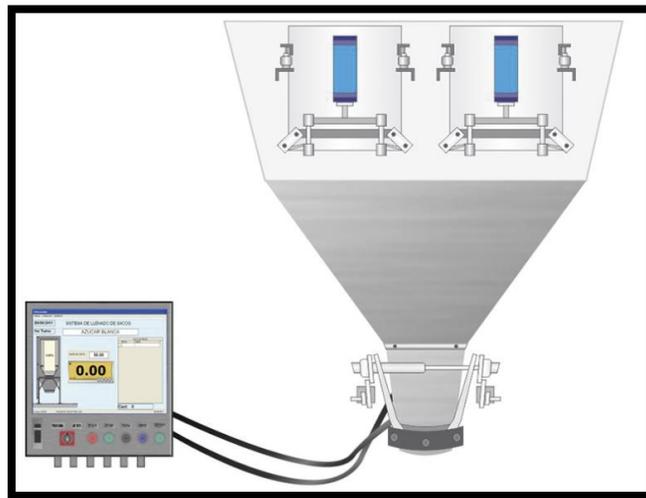


Figura 7. Tolva de pesaje
Fuente: (Precision, 2017)

La información brindada por medio de este sistema de pesaje es constante, es decir que el peso se indica de forma permanente en el momento mismo de la lectura, lo cual es una ventaja ya que no depende de la densidad del producto sino de la masa del contenido a partir del peso. En caso de tener la tolva y requerir el sistema de pesaje se debe colocar la celda de carga en la base de la tova y por medio de un mecanismo electrónico, realizar la calibración de la misma, tener un cero referencial a partir del cual se pesará cualquier tipo de materia prima. (SCAIME, Montaje de celdas de carga en tolvas, 2018)

2.3.2. Sistemas de pesaje de bandas transportadoras

Este tipo de sistema contiene en las cintas transportadoras un mecanismo de pesaje integrado, como muestra la Figura 8, el mismo que determina el peso de manera dinámica, es decir que las cintas se encuentran en constante movimiento, estas cintas deben ser ajustadas al volumen de transporte y tipo de materia prima. (Instruments, 2014)



Figura 8. Cinta transportadora pesadora
Fuente: (INGENIERIA, 2019)

Tipos de cintas transportadoras pesadoras:

- de uno o varios rodillos
- con o sin verificación
- con o sin ajuste de la velocidad de la cinta
- con la función de dosificación
- con función de carga
- con control automático de todo el proceso.

Las cintas transportadoras pesadoras tienen que ser robustas, ya que deben trabajar en diversas condiciones como son vibraciones, temblores, con agua o polvo entre otros (S.L., 2019).

2.3.3. Balanza multi-cabezal

Esta balanza consiste en un sistema que contiene varias células de carga ubicadas dentro de la misma balanza, permitiendo así llegar al peso especificado, al momento de que el peso está listo el producto cae al formador de la máquina envasadora vertical. Este tipo de balanza

permite una alta precisión en el pesaje y velocidad para realizar el empaquetado. (GFT automazioni, 2015).

El pesaje multi-cabezal usa la combinación de pesos a través de varias balanzas como se puede apreciar en la Figura 9, que interactúan de manera aleatoria dependiendo del peso seleccionado, debido a las múltiples tolvas se obtiene una mayor velocidad de producción y se reduce el producto perdido con un margen de error menor a 1g.



Figura 9. Balanza multi-cabezal
Fuente: (Allbiz, 2019)

2.4.SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN

Este tipo de sistemas tiene gran importancia dentro de una empacadora ya que es el encargado de suministrar la dosis justa del producto. Existen diferentes tipos como son:

2.4.1. Dosificadores gravimétricos

Este tipo de dosificador tiene un sistema de pérdida de peso específico, no utilizan una base de calibración de dosificación, operan sobre la base de pérdida de peso por un periodo de

tiempo específico. El sistema utiliza una tolva en la que se almacena el material a dosificar, se puede utilizar de manera continua o por producción de lotes. Las celdas de carga están ubicadas en el contenedor y muestran los cambios de peso al realizar la descarga del material, controlando la velocidad, para lo cual se puede utilizar tornillos, cintas, válvulas rotativas o sistemas de vibración. En la Figura 10 se puede observar un dosificador gravimétrico que utiliza un tornillo sinfín. (Acrison, 2018)



Figura 10. Dosificador gravimétrico.
Fuente: (net, 2019)

2.4.2. Dosificador volumétrico

Este tipo de dosificador expulsa el material en función del volumen como muestra la Figura 11, no mide masa. Para elegir este tipo de dosificador hay que considerar la naturaleza de la sustancia, su fluidez y la cantidad de materia prima, necesita de una calibración constante en especial si la masa volumétrica está sujeta a variaciones. (Bsata, 1990)

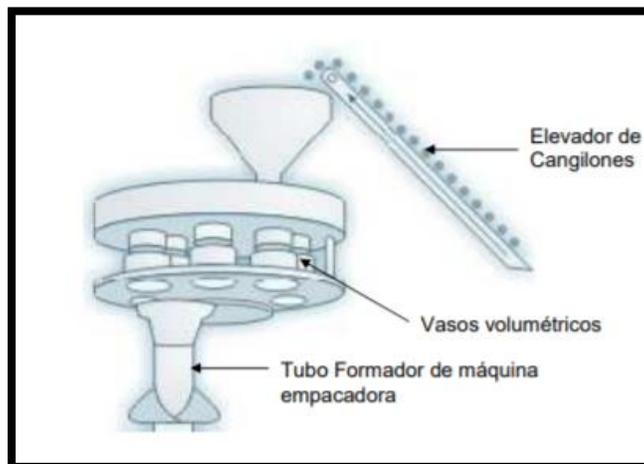


Figura 11. Dosificador Volumétrico.

Fuente: (Moreno, 2010)

2.4.3. Dosificador por tornillo sinfín

El tornillo sinfín es un removedor de giro independiente que realiza la dosificación sin dejar que el producto se aglomere en el mismo, como se puede observar en la Figura 12, son ideales para la dosificación de polvos, en especial para aquellos que tienen cierto grado de dificultad en el deslizamiento. (Moreno, 2010)

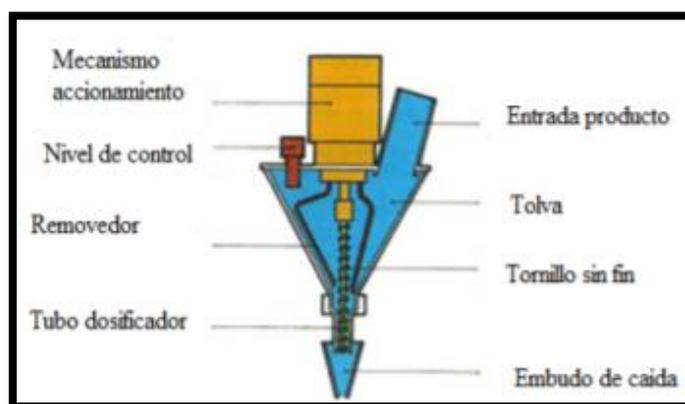


Figura 12. Dosificación por tornillo sinfín

Fuente: (Moreno, 2010)

2.4.4. Dosificador por peso

Con este tipo de dosificadores se puede trabajar con productos tales como: polvo, sólidos o snack de formas irregulares. Cuentan con un alimentador a la celda de carga que ingresa de forma vibratoria como muestra la Figura 13. El control de peso lo realiza de manera digital, logrando así dosificaciones de excelente calidad y alta precisión. (Moreno, 2010)

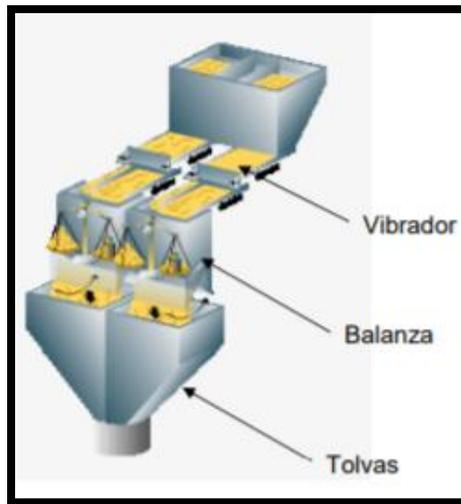


Figura 13. Dosificador por peso

Fuente: (Moreno, 2010)

2.4.5. Dosificador por tiempo

Este tipo de dosificación utiliza variadores de velocidad, los cuales deben ser calibrados, al igual que el tiempo de pesaje, ya que si se cambia la velocidad el tiempo de dosificación también debe cambiar para obtener la media exacta deseada, estos trabajan eficientemente en periodos de tiempo intermitente y cortos. El dosificador por tiempo tiene un tipo de exactitud moderada en la dosificación de productos sólidos y polvos, este tipo de sistema son utilizados principalmente en máquinas para la dosificación de snacks de 30 kg, la Figura 14 muestra una máquina con dosificación por tiempo. (Doser, 2018)



Figura 14. Dosificador por tiempo
Fuente: (Moreno, 2010)

2.4.6. Dosificador por transporte neumático

Este tipo de dosificador se lo utiliza principalmente para trabajar con materiales líquidos y semilíquidos. Está conformado por uno o más pistones que suelen ser impulsados por un cilindro neumático, una válvula y una boquilla como muestra la Figura 15. Este sistema puede ser adaptado en equipos semiautomáticos para pequeñas producciones, estos sistemas están contruidos con acero inoxidable. (Pintado, 2009)

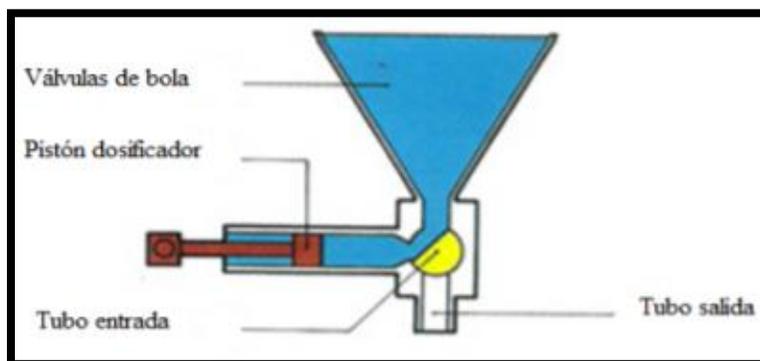


Figura 15. Dosificador por pistón neumático
Fuente: (Ramos, 2018)

2.5.CELDA DE CARGA

La celda de carga es un sensor que se basa en el funcionamiento de una galga extensiométrica, es decir es un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre ella, en una señal eléctrica medible, soporta cargas de compresión, flexión, tensión. Las características eléctricas de las celdas de carga deben coincidir con los requerimientos del módulo de expansión del controlador. Existen varias clasificaciones de celdas de carga ya sea por rangos de trabajo, diseños mecánicos o por características eléctricas. (SCAIME, 2018).

Tipos de celdas de carga

- Celda de carga de único punto

Son usadas en sistemas de pesaje de pequeña escala, su capacidad oscila entre 100mg hasta 50kg, opera con efecto de elasticidad de la viga usando solo un punto

- Celda de carga tipo S

Conocidas también como tipo Z por su estructura externa, pueden ser utilizadas en sistemas de pesaje a compresión o tensión, son utilizadas para la industria, estas celdas de carga se utilizan en pesaje de tanques, tolvas, bin. (Espinoza, 1995)

- Celda de carga de compresión

Se la conoce también como tipo botella, pueden ser utilizadas para labores como: pesaje de tanques, pesaje de tolvas y básculas de plataforma de mediano tamaño entre otras.

- **Celda de carga tipo barra**

Permite la suma de una, dos o más celdas de carga para tener un sistema de pesaje específico con determinados requerimientos, tiene una capacidad de carga que varía entre mediana y alta, útil para actividades industriales o comerciales.

- **Celda de carga doble apoyo**

Se utiliza para aplicaciones en el sector económico, industrial o comercial especialmente se las implementa para entornos corrosivos. (OMEGA, 2013)

2.6.SISTEMA DE ARRASTRE DE FUNDA

Los sistemas de arrastre de funda son fundamentales para realizar el empacado del producto, para posteriormente realizar la dosificación y el sellado de la funda, existen diferentes tipos de sistemas de arrastre los cuales son:

2.6.1. Sistema de arrastre por tornillos

El sistema de arrastre por tornillos se realiza poniendo en contacto los tornillos con el tubo formador de funda, los tornillos deben tener una cubierta antideslizante para evitar la tracción y no tener problemas con los deslizamientos del material al momento de realizar el arrastre el mismo, la Figura 16 muestra el sistema de arrastre utilizando tornillos. (Medina)



Figura 16. Sistema de arrastre por tornillos

Fuente: (Allbiz, 2019)

2.6.2. Sistema de arrastre por bandas

Este sistema utiliza el mismo proceso que el sistema de arrastre por tornillo y rodillos, con las diferencias que las bandas tienen un mayor contacto con la superficie del tubo formador, y de la funda, con lo que se evita la presión en una sola zona, este sistema evita errores de tracción que se producen durante el arrastre. (Moreno, 2010)

2.6.3. Sistema de arrastre por correas

Este tipo de sistema arrastre la funda por medio de correas las cuales son accionadas por medio de un mecanismo de transmisión. Este sistema está fundamentado por la diferencia de los coeficientes de fricción con los que las correas están en contacto, es decir el formador, el plástico y las mismas correas. La Figura 17 muestra el sistema de arrastre por medio de correas. (Rodríguez, 2013)

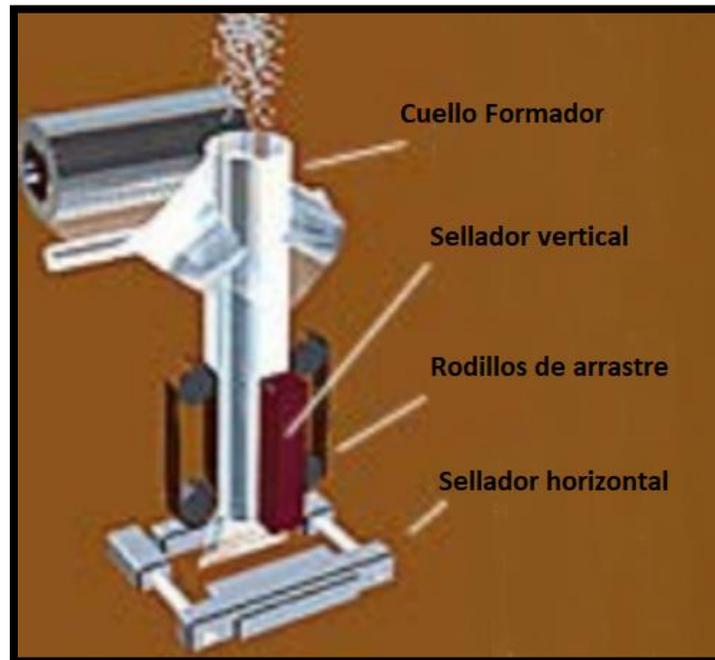


Figura 17. Sistema de arrastre por correas.

Fuente: (Rodríguez, 2013)

2.7.SISTEMA DE SELLADO

Un sellador térmico es una máquina utilizada para el sellado de materiales termoplásticos mono capa o que posean varias capas, siendo un por lo menos una capa plástica, se sellan por medio de calor y presión, el método de sellado por calor utiliza un troquel o barra selladora caliente la cual actúa en el área donde se quiere sellar los termoplásticos (Tecnologins, 2019).

2.7.1. Selladora por barra caliente

Conocida también por sellado térmico en contacto directo, utilizan una o más barras que se calientan por medio de una resistencia en forma de espiral en el interior de los tubos y permanecen a una temperatura constante siempre como se puede observar en la Figura 18.

Debido a que las barras son metálicas se coloca un material antiadherente, para evitar que el plástico a sellar se pegue a la herramienta caliente. (Castro, 2013)



Figura 18. Sellado por barra caliente

Fuente: (Serrano, 2016)

2.7.2. Sellador térmico continuo o selladora de banda

Este tipo de selladora usa correas en movimiento sobre los elementos de calefacción, puede ser horizontal o vertical de acuerdo con las necesidades de los clientes, el modelo vertical es ideal para productos como polvos o líquidos, la horizontal Figura muestra una selladora horizontal. (Castro, 2013)



Figura 19. Selladora de banda horizontal
Fuente: (Castro, 2013)

2.7.3. Sellador por alambre caliente

Este proceso es realizado por medio de un alambre caliente, el cual se encuentra dentro de un mecanismo que produce el sellado y cuidado del alambre, en la Figura 20 se puede observar una selladora que utiliza este método para realizar el proceso. (Serrano, 2016)

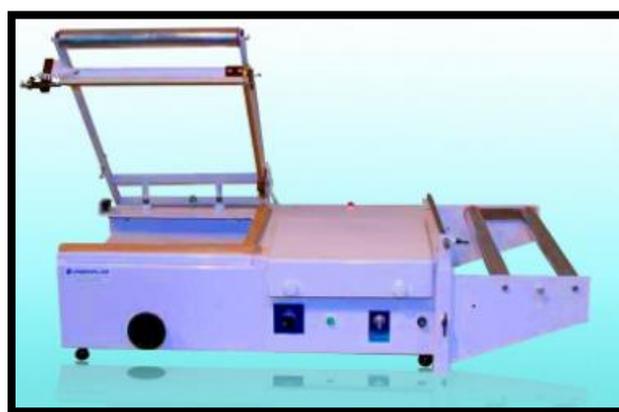


Figura 20. Selladora por alambre caliente
Fuente: (Castro, 2013)

2.7.4. Sellado por lámina

Este tipo de sellado se lo realiza por medio de una resistencia eléctrica o una niquelina con un espesor pequeño, la niquelina se calienta de manera instantánea al conectar la selladora, la niquelina está protegida con teflón para evitar daños en la misma como se observa en la Figura 21, el sellado se realiza aplicando una pequeña fuerza sobre el empaque de plástico, este tipo de selladora es de fácil construcción y tiene un funcionamiento simple, también se pueden regular el tiempo y la temperatura de la misma permitiendo así trabajar con distintos grosores en el material a sellar. (Serrano, 2016)



Figura 21. Selladora por lámina
Fuente: (Serrano, 2016)

2.8.SUPERVISIÓN

Supervisión es un conjunto de acciones que se toman para afirmar que un proceso se está desarrollando de manera adecuada incluso si se presentan anomalías, una dificultad para la

supervisión es la variedad de procesos que existen en la industria y las diferentes teorías sobre estos, limitando así las acciones de supervisión, la cual hoy en día todavía necesita incluir al operario. (Meléndez, 2018)

La supervisión debe contar con las siguientes capacidades:

- Registrar y detectar desviaciones indeseables de las variables
- Analizar y elaborar un diagnóstico sobre estas desviaciones
- Resolver situaciones conflictivas en línea
- Tomar medidas adecuadas.

2.8.1. Supervisión y monitoreo remoto

Los sistemas de supervisión y control remoto (RMM), están diseñados para controlar actividades en instalaciones grandes como son fábricas, naves espaciales, plantas de energía o instalaciones pequeñas con un grado de automatización, estos sistemas reciben datos de sensores, procedimientos entre otros. La supervisión remota es la mejor en cuanto a trabajos donde exista riesgo ambiental, ya que puede tomar decisiones correctivas y el usuario puede observar los datos desde cualquier lugar, por medio de un navegador de internet (Omega, 2015)

La supervisión remota limitada a SCADA en entornos industriales, puede ser aplicada a numerosos campos, que incluyen:

- Redes inteligentes
- Control positivo del tren
- Vigilancia de la salud estructural

- Sensores de tubería
- Monitoreo del paciente
- Supervisión de escritorio / servidor
- Activación y registro de alarmas

La estructura de un sistema SCADA se puede observar en Figura 22.

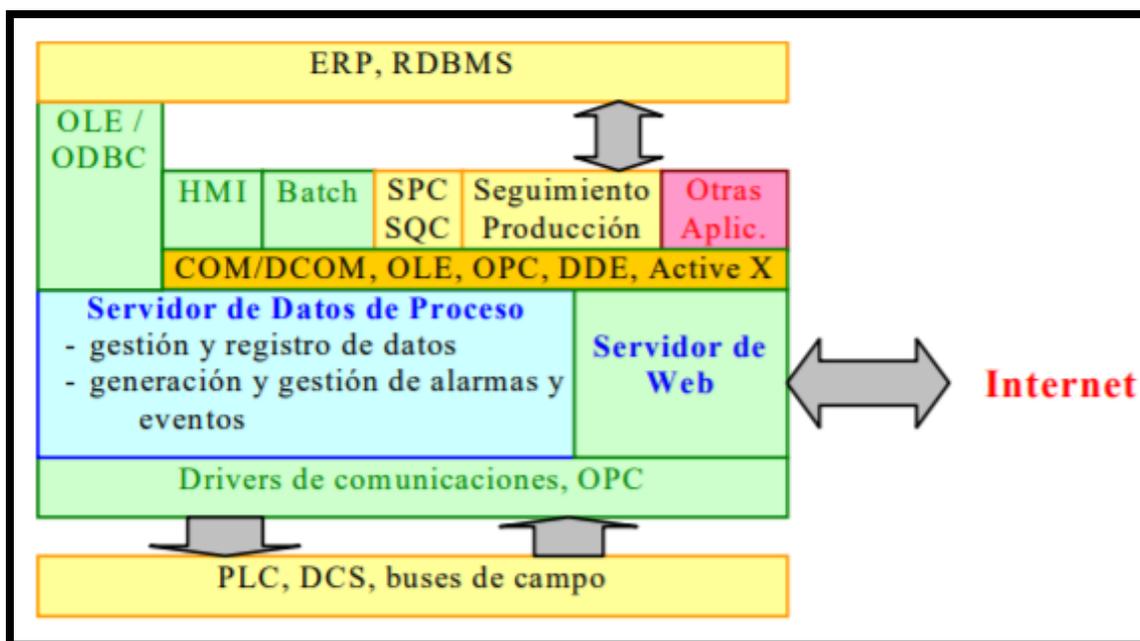


Figura 22. Estructura de un sistema SCADA.

Fuente: (Meléndez, 2018)

2.8.2. Programa de supervisión remota

El programa de supervisión y gestión remota se implementa utilizando un programa conocido como agente, que se instala en los sistemas: cliente, dispositivos móviles entre otros. Los agentes son los encargados de enviar información sobre el estado de la máquina, cuando se detecta un problema o falla en las máquinas; los agentes generan una alerta. (COMODO, 2016)

Las propiedades más importantes de los agentes son:

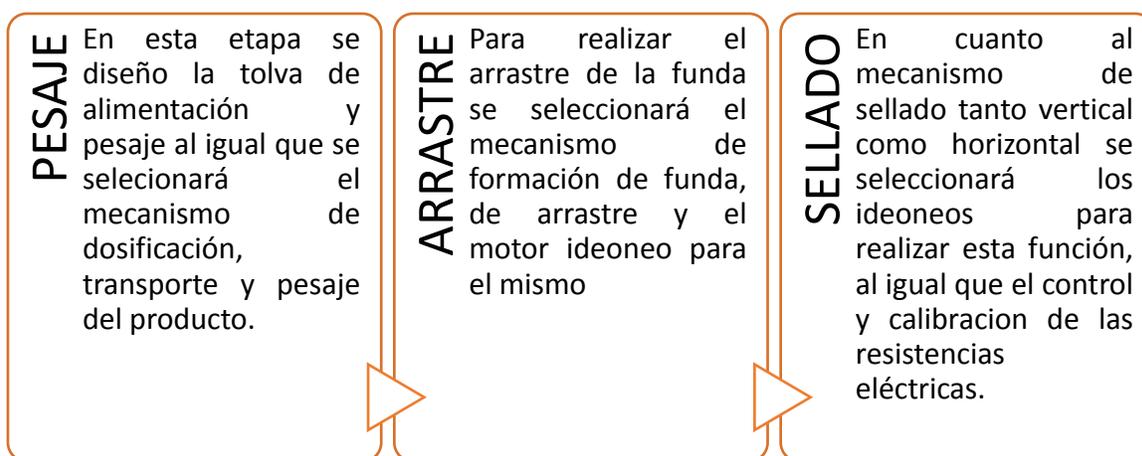
- Autonomía
- Comunicación
- Sociabilidad
- Capacidad de reacción
- Inteligencia
- Movilidad

El software de RMM permite la monitorización remota de puntos terminales, automatización de tareas, resolver problemas sin que este interrumpa al cliente y monitorear dispositivos móviles.

CAPÍTULO III.

DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO.

Para realizar el diseño del sistema de pesaje y sellado de fundas de harina, primero se dividió el sistema por etapas de funcionamiento



3.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES

Para realizar este proyecto se siguió la metodología de Ulrich K. y Eppinger S. (2004), ya que se debe tener en cuenta las necesidades, requerimientos e importancia del cliente para la construcción de la máquina siendo 5 el valor máximo y 1 el mínimo valor. En la Tabla 1 se muestra los requerimientos del cliente.

Tabla 1.*Necesidades del usuario*

Núm.	Necesidad	Importancia.
1	La máquina Reduce el tiempo de producción	4
2	La máquina Permite un fácil manejo	5
3	La máquina No produce polvo mientras trabaja	4
4	La máquina Ruido moderado	2
5	La máquina Trabajar con diferentes tipos de materia prima	5
6	La máquina Fácil de instalar	4
7	La máquina Seguridad al operar la máquina	5
8	La máquina Peso exacto	5
9	La máquina Sellado buena calidad	4
10	La máquina Fácil acceso a la tolva	4
11	La máquina Material apto para el contacto con alimentos	5
12	La máquina Fácil de dar mantenimiento	4
13	La máquina Durabilidad	4
14	La máquina Facilidad de limpieza de la tolva	4

La selección de componentes es de suma importancia debido a que la máquina consta de diferentes subprocesos como son: empacado, pesado y sellado, para los cuales se deben analizar los posibles elementos requeridos para obtener la función completa de la máquina.

Para asegurar la calidad del proceso de desarrollo del producto, se realizó la matriz QFD, (ver Figura 23), la cual traduce los requisitos del cliente en requisitos técnicos para el desarrollo de un producto y califica la relación existente entre ellos siendo:

- 1 no se relacionan

- 3 se relacionan medianamente
- 9 se relaciona fuertemente.

De acuerdo a los resultados obtenidos por medio de la matriz QFD los requerimientos técnicos de mayor importancia son:

- Capacidad de producción
- Dimensiones
- Exactitud de pesado
- Sistema de sellado

3.1.1. Selección del sistema de dosificación

Se diseñó el sistema de dosificación que tendrá la máquina. La Tabla 2 muestra el análisis cuantitativo de los diferentes sistemas de dosificación que fueron explicados en el apartado 2.4, el cual utiliza el siguiente código:

- 0 representa igual a
- - representa mejor que
- + representa peor que

Tabla 2.
Selección del concepto de sistemas de dosificación.

Criterios de selección	Conceptos					
	Volumétrico a	Tornillo	Pesaje	Gravimétrico	Transporte neumático	Tiempo
Costo	0	0	-	0	-	0
Versatilidad	0	0	+	+	-	+
Facilidad de manufactura	+	+	+	0	0	0
Facilidad de mantenimiento	+	0	0	-	-	0
Eficiencia	0	+	+	0	+	-
Rendimiento	0	+	+	0	+	-
Suma +	2	3	4	1	3	1
Suma 0	4	2	1	4	2	3
Suma -	0	0	1	1	2	2
Evaluación neta	2	3	3	0	-1	-1
Lugar 1						
¿Continuar?	Si	Combinar	Combinar	Revisar	No	No

El sistema que mejor se adecua es el volumétrico, sin embargo, se puede obtener una combinación entre el sistema de pesaje y tornillo sinfín para mejorar las características que presentan los mismos y el sistema gravimétrico para ser evaluados posteriormente, los sistemas de transporte neumático y por tiempo son totalmente descartados para los posteriores análisis.

- **Alternativa 1.- Dosificación por caja volumétrica**

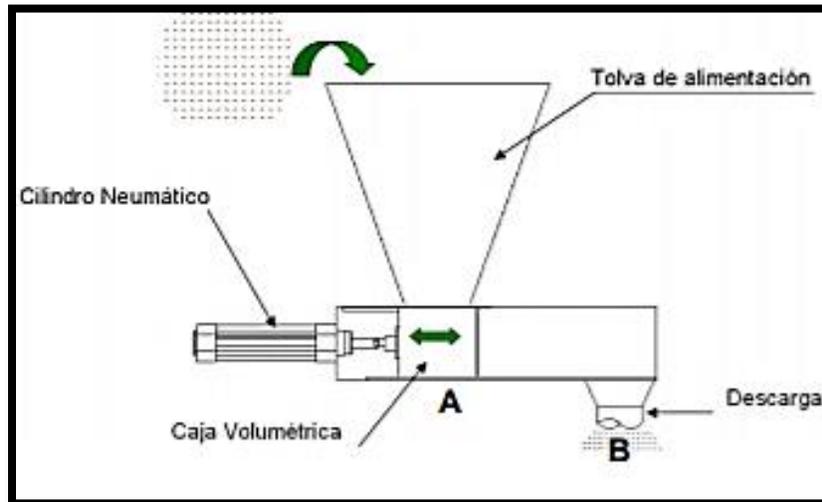


Figura 24. Sistema de dosificación por caja volumétrica
Fuente: (Moreno, 2010)

- **Alternativa 2.-Dosificación por tornillo sinfín y pesaje**

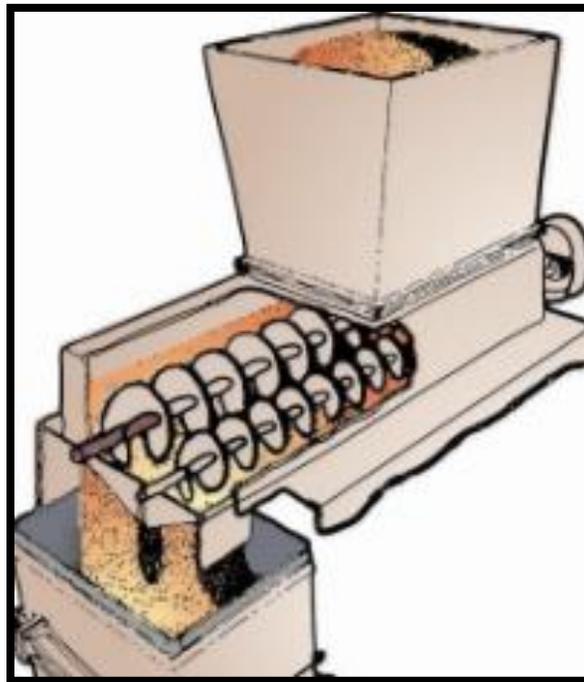


Figura 25. Sistema de dosificación y pesaje
Fuente: (Palmer, 2009)

- Alternativa 3.- Dosificación gravimétrica

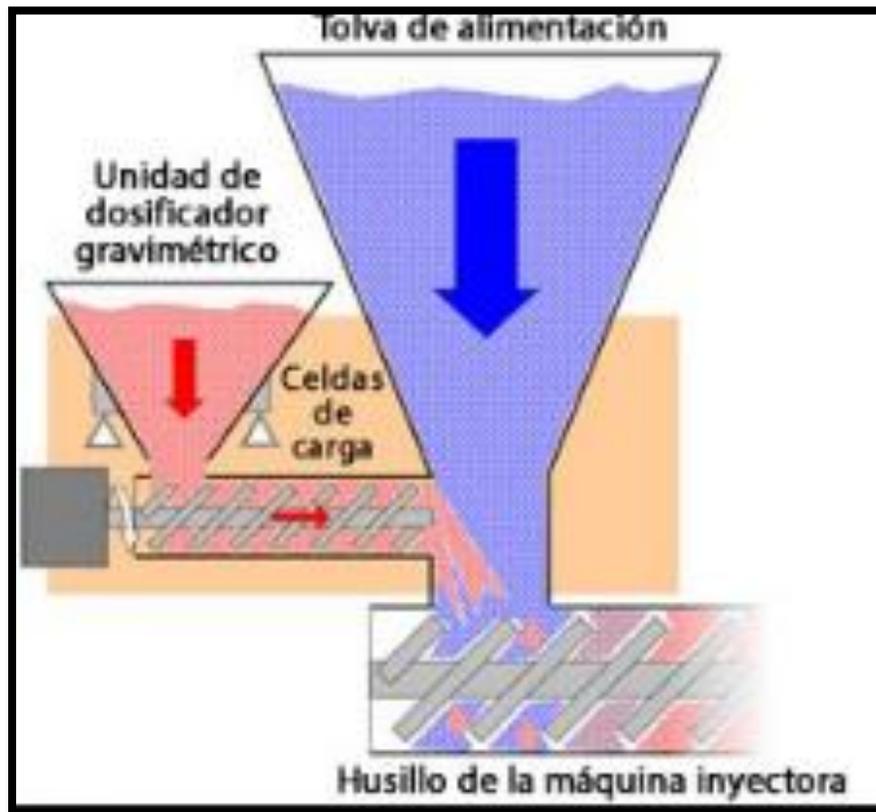


Figura 26. Sistema de dosificación gravimétrica.
Fuente: (MÈXICO, 2019)

En la Tabla 3 se encuentra de manera resumida los sistemas obtenidos de la tabla de selección de elementos para el sistema de dosificación los cuales serán analizados posteriormente.

Tabla 3*Características de diferentes tipos de dosificador seleccionados*

Alternativas	Descripción	Ventajas	Desventajas
Alternativa 1 Dosificación de caja volumétrica	Se utilizan para granos, polvo y líquidos, tiene una caja volumétrica y una tolva de alimentación, la caja volumétrica se traslada de A hacia B donde se produce la descarga. Las cajas intercambiables regulan las cantidades de producto a empacar	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de manufactura y cambio de elemento • Costos moderados • Exactitud aceptable en la cantidad a empacar 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo rendimiento • Para cambiar la cantidad a empacar se debe cambiar la caja. • Reduce el tiempo de funcionamiento
Alternativa 2 Dosificación por tornillo y por pesaje	Es común para dosificación de polvos, el tornillo sinfín se encuentra dentro de la tolva, cuando giran las espiras este dosifica, envía el producto ya dosificado hacia la balanza donde se produce el pesaje.	<ul style="list-style-type: none"> • Fiabilidad de dosificación. • Fácil operación • Costo moderado • Fácil manufactura • Pesaje exacto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento moderado. • Costo moderado
Alternativa 3 Dosificador Gravimétrico	Es un sistema preciso, el cual dosifica por pérdida de peso, el material se va almacenando en la compuerta rotativa, cuando el peso es el necesario lo envía hacia la siguiente tolva	<ul style="list-style-type: none"> • Dosificación moderada • Fácil de manufacturar • Difícil instalación 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo moderado • Difícil instalación

En la Tabla 4 se observa una evaluación cuantitativa realizada con criterios de selección, pesos y calificaciones de cada uno de los conceptos detallados en las alternativas de selección

Tabla 4
Matriz de evaluación de conceptos para el dosificador

Criterios de selección	Sistema de dosificación						
	Volumétrica			Gravimétrico		Por tornillo y pesaje	
	Peso	Calif.	E.	Calif.	E.	Calif.	E.
		Ponderada		Ponderada		Ponderada	
Costo	10	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Versatilidad	15	3	0,45	2	0,3	5	0,75
Facilidad de manufactura	15	5	0,75	5	0,75	5	0,75
Facilidad de mantenimiento	20	2	0,4	5	1	4	0,8
Eficiencia	20	2	0,4	3	0,6	5	1
Rendimiento	20	2	0,4	3	0,6	4	0,8
Total, de puntos			2.7		3.55		4.4

El sistema de dosificación por pesaje y tornillo sinfín, de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la tabla, fue utilizado para el diseño del sistema de dosificación de la máquina.

3.1.2. Selección del sistema de sellado, formador de la funda

Para analizar el sistema de sellado de la máquina de acuerdo con lo requerido por el cliente, se dividió los mecanismos que están dentro del sistema de la siguiente manera: el formador, arrastre de la funda y posteriormente el sellado. (Helguero, 2004)

- **Alternativa 1.- Cuello circular**



Figura 27. Formador de funda cuello circular.
Fuente: (Ingemecánica, 2018)

- **Alternativa2.- Cuello rectangular**

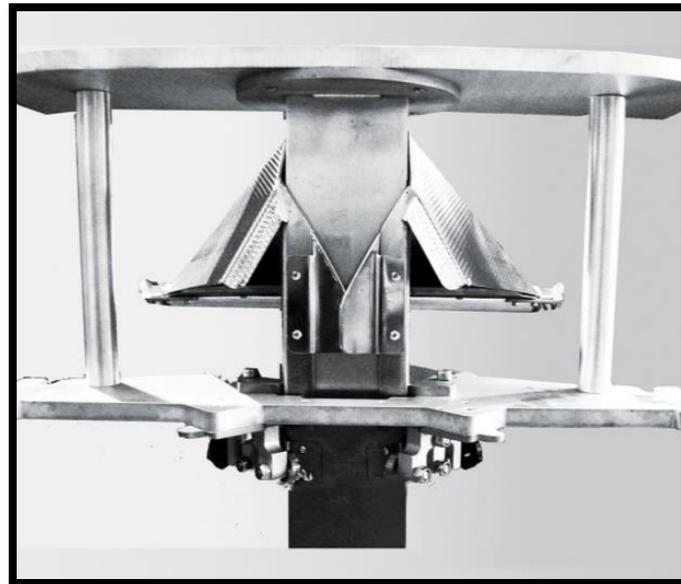


Figura 28. Formador de funda de cuello rectangular.
Fuente: I (Ingemecánica, 2018)

En el caso del sistema formador de funda, no se realiza la selección de concepto debido a que hay únicamente dos conceptos para evaluar, los mismos que se encuentran resumidos en la Tabla 5, para su posterior análisis.

Tabla 5
Sistema formador de funda

Alternativas	Descripción	Ventajas	Desventajas
Alternativa 1 Cuello circular	A partir del film el plástico ingresa por la parte posterior y se enrolla en el tubo formador, consta de un traslape que permite un sellado longitudinal.	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad de manufacturar. Mínimas arrugas en el plástico. Deslizamiento suave 	<ul style="list-style-type: none"> Solo se utiliza con materiales tipo almohadilla
Alternativa 2 rectangular	A partir del film el plástico ingresa por la parte posterior y se enrolla en el conducto rectangular consta de un traslape que permite un sellado longitudinal	<ul style="list-style-type: none"> Versatilidad para cualquier sistema de arrastre 	<ul style="list-style-type: none"> Dificultad de manufactura. El plástico podría rayarse por las esquinas

En la Tabla 6 se observa una evaluación cuantitativa de los dos tipos de formadores de fundas descritas anteriormente.

Tabla 6
Matriz de evaluación de conceptos para el formador

SISTEMA DE FORMACIÓN DE LA FUNDA

Criterios de selección	Cuello Circular			Cuello Rectangular	
	Peso	Calif.	E. Ponderada	Calif.	E. Ponderada
Costo	10	3	0,3	2	0,2
Versatilidad	15	5	0,75	5	0,75
Facilidad de manufactura	15	5	0,75	2	0,3
Facilidad de mantenimiento	20	4	0,8	4	0,8
Eficiencia	20	3	0,6	2	0,4

CONTINÚA →

Rendimiento	20	4	0,8	2	0,4
Total, de puntos				4	2,85
	Lugar			1	2

Para el diseño de máquina se consideró el sistema de formador de funda de cuello circular, debido a los resultados obtenidos, siendo este el más óptimo para realizar el trabajo requerido.

3.1.3. Selección del sistema de arrastre de la funda

Para el sistema de sellado, se diseñó un mecanismo capaz de realizar el arrastre de la funda. Los distintos mecanismos de arrastre serán analizados en la Tabla 7 de manera cuantitativa, el mismo que fueron explicados oportunamente en el marco teórico.

Tabla 7

Selección de componentes sistema de arrastre

Conceptos

Criterios de selección	Por rodillos	Por correa	Por bandas	Por tornillos	Por mordazas de sellado
Costo	+	-	+	-	-
Versatilidad	0	+	+	0	+
Facilidad de manufactura	0	0	0	+	+
Facilidad de mantenimiento	0	0	0	0	+
Eficiencia	0	-	+	-	+
Rendimiento	0	-	0	-	+
Suma +	1	1	3	1	5
Suma 0	5	2	3	2	0
Suma -	0	3	0	3	1
Evaluación neta	1	-2	3	-3	4
Lugar 1					
¿Continuar?	Si	No	Si	No	Si

Los sistemas de arrastre que mejor se adecuan a los requerimientos del cliente son: por rodillo, por bandas y por mordazas de sellado, mientras que los mecanismos por correa y por tornillo quedan descartados del análisis. La Tabla 8 muestra de manera resumida las características de los sistemas escogidos.

- **Alternativa 1.- Arrastre por rodillos**

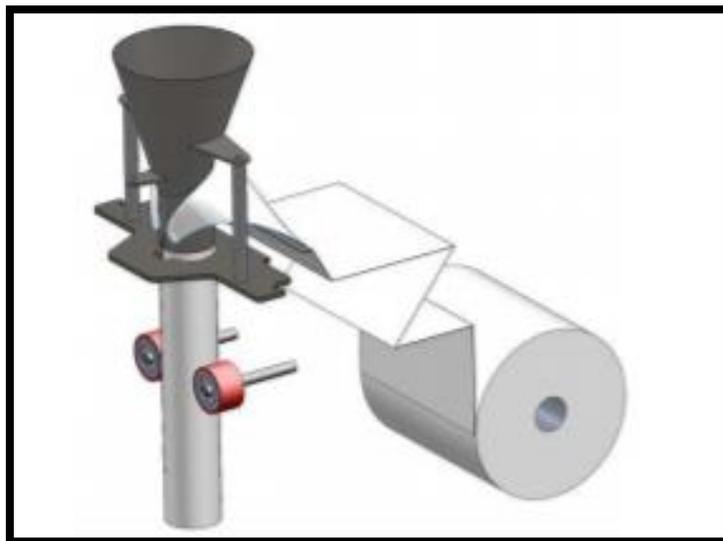


Figura 29. Sistema de arrastre por rodillos:
Fuente: (Iza, 2015).

- **Alternativa 2.- Arrastre por bandas**

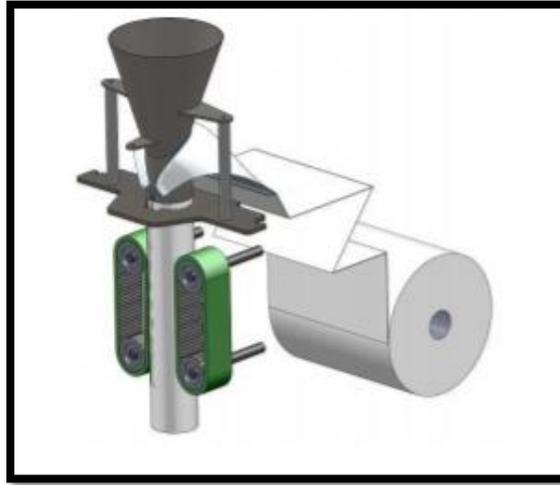


Figura 30. Sistema de arrastre por bandas.
Fuente: (Iza, 2015).

- **Alternativa 3.- Arrastre por mordazas de sellado**

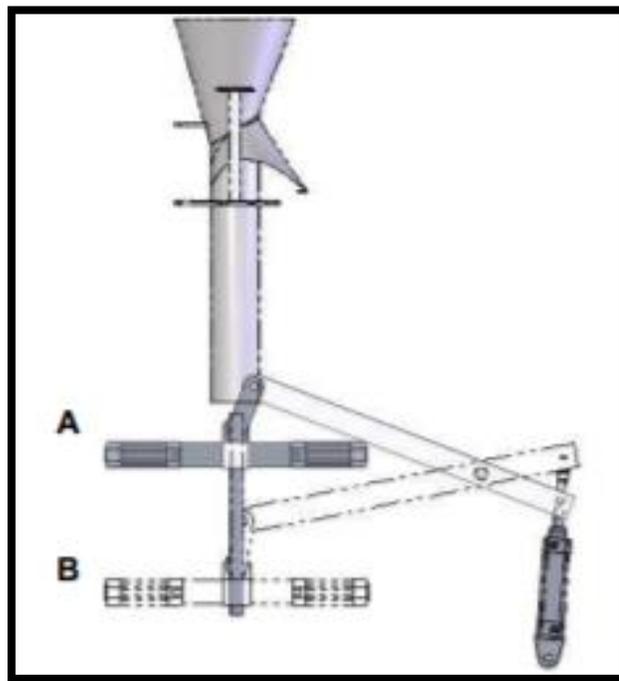


Figura 31. Sistema de arrastre por mordazas de sellado.
Fuente: (Iza, 2015).

Tabla 8
Características de los sistemas seleccionados

Alternativas	Descripción	Ventajas	Desventajas
Alternativa 1 Arrastre por rodillos	Este arrastre se realiza colocando los rodillos junto al tubo formador, los rodillos están cubiertos con antideslizante.	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de manufactura • Fácil de desmontar • Evita errores de tracción 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado • Puede dañar el plástico si existe fricción
Alternativa 2 Arrastre por bandas	Es similar al arrastre por rodillos, los rodillos giran mediante un mecanismo que permite el movimiento de las bandas dependiendo de la velocidad la cual es controlada	<ul style="list-style-type: none"> • Buen deslizamiento • Avance del plástico exacta • Larga vida a útil • Evita errores de tracción 	<ul style="list-style-type: none"> • Sincronización de la banda • Costo alto • Control complicado de las bandas
Alternativa 3 Tracción del material por mordazas de sellado	Tienen un marco donde se colocan las mordazas, mientras las mordazas se cierran, sella y arrastra el film de plástico.	<ul style="list-style-type: none"> • Alto rendimiento 2 procesos en uno • Facilidad de montaje y mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado costo inicial • Espacio amplio • Reducida distancia de apertura • Para empaques de dosis pequeñas

En la Tabla 9 se observa la evaluación cuantitativa realizada con los tres tipos de sistemas de sellado adecuados, para obtener el sistema más óptimo para el diseño de la máquina.

Tabla 9*Matriz de evaluación de conceptos para el sistema arrastre*

Criterios de selección	Por rodillos			Por bandas		Por mordazas de sellado	
	Peso	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Costo	10	1	0,1	1	0,1	1	0,1
Versatilidad	15	3	0,45	2	0,3	2	0,3
Facilidad de manufactura	15	5	0,75	4	0,6	3	0,45
Facilidad de mantenimiento	20	5	1	4	0,8	3	0,6
Eficiencia	20	4	0,8	4	0,8	4	0,8
Rendimiento	20	4	0,8	5	1	5	1
Total, de puntos			3,9		3,6		3,25
	Lugar		1		2		3

Para el sistema de sellado, el arrastre de la funda con rodillos será considerado en el diseño de la máquina.

3.2.MATERIALES UTILIZADOS

3.2.1. Material en contacto con la materia prima

De acuerdo con el Reglamento de Buenas Prácticas para Alimentos Procesados (Decreto Ejecutivo 3253, 2002), el material idóneo para el contacto con alimentos debe tener las siguientes características:

- No debe transmitir sustancias tóxicas, olores ni sabores
- No debe desprender partículas que afecten al alimento
- Fácil de limpiar y desinfectar
- Resistentes a la corrosión, inerte y no poroso
- No debe ser susceptible al deterioro (Ejecutivo, 2002)

Por lo tanto, para el diseño de los diferentes sistemas que estarán en contacto con la materia prima se escogió acero inoxidable AISI 304, ya que este cumple con la mayoría de los requerimientos del Decreto Ejecutivo 3253 y es uno de los aceros más utilizados en la industria alimenticia. El acero AISI 304 presenta las siguientes características:

- Elevada resistencia a la corrosión.
- Superficie totalmente compactada.
- Elevada resistencia a choques y tensiones mecánicas.
- Elevada resistencia a variaciones térmicas.
- Ausencia de recubrimientos de fácil deterioro.
- No aporta partículas por desprendimiento.
- Óptima capacidad de limpieza y, en consecuencia, elevado grado de eliminación de bacterias.
- Sumamente higiénico. (Milvaques, 2015)

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

3.3.1. Producto a suministrar

El material que va a ser suministrado en esta máquina es un producto alimenticio molido y seco como: machica, morocho, etc. El presente proyecto está diseñado para una capacidad de medio quintal de materia prima en la tolva, de acuerdo a los requerimientos del cliente dicho peso equivale aproximadamente a 23kg de peso en la tolva, el estudio de los sistemas de la máquina se los realizó en base a la machica gruesa debido a que esta tiene mayor volumen en comparación con las diferentes harinas que produce el cliente.

3.3.2. Volumen del producto a suministrar

Para realizar el cálculo del volumen es necesario conocer los valores que se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10.

Características para el sistema de alimentación

Especificación	Valor
Densidad de la machica	$4.989 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$
Cantidad de materia prima máxima	23 kg

En la Ecuación 1 se observa la fórmula utilizada para calcular el volumen de los distintos productos en base a la densidad de los mismos

$$V_m = \frac{m}{\delta} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

δ : Densidad $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}\right)$

m: Masa (Kg)

V_m : Volumen (cm^3)

Al reemplazar los datos de la Tabla 10 en la ecuación se obtiene:

$$V_m = 46101.42 \text{ cm}^3$$

3.3.3. Dimensionamiento de la tolva

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) las tolvas de dosificación mediante tornillo transportador, deben tener la forma de una pirámide regular invertida de base cuadrada o rectangular, por lo que la tolva para el presente proyecto se diseñó con las siguientes características y partes: (Agricultura, 2019)

- Material: Acero inoxidable AISI 304 espesor 2 mm
- Carga máxima: 23 kg.
- Sección recta
- Sección variable

La forma y partes de la tolva se puede observar en la Figura 32.

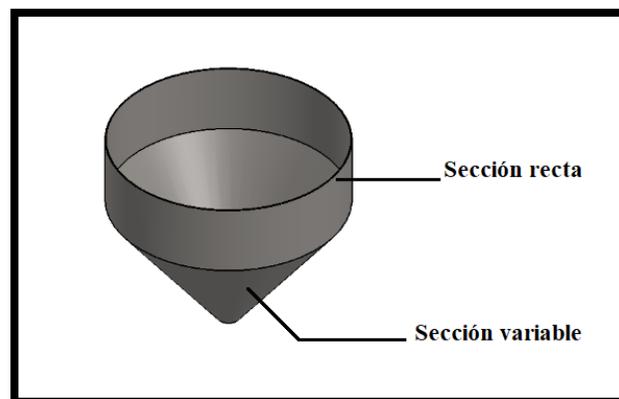


Figura 32. Partes de la Tolva

El cliente requirió que el tamaño de la tolva no exceda los 55 cm tanto en alto como ancho por lo que la tolva se diseñó con las medidas que se indican en la Figura 33.

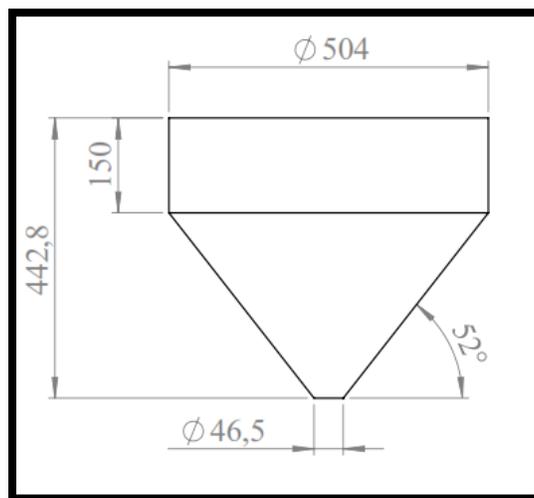


Figura 33. Medidas de la tolva en mm

Rodríguez (2013) plantea que la fórmula expresada en la Ecuación 2, se utiliza para el volumen de la tolva con las características descritas en la Figura 33. El volumen calculado de la tolva debe ser mayor al volumen de la materia prima, para asegurar el diseño a los requerimientos del cliente.

$$V_t = \frac{\pi}{24 \tan \phi} [a^3 - b^3] + \frac{\pi}{4} (a^2 * h) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

V_t : Volumen de la capacidad de la tolva cm^3

h : Altura de la sección recta (cm)

a : Diámetro de la sección recta (cm)

b: Diámetro de la sección variable(cm)

\emptyset : Angulo de inclinación de la tolva (cm)

Al colocar los valores que se muestran en la Figura 33 de la tolva, en la Ecuación 2 se obtiene:

$$V_t = 50000 \text{ cm}^3$$

3.3.4. Diseño de la estructura del proyecto

Para el diseño de la tolva se consideró la cantidad de materia prima que el cliente colocará en la tolva para el proceso de pesado y sellado. Los pesos a considerar son:

- Peso máximo de la materia prima: 23 kg
- Peso de la tolva vacía: 8.974 kg

3.3.5. Fuerza máxima a soportar

Se consideró todas las fuerzas presentes sobre la misma en condiciones máximas como se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11.
Fuerzas de la estructura

Descripción	Fuerza	Unidades
Tolva	824.83	N
Balanza	62.63	N
Formador funda	148.03	N
Sellado Vertical	51.15	N
Mecanismo de arrastre	257.99	N
Sellado horizontal	198.83	N
Total	1543.46	N

3.3.6. Análisis CAE de la estructura

Para analizar la estructura del proyecto se procedió a introducir los valores indicados en la Tabla 11 de las fuerzas, las condiciones de frontera, sujeciones y fuerzas, en un software CAE se obtiene la gráfica mostrada en Figura 34.

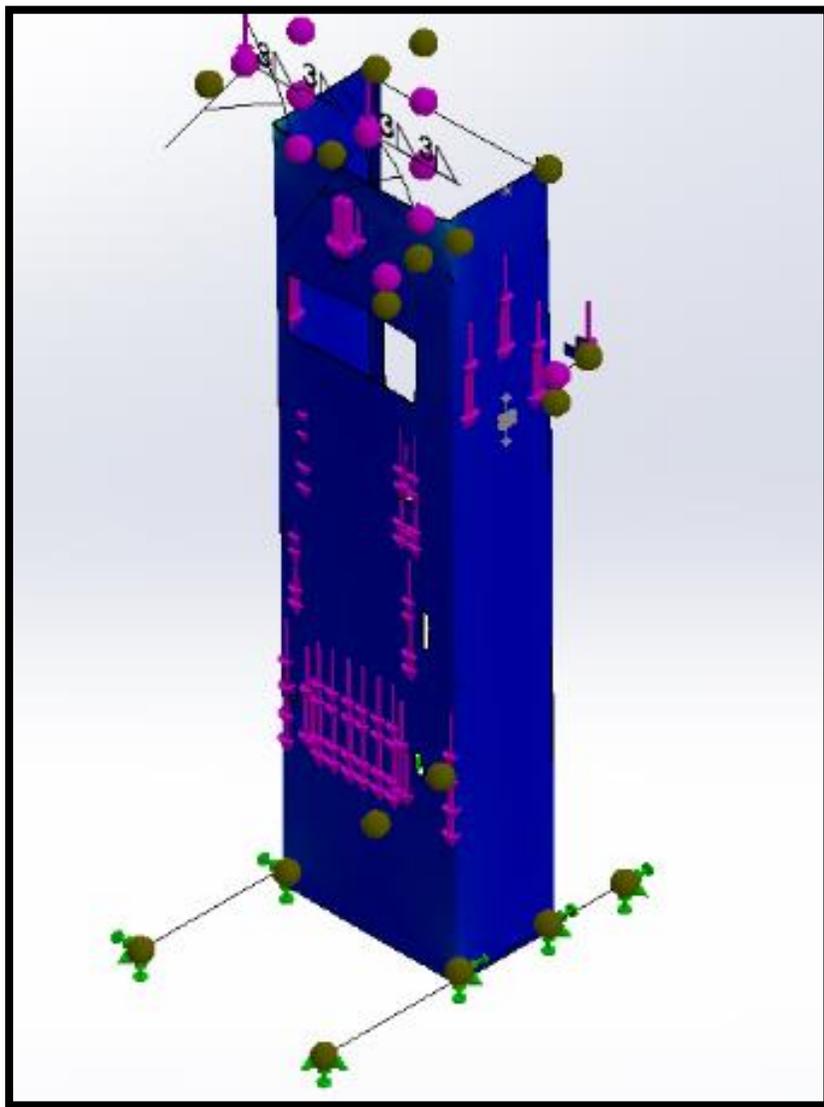
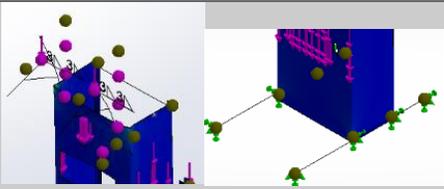
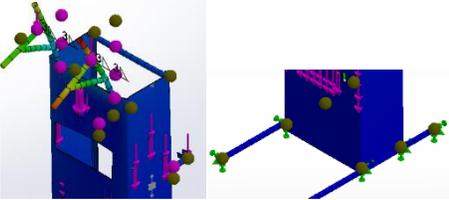
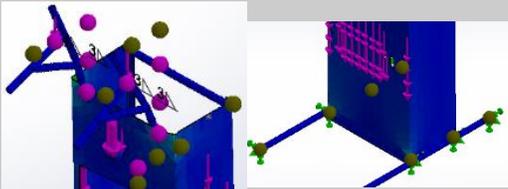
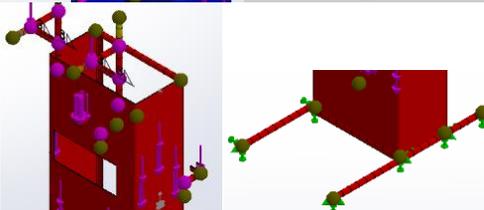


Figura 34. Representación de las fuerzas

Posteriormente se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12.
Resultados análisis CAE

Descripción	Gráfica	Valor	Unidad
Tensiones de Von Mises		2.34×10^8	$\frac{N^2}{m}$
Límite elástico		2.5×10^8	
Desplazamiento máximo		2.34	mm
Deformación unitaria		2.758×10^{-4}	
Factor de seguridad		2.6	$\frac{S}{n}$

Los resultados obtenidos en la Tabla 12 muestran que la estructura es segura ya que la deformación presentada es mínima, además de tener un factor de seguridad de 2.6 de acuerdo con el libro de Mott el cual enuncia que el valor mínimo es de 1, se demuestra que la estructura trabajara bien con la carga al máximo.

3.4.DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

3.4.1. Diseño del tornillo sinfín

El tornillo sinfín consta de las partes especificadas en la Figura 35 las cuales se utilizaron de referencia para el diseño del mismo.

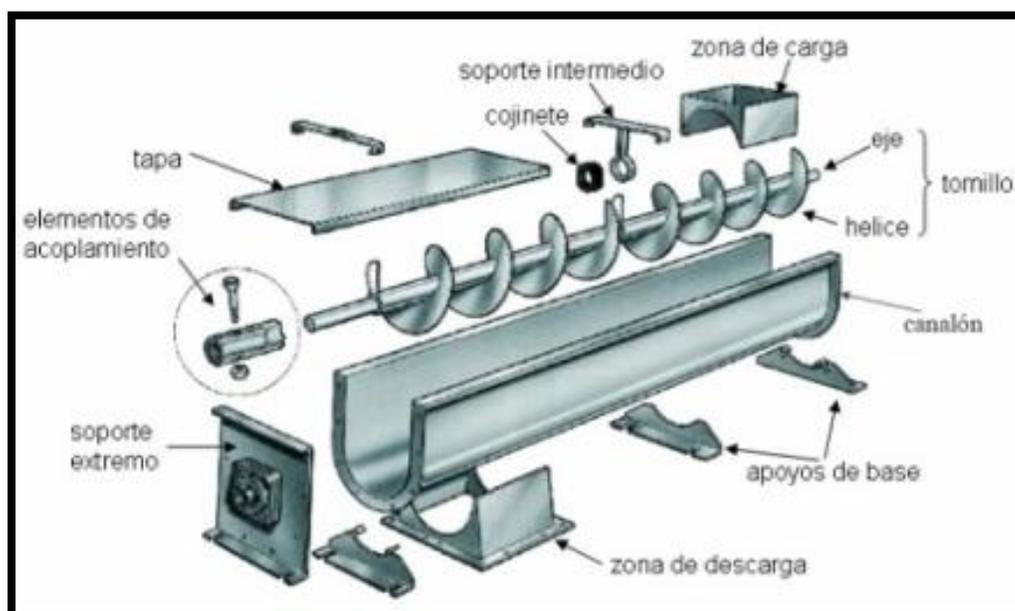


Figura 35. Partes tornillo sinfín

Fuente: (Ingemecánica, 2018)

Para el diseño del tornillo sinfín se utilizó una hélice de diámetro continuo como muestra la Figura 36, ya que este tipo de hélice se utiliza para el transporte de sólidos en tolvas.

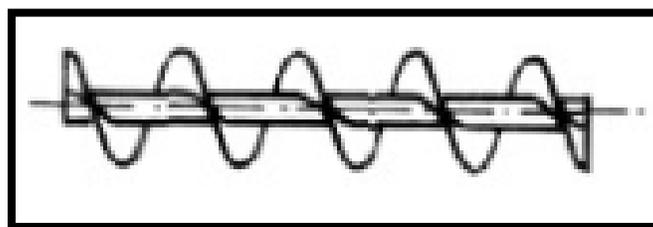


Figura 36. Tornillo sinfín de hélice continua.

Fuente: (Ingemecánica, 2018)

La materia prima con la que trabajará la máquina pertenece a la clase 1, la cual corresponde a materiales como: cebada, trigo, harina de trigo y similares. En la Tabla 13 se observan los diámetros y velocidades del tornillo sinfín para materiales de clase 1, las velocidades pueden generalizarse en valores hasta 50 rpm para materiales pesados y hasta 150 rpm para materiales ligeros.

Tabla 13

Diámetros y velocidades del tornillo sinfín

Diámetro del tornillo (cm)	Velocidad máxima (r.p.m.)
10	180
20	160
30	140
40	120
50	100
60	90

Fuente: (Ingemecánica, 2018)

- **Paso y diámetro del tornillo**

De acuerdo a la información tomada de Ingemecánica (2018), la relación del tornillo sinfín suele variar entre 0.5 y 1 veces la medida del diámetro del mismo, para el diseño del tornillo se consideró las siguientes medidas tomando la relación de 0.5 entre en diámetro y el paso del tornillo. (Ingemecánica, 2018)

- Diámetro del tornillo: 4.6 cm
- Paso del tornillo: 2.3 cm

- **Área de relleno**

La fórmula para el cálculo del área de relleno del canalón publicado por Ingemecánica (2018) se encuentra expresada en la Ecuación 3.

$$S = \lambda \frac{\pi d_c^2}{4}$$

Donde:

d_c : Diámetro del canalón

S: Área de relleno del transportador (cm^2)

λ : Coeficiente de relleno de la sección

La Figura 37 muestra las medidas y diseño del canalón y carcasa para el tornillo sinfín

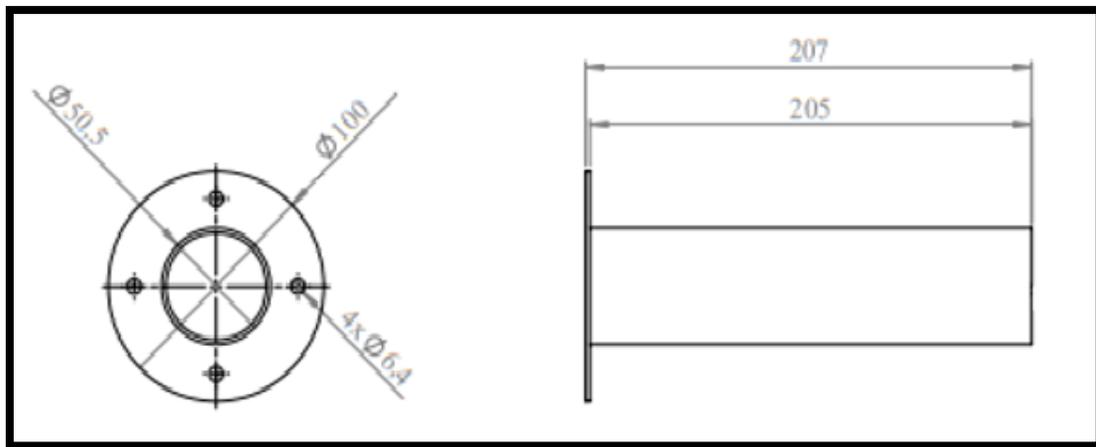


Figura 37. Medidas del canalón en mm

En el libro de Ray (2008) manifiesta que el coeficiente de relleno para materiales no abrasivo y de flujo libre es de 0.4. Al remplazar los datos en la ecuación se obtiene:

$$S = 6.64 \text{ cm}^2$$

- **Velocidad de desplazamiento**

De acuerdo con el artículo la Ecuación 4 muestra la fórmula del cálculo de la velocidad de desplazamiento de los tornillos sinfín dosificadores.

$$v = \frac{p n}{60} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

v: Velocidad de desplazamiento $\left(\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$

p: Paso del tornillo (cm)

n: Velocidad de giro del eje en (r.p.m.)

Se utilizó un valor de velocidad de 150 rpm debido a que es el valor máximo utilizado para el transporte de materiales ligeros, al reemplazar los datos en la Ecuación 4 se obtiene:

$$v = 5.75 \text{ cm} * \text{rpm} \approx 0.60 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

- **Flujo del material**

Ingemecánica (2018) manifiesta que la Ecuación 5 es utilizada para el cálculo del flujo del material de un tornillo sinfín es decir calcula la capacidad de transporte que tiene el mismo.

$$Q = 3600 S v \delta i \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Q: Flujo del material $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$

S: Área de relleno del transportador (cm^2)

v: Velocidad de desplazamiento $\left(\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$

δ : Densidad del material transportado $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}\right)$

i: Coeficiente de disminución de flujo del material por inclinación del canalón

El proyecto se diseñó sin inclinación para el tornillo sinfín, por lo que el coeficiente de disminución es igual a uno, al reemplazar las incógnitas se obtiene:

$$Q = 7.15 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \approx 25.74 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

- **Potencia total requerida**

La Ecuación 6 muestra la fórmula para calcular la potencia total requerida para accionar un tornillo sinfín.

$$P_t = P_H + P_N + P_{st} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

P_t : Potencia requerida (kW)

P_H : Potencia necesaria para que el material se desplace (kW)

P_N : Potencia para accionar el tornillo en vacío (kW)

P_{st} : Potencia para vencer las resistencias en caso de inclinación (kW)

Debido a que el presente proyecto no cuenta con inclinación en el tornillo sinfín por lo que la potencia en caso de inclinación no se toma en cuenta. Según Rodríguez (2013), la Ecuación 7 muestra la fórmula de la potencia total requerida que se ocupó para el diseño del tornillo sinfín.

$$P_t = \frac{c_0 Q(L)}{367} + \frac{d_c L}{20}$$

Donde:

P_t : Potencia requerida (kW)

Q : Flujo del material $\left(\frac{t}{h}\right)$

c_0 : Coeficiente de resistencia del material

L : Longitud del transportador (m)

Sabiendo que el coeficiente de resistencia para harina, serrín y productos granulados tiene un valor de 1.2, al reemplazar este y los diferentes los datos en la ecuación se obtiene:

$$P_t = 0.9885 \text{ kW} \approx 0.1314 \text{ HP}$$

Se utilizó un servo motor hibrido de P_r 0.14 HP por la potencia requerida para el tornillo sinfín.

3.4.2. Diseño del eje del tornillo

De acuerdo con Mott (2002), el eje que posee el tornillo sinfín dosificador es un cilindro hueco, el cual soporta cargas axiales, pero como su efecto es mínimo se pueden omitir; también se consideraron cargas de flexión originadas por el peso del mismo tornillo y tensión producida por el torque del motor, como se muestre en Figura 38.

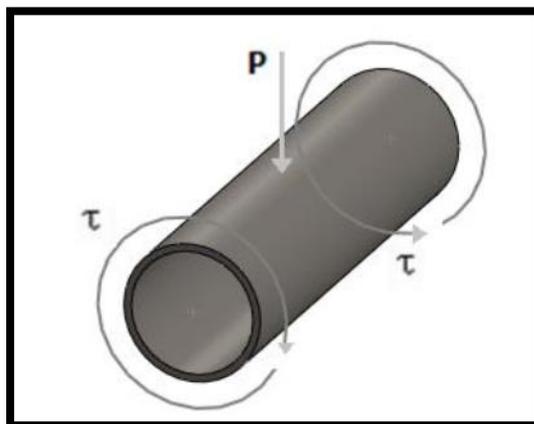


Figura 38. Esfuerzos en el eje del tornillo

Fuente: (Rivera, 2013)

Para el diseño del eje se utilizó un cilindro hueco de acero inoxidable, La Tabla 14 muestra las medidas del eje, las cuales fueron tomadas del catálogo de aceros disponibles en el mercado nacional.

Tabla 14.

Medidas del eje

Incógnitas	Descripción	Valores
l_e	Longitud del eje	48.3 cm
D_e	Diámetro exterior del eje	1.75 cm
d_i	Diámetro interior del eje	1.6 cm
E	Espesor	0.15 cm
w_e	Peso del eje	2.945 N
P	Paso del tornillo	2.6. cm

- **Diseño por flexión**

Para realizar el análisis del eje se utilizó un software de diseño mecánico obteniendo los resultados mostrados en la Figura 39, tomando en cuenta una carga distribuida a la acción de la carga sobre el eje.

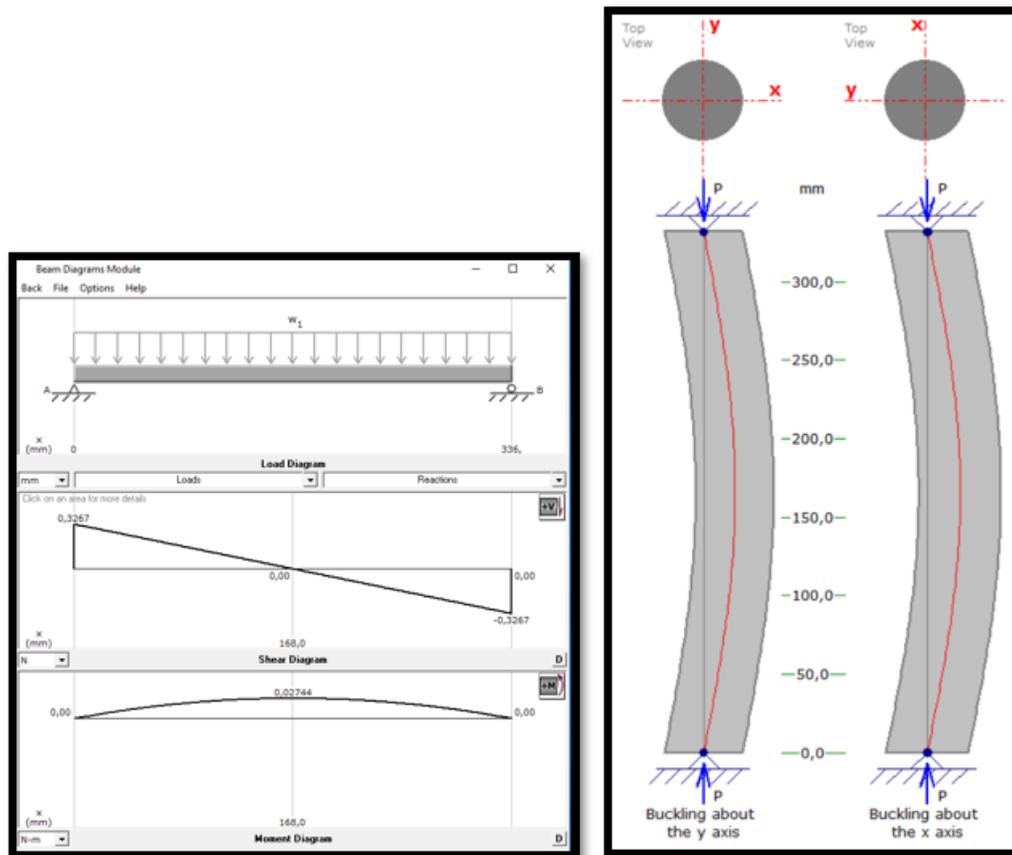


Figura 39. Diagramas de esfuerzo cortante y momento flexionante

Tabla 15.

Datos obtenidos del diagrama

Descripción	Valor
Momento máximo	0,02744 N-m
Fuerza máxima	0,3267 N

Para el diseño del eje se tomó como referencia a Mott (2006), donde se encuentran especificadas las fórmulas para diseño. La fórmula para calcular el esfuerzo por flexión está dada por la Ecuación 8:

$$\sigma_f = \frac{M_{\max}}{R}$$

Ec. 8

Donde:

σ_f : Esfuerzo por flexión (KPa)

M_{\max} : Momento máximo (Nm)

R: Módulo de resistencia (m^3)

El módulo de resistencia R para un cilindro circular hueco está dado por la Ecuación 9

$$R = \frac{\pi}{32D_e} (D_e^4 - d_i^4)$$

Ec. 9

Donde:

R: Módulo de resistencia (cm^3)

D_e : Diámetro exterior del eje (cm^4)

d_i : Diámetro interior del eje (cm^4)

Al reemplazar los datos de la Tabla 14 en la Ecuación 9 se obtiene:

$$R = 0.129 \text{ cm}^3 = 1.29 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Con los resultados obtenidos se procedió a realizar el cálculo del esfuerzo por flexión usando la Ecuación 8, producido por el eje.

$$\sigma_f = 0.2127 \text{ Mpa}$$

- **Diseño de esfuerzo torsión**

El cálculo del esfuerzo por torsión para una sección transversal circular hueca está dada por la Ecuación 10.

$$\tau = \frac{16TD_e}{\pi(D_e^4 - d_i^4)} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

τ : Esfuerzo por torsión (MPa)

T: Momento torsionante (Nm)

Para realizar el cálculo del momento torsionante (T) se utilizó la Ecuación 11.

$$T = \frac{P_r}{n} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

T: Momento torsionante (Nm)

P_r : Potencia real (W)

n: Velocidad de giro del eje $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$

Al reemplazar los valores anteriormente calculados de potencia y velocidad en la sección 3.4.1 se obtiene:

$$T = 7.22 \text{ Nm}$$

Posterior al cálculo del momento torsionante, se procedió a reemplazar los datos en la Ecuación 12 obteniendo:

$$\tau = 27.95 \text{ Mpa}$$

- **Diseño de esfuerzo por cortante debido a flexión**

El cálculo del esfuerzo de corte está dado por la Ecuación 12

$$\tau_c = \frac{2V}{A} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

τ_c : Esfuerzo cortante máximo por flexión (MPa)

V: Fuerza cortante (N)

A: Área de la sección transversal (m^2)

Para realizar el cálculo del área de sección transversal (A) se utilizó la Ecuación 13

$$A = \frac{\pi(D_e^2 - d_i^2)}{4} \quad \text{Ec. 13}$$

Reemplazando los valores de la Tabla 14 se obtiene:

$$A = 3.57 \times 10^{-5} m^2$$

Al reemplazar los datos de A y V = 0.3267 N en la Ecuación 14 se obtiene:

$$\tau_c = 0.0183 \text{ MPa}$$

- **Esfuerzo total**

Para obtener el esfuerzo total se realiza una suma del esfuerzo por torsión y del esfuerzo debido a tensión como muestra la Ecuación 14.

$$\tau_{xy} = \tau_c + \tau \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

τ_{xy} : Fuerza cortante (MPa)

τ_c : Esfuerzo cortante máximo por flexión (MPa)

τ : Esfuerzo por torsión (MPa)

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente se obtiene:

$$\tau_{xy} = 27.97 \text{ Mpa}$$

- **Esfuerzos combinados**

Para obtener los esfuerzos principales y cortante máximo se determinan usando las Ecuaciones 16-18 respectivamente.

- **Esfuerzo principal máximo**

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

τ_{xy} : Fuerza cortante (MPa)

τ_c : Esfuerzo cortante máximo por flexión (MPa)

τ : Esfuerzo por torsión (MPa)

- **Esfuerzo principal mínimo**

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. 16}$$

- **Esfuerzo cortante máximo**

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. 17}$$

La Tabla 16 muestra los resultados de los esfuerzos calculados.

Tabla 16.
Resultados de los esfuerzos

Resultados	Unidades
$\sigma_x = \sigma_f = 0.2127$	Mpa
$\sigma_y = 0$	Mpa
$\tau_{xy} = 27.97$	MPa

Al reemplazar los valores de la Tabla 16 en las ecuaciones se obtiene:

$$\sigma_1 = \frac{0.2127}{2} + \sqrt{\left(\frac{0.2127}{2}\right)^2 + 27.97^2}$$

$$\sigma_1 = 28.076 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{0.2127}{2} - \sqrt{\left(\frac{0.2127}{2}\right)^2 + 27.97^2}$$

$$\sigma_2 = -27.864 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{0.2127}{2}\right)^2 + 27.97^2}$$

$$\tau_{\max} = 27.97 \text{ MPa}$$

La Ecuación 18 muestra la fórmula del cálculo de los esfuerzos de Von Mises.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \quad \text{Ec. 18}$$

Al reemplazar los resultados obtenidos en el cálculo de esfuerzos combinados se tiene:

$$\sigma' = 48.45 \text{ MPa}$$

Para comprobar que el eje diseñado no tendrá ningún tipo de fallas se debe cumplir la condición mostrada en la Ecuación 19 Ec. 19.

$$\sigma' \leq S_y \quad \text{Ec. 19}$$

Conociendo que el factor de fluencia (S_y) para el acero AISI 304 tiene un valor de 276 MPa, al comparar este con el resultado obtenido de los esfuerzos de Von Mises se comprueba que el eje no tendrá fallas.

Factor de seguridad

La fórmula para calcular el factor de seguridad de acuerdo al criterio de Von mises se muestra con la Ecuación 20.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'} \quad \text{Ec. 20}$$

Se procede a reemplazar los datos de esfuerzos combinados y del factor de fluencia se obtiene:

$$FS = 5.6$$

3.4.3. Diseño de la hélice

Para el cálculo de la hélice del tornillo sinfín se tomó en cuenta una viga en voladizo. La Figura 40, muestra las longitudes de la viga y de la hélice.

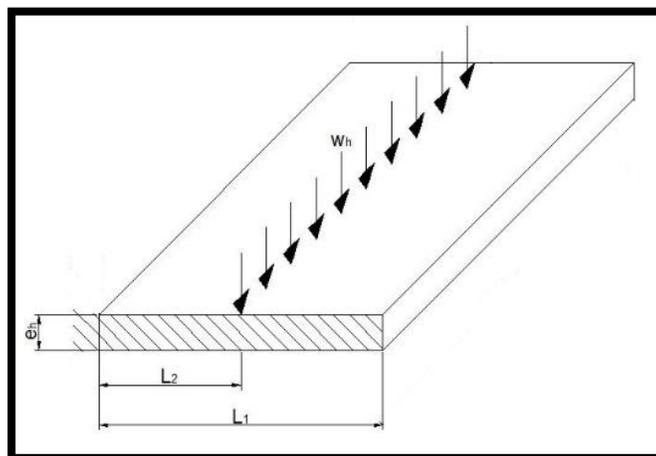


Figura 40. Representación de la Hélice
Fuente: Rivera(2013)

Donde:

L_1 : Ancho de la hélice (cm)

L_2 : Distancia del radio medio (cm)

e_h : Espesor de la hélice (cm)

W_h : Carga máxima que empuja la hélice (N)

n_1 : Número de pasos

r_m : Radio medio (cm)

- **Cálculo del número de pasos.**

La Ecuación 21 muestra la fórmula para realizar el cálculo del número de pasos que tiene la hélice del tornillo sinfín.

$$n_1 = \frac{l_e}{p} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

l_e : Longitud del eje (cm)

p : Paso del tornillo (cm)

n_1 : Número de pasos

Reemplazando los valores necesarios de la Tabla 14, se obtiene:

$$n_1 = 9$$

- **Volumen de llenado de un plano helicoidal**

Según Ortiz (2016), la Ecuación 22 muestra la fórmula para calcular el volumen de llenado de un tornillo sinfín dosificador de transporte.

$$V_h = \frac{\pi}{4} D^2 p$$

Ec. 22

Donde:

V_h : Volumen de llenado de un plano helicoidal

D: Diámetro del tornillo (cm)

p: Paso del tornillo (cm)

Al reemplazar los valores reales que tiene el tornillo sinfín en la expresión se cómo resultado:

$$V_h = 38.22 \text{ cm}^3$$

El resultado de V_h es el volumen que el tornillo sinfín dosificará en una vuelta completa alrededor del eje, pero en realidad esto no sucede por lo que se consideró un porcentaje de 50% para el llenado máximo del tornillo sinfín por vuelta.

$$V_c = x = 19.1 \text{ cm}^3$$

- **Cálculo de la carga máxima del material**

Para calcular la masa que tiene cada paso del tornillo se utilizó la Ecuación 23 Ec. 23 que muestra la fórmula del cálculo de la masa.

$$m = \delta V_c$$

Ec. 23

Donde:

δ : Densidad $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}\right)$

m: Masa (Kg)

V_c : Volumen calculado al 50% (cm^3)

Remplazando la fórmula por los datos reales se obtiene:

$$m = 0.0095 \text{ kg} \approx W_1 = 0.093 \text{ N}$$

El peso obtenido anteriormente corresponde a una vuelta completa del tornillo. Para el proyecto se requiere el análisis en 9 pasos, es decir 9 vueltas del tornillo, la Ecuación 24 corresponde a la fórmula para calcular el peso total.

$$W_t = W_1 n_1 \tag{Ec. 24}$$

Al reemplazar los datos en la ecuación se obtiene:

$$W_t = 0.837 \text{ N}$$

Rivera (2013), enuncia que para el cálculo de la carga máxima de empuje se utiliza la Ecuación 25.

$$W_h = W_t \mu_s \tag{Ec. 25}$$

Donde:

W_h : Carga máxima de empuje (N)

W_t : Peso del material en el tornillo sinfín (N)

μ_s : Factor de fricción del material (2)

Remplazando la fórmula por los datos reales se obtiene:

$$W_h = 1.674 \text{ N}$$

- **Cálculo de los parámetros del sinfín**

Las Ecuaciones (27- 29) muestran las fórmulas para el cálculo de los parámetros del tornillo sinfín: ancho de la hélice, distancia de radio medio y radio medio.

$$L_1 = \frac{D_h}{2} - \frac{D_e}{2} \quad \text{Ec. 26}$$

$$L_2 = \frac{L_1}{2} \quad \text{Ec. 27}$$

$$r_m = \frac{D_e}{2} + L_2 \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

D_e : Diámetro del eje (cm)

D_h : Diámetro de la hélice (cm)

L_1 : Distancia media de la hélice (cm)

L_2 : Distancia tota de la hélice (cm)

Remplazando la fórmula por los datos reales se obtiene los resultados de la Tabla 17.

Tabla 17

Resultados de los parámetros de la hélice

Resultados	
L_1	3.175cm
L_2	1.5875cm
r_m	2.4625 cm

Se realizó el análisis de la hélice utilizando un software de diseño como se muestra en la Figura 41, obteniendo los siguientes resultados:

$$V_h = 2,28 \text{ N}$$

$$M_h = 11,85 \text{ Nm}$$

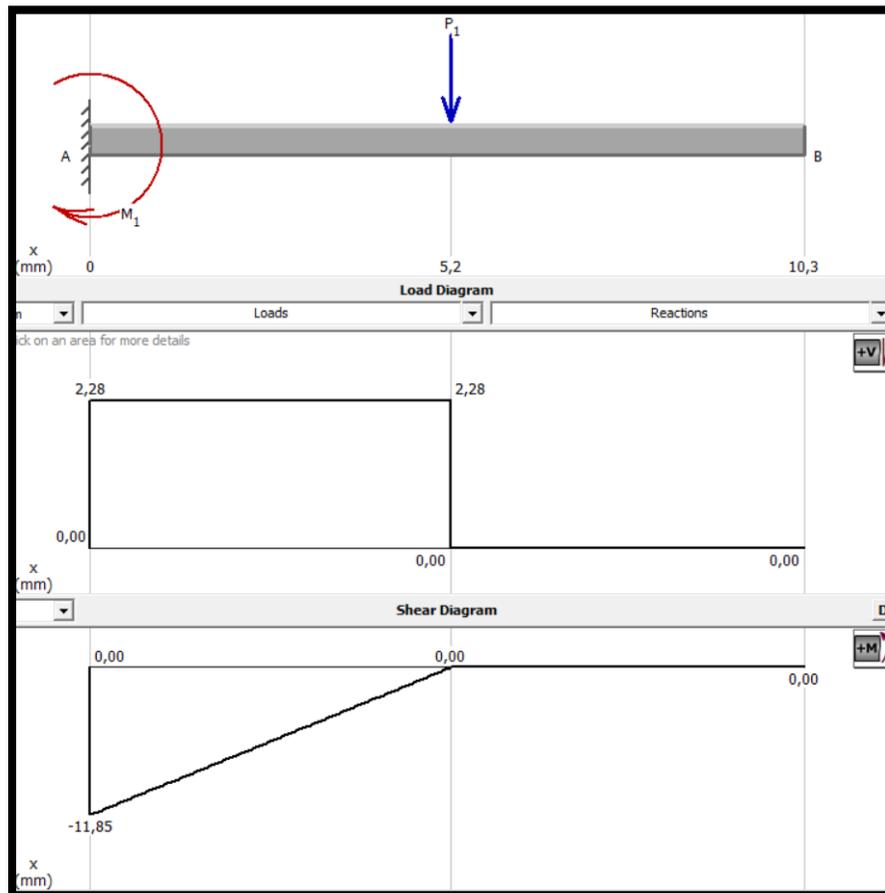


Figura 41. Diagrama de fuerzas de la hélice del tornillo

- **Diseño por esfuerzo cortante**

Para realizar el diseño por fuerza cortante se utiliza la Ecuación 29 Según ASME el esfuerzo admisible en corte en una sección es la siguiente: $F_v = 0.4 s_y$.

$$\tau_{h\max} = \frac{3V_h}{2A_h} \leq F_v \quad \text{Ec. 29}$$

El área de la hélice según Rivera (2013) está dada por la Ecuación 30 Ec. 30:

$$A_h = e_h 2\pi n_1 r_m \quad \text{Ec. 30}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$A_h = 72.76 e_h c$$

Al reemplazar los valores calculados en la Ecuación 29 se obtiene:

$$e_h = 5.1912 \times 10^{-10} \text{ cm}$$

- **Diseño de esfuerzo por flexión**

Para realizar el diseño por fuerza cortante se utiliza la Ecuación 31. Según ASME el esfuerzo flexionante máximo es: $F_b = 0.6 S_y$.

$$\sigma_{h\max} = \frac{e_h M_h}{I_n} \leq F_b \quad \text{Ec. 31}$$

Reemplazando los valores se obtiene la siguiente expresión:

$$\sigma_{h\max} = \frac{e_h M_h}{\frac{e_h^3 2\pi n_1 r_m}{12}} \leq 0.6 S_y$$

$$e_h = 3.435 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

- **Diseño por desgaste**

El diseño por desgaste es de suma importancia debido a que existe contacto entre la hélice y el material, es decir existe fricción y por ende se produce un deterioro de la hélice. Según Rivera (2013), la fórmula para el cálculo del desgaste está dada por la Ecuación 32.

$$V_d = \frac{k_d F X_d}{3P_f} \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

V_d : Volumen del material (cm^3)

k_d : Coeficiente de desgaste (5×10^{-6})

F: Fuerza en el punto de contacto $=W_h = 2.278$ (N)

X_d : Distancia de desplazamiento del punto de desgaste

P_f : Presión de flujo

- **Presión de flujo**

La presión de flujo se calculó según la Ecuación 33

$$P_f = 3 S_y \quad \text{Ec. 33}$$

Al reemplazar los datos del factor de fluencia en la Ecuación 33 se obtiene:

$$P_f = 828 \text{ MPa}$$

- **Tiempo de ciclo**

El tiempo de ciclo del tornillo sinfín está dado por la Ecuación 34

$$\text{ciclo} = n n_1 \quad \text{Ec. 34}$$

Tomando en cuenta que $n=150 \text{ rpm} \approx 0.064\text{s}$ y reemplazando la fórmula por los datos reales se obtiene:

$$\text{ciclo} = 0.064(8)$$

$$\text{ciclo} = 0.52 \text{ s} = 7200 \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}}$$

- **Longitud de desgaste**

La longitud de desgaste del tornillo sinfín está dada por la Ecuación 35.

$$L_d = 2\pi n_1 r_m \quad \text{Ec. 35}$$

Donde:

L_d : Longitud de desgaste (cm)

Reemplazando los valores en la Ecuación 35, se obtiene:

$$L_d = 79.62 \text{ cm}$$

- **Distancia de desplazamiento del punto de desgaste**

La máquina trabajará 20 horas a la semana es decir que al año trabajará aproximadamente 1080 horas. El cálculo de distancia de desplazamiento del punto de desgaste se realizó tomando en cuenta la Ecuación 36.

$$X_d = \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}} (L_d)(\text{Horas de trabajo}) \quad \text{Ec. 36}$$

Reemplazando los valores de tiempo de ciclo y longitud de desgaste, se obtiene:

$$X_d = 619125120 \text{ cm}$$

- **Coefficiente de desgaste**

El coeficiente de desgaste K_d se obtuvo a partir de la Tabla 18.

Tabla 18.*Valores de K_d*

Lubricación de las Superficies	Valores Típicos de K_d		
	Metal-Metal		No metálicos
	Deseable	No deseable	Metálicos
Limpia	5×10^{-3}	2×10^{-4}	5×10^{-6}
Pobre	2×10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-6}
Promedio	2×10^{-5}	2×10^{-5}	5×10^{-6}
Excelente	2×10^{-6}	2×10^{-6}	5×10^{-6}
	5×10^{-7}	2×10^{-7}	

Fuente: (Nisbett, 2008)

$$K_d = 5 \times 10^{-6}$$

- **Volumen de desgaste**

El cálculo del volumen de desgaste se realizó a partir de la Ecuación Ec. 37

$$V_d = L_d L_1 e_d \quad \text{Ec. 37}$$

Reemplazando los valores reales se obtiene:

$$V_d = 82.25 (e_d) \text{ cm}^2$$

Al igualar los valores obtenidos de la Ecuación 37 y la Ecuación 32 se obtuvo:

$$\frac{k_d F X_d}{3 P_f} = 82.25 (e_d)$$

$$e_d = 0.042 \text{ cm}$$

El espesor de la hélice se obtiene por medio de la Ecuación 38.

$$e = e_h + e_d \quad \text{Ec. 38}$$

Se elige el valor más alto del espesor calculado en el diseño de cortante y de flexión y reemplazar los valores en la Ecuación 38, se obtiene:

$$e = 0.042 \text{ cm} = 0.0042 \text{ mm}$$

Para seleccionar el espesor de la hélice se tomó en cuenta los valores estándares existentes en el mercado, por lo tanto, se optó por un espesor de 1 mm.

3.4.4. Diseño del formador de funda

El formado de la funda para el envasado se realizará a partir de un film de plástico, una vez formada la funda se procederá al envasado y sellado del material plástico. Para obtener el diámetro del tubo formador de funda, se parte de las dimensiones que debe tener la funda al final de proceso, el cliente proporcionó los datos de la Tabla 19, para trabajar en el enfundado de materia prima de la máquina

Tabla 19
Dimensiones de la funda plástica

	0.5 libras	1 libra	2 libras
Largo x Ancho (cm)	11 x 16	18 x 16	28 x 16

- **Perímetro del ancho de la funda**

La Ecuación 39 muestra la fórmula del cálculo del perímetro el cual se utilizará para obtener el diámetro del tubo formador.

$$P = l + l \quad \text{Ec. 39}$$

Donde:

P: Perímetro del ancho de la funda (cm)

l: Ancho de la funda (cm)

Al reemplazar los datos de la Tabla 19 en la Ecuación 39 se obtiene el siguiente resultado:

$$P = 32 \text{ cm}$$

- **Diámetro de tubo formador**

La Ecuación 40 muestra la fórmula para calcular el diámetro del tubo formador para el diseño del proyecto.

$$D_f = \frac{P}{\pi} \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

D_f : Diámetro del tubo formador (cm)

P: Perímetro (cm)

Reemplazando los datos se obtiene:

$$D_f = \frac{32}{\pi} = 10.185 \text{ cm} = 4.01 \text{ in} \approx 4 \text{ in}$$

Se utilizará un tubo de acero inoxidable de 4 in de diámetro de acuerdo con la norma NTE INEN 3039 la cual habla sobre los materiales adecuados para el contacto con alimentos.

- **Ancho de la bobina plástica**

Para conocer el ancho de la bobina de plástico que se utilizara en el presente proyecto, se utilizó la Ecuación 41, la cual muestra la fórmula para el cálculo del mismo.

$$A_b = P + tr$$

Ec. 41

Donde:

A_b : Ancho de la bobina (cm)

P: Perímetro (cm)

tr: Traslape de la funda (cm)

$$A_b = 32 + 0.8$$

$$A_b = 32.8 \text{ cm}$$

3.5.DISEÑO DEL SISTEMA DE SELLADO HORIZONTAL Y VERTICAL

Para el sellado se utilizará un film del tipo polietileno de baja, ya que este material, ofrece una buena resistencia química. Además de ser un material idóneo para el envasado de productos alimenticios. La Tabla 20 presenta las características de las láminas plásticas (Florencio, 2017)

Tabla 20

Características generales de film de plásticos

Material	Densidad (K/dm ³)	Resistencia a la tensión (Kg/cm ²)	Resistencia compresión (Kg/cm ²)	Temperatura de sellado (°C)	Presión de sellado (kgf/cm ²)
Polietileno de alta densidad (HDPE)	0.94-0.96	10-35	20-25	100-180	0.575-0.635
Polietileno de baja densidad (LDPE)	0.91-0.934	4-6	8-21	110-180	0.564-0.620
Polipropileno (PP)	0.90	30-35	55-60	110-190	0.610-0.635

Fuente: (Rodríguez, 2013)

El espesor del film de plástico depende del tamaño de la bolsa y del peso que va a soportar la misma, para bolsas que soportaran cantidades menores a 1Kg el espesor varía entre 0.03 y 0.1 mm, que es el rango será usado en este proyecto debido a que la maquina deberá pesar un máximo de 2 lb que equivale a 0.91 Kg, que está dentro del rango especificado.

3.5.1. Diseño del sellado vertical

El sellado vertical se encarga de darle la forma del tubo a la lámina plástica, para obtener un sellado consistente tenemos las siguientes características:

- periodo de 2 a 5 segundos.
- presión de 0.564 kgf/cm^2 .
- temperatura de $170^\circ\text{C} = 7,14 \text{ J}$.

- **Dimensiones de la mordaza de sellado**

Para el diseño de las mordazas de sellado tanto vertical como horizontal se utilizará aluminio debido a que es un buen conductor de electricidad, es térmico y mucho más liviano que otros materiales conductores como es el cobre. La longitud de la mordaza de sellado debe ser mayor a la longitud final de la funda, para así garantizar un sellado completo y hermético de la misma. En la mordaza se colocarán niquelinas para el sellado de la bolsa, para lo cual se calcula el área de sellado utilizando la Ecuación 42 que propone Venegas (2015) para el cálculo del área de sellado.

- Ancho de sellado: 6 mm
- Longitud de sellado: 28 cm

- **Área de sellado**

$$As = sl \quad \text{Ec. 42}$$

Donde:

As: Área de sellado (cm²)

s: Ancho del sellado (cm)

l: Ancho de la funda (cm)

Al reemplazar los datos en la Ecuación 42 se obtiene:

$$As = 16.8 \text{ cm}^2$$

- **Fuerza de sellado**

Para obtener la fuerza de sellado que se utilizara en las mordazas de sellado, se utiliza la Ecuación 43.

$$Fs = Ps(As) \quad \text{Ec. 43}$$

Donde:

Fs: Fuerza de sellado (N)

As: Área de sellado (cm²)

Ps: Presión de sellado (kgf/cm²)

Al reemplazar los datos se obtiene:

$$Fs = 9.47 \text{ Kgf} = 92.869 \text{ N}$$

3.5.2. Diseño del sellado horizontal

Para realizar el cálculo del sellado horizontal se utilizó los siguientes parámetros:

- Ancho de sellado 1 cm
- Longitud de sellado 17 cm

La Tabla 21 muestra los resultados obtenidos de los cálculos del sellado horizontal

Tabla 21.
Resultados sellado horizontal

Especificación	Valor
Área de sellado	17 cm ²
Fuerza de sellado	94.26

3.5.3. Resistencia eléctrica requerida para el sellado

Las resistencias eléctricas esta ubicadas dentro de las mordazas de sellado, las resistencias eléctricas que se utilizaron para el proyecto son de tipo cartucho de alta densidad y de forma cilíndrica ya que este tipo de resistencias tienen una vida útil extensa. Dicha resistencia tiene las siguientes características:

- Diámetro: 10 mm
- Longitud: 150 mm
- Potencia: 150 W
- Voltaje: 220 V

3.5.4. Controlador de temperatura

Para realizar el control de la temperatura se utilizó uno de tipo control ON/OFF con un margen de error del 2% ya que el proceso de calentamiento es lento.

Las resistencias eléctricas fueron colocadas dentro de mordazas de aluminio, ya que este material es buen conductor del calor. La Figura 42 muestra el diseño de las selladoras.



Figura 42. Selladora

La niquelina de corte fue colocada en el medio de las mordazas de ola selladora horizontal, esta niquelina funciona con 24v y es un tipo de niquelina plana, la cual está encendida por 2 segundos para realizar el corte de la funda.

Se utilizó 4 resistencias eléctricas de 150W, 2 para el sellado vertical y dos para el sellado horizontal.

3.6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ARRASTRE DE LA FUNDA.

3.6.1. Diseño del sistema de guiado del film de plástico

El diseño del sistema de guiado del film de plástico se lo realiza de acuerdo con el espacio disponible en la máquina y se colocan tensores para que la funda fluya sin inconvenientes

hasta ingresar a el tubo formado y continuar con el proceso la Figura 43 muestra el sistema de guiado que tiene la máquina.

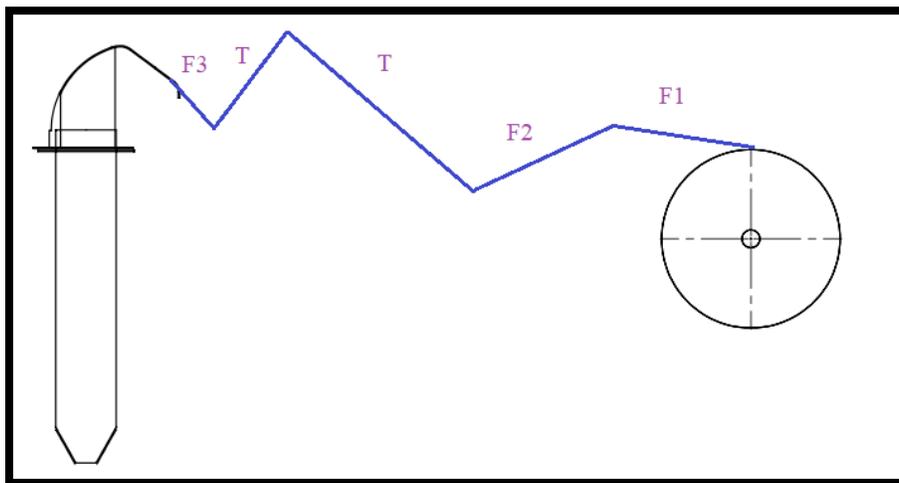


Figura 43. Sistema de guiado del plástico

3.6.2. Selección de los rodillos de arrastre

Se seleccionó rodillos de goma maciza para evitar el deslizamiento o patinaje de los mismos al momento de trabajar. Teniendo en cuenta el tubo de formación, se utilizó rodillos de 80 mm de diámetro como muestra la Figura 44.



Figura 44. Sistema de arrastre

- **Cálculo de la velocidad lineal de los rodillos**

Tomando en cuenta que el plástico baja con velocidad constante la Ecuación 44 muestra la fórmula para realizar el cálculo de la velocidad lineal.

$$V_i = \frac{L_i}{t} \quad \text{Ec. 44}$$

Donde:

V_i : Velocidad lineal ($\frac{m}{s}$)

L_i : Longitud de la bolsa (cm)

t : Tiempo de arrastre (s)

La Tabla 22 muestra el tiempo necesario para realizar el arrastre de las fundas según su tamaño.

Tabla 22.
Tiempo empleado en arrastrar las fundas

Tamaño	Tiempo
$t_{0.5lb}$	0.25 s
t_{1lb}	0.5s
t_{2lb}	1s

Se calculó una velocidad lineal para cada una de las longitudes que tendrá la bolsa, al reemplazar los datos de la Tabla 19 y 24 se obtienen los valores mostrados en la Tabla 23.

Tabla 23.
Resultados de la velocidad lineal de los rodillos

Resultados	Unidades
$V_{0.5lb} = 0.44$	$\frac{m}{s}$
$V_{1lb} = 0.36$	$\frac{m}{s}$
$V_{2lb} = 0.28$	$\frac{m}{s}$

- **Aceleración tangencial del plástico**

La Figura 45 muestra las dimensiones que tiene el film de plástico. La Ecuación 51 muestra la fórmula para el cálculo de la aceleración tangencial del plástico.

$$a_{tp} = \alpha_p r_p \quad \text{Ec. 45}$$

Donde:

a_{tp} : Aceleración tangencial del plástico ($\frac{m}{s^2}$)

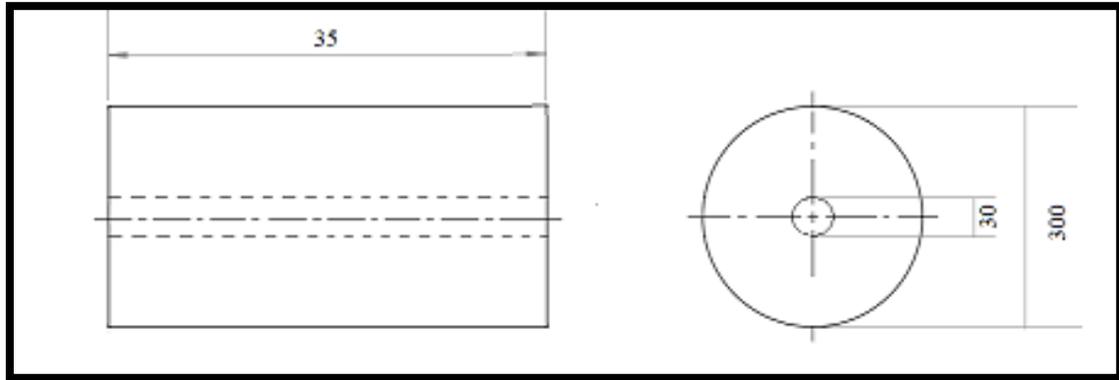


Figura 45. Dimensiones del rollo de plástico en mm

Al reemplazar los valores obtenidos en la Ecuación 51 se obtiene:

$$a_{tp} = 3.612 \frac{m}{s^2}$$

- **Aceleración angular del plástico**

La Ecuación 52 muestra la fórmula para el cálculo de la aceleración tangencial del plástico.

$$\alpha_{\text{rollo}} = \frac{a_{tp}}{R_{\text{rollo}}} \quad \text{Ec. 46}$$

Donde:

α_{rollo} : Aceleración angular del plástico ($\frac{\text{rad}}{s^2}$)

Al reemplazar los valores obtenidos en la Figura 45 y de $a_{tp} = 3.612$ en la Ecuación 52 se obtiene:

$$\alpha_{\text{rollo}} = 36.12 \frac{\text{rad}}{s^2}$$

- **Cálculo de la potencia para arrastrar el plástico**

Para calcular la potencia del sistema de arrastre primero se calculó la fuerza necesaria para realizar el arrastre de la funda. Con la ayuda de un software de diseño se obtuvo las inercias de los elementos en contacto con el rodillo como muestra la Tabla 24.

Tabla 24

Inercia de los elementos del film de plástico

Elemento	Inercia [g mm ²]
Rodillo	51810036.67
Tensador	5478.14
Freno	12044505.94
Ejes	8156.95
Total	63868177.7

$$I_t = 0.0638681777 \text{ (Kg m}^2\text{)}$$

- **Fuerza para hacer girar el rollo F1**

$$F_1 = \frac{I_t \alpha_{\text{rollo}}}{R_{\text{rollo}}} \quad \text{Ec. 47}$$

Donde:

F1 = : Fuerza para hacer girar el film de plástico (N)

I_t = : Inercia total (Kg m²)

Al reemplazar los datos de la Tabla 24 se obtiene:

$$F_1 = 23.069 \text{ N}$$

- **Fuerza de total**

Para obtener la fuerza total se suman las fuerzas obtenidas anteriormente

$$F_t = 33.069 \text{ N}$$

- **Potencia necesaria para arrastrar el plástico**

Nave (2019) dice que la fórmula para realizar el cálculo de la potencia se muestra en la Ecuación 54.

$$P_{ar} = F_t V_{2lb} \quad \text{Ec. 48}$$

Donde:

P_{ar} = : Potencia de arrastre (KW)

F_t = : Fuerza para hacer girar el film de plástico (N)

V_{2lb} = : Velocidad (m/s)

Al reemplazar los datos obtenidos de en la Ecuación 54 se obtiene:

$$P_{ar} = 0.00925 \text{ KW} \approx 0.012 \text{ Hp}$$

Se utilizó un servo motor de ¼ de Hp para realizar el arrastre del film de plástico ya que este motor tiene la potencia requerida, un torque apto para que pueda deslizar a la funda sin problemas. El servo motor tiene las siguientes características:

- Potencia 0,25 Hp \approx 200 W
- Torque = 8 Nm
- Alta precision
- Bajo ruido

- Tamaño 30x10 cm

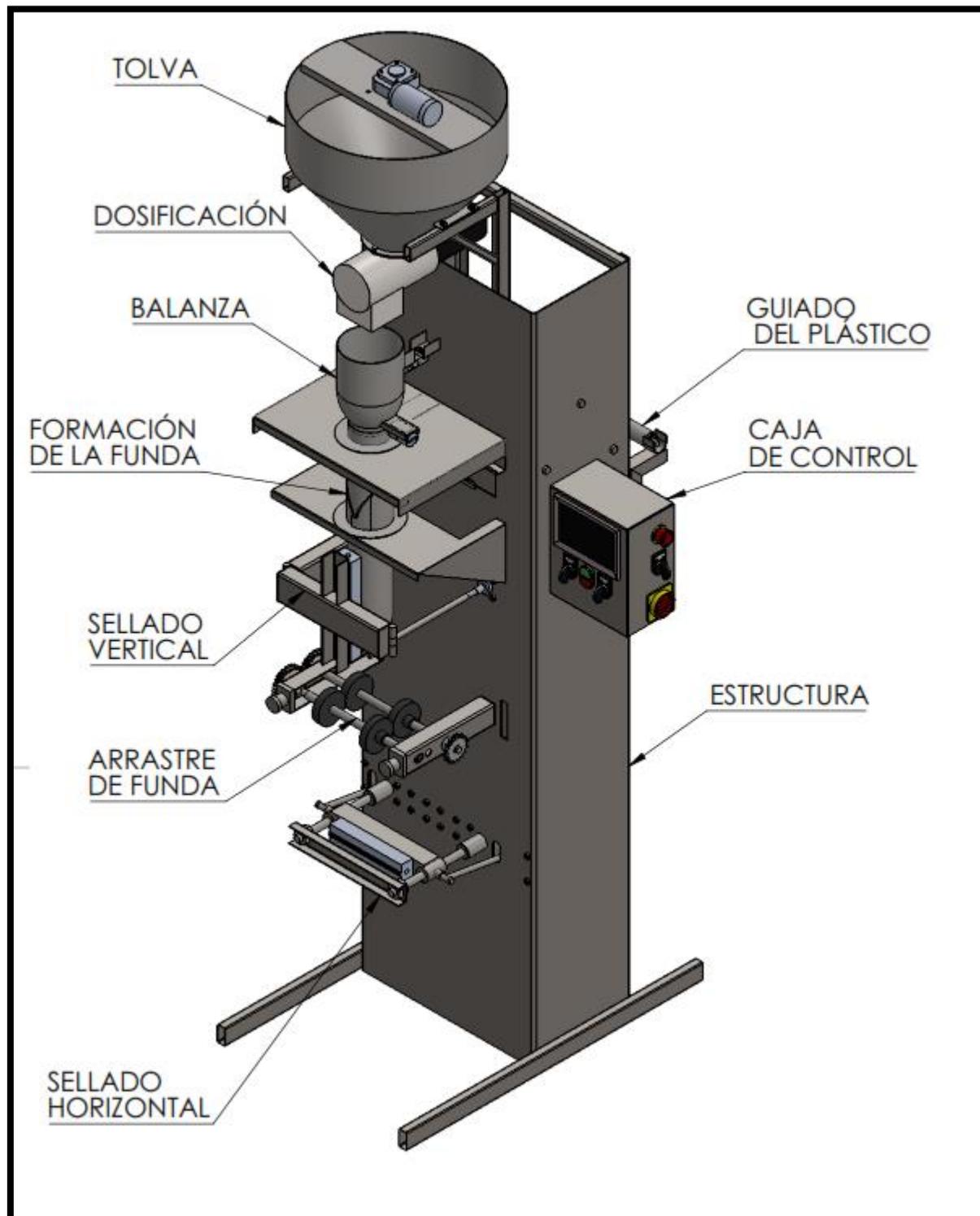


Figura 46. Diseño mecánico del sistema

3.7. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

3.7.1. Selección de los elementos de protección del sistema

Los elementos de protección son dispositivos cuya finalidad es proteger el motor y a todos los elementos del circuito de las altas corrientes. Algunos de los problemas que pueden ocurrir en la máquina son:

- Sobrecarga
- Disminución de la tensión de la red
- Muchas puestas en marcha
- Sobrecalentamiento

Para seleccionar los breakers del sistema se debe calcular la corriente de protección como muestra la Ecuación 49.

$$I_P = 1,25 \times I_{\text{Nominal}} \quad \text{Ec. 49}$$

Características técnicas del driver del motor para el cálculo del breaker:

- **Voltaje:** 3.92 v
- **Intensidad:** 3 A
- **Torque:** 8 Nm
- **Inercia:** 4500 gcm²

Al reemplazar los datos en la Ecuación 1 se obtiene el siguiente resultado:

$$I_P = 3,75 \text{ A}$$

Selecciono un breaker de 1 polo NB1-63 C4 para cada uno de los motores, lo cual posee las siguientes características:

- **Intensidad:** 4A
- **Voltaje:** 220/400 V
- **Poder de corte:** 6KA de poder de corte

Se utilizo la misma fórmula para el cálculo de los breakers restantes para el sistema obteniendo los datos mostrados en la Tabla 25 siguientes resultados:

Tabla 25.
Breakers utilizados

Descripción	Tipo de breaker	Características
Resistencias eléctricas	5Sx1 C10	Intensidad: 10A Voltaje: 220/400 V
Entrada de voltaje	NB1-63 C4	Intensidad: 4A Voltaje: 220/400 V
HMI, placa de control, fuente de alimentación	EBC C1	Intensidad: 1A Voltaje: 220/400 V

La Figura 47 muestra los breakers de 1 polo utilizados

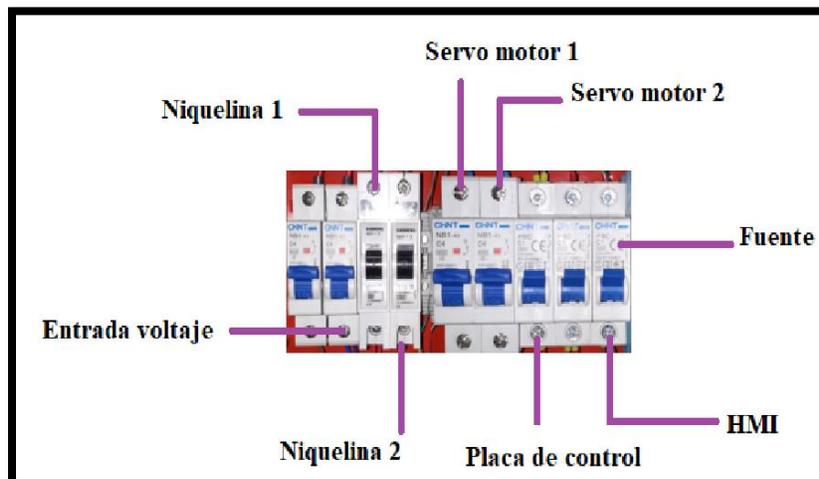


Figura 47. Breakers de 1 polo

3.7.2. Selección del motor para el mezclador y para el mecanismo de pesado.

- **Motorreductor Pololu para el sistema de descarga del producto**

El proceso de descarga del producto inicia cuando la celda de carga manda una señal de peso correcto, el motor gira hasta el contactor que indica que el mecanismo se ha abierto y permite el paso del producto cuando recibe otra señal el motor gira hasta segar al sensor que indica que el mecanismo se ha cerrado. Para dicho proceso se seleccionó un motor con las características mostradas en la Tabla 26.

Tabla 26.

Características del motor de descarga

Descripción	Especificación
Marca	Pololu
Voltaje	12 V
Velocidad	80 RPM
Intensidad	5 A
Potencia	60 W

Fuente: (Pololu, 2019)

- **Motor Mezclador**

En el caso de harinas finas o que tienden a compactarse es necesario el uso de un batidor, el cual ayuda a que la harina se desplace sin ningún problema y pueda ser transportada hacia la balanza, para eso se utilizó un motor con un torque alto ya que al estar la tova llena de producto va a ser más difícil para el batidor moverse. Se seleccionó un motor con las características que se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27.
Características del motor del batidor

Descripción	Especificación
Marca	XINHUANGDU
Voltaje	24 V
Torque	12 Nm
Intensidad	8 A
Potencia	192 W
Velocidad	38 RPM

3.7.3. Selección de la acometida

Para calcular la acometida del sistema se utilizó la Ecuación 50

$$I_{\text{Acometida}} = \frac{P_A}{V * 0,9} \quad \text{Ec. 50}$$

Donde

P_A : Potencia del proyecto

V: Voltaje del proyecto

La potencia total del sistema no supera los 1700 y trabaja con 220v. Al reemplazar los datos en la ecuación se obtiene el siguiente resultado

$$I_{\text{Acometida}} = 8,58 \text{ A}$$

El calibre del conductor escogido es 16 AWG, el cual cuenta con las siguientes características:

- AWG: 16
- Diámetro: 1,02 mm
- Área: 0,823 mm²
- Resistencia eléctrica en cobre: 20,948 ohmios
- Corriente admisible: 10 A

3.7.4. Dimensionamiento de las electroválvulas

El control del sellado vertical y horizontal se lo realizó con aire comprimido, el control del aire se realizó con 2 electroválvulas una para el sellado horizontal y una para el sellado vertical, las cuales se accionan por medio de la placa de control, se usaron 3 cilindros neumáticos para la selladora horizontal y uno para la selladora vertical. En la Tabla 28 se muestra las características técnicas de las electroválvulas seleccionadas.

Tabla 28.
Especificaciones técnicas Electroválvula

Descripción	Valor
Modelo	3V310-10
Fluido	Aire
Tipo	5/2
Voltaje	24 V
Tiempo de activación	0.05
Potencia	1W
Temperatura máxima	55°C

Fuente: (Cruz, 2016)

3.7.5. Dimensionamiento del sensor

Para el control del sellado vertical se utilizó un sensor capacitivo, ya que se requiere una señal de aviso cuando las mordazas de sellado horizontal están cerradas, para proceder a activar la niquelina de corte. El grado de protección IP de este tipo de sensor es de 67 lo que indica que tiene completa protección contra el polvo y protección temporal para el ingreso de agua, lo que lo hace idóneo para el trabajo en el proceso de sellado y pesado de harinas.

3.7.6. Selección del controlador del sistema

El controlador del sistema es muy importante ya que se encarga de la sincronización de los subsistemas como son: el pesaje, el arrastre y el sellado de la funda, el controlador también debe tener conexión a internet para realizar la supervisión remota óptima del proceso. Los controladores aptos para realizar este trabajo Están descritos en la Tabla 29 de manera resumida.

Tabla 29

Características de los controladores seleccionados

Alternativas	Descripción	Ventajas	Desventajas
Alternativa 1 Industrino	<p>Este controlador es compatible con Arduino, su sistema modular tiene paneles de expansión, placa base y módulos de expansión externa.</p> <p>Características técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de alimentación: 8-28V o 5V - Pines de E / S digitales: 17 - Memoria Flash: 256 KB - Puerto de expansión IDC 14p - Regulador de voltaje de conmutación. (Cobo, 2013) 	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible con Arduino • Bajo costo • Usado en proyectos de automatización y proyectos científicos. • Módulo de expansión ethernet. • Fácil de programar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Memoria de la placa • Frecuencia del procesador

Alternativa 2
 M-DUINO PLC Arduino

Arduino puede funcionar como PLC al conectarle interfaces para entradas y salidas. M-DUINO es un PLC con hardware abierto con varias unidades de entrada y salida.

Características técnicas:

- 1 Puerto Ethernet.
- 1 Puerto USB (type B).
- 1 Puerto I2C port
- 3 Puertos TTL.
- 1 Puertos RS-232.
- 8 Entradas:
- 31 Salidas:
- TCP IP / Modbus TCP. / Modbus RTU
- Capacidad de Web Server
- Protocolos Industriales (SHIELDS, 2015)

- Costo moderado.
- Conexión Ethernet.
- Comunicación modbus.
- Puede programarse en forma remota a través de ethernet.
- Flexibilidad moderada

Alternativa 3
 Eopus Cp11

El módulo CP11 es un PLC el cual, permite controlar máquinas, plantas y procesos industriales complejos un módulo de expansión digital y conexión a redes, entre sus usos frecuentes son el control de presión, temperatura, nivel, etc.

Características técnicas:

Entradas

- 24 digitales tipo P aisladas
- 6 digitales tipo N
- 1 digital encoder A-B
- 2 contadores rápidos 32bits
- 3 análogas 12 bits 0-10V (
- 8 entradas análogas 16 bits

- Control de temperatura, presión.
- Velocidad de procesamiento
- Control de motores incluido

Salidas

- 24 digitales tipo N
- 6 digitales tipo N
- 2 digitales led RGB
- 3 análogas 12 bits 0-10V
- 3 análogas 12 bits
- COMUNICACIÓN 2 puertos
com 485 (EOPUS, 2018)

En la Tabla 30 se observa la evaluación cuantitativa realizada con los tipos de controladores para obtener el funcionamiento adecuado de la máquina.

Tabla 30

Matriz de evaluación de conceptos para el controlador de la máquina

CONTROLADOR DEL SISTEMA

Criterios de selección	Industrino			M-DUINO		Eopus CP11	
	Peso	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Costo	15	4	0,6	3	0,45	5	0,75
Conexión internet	30	5	1,5	5	1,5	5	1,5
Facilidad de programación	25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
Eficiencia	15	4	0,6	5	0,75	5	0,75
Rendimiento	15	4	0,6	5	0,75	5	0,75
			4,55		4,7		5
Total, de puntos							
	Lu		3		2		1
	gar						

Desarrollar

Como resultado del análisis cuantitativo tenemos que el controlador EOPUS CP11 es el más adecuado para realizar la programación y control tanto de temperatura, peso, velocidad de los motores, entre otras para la máquina pesadora y selladora. Por sus características técnicas y protecciones que ofrece al sistema.

La Figura 48 muestra un esquema general de conexiones de los elementos electrónicos y eléctricos del sistema como son: fuente de alimentación, PLC, drivers, motores, placa de control, módulo WIFI y la pantalla.

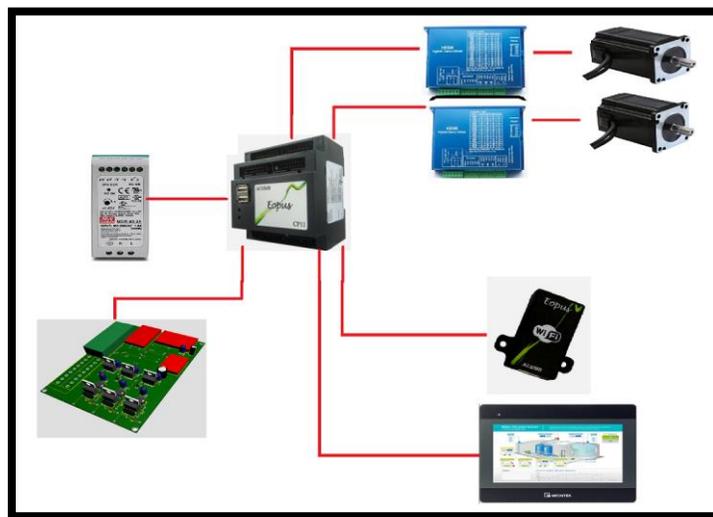


Figura 48. Distribución de los elementos

El sistema está conectado de tal manera que al energizar la máquina se encienden los contactores, la fuente energiza al PLC y este a su vez está conectado a la placa de control del sistema. Por medio de los puertos de comunicación 485, el PLC se conecta al módulo WIFI y al HMI. También tiene salidas a los drivers y estos a su vez se conectan a los motores.

4.2.2. Diagrama eléctrico

El circuito eléctrico del sistema de pesaje y sellado se muestra en la Figura 49, en la cual indican las salidas de la tarjeta de control, drivers entre otros hacia las entras del PLC.

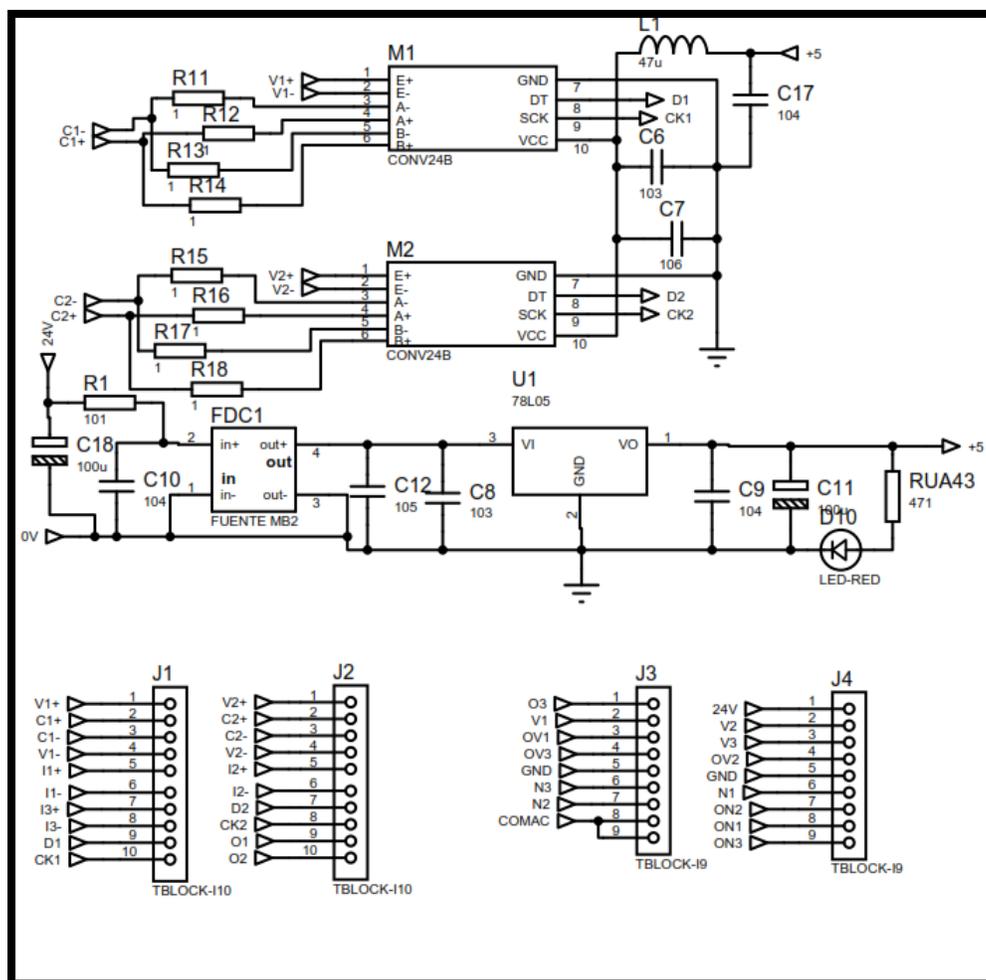


Figura 49. Diagrama eléctrico del sistema

Protecciones eléctricas

- Fuente de alimentación: Protección contra cortocircuito / sobrecarga / sobrevoltaje

- PLC: IP20 (protección por completo hasta partículas 12,5 mm de diámetro, agua entrará con facilidad al equipo). En vista que la protección del PLC es muy baja se adaptó una caja hermética con una puerta para poder revisar los elementos eléctricos.
- Motores: Los motores cuentan con protecciones contra sobre carga, cortos circuitos, caídas de tensión.
- Todo el sistema cuenta con protecciones para el usuario con su respectiva señalética
- La máquina cuenta con cajas selladas herméticamente para evitar daños a los materiales eléctricos o en mecanismos en constante movimiento.
- De acuerdo con la norma OSHA 1910.305 (a) (2) (xi) la máquina cuenta con canaletas las cuales se encuentran adheridas a la estructura (OSHA, 2007).

4.2.3. Distribución del tablero eléctrico

La Figura 50 muestra el diagrama de conexión del tablero eléctrico.

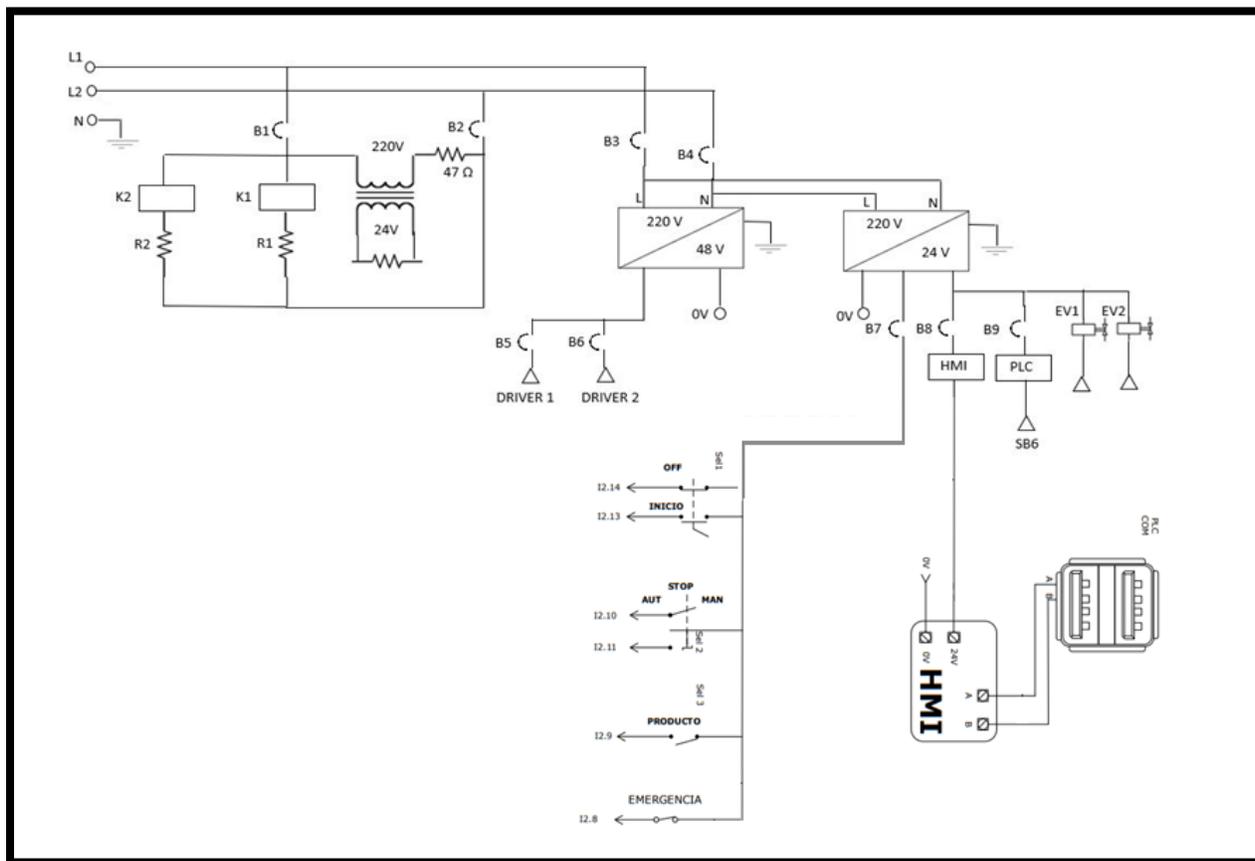


Figura 50. Diagrama eléctrico del tablero de control

Las conexiones tanto de las entradas como de las salidas del PLC se muestran en el diagrama eléctrico de la Figura 51 y en la descripción de la Tabla 31.

Figura 51. Conexiones PLC

Tabla 31.
Conexiones del PLC

PLC	Elementos
Entrada digital 1 no aisladas (N)	Driver 1
Entrada digital 2 N	Driver 2
Entrada digital 1 aisladas (P)	ON-OFF
Entrada digital 2	Paro de emergencia
Entrada Analógica 2	Termocupla 1
Entrada analógica 3	Termocupla 2

Entrada analógica 0	Termocupla 3
Timer4 canal 2	In – Encoder
Timer4 canal 1	In + Encoder
Salida digital 1 N	Habilitación 1
Salida digital 2 N	Dirección 2
Salida analógica 1 P	Pulsos 1
Salida analógica 2 p	Pulsos 2
Salida digital 1	Electroválvula 1
Salida digital 2	Electroválvula 2
Salida digital 5	Niquelina 1
Salida digital 6	Niquelina 2
Salida digital 7	Niquelina de corte
GND	Placa
+24 V	24 VDC
Puerto de comunicación 485	HMI
Puertos de comunicación 485 2	Modulo WIFI

El tablero eléctrico tipo gabinete de 540 x690 según el catálogo electris.srl (2018), con sus respectivos rieles en las cuales se colocaron los contactores y los breakers, el mismo que está distribuido como muestra la Figura 52. El tablero de control tiene una protección IP44 es decir que está protegido contra las partículas de polvo, y una protección mecánica de 0,5, esta hace que el tablero eléctrico sea resistente al impacto contra choques mecánicos.



Figura 52. Distribución del tablero eléctrico

4.2.4. Placa de control

La Figura 53 muestra la tarjeta de control y salidas de la misma, la cual está diseñada para controlar las 2 electroválvulas 5:2 monoestables, las cuales a su vez controlan el sellado vertical y horizontal; la tarjeta también lee los datos de la celda de carga.

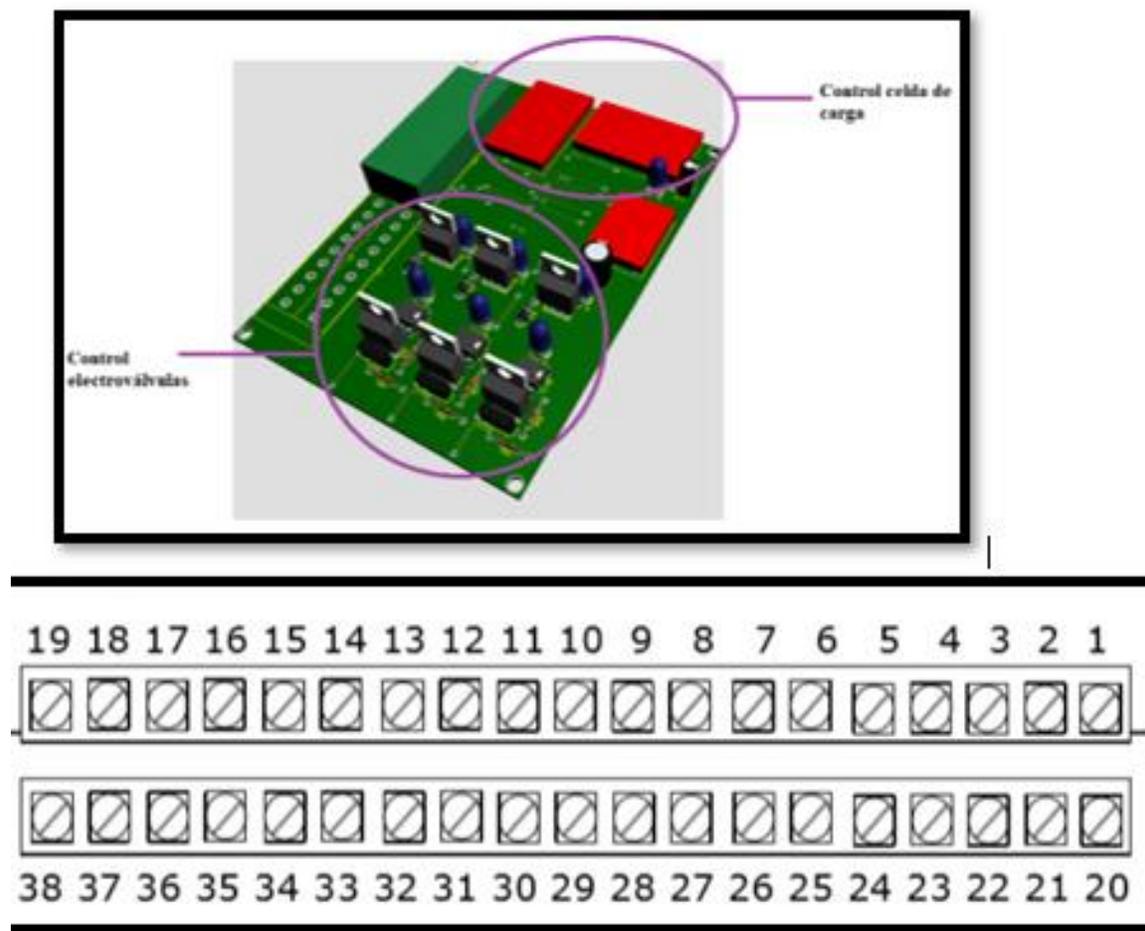


Figura 53. Placa del sistema

La Tabla 32 muestra el detalle de los pines para realizar las conexiones de la placa de control con el PLC.

Tabla 32.
Conexiones de la tarjeta de control hacia el PLC

ITEM	DESCRIPCION
1	V + celda de carga 1
2	celda de carga 1 +
3	celda de carga 1 -
4	Voltaje celda de carga 1 -
5	In + termocupla 1
6	In - termocupla 1
7	In + termocupla 3
8	In - termocupla 3
9	Data celda de carga 1
10	CLK celda de carga 1
11	Out termocupla 3 (0-10V)
12	In ---> Out 1 DC
13	Out válvula 1
14	Out válvula 3
15	GND
16	Control AC 3 (niquelina)
17	Control AC 2 (niquelina)
18	Común señales
19	Común señales
20	V+ celda de carga 2
21	celda de carga 2 +
22	celda de carga 2 -
23	Voltaje celda de carga 2 -
24	Voltaje celda de carga 2 -
25	In + termocupla 2
26	In - termocupla 2
27	Data celda de carga 2
28	CLK celda de carga 2
29	Out termocupla 1 (0-10V)
30	Out termocupla 2 (0-10V)
31	In ---> Out 2 DC
32	In ---> Out 3 DC
33	Out válvula 2
34	GND
35	Control AC 1 (niquelina)
36	Out AC 2
37	Out AC 1
38	Out AC 3

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

4.1.CONSTRUCCIÓN

4.1.1. Estructura mecánica

Se inicio con el diseño y construcción de la estructura de soporte en la cual se colocan todos los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina, la Figura 54 muestra la estructura de la misma usando una lámina de acero negro y ángulos descritos en la Tabla 50.



Figura 54. Estructura de la máquina

4.1.2. Formador de funda

El cuello formador de la funda es uno de los elementos más importantes de la máquina el mismo que está diseñado con acero inoxidable de 3mm; la Figura 55 muestra el diseño y montaje del cuello formador de funda.



*Figura 55.*Cuello formador

4.1.3. Tolva

La Figura 56 muestra la tolva, la cual se construyó con acero inoxidable de acuerdo con la Norma ISO 16143-2:2014 y con los requerimientos dados por el usuario de la máquina (ISO, 2014)



*Figura 56.*Tolva

4.1.4. Balanza

Posteriormente se realizó el diseño y construcción del sistema de pesaje de la máquina. La Figura 57 muestra la balanza implementada en el proyecto, la cual está diseñada para pesar un

máximo de dos libras, con una compuerta accionada por un motor DC para la descarga del material pesado.



Figura 57. *Balanza*

4.2.5. Distribución de consola de control

La máquina cuenta con un tablero de consola de control el cual tiene una pantalla para el HMI, un botón para encender la máquina, un paro de emergencia, 3 selectores y un botón de Start-Stop como muestra la Figura 58.

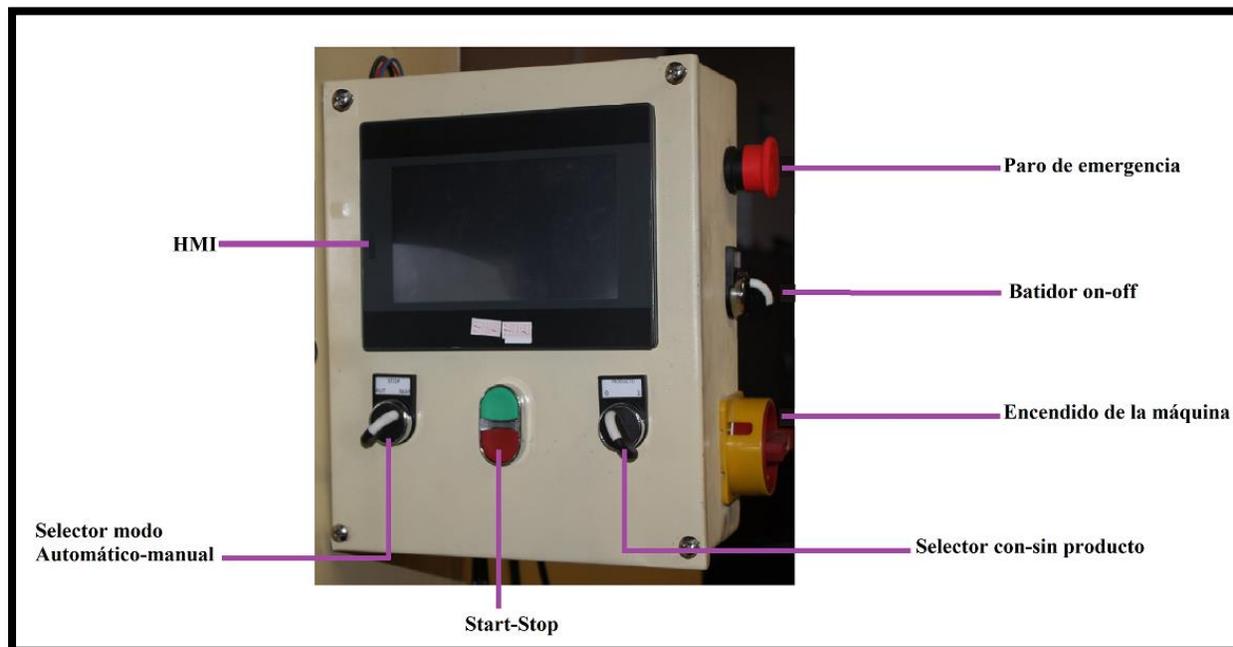


Figura 58. Tablero de control

4.3.DISEÑO DEL SOFTWARE DE LA MÁQUINA

En el presente capítulo se detalla el sistema de control de dosificación, pesado, sellado y supervisión remota de fundas de harina, por medio de una interfaz gráfica, para lo cual se utilizó un PLC Eopus CP11, escogido en la sección 4. el cual será el encargado de supervisar y controlar todos los procesos principales de la máquina. La Figura 59 muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del programa.

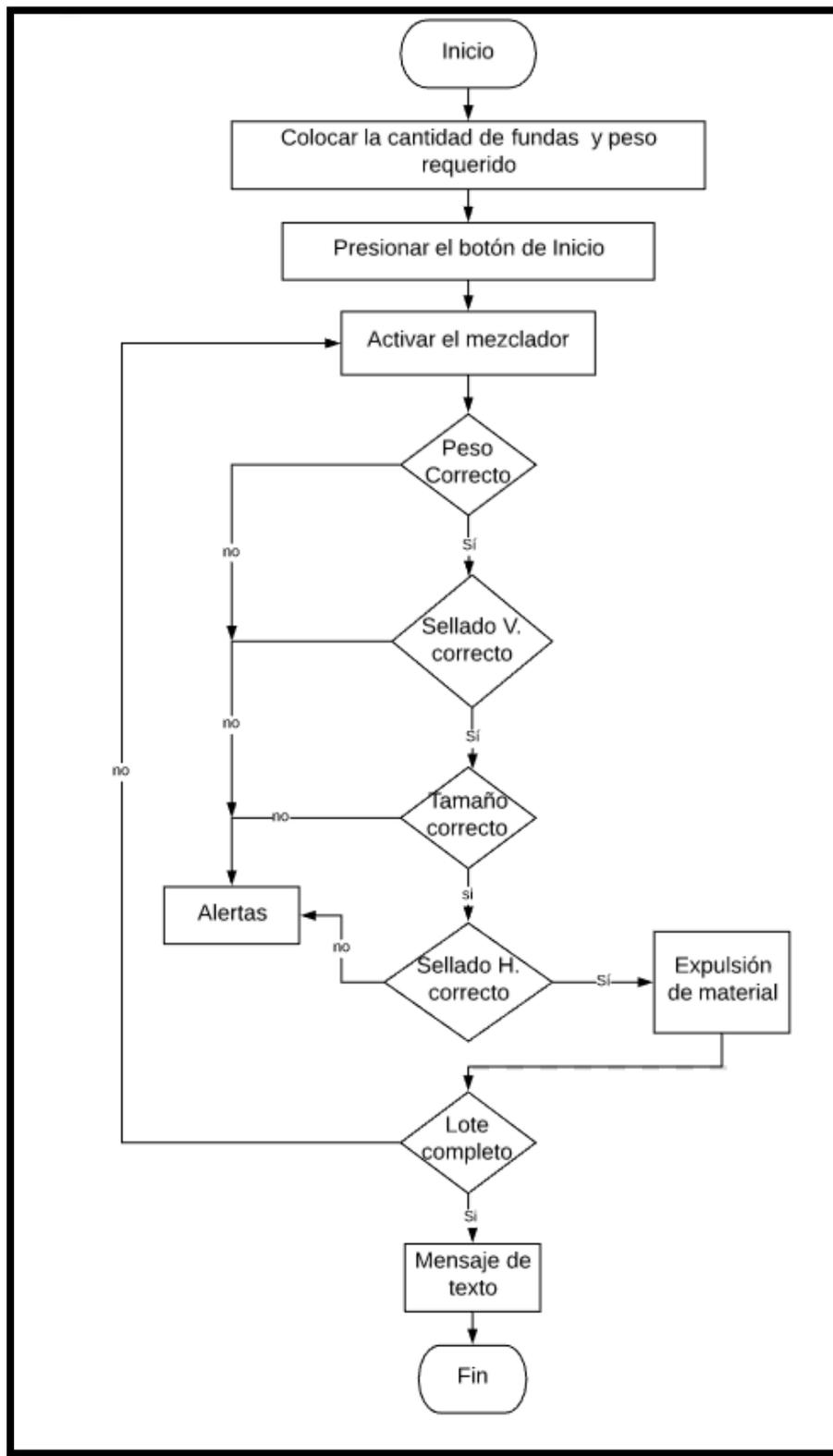


Figura 59. Diagrama de flujo del sistema

4.3.2. Descripción general

Antes de iniciar con las etapas del programa el operador debe indicar la cantidad de fundas que desea pesar y el peso de las mismas, posteriormente debe iniciar el proceso del mezclador dependiendo el tipo de harina con el que vaya a trabajar. El programa se ha desarrollado de tal manera que se cumpla con 4 etapas principales las cuales se describen a continuación.

- **Etapa 1:** En esta etapa se enciende el motor este acciona el tornillo sinfín el cual traslada el producto hasta la balanza para proceder a pesar como muestra la Figura 60, una vez alcanzado el peso requerido el motor se apaga.

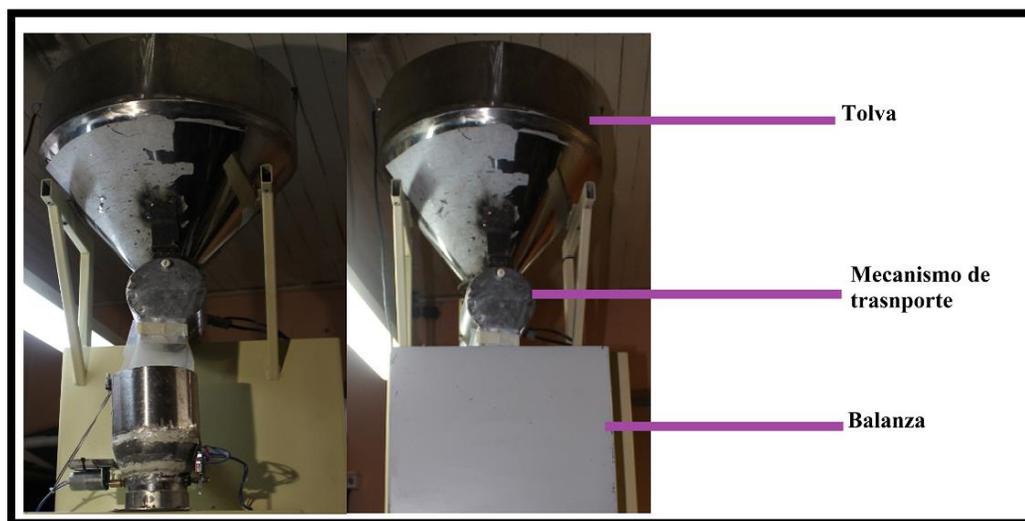


Figura 60. Etapa 1

- **Etapa 2:** Una vez pesado el producto la máquina procede a realizar el sellado vertical de la funda, este proceso tarda 3 segundos. La Figura 61 muestra el mecanismo de sellado vertical de las fundas.

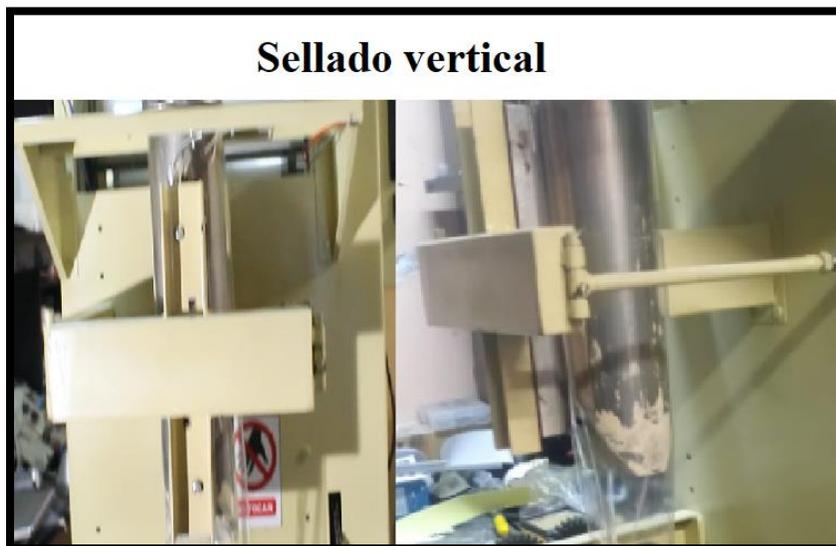


Figura 61. Etapa 2 Sellado Vertical

- **Etapa 3:** Transcurrido los 3 segundos se acciona el motor 2 y procede a realizar el arrastre de la funda hasta la longitud requerida para el peso especificado. La Figura 62 muestra el mecanismo utilizado para el arrastre del film.

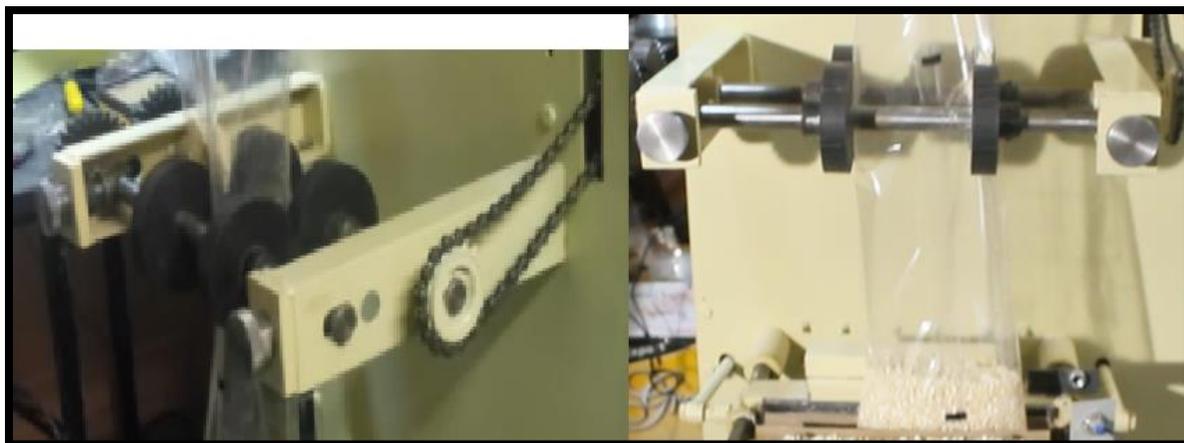


Figura 62. Etapa 3 Mecanismo de arrastre

- **Etapa 4:** Finalmente en esta etapa se realiza el sellado horizontal, terminado el sellado la máquina espera 3s para que se enfríe el material y procede a expulsar el material de la balanza.

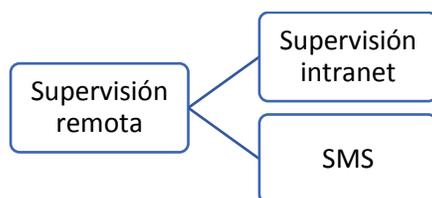


Figura 63. *Etapa 4 Sellado horizontal*

4.3.3. Desarrollo de la supervisión remota.

La supervisión remota se desarrolló utilizando Modbus TCP IP, el cual es un protocolo de comunicaciones industriales OPC Server basado en maestro-esclavo, usado para la conexión de un ordenador con una unidad remota (RTU), tiene un sistema de redundancia cíclica para garantizar fiabilidad en los datos es habitual permitir solo un dispositivo maestro (Palmer, 2009).

La supervisión remota tiene 2 partes:



- **Supervisión intranet**

para acceder al sistema el usuario debe estar en red y colocar la dirección IP 192.168.0.20, para observar los datos del sistema, el intranet permite observar los datos de la máquina en tiempo real, la toma de datos es un proceso cíclico el cual se actualiza cada 2s, la página muestra los valores de entrada que está leyendo la máquina como los valores de salida; la Tabla 33 indica dichos valores.

Tabla 33.
Parámetros de entrada y salida del sistema RTU

Nombre	Tipo	Localización	Valor	Unidades
Alarmas	Registro de entrada	30009	0	s/n
Binario peso zona	Registro de entrada	30002	24857	dm
Binario sellado horizontal	Registro de entrada	30005	9387	dm
Binario sellado vertical	Registro de entrada	30007	14013	Dm
Procesos parciales	Registro de entrada	30003	0	U
Peso zona	Registro de entrada	30001	454	g
Temperatura horizontal	Registro de entrada	30006	427	d °C
Temperatura vertical	Registro de entrada	30008	384	d °C
Total de procesos	Registro de entrada	30004	1	U
Peso de trabajo	Registro de salidas	40001	228	g
Parcial Seteado	Registro de salidas	40002	5	U
Velocidad de descarga	Registro de salidas	40003	4000	Hz
Vel. mínima de descarga	Registro de salidas	40004	100	Hz
Porcentaje de descarga	Registro de salidas	40005	97	%
Porcentaje de freno descarga	Registro de salidas	40006	97	%
Velocidad de la funda	Registro de salidas	40007	500	Hz
Vel. mínima de la funda	Registro de salidas	40008	60	Hz
Porcentaje de la funda	Registro de salidas	40009	65	%
Porcentaje de freno funda	Registro de salidas	40010	80	%
Temperatura horizontal	Registro de salidas	40011	160	°C
Histéresis Temp. horizontal	Registro de salidas	40012	2	°C
Tiempo sellado horizontal	Registro de salidas	40013	6	s
Tiempo sellado vertical	Registro de salidas	40014	3,5	s
Tiempo niquelina de corte	Registro de salidas	40021	1,2	s

- SMS

En cuanto al envío de las alarmas GSM, el sistema está programado de tal manera que cada vez que la máquina tenga un inconveniente, esta envíe mensajes de texto con la alarma respectiva que se encuentre activa. La Figura 64 muestra los mensajes de texto recibidos durante las pruebas. La Tabla 34 muestra las alarmas generadas.

Tabla 34.
Alarmas

Alarma	Mensaje
Se término el producto	Alarma de: Sin producto.
Se término la funda	Alarma de: Sin plástico de funda.
Se termino el proceso	Alarma de: Fin de procesos.
Se presiono el paro de emergencia	Alarma de: Paro de emergencia.
Se inicio el proceso	Alarma de: Inicio del programa.



Figura 64. Recepción alarmas

4.3.4. Desarrollo del código de programación

La programación del sistema de pesaje y sellado se desarrolló con un sistema operativo en tiempo real (RTOS), pues es capaz de realizar tareas y funciones dentro de un tiempo especificado, es un sistema flexible y puede asignar prioridad de ejecución a las diferentes tareas.

Para garantizar el comportamiento correcto en el tiempo requerido se necesita que el sistema sea preciso y dividido por tareas, con cierto un tiempo de ejecución a cada una. Para comenzar la programación se deben declarar las variables y funciones a usar en el programa con sus entradas y salidas correspondientes. La Figura 65 muestra la declaración de variables.

```
#include <math.h>
uint16_t ControlFundaRollo,ControlProductoTolva, ControlFinCarrera;
// (y-y1)=m(x-x1)
uint16_t Cont[10];
uint8_t Tareas[15];
```

Figura 65. Definición de variables

Antes de iniciar el proceso la máquina debe asegurarse que la tolva tenga producto para lo cual se utilizó el código mostrado en el diagrama de flujo de la Figura 66.

La programación de cada una de las tareas se realizó por medio de funciones y con un tiempo de descanso *osDelay* al finalizar cada una de las tareas especificadas, para que estas esperen un momento mientras se realiza otra, y no saturar al PLC de información. La Figura 67 muestra el diagrama de flujo usado para la programación del sellado vertical.

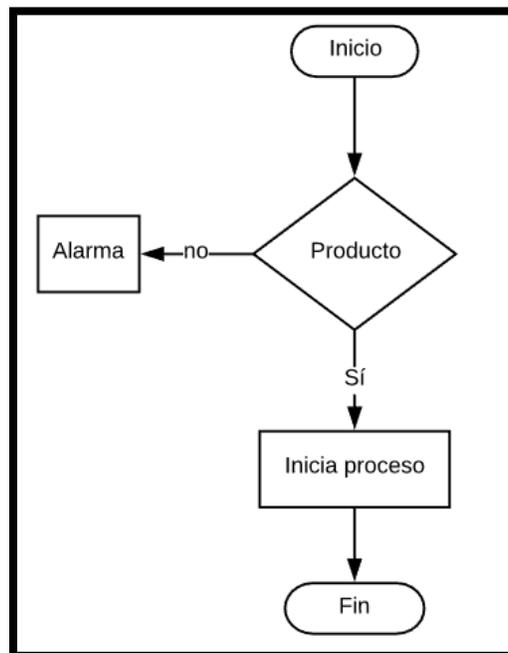


Figura 66. Control del producto

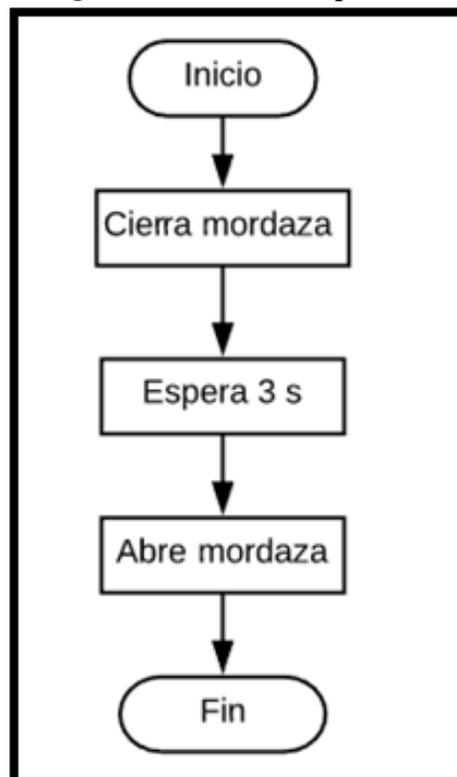


Figura 67. Diagrama de flujo S.V

La comunicación entre la interfaz gráfica y el PLC se realizó mediante Modbus ya que es un protocolo compatible con la pantalla y el PLC, con los parámetros mostrados en la Tabla 35.

Tabla 35.

Datos comunicación

Descripción	Valor
Timer Modbus maestro	70000000 ms
Velocidad Serial	38400
Extensión de memoria	1024
Comunicación serial esclavo	100

Para el correcto funcionamiento de la celda de carga se realizó la linealización de la misma. La Figura 68 muestra los datos tomados por el PLC: valor binario mínimo y máximo y los respectivos valores transformados a gramos para leer y enviar los datos del peso para el usuario.



Figura 68. Linealización de la celda de carga.

La linealización de la celda se la realizó con la fórmula de la pendiente de una recta, ya con el valor de la pendiente se procedió a utilizar la fórmula de la recta. Se utilizó un paquete de peso ya establecido de 1kg para obtener los datos binarios; la Figura 69 muestra la pendiente de linealización de la celda de carga.

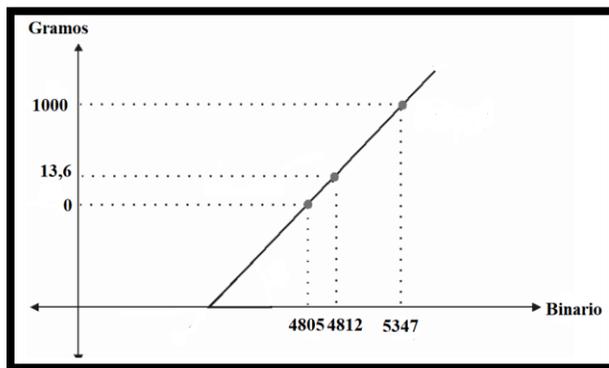


Figura 69. Linealización celda de carga

Los parámetros utilizados para realizar la linealización se muestran en la **Tabla 36**.

Tabla 36.

Parámetros linealización

Valor binario	Valor en gramos
4805	0
5347	1000

La Figura 70 muestra la programación para el envío de alarmas las cuales están controladas por banderas o restricciones dentro del programa, es decir que si no cumple con la acción requerida al cabo de un tiempo el programa toma como error y envía la alarma correspondiente.

```

while (ENTRADAS2.bit.b9==0 && AL1.bit.b2_FinCarrera==0)//fin de carrera
{
    if (ControlFinCarrera==800)//en 4 segundo no cierra
    {
        AL1.bit.b2_FinCarrera=1;
        if (Banderas2.bit.b8_EnviarSMS == 0)
            Banderas2.bit.b8_EnviarSMS=1;
        SALIDAS2.bit.b3=0;//apagó electrovalvula
    }
    ControlFinCarrera++;
    osDelay(5);
}

```

Figura 70. Envío de alarmas

4.4.DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA PARA EL USUARIO

La interfaz gráfica fue diseñada para su manipulación mediante una pantalla táctil. La pantalla usada para el desarrollo de la tesis fue una pantalla Weintek por las características que muestran la Tabla 37.

Tabla 37.
Características de la pantalla táctil

Característica	Descripción
Modelo	MT8071iE1
Display	7 in
Resolución	800 x 480
Memoria flash y RAM	128 MB
Voltaje de entrada	24Cvdc
Retroiluminación	LED
Colores	16.7 M
Protección IP65	No permite el ingreso de polvo bajo ninguna circunstancia, y proporciona protección para chorros de agua
PCB tropicalizada	Brinda protección contra el polvo, humedad y prevención para la corrosión
Puertos de comunicación	RS-485 y RS232
Contenido gráfico	Alto
Comunicación	Transparencia de datos con el PLC
Pantalla táctil	Resistiva de 4 hilos
Memorias	RAM y flash de 128 Mb

Fuente: (labs, 2016)

Las diferentes ventanas de la interfaz gráfica fueron desarrolladas con la ayuda de un software de diseño basado en C++ compatible con la pantalla Weintek. El software consta de 3 ventanas para controlar y observar los datos del funcionamiento de máquina. El funcionamiento de la interfaz es el siguiente:

1. Encender la máquina
2. Colocar la cantidad de fundas y peso requerido
3. Colorar la perilla en modo manual o automático
4. Colocar la perilla en modo con o sin producto
5. Iniciar el proceso

4.4.2. Carátula

La Figura 71 muestra la carátula del HMI donde se encuentra la siguiente información:

- Título del proyecto
- Nombre del desarrollador
- Botón de inicio para ingresar a la pantalla principal del proceso



Figura 71. Ventana de información

4.4.3. Ventana principal

La Figura 72 muestra la ventana principal del sistema y sus botones. También permite ingresar el peso requerido y la cantidad de fundas deseadas por el usuario,

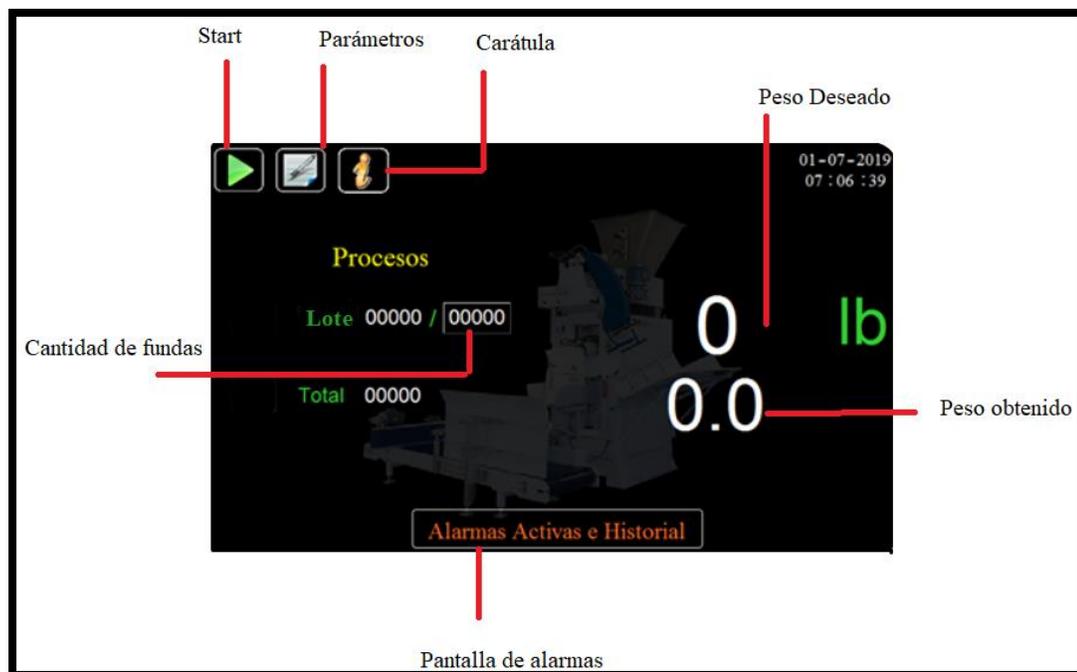


Figura 72. Ventana principal

4.4.4. Ventana de parámetros

La ventana de parámetros se puede observar en la Figura 73, está compuesta por valores del proceso ya sean editables, dentro del recuadro; o, valores no editables, estos se visualizan sin recuadro. Cuenta con 3 botones, los cuales se describen a continuación.

- Botón leer. – Permite leer los datos reales de la máquina guardados en el PLC
- Botón probar. - Permite probar los datos modificados de los parámetros, pero esta opción no guarda los datos modificados.
- Botón guardar. - Permite guardar los valores modificados y probados al PLC, al presionar grabar la pantalla muestra un mensaje de seguridad para grabar los datos. Al presionar el botón guardad se abre un mensaje de aceptación el cual se muestra en la Figura 74.



Figura 73. Ventana de parámetro

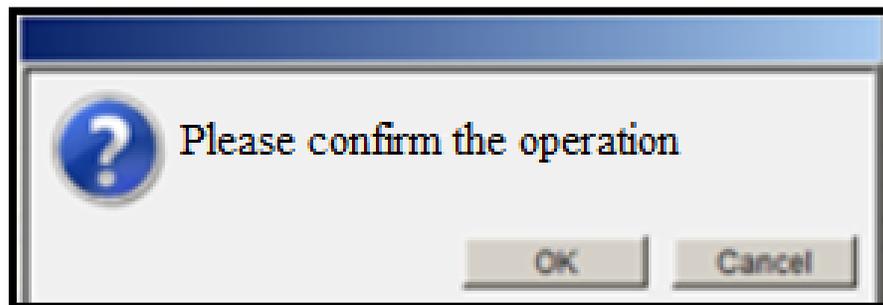


Figura 74. Mensaje de configuración

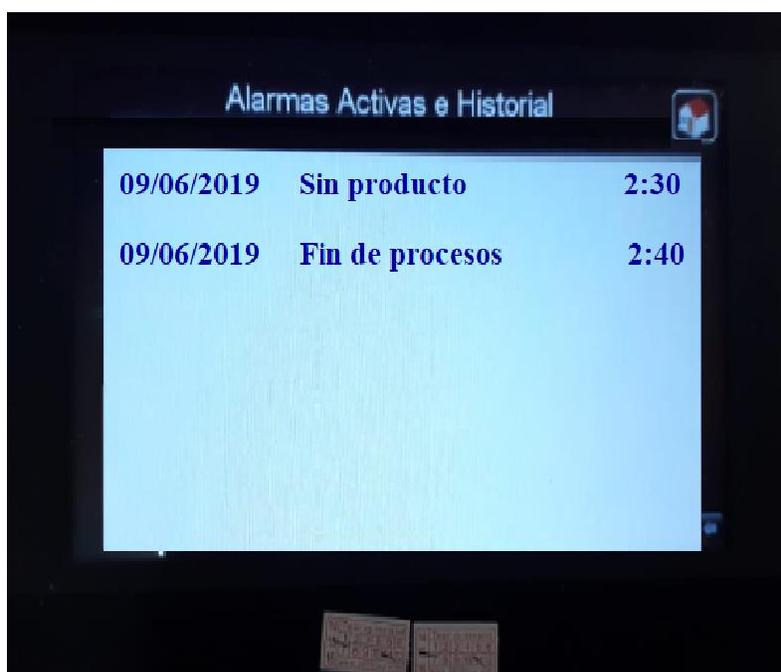
La Tabla 38 muestra los datos que se encuentran en la ventana de parámetros

Tabla 38.
Parámetros

Nombre	Descripción	Valor
Vel. Desc.	Velocidad de descarga del motor	2222 Hz
Vel. Funda	Velocidad de arrastre de la funda	700 Hz
Temp. Horiz.	Temperatura selladora horizontal	170°C
Temp. Verti.	Temperatura selladora vertical	150 °C
Vel. Min D	Velocidad mínima de descarga	100 Hz
Vel. Min F	Velocidad mínima de arrastre de funda	20 Hz
Hist.	Histéresis rango control de temperatura	2 °
Niquelina H.	Valor de la temperatura de la selladora horizontal real	17.1 °C
Niquelina V.	Valor de la temperatura de la selladora vertical real	19.3 °C
Sello H.	Tiempo del sellado horizontal	2 s
Sello V	Tiempo del sellado vertical	3,5 s
Corte	Tiempo de acción de la niquelina de corte	1,2 s
Dist. Funda	Longitud de la funda	20 cm
Bin Act.	Valor actual de la lectura de la celda de carga	4812
Bin Min.	Valor binario mínimo de la celda de carga	4805
Bin Max.	Valor binario máximo de la celda de carga	5347
Gr Min.	Valor mínimo de peso en la balanza	0 g
Gr Max	Valor máximo de peso	1000
Gr Result.	Valor real del peso en la balanza	13,6 g

4.4.5. Ventana de alarmas

La ventana de alarmas se muestra en la Figura 75, consta de un botón para volver a la ventana principal. Las alarmas se muestran en la pantalla cuando se presenta, las alarmas se encuentran en la Tabla 34.



The image shows a screenshot of a software interface titled "Alarmas Activas e Historial". The interface has a dark background with a light blue rectangular area containing a table of alarm data. At the top right of the window, there is a small icon of a person. At the bottom of the window, there are two small, partially visible icons.

Fecha	Descripción	Duración
09/06/2019	Sin producto	2:30
09/06/2019	Fin de procesos	2:40

Figura 75. Ventana de Alarmas

CAPÍTULO V-

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas se realizaron en base a dos tipos de harinas: morocho y machica tanto de 1 libra como de 2 libras, con las cuales se analizó el tiempo, la calidad de sellado, y la supervisión remota del proceso con un máximo de 20 paquetes por prueba, siendo 5 de 1 libra y 5 de 2 libras de cada tipo de harina anteriormente descrito. Para determinar la calidad del sellado se tomó como resultado bueno a todos los paquetes cuyo sellado sea continuo y no se haya quemado el plástico, y malo a todos los paquetes que permiten que el material se derrame por orificios.

5.1. Pruebas de morocho y machica con un peso de 1 libra

Para comprobar la fiabilidad del sistema de pesado se utilizó una balanza digital cuya precisión es 1/10 de la celda de carga utilizada. La Tabla 39 y 36 muestran los valores obtenidos en las pruebas. Tomando en cuenta que el peso de una libra más la funda equivale a 1,040 libras.

Tabla 39.

Pruebas con 1 lb de morocho y machica

Nº de prueba	Tiempo morocho (s)	Calidad de sellado morocho	Peso Morocho (lb)	Tiempo machica (s)	Calidad de sellado machica	Peso Machica (lb)
1	13,96	Mala	1,042	17,90	Buena	1,042
2	12,12	Bueno	1,044	17,65	Buena	1,043
3	14,16	Bueno	1,043	18,89	Buena	1,046
4	12,21	Bueno	1,046	17,52	Buena	1,048
5	12,05	Bueno	1,044	18,9	Mala	1,063
6	13,98	Bueno	1,048	17,68	Buena	1,045

CONTINÚA →

7	12,2	Bueno	1,043	17,95	Buena	1,047
8	12,08	Bueno	1,042	17,89	Buena	1,040
9	13,95	Bueno	1,046	18,28	Buena	1,045
10	12,24	Bueno	1,043	18,39	Mala	1,043
11	13,95	Bueno	1,048	17,45	Buena	1,041
12	12,6	Bueno	1,044	18,35	Buena	1,043
13	12,15	Bueno	1,041	18,23	Buena	1,045
14	13,77	Bueno	1,047	17,28	Mala	1,047
15	12,38	Bueno	1,044	19,15	Mala	1,044
16	13,98	Bueno	1,048	17,87	Buena	1,046
17	12,3	Bueno	1,044	18,45	Buena	1,048
18	12,21	Bueno	1,041	17,9	Buena	1,042
19	13,17	Bueno	1,046	18,95	Buena	1,041
20	12,17	Bueno	1,047	17,75	Mala	1,046

5.2.Pruebas de morocho y machica con un peso de 2 libras

Tomando en cuenta que el paquete tiene un peso de 2,08 libras

Tabla 40.

Pruebas con 2 lb de morocho

N° de prueba	Tiempo morocho (s)	Calidad de sellado morocho	Peso Morocho (lb)	Tiempo machica (s)	Calidad de sellado machica	Peso Machica (lb)
1	17,95	Mala	2,083	25,88	Buena	2,082
2	20,27	Bueno	2,085	25,8	Buena	2,085
3	18,32	Bueno	2,086	27,21	Buena	2,087
4	19,17	Bueno	2,082	29,44	Mala	2,084
5	20,04	Bueno	2,086	29,7	Mala	2,081
6	18,04	Bueno	2,082	26,67	Buena	2,094
7	20,31	Bueno	2,088	25,89	Buena	2,086
8	18,49	Bueno	2,083	28,56	Buena	2,088
9	17,82	Bueno	2,084	27,56	Mala	2,086
10	18,02	Bueno	2,086	29,76	Buena	2,084

CONTINÚA →

11	19,98	Bueno	2,087	27,34	Buena	2,082
12	18,04	Bueno	2,084	27,25	Buena	2,085
13	17,8	Bueno	2,092	28,02	Mala	2,086
14	19,02	Bueno	2,081	27,56	Buena	2,083
15	17,98	Bueno	2,083	28,9	Buena	2,085
16	20,01	Bueno	2,085	29,02	Buena	2,082
17	18,35	Bueno	2,086	27,45	Buena	2,081
18	18,14	Bueno	2,082	26,9	Buena	2,085
19	19,25	Bueno	2,083	27,35	Mala	2,083
20	20,01	Bueno	2,081	29,34	Buena	2,088

Según Oliveras (2017) para calcular la eficacia se utiliza Ecuación 55, la cual se manejó tomando en cuenta que los 80 paquetes constituyen el 100%.

$$\%Eficacia = \frac{\text{Resultado alcanzado} \times 100\%}{\text{Resultado previsto}} \quad \text{Ec. 51}$$

La Tabla 41 y 38 muestran los resultados que se obtuvo de la Ecuación 55 para el cálculo de la eficacia de los productos analizados.

Tabla 41.

Resultados de la eficacia de sellado

Producto	sellado	Eficacia
Morocho	1 lb	95%
Morocho	2 lb	95%
Machica	1 lb	75%
Machica	2 lb	75%

Tabla 42.

Resultados de la eficacia de peso

Producto	Peso	Eficacia
Morocho	1 lb	100%
Morocho	2 lb	95%
Machica	1 lb	95%

Machica 2 lb 95%

5.3. Pruebas de supervisión remota

Estas pruebas se realizaron a la par de las pruebas anteriormente descritas, las alarmas son enviadas cuando se terminó el producto, el plástico y al finalizar una tarea, obteniendo así los datos que se muestran en la Tabla 43.

Tabla 43.
Pruebas de supervisión remota

N° de prueba	Tipo de alarma	Resultado	Tiempo de recepción (s)	Actualización súper remota
1	Harina	Recibido	5	100%
2	Harina	Recibido	6	100%
3	Harina	Recibido	5	100%
4	Harina	Recibido	5	100%
5	Plástico	Recibido	5	100%
6	Plástico	Recibido	5	100%
7	Plástico	Recibido	5	100%
8	Plástico	Recibido	5	100%
9	Tarea terminada	Recibido	8	100%
10	Tarea terminada	Recibido	5	100%
11	Tarea terminada	Recibido	5	100%
12	Tarea terminada	Recibido	5	100%

La Tabla 44 muestra los resultados que se obtuvo de la Ecuación 55 para el cálculo de la eficacia de la supervisión remota.

Tabla 44.
Resultados de la eficacia de la supervisión remota

Tipo alarma	Eficacia
Se terminó el material	100%
Se terminó Plástico	100%

Tarea terminada	100%
Tiempo de recepción de mensajes	100%
Actualización página	100%

5.4. Validación de la Hipótesis

La hipótesis planteada en el proyecto fue:

¿El sistema de sellado y pesado automático de fundas de harinas permitirá obtener un peso exacto para fundas desde 0,5 hasta 2 libras, un sellado óptimo, reducción en el tiempo de producción y permitirá ejecutar supervisión remota del proceso?

Para validar la hipótesis se utilizó las condiciones mostradas en la Tabla 45

Tabla 45.
Condiciones para la aceptación de las hipótesis alternativas

Hipótesis alternativas	Condición de validación
$\mu > \mu_0$	$T > t_{\alpha}$
$\mu < \mu_0$	$T < -t_{\alpha}$
$\mu \neq \mu_0$	$T < -t_{\alpha/2} \text{ o } T > t_{\alpha/2}$

Donde,

T: Es el valor de distribución calculada

t_{α} : Es el valor de distribución obtenido

5.5. Validación de la hipótesis de sellado de fundas por el método T-Student

Para la validación de la hipótesis del sellado de los paquetes se consideró una confiabilidad del 90% y se plantearon las siguientes hipótesis:

H0: La eficacia del sellado de fundas es del 90%

$$\mu_0 = 90\%$$

H1: La eficacia del sellado de fundas es mayor al 90%

$$\mu_0 > 90\%$$

Se validó utilizando los valores de la Tabla 39, 31 y 34 en las cuales se determinan la cantidad de muestras analizadas, el porcentaje de aceptabilidad.

Para obtener el valor de la distribución de T-Student se utilizó la Ecuación 56

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ec. 52}$$

Donde:

\bar{X} = Porcentaje de aceptabilidad medio

μ_0 = Valor objetivo

S = Desviación estándar

n = Número de muestras

Para el obtener el valor de la desviación estándar se usa la Ecuación 57

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Ec. 53}$$

El porcentaje de aceptabilidad medio es de 85% con un total de 80 muestras 40 de morocho y 40 de machica, reemplazando estos valores en la Ecuación 57 se obtiene:

$$S = 11,54$$

Reemplazando los datos en la Ecuación 56 se obtiene el valor de la distribución T de Student.

$$T = 1,73$$

Para determinar el valor de t_{α} se utilizan los grados de libertad los cuales son el número de muestras menos uno y el valor de desviación al buscar estos valores en la tabla de distribución del T-Student mostrada en el anexo1 se obtiene $t_{\alpha} = 1,2924$

$$T > t_{\alpha}$$

$$1,73 > 1.29$$

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, es decir que el sistema es fiable para el sellado de las fundas de harinas.

5.6. Validación de la hipótesis del peso adecuado de fundas por el método T-Student

Para la validación de la hipótesis del sellado de los paquetes se consideró una confiabilidad del 95% y se planteó las siguientes hipótesis:

H0: La eficacia del pesado de fundas es del 95%

H0: La eficacia del pesado de fundas es mayor que el 95%

Para realizar la validación de la hipótesis en cuanto al peso se realizó el procedimiento marcado en la sección 5.1.1 obteniendo así los resultados mostrados en la Tabla 46.

Tabla 46.
Resultados validación del peso

Desviación estándar (S)	2,499
Distribución T Student (T)	4,445
Distribución obtenida (t_{α})	1,664

$$T > t_{\alpha}$$

$$4.445 > 1.664$$

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, es decir que el sistema es fiable para el pesado de las fundas de harinas.

La Tabla 47 muestra los resultados obtenidos de la supervisión remota

Tabla 47.

Resultados validación de la supervisión remota

Desviación estándar (S)	0,54
Distribución T Student (T)	8,62
Distribución obtenida (t_{α})	1,7959

$$T > t_{\alpha}$$

$$8,62 > 1.7959$$

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa del sistema de pesaje y sellado es decir que el sistema es fiable para la supervisión remota, además de recalcar que se puede introducir valores de peso diferentes a los descritos en las pruebas realizados estos pueden varia en el rango de 0,5 a 2 libras.

5.7. Validación de la hipótesis de reducción del tiempo de producción

La Tabla 48 muestra los datos obtenidos por parte dela micro empresa de la cantidad de paquetes que realizan en una hora de trabajo.

Tabla 48.

Datos obtenidos del usuario

Tipo de Harina	Peso	Cantidad
Machica	1 lb	150
Machica	2 lb	110

Morocho	1 lb	150
Morocho	2 lb	110

Y la Tabla 49 muestra los datos obtenidos con la implementación del sistema de pesaje y sellado automático en una hora de trabajo.

Tabla 49.

Datos obtenidos de la máquina

Tipo de Harina	Peso	Cantidad
Machica	1 lb	240
Machica	2 lb	180
Morocho	1 lb	300
Morocho	2 lb	240

Al comparar las tablas 44 y 45 se acepta que la máquina reduce el tiempo de producción en la microempresa ya que los datos verifican este resultado.

5.8. Análisis económico del proyecto

En la Tabla 50 se puede observar los detalles de los gastos generales realizados en el transcurso de la elaboración de la máquina de sellado y pesado.

Tabla 50.

Análisis económico de los materiales utilizados

Cantidad	Detalle	Valor Unitario \$	Valor Total \$
Materiales de ensamble general			
1	Lámina de 3mm de acero negro 1,5 x 2 m	80.00	80.00
1	Lámina de 2mm de acero negro 1,5 x 2 m	55.00	55.00
1	Media plancha de acero inoxidable de 2mm	200.00	200.00
1	Perfil cuadrado 40mm x 2mm	15.00	15.00
1	Ángulo 40mm x 2mm	5.00	5.00
¼	Tubo acero inoxidable de 4in x 80 cm	15.00	15.00
¼	Tubo de acero inoxidable de 1in x 100cm	11.00	11.00

2	Ejes Acero inoxidable de 0.5 in x 2m	28.00	56.00
2	Ejes Acero 1 in por 1m	14.00	28.00
2	Ejes de bronce 0.25in x 20cm	7.50	15.00
4	Cauchos vulcanizados de 40cm de diámetro	20.00	80.00
1	Cadena de bicicleta de 25 cm	3.00	3.00
2	Piñón de Z=30, De=3cm	9.00	18.00
½	Electrodos 6011	8.00	8.00
6	Rodamientos de 1,2 cm de diámetro	3.00	18.00
60	Pernos M6	0.10	6.00
60	Tuercas de seguridad M6	0.10	6.00
1	Eje de aluminio de 4in x7cm	70.00	70.00
1	Eje de aluminio de 8in x36 cm	139.40	139.4
10	Acoples rápidos de 6 mm	0.30	3.00
1	Tubo de Acero inoxidable de 8in x15 cm	40.00	40.00
1	Plancha de Tol de 2mm	150.00	150.00
2	Rollos de plástico de 125 cm	50.00	100.00
1	Mangueras de aire de ¼ 2m	10.00	10.00
Subtotal			1131.40
Material eléctrico, electrónico y neumático			
2	Servo motor híbrido 1000 rpm, 12 Nm	600.00	1200.00
4	Actuador lineal neumático de 230mm/s de velocidad y 500mm de carrera	40.00	160.00
1	Actuador lineal neumático de 120mm/s de velocidad y 300mm de carrera	25.00	25.00
3	Electroválvulas	50.00	150.00
1	Fuente de energía 24V 15A	35.00	35.00
1	Motor DC 24v	30.00	30.00
1	Cautín	2.50	2.50
1	Motor Vibrador 6v	2,30	2,30
1	Compresor	250.00	250.00
1	Estaño (2 m)	0.50	0.50
1	Crema para soldar	1.50	1.50
1	Placa de 15x10 cm	1.00	1.00
1	Pantalla Weintek 5 in	200.00	200.00
1	PLC Eopus	150.00	150.00
3	Teflón de 4x 300 cm	11.30	33,90

Subtotal		2541.7
Sistema de supervisión remota		
1	Módulo wifi	30.00
Subtotal		3712.1
Diseño e implementación del sistema de pesaje y sellado		800.00
Diseño e implementación del circuito electrónico y de control		800.00
TOTAL		\$5312.1

El valor total de implementación de este proyecto es de \$5312.1 dólares, se verifica que el proyecto es factible económicamente, ya que en el mercado máquinas con una funcionalidad similar como la máquina colombiana: dosificadora-pesadora y selladora automática de 1-100gr bordea los \$ 18.560.000, sin considerar gastos de envío, puesta en marcha y configuración.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se diseñó e implementó un sistema de pesaje y sellado automático de fundas de harina con supervisión remota para disminuir las pérdidas y aumentar la producción del trabajo del Comercial Jacqueline por medio del diseño mecánico y electrónico implementado en el mismo.
- Para la construcción de la estructura se aplicaron las consideraciones del manual de Buenas Prácticas Alimentarias y de la norma NTE INEN 3039, las cuales hablan sobre de los materiales adecuados para la construcción de los elementos que tienen contacto con la materia prima como son: la tolva, la balanza y el formador de la funda.
- El diseño del tornillo sinfín es uno de los aspectos más importantes del sistema ya que de este depende el transporte del material hacia la balanza, el proceso es más rápido si el tornillo sin fin está colocado verticalmente. El diseño del mismo debe exacto ya que si falla el producto no circula y se acumula en las hélices del mismo provocando así fallas en el motor.
- Al trabajar con harina fina como es el caso del maíz, la arveja, entre otros, se debe colocar un motor vibrador en la balanza para evitar que se quede material en la misma, ya que tienden a pegarse a las paredes.
- Las aspas de la tolva deben tener un diseño adecuado para que el producto pueda circular correctamente. Un mal diseño de las mismas puede provocar un efecto de centrifugadora acumulando todo el material en las paredes.

- El sistema cuenta con un sistema operativo para controlar todo el proceso por medio de tareas, ya que este es más exacto al momento de programar y asignar el tiempo de ejecución a cada tarea, el sistema también permite otorgar más tiempo de ejecución hasta que la tarea culmine el proceso.
- El sistema de pesaje y sellado tiene dos opciones de trabajo una manual; con la que se pueden realizar pruebas y verificar que la temperatura para el sellado sea óptima, esta opción realiza un paquete cada vez que se presiona el botón de Start; y, el segundo modo de trabajo que es el automático el cual pesa las fundas especificadas por el usuario de manera continua.
- El material seleccionado para las fundas fue el polipropileno, ya que este impide que la harina se adhiera a las paredes de la funda al momento de pesar. Si existen resto de polvo en las paredes disminuye la eficiencia del sellado de la funda. El film de plástico usado para realizar el formador de funda debe ser el mismo que se utilice para el funcionamiento de la máquina ya que el proceso de fabricación y calibración del cuello es un complejo, y al cambiar de film de plástico de tamaño o densidad puede provocar errores y que el film no circule libremente por el mismo.
- La linealización de la celda de carga es de suma importancia para el proyecto ya que de esta depende el peso que va a tener cada funda empacada; al no realizar una buena linealización, lecturas erradas y el peso enfundado puede ser mayor o menor al requerido, generando pérdidas económicas al Comercial Jaqueline.

- La calibración de los rodillos de arrastre para la formación de la funda es un aspecto importante, ya que al tener errores en estos el recorrido de la funda no será igual y el sellado horizontal no será eficiente.
- Para tener una lectura correcta de los datos ingresados por e HMI, las comunicaciones deben estar correctamente realizadas ya que de estas depende que el PLC reciba la orden de cuantas fundas y de que peso debe realizar el proceso.

6.2. Recomendaciones

- Para realizar pruebas de funcionamiento es importante colocar la máquina en estado manual y sin producto, para evitar así la pérdida de producto y revisar a cada uno de los pasos del proceso.
- Si se desea cambiar algún elemento de la máquina por uno distinto al que tiene originalmente es necesario volver a calibrar los valores de los parámetros, ya que los elementos varían entre ellos, realizar pruebas y grabar los nuevos valores en el PLC para el correcto funcionamiento de la máquina.
- Después de que el usuario soluciona los problemas que provocaron que las alarmas se activen, para continuar con el proceso este debe colocar la perilla manual-automático en la mitad y presionar el botón de stop, esto permitirá que las alarmas se reseteen y que la máquina continúe con el proceso
- La velocidad del proceso podría ser aumentada para futuras investigaciones, modificando el diseño mecánico del tornillo sin fin y del mecanismo de arrastre ya que al cambiar el

paso y diámetro del tornillo este puede transportar más producto agilizando así el proceso de pesado.

- Al momento de realizar el mantenimiento mecánico de la máquina es necesario enfocarse en el teflón y en los cauchos de las mordazas ya que están trabajando a una temperatura alta tienden a deteriorarse rápido.
- Para calibrar la máquina o realizar cambios en los parámetros esta cuenta con una perilla la cual puede seleccionar trabajar sin producto, ya confirmando los cambios realizados se procede a guardar los datos en el PLC.
- Para comenzar el proceso es necesario prender la máquina y dejar que las niquelinas lleguen a la temperatura adecuada para su correcto funcionamiento, ya que si la temperatura en las mordazas de sellado no es la adecuada el sellado de las fundas será deficiente, para lo cual se debe verificar en la pantalla de parámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acrison. (3 de Agosto de 2018). *Dosificadores gravimétricos*. Recuperado el 20 de enero de 2019, de <https://acrison.com/es/linea-de-productos/dosificadores-gravimetricos/>
- Agricultura, O. d. (07 de abril de 2019). Recuperado el 5 de mayo de 2018, de <http://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2019/es/>
- Allbiz. (2019). *Máquina Empacadora W-352*. Recuperado el 17 mayo del 2019, de <https://gt.all.biz/maquina-empacadora-w-352-g14714>
- Avilés, M. (Junio de 2011). *Basculas apra pesaje de tolvas*. Recuperado el 8 de mayo de 2018, de <http://www.basculasbalanzas.com/modelos/pesaje-de-tolvas.html>
- Bsata. (1990). *Instrumentation et automation des procedes industriés*. Saint- Laurent, Italia: Le griffon d'arglle.
- Castro, M. (30 de Diciembre de 2013). *Tecnología de los plásticos*. Recuperado el 9 de mayo de 2018, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/12/termosellado.html>
- CIMA. (Diciembre de 2010). *Pesadora multicabezal*. Recuperado el 11 de mayo de 2018, de <https://www.cimasa.com/articulos/pesadora-multicabezal>
- Cobo, J. G. (14 de Agosto de 2013). *Industruino, una placa Arduino para la Industria*. Recuperado el 15 de mayo de 2018, de https://www.industrialshields.com/es_ES/?gclid=CjwKCAjw__fnBRANEiwAuFxET4qT0DjSiOKvvSfrcXjwIcNqY1Bq2SLoPIW_E4zpbPdIO-zOCvyFJhoC9ykQAvD_BwE
- COMAQ. (Febrero de 2017). *Empacadora Automática Multipista*. Obtenido de <https://www.comaq.co/store/EMPACADORAS-AUTOMATICAS/EMPACADORA-AUTOMATICA-MULTIPISTA/17>
- COMODO, O. (13 de abril de 2016). *RMM (Supervision y gestion remota)*. Recuperado el 18 de mayo de 2018, de <https://one.comodo.com/rmm.php>
- Cruz, M. G. (2016). Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de pelado. Sangolqui.
- Diego Ortiz, C. M. (1 de Febrero de 2016). *Diseño d eun dosificador semiautomático por tornillo sin fin*. Recuperado el 17 de abril de 2018, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7487/2/04%20MEC%20105%20ARTICULO.pdf>
- Doser, L. (15 de marzo de 2018). *Laboratory instruments*. Recuperado el 22 de mayo de 2018, de <https://www.lambda-instruments.com/es/dosificador-de-solidos/>

- durapulse, M. d. (08 de Mayo de 2019). *Parámetros del variador de frecuencia*. Recuperado el 16 de abril de 2018, de Chapte 4-SP. PDF:
<https://cdn.automationdirect.com/static/manuals/g3msp/ch4.pdf>
- Ejecutivo, D. (2002). Reglamento de buenas prácticas para alimentos procesados. *Lexis*, 18. Recuperado el 23 de Marzo de 2018
- ENVAPACK. (Febrero de 2009). *Pesadora multicabezal*. Recuperado el 13 de agosto de 2018, de <https://envapackenvasadoras.com/multicabezal/>
- EOPUS. (4 de enero de 2018). *Manual de usuario EOPUS CP11*. Recuperado el 15 de marzo de 2019, de <http://eopus.org/wp-content/uploads/2019/02/MANUAL-DE-USUARIO-PLC-CP11.pdf>
- Equipos y Laboratorio. (Abril de 2015). *Historia d ela Balanza*. Recuperado el 20 de abril de 2018, de http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=584
- Espinoza, M. (1995). *Diseño y construccion de una celda de carga*. San nicolas de los garza, N. L.
- Expomaquinaria. (01 de junio de 2016). *Maquinaria*. Recuperado el 25 de agosto de 2018, de <https://www.expomaquinaria.es/envasadora/>
- festo-didactic. (2018). *Estación de Clasificación: Final*. Recuperado el 19 de Julio de 2018, de festo-didactic: <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion-modular/estaciones/estacion-de-clasificacion-final.htm?>
- Florencio, C. (14 de Julio de 2017). *Envasados a terceros*. Recuperado el 5 de agosto de 2018, de <https://envasados.es/tipos-de-film-para-envases/>
- GFT automazioni. (Abril de 2015). *Balanza multi-cabezas*. Recuperado el 18 de abril de 2018, de http://www.gftautomazioni.it/sistemas-pesado-balanzas-pesadores-autom%C3%A1ticos-ensado-detalle-productos.aspx?id_prod=19
- Giraldo, I. (2004). *Diseño y montaje de un control de nivel para una envasadora de leche*. Colombia: Tecno.
- Giraldo, L. A. (3 de agosto de 2018). *Laboratorio de procesos químicos de CARTIF*. Recuperado el 5 de junio de 2019, de <http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info49/articulos/Envasado%20y%20Conservacion%20de%20Alimentos%20%281%29.pdf>
- Helguero, J. R. (2004). *Màquina formadora y llenadora de fundas de azùcar*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1882/1/3749.pdf>
- Hernández, P. (12 de enero de 2018). *Acero ASTM A36*. Recuperado el 11 de enero de 2018, de <https://es.scribd.com/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>

- Hooper, j. (1999). *CONFECTIONERY PACKAGING EQUIPMENT*. España: Aspen.
- industrial, A. (14 de noviembre de 2014). *Máquina de envasado vertical*. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de <https://industrial.omron.es/es/solutions/packaging/packaging-machine-automation-solutions/vertical-flow-wrapper>
- Ingemecánica. (3 de junio de 2018). *Cálculo de transportadores de tornillo sin fin*. Recuperado el 25 de abril de 2018, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>
- INGENIERIA, L. (2019). *Making The Invisible Visible*. Obtenido de Soluciones logística: <http://www.lyl-ingenieria.com/es/soluciones-logistica/sistemas-dinamicos/sistemas-de-pesaje-dinamico/bascula-industrial-ec-m-sl/c5r105/>
- Instruments, P. (22 de Octubre de 2014). *Equipos de medida Cintas transportadoras pesadoras*. Recuperado el 25 de abril de 2018, de http://www.national_instruments.com
- ISO. (25 de junio de 2014). *dgn.isolutions.iso*. Recuperado el 30 de julio de 2018, de <https://dgn.isolutions.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:16143:-2:ed-1:v1:en>
- Iza, M. (25 de Agosto de 2015). *Doc Player*. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de <https://docplayer.es/58066191-Diseno-y-construccion-de-una-maquina-dosificadora-y-empacadora-controlada-por-plc-para-la-linea-de-produccion-de-snacks-de-la-empresa-ecuamex-s.html>
- labs, W. (18 de octubre de 2016). *Datasheet pantalla Weintek*. Recuperado el 16 de febrero de 2019, de <https://www.tecon.cz/pdf/MT8071iE.pdf>
- Medina, M. I. (s.f.). “*DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA*”. Recuperado el Junio de 2019, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6534/1/AC-MEC-ESPE-047102.pdf>
- Meléndez, J. (25 de abril de 2018). *Sistemas de supervisión*. Recuperado el 21 de enero de 2019, de <http://intranet.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/10/files/sistemas%20de%20supervision.pdf>
- MÈXICO, P. T. (2019). *Dosificación gravimétrica de color para moldeo por inyección*. Obtenido de <https://www.pt-mexico.com/knowledgecenter/Mezclado/Fundamentos-de-dosificacion/Dosificacion-gravimetrica-de-color>
- Milvaques, A. (25 de Marzo de 2015). *Diseño higiénico en la industria alimentaria*. Recuperado el 6 de junio de 2018, de <http://www.betelgeux.es/blog/2015/03/25/disenio-higienico-en-la-industria-alimentaria/>
- Moreno, E. (2010). *Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz*. Quito: asme.

- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México, D.F.: Pearson Education.
- Nave, M. O. (6 de junio de 2018). *HyperPhysics Mecánica*. Recuperado el 15 de julio de 2019, de Potencia: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/pow.html>
- net, I. (2019). *GS tècnic perifèrics y componentes, S.L. (Gstècnic) - Dosificadores para plàstics*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/Plastico/FeriaVirtual/Producto-Dosificadores-gravimetricos-SB-Serie-FSGB-60127.html>
- Nisbett, R. G. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (8va Edición ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill Interamericana.
- Oliveras, E. F. (1 de Junio de 2017). *Grupo P&A*. Recuperado el 14 de abril de 2018, de Blog sobre retención y el desarrollo capital humano: <https://blog.grupo-pya.com/se-calcula-la-efectividad-eficacia-eficiencia-una-empresa/>
- OMEGA. (13 de marzo de 2013). *Celda de carga*. Recuperado el 5 de enero de 2019, de <https://es.omega.com/prodinfo/celulas-de-carga.html>
- Omega. (24 de marzo de 2015). Recuperado el 27 de agosto de 2018, de remote Monitoring: <https://www.omega.com/technical-learning/remote-monitoring.html>
- OSHA. (14 de Febrero de 2007). *osha.gov*. Recuperado el 10 de junio de 2018, de <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.305>
- Palmer, S. (2009). *Critical Infrastructure Protection III*. New Hampshire: Springer. p. 87.
- Pintado, M. C. (Mayo de 2009). *Implementaciòn d eun sistema de compensaciòn a la velocidad de acarrero de hebra de tabaco*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1536/1/CD-2212.pdf>
- Pololu. (15 de Marzo de 2019). *Robotics & Electronics*. Recuperado el 16 de Junio de 2019, de <https://www.pololu.com/product/1107?fbclid=IwAR2YLF7xJxiH8ygkXq1A8gUwFRBLMW1JScCGZv3eepjxwHKko4cfjaQH9n0>
- Precision. (Enero de 2017). *Sistema de pesaje y etiquetado Automático*. Recuperado el 22 de abril de 2019, de <https://www.precision.cl/proyecto/sistema-de-pesaje-y-etiquetado-automatico/#>
- Ramos, G. (5 de diciembre de 2018). *Envasadora de granos manual*. Recuperado el 2 de enero de 2019, de <https://itepacp.com/envasadora-de-granos-manual-cordoba/>
- Rivera, P. (2013). *Diseño y construcción de un sistema de dosificación de micronutrientes para optimizar el proceso de producción en la empresa Avipaz*. Ecuador: Lexis.
- Rodríguez, J. (2013). *Diseño y construcción de un protoripo de una máquina dosificadora y selladora para condimentos*. Quito: Lexis.

- S, R. (2008). *Introduction to materials handling*. New Delhi: Conveyors.
- S.L., P. I. (Abril de 2019). *Cintas transportadoras pesadoras*. Obtenido de <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/balanzas/cintas-transportadoras-pesadoras.htm>
- Savane. (18 de febrero de 2012). *RAMON un agente de supervisión de red*. Recuperado el 30 de junio de 2018, de <http://savannah.nongnu.org/projects/ramon/>
- SCAIME. (12 de septiembre de 2018). Recuperado el 12 de marzo de 2019, de <http://www.scaime.com/>
- SCAIME. (12 de enero de 2018). *Montaje de celdas de carga en tolvas*. Recuperado el 20 de mayo de 2018, de <http://www.scaime.com/>
- Selladora Bolsas 20cm* . (s.f.). Obtenido de https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-474641332-selladora-bolsas-20cm-incluye-repuesto-extra-_JM?quantity=1
- Serrano, C. (Noviembre de 2016). *Diseño e impletacion de un sistema de control para el empaquetado de cafe*. Quito: Lexis.
- SHIELDS, I. (15 de Julio de 2015). *M-duino 21-guide*. Recuperado el 09 de junio de 2019, de <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/145d/0900766b8145d6cc.pdf>
- Tecnologins, C. (10 de Abril de 2019). *Special Sealing Gland Design Increases Probe Exposure to the Process in Application with Tight Spacing*. Obtenido de <https://www.conaxtechnologies.com/case/special-sealing-gland-design-increases-probe-exposure-to-the-process-in-application-with-tight-spacing/>
- Ulrich K., E. S. (2004). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.: Mc Graw Hill Education.
- Usuario, M. d. (13 de enero de 2019). *eopus.org*. Recuperado el 28 de mayo de 2019, de <http://eopus.org/wp-content/uploads/2019/02/MANUAL-DE-USUARIO-PLC-CP11.pdf>
- Venegas, M. (23 de Mayo de 2015). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11410/1/T-ESPE-048891.pdf>

ANEXOS



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

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente fue desarrollado por la señorita **Zamora Solis, Jessica Karina**.

En la ciudad de Latacunga a los 17 días del mes de junio del 2019.

Ing. Rea Nathaly.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Darío Mendoza

DIRECTOR DEL CARRERA

SECRETARIO ACADÉMICO