

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA
EMPACAR Y SELLAR PAQUETES DE MORA DE HASTA 500 GRAMOS

Estudiantes

JAVIER ANDRÉS MOLANO DÍAZ
IVÁN RENÉ MENDOZA PINZÓN

Director

OSCAR EDUARDO RUEDA SÁNCHEZ, M. Sc

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTADE DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2020

Proyecto de grado titulado “Diseño y construcción de una máquina automatizada para empacar y sellar paquetes de mora de hasta 500 gramos” presentado por los estudiantes Iván René Mendoza Pinzón y Javier Andrés Molano Díaz para optar por el título de ingeniero mecatrónico

M.sc. Carlos Adolfo Forero González
Evaluador

Ph.D. Sebastián Roa Prada
Evaluador

Bucaramanga, 3 de diciembre de 2020

Contenido

1. Introducción	9
2. Planteamiento del problema	10
3. Justificación	11
4. Objetivos.....	12
4.1. Objetivo general	12
4.2. Objetivos específicos.....	12
5. Metodología	13
6. Estado del arte.....	15
7. Marco Teórico.....	19
7.1. Máquinas selladoras.....	19
7.1.1. Máquinas selladoras semiautomáticas.....	19
7.1.2. Máquinas selladoras automáticas	19
7.2. Material de empaque.....	20
7.2.1. Tipos de empaque.....	20
7.2.2. Configuración de empaques flexibles.....	20
7.3. Técnicas de sellado	21
7.3.1. Método dieléctrico	21
7.3.2. Sellado por inyección de gas.....	21
7.3.3. Sellado por ultrasonido.....	22
7.3.4. Sellado por impulso	22
7.3.5. Sellado por mordazas calientes	23
7.4. Cinta transportadora.....	23
7.4.1. Funcionamiento.....	23
7.4.2. Tipos de cintas transportadoras	24
7.4.3. Partes de una cinta transportadora	25
7.5. Estática.....	26
7.6. Cinemática.....	26
7.7. Dinámica	27
8. Análisis de la información recopilada.....	28
9. Conceptualizar alternativas de solución.....	29

9.1.	Diagrama de análisis funcional de necesidad	29
9.2.	Metodología Function Analysis System Technic (FAST)	31
10.	Evaluación de las alternativas	33
11.	Diseño mecánico de la máquina.....	48
11.1.	Diseño conceptual.....	48
11.2.	Diseño mecánico.....	49
11.2.1.	Sistema de suministro.....	50
11.2.1.1.	Tolva.....	50
11.2.1.2.	Banda transportadora	55
11.2.2.	Sistema de dosificación	67
11.2.3.	Sistema de arrastre.....	70
11.2.4.	Sistema de sellado y corte	74
11.2.5.	Estructura.....	79
11.3.	Ciclo de optimización	80
12.	Selección de actuadores	89
13.	Diseño detallado y construcción	89
13.1.	Construcción sistema de suministro.....	89
13.2.	Construcción sistema de dosificación	92
13.3.	Construcción sistema de Sellado	92
13.4.	Ensamble final de la máquina	93
14.	Pruebas de funcionamiento	97
15.	Conclusiones.....	103
16.	Próximas mejoras.....	104
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	105
13.	Anexos	107

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Metodología	13
Ilustración 2. Máquina semi automática Frutilandia Allauca	15
Ilustración 3. Máquina empacadora de productos hortofrutícolas.....	16
Ilustración 4. Máquina control de calidad TruePlast	17
Ilustración 5. Máquina de empaqueo para panela granulada	17
Ilustración 6. Bolsa tipo almohadilla de tres sellos.....	20
Ilustración 7. Bolsa tipo almohadilla de tres sellos con fondo plano	20
Ilustración 8. Bolsa tipo sachet.....	21
Ilustración 9. Sellador dieléctrico	21
Ilustración 10. Sellado por inyección de gas.....	22
Ilustración 11. Sellado por ultrasonido.....	22
Ilustración 12. Sellado por impulso.....	22
Ilustración 13. Sellado por mordazas calientes	23
Ilustración 14. Cintas planas.	24
Ilustración 15. Cinta cóncava	24
Ilustración 16. Cinta tubular.....	25
Ilustración 17, Cinta metálica	25
Ilustración 18. Partes de una banda transportadora	26
Ilustración 19. Diagrama de la necesidad.....	29
Ilustración 20. Diagrama de análisis funcional de la necesidad.....	31
Ilustración 21. Función principal 1	32
Ilustración 22. Función principal 2	32
Ilustración 23. Función principal 3	33
Ilustración 24. Sistema de dosificación volumétrico	36
Ilustración 25. Sistema de dosificación por peso.....	37
Ilustración 26. Formado de bolsa	38
Ilustración 27. Camisa de funda	38
Ilustración 28. Tracción por mordazas horizontales	39
Ilustración 29. Tracción por rodillos.	39
Ilustración 30. Tracción por correas deslizantes.....	40
Ilustración 31. Sellado horizontal con apertura de dos mordazas con cilindro neumático.....	41
Ilustración 32. Sellado horizontal con dos mordazas mediante servomotor	41
Ilustración 33. Sellado horizontal con apertura de dos mordazas con dos cilindros neumáticos.....	42
Ilustración 34. Sistema de corte con cuchilla.....	42
Ilustración 35.Deslizamiento rodillo plano	47
Ilustración 36.Deslizamiento sobre placa plana continua	47
Ilustración 37. Diagrama de proceso de la máquina.....	48
Ilustración 38. Diseño conceptual.....	49
Ilustración 39. Subsistemas mecánicos que componen la máquina.....	50

Ilustración 40. Dimensiones caja plástica para almacenamiento de mora.....	51
Ilustración 41. Diseño CAD de la tolva	51
Ilustración 42. Diseño CAD boquilla	52
Ilustración 43. Diagrama de distribución de carga en la tolva.....	53
Ilustración 44. Enmallado de la tolva	53
Ilustración 45. Esfuerzo equivalente de Von Mises	54
Ilustración 46. Factor de seguridad de la tolva	54
Ilustración 47. Diseño de la banda transportadora	55
Ilustración 48. Diseño CAD del eje de tracción de la banda.....	55
Ilustración 49. Diseño CAD de la chumacera	56
Ilustración 50. Diseño CAD del engranaje.....	56
Ilustración 51. DCL de banda catálogo Intralox	56
Ilustración 52. Grados de maduración de la mora	57
Ilustración 53. Tamaño aproximado de la mora	57
Ilustración 54. Elección de la velocidad lineal y ancho de la banda	58
Ilustración 55. Datos de banda.....	59
Ilustración 56. Coeficiente de fricción F_w	60
Ilustración 57. Factor de servicio	60
Ilustración 58. Factor de temperatura.....	61
Ilustración 59. Datos engranajes.	62
Ilustración 60. Factor de resistencia	62
Ilustración 61. Separación entre engranajes.	63
Ilustración 62. Datos del eje	64
Ilustración 63. Longitud del eje.....	65
Ilustración 64. Par de torsión máximo	65
Ilustración 65. Obtención diámetro de paso	66
Ilustración 66. CAD sistema de dosificación.....	67
Ilustración 67. Planos tapa frontal	67
Ilustración 68. Planos tapa trasera	68
Ilustración 69. Planos soporte	68
Ilustración 70. DCL sistema de dosificación	69
Ilustración 71. CAD sistema de arrastre	70
Ilustración 72. CAD tubo de alimentación.....	71
Ilustración 73. DCL sistema de arrastre	71
Ilustración 74. CAD sistema de arrastre	73
Ilustración 75. Análisis estático de esfuerzo de Von Mises	73
Ilustración 76. Análisis de factor de seguridad	74
Ilustración 77. CAD sistema de sellado.....	74
Ilustración 78. DCL sistema de sellado	75
Ilustración 79. DCL manivela biela corredera.....	76
Ilustración 80. DCL manivela sistema sellado	77
Ilustración 81. DCL biela sistema de sellado.....	78
Ilustración 82. DCL corredera sistema de sellado	78

Ilustración 83. Diseño estructura de la máquina	80
Ilustración 84. análisis estático de la estructura	80
Ilustración 85. Diseño CAD actualizado sistema sellado	81
Ilustración 86. DCL sistema sellado optimizado	81
Ilustración 87. Presión de sellado en diferentes materiales.....	82
Ilustración 88. Análisis estático de Von Mises.	83
Ilustración 89. Análisis de factor de seguridad	83
Ilustración 90. DCL ciclo optimización sistema de dosificación	84
Ilustración 91. Unidad de mantenimiento	87
Ilustración 92. Especificaciones unidad de mantenimiento.....	88
Ilustración 93. Construcción tolva.....	90
Ilustración 94. Soporte base tolva	90
Ilustración 95. Banda transportadora.....	90
Ilustración 96. Eje motriz de la banda.....	91
Ilustración 97. Ensamble sistema de suministro	91
Ilustración 98. Motor banda transportadora	91
Ilustración 99. Balanza sistema de dosificación	92
Ilustración 100. Sistema de sellado	92
Ilustración 101. Ensamble de todos los subsistemas.	93
Ilustración 102. Circuito de protección contra sobrecargas.	93
Ilustración 103. Esquema fuente de poder	94
Ilustración 104. Conexión indicadores y Parada de emergencia.	94
Ilustración 105. Conexión controladora de temperatura	95
Ilustración 106. Conexión HMI y teclado matricial	95
Ilustración 107. Conexión celda de carga y HX711	95
Ilustración 108. Conexión entre pistones y electroválvulas.	96
Ilustración 109. Conexión entre la Unidad de control y todos los componentes eléctricos.	96
Ilustración 110. Esquema neumático de la máquina	97
Ilustración 111. Conexiones caja de control	97
Ilustración 112. Relación velocidad peso encontrada.....	99
Ilustración 113. Muestras del valor sensado de peso del producto con un buen nivel de mora en la tolva.....	99
Ilustración 114. Muestras del sensado del peso del producto con un nivel mínimo de mora en la tolva	100
Ilustración 115. Resultados de validación sistema de dosificación y sellado.....	101
Ilustración 116. Datos obtenidos puesta a punto de la máquina	102
Ilustración 117. Resultados obtenidos del proceso de empacado en las diferentes presentaciones.	102

Lista de tablas.

Tabla 1. Alternativas de solución por subsistema.....	18
Tabla 2. Ponderación de los criterios de la matriz de prioridad	34
Tabla 3. Análisis de costo entre las alternativas	35
Tabla 4. Análisis de versatilidad de las alternativas	35
Tabla 5. Análisis de facilidad de manufactura de las alternativas.....	35
Tabla 6. Análisis de facilidad de mantenimiento de las alternativas	35
Tabla 7. Análisis de requerimientos del cliente con respecto a las alternativas.....	36
Tabla 8. Matriz resumen para selección de alternativa.....	36
Tabla 9. Matriz resumen sistema de dosificación	37
Tabla 10. Matriz resumen sistema de formación de bolsa.....	38
Tabla 11. Matriz resumen sistema de arrastre	40
Tabla 12. Matriz resumen sistema de sellado	42
Tabla 13. Matriz QFD para elegir tipo de actuador en sistema de suministro	44
Tabla 14. Matriz QFD para sistema de dosificación	44
Tabla 15. Matriz QFD para el sistema de arrastre del material	44
Tabla 16. Matriz QFD sistema de sellado.....	45
Tabla 17. Matriz QFD unidad de control.....	45
Tabla 18 Campos de aplicación por tipo de banda.....	46
Tabla 19. Matriz QFD tipo de banda transportadora	46
Tabla 20. Matriz QFD tipo de deslizamiento de la banda	48
Tabla 21. Datos de la malla empleada en el análisis estático	53
Tabla 22. Comparación reevaluación en selección de actuadores.....	88
Tabla 23. Requerimiento de actuadores por subsistema.....	89
Tabla 24. Datos de peso teórico vs peso real en gramos de las diferentes presentaciones del producto	102

1. Introducción

Como ocurre en otros países latinoamericanos, en Colombia la comercialización de frutas ha ido avanzando hacia esquemas más desarrollados e integrados en los que se destacan el uso de tecnologías de la información y las comunicaciones y los cambios en las relaciones entre los agentes, en particular con las medianas cadenas de supermercados. En este escenario, los mercados minoristas deben empezar a ajustar sus métodos y objetivos pues cada vez hay más alternativas para que los consumidores accedan a los alimentos y, por tanto, para que los agentes comerciales desempeñen su actividad. (Rodríguez Reyes, 2010)

Por tal razón, con la finalidad de mejorar e incentivar el consumo de sus productos la empresa “ Distribuidora y Comercializadora de frutas Piedecuesta” requiere implementar un sistema automatizado de empaçado y sellado de uno de sus productos de mayor demanda que es la mora (Allauca Paguay, 2017). El presente proyecto apunta a resolver esta necesidad mediante el diseño y construcción de una empaçadora y selladora automatizada de mora. En el desarrollo del proyecto fueron usadas múltiples metodologías para encontrar una solución a las necesidades del usuario empleando criterios de diseño fundamentados en las características del producto.

2. Planteamiento del problema

Los comerciantes de frutas dependen de la demanda del mercado; estos invierten su dinero en la compra de mercadería, con el riesgo de que el producto no sea del agrado del consumidor y que no se pueda concretar la venta. Los clientes basan su selección en criterios de color, tamaño, forma, nivel de maduración y olor; dependiendo del comerciante pueden llegar incluso a probar la fruta, lo cual puede ser un factor decisivo al momento de la compra. Además, existen otros factores como limpieza, precio y peso justo, integridad o maltrato de la fruta, los cuales también inciden en la decisión de compra. El proceso de pesaje y empaque de las frutas en bolsas plásticas se realiza comúnmente de manera manual y debido a esto pueden haber fallas de homogeneidad en el pesaje de la fruta; esto también conlleva problemas de higiene al manipular el producto con las manos, y produce retardo en la atención a los clientes (Allauca Paguay, 2017).

3. Justificación

La inversión en automatización para procesos de empaçado de productos agrícolas ha venido creciendo con el tiempo debido a las exigencias de los vendedores, quienes buscan que dicho proceso se haga de forma más eficiente con el fin de mejorar la venta de sus productos (Bernal, 2007). Por tal razón, atendiendo a la solicitud del señor William Mendoza quien busca que el proceso de empaçado de mora en su puesto de venta se automatice para mejorar sus ventas, se decide diseñar y construir una máquina capaz de mejorar los tiempos de empaçado, la higiene, la precisión de producto final, la calidad del empaçado y presentación, y la disminución de la dependencia de mano de obra ya que no se encuentra personal operativo para hacer esta labor.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Construir a partir de un diseño propio una máquina automatizada para empacar y sellar paquetes de masa de hasta 500 gramos.

4.2. Objetivos específicos

- Revisar en la literatura proyectos similares que sirvan como guía para el diseño de cada uno de los procesos que componen la máquina.
- Diseñar cada subsistema que componen la máquina con la ayuda de herramientas CAD/CAM/CAE.
- Calcular los elementos constitutivos de la máquina.
- Escoger materiales, componentes electrónicos y actuadores que cumplan con los requerimientos de diseño.
- Construir cada subsistema y ensamblarlos.
- Realizar puesta punto de la máquina y corrección de errores.

5. Metodología

La metodología de diseño en ingeniería empleada es la de Devdas Shetty ya que permite hacer un ciclo de optimización al diseño y al igual permite hacer este ciclo con el producto construido. Lo cual permite alcanzar un diseño eficiente que garantice el funcionamiento adecuado del producto mediante una secuencia ordenada en donde se van especificando cada una de las actividades que se realizan en la parte del diseño, en la simulación, prototipo y en la construcción final.

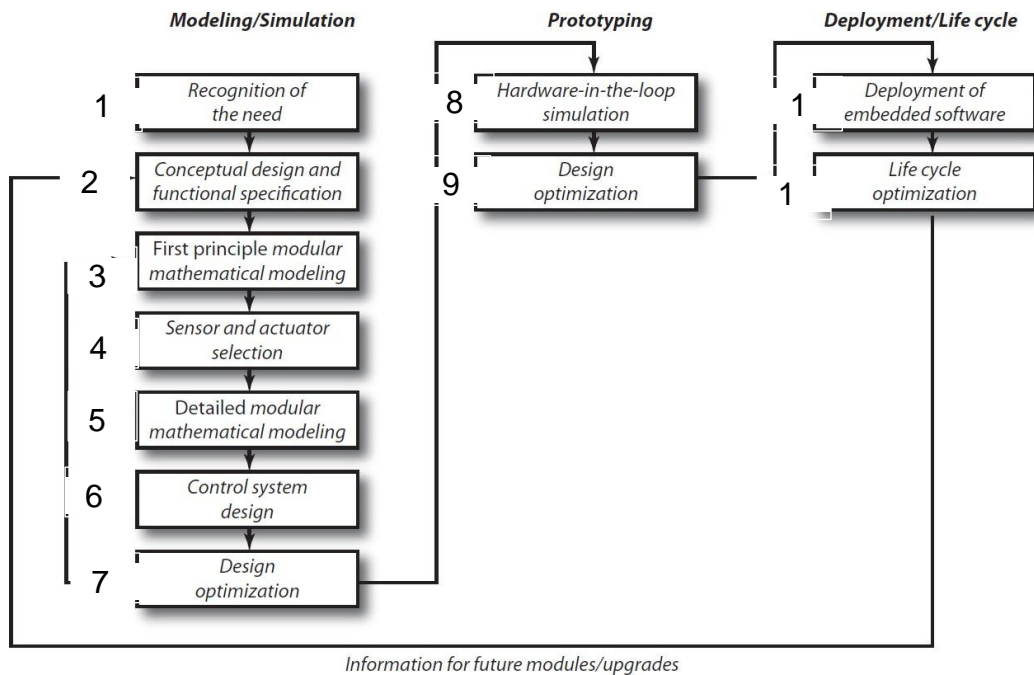


Ilustración 1. Metodología

Modeling/ Simulation

1. Recognition of the need
 - Reunión con el cliente para conocer la necesidad y los requerimientos
2. Conceptual design and functional specification
 - Buscar en las diferentes bases de datos, artículos, revistas o libros documentos que se relacionen con el proyecto y seleccionar lo que aportan al proyecto
 - Realizar bosquejos a mano de cada subsistema
 - Modelar cada uno de los subsistemas en SOLIDWORKS y ensamblarlos.

3. First principle modular mathematical modeling
 - Modelar matemáticamente cada subsistema.
 - Hallar requerimientos de diseño.
4. Sensor and actuator selection
 - Elegir sensores, actuadores y unidad de control.
5. Detail modular mathematical modeling
 - Iterar el material y su grosor en una simulación CAE.
 - Detallar más el modelo matemático con nuevas variables o datos obtenidos.
6. Control system design
 - Diseño de circuitos de acondicionamiento de señal de sensores.
 - Diseño de circuitos de potencia de actuadores.
 - Diseño de la secuencia automática
7. Design optimization
 - Realizar modificaciones y corrección de errores al diseño.

Prototyping

8. Hardware in the loop simulation
 - Compra de materiales, sensores, actuadores y unidad de control.
 - Elegir los procesos de manufactura.
 - Maquinado de cada pieza.
9. Design optimization
 - Ensamblar cada subsistema.
 - Puesta en marcha de cada subsistema.
 - Ensamble del prototipo.

Deployment/Life cycle

10. Deployment of embedded software
 - Puesta en marcha del sistema.
 - Corrección de errores.
11. Life cycle optimization
 - Puesta a punto de la máquina.

6. Estado del arte

La automatización en el empaque de frutas, hortalizas y sus derivados ha venido creciendo con el tiempo; buscando cada día diseños más eficientes para realizar este procedimiento (Electronica, 2010). Además, lo que se busca en este tipo de proyectos es optimizar los tiempos de los procesos de empaque y sellado del producto, teniendo en cuenta las normas necesarias de higiene que garanticen la inocuidad del producto. Los trabajos hechos con el fin de automatizar el empaque y sellado de frutas y verduras han generado diseños que además de garantizar la higiene propenden porque la calidad del producto se mantenga. Basados en lo anterior, estas han sido algunas soluciones dadas enfocadas al diseño mecánico y electrónico, instrumentación y control, y diseño del sistema de empaque y sellado para garantizar la calidad del producto:

- **Implementación de un sistema automatizado de pesado, empaque y sellado de productos que se expenden en “Frutilandia Allauca”,** realizado por Rosa Verónica Allauca Paguay en 2017, en donde se buscó mejorar el proceso de pesado, empaque y sellado de productos de la empresa debido a la ineficiencia que existía en estos, construyendo una máquina automatizada para mejorar dicho procedimiento (Ilustración 2). Se destacó por diseñar un sistema óptimo para almacenar la fruta y pesarla, pero presento falencias en el proceso de empaque, Sin embargo, se logró cumplir con el objetivo que era optimizar los tiempos del proceso con una eficiencia del 75%. (Allauca Paguay, 2017)



Ilustración 2. Máquina semi automática Frutilandia Allauca.

- **Prototipo de máquina empacadora de productos hortofrutícolas**, realizado por Andrés Felipe Martínez y David Ricardo García en 2017, en donde se buscó contribuir a la agroindustria con el desarrollo de un sistema capaz de empaclar productos hortofrutícolas de manera automática (Ilustración 3), protegiendo la calidad del producto y disminuyendo el riesgo de afectación del personal en el proceso. Para dar solución al problema diseñaron un sistema automatizado por estaciones encargadas del almacenamiento, selección y empaque del producto las cuales estaban conectadas por medio de bandas transportadoras. Presentaron inconvenientes con el sistema de la tolva de abastecimiento ya que el suministro del producto no se hacía de forma regular, pero tuvieron buenos resultados con el sistema de control empleado y el protocolo de comunicación usado (Martinez Garzon & Garcia sterling, 2017).

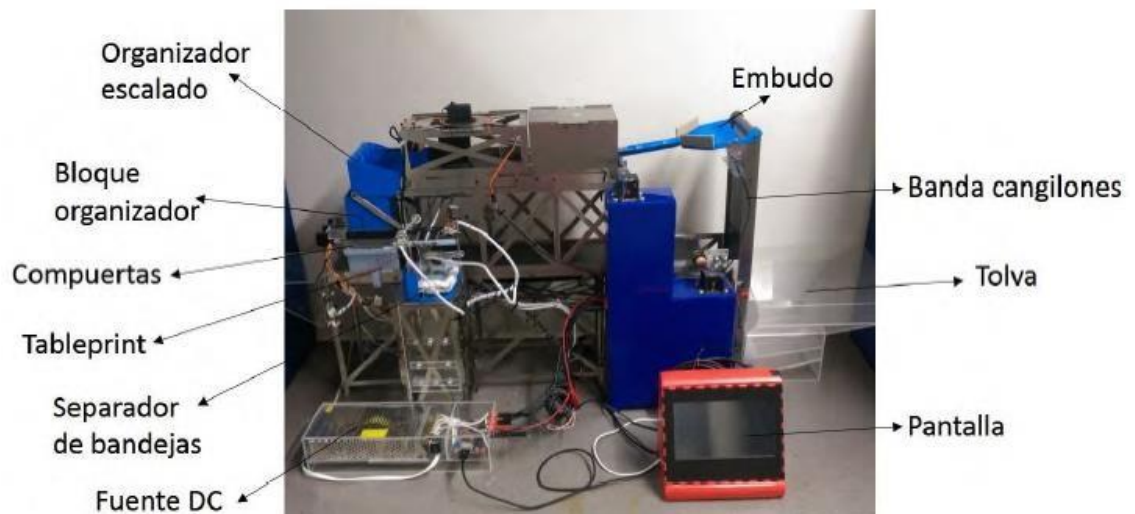


Ilustración 3. Máquina empacadora de productos hortofrutícolas.

- **Desarrollo de una máquina de control de calidad y empaclado de cucharas plásticas de la empresa TRUEPLAST**, realizado por Manuel Chiriboga y Cristian Armas en 2018, se buscó con este proyecto automatizar la producción y empaque de cucharas plásticas con el fin de satisfacer la demanda del mercado construyendo una máquina empacadora semiautomática de tipo vertical que permite altos volúmenes de producción (Ilustración 4), para el sistema de formación de la bolsa emplea un mecanismo de mordazas, el horizontal posee dos y el vertical una, además cada uno cuenta con su sistema de control de temperatura. También consideran que se debe usar una unidad de control robusta para evitar latencia en la información y usan un sistema de corte innovador con hilos de tungsteno que es muy eficiente. (Chiriboga Salazar & Veloz Armas, 2018)

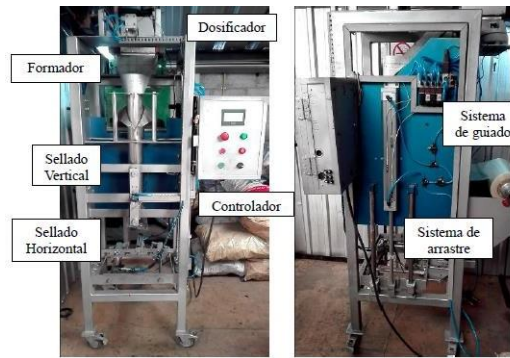


Ilustración 4. Máquina control de calidad TruePlast

- **Máquina de empaqueo y control de peso para panela granulada**, realizado por Gabriela del Rocío León Corrales en 2013, este proyecto se desarrolló como una alternativa de solución al problema existente en la empresa, esta máquina sella paquetes de 1 libra y 1 kilogramo (Ilustración 5). El sellado consta de un sistema de mordazas en las que se encuentran ubicadas unas niquelinas (resistencias de sellado) las que se calentaran a temperatura ideal para que se realice un sellado correcto usando un control ON-OFF de temperatura para mantenerla en el rango óptimo de sellado, luego el corte se realiza con una cuchilla dentada. Se obtuvieron los rangos óptimos de la temperatura de sellado y además, el control de peso fue fiable con un error del 0.22% con respecto a sistemas comerciales. (Leon corrales, 2013)



Ilustración 5. Máquina de empaqueo para panela granulada.

Con la ayuda de esta información se pudo determinar los subsistemas que componen la máquina los cuales son:

- **Sistema de suministro:** es el encargado del almacenamiento y movimiento del producto hacia la siguiente etapa del proceso.
- **Sistema de dosificación:** es el encargado de dosificar el producto ya sea en masa o volumen y garantizar un valor deseado.
- **Sistema de formación del empaque:** es el encargado darle la forma tubular al material en el cual se empacará el producto.
- **Sistema de arrastre:** es el encargado de como su nombre lo indica arrastrar el empaque tubular hacia el sistema de sellado.
- **Sistema de sellado:** es el encargado de sellar herméticamente el producto ya dosificado.
- **Sistema de corte:** se encarga de separar el producto una vez haya sido sellado.

También se pudo obtener las diferentes alternativas que se pueden emplear para cada subsistema. En la siguiente tabla se muestran dichos resultados.

Tabla 1. Alternativas de solución por subsistema.

Subsistema	Alternativas de solución
Suministro	Tolva cónica
	Tolva con banda transportadora
Dosificación	Dosificación volumétrica
	Dosificación por peso
Formación del empaque	Tubo formador
	Camisa de funda
Arrastre	Tracción por mordaza horizontal
	Tracción por rodillos
	Tracción por correas de deslizamiento
Sellado	Apertura de mordazas con un cilindro neumático
	Apertura de mordazas con servomotor
	Apertura de mordazas con dos cilindros neumáticos
Corte	Con hilo de tungsteno
	Con cuchilla

El funcionamiento de las diferentes alternativas se especifica en la sección 9.2

7. Marco Teórico

7.1. Máquinas selladoras

Las máquinas selladoras son aquellas empleadas para dar hermeticidad a un determinado producto y de esta manera evitar que agentes externos lo contaminen. El tamaño y forma de estas máquinas están relacionados directamente con el tamaño y forma de la presentación del producto que se va a sellar, la mayoría de estas máquinas operan con una versatilidad muy amplia (Leon corrales, 2013).

7.1.1. Máquinas selladoras semiautomáticas

Estas máquinas son las más comunes en el medio de producción actual, en las que un operario es el encargado de controlar el proceso de sellado, logrando producciones aceptables, dependiendo del tipo de producto, dosis y agilidad del operario. Las partes autómatas de estas máquinas son capaces de arrastrar el material de empaque, dar forma al material de empaque, distribuir la materia prima o el producto, controlar el método de sellado, sellar y evacuar el producto terminado.

El operario en este proceso será el encargado de suministrar el material de empaque a la máquina, así como también ubicar la materia prima en el compartimento de almacenaje del producto de la máquina, además controlar que los diferentes procesos a cumplirse por la parte automática se realicen de manera aceptable, de no ser así deberá utilizar el paro de emergencia y alertar a los técnicos de una posible falla.

7.1.2. Máquinas selladoras automáticas

Estas máquinas son controladas por un sistema automática de monitoreo, es el encargado de llevar un control en los diferentes parámetros, así como del control de las unidades producidas, unidades fallidas, producción diaria y mensual y a su vez de la presentación de la misma. Este control es la principal diferencia entre una máquina semiautomática con la automática, ya que este tendrá la potestad de generar un paro de emergencia o diferentes alertas como son falta de materia prima o material de empaque.

Estas máquinas poseen un lazo cerrado en el cual se escanea y se tiene información de sensores, se procesa la información en este control que puede ser un microcontrolador, un PLC o una PC, y se genera respuesta a los actuadores los mismos que serán pistones, motores, etc.

7.2. Material de empaque

Es el material en el cual se enfundará el producto, existe una inmensa variedad y disponibilidad de estos materiales de empaque los mismos que poseen diversas propiedades permitiendo al fabricante de envolturas de alimentos un tipo de material de envase ideal para lo requerido.

7.2.1. Tipos de empaque

El material del empaque se elige de acuerdo al producto a empaquetar y la presentación final que se desee obtener; existen gran variedad de materiales con diversas propiedades como elasticidad, resistencia, transparencia, densidad y costo. Los empaques más utilizados son hechos de plásticos como el PET, PEAD, PP, PVC. La temperatura aproximada de sello se encuentra de 100 a 250 °C. (Chiriboga Salazar & Veloz Armas, 2018)

7.2.2. Configuración de empaques flexibles

- **Bolsa tipo almohadilla de tres sellos.** Este tipo de bolsa es de fácil elaboración y costo (Ilustración 6); está compuesto de un sellado vertical y dos horizontales; generalmente se manufacturan en polietileno o polipropileno.



Ilustración 6. Bolsa tipo almohadilla de tres sellos.

- **Bolsa tipo almohadilla de tres sellos con fondo plano.** Este tipo de bolsa proporciona una protección de derrames adicional y una mejor presentación del producto ya que su doblez en el fondo la permite mantenerse levantada (Ilustración 7), son utilizados para productos sólidos y polvos habitualmente.



Ilustración 7. Bolsa tipo almohadilla de tres sellos con fondo plano.

- **Bolsa tipo sachet.** Son ideales para empaque de productos en raciones o dosis personales (Ilustración 8), poseen de tres a cuatro sellos y están hechas de polipropileno.



Ilustración 8. Bolsa tipo sachet.

7.3. Técnicas de sellado

Generalmente existe una variedad de sistemas que permiten el sellado de material de empaque, las comunes y más empleadas son las que se basan en la resistencia eléctrica como una fuente de calor sin dejar de lado la ultra frecuencia y sellado por aire caliente.

7.3.1. Método dieléctrico

En el sistema de ultra frecuencia o método dieléctrico, el sellado se produce mediante la acción de dos electrodos (Ilustración 9), al ubicar el material a sellar en medio de estos y al aplicar una corriente de altas frecuencias, sobre ellos se genera un campo magnético el cual es el encargado de hacer mover a las moléculas que al trasladarse de un lado a otro generan el calor necesario para producir el sellado.



Ilustración 9. Sellador dieléctrico.

7.3.2. Sellado por inyección de gas

El sellado por gas caliente es el método que permite unir materiales plásticos mediante un chorro de aire o gas inerte el mismo que con anterioridad es calentado (Ilustración 10) y de esta manera se produce el sellado del mencionado plástico.



Ilustración 10. Sellado por inyección de gas.

7.3.3. Sellado por ultrasonido

Este método se produce por la vibración que genera el ultrasonido sobre las moléculas del plástico a sellar (Ilustración 11), esta vibración es la encargada de crear movimiento entre las moléculas del material, las mismas que generan calor que finalmente es el encargado de fusionar al material de empaque.



Ilustración 11. Sellado por ultrasonido.

7.3.4. Sellado por impulso

Este método consta de un sistema de mordazas que a su vez posee un calefactor (Ilustración 12) el mismo que únicamente se enciende por un espacio reducido de tiempo, es decir solo se activa para sellar el plástico.



Ilustración 12. Sellado por impulso.

7.3.5. Sellado por mordazas calientes

Es considerado el método más común ya que este es empleado en el medio industrial por su facilidad de manejo e implementación. El sellado se consigue por la acción combinada de presión, temperatura y tiempo (Ilustración 13). Este método genera la unión de los materiales plásticos por medio de presión y aporte de calor, aquí la temperatura es controlada durante todo el proceso, este tipo de sellado es ideal para materiales plásticos como el polietileno.

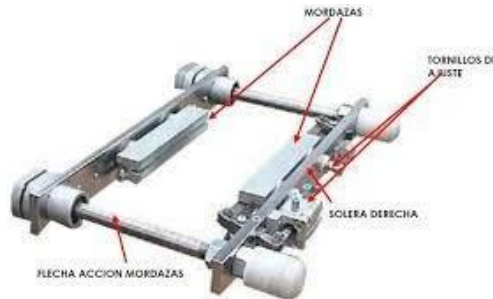


Ilustración 13. Sellado por mordazas calientes.

7.4. Cinta transportadora

Una cinta o banda transportadora es un sistema de transporte continuo que se compone de un eje motriz el mismo que se encarga de generar movimiento a la banda, rodillos de carga y rodillos de retorno que son los encargados de mantener alineada y estirada a la banda cuando esta es muy larga, y finalmente la banda continua que no es más que una lámina que posee los extremos unidos, esta puede ser fabricada de tela, goma, cuero o metal.

Ventajas de las bandas transportadoras

- Permite el transporte de materiales a gran distancia
- Se adapta fácilmente al espacio
- Tiene gran capacidad de transporte
- Apto para toda clase de productos.
- No altera el producto a ser transportado.

7.4.1. Funcionamiento

La banda obtiene su movimiento de un eje motriz el mismo que está unido a un motor, esta transferencia generalmente se realiza por rozamiento, es decir, el eje gira y la banda al estar templada por otro eje de acarreo sigue el movimiento de este. De esta manera los elementos que intervienen en este sistema giran a la velocidad que lo haga el eje motriz ya que los otros no tienen movimientos propios.

7.4.2. Tipos de cintas transportadoras

- *Cintas planas*

Estas cintas son empleadas generalmente para transportar cargas unitarias como fundas o cajas. En estas cintas el material se sitúa en la superficie de la cinta y se trasladan a lo largo del recorrido de la misma. La cinta plana forma un lazo continuo el que permite que la mitad de su longitud total se emplee para el reparto del material y la otra mitad para el retorno (Ilustración 14).

El soporte de estas cintas planas es un armazón con rodillos, a cada extremo de la cinta se encuentran los rodillos motores o poleas que son los encargados de impulsar la cinta.



Ilustración 14. Cintas planas.

- *Cintas cóncavas*

Estas cintas son utilizadas por lo general para transportar productos a granel (Ilustración 15), la banda consta de 3 o 5 rodillos los que poseen la función de soportar a la banda, los bordes de la banda se elevan con respecto al centro formando una concavidad, la que es necesaria para transportar el producto, estas cintas son utilizadas para transportar cantidades grandes y a una distancia considerable de kilómetros.



Ilustración 15. Cinta cóncava.

- *Cintas tubulares*

Estas cintas poseen un diseño especial ya que luego de cargar la cinta, sus bordes se pegan uno con otro permitiendo de esta manera envolver el producto (Ilustración 16), esta alternativa de cinta se emplea principalmente para productos fácilmente contaminantes.



Ilustración 16. Cinta tubular.

- *Cintas metálicas*

Esta cinta consta de una malla de alambre, es una cinta plana, los extremos de esta cinta se acoplan mediante remaches (Ilustración 17), poseen la característica especial de soportar temperaturas de hasta 1000°C.

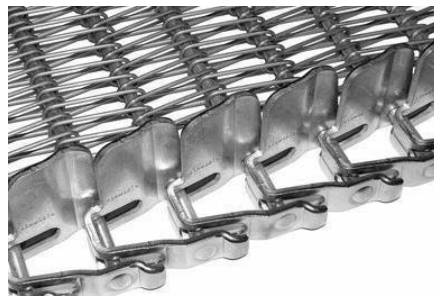


Ilustración 17, Cinta metálica.

7.4.3. Partes de una cinta transportadora

- *Banda*

Es la encargada de transmitir el movimiento al producto, generalmente están hechas con un tejido o acoples modulares base de poliéster (EP) / nylon (NN), algodón, o acero, cubierto con goma sintética (Ilustración 18). Los tejidos y cubiertas deben ser escogidos en base a la resistencia, la tracción, los cortes, los aceites y al fuego.

- *Rodillos*

Son cilindros de metal que giran sobre rodamientos anti-fricción. Existen dos clases de rodillos en una cinta:

De trabajo: Son los rectos en el tramo superior y los que están en el retorno. Soportan carga.

De dirección: En las cintas cóncavas mantienen los bordes levantados. En las cintas planas mantienen la banda centrada.

Las dimensiones de los rodillos están estandarizadas por CEMA y por ISO.

- *Poleas*

Cada cinta transportadora necesita por lo menos dos poleas. Por lo general una es motriz y la otra es de tensión. En muchos casos pueden necesitarse más poleas, para cambiar la dirección o para transmitir mayor potencia. Se presentan dos diseños habituales. La polea engomada que brinda mayor tracción y se usa como motriz. La polea jaula de ardilla es auto limpiante y se usa como guiada.

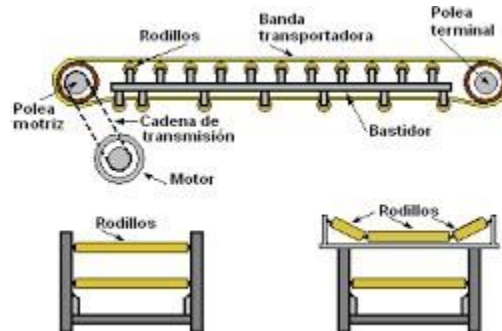


Ilustración 18. Partes de una banda transportadora.

7.5. Estática

La estática es la parte de la mecánica que analiza las cargas (fuerza, par / momento) y estudia el equilibrio de fuerzas en los sistemas físicos en equilibrio estático, es decir, en un estado en el que las posiciones relativas de los subsistemas no varían con el tiempo. De esta limitación pueden derivarse cantidades como la carga o la presión. La sumatoria de fuerzas igual a cero se conoce como la primera condición de equilibrio, y el par neto igual a cero se conoce como la segunda condición de equilibrio.

$$\sum F_x = 0 \quad \text{Ecuación [1]}$$

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ecuación [2]}$$

$$\sum M_o = 0 \quad \text{Ecuación [3]}$$

7.6. Cinemática

La cinemática es una rama de la física que estudia el movimiento de los objetos sólidos y su trayectoria en función del tiempo, sin tomar en cuenta el origen de las

fuerzas que lo motivan. Para eso, se toma en consideración la posición, la velocidad (el cambio en el desplazamiento por unidad de tiempo) y la aceleración (cambio de velocidad) del objeto que se mueve. Las fórmulas de posición, velocidad y aceleración se basan en que si hay dos puntos A y B sobre un cuerpo con movimiento coplanario entonces:

- La posición absoluta de B es igual a la suma vectorial de la posición absoluta de A y la posición relativa de B con respecto a A.

$$\vec{r}_B = \vec{r}_A + r_{B/A} \quad \text{Ecuación [4]}$$

- La velocidad absoluta de B es igual a la suma vectorial de la velocidad absoluta de A y la velocidad relativa de B con respecto a A.

$$v_B = v_A + v_{B/A} \quad \text{Ecuación [5]}$$

$$v_{B/A} = \vec{\omega}_{B/A} \times \vec{r}_{B/A} \quad \text{Ecuación [6]}$$

$\omega_{B/A}$: Velocidad angular de B con respecto a A

$r_{B/A}$: Posición del centroide en B con respecto a A

- La aceleración absoluta de B es igual a la suma vectorial de la aceleración absoluta de A, y la aceleración tangencial y normal de B con respecto a A.

$$a_B = a_A + a_{tB} + a_{nB} \quad \text{Ecuación [7]}$$

$$a_{tB} = \alpha_{B/A} \times \vec{r}_{B/A} \quad \text{Ecuación [8]}$$

$$a_{nB} = \vec{\omega}_{B/A} \times \vec{\omega}_{B/A} \times \vec{r}_{B/A} \quad \text{Ecuación [9]}$$

$\alpha_{B/A}$: Aceleración angular de B con respecto a A

7.7. Dinámica

Dinámica es una rama de la física que estudia la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y los efectos que se producirán sobre el movimiento de los cuerpos. Usando la segunda ley de Newton (principio de D’Alambert) para cuerpos rígidos, las formulas a emplear son:

$$\sum F = m * a_G \quad \text{Ecuación [10]}$$

$$\sum M_G = I_G \times \alpha \quad \text{Ecuación [11]}$$

m : Masa del cuerpo

\vec{a}_G : Vector aceleración centroidal del cuerpo

I_G Matriz de inercia del cuerpo con respecto al centro de gravedad

α : Vector de aceleración angular

8. Análisis de la información recopilada

Esta fase nos ayuda a elegir entre las diferentes soluciones encontradas en el estado de arte por medio de la metodología APTE, y así proporcionar una solución.

Metodología APTE

Es una metodología francesa que tiene como objetivo obtener una solución que se adapte mejor a las necesidades del usuario y logre un aumento en la calidad. Los principios básicos de la metodología APTE son:

- Definir problemas como metas para lograr.
- Crear un marco común entre los miembros del equipo del proyecto.
- Ser objetivo para evitar comparaciones entre soluciones.
- Fomentar la creatividad para encontrar diferentes soluciones.

Para cumplir con estos principios, hay tres estrategias de análisis en la metodología APTE, que son el diagrama de análisis de necesidad, el diagrama de análisis funcional de necesidad y el diagrama de diagnóstico de costo funcional.

Diagrama de análisis de necesidad

El primer diagrama es el diagrama de análisis de necesidad (Ilustración 19). Consiste en las siguientes partes:

- ¿Quién es el usuario del producto?
Se hace para identificar a quien va dirigido nuestro proyecto, en este caso pequeños y medianos comerciantes de mora.
- ¿Cuál es el producto?
Se muestra el producto que se va a construir, el cual en este proyecto es una máquina empacadora automatizada de paquetes de mora

- ¿Qué está transformando el producto?
Se identifica y muestra cual es la función del producto a construir, la cual es el empaçado de la mora
- ¿Cuál es el objetivo principal del producto?
Dar a conocer lo que se desea alcanzar con esta máquina que es empaçar y sellar paquetes de mora de hasta 500 gramos.



Ilustración 19. Diagrama de la necesidad.

9. Conceptualizar alternativas de solución

Primeramente, antes de conceptualizar las alternativas es importante encontrar los criterios de evaluación para las diferentes soluciones que posteriormente serán mostradas, esto con la intención de no sesgar una posterior selección.

9.1. Diagrama de análisis funcional de necesidad

Para la búsqueda de estos criterios se hizo uso del segundo diagrama de la metodología APTE, llamado diagrama de análisis funcional de necesidad (Ilustración 20), el cual tiene los siguientes elementos:

- Elementos externos: son factores externos que influyen en el funcionamiento de la máquina.
- Producto: es la máquina que se va a diseñar
- Funciones de servicio divididas en:
 - Funciones principales (FP): son las funciones que tendrá el producto en condiciones normales de operación

- Funciones de restricción (FC): son aquellos factores obligatorios para poder operar la máquina.

Teniendo en cuenta los siguientes elementos de medio externo que consideramos más relevantes o que afectan en mayor medida se elaboró el diagrama de análisis funcional de la necesidad:

- **Operario:** Se busca facilitarle el proceso de empaclado al operario y mejorar los tiempos de producción
- **Mora:** Se busca mejorar la calidad del producto tanto en peso como en higiene.
- **HMI:** Se busca que sea fácil de manejar y permita evidenciar en tiempo real el estado del funcionamiento de la máquina.
- **Energía eléctrica:** Se busca que el consumo energético sea eficiente sin excesos de consumo y además se busca facilitar la manipulación de los diferentes elementos que componen el sistema.

Criterios encontrados para evaluar:

- **FP1:** Empacar y sellar paquetes de mora
- **FP2:** Permitir sellar y empaclar mora manualmente si se desea
- **FP3:** Permitir configurar el peso y cantidad

- **FC1:** Dar inicio al proceso, modo de operación o parar en caso de emergencia
- **FC2:** Almacenar cierta cantidad de mora
- **FC3:** Informar si está operando debidamente o se generó una falla
- **FC4:** Poder ingresar datos
- **FC5:** Conectar a red eléctrica
- **FC6:** Visualizar información y estado del proceso

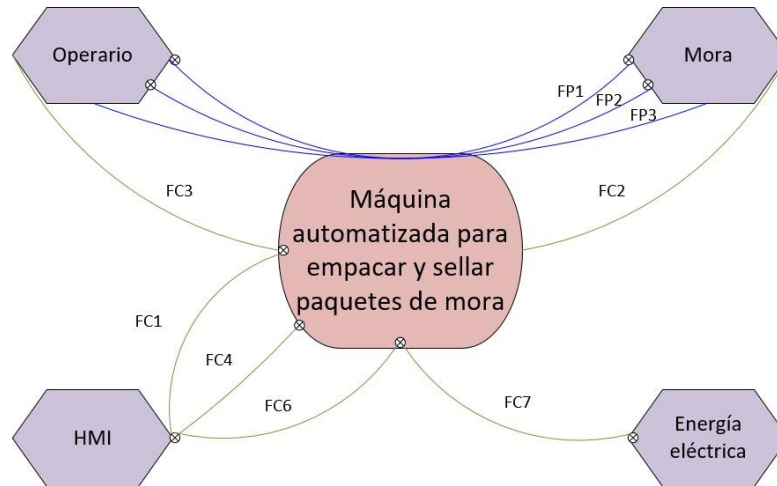


Ilustración 20. Diagrama de análisis funcional de la necesidad.

Las funciones principales y las funciones de restricción se convierten en criterios de evaluación que son la entrada de una herramienta de evaluación. Las funciones principales nos permiten también realizar un acercamiento a las posibles soluciones técnicas, con ayuda de la metodología de diseño FAST, que es el paso siguiente antes de realizar una evaluación de las diferentes alternativas (Rueda Sánchez, 2018).

9.2. Metodología Function Analysis System Technic (FAST)

Las funciones principales encontradas de la metodología APTE son descompuestas en funciones técnicas para llegar a soluciones técnicas, Empezamos con una función y preguntamos cómo esa función es realizada hasta llegar a una solución técnica específica.

La importancia de la metodología FAST es que gráficamente muestra las dependencias funcionales y crea un proceso para estudiar vínculos entre funciones al tiempo que explora opciones para crear sistemas mejorados (Rueda Sánchez, 2018).

Función principal empaquetar y sellar paquetes de mora

Esta función es importante ya que es vital cumplirla a cabalidad para lograr el objetivo del proyecto (Ilustración 21). Se especifica el cómo se puede cumplir a cabalidad esta función con un diseño basado en los datos obtenidos de la literatura. De ahí se conocieron los diferentes métodos de sellado y se concuerda con el estado del arte en que el mejor método es el de mordazas calientes por su facilidad de implementación.

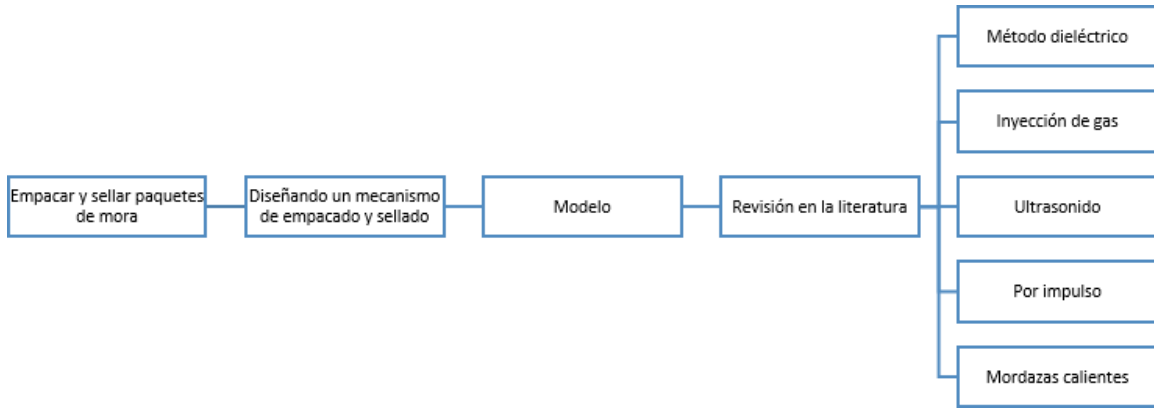


Ilustración 21. Función principal 1.

Función principal permitir empacar y sellar mora manualmente

Esta función da la facilidad cuando no se requiere hacer el proceso de empacado en serie (Ilustración 22). Además, esta función nos permite verificar el estado de funcionamiento de los diferentes actuadores que componen la máquina. De las opciones técnicas encontradas se determinó que esta etapa se realizaría mediante una interfaz HMI usando una pantalla Touch.

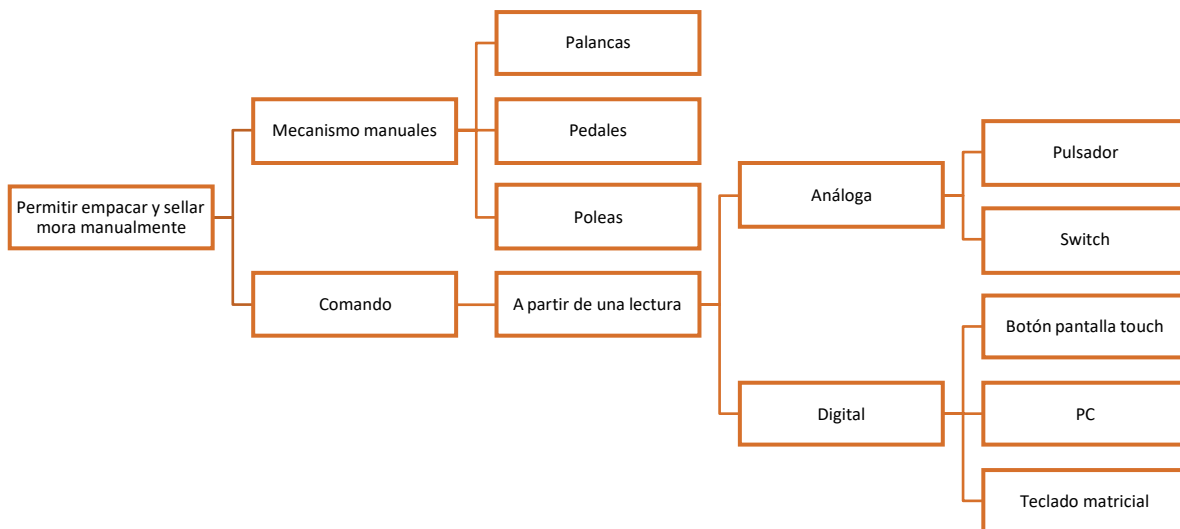


Ilustración 22. Función principal 2.

Función principal permitir configurar peso y cantidad

Esta función permite controlar el proceso a disposición del operario y elegir el tipo de sensor a emplear y cómo será la interacción humano-máquina (Ilustración 23). Esta función es necesaria ya que la máquina se construirá para que pueda empaquetar pesos dentro de un rango determinado. De este análisis se obtuvo como resultado la interfaz humano-máquina que en este caso fue la pantalla Touch al igual que en la función anterior (Ilustración 22) y como posibles soluciones para el sensado del peso una celda de carga o una galga extensiométrica(FSR), se decidirá cual emplear más adelante en la sección 10 con ayuda de matrices QFD.

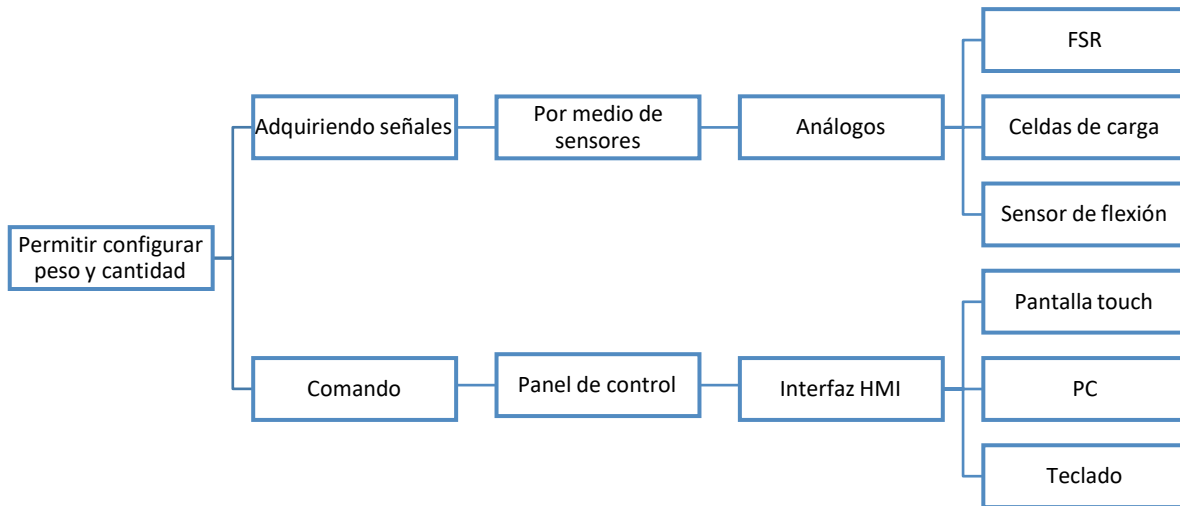


Ilustración 23. Función principal 3.

10. Evaluación de las alternativas

De acuerdo a los criterios de evaluación y a las soluciones técnicas obtenidas se procedió a realizar la evaluación de las diferentes alternativas de solución mediante las matrices de prioridad y QFD.

La evaluación se realizó de la siguiente manera, primero se evaluaron las mejores alternativas de solución para cada subsistema por medio de matrices de prioridad y al final se hizo la evaluación de actuadores y sensores con la ayuda de matrices QFD. Primero se explicará el funcionamiento de las matrices de prioridad mediante el siguiente ejemplo:

La selección de un computador que se desea comprar, el objetivo es elegir el mejor para diseño y simulación de piezas mecánicas, donde las opciones son dos: computador de mesa o portátil. Después se eligen los criterios para elegir el mejor: costo, memoria RAM, capacidad de almacenamiento, procesador, tarjeta gráfica. Ahora se le da prioridad a cada criterio teniendo en cuenta como es este con respecto a los otros así: lo más importante es tarjeta gráfica, procesador, memoria RAM, luego el costo y capacidad de almacenamiento.

- Memoria RAM: 30%
- Tarjeta gráfica: 20%
- Procesador: 26%
- Costo: 14%
- Capacidad de almacenamiento: 10%

Finalmente se da un valor por criterio a cada alternativa y se obtiene la que tenga el mejor resultado como la ganadora.

En el proyecto se realizó de la siguiente manera. Los criterios que se tuvieron en cuenta en el proyecto fueron:

- Costo: se evalúa y da prioridad a la solución que cumpla a cabalidad con el objetivo y que no tenga un costo elevado.
- Versatilidad: Hace referencia a la forma como el sistema interactúa con los otros
- Manufactura: Hace referencia a la facilidad de construcción
- Mantenimiento: hace referencia a la facilidad de mantenimiento
- Requerimientos del cliente: La solución cumple en su mayoría con lo solicitado por el cliente.

Ahora lo que se hace es darle un valor, y prioridad a cada uno de los criterios los cuales se resumen en la siguiente tabla

Tabla 2. Ponderación de los criterios de la matriz de prioridad

Ponderación de criterios	Costo	Versatilidad	Manufactura	Mantenimiento	Requerimientos cliente	Total	Ponderación
Costo		0.5	0.5	1	0.5	2.5	0.238
Versatilidad	0.5		1	1	0.5	3	0.286
Manufactura	0.5	0		1	0	1.5	0.143
Mantenimiento	0.5	0	0		0	0.5	0.048
Requerimientos cliente	0.5	0.5	1	1		3	0.286
TOTALES	2	1	2.5	4	1	10.5	1.000

Sistema de Almacenamiento

Las alternativas de solución para el sistema de almacenamiento que se encontraron fueron las siguientes:

- Alternativa 1: Tolva con forma cónica
- Alternativa 2: Tolva con banda transportadora.

Tabla 3. Análisis de costo entre las alternativas

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0
Alternativa 2	1		1	1
Totales	1	0	1	1

Tabla 4. Análisis de versatilidad de las alternativas

Versatilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0
Alternativa 2	1		1	1
Totales	1	0	1	1

Tabla 5. Análisis de facilidad de manufactura de las alternativas

Manufactura	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0.5	0.5	0.5
Alternativa 2	0.5		0.5	0.5
Totales	0.5	0.5	1	1

Tabla 6. Análisis de facilidad de mantenimiento de las alternativas

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		1	1	1
Alternativa 2	0		0	0
Totales	0	1	1	1

Tabla 7. Análisis de requerimientos del cliente con respecto a las alternativas

Requerimientos del cliente	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0
Alternativa 2	1		1	1
Totales	1	0	1	1

Al realizar la evaluación de las alternativas y analizar como cada uno de los factores tenidos en cuenta influyen en cada una, se procede a sumar el resultado obtenido en cada ítem evaluado, y se selecciona como alternativa de solución la de mayor valor la cual corresponde a tolva con banda transportadora.

Tabla 8. Matriz resumen para selección de alternativa

Matriz resumen	Costo	Versatilidad	Manufactura	Mantenimiento	Requerimientos cliente	Total	Prioridad
Alternativa 1	0.000	0.000	0.071	0.048	0.000	0.119	2
Alternativa 2	0.238	0.286	0.071	0.000	0.286	0.881	1

Sistema de dosificación

▪ Alternativa 1: Sistema de dosificación volumétrico

La caja volumétrica (Ilustración 24), se mueve sobre unas guías y recoge una determinada cantidad de producto de la tolva de alimentación en la posición A y lo arrastra hacia la posición B, donde se produce la descarga. La caja volumétrica posee una placa posterior que sirve de tapa para evitar que el producto de la tolva se derrame mientras la caja se está descargando. (Moreno Zapata, 2010).

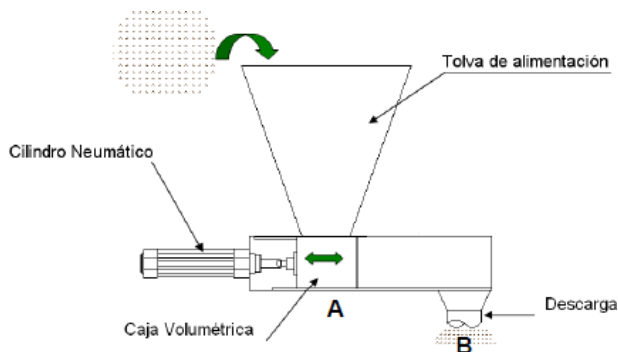


Ilustración 24. Sistema de dosificación volumétrico.

- **Alternativa 2: Sistema de dosificación por peso**

Sistema de dosificación por peso (Ilustración 25): este subsistema se usa para medir el peso del producto con la ayuda de una celda de carga la cual se ubicará en un lugar estratégico para registrar el peso de forma adecuada, además posee una compuerta que se abre una vez se alcance el peso deseado. (Allauca Paguay, 2017)

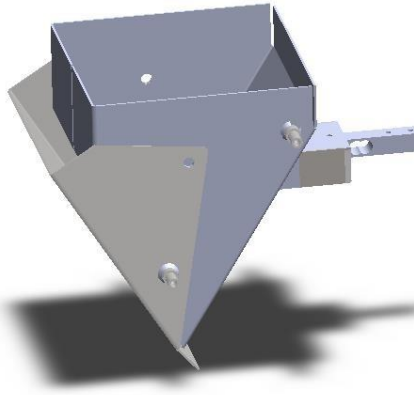


Ilustración 25. Sistema de dosificación por peso.

Para este subsistema se evalúa cada alternativa con respecto a cada criterio, obteniendo como resultado lo siguiente (ver anexo apéndice A, subsistema de dosificación).

Una vez realizada la evaluación de cada alternativa y hechas las sumas correspondientes, se obtiene que la mejor alternativa de solución es sistema de dosificación por peso.

Tabla 9. Matriz resumen sistema de dosificación.

Matriz resumen	Costo	Versatilidad	Manufactura	Mantenimiento	Requerimientos cliente	Total	Prioridad
Alternativa 1	0.238	0.000	0.000	0.024	0.000	0.262	2
Alternativa 2	0.000	0.286	0.143	0.024	0.286	0.738	1

Sistema de formación de la funda

- **Alternativa 1: Tubo formador**

Sistema de formación de funda (Ilustración 26): a partir de un rollo de material de empaque, el plástico ingresa por la parte posterior de la capa y se enrolla alrededor del conducto rectangular de alimentación del producto, formando un

tubo continuo con un traslape que permite el sellado longitudinal (*Moreno Zapata, 2010*).



Ilustración 26. Formado de bolsa.

- **Alternativa 2: Camisa de Funda**

Es un sistema que no forma la bolsa (Ilustración 27), sino que en cambio está ya tiene el sello vertical y simplemente se suministra a la máquina la cantidad de funda necesaria para el producto a empacar para que esta realice el sello horizontal y quede el producto sellado (ver anexo apéndice A, sistema formación de bolsa).



Ilustración 27. Camisa de funda.

Una vez realizada la evaluación de cada alternativa y hechas las sumas correspondientes, se obtiene que la mejor alternativa de solución es sistema de camisa de funda.

Tabla 10. Matriz resumen sistema de formación de bolsa.

Matriz resumen	Costo	Versatilidad	Manufactura	Mantenimiento	Requerimientos cliente	Total	Prioridad
Alternativa 1	0.000	0.286	0.000	0.000	0.143	0.429	2
Alternativa 2	0.238	0.000	0.143	0.048	0.143	0.571	1

Sistema de arrastre y guiado

▪ Alternativa 1: Tracción de material por mordazas horizontales

El sistema dispone de un marco donde se instalan las mordazas de sellado horizontal. Estas mordazas se cierran en el punto A presionando y sellando el material de empaque (Ilustración 28). En este momento, el marco se desplaza hacia abajo, guiado por unos ejes verticales, y arrastrando el plástico. Cuando llega al punto B, donde se produce la dosificación del producto y el corte de la bolsa, las mordazas se abren permitiendo que el marco suba para comenzar un nuevo ciclo.

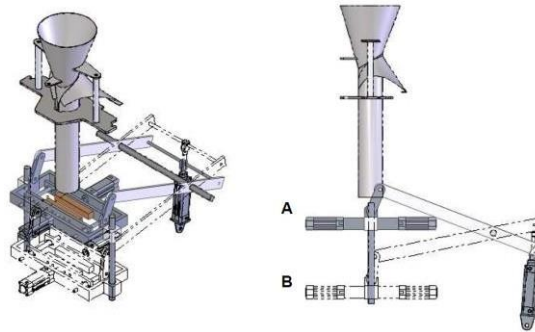


Ilustración 28. Tracción por mordazas horizontales.

▪ Alternativa 2: Tracción del material por rodillos

El material de empaque, después de pasar por el formador, es arrastrado, producto de la tracción de un sistema de rodillos vulcanizados (capa de poliuretano o silicona en todo el perímetro del rodillo), los mismos que se encuentran ubicados a la izquierda y a la derecha del tubo de alimentación (Ilustración 29). El giro de los tornillos se da por la acción de dos motores de paso, uno por cada rodillo.

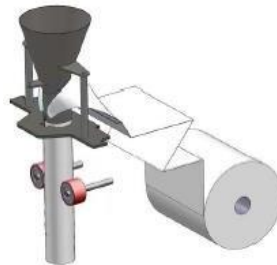


Ilustración 29. Tracción por rodillos.

- **Alternativa 3: Tracción de material realizado por correas de deslizamiento**

El funcionamiento de la cadena es similar al de arrastre por rodillos. El giro de los rodillos se da por la acción de un sistema motriz que podría incorporar engranajes, piñones, cadena de transmisión y motor el cual debe ser accionado por un variador de velocidad para controlar la aceleración y desaceleración del plástico (Ilustración 30), y a su vez deberá contar con un freno-embrague de accionamiento electromagnético que permita arrastrar plástico y páralo suavemente y así no dañarlo.

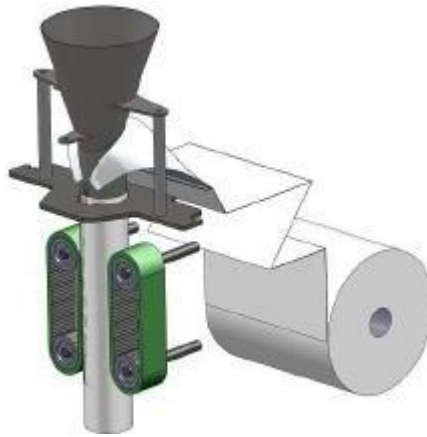


Ilustración 30. Tracción por correas deslizantes.

Una vez realizada la evaluación de cada alternativa y hechas las sumas correspondientes, se obtiene que hay dos alternativas que cumplen de igual manera, la alternativa seleccionada es sistema de tracción de la bolsa por rodillos.

Tabla 11. Matriz resumen sistema de arrastre.

Matriz resumen	Costo	Versatilidad	Manufactura	Mantenimiento	Requerimientos cliente	Total	Prioridad
Alternativa 1	0,000	0,000	0,020	0,007	0,095	0,122	2
Alternativa 2	0,119	0,143	0,061	0,020	0,095	0,439	1
Alternativa 3	0,119	0,143	0,061	0,020	0,095	0,439	1

Sistema de sellado

- **Alternativa 1: Sellado horizontal con apertura de las dos mordazas mediante un cilindro neumático**

A partir de un cilindro neumático se produce la apertura de las mordazas de sellado horizontal (Ilustración 31). Estas mordazas están sobre unas placas, que se mueven por la acción de unos brazos, los mismos que disponen de unas

rótulas en los extremos para facilitar su movimiento. Estos a su vez se unen a unos elementos pivotados.

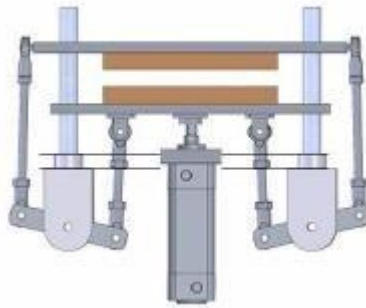


Ilustración 31. Sellado horizontal con apertura de dos mordazas con cilindro neumático.

- **Alternativa 2: Sellado horizontal con apertura de las dos mordazas mediante servomotor**

El sistema es muy parecido al anterior, pero en este caso el generador del movimiento es un servomotor paso a paso (Ilustración 32). Cuando este servomotor se acciona hacia la derecha mueve unos brazos que permiten la apertura de las mordazas y cuando gira hacia la izquierda las mordazas se cierran.

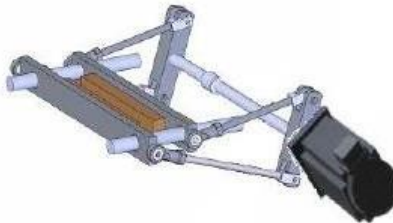


Ilustración 32. Sellado horizontal con dos mordazas mediante servomotor.

- **Alternativa 3: Sellado horizontal con apertura de las dos mordazas mediante dos cilindros neumáticos**

El mecanismo consta de un marco donde se instalan dos cilindros neumáticos que son los encargados de mover las mordazas (Ilustración 33) hasta juntarlas en el centro y producir el sellado de la bolsa.

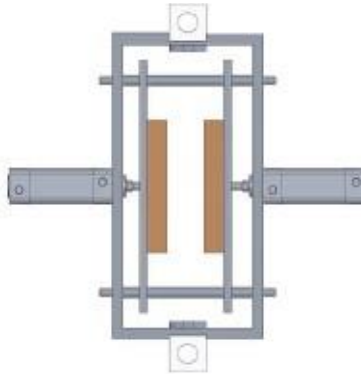


Ilustración 33. Sellado horizontal con apertura de dos mordazas con dos cilindros neumáticos.

Una vez realizada la evaluación de cada alternativa y hechas las sumas correspondientes, se obtiene que la mejor alternativa de solución es sistema de sellado con apertura de dos mordazas con servomotor.

Tabla 12. Matriz resumen sistema de sellado.

Matriz resumen	Costo	Versatilidad	Manufactura	Mantenimiento	Requerimientos cliente	Total	Prioridad
Alternativa 1	0,079	0,114	0,020	0,024	0,143	0,381	2
Alternativa 2	0,159	0,057	0,061	0,024	0,143	0,444	1
Alternativa 3	0,000	0,114	0,061	0,000	0,000	0,176	3

Sistema de corte

- **Alternativa 1: Corte con cuchilla**

Una vez se haya realizado el sellado, se activa un mecanismo el cual se encuentra en una ranura en el centro de una mordaza la cual contiene una cuchilla y con la ayuda de un actuador eléctrico o neumático (Ilustración 34) esta se desplaza una distancia que garantiza el corte adecuado.

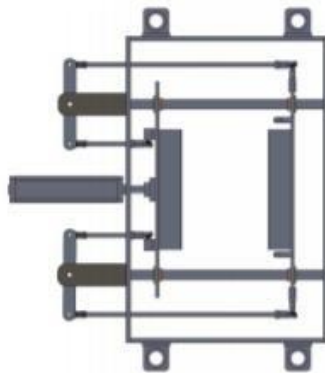


Ilustración 34. Sistema de corte con cuchilla.

- **Alternativa 2: Corte con hilo de tungsteno**

Esta alternativa funciona igual que la anterior (Ilustración 34), lo único diferente es que en vez de emplear una cuchilla se emplea un hilo de tungsteno, el cual se calienta para poder realizar el corte.

Una vez realizada la evaluación de cada alternativa y hechas las sumas correspondientes, se obtiene que la mejor alternativa de solución es sistema de corte por hilo de tungsteno

Tabla 13. Matriz resumen sistema de corte.

Matriz resumen	Costo	Versatilidad	Manufactura	Mantenimiento	Total	Prioridad
Alternativa 1	0,208	0,139	0,028	0,028	0,403	2
Alternativa 2	0,208	0,278	0,056	0,056	0,597	1

Una vez realizado el análisis de la alternativa más adecuada a emplear, se obtuvieron las siguientes soluciones para cada uno de los subsistemas que componen la máquina.

Tabla 14. Solución obtenida para cada subsistema.

Subsistema	Alternativas de solución
Suministro	Tolva con banda transportadora
Dosificación	Dosificación por peso
Formación del empaque	Camisa de funda
Arrastre	Tracción por rodillos
Sellado	Apertura de mordazas con servomotor
Corte	Con hilo de tungsteno

Para la elección de sensores y actuadores se empleó el método de matrices QFD con el fin de comparar las diferentes alternativas que se podían elegir con respecto a diferentes criterios. En la siguiente tabla se observa la elección del actuador para el sistema de suministro

- Costo: se busca que el actuador y/o sensor sea eficiente y económico.
- Disponibilidad: Facilidad de adquirir el producto.
- Controlabilidad: hace referencia a la facilidad de poner en funcionamiento el actuador y/o sensor.
- Mantenimiento: facilidad de mantenimiento.
- Vida útil: tiempo que podrá mantenerse en uso el sensor y/o actuador antes de que se dañe.

- Acondicionamiento: hace referencia a los procesos que se deben hacer y a los accesorios empleados para ponerlo en funcionamiento.
- Sinergia: hace referencia a la facilidad con que se acopla o funciona con otros actuadores y/o sensores.

Tabla 15. Matriz QFD para elegir tipo de actuador en sistema de suministro

Criterios	Ponderación	Sistema de suministro	
		Motor DC	Motor Ac
Costo	5	3	1
Disponibilidad	4	3	1
Controlabilidad	4	9	1
Mantenimiento	3	3	3
Vida útil	3	3	9
Acondicionamiento	2	3	1
Sinergia	4	9	9
Total		123	87

Tabla 16. Matriz QFD para sistema de dosificación

Criterios	Ponderación	Sistema de peso	
		Galga extensiométrica	Celda de carga
Costo	5	3	3
Disponibilidad	3	3	3
Controlabilidad	4	9	9
Mantenimiento	2	3	3
Vida útil	4	3	9
Acondicionamiento	4	3	3
Sinergia	3	3	9
Total		99	141

Tabla 17. Matriz QFD para el sistema de arrastre del material

Criterios	Ponderación	Sistema de arrastre		
		Servomotor	Motorreductor	motor paso a paso
Costo	5	9	3	3
Disponibilidad	4	3	3	3
Controlabilidad	3	3	3	1
Mantenimiento	3	1	3	1
Vida útil	4	3	3	3
Acondicionamiento	3	3	3	1
Sinergia	5	1	9	1
		95	111	53

Tabla 18. Matriz QFD sistema de sellado

Criterios	Ponderación	Sistema de Sellado		
		Servomotor	Motorreductor	motor paso a paso
Costo	5	9	3	3
Disponibilidad	4	3	3	3
Controlabilidad	3	3	3	1
Mantenimiento	3	1	3	1
Vida útil	4	3	3	3
Acondicionamiento	3	9	3	1
Sinergia	5	9	3	1
Total		153	81	53

La unidad de control se eligió siguiendo esta misma metodología

Tabla 19. Matriz QFD unidad de control

Criterios	Ponderación	Unidad de control		
		PLC	Arduino	Raspberry pi
Costo	5	1	3	3
Disponibilidad	4	3	9	9
Controlabilidad	4	3	3	3
Mantenimiento	3	1	3	3
Vida útil	3	9	3	3
Acondicionamiento	2	1	9	9
Conocimiento programación	4	3	9	1
Sinergia	4	3	3	3
Total		85	147	115

Además, para la selección del tipo de banda a emplear en el sistema de almacenamiento se realizó matrices QFD para determinar el tipo más óptimo a emplear.

Atendiendo a las características constructivas inherentes a cada cinta podemos agrupar en varias familias los distintos tipos, a continuación, se referencia los campos de aplicación de los diferentes tipos de bandas.

Tabla 20 Campos de aplicación por tipo de banda

APLICACIÓN	TEXTIL	MODULAR	CORREA	METALICA
Manipulado en alimentación	X	X		
Etiquetadoras de presión	X		X	X
Industrias del cartón	X		X	X
Bultos o cajas	X	X		X
Envasado de productos alimentarios		X		
Alimentadores de piezas cortantes		X	X	X
Glaseado y congelado	X	X		
Transporte piezas general, alto desgaste	X	X		X
Resistencia al ataque químico	X	X		X

La metodología que se eligió para escoger el mejor tipo de banda fue en base a una matriz QFD teniendo en cuenta los siguientes criterios.

- A. Costo de mantenimiento
- B. Resistencia al desgaste
- C. Vida útil
- D. Costo
- E. Adherencia en planos inclinados
- F. Resistencia a la tracción
- G. Flexibilidad
- H. Peso de la cinta
- I. Aplicabilidad a la industria alimentaria
- J. Resistencia al impacto o golpes
- K. Resistencia a la humedad

Tabla 21. Matriz QFD tipo de banda transportadora.

Criterio	Tipo de cinta transportadora				
	Ponderación	Textil	Modular	Plana	Metálica
A	4	3	9	3	1
B	4	1	9	3	3
C	1	3	9	3	1
D	5	3	1	3	3
E	5	1	9	3	3
F	3	3	3	3	9
G	3	3	9	3	1
H	2	9	3	3	1
I	5	1	9	9	1
J	2	3	9	1	9
K	3	1	3	3	9

89

245

137

129

Selección del deslizamiento de la cinta

Los transportadores se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Deslizamiento sobre rodillo plano

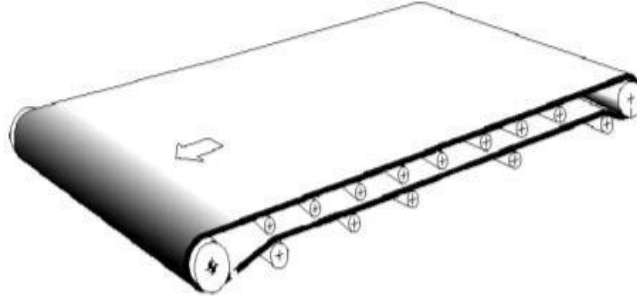


Ilustración 35.Deslizamiento rodillo plano

- Deslizamiento sobre placa plana continua

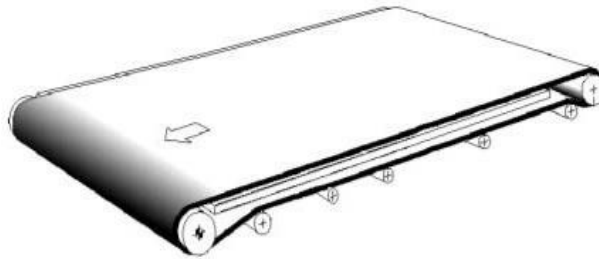


Ilustración 36.Deslizamiento sobre placa plana continua

La metodología que se eligió para escoger el mejor tipo de deslizamiento de banda fue en base a una matriz QFD teniendo en cuenta los siguientes criterios.

- A. Facilidad de construcción
- B. Facilidad de mantención del sistema de transporte
- C. Costo de mantenimiento en su totalidad
- D. Costo de realización
- E. Flexibilidad de transporte
- F. Tiempo de construcción

Tabla 22. Matriz QFD tipo de deslizamiento de la banda

Criterio	Tipo de cinta transportadora		
	Ponderación	Rodillos	Superficie Plana
A	3	3	9
B	3	3	9
C	4	1	9
D	5	1	9
E	2	2	3
F	4	1	9
		35	177

11. Diseño mecánico de la máquina

Una vez fundamentado teóricamente el proyecto y seleccionadas cada una de las estructuras mecánicas y cada uno de los componentes electrónicos, el paso siguiente fue hacer un primer acercamiento al diseño para finalmente realizar el diseño mecánico bajo los requerimientos encontrados.

11.1. Diseño conceptual

En la sección donde se evaluaron cada uno de los subsistemas que compondrían la máquina se especificó cual se emplearía así: para el sistema de suministro de la materia prima era más adecuado una tolva con banda transportadora con el fin de evitar que el producto se maltrate, el sistema de dosificación más adecuado fue el de pesaje con la ayuda de una celda de carga, el sistema de arrastre usa rodillos, el sistema de sellado seleccionado es con mordaza horizontal y para el sistema de corte con hilo de tungsteno (Ilustración 38).

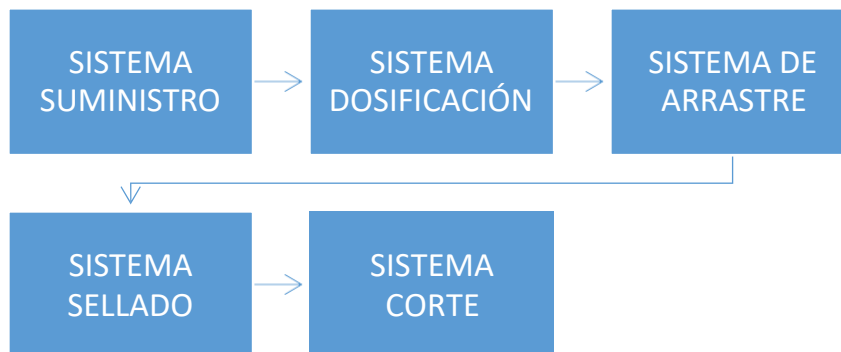


Ilustración 37. Diagrama de proceso de la máquina.

Por tanto, con el análisis anterior el resultado del diseño conceptual (Ilustración 38), en donde las dimensiones están en centímetros

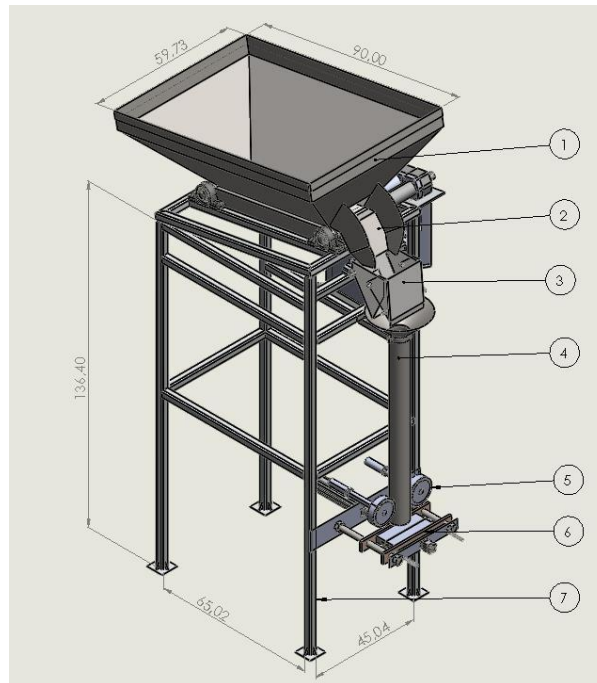


Ilustración 38. Diseño conceptual.

Los globos indican las partes que componen la máquina así:

Tabla 23. Partes que componen la máquina.

Número	Nombre subsistema
1	Sistema de suministro
2	Boquilla tolva
3	Sistema de dosificación
4	Embudo y tubo de alimentación
5	Sistema de arrastre
6	Sistema de sellado y corte
7	Estructura

11.2. Diseño mecánico

El diseño mecánico del prototipo se plantea desde el diseño de cada uno de sus subsistemas (Ilustración 39) y teniendo en cuenta las consideraciones de diseño planteadas.



Ilustración 39. Subsistemas mecánicos que componen la máquina.

11.2.1. Sistema de suministro

Este subsistema está conformado por la tolva en donde se almacena el producto, también cuenta con una banda transportadora encargada de hacer que el producto se mueva lentamente hacia el sistema de dosificación y además evitará el maltrato en la mora. El sistema de tracción de la banda está conformado por un motor DC conectado directamente al eje motriz.

11.2.1.1. Tolva

La tolva estará construida con lámina de acero AISI 304 que es el acero empleado en la manipulación de alimentos, sus dimensiones se hicieron para un volumen mayor al que ocupan dos cajas de mora (97014 [cm³]). El volumen de la tolva es 107400[cm³] , sus dimensiones se obtuvieron en base a las dimensiones de las cajas (Ilustración 40) estándar empleadas para la venta del producto. Las dimensiones de la caja son:

- Largo: 56 [cm]
- Alto: 23 [cm]
- Ancho:36 [cm]



Ilustración 40. Dimensiones caja plástica para almacenamiento de mora.

Su forma se obtuvo del estado del arte en donde aconsejaban este tipo de forma para las tolvas que emplearan bandas transportadoras (Ilustración 41) para el movimiento del producto.

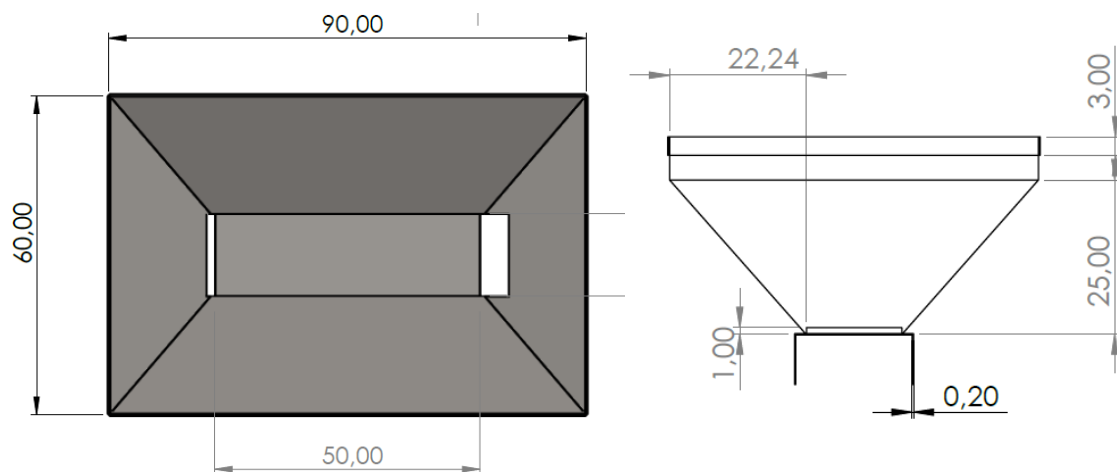


Ilustración 41. Diseño CAD de la tolva en [cm].

- Cuenta con dos agujeros en la parte frontal y posterior, el primero está diseñado para que al activarse la banda el producto pueda circular hacia el sistema de dosificación y el posterior cumple la función de permitir que los residuos líquidos del producto puedan recolectarse.
- La lámina de acero tiene un grosor de 2mm, tiene forma de tronco de pirámide para evitar que el producto se apile y no circule.
- Además, cuenta con una boquilla por donde sale el producto (Ilustración 42) hacia el sistema de dosificación.

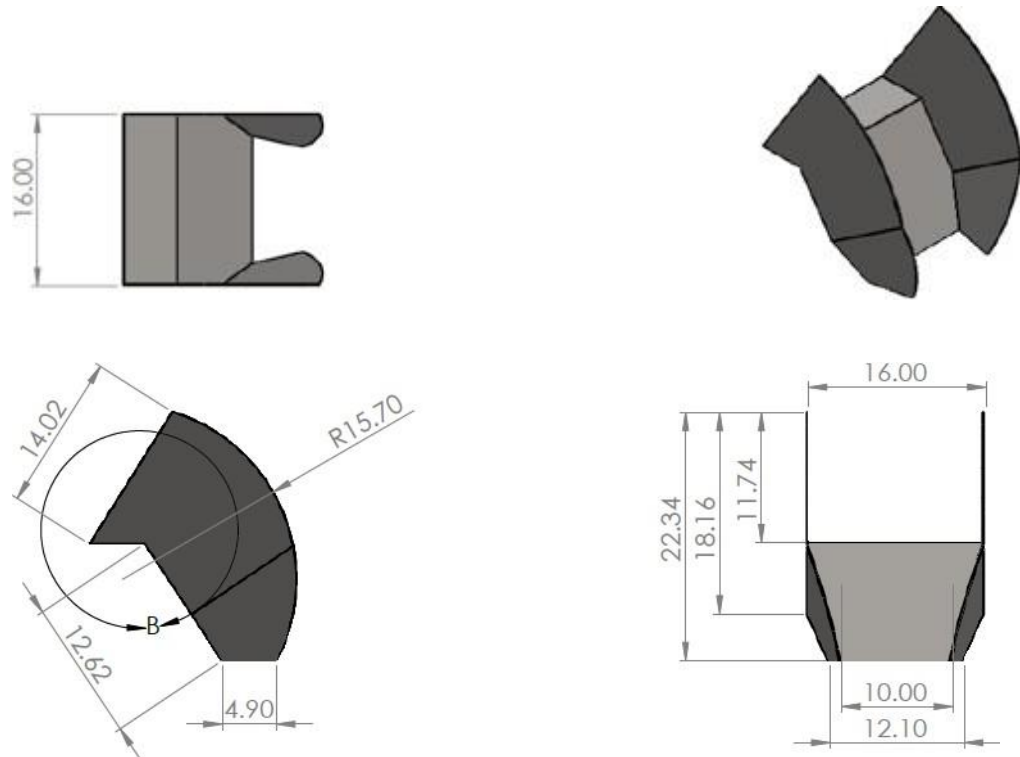


Ilustración 42. Diseño CAD boquilla en [cm]

Análisis estático

Ahora se expondrá el análisis realizado a la tolva para asegurar que los esfuerzos no superen el límite elástico del material. Las cargas que se asumen dentro de la tolva son las generadas por el producto, en donde el peso distribuido es de aproximadamente 50 kg que corresponde a dos cajas del producto (Ilustración 43).

Con esta información se procedió a realizar las suposiciones para análisis de elementos finitos en SolidWorks obteniendo el siguiente modelo. Los vectores de color morado indican la distribución del peso de la mora, las verdes son las restricciones de movimiento de la tolva.

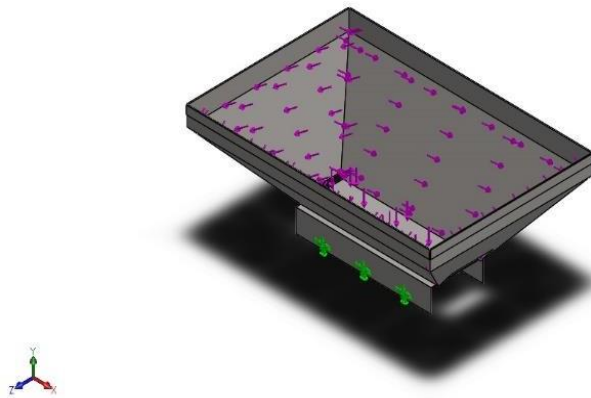


Ilustración 43. Diagrama de distribución de carga en la tolva.

Luego se realizó en el enmallado (Ilustración 44) y el resultado visual fue el siguiente:

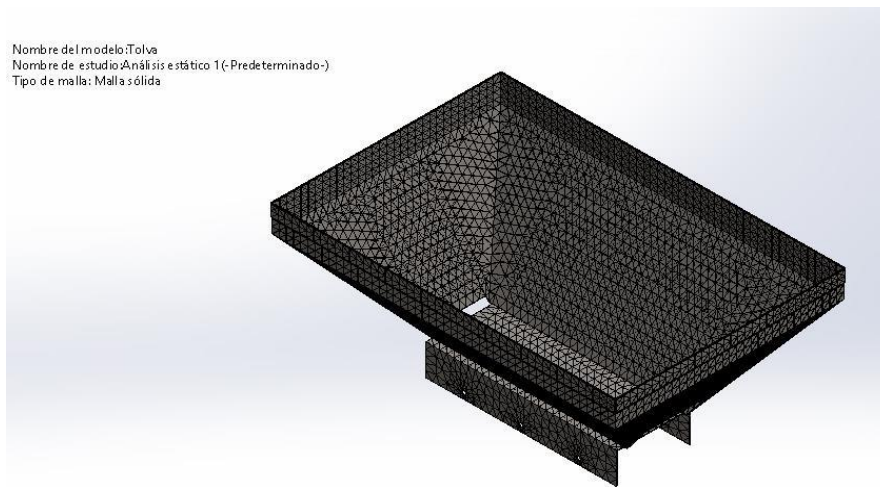


Ilustración 44, Enmallado de la tolva.

Estos son los datos de la malla empleada para el análisis estático

Tabla 24. Datos de la malla empleada en el análisis estático.

Número total de nodos	57685
Número total de elementos	31085
Cociente máximo de aspecto	181.94
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	0.0547
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	91.8
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:16
Nombre de computadora:	ATOM

A continuación, se presenta el resultado donde se observan el esfuerzo equivalente de von Mises.

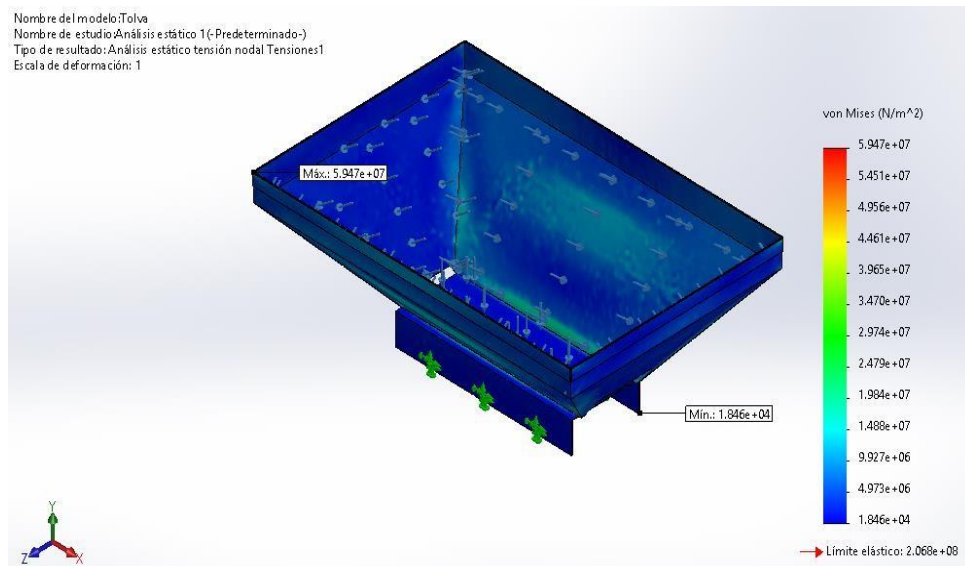


Ilustración 45. Esfuerzo equivalente de Von Mises

Como se refleja en los resultados (Ilustración 45) no se excede el límite elástico del material propuesto “lámina de acero inoxidable AISI 304 2 mm” que es 2.068e+08 N/m², el punto con mayor esfuerzo es de 5.947e+07 N/m² lo cual indica que la tolva soportará la carga sin que el material sufra daños. Además, se analizó el factor de seguridad del material al entrar en contacto con la carga lo cual dio el siguiente resultado.

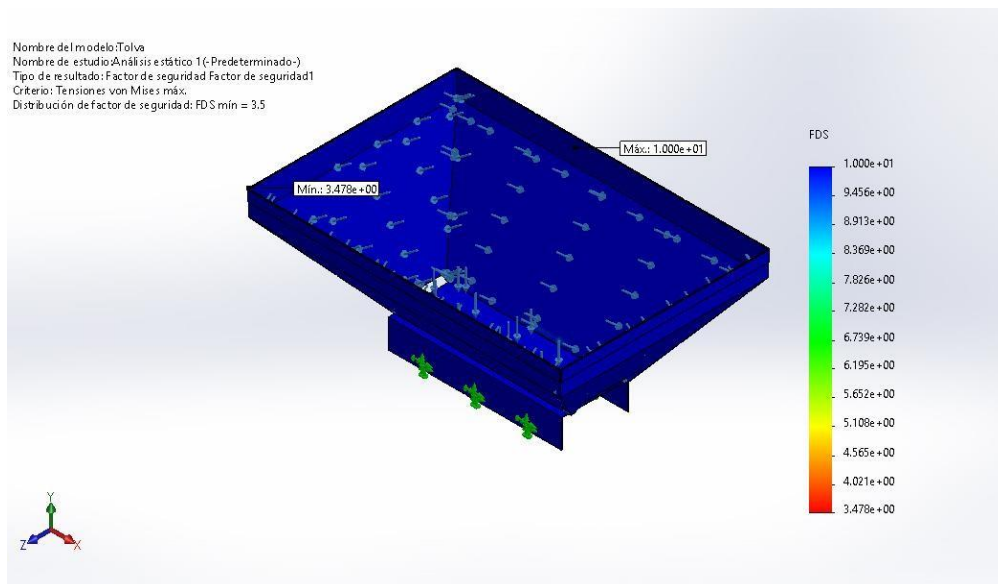


Ilustración 46. Factor de seguridad de la tolva.

Se obtuvo un factor de seguridad mínimo en las uniones superiores de la tolva de 3.5 y el máximo está en la superficie que entra en contacto con el producto el cual es de 10 lo cual indica que el material soporta las cargas a las cuales será sometido (Ilustración 46) e indica que su selección fue la adecuada.

11.2.1.2. Banda transportadora

La banda transportadora empleada es la seleccionada en la sección donde se evaluaron las diferentes alternativas eligiendo la banda de polipropileno por sus características higiénicas, entre otras, ya que es un material altamente empleado en la manipulación de alimentos (Ilustración 47). Esta consta de dos ejes, uno es el motriz que es el encargado de generar el movimiento el cual debe funcionar a tensión para un correcto funcionamiento de la banda y está sujeto a la estructura por medio de dos chumaceras ubicadas a los extremos, el otro eje está asegurado de igual forma, pero este solo cumple la función de darle estabilidad a la banda y permitir su movimiento. Estas son las partes que la componen:

- Banda transportadora de 445 [mm] de largo y 154 [mm] de ancho.



Ilustración 47. Diseño de la banda transportadora.

- Eje acero inoxidable (Ilustración 48) de 1 [in] de diámetro y largo de 350[mm], para cada engranaje decagonal se hizo cavidad para cuñero y se ajustaron con dos prisioneros uno al cuñero y otro al eje.



Ilustración 48. Diseño CAD del eje de tracción de la banda.

- Chumacera UCP 205 (Ilustración 49) para eje de 1[in].

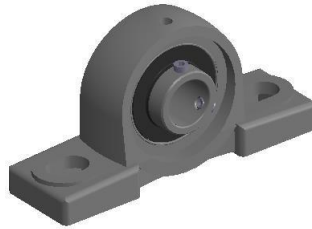


Ilustración 49. Diseño CAD de la chumacera.

- Engranaje decagonal (Ilustración 50) para eje de 1[in] con diámetro de 63[mm]

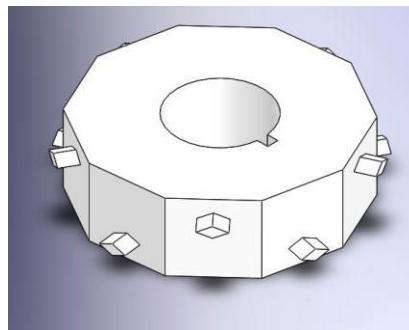
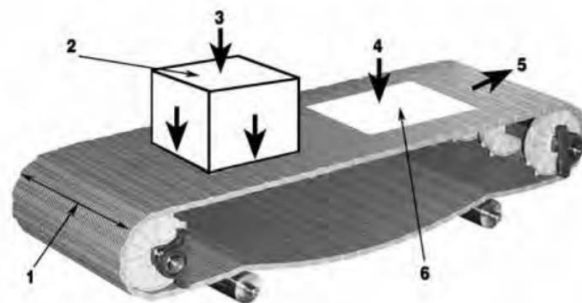


Ilustración 50. Diseño CAD del engranaje.




Los cálculos matemáticos de la banda se realizaron para obtener la distancia entre ejes, el número de engranajes por eje, la separación entre engranajes y la potencia requerida para el motor para su movimiento. El modelamiento de la banda se hizo bajo la norma CEMA (CONVEYOR EQUIPMENT MANUFACTURERS ASSOCIATION) y además se usó el procedimiento para cálculo de bandas intralux para bandas modulares.



- | | |
|---|---|
| 1 - B, ancho de la banda | 4 - W, peso de la banda |
| 2 - Superficie de la unidad, 1 pie ² (1 m ²) | 5 - BP, tracción de la banda por 1 pie (1 m) de anchura |
| 3 - M, carga de producto | 6 - Superficie de la unidad, 1 pie ² (1 m ²) |

Ilustración 51. DCL de banda catálogo Intralox.

Para poder calcular el ancho de la banda según la norma CEMA se requiere conocer el tamaño del producto a transportar el cual se eligió con base al estado de maduración de la mora.

GM*	Características	
GM 1	Fruto de color amarillo verdoso con ¼ de área rosado	
GM 2	Frutos con mitad de área amarillo verdoso y mitad rosada	
GM 3	Fruto de color rojo	
GM 4	Fruto de color rojo con ¼ de área rojo intenso	
GM 5	Fruto con mitad de área roja y mitad morada	
GM 6	Fruto morado oscuro	



GM 5	Fruto con mitad de área roja y mitad morada	
GM 6	Fruto morado oscuro	

Ilustración 52. Grados de maduración de la mora.

El grado de maduración a trabajar del producto es el grado 5 y 6 (Ilustración 52), aunque en mayor proporción el grado 5, gracias a esto se puede conocer el tamaño promedio aproximado del producto el cual es 28.09[mm] (tamaño_objeto) con una desviación de 3.49[mm] (D_estandar) (Ilustración 53).

Parametro	Grado de madurez	
	5	6
Peso (gr)	7,58 ±1,48	7,77 ±1,98
Longitud (mm)	28,09 ±3,49	27,05 ±3,68
Diámetro mayor (mm)	19,32 ±1,68	20,22 ±2,31
Diámetro menor (mm)	12,09 ±1,24	12,10 ±1,69
Volumen (cm ³)	7,55 ±1,48	7,49 ±1,80
Densidad (gr cm ⁻³)	1,01 ±0,07	1,04 ±0,04
pH	2,65 ±0,01	2,88 ±0,01
Acidez	2,83 ±0,03	2,25 ±0,15
(%Acido Máfico) % SST (°Bx)	7,93 ±0,12	8,00 ±0,00
Índice de Madurez (°Bx/%AT)	2,80 ±0,07	3,57 ±0,25
Humedad (%p/p)	86,42 ±1,27	88,76 ±0,53
Materia Seca (%p/p)	13,58 ±1,27	11,25 ±0,53
Minerales (%p/p)	0,42 ±0,06	0,85 ±0,07
Mat. Orgánica (%p/p)	99,58 ±0,06	99,15 ±0,07
MIA (gr/100 gr BS)*	50,83 ±1,70	62,76 ±5,55

Ilustración 53. Tamaño aproximado de la mora.

De los datos anteriores podemos calcular el ancho de la banda así:

$$\text{AnchoBanda} > 4,5 * (\text{Tamañoobjeto} + D_{\text{estandar}}) \quad \text{Ecuación [12]}$$

$$Ancho_{banda} \approx 142,11mm$$

Continuando con los pasos de diseño de la norma se debe elegir un ancho nominal inmediatamente superior (Ilustración 54), en caso de no encontrar el valor se interpola o extrapola para encontrar el ancho y la velocidad a la cual debería ir la banda.

Ancho de banda (mm)	Tamaño de grano (mm)		
	< 30	30-300	>300
400	2.09	1.68	1.31
500	3.35	2.09	1.68
650	3.35	2.09	1.68
800	3.35	2.62	2.09
1000	4.19	2.62	2.09
1200	4.19	2.62	2.09
1400	4.19	3.35	2.09
1600	4.19	3.35	2.62
1800	4.19	3.35	2.62
2000	5.24	3.35	2.62
2200	5.24	3.35	2.62

VELOCIDADES DE BANDA NORMALIZADAS (m/s) s/DIN 22101									
0,66	0,84	1,05	1,31	1,68	2,09	2,62	3,35	4,19	5,24

Ilustración 54. Elección de la velocidad lineal y ancho de la banda.

Al realizar la extrapolación ya que el valor no se encontraba en la tabla se obtuvo un valor de ancho de 154[mm] de la banda la cual debe ir a una velocidad de 0.66 m/s, una vez determinada estas características se procedió a elegir una banda dentro del catálogo de Intralux.

Se eligió una que pertenece a la serie 900 OPEN GRID. Luego se calcula el área eficiente de la banda, es decir, el área que puede ocupar el producto de la siguiente forma:

$$A_{cinta} = L * B \quad \text{Ecuación [13]}$$

$$A_{cinta} = 0,445 * 0,154 = 0,06853m^2$$

$$A_{ef} = A_{cinta} * 0,95 = 0,0651m^2$$

L : Longitud de la banda

B : Ancho de la banda

A_{cinta} : Area total de la cinta

A_{ef} : el area que ocupa realmente el producto

- **Carga del producto acumulado**

Se asumió que cuando la tolva está a su capacidad máxima la mitad del peso estaría sobre la banda el cual corresponde a 30 [Kg] cuyo volumen ocupado es de 50400[cm³], aproximadamente la mitad. La carga que genera el producto en acumulación sobre la banda (M) es

$$M = \frac{30kg}{A_{ef}} = 460.8K g/m^2$$

M: Carga del producto en acumulación

Continuando con los cálculos requeridos por el manual de Intralox se calcula la resistencia de la banda (Ilustración 55) y el peso de esta con base en tablas suministradas por Intralux para el tipo de banda seleccionada, la cual es de polipropileno.

Datos sobre la banda																
Material de la banda	Material de las varillas estándar Ø 0,18 pulg. (4,6 mm)	CF		Resistencia de la banda		Rango de temperatura (continuo)		P		Peso de la banda	Homologación: 1=Blanco, 2=Azul, 3=Natural, 4=Gris					
		lb/pies	kg/m	°F	°C	lb/pie²	kg/m²	FDA (EE.UU.)	USDA-FSIS – carnes y aves		USDA lácteos ^a	CFA ^b	A ^c	J ^d	EU MC ^e	
Polipropileno	Polipropileno	70	1040	34 a 220	1 a 104	0,11	3,95	*	*	*	*	*	*	*	3	*
Poliétileno	Poliétileno	350	520	30 a 150	-46 a 86	0,8	4,09	*	*	*	*	*	*	*	3	*
Acetal	Polipropileno	1480	2200	34 a 200	1 a 93	1,26	6,14	*	*	*	*	*	*	*	3	*
Acetal ^f	Poliétileno	1000	1490	-50 a 70	-46 a 21	1,26	6,14	*	*	*	*	*	*	*	3	*

Ilustración 55. Datos de banda.

$$W = 3,95 \text{ Kg/m}^2$$

$$CF = 1040 \text{ Kg/m}$$

W : Peso de la banda

CF: Resistencia de la banda

- **Resistencia de la banda**

Una vez obtenidos estos valores se calcula la tracción de la banda así:

$$BP = [(M + 2W) * Fw + Mp] * L + (M * H) \quad \text{Ecuación [14]}$$

BP : Tracción de la banda

Fw : Coeficiente de fricción del arranque entre la guía de desgaste y la banda

Mp: Coeficiente de fricción entre el producto y la banda

L : Longitud de la banda

H : altura de la banda si tiene inclinación

El valor de Fw (Ilustración 56) se obtiene de datos dados por el fabricante de las bandas.

Tabla 2 (F_w) COEFICIENTE DE FRICCIÓN DEL ARRANQUE ENTRE LA GUÍA DE DESGASTE Y LA BANDA										
MATERIAL DE LA GUÍA DE DESGASTE	MATERIALES ESTÁNDAR ^a									
	POLIPROPILENO				POLIETILENO		ACETAL		ACETAL EC	
	SUPERFICIE LISA		ABRASIVA ^b LISA		SUPERFICIE LISA		SUPERFICIE LISA		SUPERFICIE LISA	
	HÚMEDO	SECO	HÚMEDO	SECO	HÚMEDO	SECO	HÚMEDO	SECO	HÚMEDO	SECO
U.H.M.W.	0,11	0,13	NR	NR	0,24	0,32 ^c	0,10	0,10	0,10	0,10
H.D.P.E.	0,09	0,11	NR	NR	NR	NR	0,09	0,08	0,09	0,08
Nilón impregnado con molibdeno o silicona	0,24	0,25	0,29	0,30	0,14	0,13	0,13	0,15	0,13	0,15
Acero inoxidable o al carbono con acabado laminado en frío	0,26	0,26*	0,31	0,31*	0,14	0,15*	0,18	0,19*	0,18	0,19*

Ilustración 56, Coeficiente de fricción F_w .

Reemplazando todos los valores da como resultado

$$BP = 89.83 \text{ Kg/m}^2$$

- **Tracción ajustada de la banda**

Ahora se le hace un reajuste a la tracción (Ilustración 57) teniendo en cuenta ciertas restricciones y condiciones del funcionamiento las cuales se denominan factor de servicio, se eligió 1.8

Tabla 6 (SF) FACTOR DE SERVICIO		
Arranques sin carga, con carga aplicada gradualmente.		1,0
Arranques frecuentes bajo carga (más de uno por hora)	AGREGAR 0,2	0,2
A velocidades superiores a 100 FPM (pies por minuto) (30 metros/min)	AGREGAR 0,2	0,2
Transportadores ascendentes	AGREGAR 0,4	0,4
Transportadores por empuje	AGREGAR 0,2	
		TOTAL 1,8

Nota: Para velocidades superiores a los 50 pies/min (15 m/min) en transportadores que arrancan con acumulación de producto, se recomienda usar motores de arranque suave.

Ilustración 57. Factor de servicio.

$$ABP = BP * SF \quad \text{Ecuación [15]}$$

$$ABP = 161.7 \text{ Kg/m}$$

ABP : Tracción ajustada de la banda

SF : Factor de servicio

- **Resistencia disponible de la banda**

Las bandas Intralox tienen valores de resistencia, determinados a temperatura ambiente y a baja velocidad. Debido a que la resistencia de los plásticos generalmente disminuye conforme aumenta su temperatura y a que la proporción de desgaste es directamente proporcional a la velocidad, pero inversamente

proporcional a la longitud del transportador, la resistencia nominal de la banda (CF), debe ajustarse según la expresión:

$$ABS = CF * T * S$$

ABS: Resistencia disponible de la banda

T: Factor de temperatura

S: Factor de resistencia

CF: Resistencia nominal de la banda

Los valores de T y S se obtienen del catálogo de Intralux (Ilustración 58), donde para encontrar el factor de temperatura se consideró que el lugar de operación tendría una temperatura media de 30[°C] para el material seleccionado que fue polipropileno. Observando en la gráfica se obtiene que el valor del factor de temperatura es aproximadamente 1.

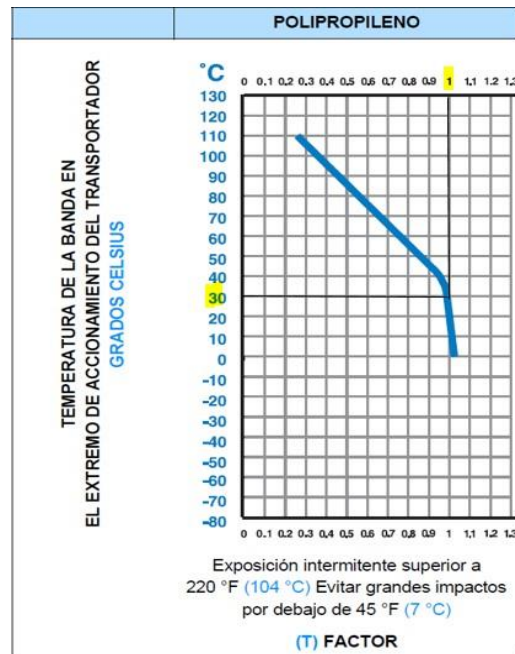


Ilustración 58. Factor de temperatura.

El factor de resistencia (S) requiere conocer la relación velocidad lineal de la banda sobre su longitud, y dependiendo el número de dientes que posee el engranaje (Ilustración 59).

Datos de engranajes ²										
N.º de dientes (Acción poliédrica)	Ancho nom. paso pulg.	Ancho nom. paso mm	Ancho nom. externo pulg.	Ancho nom. externo mm	Ancho nominal del cubo, pulg.	Ancho nominal del cubo, mm	Dimensiones disponibles de agujeros			
							Unidades de EE.UU.		Unidades métricas	
							Pulg. redondas ³	pulg. cuadradas	mm redondos ^b	mm cuadrados
6 (13,40%)	2,1 ^c	53 ^c	2,2	56	0,75	19		1,0		25
9 (6,03%)	3,1	79	3,2	81	1,0	25	1	1,0	25	25
								1,5		40
10 (4,89%)	3,5	89	3,6	91	0,75	19		1,0		40
								1,5		
12 (3,41%)	4,1	104	4,3	109	1,5	38	1 a 1-1/2	1,5	25 a 40	40
									50 a 55	
17 (1,70%)	5,8	147	5,9	150	1,5	38	1-3/16 a 1-1/2		30 a 40	
18 (1,52%)	6,1	155	6,3	160	1,5	38	1 a 1-1/2	1,5	25 a 40	40
							1-15/16	2,5	50 a 55	60
							1,0	25	2-3/16	65
20 (1,23%)	6,8	173	7,0	178	1,5	38	1 a 1-1/2	1,5	25 a 40	40
							1-15/16 a 2-3/16	2,5	50 a 55	60
										65

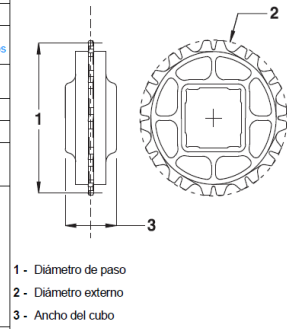


Ilustración 59. Datos engranajes.

Se seleccionó un engrane de 10 dientes debido a que con este número la acción poliédrica de la banda con respecto al engranaje es del 4.89%, con un diámetro para el eje tipo redondo de 1[in]. Una vez obtenidos el número de dientes y la relación de velocidad se obtiene S (Ilustración 60).

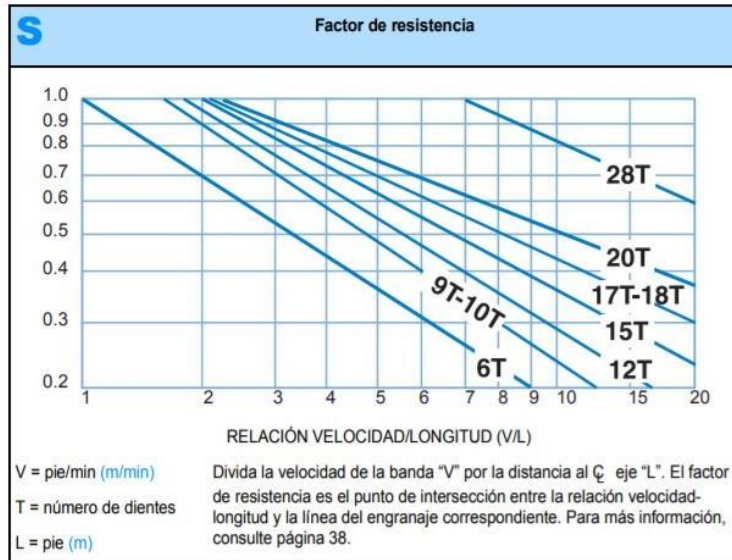


Ilustración 60. Factor de resistencia.

$$\frac{V}{L} = \frac{39.6m/min}{0,445} = 88.9$$

De acuerdo con el catalogo intralox dice que, si la relación de velocidad es mayor a los valores mostrados (Ilustración 60), el termino S se puede despreciar en la ecuación. Al reemplazar todos los valores podemos obtener ABS:

$$ABS = 1040 * 1$$

$$ABS = 1040Kg/m$$

- **Separación máxima entre engranajes en el eje motriz y número mínimo recomendado de engranajes**

La separación máxima entre los engranajes en el eje motriz y el número mínimo de engranajes del eje se debe determinar la resistencia permitida que es la relación entre la tracción ajustada y la resistencia disponible de la banda.

$$ABSU = \frac{ABP}{ABS} * 100\% \quad \text{Ecuación [17]}$$

$$ABSU = 15.54\%$$

ABSU: Resistencia permitida

Una vez obtenida la resistencia permitida, se obtienen la separación entre los engranajes (Ilustración 61) la cual es 88.9[mm].

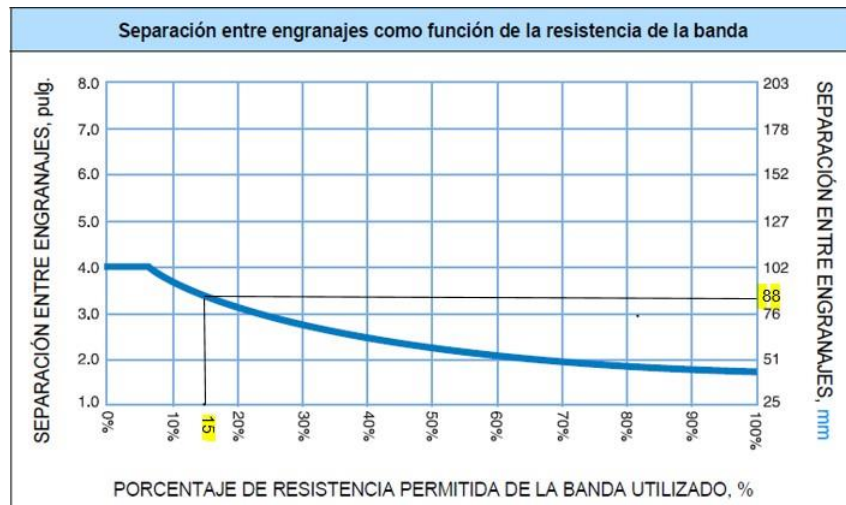


Ilustración 61. Separación entre engranajes.

Para conocer el número de engranajes se debe dividir el ancho de la banda entre la separación máxima entre cada engranaje así:

$$N_{engranes} = \frac{154mm}{88.9mm} \approx 2$$

- **Deflexión del eje**

Ahora se determinará la resistencia del eje lo cual se hace en base al ancho de la banda, tipo de banda y numero de dientes del engranaje. Los datos del eje son:

Tabla 8 DATOS DEL EJE				
EJE B DATOS	(Q) PESO DEL EJE, lb/pie (kg/m)			I MOMENTO DE INERCIA pulg. ⁴ (mm ⁴)
	ALUMINIO	ACERO AL CARBONO	ACERO INOXIDABLE	
5/8 PULG. CUADRADAS	0.46	1,33 ^a	1,33 ^a	0,013
1 PULG. CUADRADA	1,17 ^a	3,40 ^a	3,40 ^a	0,083
1,5 PULG. CUADRADAS	2,84 ^a	7,65 ^a	7,65 ^a	0,42
2,5 PULG. CUADRADAS	7,34	21,25 ^a	21,25 ^a	3,25
3,5 PULG. CUADRADAS	14,39	41,60 ^a	41,60 ^a	12,50
25 mm CUADRADOS	1,699	4,920 ^b	4,920 ^b	(32,550)
40 mm CUADRADOS	(4,335)	(12,55) ^b	(12,55) ^b	(213,300)
60 mm CUADRADOS	(10,05)	(29,11) ^b	(29,11) ^b	(1,080,000)
65 mm CUADRADOS	11,79	(34,16) ^b	(34,16) ^b	1,487,600
E MÓDULO DE ELASTICIDAD libras/pulg. ² (kg/mm ²)	10,000,000 (7,000)	30,000,000 (21,100)	28,000,000 (19,700)	

Ilustración 62. Datos del eje.

- Tipo : redondo
- Diámetro : 25.4 [mm]
- Peso(Q) : 4.92 [kg/m]
- Inercia : 32550[mm⁴]
- Elasticidad: 19700[Kg/mm²]

El eje se doblará o curvará bajo las cargas combinadas de la fuerza de tracción de la banda, ABP, y su propio peso. Se supone que estas fuerzas son coplanares y pueden combinarse en una carga total sobre el eje, w, determinado por:

$$W = (ABP + Q) * B \quad \text{Ecuación [18]}$$

$$W = (161.7 + 4.920) * 0.154$$

$$W = 25.326Kg$$

W: carga total sobre el eje

B: Ancho de la banda

Una vez obtenida la carga máxima sobre el eje se determina su deflexión (Ilustración 63).

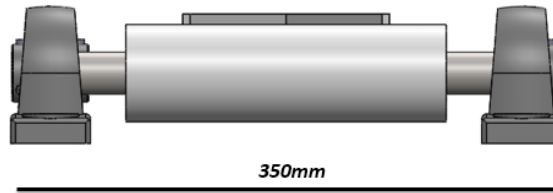


Ilustración 63. Longitud del eje.

$$D = \frac{5}{384} * \frac{W * L_{eje}^3}{E * I} \quad \text{Ecuación [19]}$$

$$D = \frac{5}{384} * \frac{25.326 * 350^3}{19700 * 32550} = 0.022mm$$

D: Deflexión del eje
L_{eje}: Longitud del eje
E: Modulo de elasticidad
I: Inercia

Se concluye que la longitud y el diámetro del eje es apropiado ya que no supera la deflexión máxima permitida la cual es de 2.5 [mm] para ejes unidireccionales.

- **Par de torsión del eje motriz**

El par de torsión recomendado por el fabricante (Ilustración 64), requiere conocer el material y diámetro del eje.

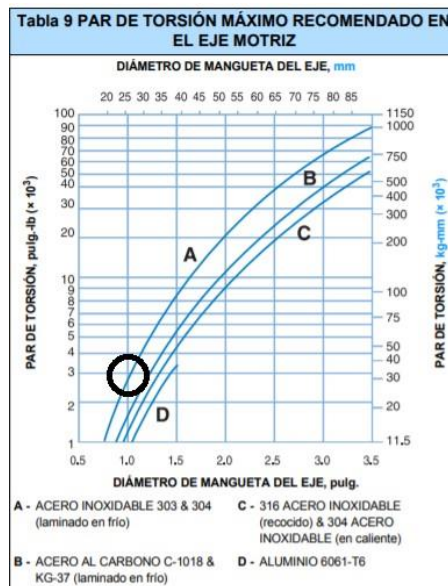


Ilustración 64. Par de torsión máximo.

Se observa que el valor aproximado del par de torsión para un diámetro de 25 [mm] es 30000[Kg*mm]. El par real que se transmite se puede calcular a partir de:

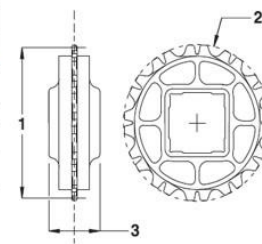
$$T_o = ABP * B * \frac{PD}{2} \quad \text{Ecuación [20]}$$

T_o : Torque real

PD : Diametro de paso del engranaje

El diámetro de paso se obtiene del catálogo de Intralox (Ilustración 65).

Datos de engranajes ²										
N.º de dientes (Acción poliédrica)	Ancho nom. paso pulg.	Ancho nom. paso mm	Ancho nom. externo pulg.	Ancho nom. externo mm	Ancho nominal del cubo, pulg.	Ancho nominal del cubo, mm	Dimensiones disponibles de agujeros			
							Unidades de EE.UU.		Unidades métricas	
							Pulg. redondas ^b	pulg. cuadradas	mm redondos ^b	mm cuadrados
6 (13,40%)	2,1 ^c	53 ^c	2,2	56	0,75	19		1,0		25
9 (8,03%)	3,1	79	3,2	81	1,0	25	1	1,0	25	25
								1,5		40
10 (4,89%)	3,5	89	3,6	91	0,75	19		1,0		40
								1,5		40
12 (3,41%)	4,1	104	4,3	109	1,5	38	1 a 1-1/2	1,5	25 a 40	40
									50 a 55	
17 (1,70%)	5,8	147	5,9	150	1,5	38	1-3/16 a 1-1/2		30 a 40	
18 (1,52%)	6,1	155	6,3	160	1,5	38	1 a 1-1/2	1,5	25 a 40	40
							1-15/16	2,5	50 a 55	60
										65
20 (1,23%)	6,8	173	7,0	178	1,5	38	1 a 1-1/2	1,5	25 a 40	40
							1-15/16 a 2-3/16	2,5	50 a 55	60
										65



1 - Diámetro de paso
2 - Diámetro externo
3 - Ancho del cubo

Ilustración 65. Obtención diámetro de paso.

$$T_o = 161,7 * 0,154 * \frac{89}{2}$$

$$T_o = 1108.13 \text{ Kg} * \text{mm}$$

• **Potencia necesaria para accionar la banda**

La potencia necesaria para mover la banda y el producto se puede obtener de la siguiente expresión.

$$PW = \frac{T_o * V}{3.06 * PD} \quad \text{Ecuación [21]}$$

$$PW = \frac{1108.13 * 39.6}{3,06 * 89} = 161.129W$$

PW : Potencia para accionar la banda

V: Velocidad de la banda

- **Potencia aproximada del motor**

Para obtener la potencia requerida del motor se debe añadir a la potencia calculada, las pérdidas de potencia necesarias para superar las deficiencias mecánicas u otras ineficiencias del sistema

$$Potencia\ motor = \frac{161.129}{100 - 7} * 100 = 173.25W$$

11.2.2. Sistema de dosificación

El sistema de dosificación empleado fue el seleccionado en las matrices QFD el cual corresponde al uso de una báscula para dosificar el producto por peso también será construida en lámina de acero inoxidable AISI 304 calibre 16 (Ilustración 66). Está compuesto por tres piezas:

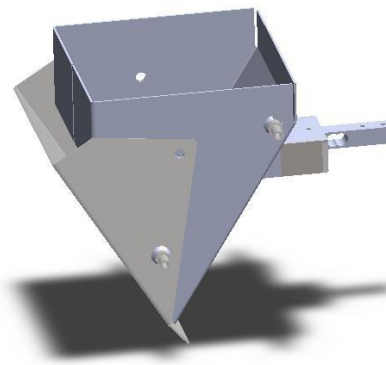


Ilustración 66. CAD sistema de dosificación.

- Tapa frontal (Ilustración 67) que es la que permite que el producto una vez alcance el peso deseado pueda pasar al tubo de alimentación para su correspondiente empaclado.

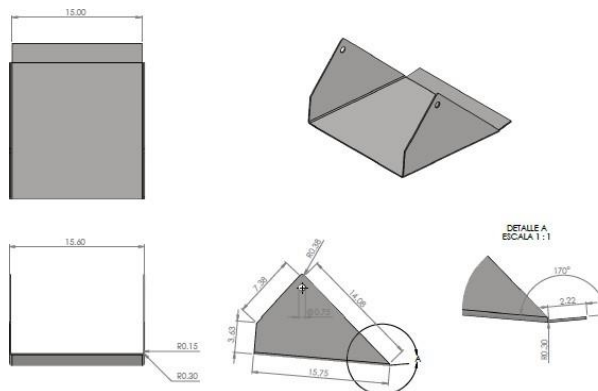


Ilustración 67. Planos tapa frontal en [cm].

- Tapa trasera (Ilustración 68) que es la encargada de almacenar el producto mientras alcanza el peso deseado.

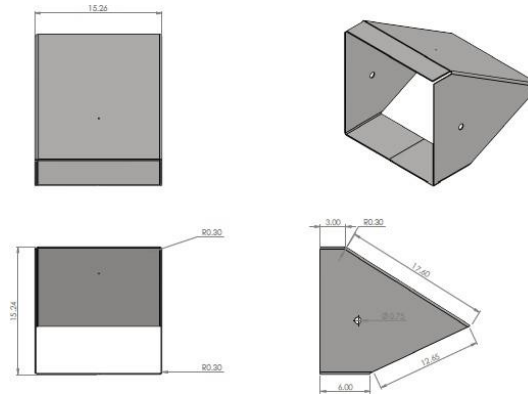


Ilustración 68. Planos tapa trasera [cm].

- Soporte (Ilustración 69) encargado de unir la báscula formada por la tapa frontal y trasera a la celda de carga para el correspondiente sensado del producto.

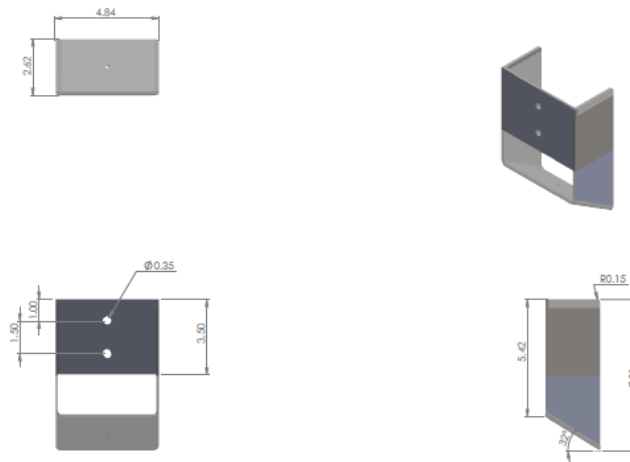


Ilustración 69. Planos soporte [cm].

El accionamiento elegido para la tapa frontal fue un motor DC el cual se calculó por medio de las leyes Newton para un sistema estático. Primero se realiza el DCL del sistema (Ilustración 70), la fuerza ejercida por la mora se obtuvo como la resultante de la carga distribuida sobre una compuerta inclinada la cual se ubica a 1/3 de altura de la compuerta:

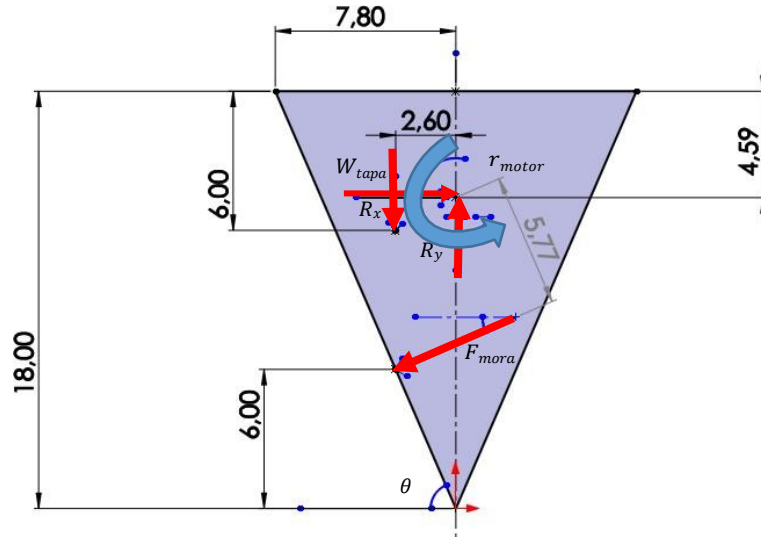


Ilustración 70. DCL sistema de dosificación.

Ahora simplemente se aplica sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos. Empleando la ecuación [1] se obtiene lo siguiente:

$$R_X - F_{mora} * \cos(90 - \theta) = 0$$

$$R_X = F_{mora} * \cos(90 - \theta)$$

Para calcular la fuerza aplicada por el peso de la mora se calcula como la resultante de una carga distribuida, se requiere conocer la densidad de la fruta (Ilustración 53) y el área sobre la cual se va a reposar.

$$\rho = 1080 \frac{kg}{m^3}$$

$$h = 0.09 m$$

$$m_{tapa} = 1.51 kg$$

$$\theta = 66^\circ$$

$$F_{mora} = \rho gh * A$$

$$A = 0.074 m * 0.157 m$$

$$A = 0.0116 m^2$$

$$F_{mora} = 11.07 N$$

$$R_X = 44.6 N * \cos(90 - 66)$$

$$R_X = 10.1129 N$$

Empleando la ecuación [2] se calcula R_y

$$R_y - W_{tapa} - F_{mora} * \sen(90 - \theta) = 0$$

$$R_y = W_{tapa} + F_{mora} * \text{sen}(90 - \theta)$$

$$R_y = 1.5 * 9.81 + 11.07 * \text{sen}(90 - 66)$$

$$R_y = 19.21 \text{ N}$$

Empleando la ecuación [3] se calcula el torque necesario para el motor

$$T_m = W_{tapa} * r_{to} - F_{mora} * r_{mo}$$

$$r_{mo} = 0.057 \text{ m}$$

$$r_{to} = 0.026 \text{ m}$$

$$T_m = 1.5 * 9.81 * 0.026 - 11.07 * 0.057$$

$$T_m = -0.2484 \text{ N} * \text{m}$$

$$T_m = -2.4 \text{ kg} * \text{cm}$$

- R_x . : *Reacción en el pasador en el eje x*
 R_y : *Reacción en el pasador en el eje y*
 W_{tapa} : *Carga generada por la tapa frontal*
 W_{mora} : *Carga generada por el producto*
 T_m : *Torque motor*

11.2.3. Sistema de arrastre

El sistema de arrastre (Ilustración 71) seleccionado es el de rodillos los cuales deben garantizar el agarre adecuado para evitar el deslizamiento del empaque. Está conformado por el tubo de alimentación, los rodillos de arrastre y un soporte.

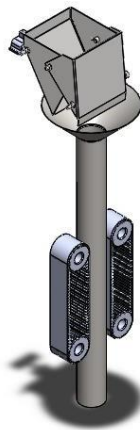


Ilustración 71. CAD sistema de arrastre.

- El tubo de alimentación (Ilustración 72) cumple la función de conducir el producto una vez pesado a su etapa de empaqueo, está construido en acero inoxidable AISI 304 calibre 20.

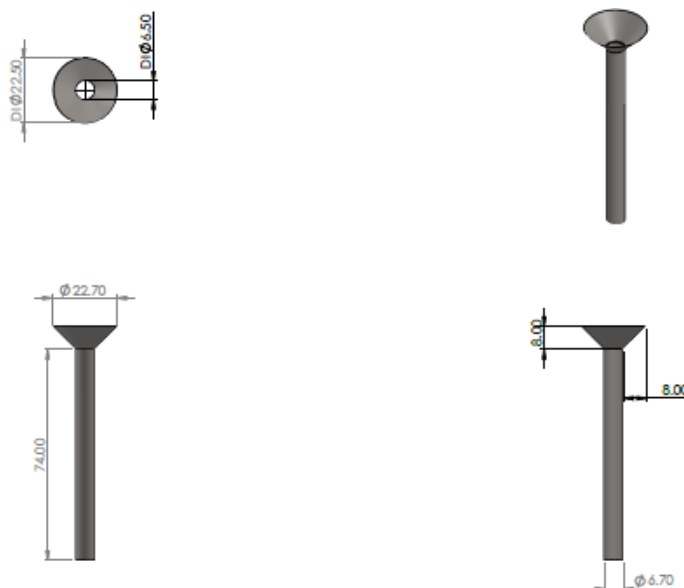


Ilustración 72. CAD tubo de alimentación en [cm].

- Los rodillos de arrastre son los encargados de hacer que el empaque esté disponible y ubicado adecuadamente para un correcto sellado.

Modelado motor sistema arrastre

El modelado del sistema de arrastre se hizo por medio del método de Newton-Euler para calcular la fuerza que se debe ejercer al arrastrar el empaque y de ahí se calcula el motor que cumpla con estas especificaciones. Primero se realiza el DCL del sistema:

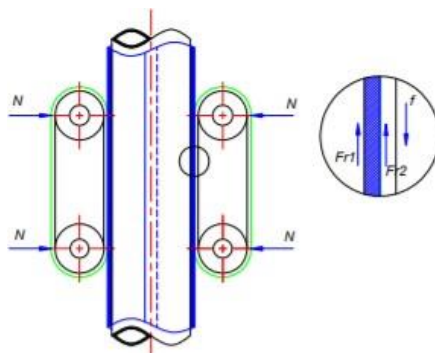


Ilustración 73. DCL sistema de arrastre.

Ahora teniendo la longitud del tubo de alimentación y eligiendo un ancho de banda nominal cercano al diámetro del tubo, se elige un ancho de 50[mm]. También se eligió el número de dientes y el paso del engranaje del sistema de arrastre, todo esto para obtener la distancia entre centros de los engranajes, Además se estableció la velocidad deseada del proceso de arrastre requerida en cálculos posteriores.

$$D_{tubo} = 7\text{cm}$$

$$\text{Banda} = 50\text{mm}$$

$$p = 10$$

$$Z = 24 \text{ dientes}$$

$$d_0 = \frac{Z * p}{\pi} \quad \text{Ecuación [22]}$$

$$c = \frac{L_{tubo} - 2\pi * d_0}{2} \quad \text{Ecuación [23]}$$

$$V_{arrastre} = \frac{L_{arrastre}}{t_{arrastre}} = \frac{0.22}{0.6} = 0.33 \frac{m}{seg}$$

$$w = \frac{V_{arrastre}}{r} = \frac{0.36}{0.045} = 8.17 \frac{rad}{seg} = 80 \text{ rpm}$$

c: distancia entre centros

p: Paso

z: Número de dientes

w: Velocidad angular

Ahora se hace la cinética del sistema para calcular el valor de la fuerza de arrastre empleando la ecuación [2].

$$F = 2 * F_{11} + 2 * F_{12}$$

$$F = 2 * N * (\mu_1 + \mu_2) = 10 \text{ N}$$

$$\text{Potencia} = F * V_{arrastre} = 3.36$$

$$P_{motor} = \frac{\text{Potencia} * Fs}{\eta} = 15.2w$$

$$r_{motor} = \frac{P_{motor}}{w} = 1.8 \text{ N} - m \approx 20 \text{ kg} * \text{cm}$$

F₁₁: Fuerza de fricción

F₁₂: Fuerza de fricción

μ₁: Coeficiente de fricción

N: Normal

η: Eficiencia

F: Fuerza requerida para arrastrar la bolsa

Para la transmisión de movimiento se decide usar un motor para generar el movimiento de cada uno de los rodillos de arrastre (Ilustración 74), el sistema cuenta con chumaceras de parche para cada eje, que cuenta con dos secciones, una de diámetro de 20 [mm] para que encaje en las chumaceras, y la otra es de 5/8[in] para que encajen los rodillos.

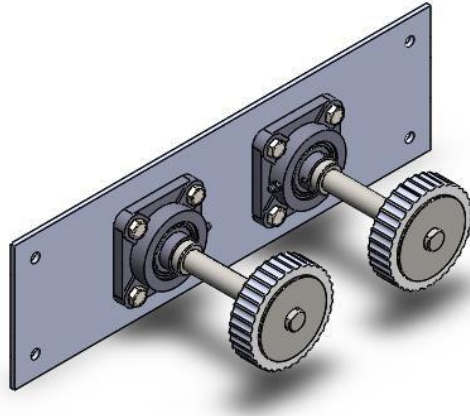


Ilustración 74. CAD sistema de arrastre.

Análisis estático

Se realizó un análisis estático para determinar si los ejes no superan su límite elástico. Los resultados obtenidos fueron los siguientes

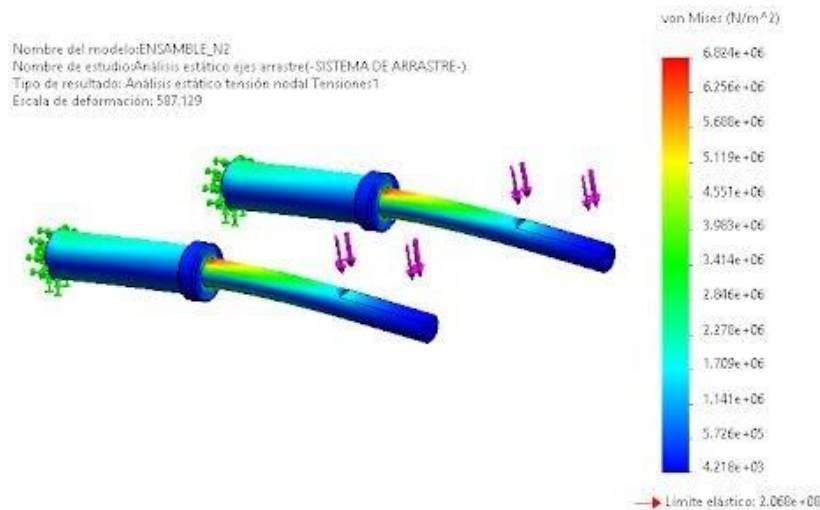


Ilustración 75. Análisis estático de esfuerzo de Von Mises

Una vez hecho el análisis (Ilustración 75) se puede concluir que los ejes seleccionados para el movimiento de los rodillos, cuyo material es acero inoxidable AISI 304 no exceden el límite elástico el cual es 2.068e+08 N/m² ya que el mayor esfuerzo que se presenta en el eje es de 6.824e+06. Además, también se corrobora

este resultado analizando el factor de seguridad del eje (Ilustración 76), cuyo valor es 30 min, lo cual indica que el eje soportara las cargas a las cuales será sometido.

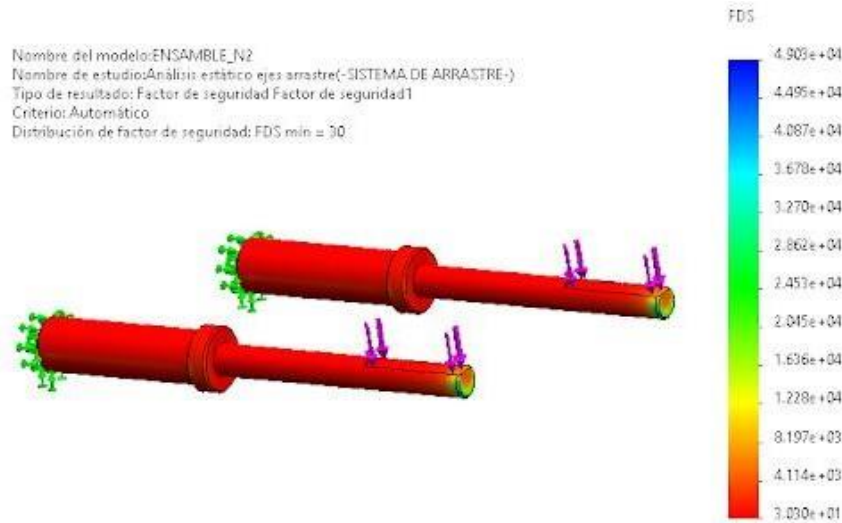


Ilustración 76. Análisis de factor de seguridad.

11.2.4. Sistema de sellado y corte

El sistema de sellado diseñado es para realizar el sellado horizontal del empaque por medio de mordazas las cuales se llevan a una temperatura específica y luego se activa el sistema de corte para separar el producto sellado (Ilustración 77). Consta de Mordazas y pistones para el movimiento de estas.

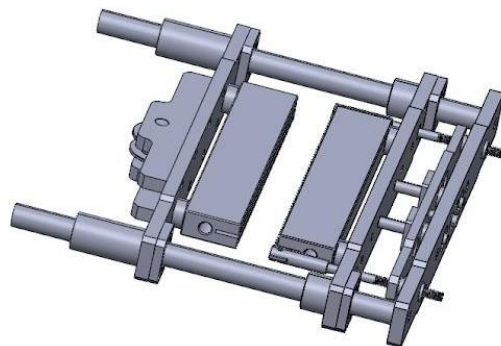


Ilustración 77. CAD sistema de sellado.

- Las mordazas son las encargadas de realizar el sellado del material
- El mecanismo manivela biela corredera es el encargado de generar el movimiento de las mordazas.

El modelado del sistema de sellado se realizó por medio de Newton Euler, así:

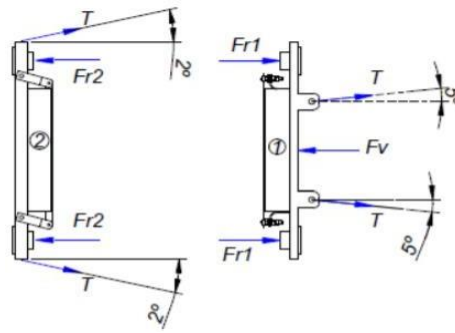


Ilustración 78. DCL sistema de sellado.

Se eligieron las dimensiones de la mordaza con respecto al ancho de la bolsa la cual es 13 [cm] y por tanto se eligió un ancho de 20 [cm] y un alto de 3 [cm] para la mordaza

$$A_{\text{sellado}} = 60 \text{ cm}^2$$

$$P_{\text{sellado}} = \frac{F_{\text{sellado}}}{A_{\text{sellado}}}$$

En promedio investigando en el estado del arte el valor de presión para q se realice el sellado es de 0.61 kgf/cm²

$$F_{\text{sellado}} = 0.61 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} * 60 \text{ cm}^2 = 36.6 \text{ kgf}$$

Mordaza 2

Empleando la ecuación [1]

$$2 * Fr_2 = 2 * T \text{ sen}(2^\circ)$$

$$T = \frac{\mu * N_2}{\text{sen}(2^\circ)}$$

Empleando la ecuación [2]

$$2 * N_2 = m_2 * g$$

$$N_2 = \frac{m_2 * g}{2}$$

$$T = 76.3 \text{ N}$$

$$T = 76.3 \text{ N}$$

F_{r2} : Fuerza de fricción

T : tensión

m_2 : Masa mordaza 2

Mordaza 1

Se calcula la fuerza necesaria para mover el sistema y garantizar la presión de sellado empelando la ecuación [1]

$$2 * F_{r1} + 2 * T \text{sen}(5^\circ) = Fv$$

$$2 * (\mu N_1 + 2 * T \text{sen}(5^\circ)) = Fv$$

Empleando la ecuación [2]

$$2 * N_1 = m_1 * g$$

$$N_1 = \frac{m_1 * g}{2}$$

$$Fv = 377.6 \text{ N}$$

Para el mecanismo manivela biela corredera se modelo eslabón por eslabón así:

Primero se calculó la cinemática de cada uno de los centroides a partir del DCL (Ilustración 79):

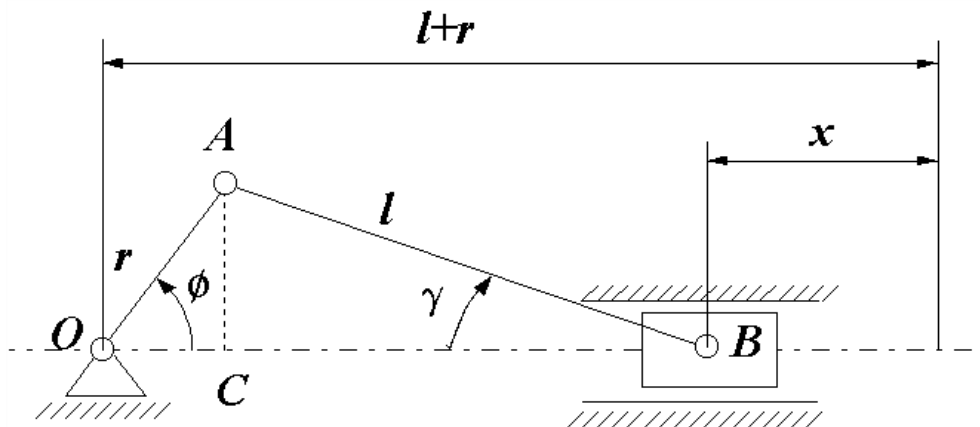


Ilustración 79. DCL manivela biela corredera.

Calculo de posición del centroide de cada eslabón empleando la ecuación [4]

$$\vec{r}_A = \frac{r}{2} * (\cos\phi i + \text{sen}\phi j) \quad \text{Ecuación [24]}$$

$$\vec{r}_B = r * (\cos\phi i + \text{sen}\phi j) + \frac{l}{2} * (\cos\gamma i + \text{sen}\gamma j) \quad \text{Ecuación [25]}$$

$$\vec{r}_B = r * (\cos\phi \ i + \text{sen}\phi \ j) + l * (\cos\gamma \ i + \text{sen}\gamma \ j) \quad \text{Ecuación [26]}$$

Velocidad angular de cada eslabón:

$$\omega_{Man} = \dot{\phi}$$

$$\omega_{Bie} = \dot{\gamma}$$

Aceleraciones centroidales de cada cuerpo empleando la ecuación [7]

$$\vec{a}_A = \alpha_2 \times \vec{r}_A + \omega_{Man} \times \omega_{Man} \times \vec{r}_A \quad \text{Ecuación [27]}$$

$$\vec{a}_A = \dot{\phi} * \frac{r}{2} * (-\text{sen}\phi \ i + \cos\phi \ j) - \dot{\phi}^2 * \frac{r}{2} * (\cos\phi \ i + \text{sen}\phi \ j)$$

$$\vec{a}_B = (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) * L_1 * (-\text{sen}\theta_2 \ i + \cos\theta_2 \ j) + \ddot{\theta}_3 * \frac{L_2}{2} * (-\text{sen}\theta_3 \ i + \cos\theta_3 \ j) \quad \text{Ecuación [28]}$$

$$- (\ddot{\theta}_2^2 + \ddot{\theta}_3^2) * L_1 * (\cos\theta_2 \ i + \text{sen}\theta_2 \ j) - \ddot{\theta}_3^2 * \frac{L_2}{2} * (\cos\theta_3 \ i + \text{sen}\theta_3 \ j)$$

Finalmente se calculó la cinética de cada eslabón:

Eslabón 1:

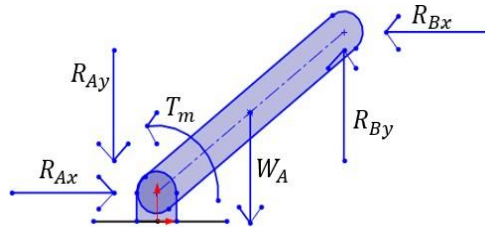


Ilustración 80. DCL manivela sistema sellado.

Empleando la ecuación [10] para el eslabón 1 (cuerpo A) realizando sumatoria de fuerzas en los ejes "x" y "y" se obtiene:

$$R_{Ax} - R_{Bx} = m_A * a_{Ax} \quad \text{Ecuación [29]}$$

$$R_{By} - R_{Ay} - W_A = m_A * a_{Ay} \quad \text{Ecuación [30]}$$

A continuación, se realizó sumatoria de momentos con respecto al centroide empleando la ecuación [11]

$$\frac{L_1}{2} * \text{sen}\theta_2 * (R_{AX} + R_{BX}) + \frac{L_1}{2} * \text{cos}\theta_2 * (R_{AY} + R_{BY}) + T_m = I_A * \alpha_2 \quad \text{Ecuación [31]}$$

Eslabón 2:

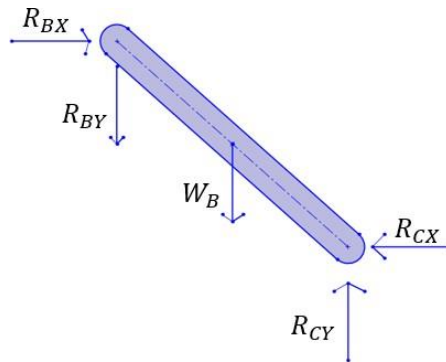


Ilustración 81. DCL biela sistema de sellado.

Empleando la ecuación [10] en “x” y “y”:

$$R_{BX} - R_{CX} = m_B * a_{BX} \quad \text{Ecuación [32]}$$

$$R_{CY} - R_{BY} - W_B = m_B * a_{BY} \quad \text{Ecuación [33]}$$

Al realizar la sumatoria de momentos aplicando la ecuación [11] con respecto al centroide se obtiene:

$$\frac{L_2}{2} * \text{sen}\theta_2 * (R_{BX} + R_{CX}) - \frac{L_2}{2} * \text{cos}\theta_2 * (R_{BY} + R_{CY}) = I_B * \alpha_3 \quad \text{Ecuación [34]}$$

Eslabón 3:

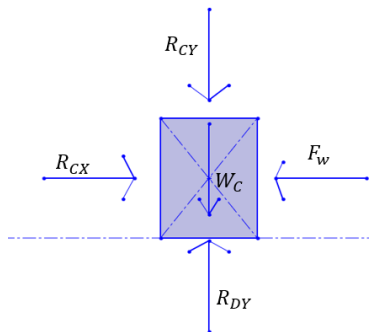


Ilustración 82. DCL corredera sistema de sellado.

Empleando la ecuación [10] en "x" se obtiene:

$$R_{CX} - F_w = mc * a_{CX} \quad \text{Ecuación [35]}$$

Empleando la ecuación [11] se obtiene:

$$R_{DY} - R_{CY} - W_C = 0 \quad \text{Ecuación [36]}$$

Una vez obtenidas las 8 ecuaciones se arma el sistema de ecuaciones y se le da solución en donde se obtiene el siguiente resultado:

$$T_{m2} = 20kg * cm$$

R_{AX}: Reacción en "x" en el pasador que une A y tierra

R_{AY}: Reacción en "y" en el pasador que une A y tierra

R_{BX}: Reacción en "x" en el pasador que une A y B

R_{BY}: Reacción en "y" en el pasador que une A y B

R_{CX}: Reacción en "x" en el pasador que une B y C

R_{CY}: Reacción en "y" en el pasador que une B y C

R_{DY}: Reacción normal producida entre la corredera y la superficie de contacto

T_{m2}: Torque ejercido por el motor para generar movimiento del sistema

11.2.5. Estructura

La estructura (Ilustración 83) estará hecha de perfil cuadrado de acero al carbono ASTM A36 de 1 ½ [in] . Tiene una altura de 1.50[m] un ancho de 50[cm] y una profundidad de 71[cm]. Para justificar la elección del material se hará un análisis estático que demuestre que el material soportará las cargas a las cuales va a ser sometido.

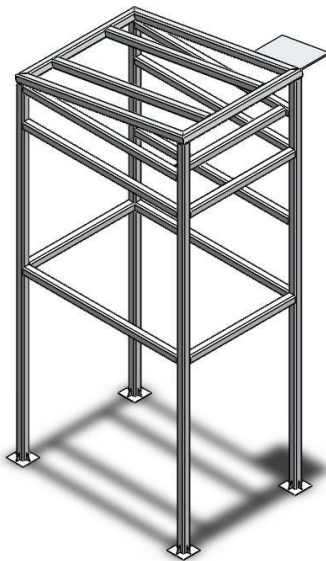


Ilustración 83. Diseño estructura de la máquina.

Se realizó un análisis estático (Ilustración 84) para comprobar que podrá soportar las cargas de los diferentes subsistemas sin que se vea comprometida su integridad.

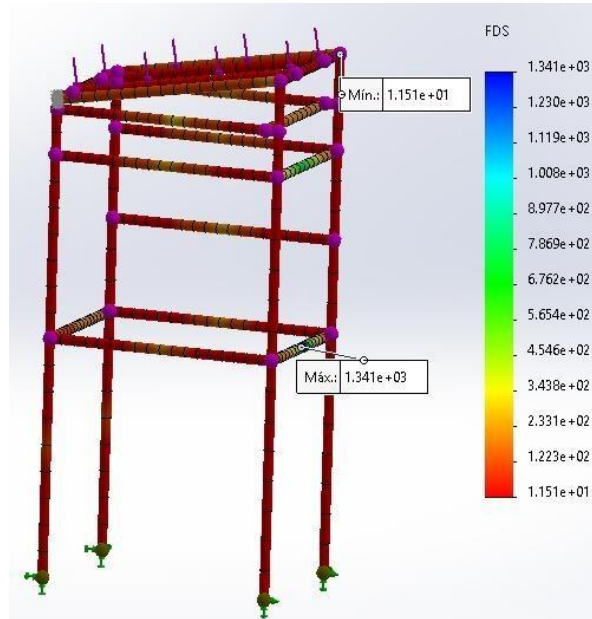


Ilustración 84. análisis estático de la estructura.

11.3. Ciclo de optimización

- Se hizo necesario aplicar un ciclo de optimización en el cual se evidenció que se podía modificar la elección de ciertos actuadores como son los empleados en la apertura del sistema de dosificación y el empleado en el accionamiento del sistema de sellado, todo esto se hizo en base a factores como el consumo de potencia, además al cotizar el costo de los accesorios necesarios para poder acoplarlos al sistema y el costo de los actuadores se observó que era demasiado elevados en comparación con alternativas de solución como el uso de pistones neumáticos. Otro factor que influyó para su cambio fue que al emplear pistones se hacía más fácil su acople con el sistema mecánico y además con esto se aumentaría la velocidad del proceso.

Por tal razón, teniendo en cuenta estos factores se tuvo que corregir el modelado del sistema de dosificación y el de sellado.

Sistema de sellado

El sistema de sellado diseñado realizando cambios en los actuadores (se cambió de motor a pistón) fue el siguiente

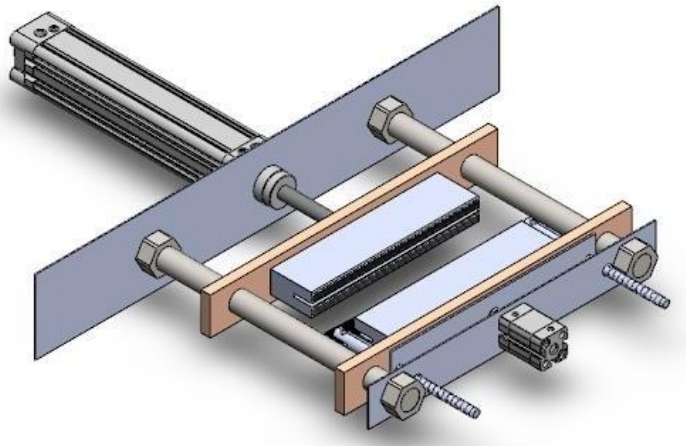


Ilustración 85. Diseño CAD actualizado sistema sellado.

Basados en este modelo se realiza el DCL (Ilustración 86) del sistema como se muestra a continuación:

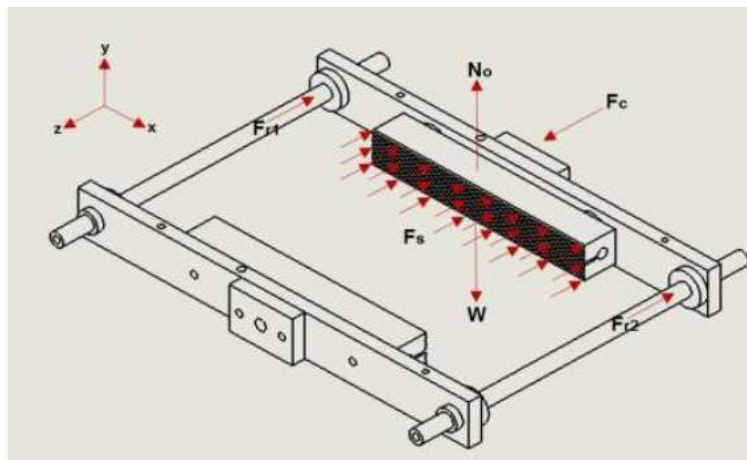


Ilustración 86. DCL sistema sellado optimizado

Lo primero que se hace es calcular la fuerza necesaria para lograr la presión de sellado, para esto se debe conocer la presión que requiere el polipropileno para poder sellarlo (Ilustración 87), el área de la mordaza.

PRESIÓN DE SELLADO					
Material	Densidad (kg/dm ³)	Resistencia a la tensión (kg/cm ²)	Resistencia compresión (kg/cm ²)	Temperatura de sellado (°C)	Presión de sellado (kgf/cm ²)
HDPE	0.94-0.96	10-35	1	100-180	0.575-0.635
LDPE	0.91-0.93	4-16	1	110-180	0.564-0.620
PP	0.90	30-35	3	110-190	0.610-0.635

Ilustración 87. Presión de sellado en diferentes materiales

$$P_s = 0.61 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$A_s = 60cm^2$$

$$F_s = P_s * A_s$$

$$F_s = 36.6 kgf = 406.779 N$$

F_s: Fuerza requerida para el sellado

P_s: Presión requerida para el sellado

A_s: Área de la mordaza

Lo siguiente es calcular la fuerza requerida por el pistón para mover el sistema y alcanzar la presión de sellado deseada empleando la ecuación [2].

$$N_0 - W = 0$$

$$N_0 = W = 3.5 Kg * 9.81 \frac{m}{seg^2} = 34.335 N$$

Empleando la ecuación [1] se obtuvo

$$2F_r + F_s - F_c = 0$$

$$F_c = 2 * (\mu * N_0) + F_s$$

$$F_c = 2 * (0.74 * 34.335N) + 406.779N$$

$$F_c = 432 N$$

Debido a que es un análisis estático se aplica un factor de seguridad de 3 dando como resultado

$$F_c = 3 * 432 N = 1296 N$$

$$P_{sis} = \frac{F_c}{A_s} \approx 3 bar$$

N₀: Normal

W: Peso de la mordaza y bases de la mordaza

F_c: Fuerza del pistón

F_r: Fuerza de fricción entre mordaza y ejes

P_{sis}: presión mínima de funcionamiento

Ahora se comprueba mediante un análisis estático si los ejes del sistema de sellado no superan su límite elástico (Ilustración 88) o las cargas a las cuales serán sometidos. Teniendo los siguientes resultados:

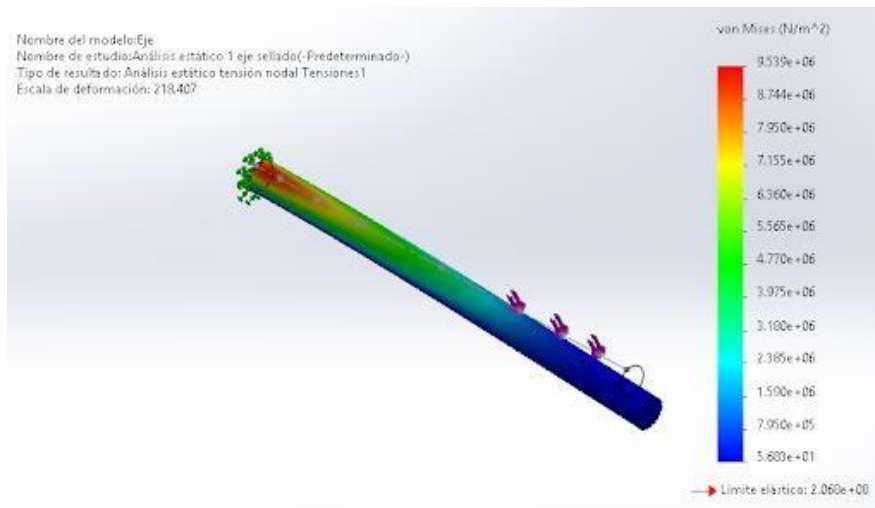


Ilustración 88. Análisis estático de Von Mises.

Se observa que el eje de AISI 304 no supera el límite elástico el cual es $2.068e+08$ ya que el mayor esfuerzo es de $1.155e+06$, lo cual indica que el eje soportara la carga sin fallas. También se analizó el factor de seguridad (Ilustración 89) del material, el cual dio mínimo 22 lo cual indica que el eje soportará sin ningún problema las cargas a las cuales será sometido.

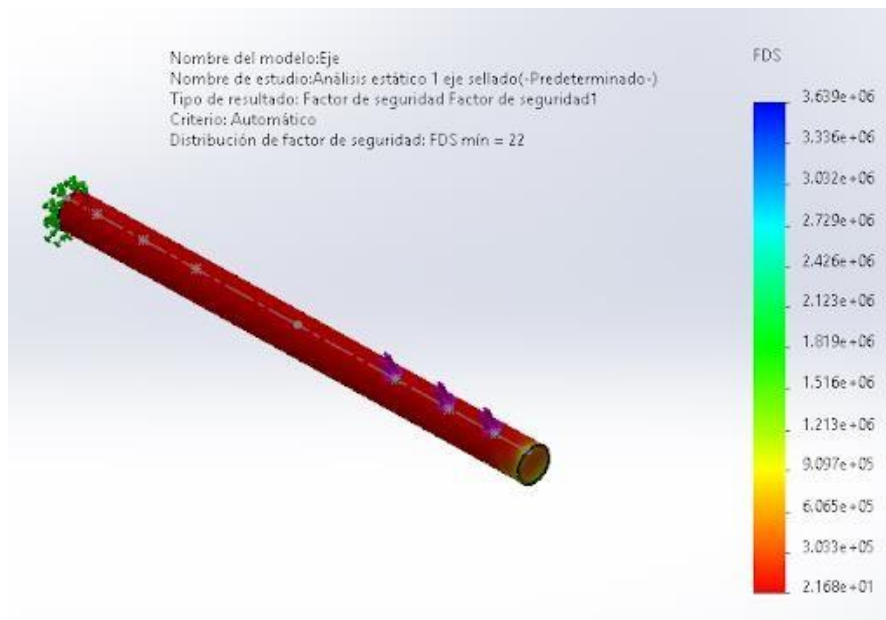


Ilustración 89. Análisis de factor de seguridad

Sistema de pesaje

En este la modificación del modelado fue mínima (Ilustración 90), ya que se cambió el momento ejercido por el motor por una fuerza puntual ejercida por el movimiento del pistón.

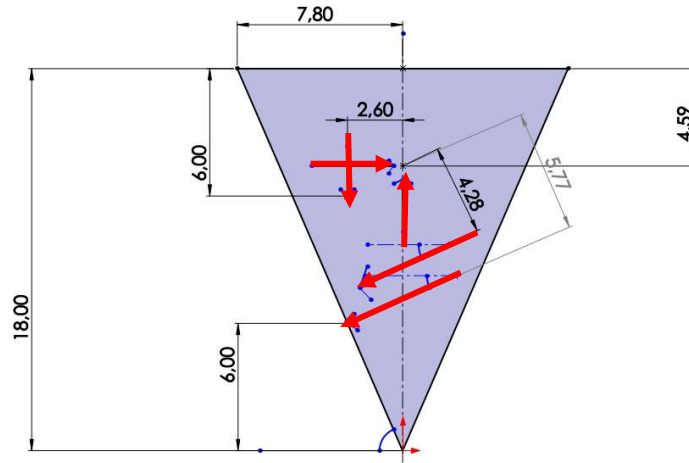


Ilustración 90. DCL ciclo optimización sistema de dosificación.

Empleando la ecuación [1] se obtiene lo siguiente:

$$R_x - F_{mora} * \cos(90 - \theta) - F_p * \cos(50) = 0$$

Empleando la ecuación [2]:

$$R_y - W_{tapa} - F_{mora} * \sen(90 - \theta) - F_p * \sen(50) = 0$$

Empleando la ecuación [3] con respecto al pasador se obtiene:

$$0.026 * W_{tapa} - 0.0577 * F_{mora} - 0.0428 * F_p = 0$$

Al resolver el sistema de ecuaciones se obtuvo lo siguiente

$$F_p = 6 \text{ N}$$

Se aplica un factor de seguridad de 3 a la fuerza dando como resultado

$$F_p = 3 * 6 \text{ N} = 18 \text{ N}$$

F_p : Fuerza ejercida por pistón sistema de dosificación

r_m : Torque motor calculado anteriormente

r_p : Distancia perpendicular desde el eje de torque a la dirección de la fuerza

Ahora lo que se hace es calcular el diámetro del embolo del pistón y determinar su carrera tanto para el pistón del sistema de sellado y dosificación. Para este cálculo se debe asumir el valor de presión entregada por el compresor para lo cual vamos

a tomar un valor mínimo de 5 bar que es un poco más de la presión mínima obtenida en el análisis, ya que se deja un margen por las pérdidas causadas por accesorios y válvulas. Con este dato podemos calcular el área y diámetro que debería tener el embolo así:

Sistema de sellado

$$S_h = \frac{F_c}{P_{am}}$$

$$S_h = \frac{1296N}{500000 \frac{N}{m^2}} = 8.6 * 10^{-4} m^2$$

$$D_h = \sqrt{\frac{4 * S_h}{\pi}}$$

$$D_h \approx 32 \text{ mm}$$

S_h: Área del émbolo

P_{am}: Presión de trabajo

D_h: Diametro del émbolo

Sistema de arrastre

$$S_h = \frac{F_p}{P_{am}}$$

$$S_h = \frac{18N}{500000 \frac{N}{m^2}} = 2.568 * 10^{-5} m^2$$

$$D_h = \sqrt{\frac{4 * S_h}{\pi}}$$

$$D_h \approx 10 \text{ mm}$$

Las dimensiones del diámetro elegido se hicieron al valor más cercano encontrado en el mercado. Al realizar los cálculos con las fuerzas que debe vencer cada pistón se obtuvieron los siguientes valores, la carrera se determinó con base a la distancia que debe recorrer cada uno para un adecuado funcionamiento en la máquina. Los actuadores a emplear son los siguientes.

Tabla 25. Actuadores a emplear con sus especificaciones.

Actuador	Requerimientos	
	Torque (kgf*cm)	Velocidad(rpm)
Motor Banda	60	300
Motor Sistema arrastre	20	80
Actuador	Carrera(mm)	Diámetro(mm)
Pistón sellado	200	32
Pistón sistema dosificación	25	16
Pistón corte	15	32

Luego se calcularon las especificaciones de la unidad de aire comprimido. Se revisó el consumo de aire de cada pistón y el número de ciclos por unidad de tiempo para determinar el caudal necesario para su funcionamiento empleando la siguiente formula

$$V_{total} = V_{avance} + V_{retroceso} \quad \text{Ecuación [37]}$$

$$V_{total} = \frac{\pi}{4} * L * (D^2 + d^2) \quad \text{Ecuación [38]}$$

L: Carrera (mm)

D: Diametro embolo (mm)

d: Diametro área anular (mm)

Se convierte el volumen a condiciones normales y se aplica la ley de Boyle

$$V_{aire} = \frac{(P_{am} + P_{atm}) * V_{total}}{P_{atm}}$$

$$V_{CN} = V_{aire} * \# \text{ ciclos}$$

V_{aire}: Volumen de aire consumido en un ciclo

P_{atm}: Presión atmosférica

V_{CN}: Volumen de aire consumido en ciclos por minuto

Al reemplazar los datos se obtuvo lo siguiente:

Tabla 26. Volumen de aire consumido por los actuadores neumáticos en un minuto

Pistón	Ciclos por minuto	Consumo aire [L/min]
Dosificación	10	0,5967
Sellado	10	19,095
Corte	10	1,432
Total		21,1237

Una vez obtenido el caudal se calcula la potencia necesaria del compresor

$$Potencia(CV) = \frac{P \left(\frac{L}{min} \right)}{450 * n}$$
$$Potencia(Hp) = 0,347$$

El compresor empleado tiene las siguientes especificaciones:

Potencia: 1Hp

Caudal: 124 litros/min

Tanque: 10 litros

Para el mantenimiento del sistema se eligió la siguiente unidad de mantenimiento



Ilustración 91. Unidad de mantenimiento.

Sus especificaciones se encuentran en la siguiente imagen

Model	AEC1500	AEC2000	BEC2000	BEC3000	BEC4000	
Working medium	air					
Port size	G1/8	G1/4	G1/4	G3/8	G1/2	
Filter precision	40 μm (5, 40 μm is optional)					
Adjusting pressure range (MPa)	0.15-0.85					
Max. adjusting pressure (MPa)	1.0					
Guaranteed pressure (MPa)	1.5					
Working temperature(°C)	5-60					
Filter bowl capacity (CC)	15		60			
Lubricator bowl capacity (CC)	25		90			
Recommend oil	ISO VG32 or equivalent oil					
Weight (g)	700		900			
Components	Filter	AEF1500	AEF2000	BEF2000	BEF3000	BEF4000
	Regulator	AER1500	AER2000	BER2000	BER3000	BER4000
	Lubricator	AEL1500	AEL2000	BEL2000	BEL3000	BEL4000

Ilustración 92. Especificaciones unidad de mantenimiento.

A continuación, se especifican las razones por las cuales se realizó el cambio de actuadores.

Tabla 27. Comparación reevaluación en selección de actuadores.

Criterio	Motor	Pistón
Costo	EL costo es elevado aunque no usa muchos elementos adicionales para su control	El costo no es demasiado elevado en comparación a la cantidad de elementos adicionales empleados para su funcionamiento
Velocidad de operación	Su velocidad es un poco menor, en especial en el sistema de sellado ya que requiere hacer el movimiento de un mecanismo .	Hace un movimiento lineal rápido y constante
Acoples	Requiere de varios acoples mecánicos para adecuar su funcionamiento	Su instalación es sencilla y se puede acoplar fácilmente al sistema
Control	Requiere un driver para su control y una programación para variar o garantizar su velocidad o ángulo	Requiere electroválvulas donde su control simplemente es activar o desactivarla.
Disponibilidad	Se encuentran en el mercado, no hay necesidad de realizar compra por fuera del país	Se encuentran en la ciudad, su compra se puede hacer directamente.
Robustez	Tienen robustez media ante el ambiente	Tienen gran robustez en el ambiente ya que su parte eléctrica se puede aislar muy bien.

12. Selección de actuadores

El modelado matemático se empleó para identificar las especificaciones tanto de actuadores como sensores, por cada uno de los subsistemas se obtuvieron los siguientes requerimientos:

Tabla 28. Requerimiento de actuadores por subsistema.

Actuador	Requerimientos	
	Torque (kgf*cm)	Velocidad(rpm)
Motor Banda	60	300
Motor Sistema arrastre	20	80
Actuador	Carrera(mm)	Diámetro(mm)
Pistón sellado	200	32
Pistón sistema dosificación	25	16
Pistón corte	15	32

Los sensores y la unidad de control se seleccionados con ayuda de las matrices QFD fueron:

- Sensor de peso celda de carga de 5kg
- Unidad de control Arduino Mega

Las características técnicas de actuadores y sensores se encuentran en la parte de anexos.

13. Diseño detallado y construcción

En esta sección se hará énfasis en las piezas y los procedimientos para la construcción de los subsistemas de la máquina empacadora de una forma más detallada. Cabe aclarar que las distintas dimensiones, se encuentran en el anexo de planos.

13.1. Construcción sistema de suministro

Tolva

La tolva (Ilustración 93) se hizo en acero inoxidable AISI 304 y se acopló con remaches pop $\frac{1}{4}$ [in] ya que se tuvo que cortar en dos partes la lámina para poder armar la tolva.



Ilustración 93. Construcción tolva.

Marco para el soporte del sistema de suministro (Ilustración 94) en perfil cuadrado de acero al carbono ASTM A36 de 1 ½ [in].



Ilustración 94. Soporte base tolva.

Banda Modular de polipropileno (Ilustración 95) la cual consta de la cinta, cuatro guías de desgaste y cuatro engranajes

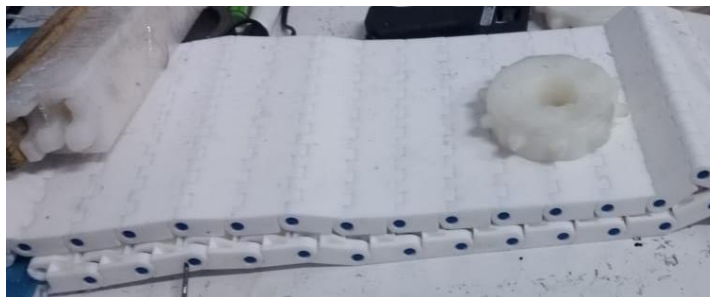


Ilustración 95. Banda transportadora.

Para el sistema motriz se usaron dos ejes; uno de 35[cm] (eje motriz) y el otro de 30[cm] (eje posterior), los dos de 1[in] de diámetro. Además, cuatro chumaceras UCP 205.



Ilustración 96. Eje motriz de la banda.

Ensamble final del sistema de suministro incorporando guías de desgaste, prisioneros y remaches pop de ¼[in] para unir la tolva con el marco soporte de todo el subsistema.



Ilustración 97. Ensamble sistema de suministro.

El motor empleado es un B-Track K2vl dc a 12 v.



Ilustración 98. Motor banda transportadora.

13.2. Construcción sistema de dosificación

La tapa frontal y trasera se unieron por medio de un pasador y el soporte se soldó con electrodo revestido a la tapa trasera. El actuador empleado es un pistón neumático de 16[mm] de diámetro y 25[mm] de carrera. El sensor empleado es una celda de carga de 5kg.

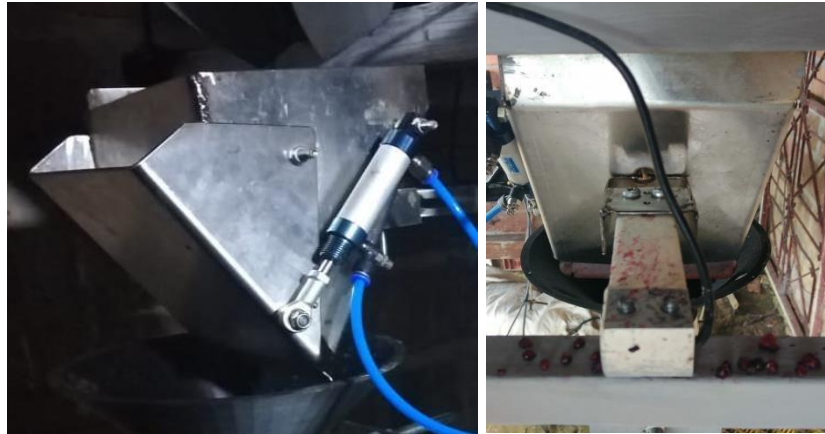


Ilustración 99. Balanza sistema de dosificación.

13.3. Construcción sistema de Sellado

El sistema de sellado consta de dos ejes de 20[mm] de diámetro y 300[mm] de largo, están hechos de acero inoxidable. Dos placas soporten para las mordazas de 40[mm] de ancho por 310[mm] largo con dos perforaciones de 20[mm] de diámetro, están hechas de aluminio inoxidable. Dos mordazas de aluminio de 24[mm] alto por 180[mm] de largo y 43.87[mm] de espesor.



Ilustración 100. Sistema de sellado

13.4. Ensamble final de la máquina

Cada subsistema se hizo de tal forma que se pueda separar de la estructura fácilmente, se unieron a la estructura por medio de tornillos. Una vez construidos cada subsistema la fase final consistió en ensamblarlos en una estructura, así:



Ilustración 101. Ensamble de todos los subsistemas.

Luego de realizar el ensamblaje mecánico se hicieron las conexiones eléctricas necesarias para el adecuado funcionamiento de la máquina las cuales corresponde a:

- Circuito de protección contra sobrecargas, se empleó un breaker de 10 A

AC

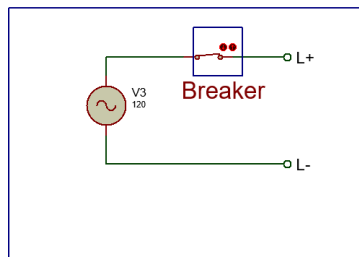


Ilustración 102. Circuito de protección contra sobrecargas.

- Fuente de poder de 12v

Fuente de poder

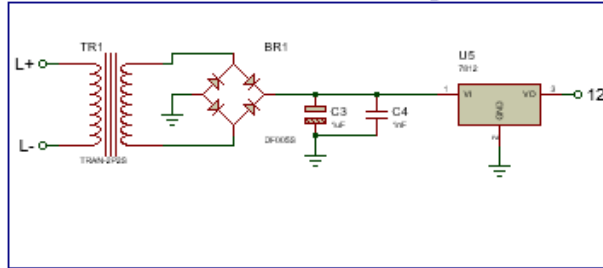


Ilustración 103. Esquema fuente de poder.

- Conexiones luces de indicadores y parada de emergencia

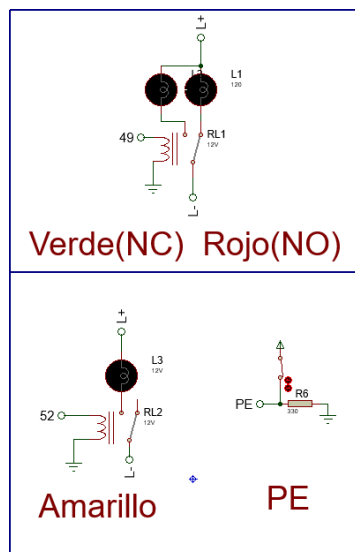


Ilustración 104. Conexión indicadores y Parada de emergencia.

- Conexiones controlador de temperatura

Controlador Temperatura

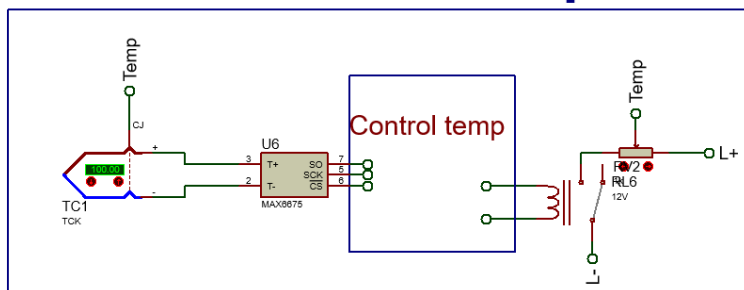


Ilustración 105. Conexión controladora de temperatura.

- Conexiones HMI con teclado matricial

HMI

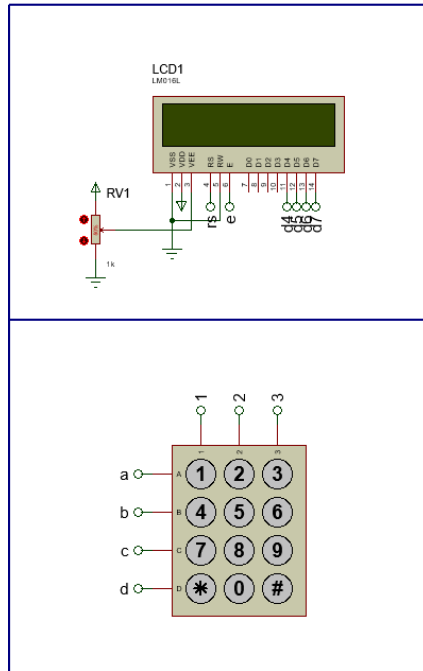


Ilustración 106. Conexión HMI y teclado matricial.

- Conexiones Sensor de peso

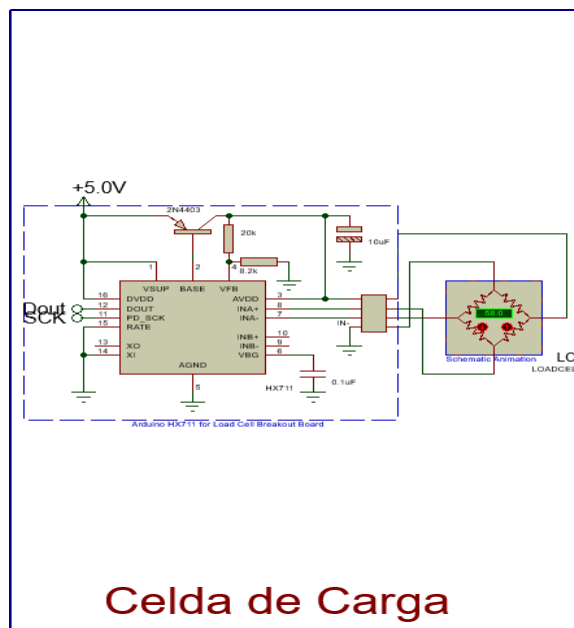


Ilustración 107. Conexión celda de carga y HX711.

- Conexiones actuadores y electroválvulas

Actuadores

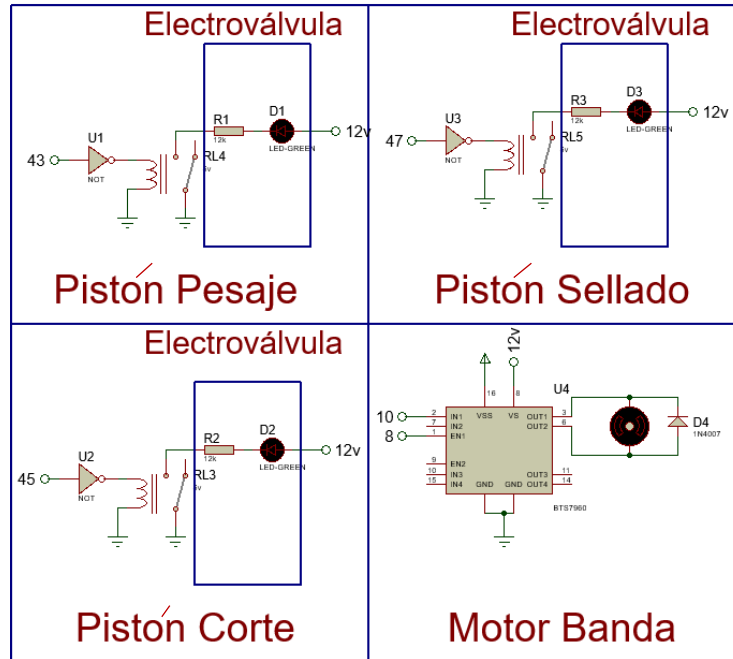


Ilustración 108. Conexión entre pistones y electroválvulas.

- Circuito conexiones unidad de control

Unidad de Control

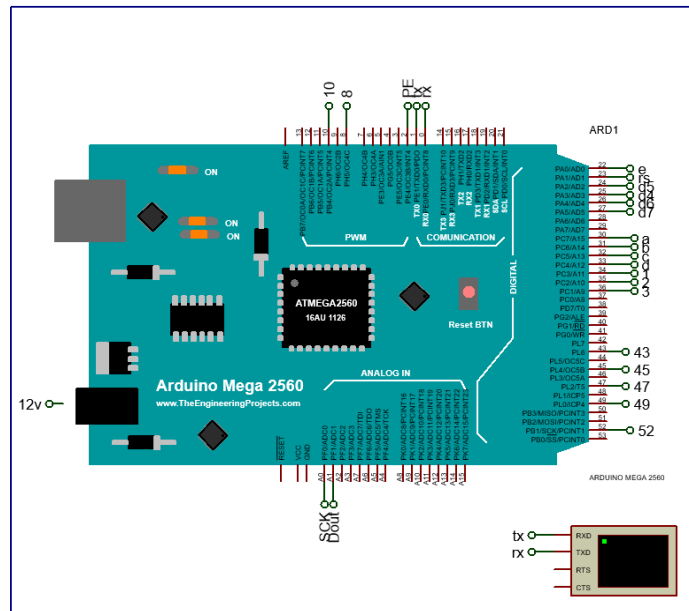


Ilustración 109. Conexión entre la Unidad de control y todos los componentes eléctricos.

- Conexión entre unidad de control, relés, electroválvulas y pistones neumáticos.

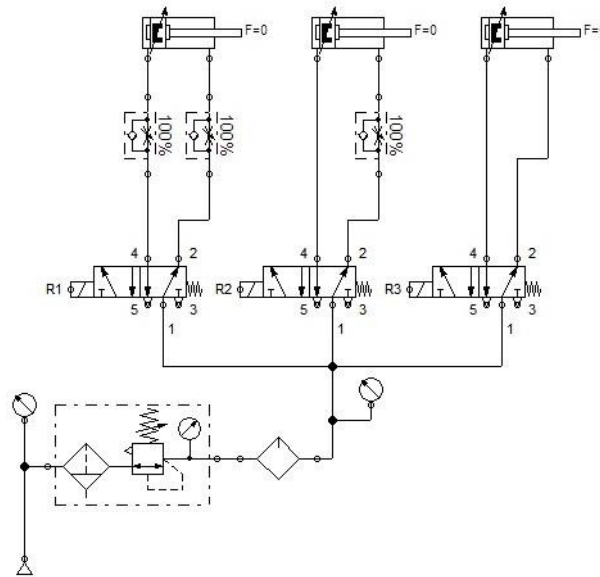


Ilustración 110. Esquema neumático de la máquina.

Luego de realizar estas conexiones la caja de control quedo de la siguiente forma:



Ilustración 111. Conexiones caja de control.

14. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de validación se realizaron por subsistema comprobando el funcionamiento de cada uno y encontrando rangos de operación y factores de calibración en donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 29. Parámetros encontrados en las pruebas de funcionamiento.

Subsistema	Prueba	Descripción	Parámetros encontrados
Suministro	Velocidad	Se varió la velocidad del motor de la banda para identificar límites de funcionamiento	Vel min: 80 [PWM]
Dosificación	Calibración	Se calibró la celda de carga a partir de pesos conocidos con el fin de encontrar el factor de calibración	Factor de calibración: 836
Sellado y corte	Temperatura y tiempo	Se buscó la temperatura óptima de sellado de la bolsa y el tiempo necesario	Temp: 130[°c] Tiempo: 3 [seg]

La siguiente etapa de validación consistió en ensamblar el funcionamiento de los subsistemas de acuerdo al orden de operación de la máquina.

- **Sistema de suministro y dosificación:**

La prueba consistió en coordinar el funcionamiento de ambos sistemas en donde se establecía un setpoint de peso y la banda iniciaba a la máxima velocidad permitida, y conforme el valor sentido se acercaba al setpoint la velocidad iba disminuyendo hasta la mínima.

Tabla 30. Resultados validación sistema de suministro y dosificación.

Problemas presentados	Descripción	Solución
Velocidad máxima .	Encontrar la velocidad de inicio que garantizara un adecuado suministro del producto.	Hacer variaciones del PWM y encontrar el valor máximo con el que el producto puede suministrarse adecuadamente.
Cantidad de producto suministrado al avanzar la banda.	La boquilla por donde sale el producto tenía dimensiones muy grandes.	Agregar dos placas que regulen la apertura de la boquilla.
Relación velocidad peso.	Encontrar la función que haga variar la velocidad de acuerdo al peso para lograr el setpoint adecuado.	Encontrar una función lineal por intervalos.

El principal problema encontrado fue que el sistema no era capaz de alcanzar todos los setpoints de forma adecuada, debido a que el peso de cada fruto no es uniforme, por tal razón se tuvo que calibrar el sistema para pesos específicos los cuales son 500[g], 358[g] y 250[g] y para cada uno encontrar una relación velocidad vs peso.

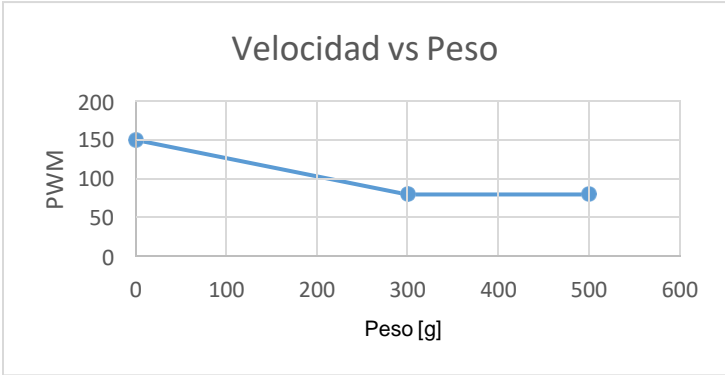


Ilustración 112. Relación velocidad peso encontrada.

Al realizar la validación del sistema para cada peso se concluyó que la banda debe tener un nivel mínimo de mora para que pueda funcionar adecuadamente. A continuación, se observan los resultados obtenidos al realizar las pruebas de funcionamiento con el sistema de suministro con una cantidad adecuada de producto.

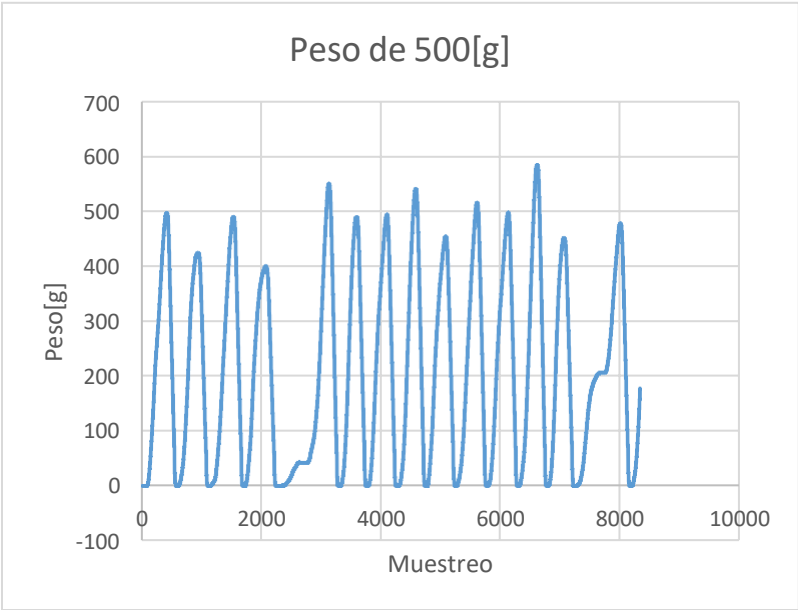


Ilustración 113. Muestras del valor sentido de peso del producto con un buen nivel de mora en la tolva.

El siguiente resultado se obtiene cuando el sistema se encuentre con una cantidad mínima de producto en la tolva.



Ilustración 114. Muestras del sensado del peso del producto con un nivel mínimo de mora en la tolva.

- **Sistema de dosificación y sellado**

Estas pruebas consistieron en ver como se comportaba el sellado inferior de la bolsa al momento en que el producto pasaba del sistema de dosificación al tubo de alimentación y llegaba hasta el empaque. Además de observar como el contacto del producto con el empaque influye en el sellado.

Tabla 31. Problemas y soluciones sistema de dosificación y sellado.

Problemas presentados	Descripción	Solución
Estancamiento del producto en el embudo	El producto se acumulaba en el embudo y no pasaba hacia el sistema de sellado y corte.	Se cambió el diámetro del tubo de alimentación a 3[in] y el embudo
Apertura del sistema de dosificación	Al realizarse el cambio del tubo de alimentación y el embudo, se seguía acumulando el producto debido a la velocidad de apertura de la compuerta	Agregar válvulas reguladoras al pistón que activa la compuerta para controlar la velocidad de apertura.
Velocidad de salida del pistón de sellado	Salía con mucha velocidad generando un fuerte impacto entre las mordazas	Agregar válvula reguladora al pistón en su movimiento de salida

Realizando las modificaciones necesarias se obtuvieron los siguientes resultados del empaque



Ilustración 115. Resultados de validación sistema de dosificación y sellado.

Puesta en marcha

Consistió en poner en funcionamiento toda la máquina manipulada desde la interfaz HMI y observar el comportamiento de la máquina, esta tiene dos modos de operación que son manual y automático. Los problemas presentados fueron los siguientes:

Tabla 32. Problemas y correcciones de la puesta en marcha de la máquina.

Problemas presentados	Descripción	Solución
Daño de la pantalla Nextion Touch	La pantalla Touch sufrió daño causado por la humedad del ambiente, se trató de rescatar por garantía y servicio técnico, pero no se logró.	Por cuestiones económicas se decidió cambiar de forma temporal la HMI por una pantalla lcd 16x2 y un teclado matricial 4x3
Reinicio inesperado de la unidad de control	Se ponía en marcha el sistema y funcionaba bien cierto tiempo y de un momento a otro se reiniciaba.	Alimentación independiente a la unidad de control y diodos 1N4007 en anti paralelo.

Puesta apunto

Una vez corregido el problema de la HMI y la unidad de control se realizaron pruebas del funcionamiento de toda la máquina. Y se obtuvieron los siguientes resultados.

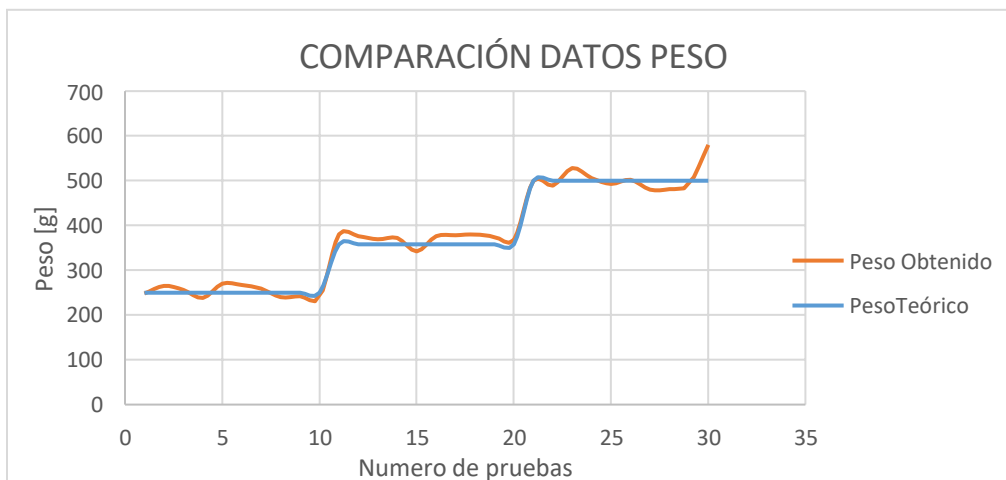


Ilustración 116. Datos obtenidos puesta a punto de la máquina.

Con los datos registrados en la puesta punto se evidenció que el error en la calibración de la máquina fue mínimo, obteniendo resultados óptimos de pesado ya que se observa que la desviación en la medición fue aproximadamente de 30 gramos que es aproximadamente el peso de dos o tres moras

Tabla 33. Análisis estadístico de los resultados obtenidos en la puesta a punto.

Peso(g)	Promedio	Desviación	Error %
500	504,88	29,81	1,4
358	352,4	25,14	1,53
250	258,9	22,48	3,56

Los resultados del producto en la puesta a punto fueron los siguientes:



Ilustración 117. Resultados obtenidos del proceso de empacado en las diferentes presentaciones.

15. Conclusiones

1. Es importante saber elegir la metodología a emplear en el proceso de diseño ya que, gracias a esta metodología se logró realizar etapas de optimización al diseño donde se mejoraron tanto la estructura mecánica como eléctrica de la máquina que facilitaron su construcción y control y, ayudaron a obtener un mejor desempeño de ésta en el proceso.
2. El proceso de pesado del producto tuvo gran precisión en las diferentes presentaciones donde hubo casos de porcentajes de confiabilidad cercanos al 99% pero para que esto funcione se debe garantizar una cantidad mínima del producto en la tolva para que los pesos no varíen demasiado.
3. Es indispensable conocer mediante estado del arte o pruebas la temperatura idónea de sellado del empaque debido a que esto contribuye tanto en la calidad de la presentación del producto como en la eficiencia del proceso ya que si no se hace un control adecuado se generan problemas de un sellado incompleto o de dañar la funda de la bolsa por exceso de temperatura y a su vez causar que el producto se dañe. Además, se debe garantizar que el sistema de corte este bien diseñado para que facilite el desprendimiento del producto y no se generen fallos en el empaque.
4. El criterio “evitar que la fruta se maltrate en el proceso de dosificación” durante la etapa de diseño, se vio reflejado en un producto final estético y llamativo para el cliente, quien notifico su agrado por la presentación y el estado de la fruta al verla fresca, sin golpes e higiénica.
5. Teniendo en cuenta la problemática actual en la región con respecto al bajo precio de la fruta causada por los intermediarios quienes no regulan las tarifas apropiadamente, alto costo en los insumos, entre otros. Este proyecto se presenta como una oportunidad de emprendimiento que busca ayudar al campesino a que su producto se comercialice a un mejor precio sin necesidad de intermediarios.

16. Próximas mejoras

1. Se mejorará el sistema de empacado implementando el sistema formador de la bolsa lo que le daría aun una mayor autonomía a la máquina y además implementar un adecuado sistema de arrastre de la camisa de la bolsa.
2. Se realizarán mejoras al sistema de corte con el fin de que se garantice la separación del producto y facilite su manipulación.
3. Optimizar el tiempo de funcionamiento realizando procesos simultáneamente.
4. Implementar un sistema de empacado al vacío para mejorar la presentación, calidad y conservación de la fruta.
5. Implementar un sistema de doble dosificación para optimizar tiempos.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Allauca Paguay, R. V. (2017). *http://dspace.esPOCH.edu.ec*. Recuperado el 4 de agosto de 2019, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9007>
2. Antamba Miño, C. (14 de febrero de 2018). *google Scholar*. Obtenido de google Scholar: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7977>
3. Aquino Arroba, S. (2009). *dspace.esPOCH.edu.ec/*. Obtenido de dspace.esPOCH.edu.ec/: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1676>
4. Bernal, S. (Julio de 2007). *javeriana.edu.co*. Recuperado el 29 de julio de 2019
5. Caldas Ochoa, M. (26 de Agosto de 2013). *http://red.uao.edu.co/*. Obtenido de <http://red.uao.edu.co/>: <http://hdl.handle.net/10614/5275>
6. Chiriboga Salazar, M. A., & Veloz Armas, C. A. (Agosto de 2018). *google scholar*. Recuperado el 6 de Agosto de 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15949/1/UPS-ST003712.pdf>
7. Electronica, L. (21 de Julio de 2010). Recuperado el 6 de Agosto de 2019, de <http://www.interempresas.net/Envase/Articulos/42211-Optimizacion-de-procesos-de-envase-y-embalaje-en-maquinas-y-lineas-automaticas.html>
8. Leon corrales, G. d. (Junio de 2013). *google scholar*. Recuperado el 6 de Agosto de 2019, de <http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/maquina-de-empackado-y-control-de-peso-para-panela-granulada.pdf>
9. Lloré Moreno,, E. (8 de Diciembre de 2010). *bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de bibdigital.epn.edu.ec: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2618>
10. Martinez Garzón, A. (10 de Nobiembre de 2017). *http://red.uao.edu.co/*. Obtenido de <http://red.uao.edu.co/>: <http://hdl.handle.net/10614/9954>
11. Moreno Zapata, E. P. (Enero de 2010). *bibdigital.epn.edu.ec*. Recuperado el 5 de Agosto de 2019, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1287>
12. Muñoz Oporto, C. A., & Lagos Correa, P. A. (2013). *Diseño Cinta Transportadora Intralox para Pesquera Bahía Caldera S.A.* . Tesis de grado, Universidad del Bio-Bio, CONCEPCIÓN - CHILE.

13. Ortíz Bermúdez, Jhon Sebastián. (2019). *http://repository.unipiloto.edu.co/*.
Obtenido de *http://repository.unipiloto.edu.co/*:
http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4857
14. Rodríguez Reyes, M. (Marzo de 2010). *FAO*. Recuperado el Agosto de 2019, de *http://www.fao.org/3/a-as344s.pdf*

13. Anexos

Apéndice A. Tablas de prioridad para selección de subsistemas.

Subsistema de suministro

Tabla ponderación de los criterios de selección.

Ponderación de criterios	Costo	Versatilidad	Manufactura	Mantenimiento	Requerimientos cliente	Total	Ponderación
Costo		0,5	0,5	1	0,5	2,5	0,238
Versatilidad	0,5		1	1	0,5	3	0,286
Manufactura	0,5	0		1	0	1,5	0,143
Mantenimiento	0,5	0	0		0	0,5	0,048
Requerimientos cliente	0,5	0,5	1	1		3	0,286
TOTALES	2	1	2,5	4	1	10,5	1,000

Tabla evaluación de costos de las alternativas

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0
Alternativa 2	1		1	1
Totales	1	0	1	1

Tabla evaluación de versatilidad de las alternativas

Versatilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0
Alternativa 2	1		1	1
Totales	1	0	1	1

Tabla evaluación de facilidad de manufactura de las alternativas

Manufactura	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	0,5
Alternativa 2	0,5		0,5	0,5
Totales	0,5	0,5	1	1

Tabla evaluación de facilidad de mantenimiento de las alternativas

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1	1	0	1	1
Alternativa 2	0	1	1	1
Totales	1	1	2	2

Tabla evaluación de los requerimientos del cliente

Requerimientos del cliente	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1	0	1	1	1
Alternativa 2	1	0	1	1
Totales	1	1	2	2

Subsistema de dosificación

Tabla evaluación de costos de las alternativas

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1	1	0	1	1
Alternativa 2	0	1	1	1
Totales	1	1	2	2

Tabla evaluación de versatilidad de las alternativas

Versatilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1	0	1	1	1
Alternativa 2	1	0	1	1
Totales	1	1	2	2

Tabla evaluación de facilidad de manufactura de las alternativas

Manufactura	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1	0	1	1	1
Alternativa 2	1	0	1	1
Totales	1	1	2	2

Tabla evaluación de facilidad de mantenimiento de las alternativas

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	0,5
Alternativa 2	0,5		0,5	0,5
Totales	0,5	0,5	1	1

Tabla evaluación de los requerimientos del cliente

Requerimientos del cliente	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0
Alternativa 2	1		1	1
Totales	1	0	1	1

Sistema formación de bolsa

Tabla evaluación de costos de las alternativas

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0
Alternativa 2	1		1	1
Totales	1	0	1	1

Tabla evaluación de versatilidad de las alternativas

Versatilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		1	1	1
Alternativa 2	0		0	0
Totales	0	1	1	1

Tabla evaluación de facilidad de manufactura de las alternativas

Manufactura	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0
Alternativa 2	1		1	1
Totales	1	0	1	1

Tabla evaluación de facilidad de mantenimiento de las alternativas

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0
Alternativa 2	1		1	1
Totales	1	0	1	1

Tabla evaluación de los requerimientos del cliente

Requerimientos del cliente	Alternativa 1	Alternativa 2	Total	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	0,5
Alternativa 2	0,5		0,5	0,5
Totales	0,5	0,5	1	1

Subsistema arrastre

Tabla evaluación de costos de las alternativas

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0	0
Alternativa 2	1		0,5	1,5	0,5
Alternativa 3	1	0,5		1,5	0,5
Totales	2	0,5	0,5	3	1

Tabla evaluación de versatilidad de las alternativas

Versatilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0	0	0
Alternativa 2	1		0,5	1,5	0,5
Alternativa 3	1	0,5		1,5	0,5
Totales	2	0,5	0,5	3	1

Tabla evaluación de facilidad de manufactura de las alternativas

Manufactura	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0,5	0,5	0,142857143
Alternativa 2	1		0,5	1,5	0,428571429
Alternativa 3	1	0,5		1,5	0,428571429
Totales	2	0,5	1	3,5	1

Tabla evaluación de facilidad de mantenimiento de las alternativas

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0,5	0,5	0,142857143
Alternativa 2	1		0,5	1,5	0,428571429
alternativa 3	1	0,5		1,5	0,428571429
Totales	2	0,5	1	3,5	1

Tabla evaluación de los requerimientos del cliente

Requerimientos del cliente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	1	0,333333333
Alternativa 2	0,5		0,5	1	0,333333333
Alternativa 3	0,5	0,5		1	0,333333333
Totales	1	1	1	3	1

Subsistema de sellado

Tabla evaluación de costos de las alternativas

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	1	1	0,333333333
Alternativa 2	1		1	2	0,666666667
Alternativa 3	0	0		0	0
Totales	1	0	2	3	1

Tabla evaluación de versatilidad de las alternativas

Versatilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	1	0,4
Alternativa 2	0		0,5	0,5	0,2
Alternativa 3	0,5	0,5		1	0,4
Totales	0,5	1	1	2,5	1

Tabla evaluación de facilidad de manufactura de las alternativas

Manufactura	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0	0,5	0,5	0,142857143
Alternativa 2	1		0,5	1,5	0,428571429
Alternativa 3	1	0,5		1,5	0,428571429
Totales	2	0,5	1	3,5	1

Tabla evaluación de facilidad de mantenimiento de las alternativas

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	1,5	0,5
Alternativa 2	0,5		1	1,5	0,5
alternativa 3	0	0		0	0
Totales	0,5	0,5	2	3	1

Tabla evaluación de los requerimientos del cliente

Requerimientos del cliente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	1,5	0,5
Alternativa 2	0,5		1	1,5	0,5
Alternativa 3	0	0		0	0
Totales	0,5	0,5	2	3	1

Apéndice B. Hojas técnicas de actuadores, drivers y sensores seleccionados

Motor Banda

B-Track K2vL

General Duty Actuator DC Motor Acme Screw



Up to 600 lbs. (2669 N) Rated Load
Up to 2.7 in. (68.58 mm)/sec. Travel Speed



This value model of the B-track family is well suited for the toughest applications not needing the full load capability of standard K2 models. The K2vL uses a flange bronze bearing configuration for internal load transfer, offering the lowest cost while maintaining the rugged-duty performance capabilities of the B-track family.

K2vL units feature Nitrotac® corrosion protection on end fittings and rods, high performance powder coat paint on cover tubes and gear box covers, providing a totally sealed, weatherproof, and durable finish for years of trouble-free service.

Features

- **Protective coatings** and O-ring seals throughout
- **Hybrid nut and screw design**, no brake needed
- **Ball detent overload clutch**
- **Stroke lengths** 2 to 12 inches (50 to 300 millimeters)
- **Load capacities** up to 600 pounds (2669 N)
- **Speeds up to** 2.7 inches (68.58 millimeters)/sec. travel
- **Thermal overload** incorporated into the motor
- **Heavy wall construction**
- **Double ball bearing motors**
- **Heat treated gears**
- **Rugged extension rod** bearing support

Typical Applications

- Flow gate open/close
- Deck and implement lifts for tractors and mobile applications
- Wheelchair and scooter lifts
- Bin and tank cover lifts
- Remote engine clutch engagement

Load/Current/Speed/Duty Cycle

- Maximum Static Rating: 3,000 lbs. (13345 N) Static (in-line load)
 - Refer to performance chart for load/current/speed capabilities
 - Stroke Length Tolerance: +/- .06" (1.52mm)
 - Motor is protected with auto reset breaker inside motor housing (temperature/current/time dependent)
 - Overload clutch setting: +25% over rated dynamic load
 - Duty cycle is time/temperature/load dependent, suggested guidelines are:
 - 50% max on-time/50% off-time for loads up to 50% of capability
 - 25% max on-time/75% off-time for loads between 50%-80% of capability
 - 10% max on-time/90% off-time for loads between 80%-100% of capability
- (Load/stroke profiles will allow some adjustment variation from these guidelines.)

Operating Environment

- Ambient temp range: -20° F to +150° F (-29° C to +65° C)
- Weather resistant enclosure & seals (IP69K Static, IP65 capable, 250 hour salt spray, 500 hour for paint)
- Normal operating voltage: 10-16 vdc (Ratings are at 12 vdc Normal.)

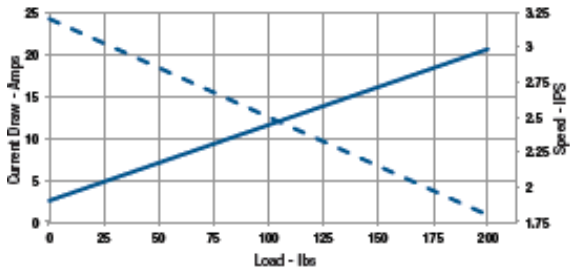
Control/Connections

- 14 gauge stranded lead wires-UL style 1230 w/PVC insulation Class F 105° C
- Use momentary contact double pole/double throw switch in powering unit for extend/retract operation. (ON)-OFF-(ON) DPDT
- Connectors:
 - Packard 56 series or Delphi Weather-Pack
 - Packard 56 series with 56 series blades (#2984883 & #2962987)
 - Delphi Weather-Pack series (#121015792 & #12010973)

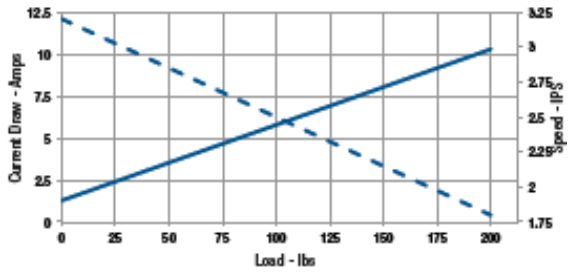
Load Capacity 200 lbs.

For Metric Measurements, see page 26.

K2v.G05-12VDC



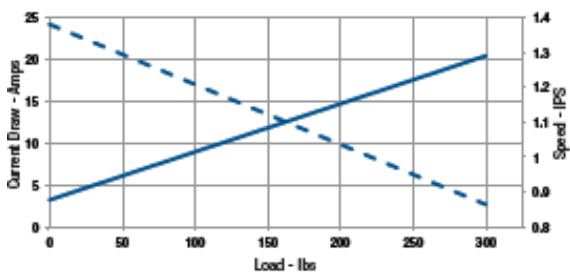
K2v.G05-24VDC



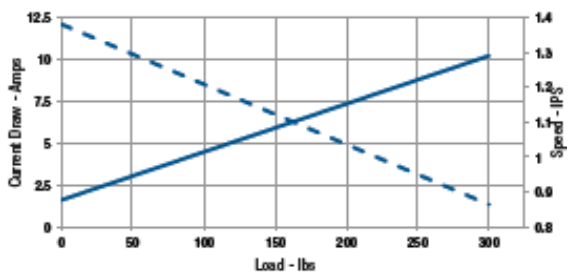
Load Capacity 300 lbs.

For Metric Measurements, see page 26.

K2v.G10-12VDC



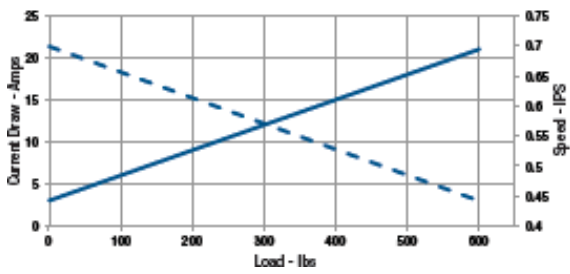
K2v.G10-24VDC



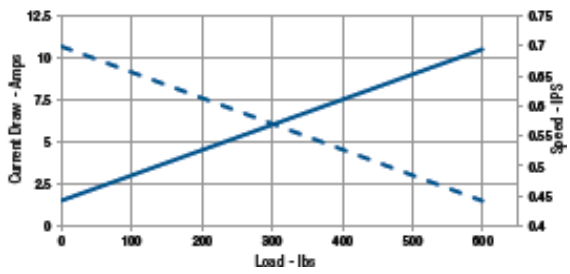
Load Capacity 600 lbs.

For Metric Measurements, see page 26.

K2v.G20-12VDC



K2v.G20-24VDC





User Guide

BTS7960 High Current 43A H-Bridge Motor Driver

The BTS7960 is a fully integrated high current H bridge module for motor drive applications. Interfacing to a microcontroller is made easy by the integrated driver IC which features logic level inputs, diagnosis with current sense, slew rate adjustment, dead time generation and protection against overtemperature, overvoltage, undervoltage, overcurrent and short circuit. The BTS7960 provides a cost optimized solution for protected high current PWM motor drives with very low board space consumption.

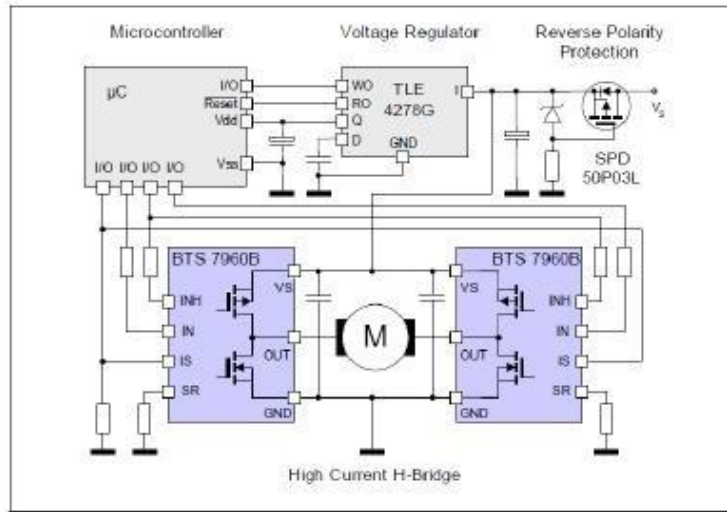


SKU: [DRV-1012](#)

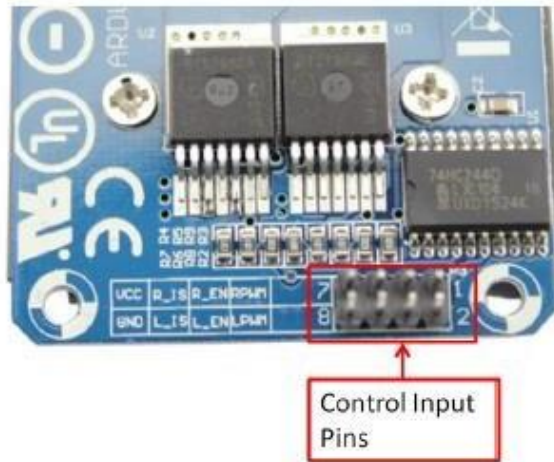
Brief Data:

- Input Voltage: 6 ~ 27Vdc.
- Driver: Dual BTS7960 H Bridge Configuration.
- Peak current: 43-Amp.
- PWM capability of up to 25 kHz.
- Control Input Level: 3.3~5V.
- Control Mode: PWM or level
- Working Duty Cycle: 0 ~100%.
- Over-voltage Lock Out.
- Under-voltage Shut Down.
- Board Size (LxWxH): 50mm x 50mm x 43mm.
- Weight: ~66g.

Schematic Diagram:



Control Input Pin Function:



Pin No	Function	Description
1	RPWM	Forward Level or PWM signal, Active High
2	LPWM	Reverse Level or PWM signal, Active High
3	R_EN	Forward Drive Enable Input, Active High/ Low Disable
4	L_EN	Reverse Drive Enable Input, Active High/Low Disable
5	R_IS	Forward Drive, Side current alarm output
6	L_IS	Reverse Drive, Side current alarm output
7	Vcc	+5V Power Supply microcontroller
8	Gnd	Ground Power Supply microcontroller

Fuente de poder

Se empleó la serie Se-600-12



600W Single Output Power Supply

SE-600 series



Features :

- AC input active surge current limiting
- AC input range selected by switch
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- Forced air cooling by built-in DC fan
- High power density 4.9w/in³
- Built-in remote sense function
- UL approved
- Low cost
- 2 years warranty



SPECIFICATION

MODEL	SE-600-5	SE-600-12	SE-600-15	SE-600-24	SE-600-27	SE-600-36	SE-600-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	15V	24V	27V	48V	
	RATED CURRENT	100A	50A	40A	25A	22,2A	12,5A	
	CURRENT RANGE	0 ~ 100A	0 ~ 50A	0 ~ 40A	0 ~ 25A	0 ~ 22,2A	0 ~ 16,6A	0 ~ 12,5A
	RATED POWER	500W	600W	600W	600W	599,4W	597,6W	600W
	RIPPLE & NOISE (max.) ^{Notes}	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	200mVp-p	200mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4,75 ~ 5,5V	10 ~ 13,5V	13,5 ~ 16,5V	22 ~ 26,4V	24 ~ 30V	32 ~ 40V	43 ~ 56V
	VOLTAGE TOLERANCE ^{Notes}	±2,0%	±1,0%	±1,0%	±1,0%	±1,0%	±1,0%	±1,0%
	LINE REGULATION	±0,5%	±0,5%	±0,5%	±0,5%	±0,5%	±0,5%	±0,5%
	LOAD REGULATION	±2,0%	±0,5%	±0,5%	±0,5%	±0,5%	±0,5%	±0,5%
	SETUP, RISE TIME	1000ms, 50ms/230VAC 1000ms, 50ms/115VAC at full load						
HOLD UP TIME (Typ.)	20ms/230VAC 16ms/115VAC at full load							
INPUT	VOLTAGE RANGE	90 ~ 132VAC / 180 ~ 264VAC selected by switch 254 ~ 370VDC						
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz						
	EFFICIENCY (Typ.)	78%	83%	84%	87%	87%	87%	88%
	AC CURRENT (Typ.)	12A/115VAC 7,5A/230VAC						
	INRUSH CURRENT (Typ.)	30A/115VAC 60A/230VAC						
	LEAKAGE CURRENT	<2,0mA/240VAC						
	OVERLOAD	105 ~ 125% rated output power Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover						
PROTECTION	OVER VOLTAGE	6,75 ~ 6,3V	13,8 ~ 16,2V	18 ~ 21V	27,6 ~ 32,4V	31 ~ 36,5V	42 ~ 50V	57,6 ~ 67,2V
	OVER TEMPERATURE	85°C ±5°C (TSW1) detect on heatsink of power transistor Protection type : Shut down o/p voltage, recovers automatically after temperature goes down						
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +60°C (Refer to output load derating curve)						
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing						
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH						
	TEMP. COEFFICIENT	±0,05%/°C (0 ~ 50°C)						
OTHERS	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min/1cycle, 60min, each along X, Y, Z axes						
SAFETY & EMC	SAFETY STANDARDS	UL80950-1, UL62368-1, EAC TP TC 004, BSM CNS14336-1, KC K80950-1 (for 12V, 24V only) approved						
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P: 3KVAC I/P-FG: 1,5KVAC O/P-FG: 0,5KVAC						
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG: 100M Ohms/500VDC						
OTHERS	MTBF	197K hrs min., MIL-HDBK-217F (25°C)						
	DIMENSION	247*127*63,5mm (L*W*H)						
	PACKING	2,1Kg: 6pcs/13,4Kg/1,03CUFT						

Pistón sistema de sellado

Standard cylinder DNC-32-200-PPV-A

Part number: 163312

FESTO

As per ISO 15552, with profile cylinder barrel, for proximity sensing, with adjustable cushioning at both end positions.



Data sheet

Feature	values
Stroke	200 mm
Piston diameter	32 mm
Piston rod thread	M10x1,25
Cushioning	PPV: Pneumatic cushioning adjustable at both ends
Assembly position	Any
Conforms to standard	ISO 15552
Piston-rod end	Male thread
Design structure	Profile barrel Piston rod Piston
Position detection	For proximity sensor
Variants	Single-ended piston rod
Operating pressure	0.6 ... 12 bar
Mode of operation	double-acting
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Note on operating and pilot medium	Lubricated operation possible (subsequently required for further operation)
Corrosion resistance classification CRC	2
Ambient temperature	-20 ... 80 °C
Authorisation	Germanischer Lloyd
Impact energy in end positions	0.1 J
Cushioning length	20 mm
Theoretical force at 6 bar, return stroke	415 N
Theoretical force at 6 bar, advance stroke	483 N
Moving mass with 0 mm stroke	162 g
Additional weight per 10 mm stroke	30 g
Basic weight for 0 mm stroke	517 g
Additional mass factor per 10 mm of stroke	9 g
Mounting type	with accessories with internal (female) thread
Pneumatic connection	G1/8
Materials note	Conforms to RoHS
Materials information for cover	Aluminium die cast coated
Materials information for seals	TPE-U(PU)
Materials information for piston rod	High alloy steel
Materials information for cylinder barrel	Wrought Aluminium alloy Smooth anodised

Pistón sistema de dosificación

ISO cylinder DSNU-16-25-PPV-A

Part number: 33973
★ Core product range

FESTO



Data sheet

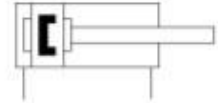
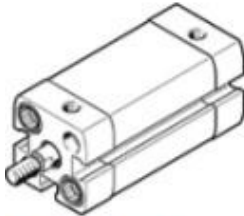
Feature	Value
Stroke	25 mm
Piston diameter	16 mm
Piston rod thread	M6
Cushioning	PPV: Pneumatic cushioning adjustable at both ends
Assembly position	Any
Conforms to standard	CETOP RP 52 P ISO 6432
Piston-rod end	Male thread
Design structure	Piston Piston rod Cylinder barrel
Position detection	For proximity sensor
Variants	Single-ended piston rod
Operating pressure	1 ... 10 bar
Mode of operation	double-acting
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Note on operating and pilot medium	Lubricated operation possible (subsequently required for further operation)
Corrosion resistance classification CRC	2 - Moderate corrosion stress
Ambient temperature	-20 ... 80 °C
Maritime classification	see certificate
Impact energy in end positions	0.15 J
Cushioning length	12 mm
Theoretical force at 6 bar, return stroke	103.7 N
Theoretical force at 6 bar, advance stroke	120.6 N
Moving mass with 0 mm stroke	23 g
Additional weight per 10 mm stroke	4.6 g
Basic weight for 0 mm stroke	89.9 g
Additional mass factor per 10 mm of stroke	2 g
Mounting type	with accessories
Pneumatic connection	M5
Materials note	Conforms to RoHS
Material cover	Wrought Aluminium alloy neutral anodisation
Material seals	NBR TPE-U(PU)
Material piston rod	High alloy steel, non-corrosive
Material cylinder barrel	High alloy steel, non-corrosive

Pistón sistema de corte

compact cylinder ADN-12-10-A-P-A

Part number: 536205
★ Core product range

FESTO



Data sheet

Feature	Value
Stroke	10 mm
Piston diameter	12 mm
Piston rod thread	M5
Cushioning	P: Flexible cushioning rings/plates at both ends
Assembly position	Any
Conforms to standard	ISO 21287
Piston-rod end	Male thread
Position detection	For proximity sensor
Variants	Single-ended piston rod
Operating pressure	1 ... 10 bar
Mode of operation	double-acting
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Note on operating and pilot medium	Lubricated operation possible (subsequently required for further operation)
Corrosion resistance classification CRC	2 - Moderate corrosion stress
Ambient temperature	-20 ... 80 °C
Impact energy in end positions	0.07 J
Theoretical force at 6 bar, return stroke	51 N
Theoretical force at 6 bar, advance stroke	68 N
Moving mass with 0 mm stroke	9 g
Additional weight per 10 mm stroke	12 g
Basic weight for 0 mm stroke	77 g
Additional mass factor per 10 mm of stroke	2 g
Mounting type	Optional with through hole with internal (female) thread with accessories
Pneumatic connection	M5
Materials note	Conforms to RoHS
Material cover	Aluminium Anodised
Material seals	TPE-U(PUR)
Material piston rod	High alloy steel
Material cylinder barrel	Wrought Aluminium alloy Smooth anodised

Electroválvulas

Solenoid valve (5/2 、 5/3 way)

4V200 Series

AIRTAC

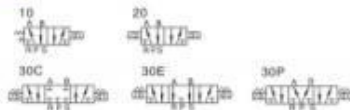


Specification

Model	4V210-06 4V220-06	4V230C-06 4V230E-06 4V230P-06	4V210-08 4V220-08	4V230C-08 4V230E-08 4V230P-08
Fluid	Air (to be filtered by 40um filter element)			
Acting	Pistons			
Port size ①	In=Out=Exhaust=1/8"		In=Out=1/4" Exhaust=1/8"	
Orifice size	14.0mm ² (Cv=0.78)	12.0mm ² (Cv=0.67)	16.0mm ² (Cv=0.89)	12.0mm ² (Cv=0.67)
Valve type	5 port 2 position	5 port 3 position	5 port 2 position	5 port 3 position
Opening pressure	0.15-0.8MPa(21-114Psi)			
Proof pressure	1.5MPa(215Psi)			
Temperature ℃	-20-70			
Material of body	Aluminum alloy			
Lubrication ②	Not required			
Max. frequency ③	5 cycle/sec	3 cycle/sec	5 cycle/sec	3 cycle/sec
Weight	4V210-06:220g 4V220-06:320g	360g	4V210-08:220g 4V220-08:320g	360g

- ① PT thread, NPT thread and G thread are available.
 ② It can not stop in the midway of lubricating. Lubricants like ISO VG32 or equivalent are recommended.
 ③ The maximum actuation frequency is in the no-load state.

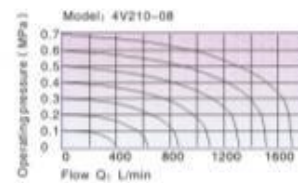
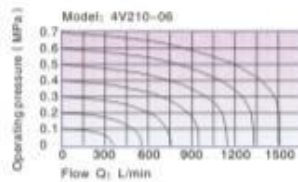
Symbol



Product feature

1. Pilot-oriented mode; optional for internal or external;
2. Structure in sliding column mode; good tightness and sensitive reaction;
3. Three position solenoid valves have three kinds of central function for your choice;
4. Double control solenoid valves have memory function;
5. Internal hole adopts special processing technology which has little attrition friction, low start pressure and long service life;
6. No need to add oil for lubrication;
7. It is available to form integrated valve group with the base to save installation space;
8. Affiliated manual devices are equipped to facilitate installation and debugging;
9. Several standard voltage grades are optional;

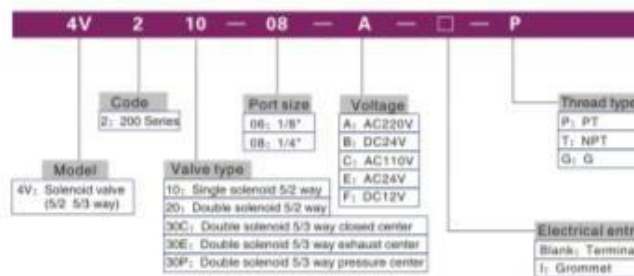
Flow chart



Coil specification

Item	Specification
Standard voltage	AC220V, AC110V, AC24V, DC24V, DC12V
Scope of voltage	AC: ±15% DC: ±10%
Power consumption	AC: 3.5VA DC: 3.0W
Protection	IP65 (DIN40050)
Temperature classification	B Class
Electrical entry	Terminal, Grommet
Actuating time	0.05 sec and below

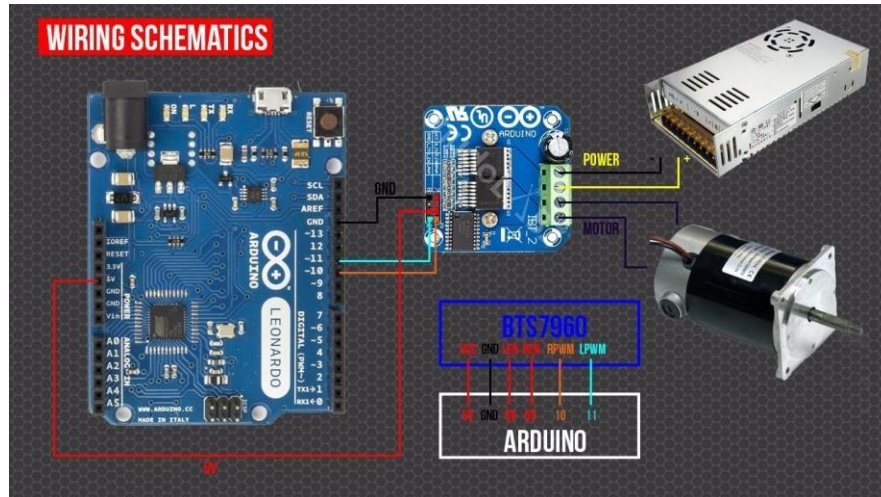
Ordering code



Please refer to PI-34 for manifold specification and the order way.

Apéndice C. Diagramas de conexión

Conexión Unidad de control y motor banda

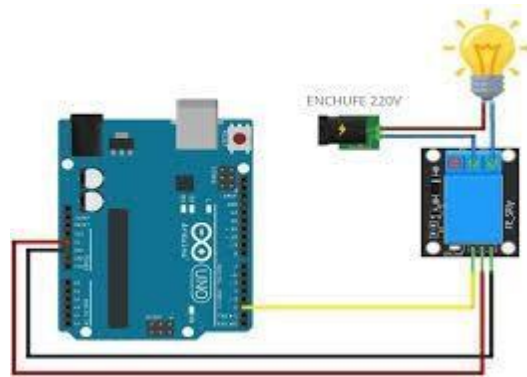


Conexión entre celda de carga y unidad de control.



Conexión unidad de control e indicadores

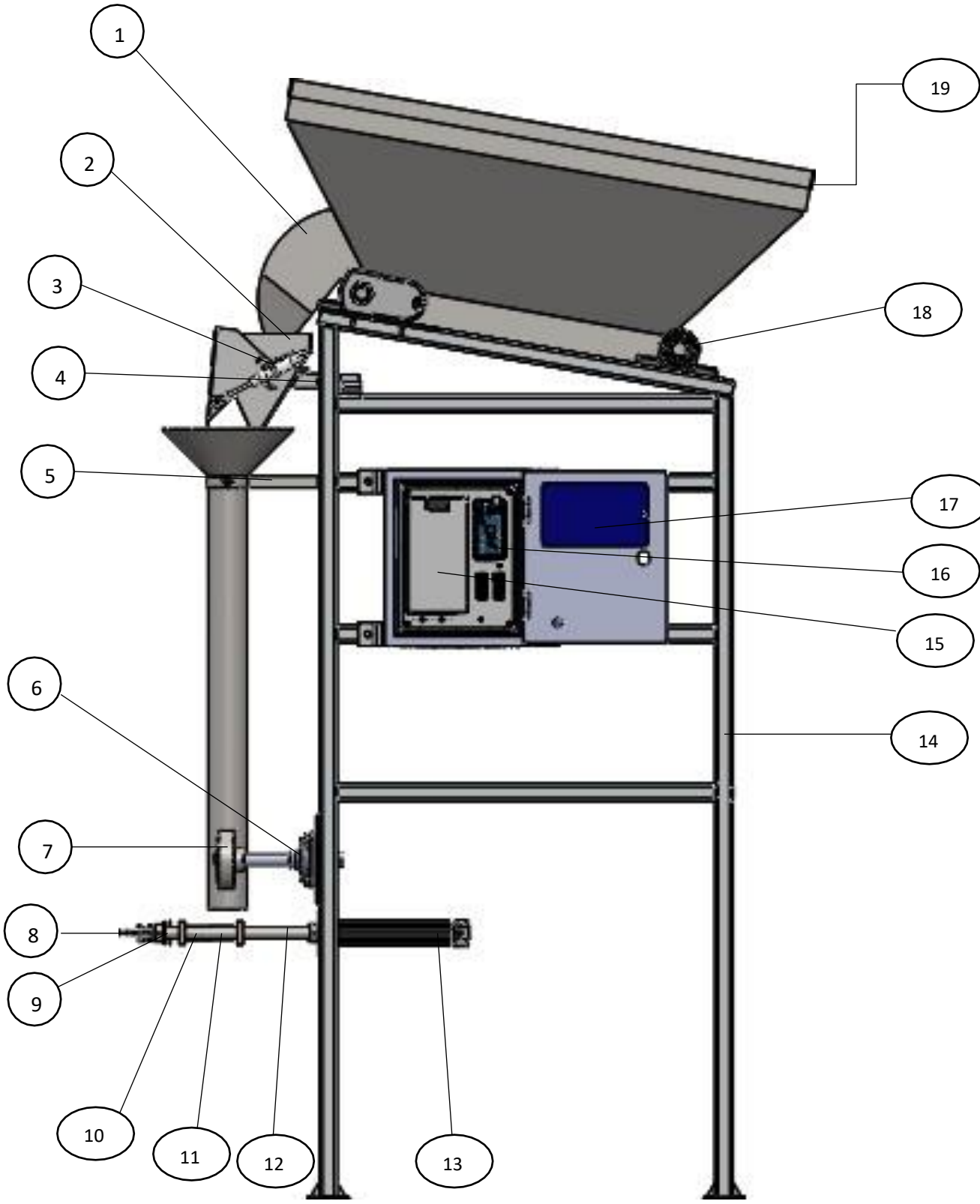
Esta conexión se realizó para cada uno de los indicadores, al igual que para el botón de parada de emergencia y las electroválvulas lo único que cambia es que donde va la carga (en este caso el bombillo) ahí se pondrían la parada de emergencia y las electroválvulas

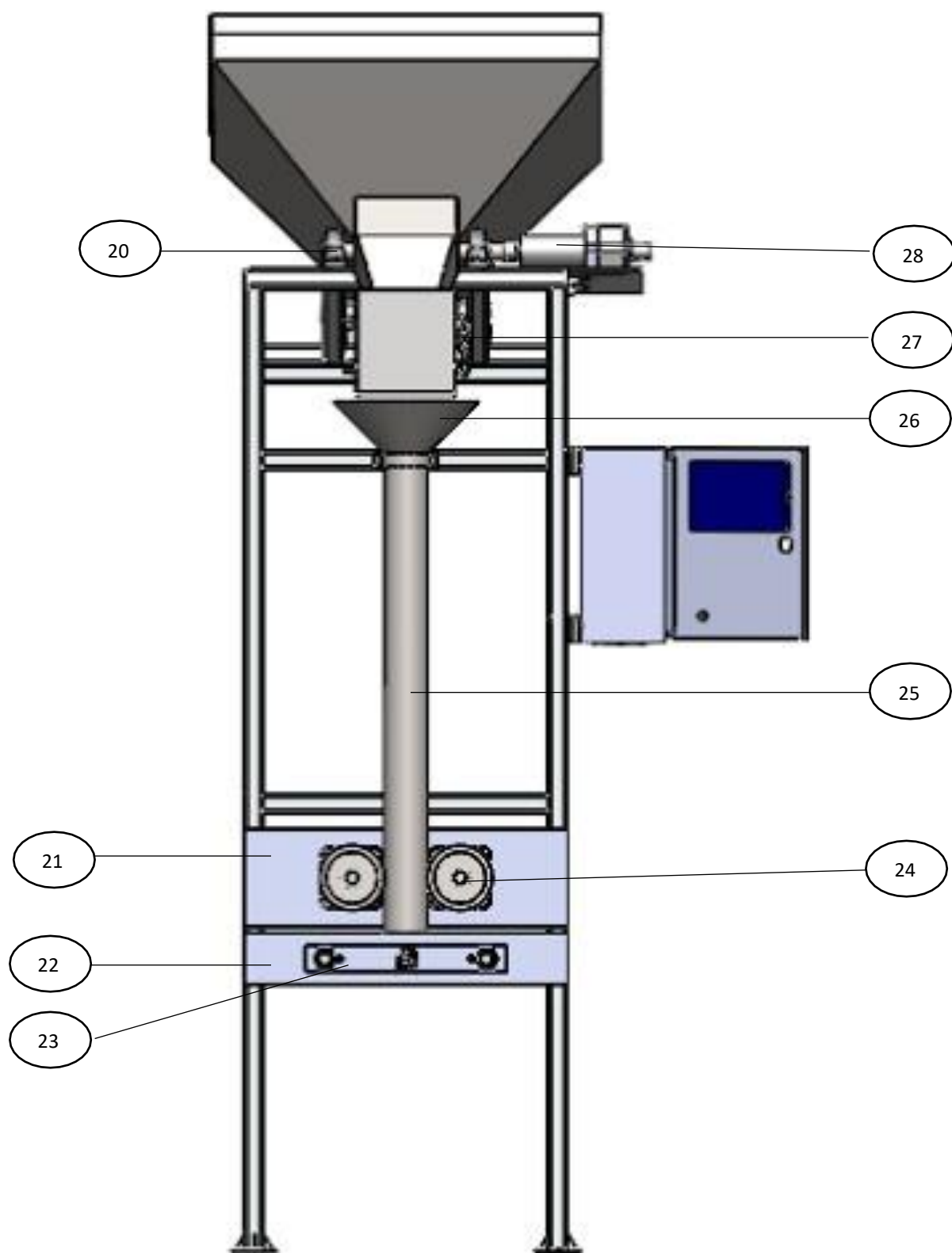


MANUAL DEL USUARIO

EMPACADORA AUTOMATICA

DE MORA





1. DIAGRAMA

- 1) Boquilla
- 2) Balanza
- 3) Pistón apertura compuerta balanza
- 4) Sensor de peso
- 5) Soporte tubo de alimentación
- 6) Rodamiento eje sistema arrastre
- 7) Rueda arrastre
- 8) Pistón sistema de corte
- 9) Lámina guiado sistema de corte
- 10) Mordaza fija y resistencia de sellado horizontal
- 11) Mordaza móvil de sellado horizontal
- 12) Ejes guiados de sistema de sellado horizontal
- 13) Pistón de sellado horizontal
- 14) Estructura máquina
- 15) Fuente de alimentación
- 16) Unidad de control, electroválvulas, relés
- 17) Pantalla de visualización
- 18) Chumaceras, ejes tolva
- 19) Tolva
- 20) Eje tracción de movimiento banda transportadora
- 21) Placa soporte sistema de arrastre
- 22) Placa soporte sistema de sellado
- 23) Placa soporte sistema de corte
- 24) Ejes guiado sistema de arrastre
- 25) Tubo de alimentación
- 26) Embudo tubo alimentación
- 27) Banda transportadora
- 28) Motor banda transportadora

2. TIPOS DE USO

Este equipo está diseñado para empaquetar principalmente mora en bolsa de diferentes presentaciones según el peso, los cuales son 250 gramos, 350 gramos y 500 gramos.

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tasa de producción:

- 250 gramos: 300-350 bolsas por hora
- 358 gramos: 400-450 bolsas por hora
- 500 gramos: 500-550 bolsas por hora

Capacidad de empaque: 250-358-500 gramos/ bolsa (Selección por interfaz)

Precisión de llenado:

500kg: $\pm 5\%$

: 358kg: $\pm 6\%$

: 250kg: $\pm 8\%$

Ancho de la película a utilizar: 15cm

Potencia del motor: 360 w

Velocidad del motor: 106 rpm

Potencia del compresor: 1 hp

Presión de funcionamiento: >5 bar

Resistencia horizontal:

Temperatura de sellado: 130 °C

Peso del equipo: 60 kg aprox

Medidas: altura: 1.9 m profundidad: 1.2 m ancho: 0.73 m

4. FUNCIONES

- 1- Suministro del producto
- 2- Dosificación del producto
- 3- Tracción lineal de la bolsa
- 4- Sellado térmico horizontal
- 5- Cortador de bolsas

5. PAUTAS DE OPERACIÓN

Antes de iniciar la operación del equipo verifique lo siguiente:

- No hay ningún objeto obstruyendo la libre operación o interfiriendo con el movimiento de alguna de las partes.
- Una práctica recomendada para la operación inicial es verificar el movimiento del equipo sin conectar la potencia eléctrica, para lo cual se mueve manualmente el eje motriz del motor, el arrastre, la balanza y el sistema de sellado y corte, este movimiento debe sentirse sin atascamiento y sin obstrucciones.
- Para la instalación del equipo elija un lugar plano y nivelado, de ser posible que sea un lugar seco, ventilado y con suficiente luz.
- Limpie la tolva como se especifica en el plan de mantenimiento.
- Verifique que no hay presencia de ningún objeto en la balanza.
- Tome la funda plástica y ubique la cantidad necesaria o máxima permitida en el tubo de alimentación (25).
- Verifique que la corriente a la cual se conectara el equipo sea 120 V /60 Hz y que el sentido de giro del motor sea el adecuado.
- Verifique que la resistencia de sellado llegue a 130°C, No comience a utilizar el equipo hasta que se haya esperado aproximadamente 10 minutos de precalentamiento.
- Pare el equipo cuando se quede sin funda plástica el tubo de alimentación. Debe usar el modo manual hasta garantizar que el sellado sea correcto. También debe parar el equipo cuando el sistema de suministro(Tolva) esté por debajo del nivel mínimo y llenarla a la cantidad requerida o la capacidad máxima permitida.
- Las válvulas de control de flujo de aire no deben estar cerradas mientras el equipo esté en funcionamiento.

- En caso de notar un funcionamiento anormal, como problemas en la dosificación, mal sellado o bolsas adheridas unas a otras, etc. detenga el equipo inmediatamente con ayuda de la parada de emergencia.
- Los ajustes, los reglajes y calibraciones están en su punto óptimo, para el mantenimiento rutinario se requieren técnicos especializados que comprendan el funcionamiento del equipo.
- Debe usar el modo Manual hasta garantizar la entrega correcta de una bolsa del producto.

6. MODOS DE OPERACIÓN



La máquina cuenta con dos modos de operación cuyo funcionamiento e interacción con el usuario es la siguiente:

Modo Manual

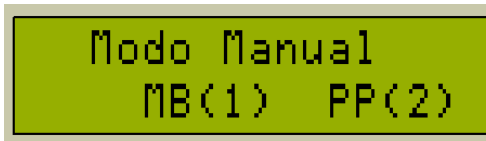
El modo manual está diseñado para que el usuario pueda comprobar el funcionamiento de actuadores de cada subsistema (ver funciones). También se puede emplear para empacar producto, pero no se garantiza el peso a empacar. Este modo también es empleado para garantizar las condiciones iniciales que debe tener el producto empacado antes empezar con la producción continua (modo automático). Las siguientes son las instrucciones

para operar el modo manual de la máquina:

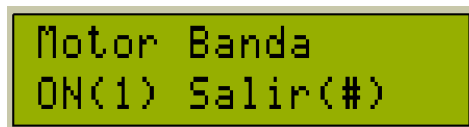
- 1) Para acceder al modo manual, una vez encendida la máquina se debe elegir la opción 1. Así:



- 2) Luego aparece otro menú con scroll que permite elegir el actuador que desea manipular. Así:



- MB: Opción para activar Motor Banda. Presione el botón 1 en el teclado para seleccionar este actuador aparecerá lo siguiente



ON: mueve el motor por un tiempo y lo apaga.

#: Vuelve al menú anterior

- PP: Opción para activar Pistón sistema de Pesaje. Presione el botón 2 en el teclado para seleccionar este actuador aparecerá lo siguiente:



ON: es para activar el pistón.

#: Vuelve al menú anterior

- PS: Opción para activar Pistón sistema de Sellado. Presione el botón 3 en el teclado para seleccionar este actuador. Aparece la misma pantalla que en la opción PP.
- PC: Opción para activar Pistón sistema de Corte. Presione el botón 4 en el teclado para seleccionar este actuador. Aparece la misma pantalla que en la opción PP.
- # : Salir, y volver a la opción de seleccionar modo

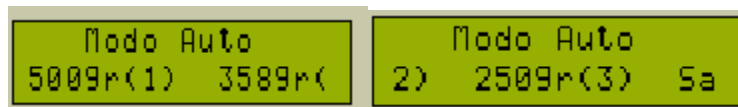
Modo Automático

El modo automático está diseñado para que el usuario una vez haya ajustado los parámetros iniciales de funcionamiento como son primer sello de la bolsa, empiece a empacarse de manera automática el producto en la presentación seleccionada. Así:

- El modo de operación se elige de forma similar al manual, la única diferencia es que en este caso se elige la opción 2 para modo automático.



- Ahora seleccione la presentación que desea empacar y se iniciará de forma automática el proceso de empacado, si desea cambiar la presentación a empacar debe presionar la tecla “#” y para salir de modo automático vuelva a presionar “#”.



7. MANTENIMIENTO

- Después de usar limpie la tolva, balanza, sensor de peso y estructura de la máquina con una solución de alcohol si es posible al 75%, para una adecuada desinfección con ayuda de una toalla defina exclusivamente para este proceso.
- La limpieza general y completa de la máquina se debe realizar cada semana, en esta se debe desmotar la tolva para lavar con abundante agua y jabón la banda transportadora, y las partes internas de la tolva.
- Revise y lubrique regularmente las partes móviles con suficiente aceite lubricante No 20.
- Revise regularmente la unidad de mantenimiento para retirar condensados y agregar lubricante.

8. SOLUCIONADOR DE PROBLEMAS

PROBLEMA	PROBABLE CAUSA Y SOLUCIÓN
1 Problemas en el sensado del producto	Hay objetos en la balanza antes de encenderla, se debe retirar cualquier objeto que haya en la báscula. Se desajusto la apertura de la boquilla. Llame al técnico para que gradué la apertura de la boquilla y garantice que se dosifique adecuadamente El nivel de la tolva está por debajo de lo mínimo para funcionar.
2 Las piezas móviles producen ruidos anormales	Falta de lubricante, los tornillos están sueltos, hay desgaste severo en las piezas. Lubrique adecuadamente las piezas móviles.
3 La temperatura no corresponde a la especificada	Se desconfiguro el set point del controlador de temperatura, Consulte el manual del controlador o al técnico para configurar a la temperatura adecuada. Compruebe que la termocupla está funcionando adecuadamente.