

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Escuela de Posgrado



Diseño de un sistema dispensador de clamshell y
dosificador de arándanos

Tesis para obtener el grado académico de Maestra en Ingeniería
Mecánica que presenta:

Ivanovha Grace Nuñez Cornejo

Asesor:

Dr. Eliseo Benjamin Barriga Gamarra

Co - Asesor:

MBA. César Ernesto Coasaca Apaza

Lima, 2023

Informe de Similitud

Yo, Eliseo Benjamín Barriga Gamarra, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulado “Diseño de un sistema dispensador de clamshell y dosificador de arándanos”, de la autora Ivanovha Grace Núñez Cornejo, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 2%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 09/01/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

San Miguel 09 de enero de 2024

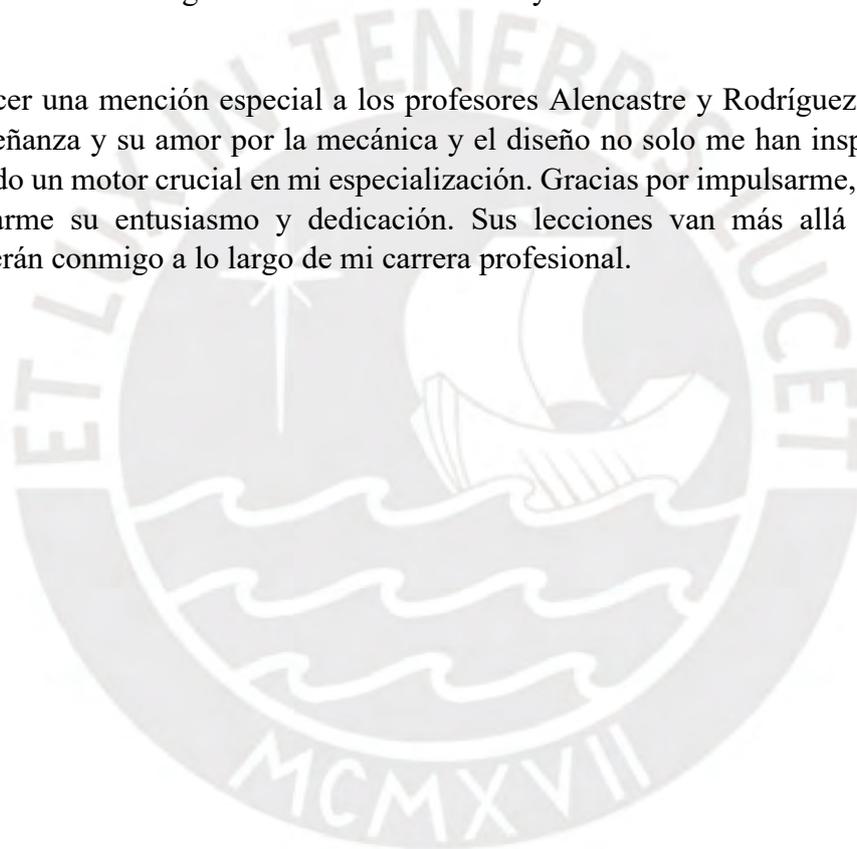
Apellidos y nombres del asesor: Barriga Gamarra, Eliseo Benjamín	
DNI: 08273367	Firma 
ORCID: 0000-0002-7781-6177	

DEDICATORIA

Esta tesis es mucho más que un logro académico; es un viaje de crecimiento, aprendizaje y gratitud. Con gran afecto, dedico esta obra a tres pilares en mi vida: a mis abuelitos Elva y Alberto, cuyo amor y legado perduran en mi memoria, y a mi mamá Kathy, mi ingeniera favorita y mi inspiración diaria. Su ejemplo y perseverancia de mi madre ha sido el impulso constante que eleva mi ser, animándome a alcanzar alturas mayores y a soñar más allá de los límites.

Mi sincero agradecimiento a mis asesores, profesores, familia y amigos. Sin su apoyo, orientación y aliento constante, este logro no habría sido posible. Cada uno de ustedes ha contribuido de manera significativa a mi formación y éxito.

Quiero hacer una mención especial a los profesores Alencastre y Rodríguez. Su pasión por la enseñanza y su amor por la mecánica y el diseño no solo me han inspirado, sino que han sido un motor crucial en mi especialización. Gracias por impulsarme, motivarme y contagiarme su entusiasmo y dedicación. Sus lecciones van más allá del aula y permanecerán conmigo a lo largo de mi carrera profesional.



RESUMEN

El crecimiento de arándanos durante la última década en el Perú ha sido exponencial, siendo el 2022 el año donde el país se consagró como el primer exportador de la baya, esto trae consigo un rotundo aumento en el cultivo en todo el país, abriendo caminos a nuevos agricultores y potenciando el crecimiento de los ya establecidos. Sin embargo, uno de los principales desafíos enfrentados por este sector es el envasado. Más del 80% del proceso se realiza manualmente, ya que las máquinas disponibles están diseñadas para altos volúmenes de producción y tienen costos inalcanzables para muchos productores.

El principal objetivo de este trabajo es diseñar una máquina dispensadora de clamshell y dosificadora de arándanos, que sea económicamente accesible y adecuada para operaciones de menor escala.

Para alcanzar el objetivo principal del presente trabajo, se definieron los requerimientos del proyecto, estructura de funciones; además, del estado del arte actual para conocer las tecnologías y equipos existentes para el proyecto, se siguió la metodología de diseño donde, a través de una matriz, se realizó la selección de la solución conceptual; asimismo, se realizaron los cálculos detallados, simulación estructural, análisis modales, frecuencia y de vibración, así como la elaboración de los planos mecánicos, de control y eléctricos; finalmente se realizó un prototipo de cada subsistema validando su funcionamiento.

Se culminó exitosamente con el diseño de la máquina dispensadora de clamshell y dosificadora de arándanos, capaz de envasar a un flujo de 90 kg/h. Además, se cumplió con todos los requerimientos establecidos para el proyecto, logrando un costo de fabricación de \$6,760. Es importante destacar que esta cifra no incluye el costo asociado al diseño de la máquina.

INDICE DE CONTENIDO

1. INDICE DE TABLA	8
2. INDICE DE FIGURA	9
3. LISTA DE SÍMBOLOS	13
1 INTRODUCCIÓN	14
1.1 Problemática	16
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general	16
1.2.2 Objetivo específico	16
1.3 Alcance	17
1.4 Antecedentes	17
1.4.1 Características de <i>clamshell</i> (envases de plástico)	17
1.4.2 Características importantes del arándano	17
1.4.3 Patentes	19
1.4.4 Maquinas existentes	21
2 DISEÑO CONCEPTUAL	24
2.1 Requerimiento del sistema	24
2.2 Estructura de funciones	27
2.2.1 Caja negra	27
2.2.1.1 Descripción	27
2.2.2 Dominio mecánico	29
2.2.3 Dominio electrónico	29
2.2.4 Dominio control	29
2.2.5 Dominio global	30
2.3 Matriz morfológica	30
2.3.1 Dominio mecánico	31
2.3.1.1 Dominio mecánico del dispensador y transporte	31
2.3.1.2 Dominio mecánico dosificador	32
2.3.2 Dominio electrónico	33
2.3.3 Dominio control	34
2.4 Conceptos de solución óptima de cada dominio	35
2.4.1 Concepto solución dominio electrónico	35
2.4.1.1 Evaluación técnico-económica	35

2.4.2	Concepto solución dominio control	38
2.4.2.1	Evaluación técnico-económica	38
2.4.3	Concepto solución dominio mecánico	40
2.4.3.1	Evaluación técnico-económica	45
2.4.4	Desarrollo de soluciones	47
3	DISEÑO MECATRÓNICO	53
3.1	Integración del sistema mecatrónico	53
3.2	Funcionamiento	54
3.3	Diseño Mecánico	54
3.3.1	Tolva	54
3.3.2	Carro transportador	56
3.3.3	Soporte de ventosa	56
3.3.4	Vibrador mecánico	57
3.3.5	Bandeja transportadora vibratorio	59
3.4	Prototipado del diseño mecánico	59
3.4.1	Sistema de dosificado de arándanos	59
3.4.2	Sistema de dispensado de clamshell	63
3.5	Análisis modal operacional de alimentador vibratorio	66
3.6	Diseño de sistema electrónico	71
3.6.1	Sensores	71
3.6.2	Componentes electrónicos	74
3.6.3	Arquitectura de Control	75
3.7	Diseño de sistema de control	76
3.7.1	Señales del sistema de control	76
3.7.2	Circuito de control	79
3.8	Prototipo de sistema de control	79
3.9	Diseño de sistema neumático	82
3.9.1	Instalación neumática	82
3.9.2	Dimensionamiento de actuadores	83
3.9.3	Selección de actuadores y elementos neumáticos	86
3.9.3.1	Transporte	86
3.9.3.2	Compuerta	88
3.9.3.3	Retirar	88

3.9.4	Cálculos de Caudal	89
3.9.5	Circuito neumático.	91
3.10	Diseño de la estructura	91
3.11	Diseño del sistema de software	96
3.11.1	Diagrama de flujo	96
3.12	Modelado en 3D	101
3.13	Mantenimiento de equipo de pesaje	104
4	LISTA DE PLANOS	107
4.1	Lista de planos para dispensador de clamshell	107
4.2	Lista de planos para sistema de transporte	107
4.3	Lista de planos para dosificadora de arándanos	107
4.4	Lista de planos para sistema de expulsión	108
4.5	Lista de planos estructura y global	109
4.6	Lista de planos gabinete de control	109
5	COSTOS	110
5.1.1	Componentes mecánicos	110
5.1.2	Componentes electrónicos	110
5.1.3	Componentes de control	111
5.1.4	Componentes neumáticos	111
5.1.5	Costo de ensamblaje	112
5.1.6	Estimación de costos totales	112
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
7	BIBLIOGRAFÍA	115
8	ANEXOS	117
8.1	Arquitectura de Control	117
8.2	Lista de Señales	117
8.3	Planos Mecánicos	117

1. INDICE DE TABLA

Tabla 1 Exportación de arándanos en Perú ²	14
Tabla 2 Características de los clamshells ⁷	17
Tabla 3 Masa y dimensiones de arándanos	18
Tabla 4 Datos estadísticos	18
Tabla 5 Características de SP Series Box Filler ¹⁰	21
Tabla 6 Características de Cherry fill by weight machine ¹¹	22
Tabla 7 Características de <i>Multihead weigher machine</i> ¹²	23
Tabla 8 Característica de M8 ¹³	24
Tabla 9 Evaluación técnica del dominio electrónico.....	36
Tabla 10 Evaluación económica del dominio electrónico.....	37
Tabla 11 Parámetros del alimentador vibratorio ¹⁶	58
Tabla 12 Tiempo de ejecución de procesos.....	85
Tabla 13 Actuadores seleccionados.....	89
Tabla 14 Datos de la estructura	93
Tabla 15 Costo de componentes mecánicos	110
Tabla 16 Costo de componentes electrónicos.....	110
Tabla 17 Costo de componentes control.....	111
Tabla 18 Costo de componentes neumáticos.....	111
Tabla 19 Estimación de costo total.....	112

2. INDICE DE FIGURA

Figura 1 Arbusto de arándano	14	
Figura 2 Zonas Potenciales de Arándanos.....	15	
Figura 3 Dimensión de arándano.....	18	
Figura 4 Mecanismo de llenado ⁸	19	
Figura 5 Mecanismo de llenado ⁸	19	
Figura 6 Mecanismo vertical de llenado ⁹	20	
Figura 7 Raspberry Box Machine ¹⁰	21	
Figura 8 Cherry fill by weight machine ¹¹	22	
Figura 9 <i>Multihead weigher machine</i> ¹²	23	
Figura 10 M8 packing equipment.....	23	
Figura 11 Arándano	Figura 12 Producto comercial	24
Figura 13 Caja Negra.....	27	
Figura 14 Estructura global de funciones del sistema	30	
Figura 15 Evaluación con pesos ponderados del Dominio electrónico.....	37	
Figura 16 Evaluación con pesos ponderados del dominio de control	39	
Figura 17 Concepto solución 1 dosificación	40	
Figura 18 Concepto solución 1 dispensador.....	41	
Figura 19 Concepto solución 1 transporte.....	41	
Figura 20 Concepto solución 2 dosificaciones	42	
Figura 21 Concepto solución 2 dispensador.....	43	
Figura 22 Concepto solución 2 transporte	Figura 23 Barreras	43
Figura 24 Concepto solución 3 dosificaciones	44	
Figura 25 Evaluación con pesos ponderados del dominio mecánico	46	
Figura 26 Faja transportadora.....	47	
Figura 27 Transporte con cadenas	48	
Figura 28 Palanca dosificadora.....	48	
Figura 29 Dispensador de clamshell.....	49	
Figura 30 Carro transportados	50	
Figura 31 Dosificador con movimiento rectilíneo horizontal	50	
Figura 32 Vibrador electromagnético	51	
Figura 33 Dosificador I	52	
Figura 34 Dosificador II	52	

Figura 35 Estructura	53
Figura 36 Sistema global	54
Figura 37 Capacidad y peso de arándanos	55
Figura 38 Tolva	55
Figura 39 Carro transportador	56
Figura 40 Soporte de ventosa	56
Figura 41 Simulación soporte.....	57
Figura 42 Simulación Von Mises del soporte	57
Figura 43 Diagrama de fuerza	58
Figura 44 Vibrador Lineal LFC-01 ¹⁶	58
Figura 45 Bandeja.....	59
Figura 46 Bandeja transportadora	59
Figura 47 Bandeja transportadora inclinada.....	60
Figura 48 Vista isométrica del modelo en 3D	60
Figura 49 Vista lateral del modelo en 3D.....	61
Figura 50 Prototipo.....	61
Figura 51 Prueba del grado de inclinación	62
Figura 52 Llenado de arándanos al clamshell	62
Figura 53 Tolva de arándanos	63
Figura 54 Prototipo de aleta	63
Figura 55 Prototipo en acrílico de estructura de clamshell	64
Figura 56 Diferencia de altura del clamshell.....	65
Figura 57 Un Clamshell.....	65
Figura 58 Alturas de tapa y reservorio	65
Figura 59 Boceto de Aleta.....	66
Figura 60 Aletas para el dispensado	66
Figura 61 Acelerómetros en prototipada vista lateral.....	67
Figura 62 Acelerómetros en prototipada vista frontal	67
Figura 63 Espectro de frecuencia	68
Figura 64 Armónico	69
Figura 65 Armónico	70
Figura 66 Frecuencia natural	70
Figura 67 Limit switches XCJ.....	71

Figura 68 Sensor Infrarrojo	72
Figura 69 Celda de carga de 5 kg L6D.....	73
Figura 70 Sensores magnéticos Festo.....	74
Figura 71 Cilindro neumático con sensor magnético ²¹	74
Figura 72 Botón Industrial.....	74
Figura 73 Arquitectura de control	75
Figura 74 Relé programable Zelio Logic	78
Figura 75 Módulo de ampliación	78
Figura 76 Cable USB de conexión a PC	79
Figura 77 Diagrama de bloque de control	79
Figura 78 Diagrama de control.....	79
Figura 79 Prototipo con pantalla LCD	80
Figura 80 Dosificador con celda de carga	80
Figura 81 Controlador de peso con celda de carga.....	81
Figura 82 Controlador de peso WEBO ID550	81
Figura 83 Especificaciones técnicas WEBO ID550.....	82
Figura 84 Componentes de una instalación neumática ²⁷	83
Figura 85 Numeración de actuadores	83
Figura 86 DCL de carrito transportador	86
Figura 87 Fuerzas y Momentos permitidos	86
Figura 88 Actuadores lineales Festo ²⁸	87
Figura 89 Ficha técnica DGC ²⁸	87
Figura 90 Ensamble sistema de transporte	87
Figura 91 Pistón extendido.....	88
Figura 92 Ensamble sistema de expulsión.....	89
Figura 93 Diagrama Neumático	91
Figura 94 Tubo cuadrado	92
Figura 95 Alambre para soldadura Mig/Mag	92
Figura 96 Esfuerzo máximo normal en la estructura.....	94
Figura 97 Desplazamiento de la estructura.....	95
Figura 98 Gabinete de control	96
Figura 99 Diagrama Principal	97
Figura 100 Diagrama de interrupciones	98

Figura 101 Diagrama de función dosificar peso.....	99
Figura 102 Diagrama de configuración del sistema	100
Figura 103 Vista 1 del modelo en 3D.....	101
Figura 104 Vista 2 del modelo en 3D.....	102
Figura 105 Vista 3 del modelo en 3D.....	103
Figura 106 Soporte de las estructuras.....	103
Figura 107 Interfaz del usuario.....	104
Figura 108 Compuerta dosificadora	105
Figura 109 Ubicación de pesa patrón	105
Figura 110 Pesa Patrón F1 Fuyue.....	106



3. LISTA DE SÍMBOLOS

- F : Fuerza de empuje vertical [N]
 F_n : Fuerza normal a la superficie [N]
 P : Presión de la cámara 1 [N/mm²]
 T : Intervalo de muestreo [s]
 W : Tiempo de residencia del proceso [s]
 β : Ángulo de salida en la cuchilla [°]
 ω_n : frecuencia natural [rad/s]



1 INTRODUCCIÓN

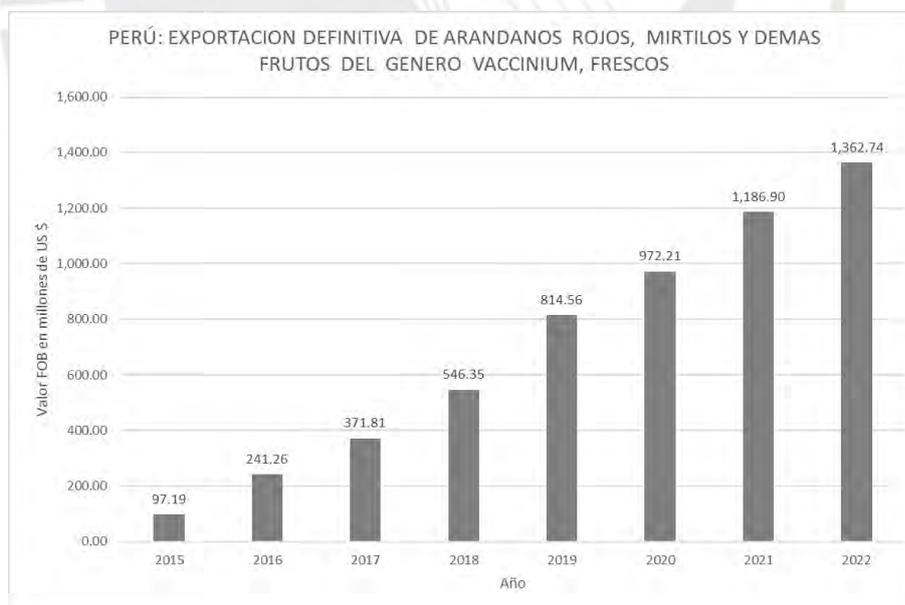
Uno de los productos con perspectivas en crecimiento económico para el sector exportador en el Perú, es el arándano, un fruto azul, redondo y pequeño, conocido en el mercado internacional como “blueberry”, de sabor agridulce, y con propiedades nutricionales y curativas, es un poderoso antioxidante, bajo en grasas, sodio y libre de colesterol, razón por la cual este fruto es tan conocido en el mercado extranjero.



Figura 1 Arbusto de arándano ¹

En 2022, el Perú fue el primer exportador mundial de arándanos superando a EE. UU., España, Canadá, Países Bajos y Marruecos, así registra el Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales de la Asociación de Exportadores CIEN-ADEX².

Tabla 1 Exportación de arándanos en Perú ²



¹ ADEX PERU. (31 de marzo de 2023). ADEX PERU. Obtenido de <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/en-el-2022-peru-fue-el-primero-exportador-mundial-de-arandanos/>

² SUNAT. (2021). ESTADISTICAS DE COMERCIO EXTERIOR. Obtenido de https://www.sunat.gob.pe/estad-comExt/modelo_web/web_estadistica.htm

El Perú tiene una ventaja comparativa respecto a los demás países, lo puede cultivar durante todo el año, esto permite una correcta planificación de cultivo, proceso de exportación y envío. Además, a que considerar que el 99 % de las exportaciones de arándanos se realizan vía marítima con contenedores refrigerados a atmósferas controladas³.

Las zonas más potenciales de cosecha se encuentran al norte del Perú, liderando las regiones de La Libertad y Lambayeque⁴. A pesar del gran incremento en la exportación, el consumo nacional es reducido y poco conocido. Su comercialización a nivel de supermercados nacionales se da a través de presentaciones de 100 y 125 gr, con un precio alrededor de los 6 soles (1.4 dólares), pero la calidad es diferente, menor tamaño respecto a la de exportación.

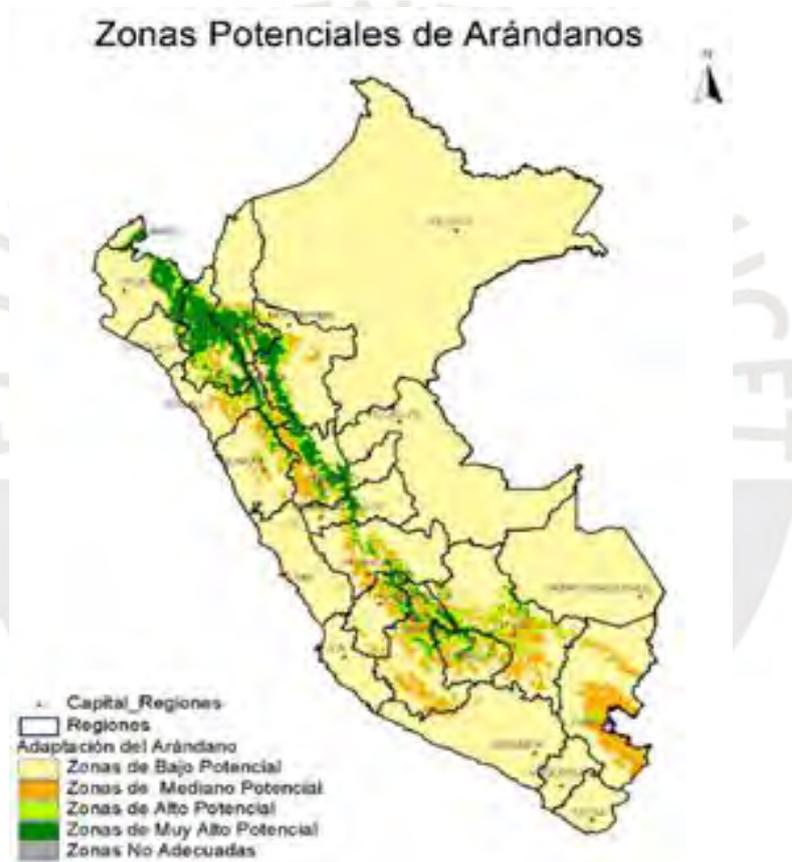


Figura 2 Zonas Potenciales de Arándanos⁵

³ SUNAT. (2021). ESTADISTICAS DE COMERCIO EXTERIOR. Obtenido de https://www.sunat.gob.pe/estad-comExt/modelo_web/web_estadistica.htm

⁴ Blueberries Consulting. (14 de febrero de 2020). Pequeños productores contribuyen con más del 20% de las exportaciones de arándanos de Perú. Obtenido de <https://blueberriesconsulting.com/pequenos-productores-contribuyen-con-mas-del-20-de-las-exportaciones-de-arandanos-de-peru/>

⁵ MIDAGRI. (2016). El arándano en el Perú y el Mundo. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.midagri.gob.pe/index.php/analisis-economicos/boletines/2016/36-el-arandano-en-el-peru-y-el-mundo/file>

1.1 Problemática

Alfonso Velásquez Tuesta, ex presidente de Sierra y Selva Exportadora, afirmó que el 20% de la producción para la exportación proviene de productores pequeños con menos de 10 hectáreas de cosecha y con miras de crecimiento⁴. Y en el mercado al existir máquinas y línea de producción diseñadas a grandes flujos de frutos, y la gran mayoría son de procedencia del extranjero,

Esto ocasiona un problema, las máquinas y líneas de producción están diseñadas para grandes flujos de productos, es por eso por lo que algunos productores se ven en la necesidad de emplear trabajo manual en el proceso de envasado.

Al gran flujo de productos que está diseñado, se le suma el precio alto de las máquinas, por ejemplo, la maquina dosificadora de marca Hitech 25 mil dólares en España, el proceso, transporte y costo de importación del extranjero hacia el Perú. Además, el 80% de las máquinas que se evaluaron en el presente trabajo están diseñadas para la recopilación de datos y funcionamiento con conexión LAN, y considerando que el centro de operaciones de los productores es en zonas aledañas de la ciudad y la gran mayoría no cuenta con conexión a internet, no se hace posible la adquisición ni el funcionamiento de estas máquinas.

Es por eso el presente trabajo se enfocó en la etapa de envasado de los arándanos, la dosificación del producto en un envase de acuerdo con el peso establecido por el usuario, teniendo en consideración que el flujo sea correlativo con la producción, no depender de una señal de internet para el funcionamiento, y reducir el precio de la máquina para que sea accesible.

1.2 Objetivos

El objetivo de esta tesis es el diseño de un sistema dispensador de clamshell y dosificador de arándanos para poder suplir las necesidades de los productores, con el fin de optimizar el proceso de envasado.

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una máquina dispensadora y dosificadora de arándanos para un peso de 100, 125 y 165 gr por envase de plástico (clamshell), con una capacidad de 60Kg a 90Kg de arándanos por hora.

1.2.2 Objetivo específico

- Identificar de parámetros relevantes.
- Desarrollar el concepto de solución óptimo de acuerdo con la metodología de diseño basada en la norma VDI 2225⁶, cumpliendo con la lista de requerimiento.
- Diseñar los sistemas mecatrónicos, planos de ensamble y despiece de los elementos mecánicos.
- Diseñar los circuitos electrónicos y neumáticos.
- Diseñar del diagrama de flujo del funcionamiento.

⁶ PUCP. (s.f.). *Metodología de Diseño Mecatrónico*.

- Estimar los costos involucrados en el proyecto.

1.3 Alcance

Dosificar el fruto de acuerdo con el peso establecido y recibir los envases de plásticos (*clamshell*) de forma horizontal y apilados, la máquina se encargará de dispensar cada clamshell y transportarlo hacia el sistema de dosificado.

La recepción de los arándanos se realizará a través de una máquina anterior, faja transportadora. Después que se haya llenado el clamshell con arándanos pasará al sistema de expulsión el cual será encargado de retirar el producto hacia una faja transportadora.

1.4 Antecedentes

Se explicará los hallazgos encontrados en la investigación de los antecedentes y tecnologías similares aplicadas en otros lugares. Se detallará primero las principales características de los *clamshells* y de los arándanos, luego se mencionará las patentes relacionadas y las máquinas existentes alrededor del mundo.

1.4.1 Características de *clamshell* (envases de plástico)



Figura 4 Clamshell 125g ⁷

Tabla 2 Características de los clamshells ⁷

Capacidad (g)	100	Capacidad (g)	125	Capacidad (g)	165
Material	PET	Material	PET	Material	PET
Largo (mm)	107	Largo (mm)	107	Largo (mm)	107
Ancho (mm)	107	Ancho (mm)	107	Ancho (mm)	107
Altura (mm)	36	Altura (mm)	40	Altura (mm)	50

1.4.2 Características importantes del arándano

Color: desde azul claro hasta negro, dependiendo de la maduración.

Vida útil esperada: 14 a 28 días con almacenamiento en cámara frigorífica

Condiciones de conservación:

- Temperatura: -0.6 y 0°C
- Humedad relativa: 95%

⁷ AGROMARKET. (s.f.). Clamshell de arandanos. Obtenido de <https://agromarket.pe/52-para-arandanos>

Empaque y presentación: *Clamshell* de plástico de 125g para el mercado de Estados Unidos, y de 100g y 165g para el mercado nacional.

- Masa y dimensiones de arándano:

Se realizó el dimensionamiento de 60 arándanos donde se midió la altura (b) y el ancho (a) luego se pesó cada fruto, obteniendo una altura promedio de 1.45mm, ancho de 1.56mm y un peso aproximado de 1.12g (tabla 3 y 4).

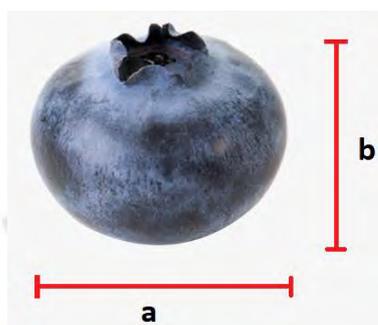


Figura 3 Dimensión de arándano

Fuente propia

Tabla 3 Masa y dimensiones de arándanos

							
masa(g)	2.86	1.7	1.68	1.72	1.6	1.54	1.5
a(mm)	1.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6
b(mm)	1.3	1.1	1.1	1.15	1.25	1.1	1.1
							
masa(g)	1.4	1.34	1.34	1.32	1.30	1.28	1.20
a(mm)	1.45	1.35	1.35	1.4	1.3	1.34	1.3
b(mm)	1.1	1.1	1.05	1.0	1.1	1.2	1.0

Fuente propia

Tabla 4 Datos estadísticos

	a (mm)	b (mm)	Masa(g)
Promedio	1.56	1.45	1.12
Mediana	1.45	1.46	1.10
Desviación estándar	0.41	0.13	0.08

Fuente propia

1.4.3 Patentes

- FRUIT PACKING MACHINE ⁸

AUTOR: H. A. Stevens, US3338009

El funcionamiento de la máquina se basa en el llenado de la fruta, en este caso la naranja en la cuadrícula horizontal, paralelamente el contenedor sube, en su interior se tiene un cartón, el cual sirve de base para el llenado de las naranjas por filas (cada fila compuesta de 4 unidades). La cuadrícula gira de tal manera que después se depositan las 4 naranjas siguientes completando la segunda fila, y así continúa sucesivamente hasta completar el llenado de la caja.

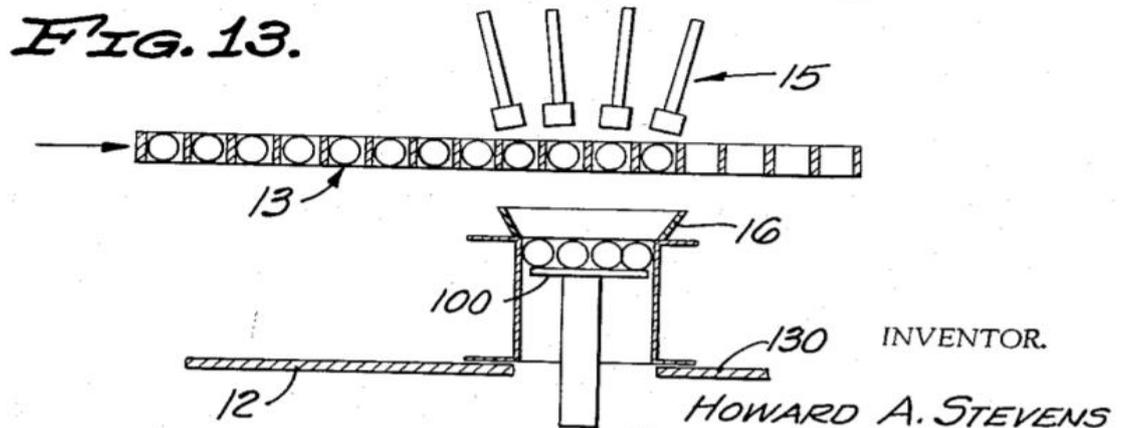


Figura 4 Mecanismo de llenado ⁸

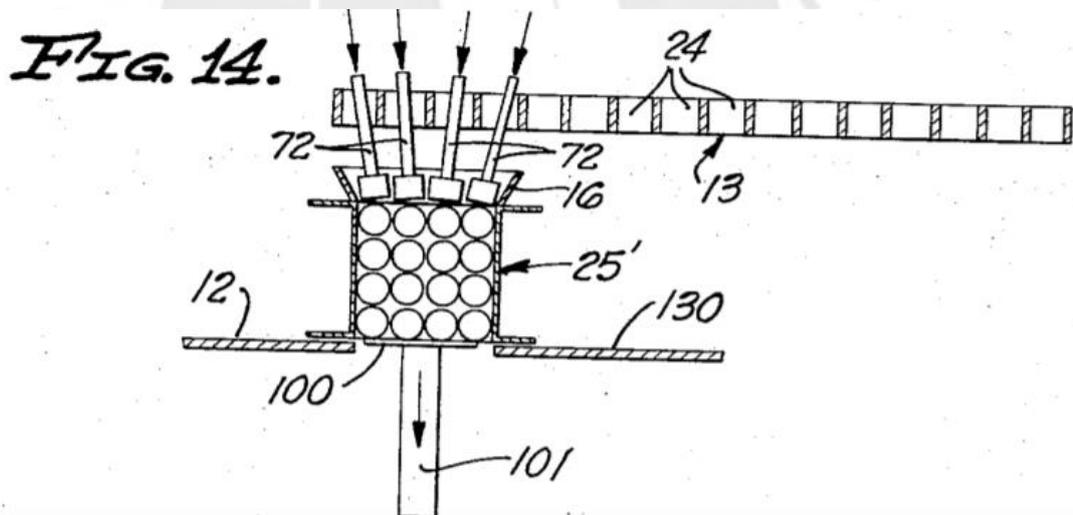


Figura 5 Mecanismo de llenado ⁸

- METHOD FOR FILLING BOXES WITH A PRESELECTED QUANTITY OF DISCRETE ARTICLES ⁹

AUTOR: Kenneth F Russell, US3618285A

⁸ Stevens, H. A. (1965). Estados Unidos Patente n° US3338009A. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/US3338009>

⁹ Russell, K. F. (1969). Estados Unidos Patente n° US3618285A. Obtenido de [https://patents.google.com/patent/US3618285A/en?q=\(PACKING\)&q=\(MACHINE\)&q=\(FRUIT\)&oq=PACKING+MACHINE+FRUIT](https://patents.google.com/patent/US3618285A/en?q=(PACKING)&q=(MACHINE)&q=(FRUIT)&oq=PACKING+MACHINE+FRUIT)

Método para llenar un cuadro con un número de artículos utilizando de un transportador de alimentación vertical. La caja está levantada para cerrar el extremo liberado del transportador de alimentación vertical, después la caja es bajada lentamente.

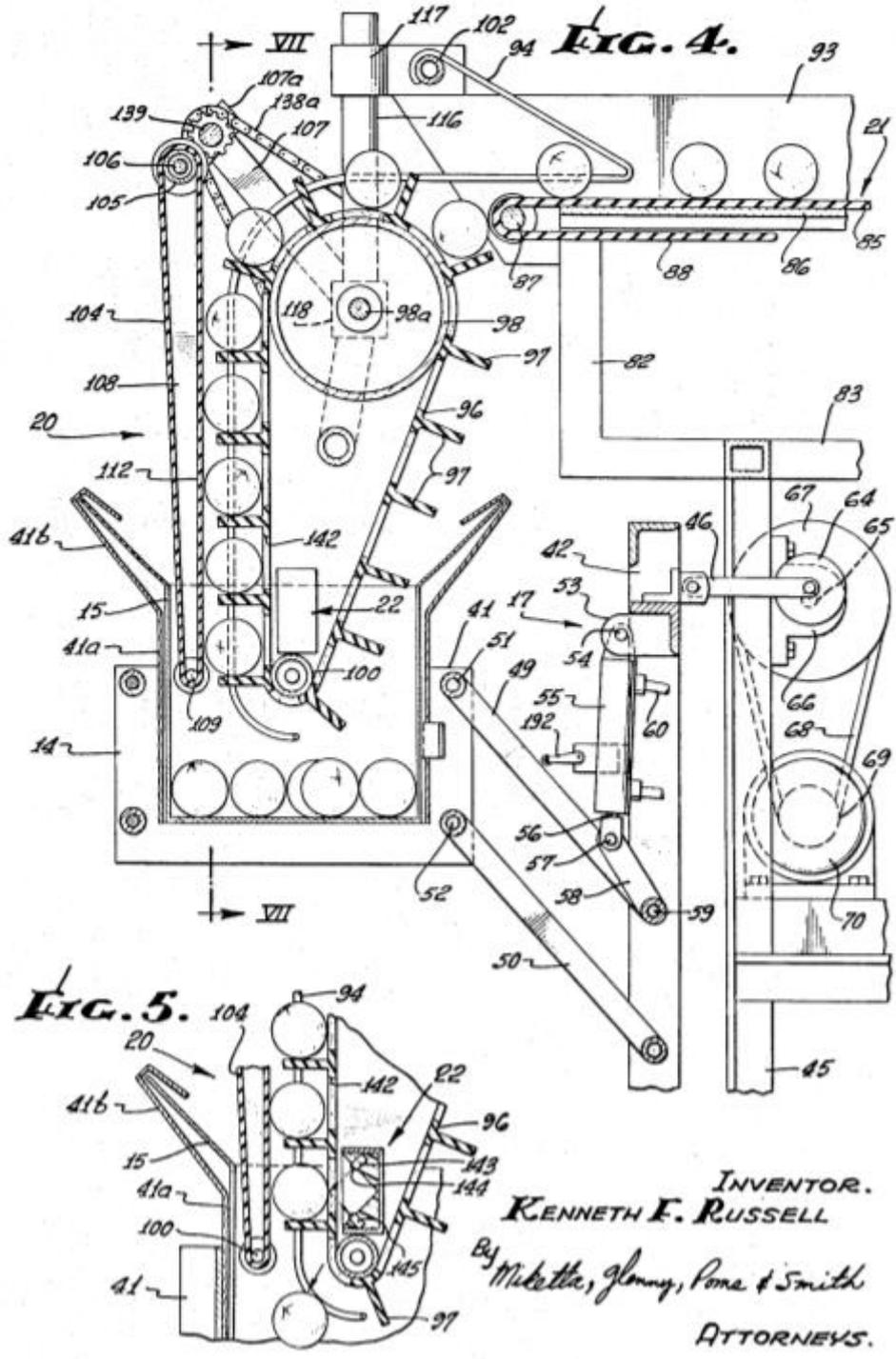


Figura 6 Mecanismo vertical de llenado 9

1.4.4 Maquinas existentes

- IQF RASPBERRY BOX & BAG FILLER ¹⁰
Empresa: Lakewood Process Machinery's

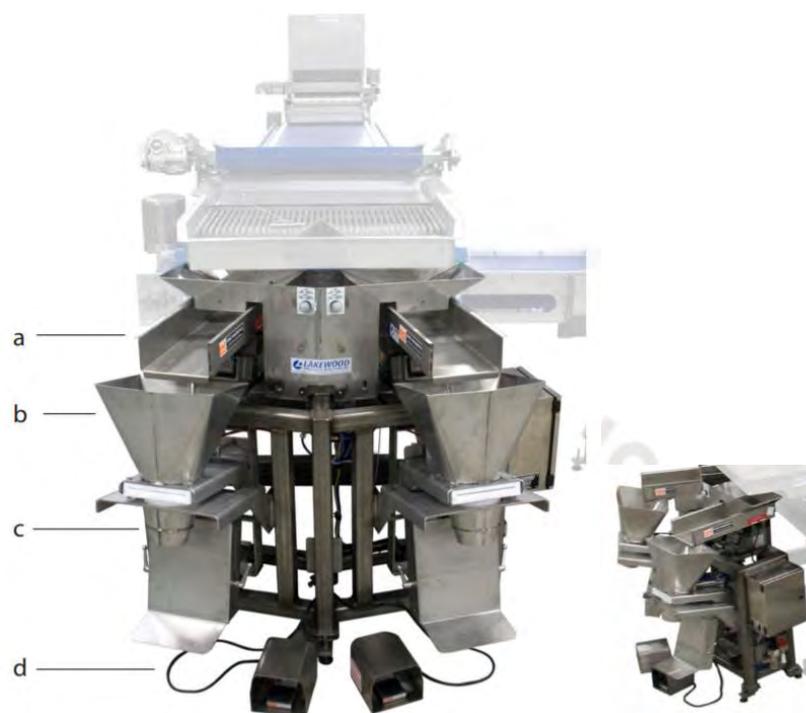


Figura 7 Rasberry Box Machine ¹⁰

- a. Alimentador vibratorio
- b. Tolva pesadora
- c. Embolsado removible
- d. Interruptor, abre la tolva cuando se alcanza el peso requerido

Tabla 5 Características de SP Series Box Filler ¹⁰

Modelo	Estilo	Aprox. Lbs por hora
SP200 Belt Feed	Scale Platform	8000
SP200 Vibratory Feed	Scale Platform	8000
SP250	Weigh-hopper	8000

- CHERRY FILL-BY-WEIGHT CLAMSHELL, BOX & BAG FILLER ¹¹
Empresa: BBC Technologies

¹⁰ Lakewood. (s.f.). RASPBERRY & BLACKBERRY PACKING EQUIPMENT. Obtenido de <http://lakewoodpm.com/wp-content/uploads/2015/01/Lakewood-Process-Machinery-Raspberry-Packing-Equipment.pdf>.

¹¹ BBC Technologies. (s.f.). Obtenido de <http://bbctechnologies.com/cherry-bagger-clamshell-filler/>

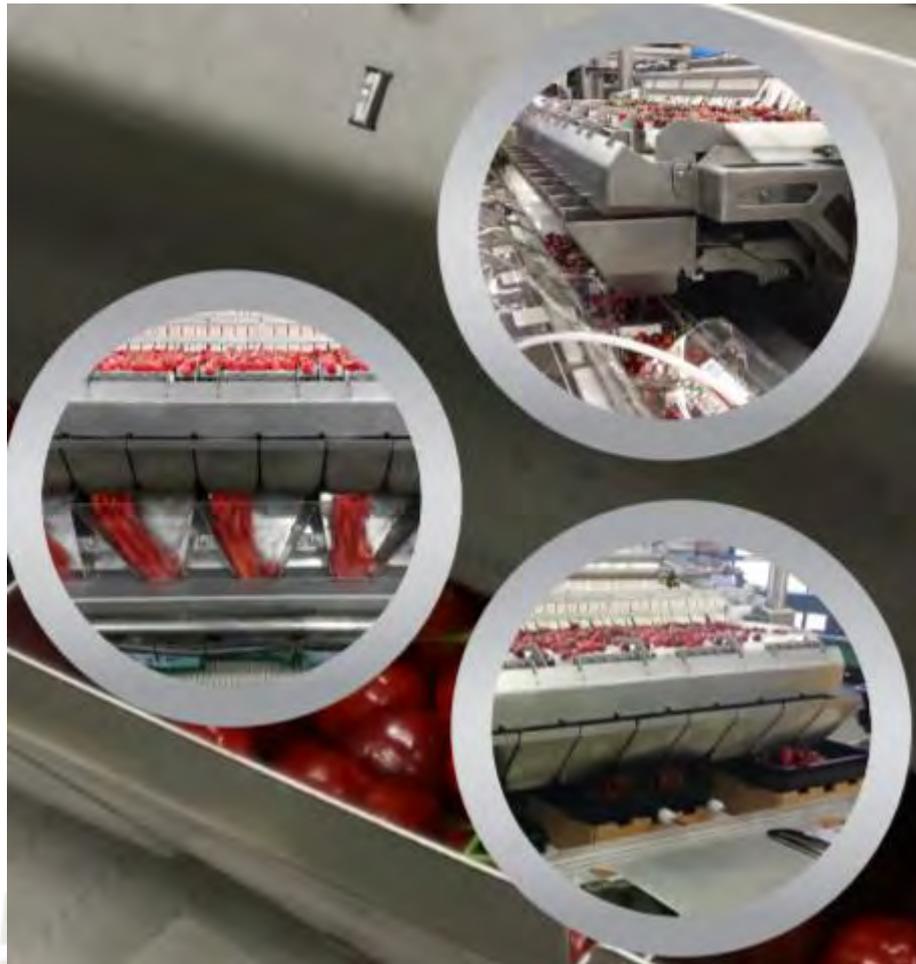


Figura 8 Cherry fill by weight machine ¹¹

Tabla 6 Características de Cherry fill by weight machine ¹¹

Descripción	Velocidades
Caja de cereza de 1lb	80 por minuto
Bolsa de cereza de 1lb	80 por minuto

Posee una interfaz (pantalla táctil) para el usuario en la cual se puede cambiar fácilmente los elementos como el tipo de caja y el peso.

- MULTIHEAD WEIGHER ¹²
 Empresa: Induser Poniente S.L.

¹² Induser. (s.f.). ENVASADORAS. Obtenido de <https://www.induser.es/es/envasadoras> (Lakewood, s.f.)



Figura 9 Multihead weigher machine ¹²

Tabla 7 Características de Multihead weigher machine ¹²

Margen de precisión	+/-1 g
Capacidad	60 pesos/min
Manipulación de frutos delicado	apto

Pantalla visualizadora en directo, en la cual se puede hacer cambios.

- M8 Packing Equipment ¹³
 Empresa: Volmpack



Figura 10 M8 packing equipment¹³

¹³ Volm Companies. (s.f.). Primary Packaging. Obtenido de <https://volmcompanies.com/products/equipment/primary-packaging>

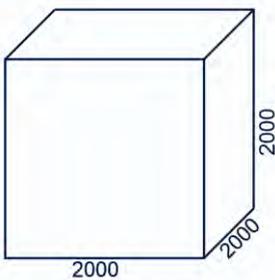
Tabla 8 Característica de M8 ¹³

Descripción	Velocidades
Porción de 1 a 10lb	35 por minuto
Porción de 20lb	18 por minuto

Incluye dos computadoras para realizar diagnósticos o mantenimiento mientras opera la pesadora.

2 DISEÑO CONCEPTUAL

2.1 Requerimiento del sistema

Lista de Exigencias	
Proyecto: ENVASADORA AUTOMÁTICA DE ARÁNDANOS	
D/E	DESCRIPCIÓN
E	<p>FUNCIÓN PRINCIPAL:</p> <p>Embalar arándanos (<i>Vaccinium corymbosum</i>) en un contenedor de acuerdo con un peso establecido, con una velocidad de 60 a 90 kg/h.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <p>Figura 11 Arándano¹⁴</p> <p>Figura 12 Producto comercial¹⁵</p> </div>
E	<p>GEOMETRÍAS:</p> <p>No debe sobrepasar un volumen de 2000x2000x2000 mm.</p> <div style="text-align: center;">  </div>

¹⁴

¹⁵

E	<p>CINEMÁTICA:</p> <p>La velocidad máxima será de 90kg de arándanos por hora. La velocidad variará de acuerdo con el peso configurado por envase.</p>
E	<p>FUERZA:</p> <p>El peso total de la máquina (sin materia prima ingresada) deberá ser menor de 500 kg.</p>
E	<p>ENERGÍA:</p> <p>La máquina se operará con energía eléctrica la cual será proveniente de una fuente monofásica de 220 V y 60 Hz.</p>
E	<p>MATERIA:</p> <p>El producto de entrada será arándanos los cual han pasado por procesos de selección, también se debe considerar el ingreso de polvo, además se debe entregar los clamshell de forma consecutiva.</p>
E	<p>El producto de entrada será clamshell de plástico de forma cuadrada (107x107mm de base).</p>
E	<p>El producto de salida será los clamshell llenos de arándanos de acuerdo con el peso establecido.</p>
E	<p>SEÑALES:</p> <p>La máquina contará con botones de encendido, apagado y un botón de emergencia (botón que detiene todo el proceso que se esté llevando a cabo en la máquina).</p>
E	<p>La máquina se comunicará a través de señales luminosas y sonoras que se activarán cuando la cantidad de envases sea escasa y cuando no existan suficientes arándanos para el llenado de un envase.</p>
E	<p>USO:</p> <p>Industrial (dentro de una pequeña o mediana empresa).</p>
E	<p>Condiciones de operación:</p> <p>Temperatura interna no mayor a 40°C, ambiental no mayor a 30°</p>
E	<p>Humedad no mayor a 50%</p>
E	<p>Altura máxima: 2500 msnm</p>
E	<p>CONTROL:</p> <p>La máquina será encendida y apagada por un operario de forma manual.</p>
E	<p>La carga de los arándanos se realizará por una máquina anterior como una faja transportadora.</p>

E	<p>ELECTRÓNICA:</p> <p>Un sistema electrónico capaz de controlar los sensores y actuadores.</p>
E D	<p>SOFTWARE:</p> <p>Códigos documentados y uso de software libre.</p> <p>Deberá contar con una interfaz que permita configurar la máquina para realizar una tarea determinada.</p>
E E	<p>SEGURIDAD:</p> <p>El diseño de la máquina no deberá de poner en riesgo al usuario.</p> <p>Bordes y esquinas no filosas.</p>
E	<p>ERGONOMÍA:</p> <p>Todos los dispositivos, mecanismos y herramientas de accionamiento estarán al alcance del operario (adaptados a sus características físicas) siguiendo las siguientes normas:</p> <p>“Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico” la cual fue aprobada por el Decreto Supremo N° 009-2005-TR.</p> <p>Norma ISO 11228 (Manejo Manual de Cargas)</p> <p>Norma ISO 6385 (Principios Ergonómicos para proyectar sistemas de trabajo)</p> <p>Norma EN 614 (Seguridad de las máquinas - Principios de diseño ergonómico)</p> <p>Se mencionan los siguientes puntos:</p> <p>Peso máximo de carga: 25 kg para hombres y 15 kg para mujeres.</p> <p>El transporte de material será realizado con carretas u otros equipos mecánicos.</p> <p>Se cumplirán con todos los requisitos especificados por la norma referente a cuando las labores se realizan de pie o sentados</p>
D D E	<p>FABRICACIÓN:</p> <p>Las piezas de diseño serán realizadas en un taller de manufactura local lo cual reducirá los costos de fabricación.</p> <p>Se utilizarán materiales de adquisición en el mercado local.</p> <p>Las zonas que estén en contacto con el fruto serán de acero inoxidable del tipo 304 (que es usado en el procesamiento de alimentos).</p>
E	<p>TRANSPORTE:</p> <p>Su transporte hacia o desde la planta, podrá ser en un camión que tenga 2mx2m de espacio, con sistema de izaje.</p>

E	MANTENIMIENTO: Acceso de repuestos en el mercado local, para un mantenimiento periódico.
D	Se deberá realizar una limpieza diaria a la maquinaria, la cual no tomará más de 2 hora.
D	CONTROL DE CALIDAD: Se guardará los datos del peso de cada envase, para un control de calidad semanalmente.
D	Se trabajará con proveedores que cumplen con el proceso de calificación controlado por ISO 9001.
E	COSTOS: La máquina no podrá exceder de un precio de \$10,000 sin considerar el costo de diseño.

2.2 Estructura de funciones

2.2.1 Caja negra

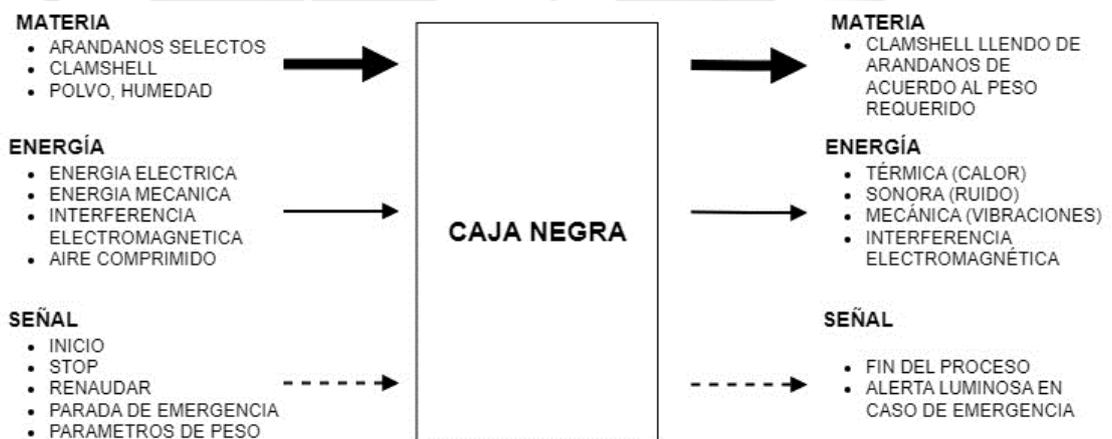


Figura 13 Caja Negra

2.2.1.1 Descripción

- Entrada

- **Materia:**
Arándanos seleccionados y limpios
Clamshells abiertos con un ángulo de 180°, dispuesto de forma horizontal.
Polvo, humedad.
- **Energía:**
Energía eléctrica:

Se necesitará energía eléctrica monofásica (220v a 60Hz) para el funcionamiento del sistema diseñado.

- Mecánica (Fuerza hombre):
Alimentación de arándanos
Mantenimiento de la máquina
- Interferencia electromagnética (EMI):
Es la energía que origina respuestas indeseables puede degradar, interrumpir o limitar el rendimiento del sistema.
- Señal:
Señal de peso: Se proporcionará el peso de arándanos que deberá tener cada envase a través de una interfaz.
Señal de inicio: Dará inicio al funcionamiento del sistema, se activará al presionar un botón.
Señal de detención: Esta señal hará que el motor se detenga, se activará al presionar un botón.
Señal de emergencia: en caso de una obstrucción en la dosificación, se detendrá de forma inmediata el motor (el tiempo de respuesta máximo es de 30 ms) a su vez se emitirá una señal visual y sonora.

- **Salida**

- Materia:
Clamshell llenos de arándanos según el peso proporcionado.
- Energía:
Energía térmica: Energía resultante en forma de calor.
Sonora: Se emitirá ruido el cual no debe exceder a lo 40B según Estándar Nacional de Calidad Ambiental para el Ruido.
Interferencia electromagnética (EMI): Es la energía que origina respuestas indeseables puede degradar, interrumpir o limitar el rendimiento del sistema.
- Señal:
Se emitirá una señal luminosa cuando los niveles de clamshell o arándanos sean bajos.

2.2.2 Dominio mecánico

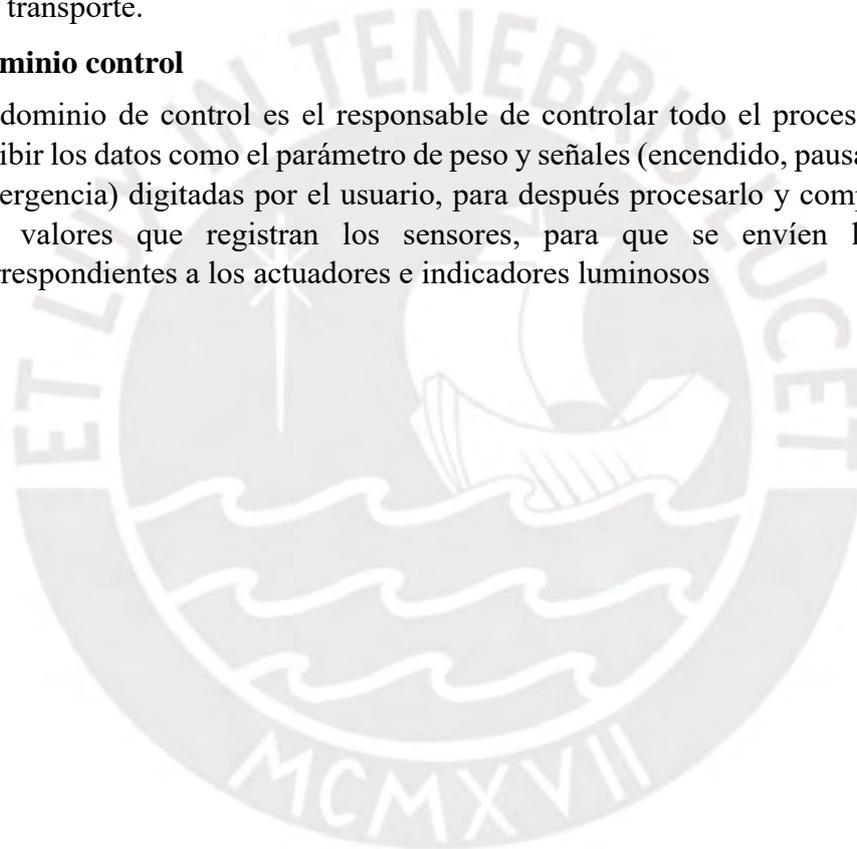
Se encarga de recibir los arándanos y clamshell, almacenarlos. Posteriormente, organizar los envases, es decir, se separan para su transporte a la fase de dosificación. En esta etapa, se dosifican los arándanos de acuerdo con el peso predeterminado por el usuario, colocando cada porción en un recipiente. Culminando el proceso con la expulsión del producto hacia una faja transportadora.

2.2.3 Dominio electrónico

Suministra la energía hacia los sensores, procesadores, drivers y actuadores. Además, es el encargado de detectar la presencia de arándanos y clamshells, como también de sensar el peso de los arándanos, verificar si el clamshell se encuentra en una posición correcta en el transporte, como también detectar las posiciones del transporte.

2.2.4 Dominio control

El dominio de control es el responsable de controlar todo el proceso, es decir, recibir los datos como el parámetro de peso y señales (encendido, pausa, reanudar, emergencia) digitadas por el usuario, para después procesarlo y compararlo con los valores que registran los sensores, para que se envíen las señales correspondientes a los actuadores e indicadores luminosos



2.2.5 Dominio global

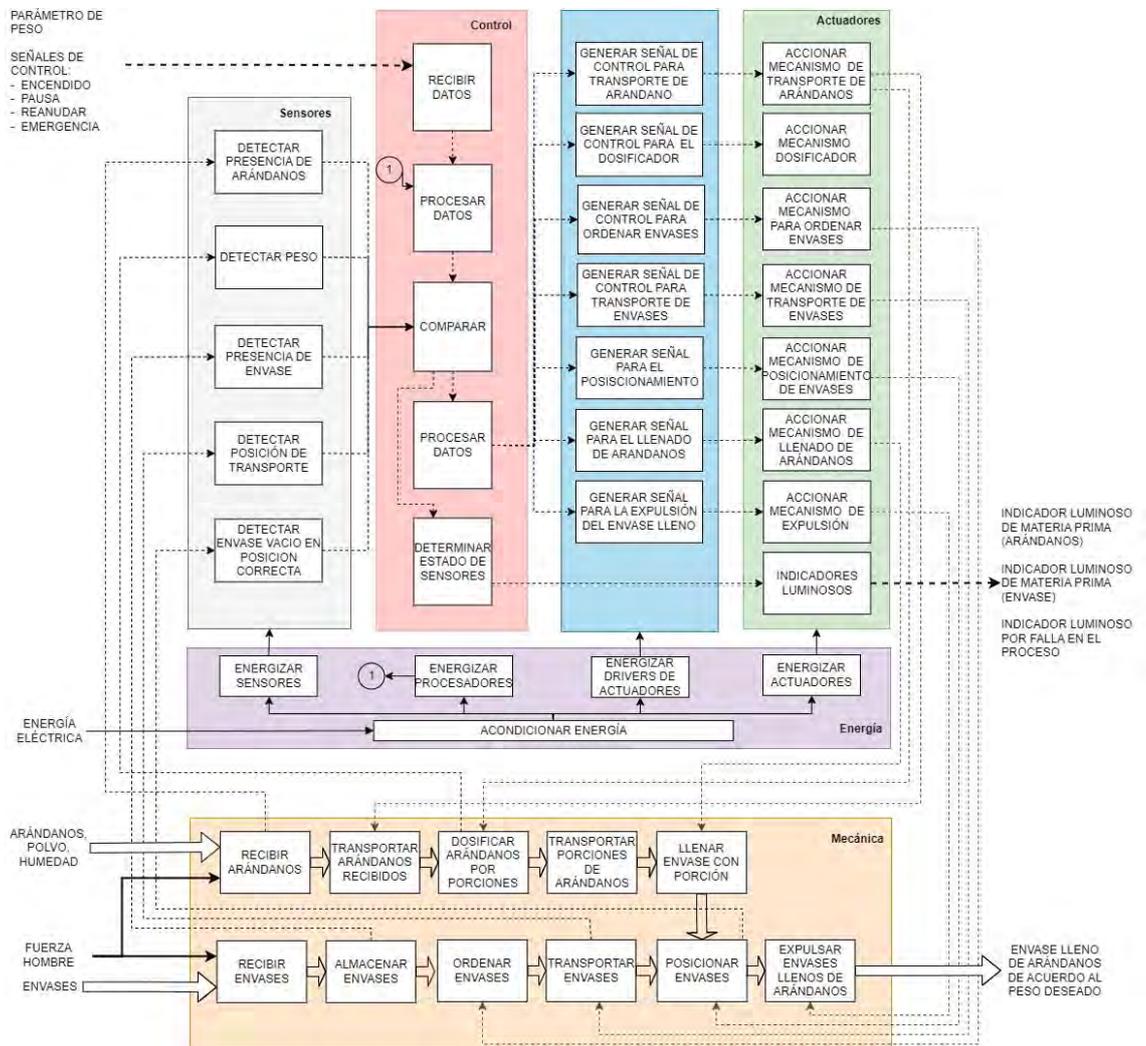


Figura 14 Estructura global de funciones del sistema

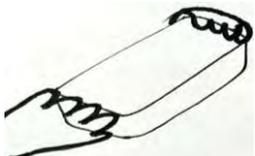
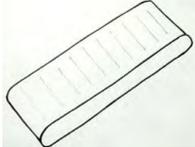
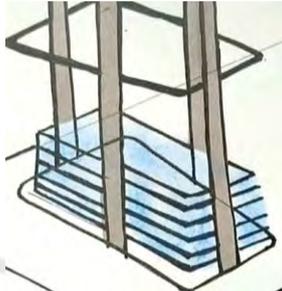
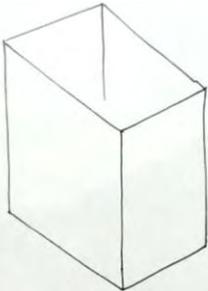
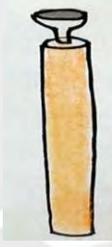
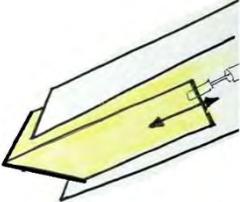
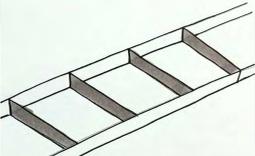
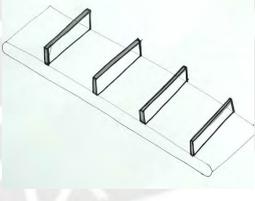
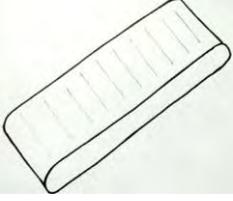
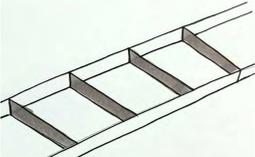
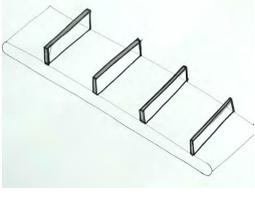
Fuente propia

2.3 Matriz morfológica

De acuerdo con la norma VDI 2225, se desarrolló la matriz morfológica de Zwicky, que consiste en combinar diferentes alternativas de solución para cada función, luego se comparó con criterios establecidos y se eligió la solución óptima, la cual es la combinación con mayor puntaje.

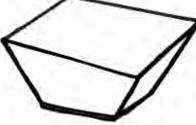
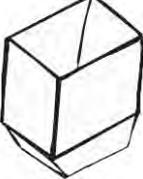
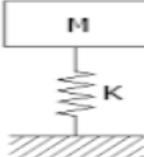
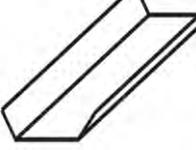
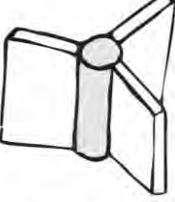
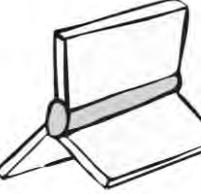
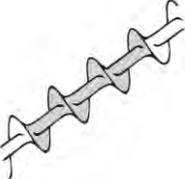
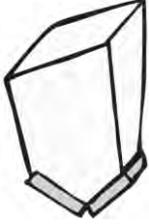
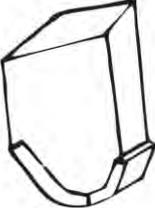
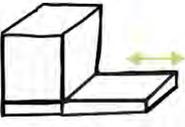
2.3.1 Dominio mecánico

2.3.1.1 Dominio mecánico del dispensador y transporte

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Recibir envases	Manos  	Brazo robot 	Faja transportadora 
Almacenar envases	4 perfiles unidos  	Caja metálica  	
Ordenar envases	Ventosa  	Mecanismo de empuje para separar  	
Transportar envases recibidos	Faja transportadora con separación y lateral  	Faja transportadora con separación  	Faja transportadora 
Posicionar envases	Faja transportadora con separación y lateral  	Faja transportadora con separación  	Alineador metálico 

Leyenda: Solución 1:  Solución 2:  Solución 3: 

2.3.1.2 Dominio mecánico dosificador

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Recibir arándano	Tolva rectangular 	Tolva piramidal  	Tolva cónica  	
Generar movimiento para la dosificación de arándano	Vibraciones  	Motor DC 	Motor AC  	
Dosificar	Canal rectangular  	Paleta con eje horizontal  	Paleta con eje vertical  	Tornillo sin fin  
Generar movimiento para abrir compuerta	Actuador neumático lineal  	Servomotor  	Motor DC  	Motor a pasos  
Dosificar arándanos en los envases	Envase con dos tapas  	Envase con tapa curvada  	Envase con tapa recta  	Envase con tapa deslizante  

Leyenda:

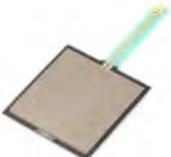
Solución 1: 

Solución 2: 

Solución 3: 

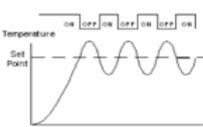
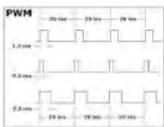
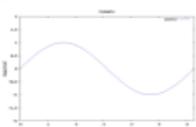
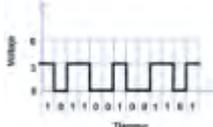
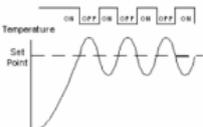
2.3.2 Dominio electrónico

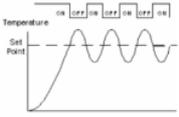
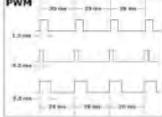
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Suministrar energía	Fuente 220v 60Hz monofásica 	Paneles solares 		
Acondicionar energía	Fuente Switching 	Transformador rectificador 	Regulador electrónico de tensión 	UPS 
Ingresar datos	Pulsadores 	PLC 	Pantalla táctil 	
Sensor de presencia para clamshell	Sensor ultrasonido 	Sensor fotoeléctrico 		
Sensor para detectar posición correcta de clamshell	Sensor ultrasonido 	Sensor fotoeléctrico 		
Sensor de presencia para arándanos	Sensor ultrasonido 	Sensor infrarrojo 	Sensor capacitivo 	Sensor inductivo 
Sensor para detectar posición del transporte	Fin de carrera magnética 	Sensor capacitivo 	Sensor inductivo 	

Sensor de peso	Celda de carga  Celdas de carga	Balanza digital 	Piezoelectrico 	Resistivo 
Indicadores luminosos	Torreta  Torreta	Foco 	Luz LED  Luz LED	
Indicadores sonoros	Buzzer  Buzzer	Bocina 		

Leyenda:
 Solución 1:  Solución 2:  Solución 3: 

2.3.3 Dominio control

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Controlar proceso	PLC  PLC	Microcontrolador Tiva  Microcontrolador Tiva	Microcontrolador Arduino  Microcontrolador Arduino	Raspberry PI  Raspberry PI
Controlar vibración	On/off  On/off	PWM  PWM	Analógico  Analógico	Digital  Digital
Controlar peso	On/off  On/off	Digital  Digital		

Encender indicadores visuales y sonoros	<p>On/off </p> 	<p>PWM  </p> 		
---	---	--	--	--

Leyenda:

Solución 1: 

Solución 2: 

Solución 3: 

2.4 Conceptos de solución óptimos de cada dominio

Se realizó una evaluación técnico-económica por el método de evaluación de proyectos mecánicos según VDI 2225 para cada dominio con el fin de encontrar la solución óptima.

2.4.1 Concepto solución dominio electrónico

2.4.1.1 Evaluación técnico-económica



Tabla 9 Evaluación técnica del dominio electrónico

Dominio electrónico - Evaluación de Proyectos			Trabajo de fin de carrera							
Valor Técnico (Xi)										
Proyecto: Dispensadora de clamshell y dosificadora de arándanos										
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
Variantes de Concepto			S1		S2		S3		Solución Ideal	
N°	Criterio de evaluación	g	■		■		■			
			p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	4	4	16	4	16	3	12	4	16
2	Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	4	12
3	Rapidez	3	2	6	2	6	2	6	4	12
4	Calidad de trabajo	3	3	9	3	9	3	9	4	12
5	Complejidad	4	2	8	2	8	4	16	4	16
6	Lista de exigencias	4	3	12	3	12	3	12	4	16
7	Precisión	3	3	9	3	9	2	6	4	12
8	Ergonomia	3	3	9	3	9	3	9	4	12
9	Fabricacion	4	3	12	2	8	3	12	4	16
10	Montaje	3	2	6	3	9	2	6	4	12
11	Automatización	3	3	9	3	9	3	9	4	12
12	Mantenimiento	4	3	12	3	12	3	12	4	16
	Puntaje máximo	41	34	117	34	116	34	118	48	164
	prom	3.417	2.833	9.75	2.833	9.667	2.833	9.833	4	13.67
	pmax	4	4	16	4	16	4	16	4	16
	Valor tecnico (X)		0.708	0.609	0.708	0.604	0.708	0.615	1	0.854

Tabla 10 Evaluación económica del dominio electrónico

Dominio electrónico - Evaluación de Proyectos			Trabajo de fin de carrera							
Valor Económico (Yi)										
Proyecto: Dispensadora de clamshell y dosificadora de arándanos										
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
			S1		S2		S3		Solución Ideal	
			■		■		■			
N°	Criterio de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Material	3	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Productividad	3	4	12	4	12	4	12	4	12
3	Facilidad de montaje	4	2	8	2	8	3	12	4	16
4	Fácil mantenimiento	4	2	8	2	8	3	12	4	16
5	Estabilidad	4	3	12	2	8	2	8	4	16
6	Fácil adquisición de los materiales de fabricación	3	2	6	2	6	3	9	4	12
7	Costos de diversos	3	2	6	2	6	3	9	4	12
8	Costo de tecnología	4	1	4	1	4	4	16	4	16
	Puntaje maximo	28	19	65	18	61	25	87	32	112
	prom	3.5	2.375	8.125	2.25	7.625	3.125	10.88	4	14
	pmax	4	4	12	4	12	4	16	4	16
	Valor económico (Y)		0.594	0.677	0.563	0.635	0.781	0.68	1	0.875



Figura 15 Evaluación con pesos ponderados del Dominio electrónico

En la figura 13 se muestra la comparación entre las tres posibilidades con pesos ponderados con una línea recta ideal, puesto que sus pesos en el aspecto económico y en el técnico están equilibrados. La mejor opción es la que más se acerque a la línea ideal y se ubique hacia arriba y a la derecha. Se escoge finalmente la alternativa tres como el proyecto preliminar óptimo, ya que presenta mayor cercanía a la línea de equilibrio, además se encuentra más cercano a la esquina superior derecha que es la región que sintetiza las características ideales.

2.4.2 Concepto solución dominio control

2.4.2.1 Evaluación técnico-económica

Tabla 10 Evaluación técnica del dominio de control

Dominio de control - Evaluación de Proyectos										Trabajo de fin de carrera	
Valor Técnico (Xi)											
Proyecto: Dispensadora de clamshell y dosificadora de arándanos											
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación											
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos											
Variantes de Concepto			S1		S2		S3		Solución Ideal		
Nº	Criterio de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Función	4	4	16	4	16	4	16	4	16	
2	Seguridad	3	3	9	3	9	4	12	4	12	
3	Rapidez	3	2	6	2	6	3	9	4	12	
4	Calidad de trabajo	3	4	12	4	12	4	12	4	12	
5	Complejidad	4	2	8	2	8	3	12	4	16	
6	Lista de exigencias	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
7	Precisión	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
8	Ergonomía	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
9	Fabricacion	4	3	12	2	8	3	12	4	16	
10	Montaje	3	2	6	3	9	3	9	4	12	
11	Automatización	3	3	9	3	9	4	12	4	12	
12	Mantenimiento	4	3	12	3	12	4	16	4	16	
	Puntaje máximo	41	35	120	35	119	41	140	48	164	
	prom	3.417	2.917	10	2.917	9.917	3.417	11.67	4	13.67	
	pmax	4	4	16	4	16	4	16	4	16	
	Valor tecnico (X)		0.729	0.625	0.729	0.62	0.854	0.729	1	0.854	

Tabla 11 Evaluación económica del dominio de control

Dominio de control - Evaluación de Proyectos			Trabajo de fin de carrera							
Valor Económico (Yi)										
Proyecto: Dispensadora de clamshell y dosificadora de arándanos										
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
			S1		S2		S3		Solución Ideal	
			■		■		■			
N°	Criterio de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Material	3	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Productividad	3	3	9	3	9	3	9	4	12
3	Facilidad de montaje	4	2	8	2	8	3	12	4	16
4	Fácil mantenimiento	4	3	12	3	12	3	12	4	16
5	Estabilidad	4	3	12	3	12	3	12	4	16
6	Fácil adquisición de los materiales de fabricación	3	3	9	3	9	2	6	4	12
7	Costos de diversos	3	3	9	3	9	3	9	4	12
8	Costo de tecnología	3	4	12	4	12	2	6	4	12
	Puntaje maximo	27	24	80	24	80	22	75	32	108
	prom	3.375	3	10	3	10	2.75	9.375	4	13.5
	pmax	4	4	12	4	12	3	12	4	16
	Valor económico (Y)		0.75	0.833	0.75	0.833	0.917	0.781	1	0.844



Figura 16 Evaluación con pesos ponderados del dominio de control

Se elige la solución 3 debido a que se encuentra más cerca de la línea ideal de acuerdo con la figura 16.

2.4.3 Concepto solución dominio mecánico

En base a la matriz morfológica de Zwicky, se identificó tres conceptos de solución en el dominio mecánico, cada concepto resultó de la unión de cada alternativa de solución para cada función, los cuales se detallan a continuación.

- **Concepto de solución 1**

El primer concepto de solución está basado en la dosificación por medio de un tornillo sin fin. El ingreso se realiza a través de una tolva piramidal, los arándanos se desplazan hacia el canal circular y el tornillo sin fin, el cual dosifica. La porción de arándanos por envase se almacena en un envase con una tapa recta el cual se abre para descargar los arándanos al envase.

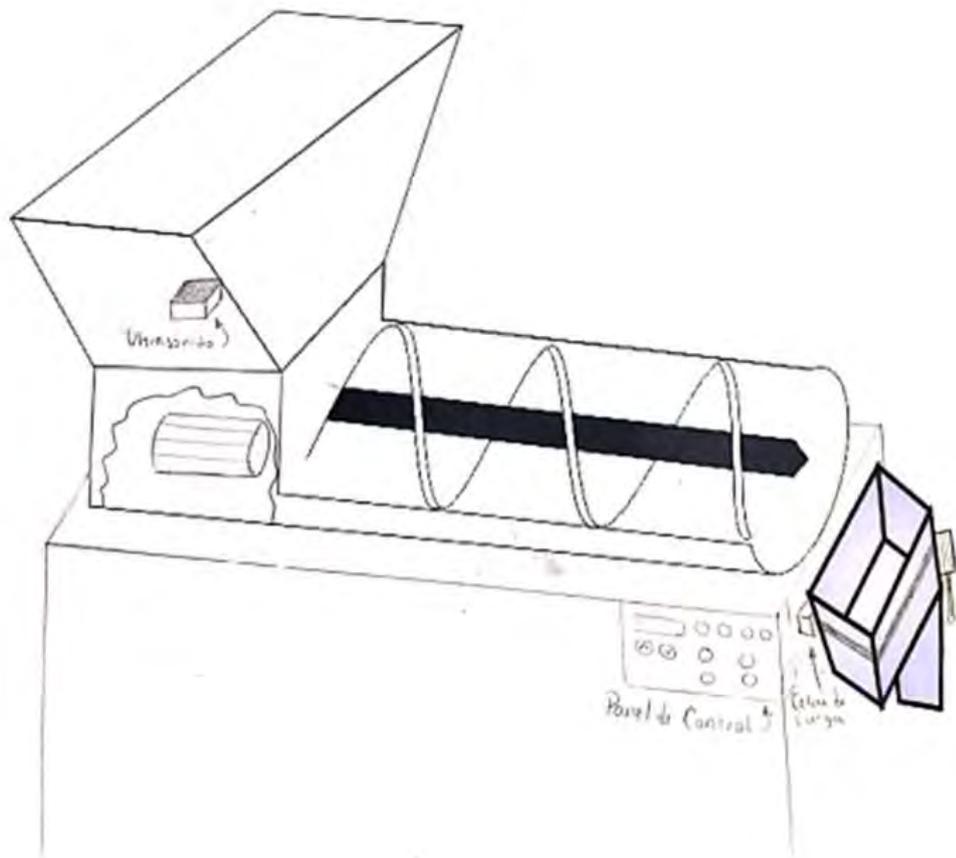


Figura 17 Concepto solución 1 dosificación

Para el dispensador de clamshell se eligió un almacenamiento cerrado (caja metálica) y un mecanismo que se acerca y se aleja a la pila de clamshells, haciendo que los clamshell caiga por gravedad al sistema de transporte de uno en uno.

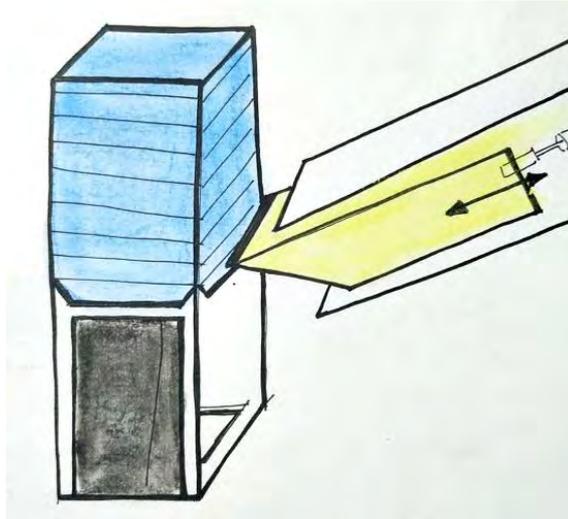


Figura 18 Concepto solución 1 dispensador

Para el sistema de transporte se eligió una faja transportadora la cual tiene divisiones exactas para que se posicione cada clamshell.

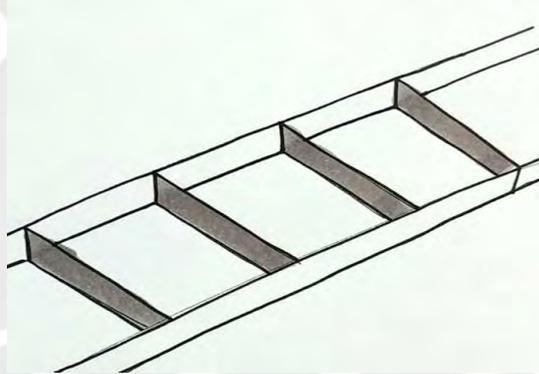


Figura 19 Concepto solución 1 transporte

- **Concepto de solución 2**

El segundo concepto solución se basa en el movimiento vibratorio para la dosificación del arándano, el producto se traslada por un canal trapezoidal. Al comienzo del canal se conecta un sistema vibratorio para generar pequeñas amplitudes de vibraciones y para desplazar los arándanos hacia el envase prismático, cuando llegue al peso establecido a través de una compuerta deslizante se descarga los arándanos hacia el envase.



Figura 20 Concepto solución 2 dosificaciones

Los clamshell se almacenan por medio de 4 perfiles unidos en forma rectangular, para el dispensador se usa dos ventosas las cuales ejecutan una fuerza de succión hacia la pila de clamshell, y para el transporte se usa una faja transportadora con divisiones, en los extremos se añade una barrera para que el clamshell permanezca en la posición deseada.

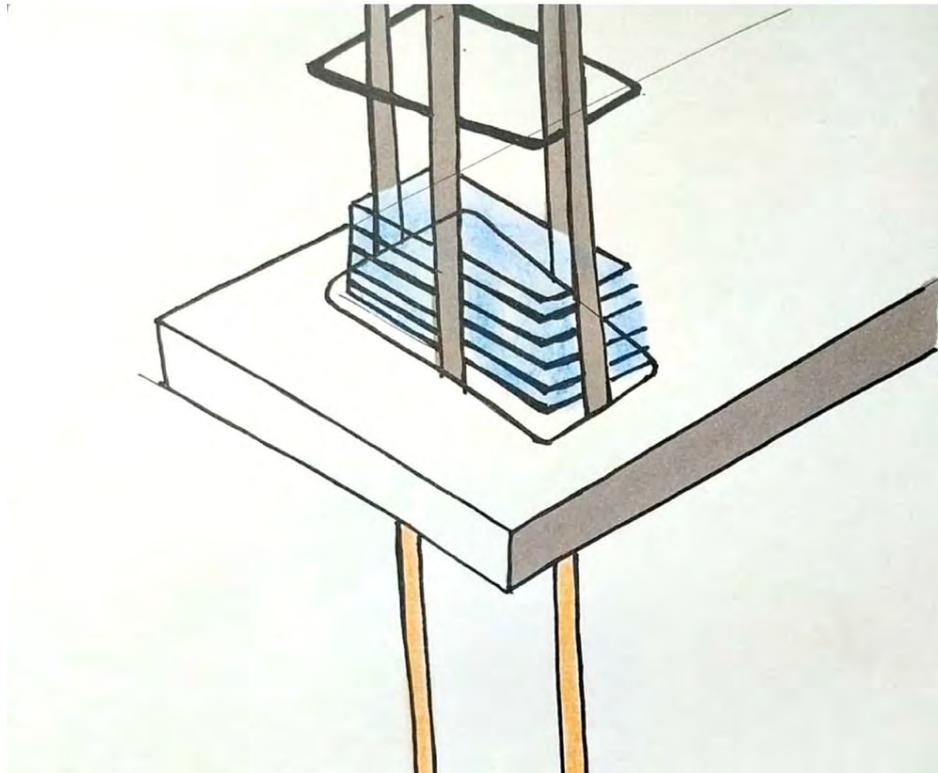


Figura 21 Concepto solución 2 dispensador

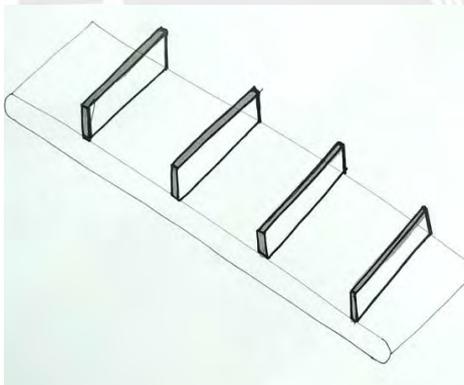


Figura 22 Concepto solución 2 transporte

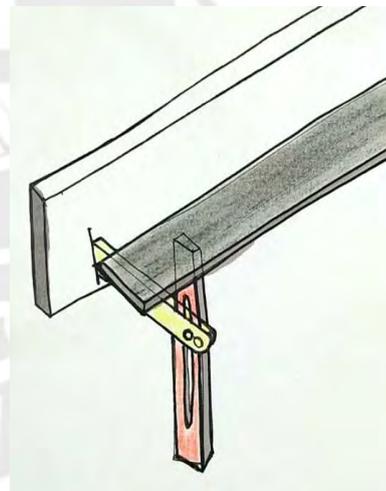


Figura 23 Barreras

- **Concepto de solución 3**

Este concepto solución al igual que el número dos, se realiza por movimiento vibratorio. Los arándanos entran manualmente por una tolva piramidal, luego los arándanos se trasladan al canal trapezoidal por medio de un movimiento vibratorio el cual origina que los arándanos se desplacen hacia el envase prismático, cuando la celda de carga llega al peso establecido se cierra la compuerta de la parte superior, la cual restringe el paso de los arándanos hacia el envase prismático, Finalmente, se abre la compuerta (dos tapas) del envase prismático para descargar el fruto al envase.

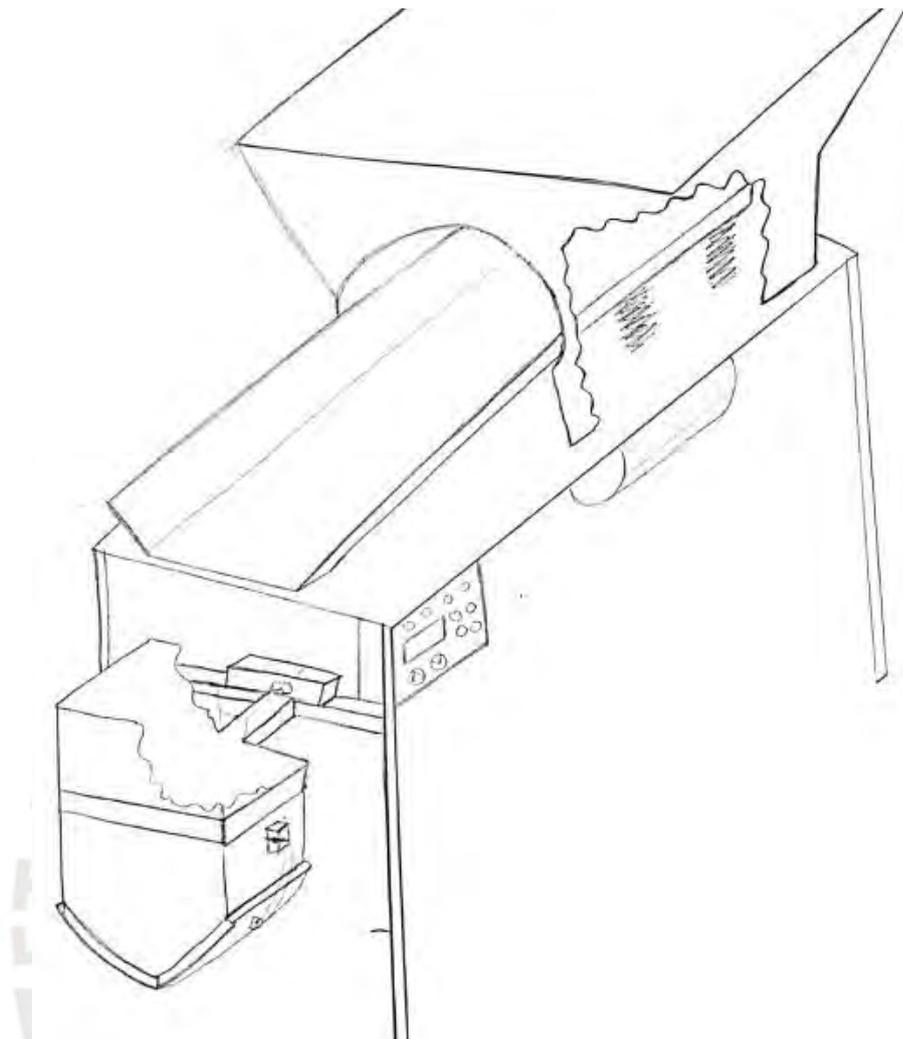


Figura 24 Concepto solución 3 dosificaciones

Para el dispensado de los clamshell se eligió la misma solución que el concepto de solución 2.

2.4.3.1 Evaluación técnico-económica

Tabla 12 Evaluación técnica del dominio mecánico

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos										Trabajo de fin de carrera	
Valor Técnico (Xi)											
Proyecto: Dispensadora de clamshell y dosificadora de arándanos											
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación											
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos											
Variantes de Concepto			S1		S2		S3		Solución Ideal		
Nº	Criterio de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Función	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
2	Seguridad	3	2	6	2	6	3	9	4	12	
3	Rapidez	3	2	6	2	6	3	9	4	12	
4	Calidad de trabajo	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
5	Complejidad	4	2	8	3	12	2	8	4	16	
6	Lista de exigencias	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
7	Precisión	3	3	9	2	6	3	9	4	12	
8	Ergonomía	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
9	Fabricacion	4	3	12	2	8	3	12	4	16	
10	Montaje	3	2	6	3	9	2	6	4	12	
11	Automatización	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
12	Mantenimiento	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
	Puntaje máximo	41	32	110	32	110	34	116	48	164	
	prom	3.417	2.667	9.167	2.667	9.167	2.833	9.667	4	13.67	
	pmax	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
	Valor tecnico (X)		0.889	0.764	0.889	0.764	0.944	0.806	1	0.854	

Tabla 13 Evaluación económica del dominio mecánico

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos				Trabajo de fin de carrera						
Valor Económico (Yi)										
Proyecto: Dispensadora de clamshell y dosificadora de arándanos										
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
N°	Criterio de evaluación	g	S1		S2		S3		Solución Ideal	
			p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Material	3	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Productividad	3	2	6	3	9	3	9	4	12
3	Facilidad de montaje	4	2	8	3	12	3	12	4	16
4	Fácil mantenimiento	4	1	4	2	8	2	8	4	16
5	Estabilidad	4	3	12	2	8	2	8	4	16
6	Fácil adquisición de los materiales de fabricación	3	2	6	2	6	3	9	4	12
7	Costos de diversos	3	3	9	3	9	3	9	4	12
8	Costo de tecnología	3	2	6	2	6	4	12	4	12
	Puntaje maximo	27	18	60	20	67	23	76	32	108
	prom	3.375	2.25	7.5	2.5	8.375	2.875	9.5	4	13.5
	pmax	4	3	12	3	12	4	12	4	16
	Valor económico (Y)		0.75	0.625	0.833	0.698	0.719	0.792	1	0.844



Figura 25 Evaluación con pesos ponderados del dominio mecánico

En la figura 25 se observa que la solución 3 es la que se encuentra más próxima a la línea de equilibrio entre valores económicos y técnicos, además presenta una mayor cercanía a la esquina superior derecha que es la región que simboliza las características ideales.

2.4.4 Desarrollo de soluciones

Para llegar al desarrollo del sistema final, se pasó por un proceso iterativo de alternativas de solución cuando se presentaba un problema, en las siguientes líneas se detalla el proceso.

Para el sistema de transporte, primero se optó por el uso de una faja transportadora (figura 26), la cual iba desde el dispensado hacia la dosificación; sin embargo, incorporar las ventosas para la absorción de clamshell, resultaba imposible ya que se necesitaba dos agujeros en la faja transportadora para que suba y baje las ventosas.

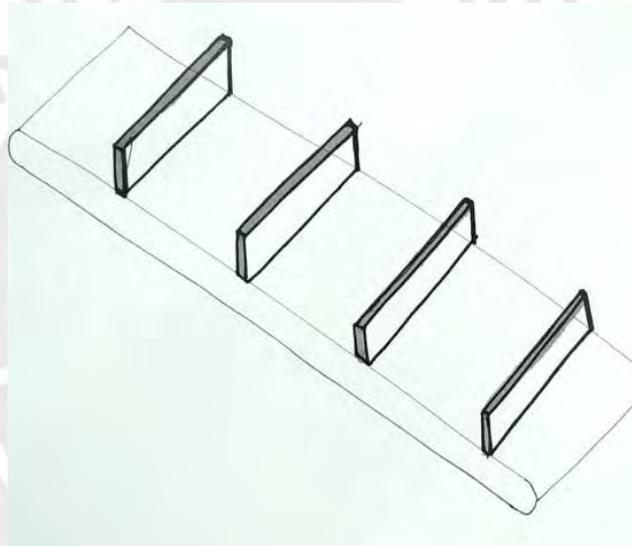


Figura 26 Faja transportadora

Entonces se rediseñó el transporte por medio de cadenas. Dos cadenas (figura 27) sujetan una tapa del clamshell donde se llena los arándanos mientras la otra capa estaría apoyada mediante una varilla.

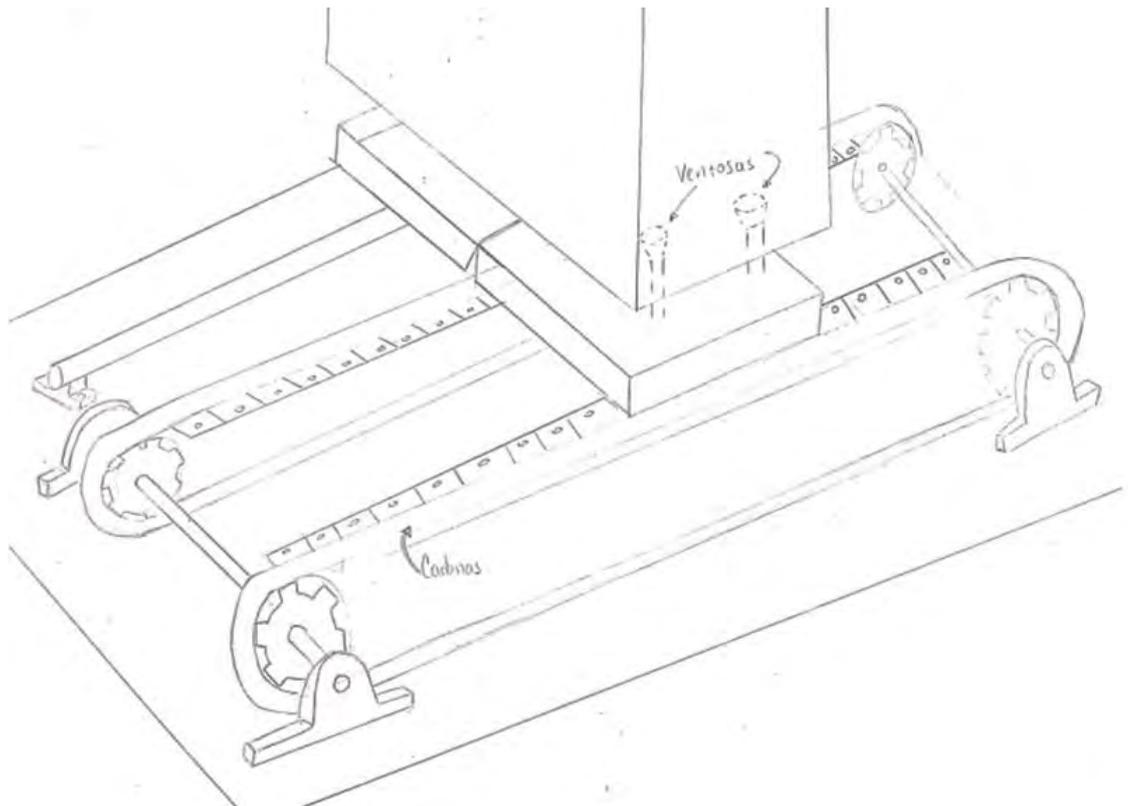


Figura 27 Transporte con cadenas

Para el sistema del dispensador de clamshell, se utilizó ventosas, sin embargo, era necesario adicionar un mecanismo para suspender y garantizar que el retiro de los *clamshell* sea uno por uno, debido a esto se diseñó una palanca dosificadora con un resorte (figura 28), al momento que la ventosa haga fuerza sobre el dispensador la palanca permitirá el retiro del clamshell y cuando no ejerza ninguna fuerza las palancas impedirán la caída de la pila de *clamshell*.

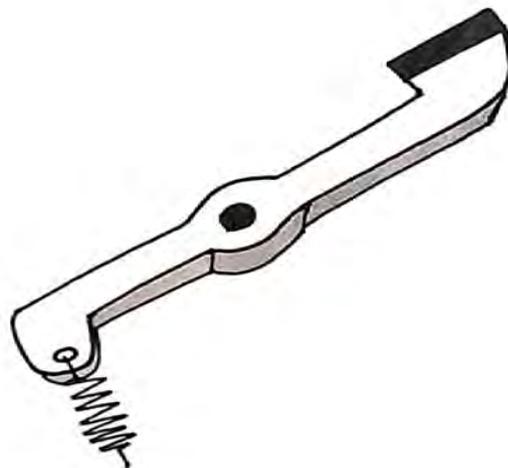


Figura 28 Palanca dosificadora

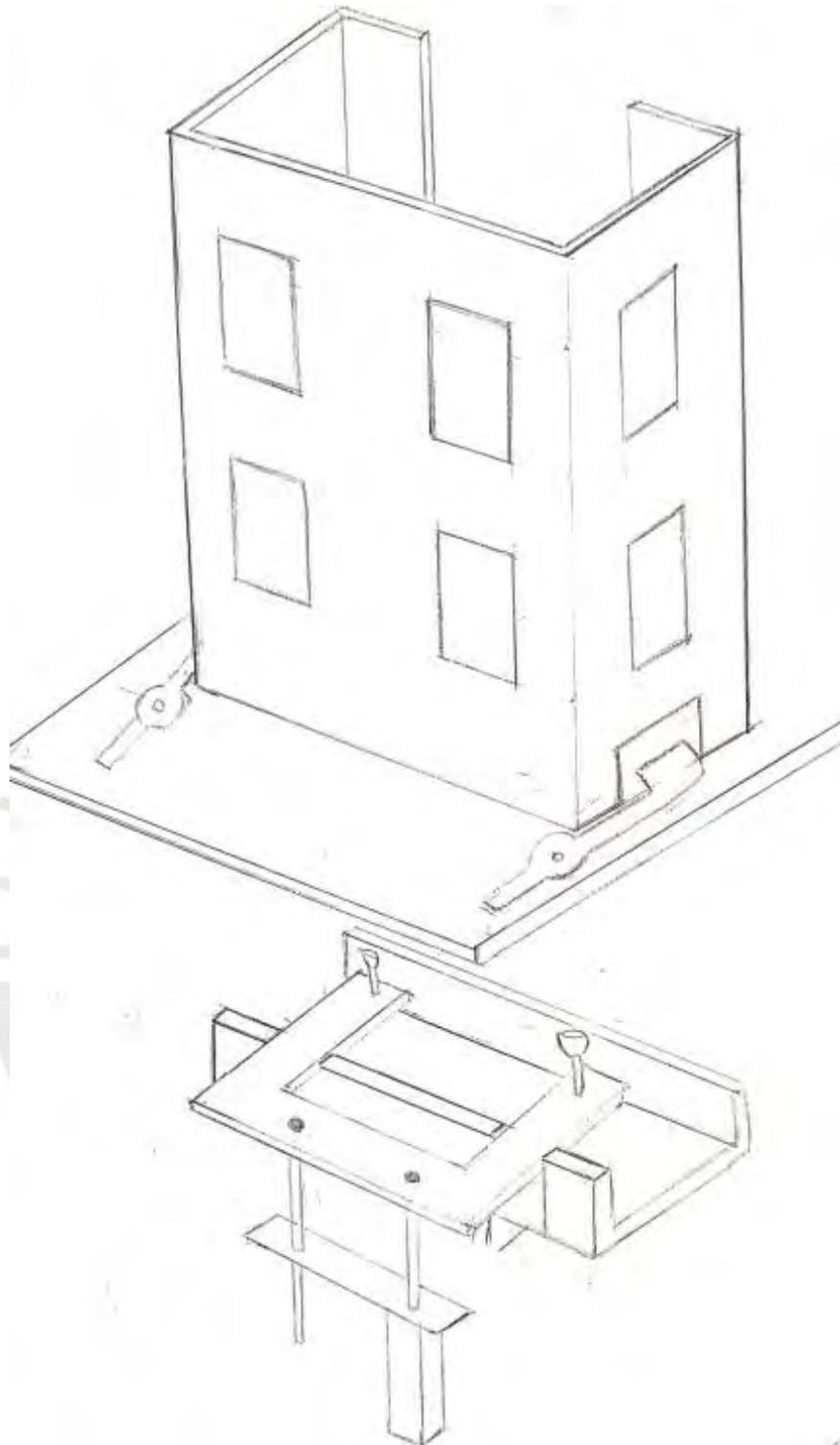


Figura 29 Dispensador de clamshell

Debido que la longitud del transporte iba a ser menor a un metro, se decidió rediseñar el sistema de transporte a un carro transportador, es decir un actuador neumático sin vástago al cual se le incorporó una base en la cual se pueda transportar el clamshell, esta solución tiene mejores beneficios que las anteriores, debido que es estable, cumple con los requerimientos y tiene una velocidad alta (máximo 30m/s) para que el proceso sea rápido y lo óptimo posible.

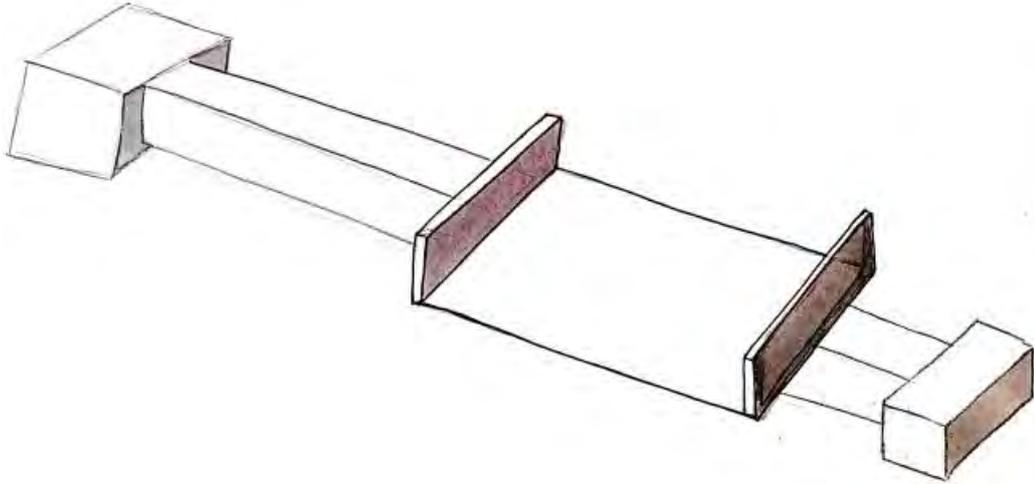


Figura 30 Carro transportados

Como se seleccionó la opción de neumática, se cambiaron los motores eléctricos y servomotores elegidos por pistones y cilindros neumáticos, para optimizar el recurso del aire comprimido.

En el sistema de dosificado, la primera propuesta fue utilizar una brida acoplada al motor para realizar un movimiento rectilíneo, la brida se unía con la bandeja a través de una biela, además la bandeja estaría restringida por un canal en cada extremo para garantizar que el movimiento sea horizontal (figura 31).

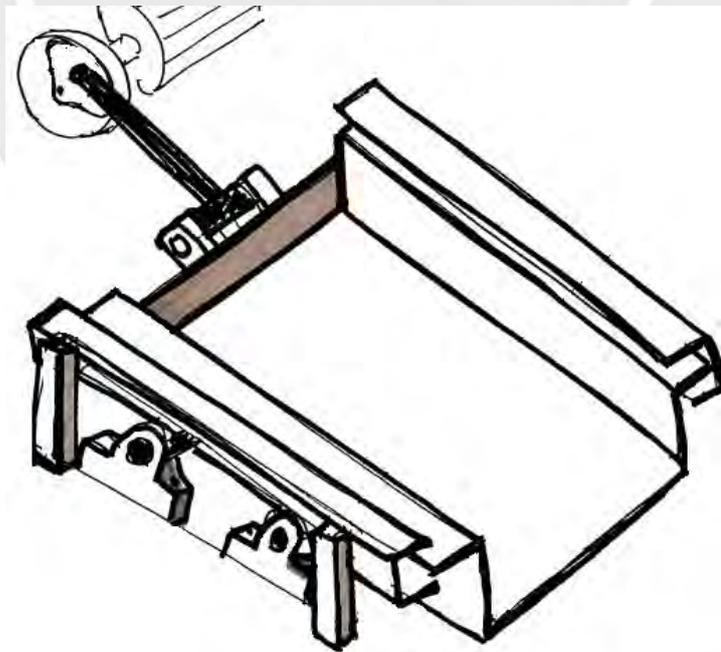


Figura 31 Dosificador con movimiento rectilíneo horizontal

Al ver que las soluciones no eran ideales para los arándanos, debido que este producto es muy delicado y ello implica un mayor cuidado en su manipulación, se optó por un vibrador electromecánico el cual está diseñado para alta frecuencia y es especialmente diseñado para la manipulación de frutos delicados. Su sistema incorpora un imán permanente (parte de una masa móvil montada por resorte) cuyos polos se entrelazan con los de un electroimán, esto hace que la masa móvil montada por resorte sea atraída y repelida por el electroimán. Además, en este sistema no hay piezas deslizantes ni giratorias, y su consumo de energía es bajo.

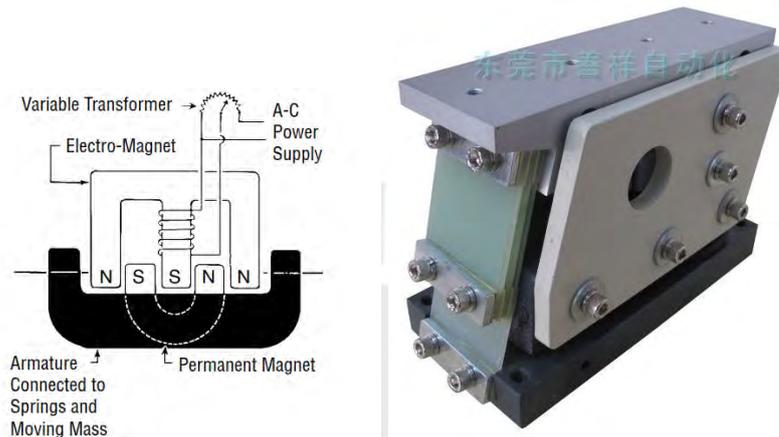


Figura 32 Vibrador electromagnético ¹⁶

Para el control del dosificado, primero se decidió que el control sería apagando y encendiendo el vibrador electromagnético; sin embargo, podría seguir cayendo arándanos en el recipiente mientras se apaga, es por ello para garantizar que el peso en el clamshell sea exacto se decidió añadir un dosificador el cual consta de una placa de metal la cual permite el paso de los frutos cuando está a 180° respecto a la bandeja y restringe el paso de estos cuando está a 90° (figura 33).

Observación: Esta alternativa se va a probar en el prototipo y de ser necesario se añadirá, sino se omitirá.

¹⁶ Aliexpress. (s.f.). *Vibrador Electromagnético*. Obtenido de https://es.aliexpress.com/item/32911119661.html?storeId=1548016&spm=a219c.search0104.3.2.61cd7186JmS22d&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_3_10065_10068_319_10059_10884_317_10887_10696_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_537_536%2Csearchw

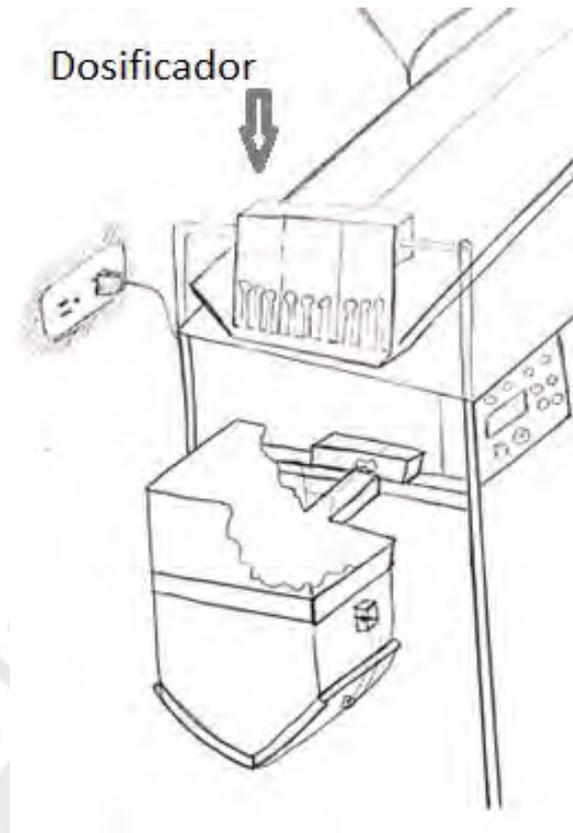


Figura 33 Dosificador I

Este diseño podría generar aplastamiento del arándano, debido a la velocidad de impacto que pudiera alcanzar la placa de metal contra el arándano. Es por esto que se cambió el diseño por una placa pivoteada en el recipiente recolector de la porción de arándanos por clamshell, esta placa (figura 35) restringe el paso de arándanos cuando esta paralela al plano de la bandeja, y permite el paso de ellos cuando está a 90°.

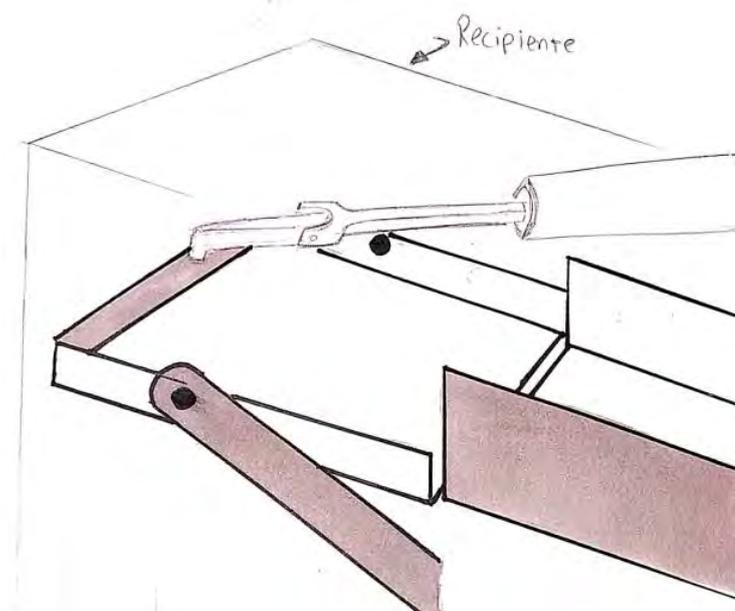


Figura 34 Dosificador II

Después de realizar las modificaciones con los nuevos componentes en el diseño se realizó la estructura, el primer diseño de la estructura se realizó con 8 patas (figura 35), donde se hizo modificaciones correspondientes para que el diseño tenga mayor estabilidad y equilibrio, considerando 4 columnas.

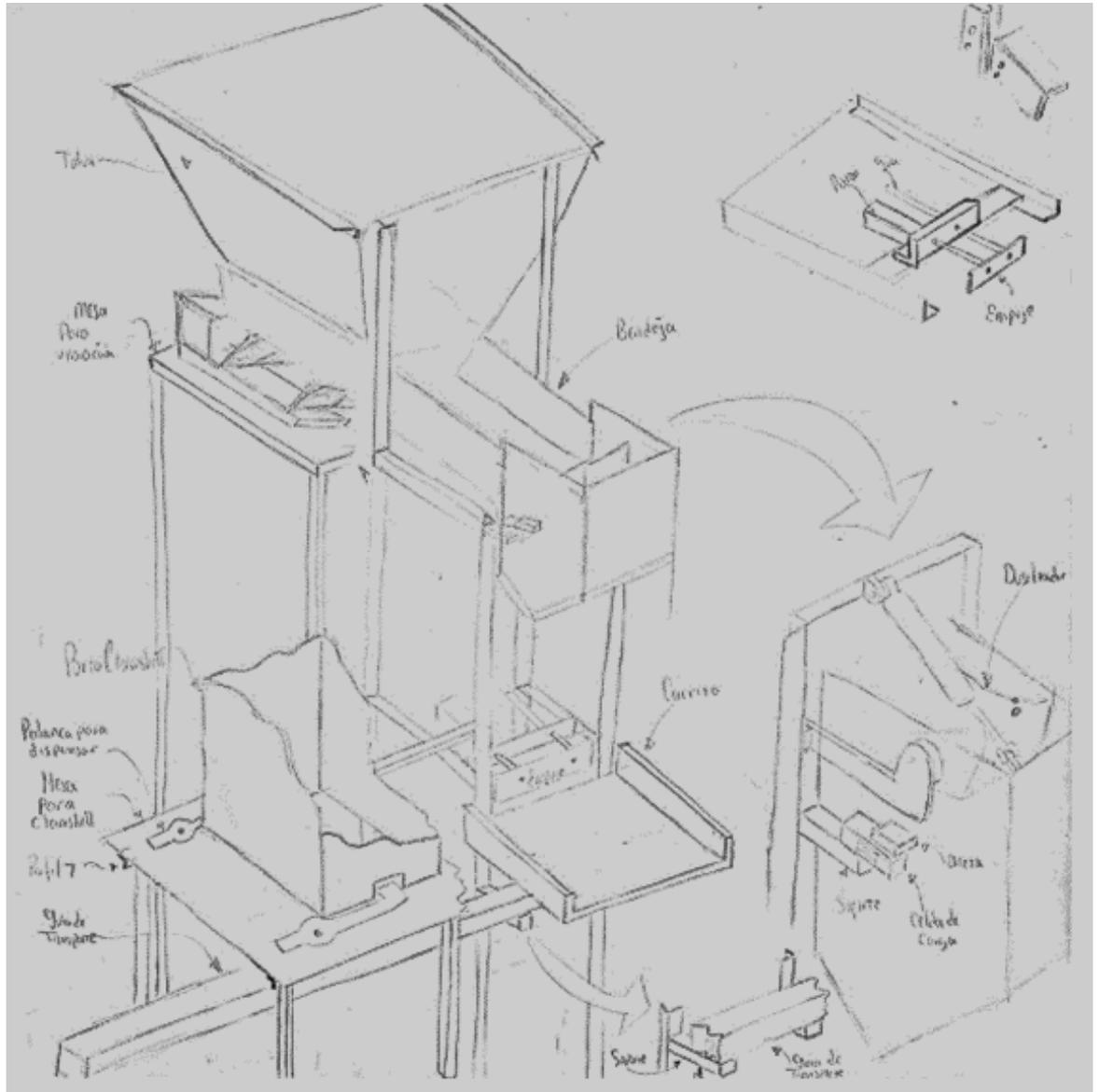


Figura 35 Estructura

3 DISEÑO MECATRÓNICO

3.1 Integración del sistema mecatrónico

El sistema mecatrónico consta de 4 etapas de funcionamiento: dispensador de clamshell, sistema de transporte, dosificador de arándanos por peso y sistema para retirar el producto (clamshell llenos de arándanos según peso establecido), la distribución se representa en la figura 34.

Se ingresa los clamshell abiertos en 180° en el almacenador de arándanos. La dispensadora se encarga de retirar cada clamshell y ponerlo en el sistema de

transporte, después se traslada a la etapa de dosificado en la cual se dosifica de acuerdo con el peso establecido los arándanos (los cuales vienen de un proceso anterior, faja transportadora). Cuando el clamshell esté lleno se procede a encender el actuador para empujarlo hacia una faja transportadora.

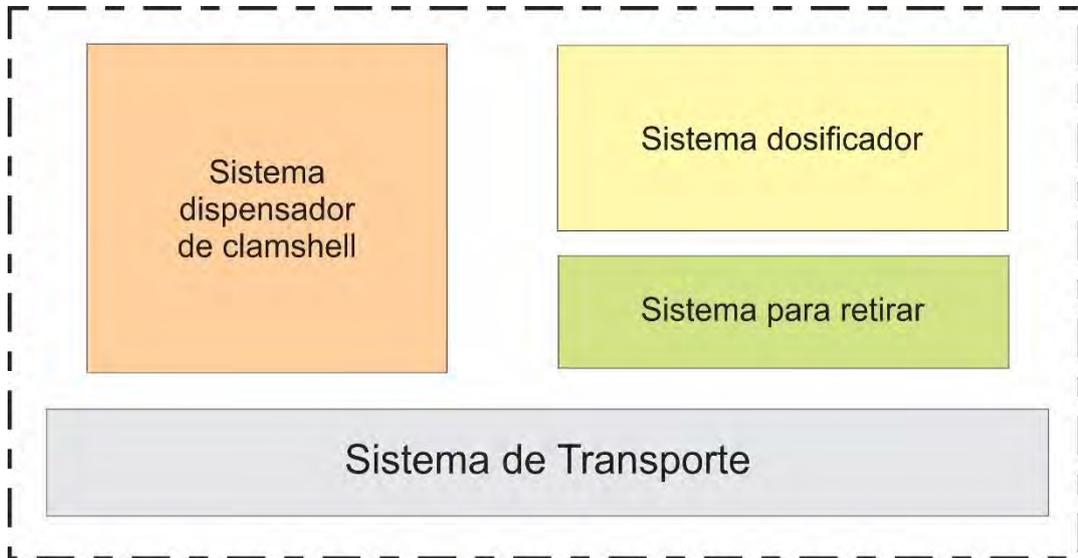


Figura 36 Sistema global

3.2 Funcionamiento

El dispensador de clamshell se compone de un cilindro neumático, ventosas, palanca, resorte y almacenador. Su funcionamiento consta de un movimiento vertical de las ventosas accionado por cilindro neumático, la palanca con el resorte cumple la función de que solo se retire un clamshell por cada absorción de la ventosa.

El sistema de transporte consta de un actuador neumático sin vástago al cual se le incorporó un carro, el cual transporta los clamshell desde la posición inicial (retiro de clamshell) hasta la posición final (dosificado y retirado del producto).

El sistema dosificador se encarga de dosificar el arándano a través de un vibrador lineal, además tiene una compuerta que impide el paso del fruto cuando el clamshell ya tiene el peso es el deseado.

Por último, el sistema para retirar el producto consiste en empujar el envase lleno de arándanos hacia otra faja transportadora, se realiza el movimiento mediante un diseño de elementos mecánico.

3.3 Diseño Mecánico

3.3.1 Tolva

Para dimensionar la tolva se pesó 125gr de arándanos y se calculó el volumen que ocupa.



Figura 37 Capacidad y peso de arándanos

El volumen que ocupa 125 gr (0.15kg) de arándanos es $88.5 \times 68 \times 40 = 240720 \text{ mm}^3$

Las dimensiones de la tolva serán:

Altura (h) = 0.5m

Área menor (am) = 0.1^2

Área mayor (Am) = 0.5^2

$$volumen = h * \frac{Am + am + (Am * am)^{0.5}}{3} \quad (1)$$

Volumen=0.051667

Capacidad= $0.051667 \text{ m}^3 * \frac{0.125 \text{ kg}}{2.40172 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 26.8292 \text{ kg}$

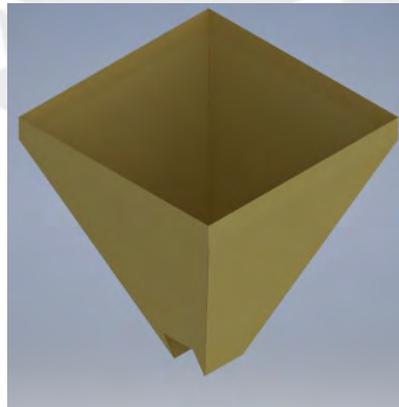


Figura 38 Tolva

Debido al contacto directo con el fruto, es necesario usar acero inoxidable AISI 316 de 3mm de espesor.

3.3.2 Carro transportador

Debido a que el clamshell tiene una medida de 107x107x55 mm y abierto es de 219x107x55 mm [8]. La base del carro será de 224x117.

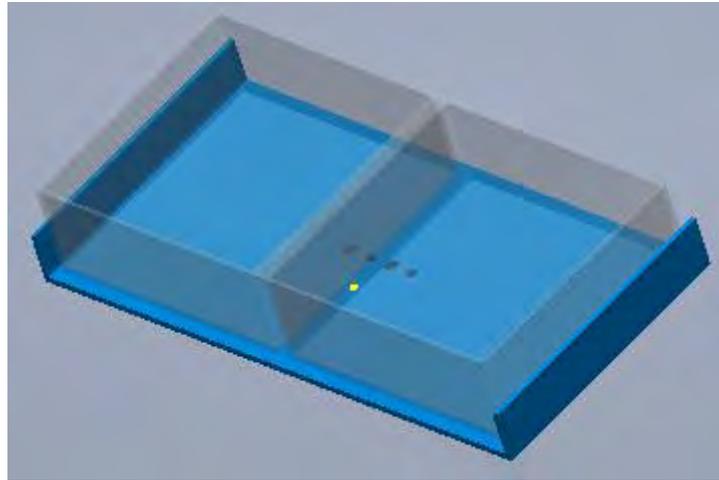


Figura 39 Carro transportador

3.3.3 Soporte de ventosa

Para elevar y descender las ventosas es necesario un soporte donde se posicione, como se ve en la figura 40.



Figura 40 Soporte de ventosa

Para ver si la deflexión del soporte es crítica, se realizó una simulación de elementos finitos en Autodesk Inventor donde la máxima deflexión es de 0.3798mm, un valor apropiado para su funcionamiento. Además, se realizó la simulación con criterio de Von Mises donde se comprobó que el mayor esfuerzo se da en los vértices internos y su valor es de 40.44MPa, al compararlo con la con

el límite elástico del acero AISI 304 que es de 500MPa¹⁷ resulta un factor de seguridad de 12.1, por ende, no habría problemas.

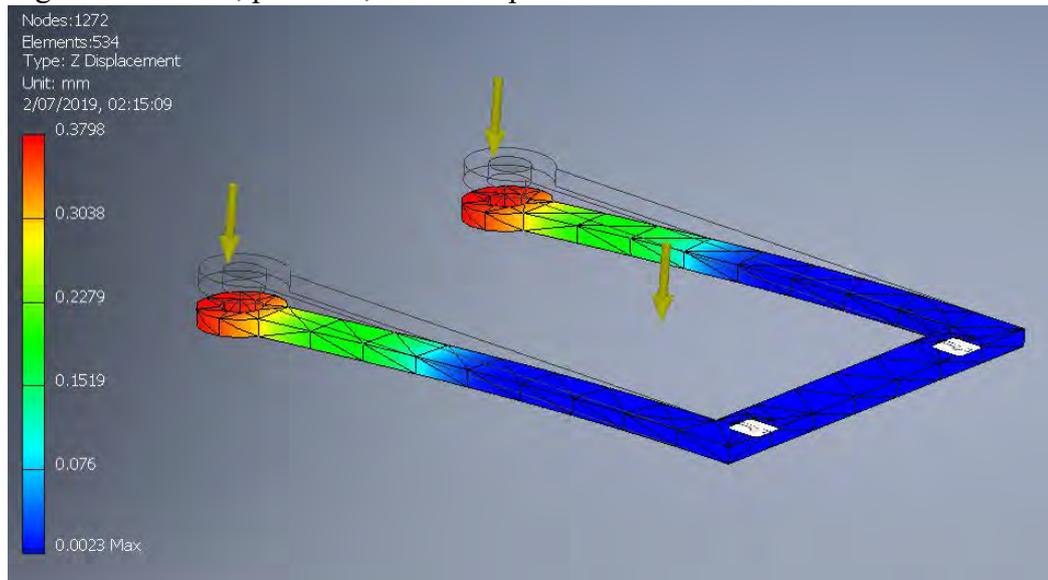


Figura 41 Simulación soporte

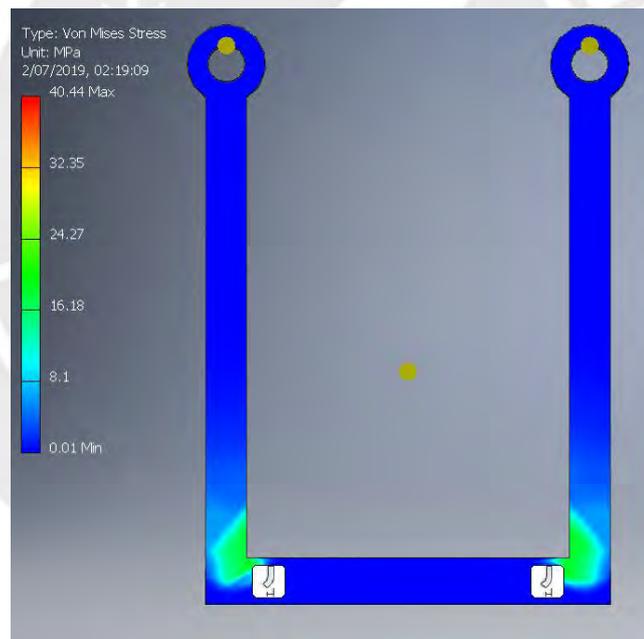


Figura 42 Simulación Von Mises del soporte

3.3.4 Vibrador mecánico

Es el encargado de generar el movimiento vibratorio para la dosificación, lleva los arándanos desde la salida de la tolva hacia el recipiente en donde se almacena la porción de arándanos según el peso establecido por el usuario. En la figura 43 se detalla las fuerzas que actúan sobre la plataforma vibratoria.

¹⁷ BOHLER PERU. (s.f.). *ANTINIT 304 L*. Obtenido de <https://www.bohlerperu.com/app/uploads/sites/138/2019/09/ANTINIT-304L.pdf>

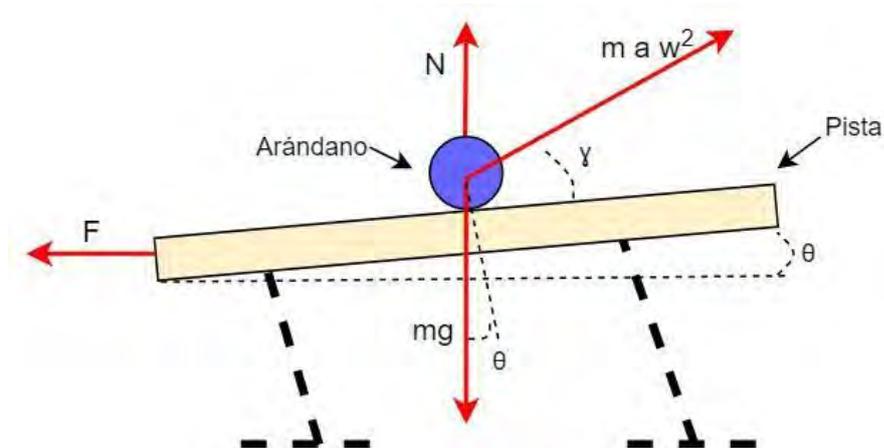


Figura 43 Diagrama de fuerza

Donde:

- F = Fuerza de Fricción
- N = Fuerza normal
- A = Amplitud de la vibración
- $m a w^2$ = fuerza de inercia máxima

Para que inicie el movimiento entre el fruto y la pista se tendrá que cumplir:

$$m a w^2 \cos \gamma > m g \sin \theta + F$$

Donde:

$$F = \mu N = \mu (m g \cos \theta - m a w^2 \sin \gamma)$$

μ = coeficiente de fricción estático

Para generar el movimiento se seleccionó el vibrador lineal de la marca San Xiangat, modelo LFC-1 CS-1.

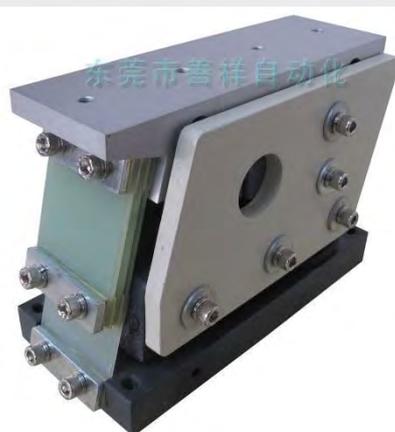


Figura 44 Vibrador Lineal LFC-01¹⁶

Tabla 11 Parámetros del alimentador vibratorio¹⁶

	Masa (kg)	Rango de voltaje (V)	Frecuencia de vibración (Hz)	Longitud máxima de bandeja (mm)
LFC-01	4	220	40-220	400

3.3.5 Bandeja transportadora vibratorio

Por recomendaciones del fabricante la bandeja de transporte debe tener como longitud máxima de 400mm¹⁶. Es por eso que se seleccionó una chapa metálica de 100 mm de ancho y 304 mm de largo, con una altura de 50mm para que los arándanos no se desplacen fuera de la bandeja.

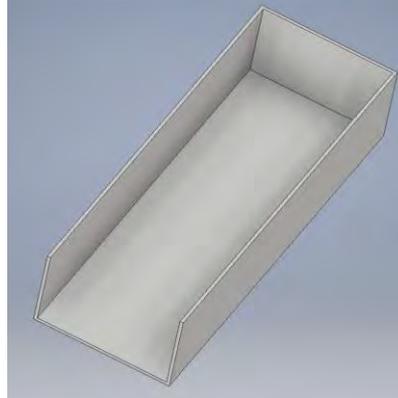


Figura 45 Bandeja

3.4 Prototipado del diseño mecánico

En base a lo diseñado, se procedió con la fabricación de prototipos para los sistemas críticos de dosificación y dispensación. Este proceso no solo permitió comprobar su correcto funcionamiento, sino también realizar los ajustes pertinentes para optimizar su desempeño.

3.4.1 Sistema de dosificado de arándanos

Se diseñó el alimentador vibratorio de manera horizontal (ángulo de inclinación = 0), se realizaron las pruebas viendo que la dosificación era bastante lenta.

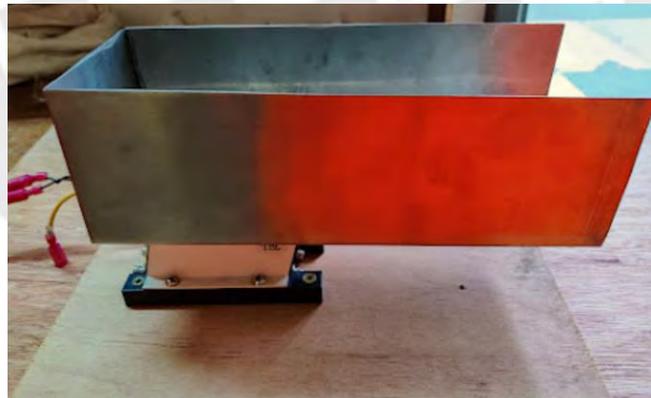


Figura 46 Bandeja transportadora

Fuente propia

Es por ello por lo que se realizaron pruebas con un ángulo de inclinación y el performance mejoró.

Para obtener el ángulo ideal, se probó con diferentes ángulos de inclinaciones obteniendo mejores resultados con el ángulo de 8.5°.



Figura 47 Bandeja transportadora inclinada

Fuente propia

Se decidió mejorar el diseño y el material del prototipo para regular los ángulos de inclinación. Además, en la bandeja transportadora vibratoria se implementó dos platinas para que su ángulo de apertura sea mayor.

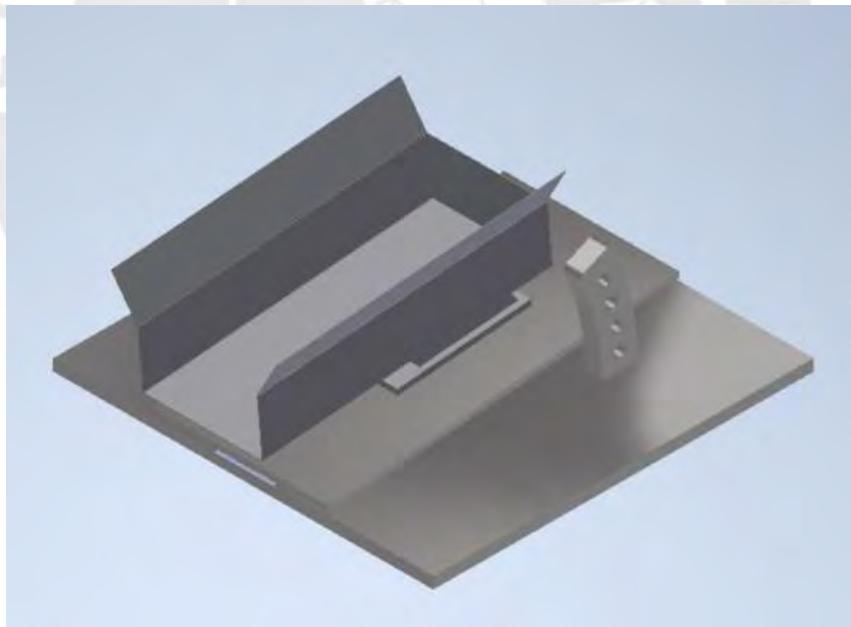


Figura 48 Vista isométrica del modelo en 3D

Fuente propia

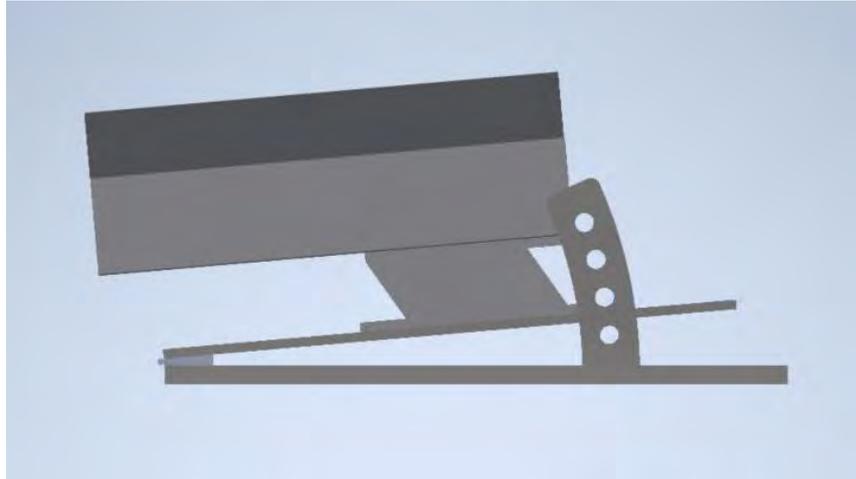


Figura 49 Vista lateral del modelo en 3D

Fuente propia

Se realizó la fabricación de lo diseñado en acero inoxidable.



Figura 50 Prototipo

Fuente propia

Se verificó que la compuerta dosificadora no era necesaria, debido que con el grado de inclinación seleccionado cuando el vibrador deja de funcionar, la fricción de los arándanos y del acero inoxidable es mayor y, por ende, no hay deslizamiento del fruto.



Figura 51 Prueba del grado de inclinación

Fuente propia



Figura 52 Llenado de arándanos al clamshell

Fuente propia

También se comprobó la caída de los arándanos del contenedor que almacena los arándanos pesados.



Figura 53 Tolva de arándanos

Fuente propia

3.4.2 Sistema de dispensado de clamshell

Si bien la propuesta era realizar el dispensado con ventosa, se decidió probar otra alternativa con 3 aletas, dos aletas sirven para separar el último clamshell, y la aleta más grande sirve para soportar la pila de los clamshell. Cada aleta funciona con un pistón.

Para realizar el movimiento de las aletas se empleó un actuador eléctrico.



Figura 54 Prototipo de aleta

Fuente propia

La estructura se realizó de acrílico y se comprobó su funcionalidad



Figura 55 Prototipo en acrílico de estructura de clamshell

Fuente propia

Se realizó el diseño de la tercera aleta, tomando como referencia la diferencia de altura de cada tapa del clamshell.

En la figura 56 se puede apreciar cómo sería si no se tuviera la tercera aleta que soporte a los clamshell, la tapa con menos altura se inclinaba debido al peso de los demás clamshell.



Figura 56 Diferencia de altura del clamshell

Fuente propia



Figura 57 Un Clamshell

Fuente propia

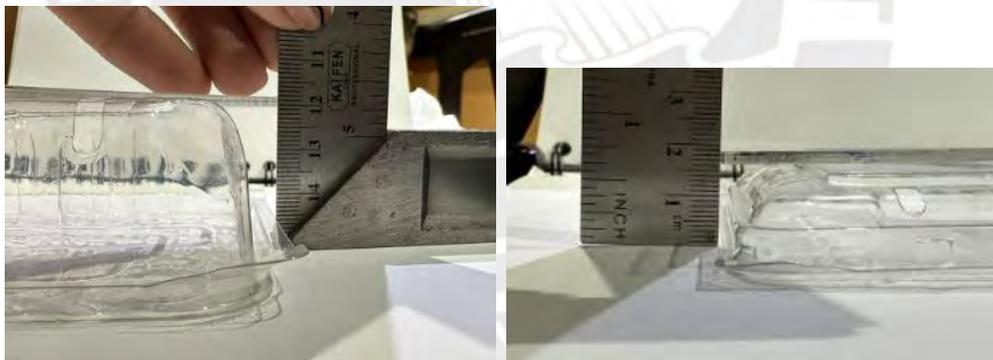


Figura 58 Alturas de tapa y reservorio

Fuente propia

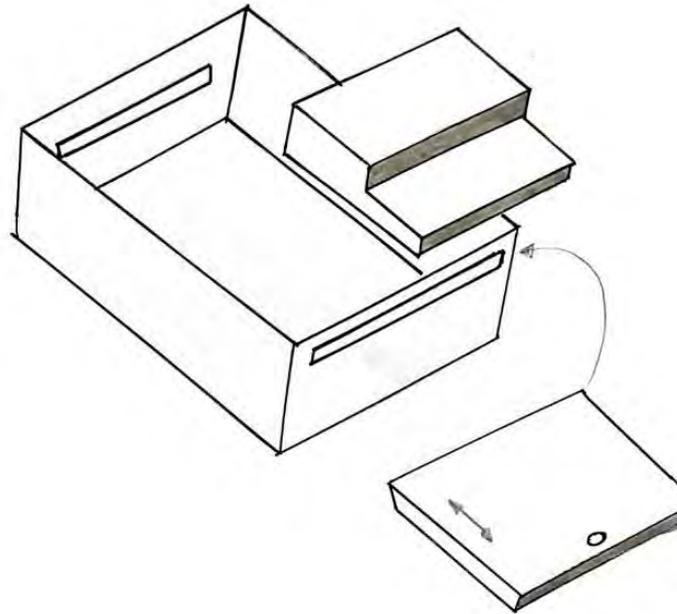


Figura 59 Boceto de Aleta

Fuente propia

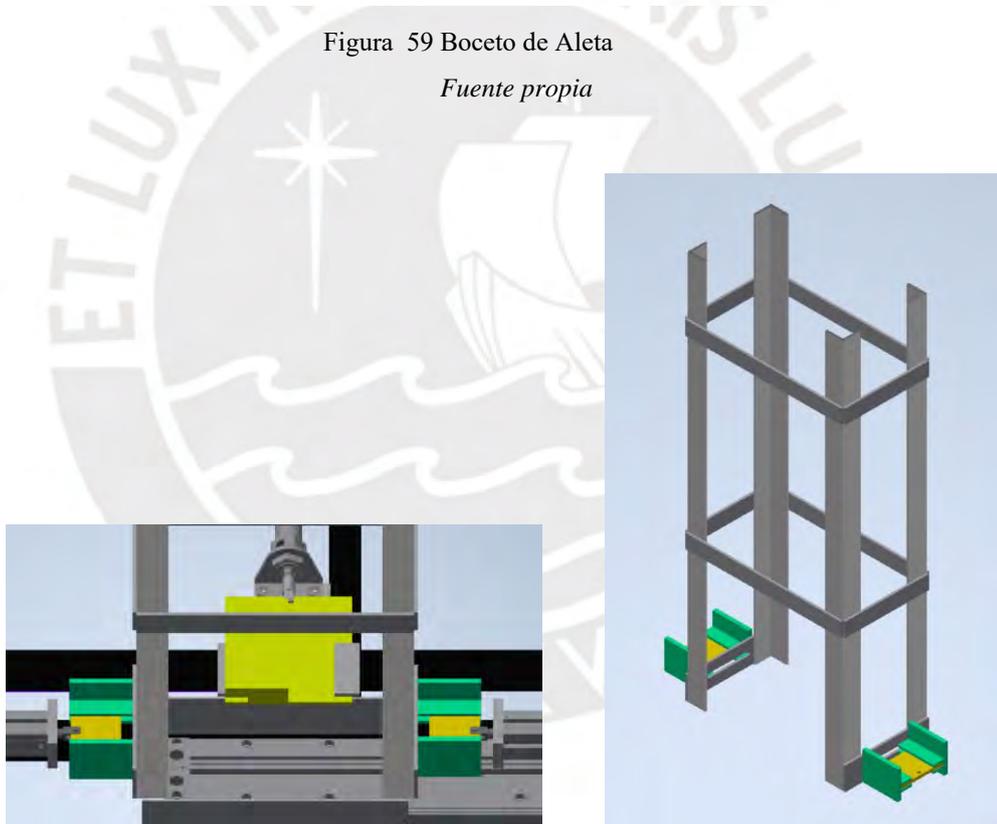


Figura 60 Aletas para el dispensado

Fuente propia

3.5 Análisis modal operacional de alimentador vibratorio

El análisis modal operacional (OMA) es un método que determina de manera precisa los valores de las frecuencias naturales que existen en el equipo en condiciones de operación.

El objetivo de los análisis es hallar la frecuencia natural del dosificador de arándanos, para ello se colocó 12 acelerómetros en la tolva y procedió a energizar el vibrador mecánico y colocar los arándanos.



Figura 61 Acelerómetros en prototipada vista lateral

Fuente propia

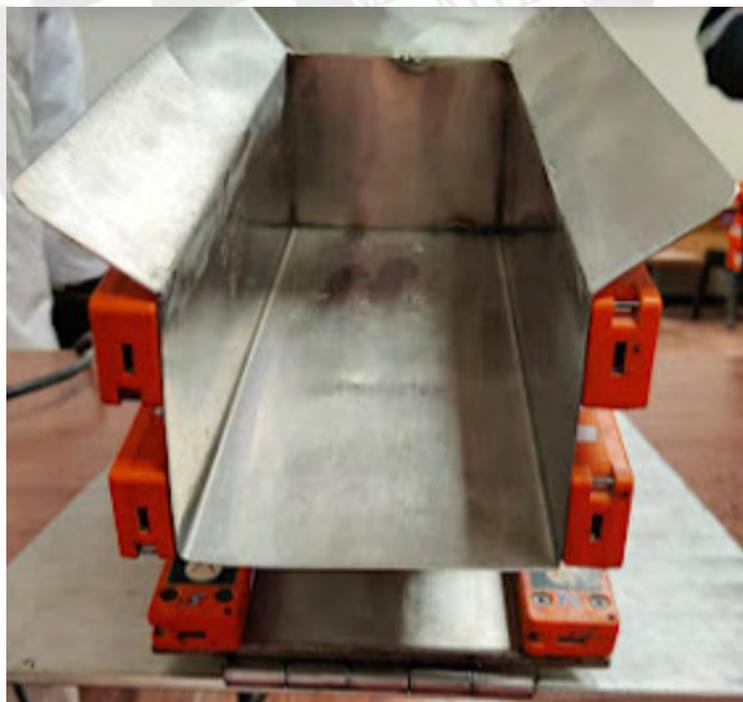


Figura 62 Acelerómetros en prototipada vista frontal

Fuente propia

Desde su inicio del proceso los acelerómetros fueron encendidos con la función de grabar todos los datos, posterior a ello se realizó el análisis de los datos a través de un software, obteniendo lo siguiente:

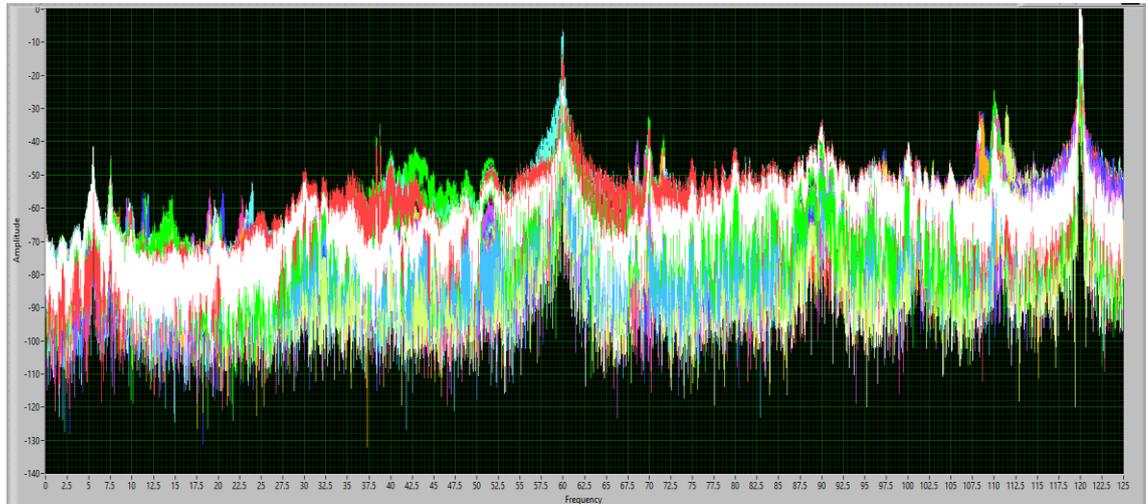


Figura 63 Espectro de frecuencia

Fuente propia

Se aprecia que tenemos un primer armónico en 60 Hz y el segundo a 120 Hz; sin embargo, estos valores son muy altos para su funcionamiento y lo que representa que es una filtración de un ruido de corriente, por ello se analiza de manera más profunda las frecuencias de 5 a 10 Hz.

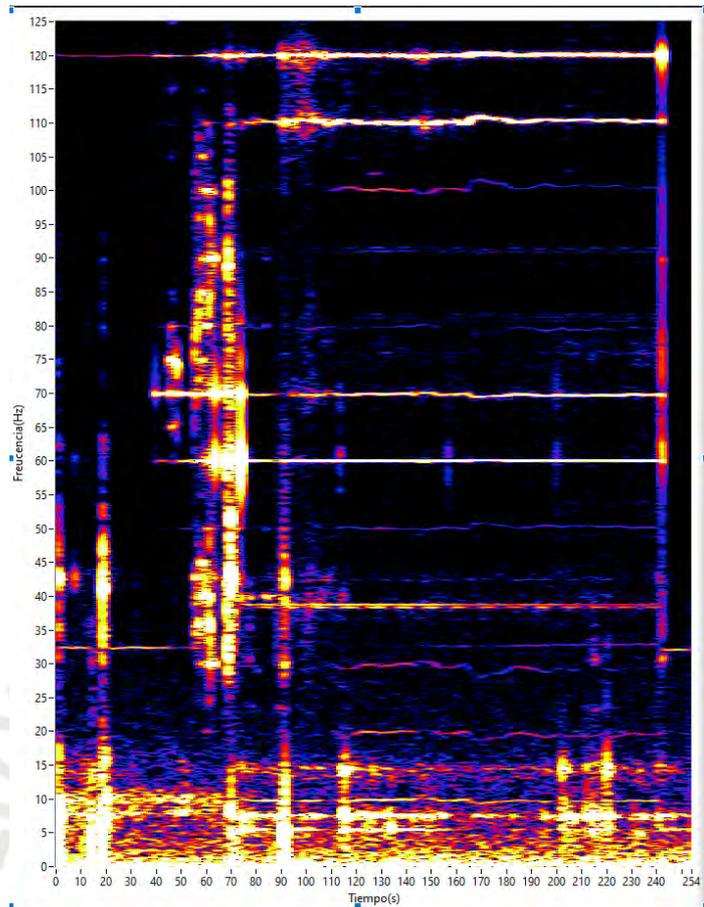


Figura 64 Armónico

Fuente propia

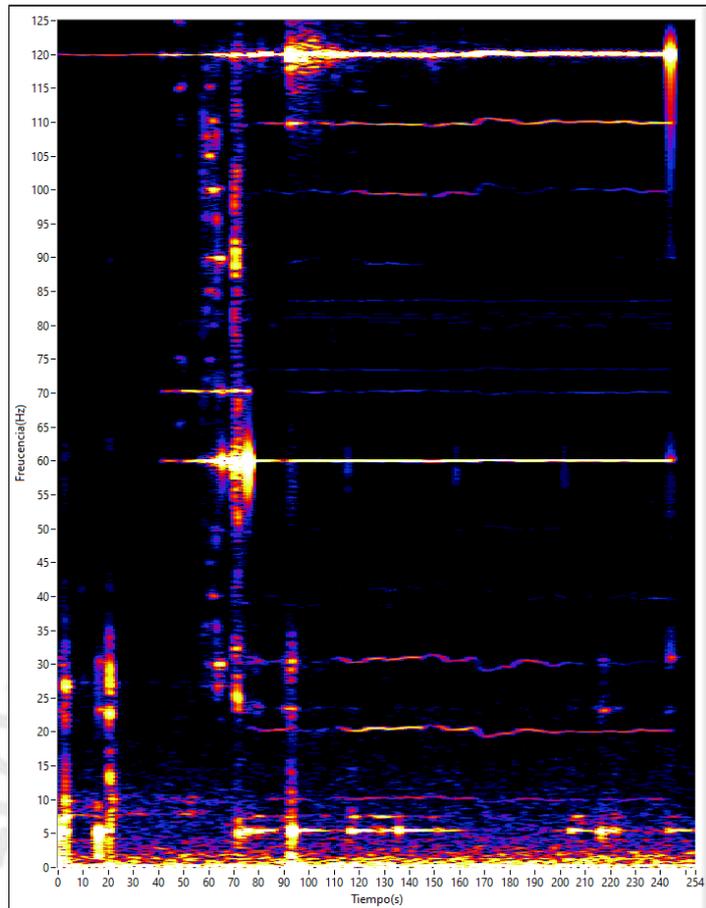


Figura 65 Armónico
Fuente propia

Con ello se visualiza que se tiene una frecuencia natural alrededor de 5 Hz, se realiza un estudio mas profundo y con ello la frecuencia natural se da a 5.5 Hz.

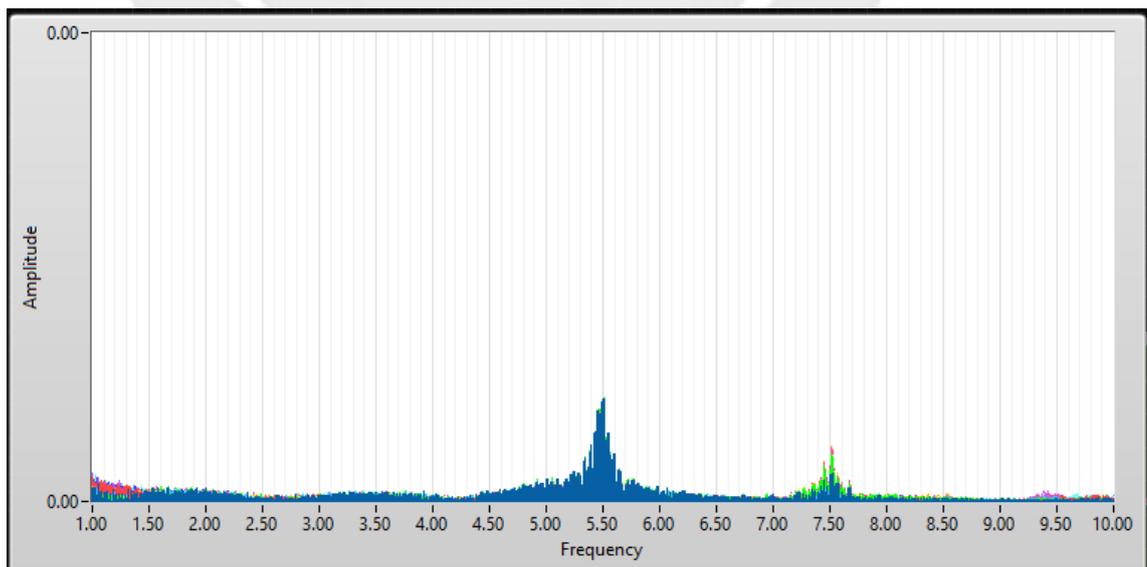


Figura 66 Frecuencia natural
Fuente propia

Entonces se debe trabajar en una zona alejada a ella ya sea menor o mayor, en el gráfico también se aprecia un pico en la frecuencia 7.5 hz; sin embargo, su amplitud es muy baja casi cero, se recomienda también alejarce de esa zona.

3.6 Diseño de sistema electrónico

En esta sección se seleccionó los sensores, componentes electrónicos, así como la arquitectura de control.

3.6.1 Sensores

- Verificar nivel de *chamshell*:

Para verificar el nivel de *chamshell*, se seleccionó un sensor mecánico

- *Limit switches XCJ (single-pole contact 1 C/O form C) tipo Long flat lever plunger. XCJ126C*

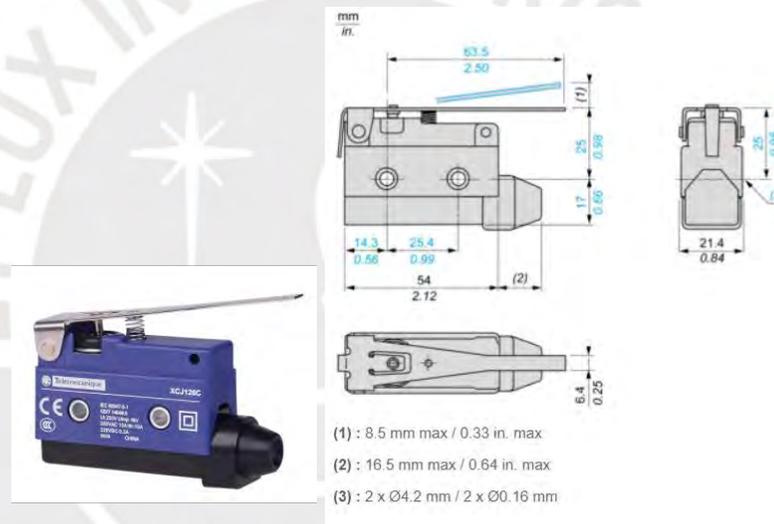
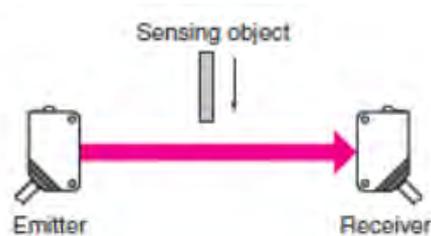


Figura 67 Limit switches XCJ¹⁸

- Detectar clamshell en transporte

Para detectar que el clamshell se encuentra en el transporte en la zona del dispensado, se seleccionó un sensor infrarrojo.

¹⁸ Schneider Electric. (s.f.). XCJ126C Long flat lever plunger. Obtenido de https://www.ops-ecat.schneider-electric.com/ecat/browse.do?cat_id=BU_AUT_2593_L4&conf=sensors&ctg=&el_typ=product&prd_id=XCJ126C&tab=0



Series	6K
Dimension	12 x 41.5 x 21.6 mm
Interface	PNP normally open/normally closed (NO/NC)
Input function	Same function as button Key disable on/off
Principle of operation	Photoelectric sensor
Principle of optical operation	Retroreflective sensor
Special optical feature	Coaxial optics
Beam characteristic	Collimated
Light type	Laser red light
Light spot size	Ø 2 mm at 2.5 m
Range	0...4 m
Connection	Connector, M8x1-Male, 3-pin
Housing material	ABS
Material sensing surface	PMMA
Operating voltage U_b	10...30 VDC



Figura 68 Sensor Infrarrojo¹⁹

- Verificar peso:

Para verificar el peso de los arándanos, se seleccionó dos celdas de cargas que al sumar dará el peso real del contenedor con los arándanos.

¹⁹ BALLUFF. (s.f.). Retroreflective sensors BOS01MN. Obtenido de <https://www.balluff.com/en-de/products/BOS01MN>

Type L6D Load Cell 5kg



Technical Specifications L6D

Accuracy Class		OIML R60 C3	OIML R60 C4	OIML R60 C5
Output Sensitivity (= FS)	mV/V	2.0 ± 0.2		
Maximum Capacity (E _{max})	kg	3, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 35, 40, 50		
Max. Number of Load Cell Intervals	n _{LC}	3000	4000	5000
Ratio of min. LC Verification Interval	$\gamma = E_{max} / v_{min}$	10000	15000	20000
Combined Error	%FS	≤± 0.02	≤± 0.015	≤± 0.014
Creep Error (30 minutes)	%FS	≤± 0.0167	≤± 0.0125	≤± 0.01
Temperature Effect on Zero (ZTC)	%FS/10°C	≤± 0.02	≤± 0.012	≤± 0.009
Temperature Effect on Sensitivity (STC)	%FS/10°C	≤± 0.0175	≤± 0.0131	≤± 0.01
Zero Balance	%FS	≤± 2.0		
Safe Overload	%FS	150		
Ultimate Overload	%FS	300		
Maximum Deflection	mm	3kg: 0.5~0.6	5-15kg: 0.6~0.7	20-50kg: 0.6~0.8
Eccentric Loading Error	%Ld/cm	± 0.002		
Excitation, Recommended Voltage	V	5 ~ 12		
Excitation, Maximum Voltage	V	18		
Input Resistance	Ω	406 ± 6		
Output Resistance	Ω	350 ± 3		
Insulation Resistance (50V)	MΩ	≥5000		
Compensated Temperature	°C	-10 ~ + 40		
Operating Temperature	°C	-35 ~ + 65		
Storage Temperature	°C	-40 ~ + 70		
Load Cell Weight	kg	~0.2		
Element Material		Aluminium		
Ingress Protection (acc. to EN 60529)		IP65		
Recommended Torque on Fixation Bolts	Nm	< 30kg: 6		>30kg: 10

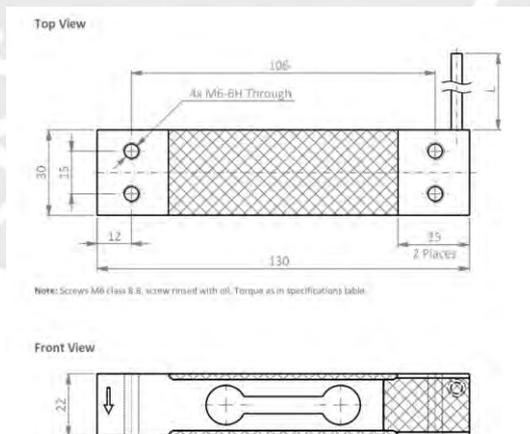


Figura 69 Celda de carga de 5 kg L6D²⁰

²⁰ Zemic Europe. (s.f). Type L6D Load Cell. Obtenido de https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/L6D_Datasheet.pdf

- **Sensor inicio y fin de carrera:**
Se utilizan para saber la posición del pistón neumático en el dispensador, transporte, dosificador, compuerta y empuje, se seleccionó sensores magnéticos Festo SMT-8M-A-NS-24V-E-0.3-OE.



Figura 70 Sensores magnéticos Festo²¹



Figura 71 Cilindro neumático con sensor magnético ²¹

3.6.2 Componentes electrónicos

- **Botón industrial iluminado**
 Marca: Schneider Electric
 Alimentación: 24v
 Protección IP: IP66
 Característica: Iluminado



Figura 72 Botón Industrial²²

²¹ FESTO. (s.f.). COMPONENTES NEUMÁTICOS. Obtenido de <https://www.festo.com/es/es/>

²² RS. (s.f.). Botones Pulsadores. Obtenido de <https://cl.rsdelivers.com/product/schneider-electric/zb5aw333/interruptor-de-boton-pulsador-ip66-ip67-ip69k/3422891>

3.6.3 Arquitectura de Control

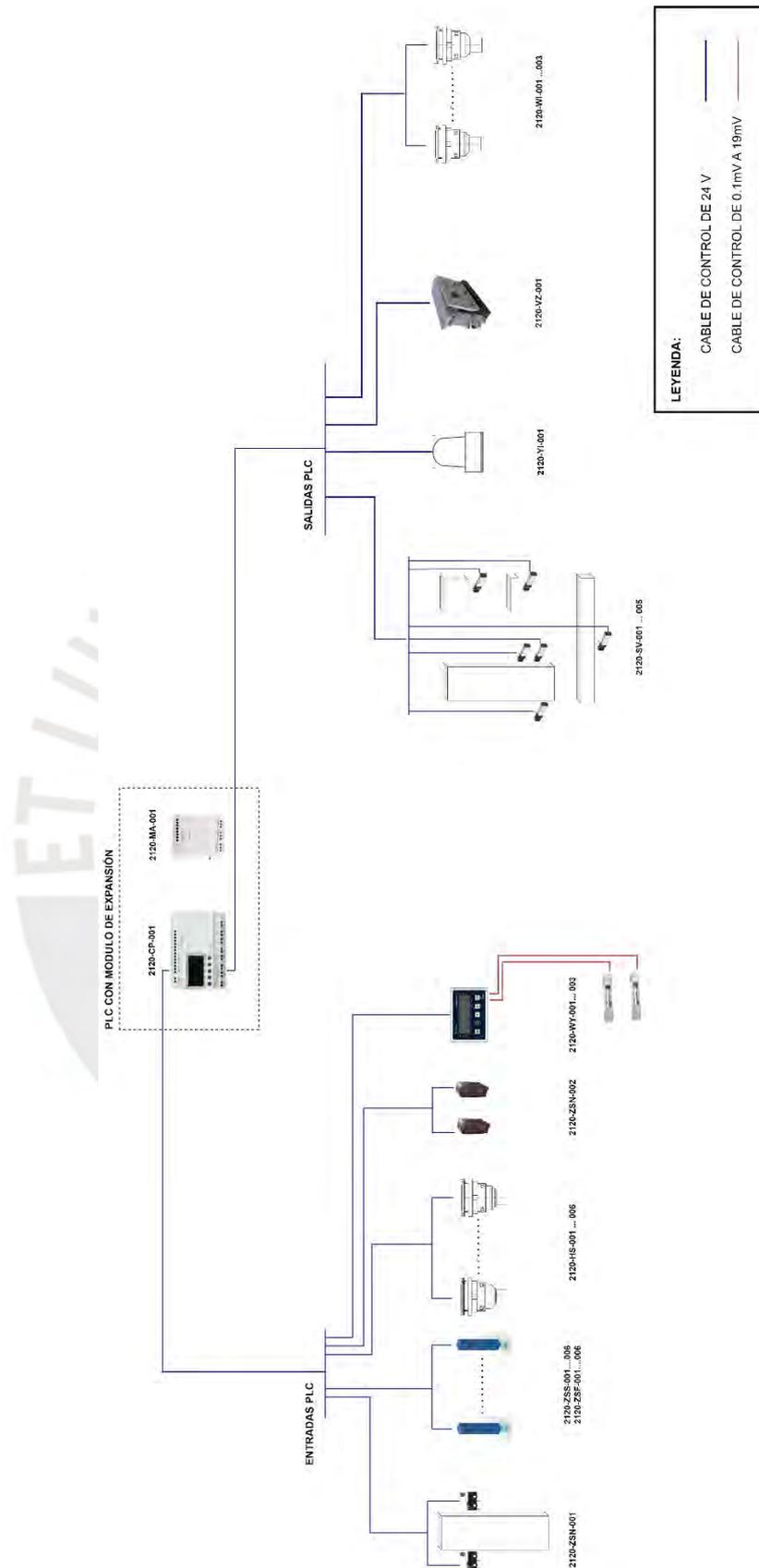


Figura 73 Arquitectura de control

Fuente propia

3.7 Diseño de sistema de control

3.7.1 Señales del sistema de control

El sistema tiene las siguientes señales:

Entrada: Faja Transportadora

Esta señal se recibe de la faja transportadora que alimenta arándanos a la maquina diseñada.

Función	Entrada	Salida
Ingresar arándanos	1	

Sistema de Dispensado

Función	Entrada	Salida
Dispensador Lateral		1
Dispensador Lateral		
Dispensador Frontal		1
Verificar Posición de Cilindro 1	2	
Verificar Posición de Cilindro 2	2	
Verificar Posición de Cilindro 3	2	
Verificar nivel de clamshell	1	

Sistema de Transporte

Función	Entrada	Salida
Transporte		1
Verificar Posición de Cilindro 4	2	
Detectar clamshell en transporte	1	

Sistema de Dosificación

Función	Entrada	Salida
Dosificar arándanos		1
Aperturar compuerta		1
Verificar Posición de Cilindro 5	2	
Verificar peso		
Controlador de peso	3	

Sistema de Retiro

Función	Entrada	Salida
Retirar Clamshell		1
Verificar Posición de Cilindro 5	2	

Gabinete de control

Función	Entrada	Salida
Encender la maquina	1	
Parar la maquina	1	
Parar por emergencia	1	
Seleccionar peso 1	1	
Seleccionar peso 2	1	
Seleccionar peso 3	1	
Indicador de peso 1		1
Indicador de peso 2		1
Indicador de peso 3		1
Indicador luminoso falta de arándanos		1
Indicador luminoso falta de clamshell		1
Indicador luminoso mal error en el proceso		1

24	12
----	----

Se requiere 24 entradas y 12 salidas.

Se seleccionó:

Relé programable inteligente modular Zelio Logic

Modelo: SR3B261FU

Alimentación: 100 a 240 VCA

Entradas: 16

Salidas: 10



Figura 74 Relé programable Zelio Logic²³

Módulo de ampliación

Modelo: SR3XT141FU

Alimentación: 220 V DC

Entradas: 8

Salidas D.: 6



Figura 75 Módulo de ampliación²⁴

Cable USB de conexión a PC para rele Zelio

Modelo: SR2USB01

Longitud: 3 m

²³ Schneider Electric. (s.f.). Relé programable inteligente modular Zelio Logic. Obtenido de <https://www.se.com/co/es/product/SR3B261FU/reI%C3%A9-programable-inteligente-modular-zelio-logic-26-e-s-100-240-v-ca-16-entradas-10-salidas-con-reloj-pantalla/>

²⁴ Schneider Electric. (s.f.). SR3XT141FU Imagen del producto Schneider Electric. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/product/SR3XT141FU/modulo-de-ampliacion-8-entradas-6-salidas-digitales-sr3-220v-dc/>



Figura 76 Cable USB de conexión a PC²⁵

3.7.2 Circuito de control

Se controla el peso de los arándanos según parámetro establecido por el usuario.

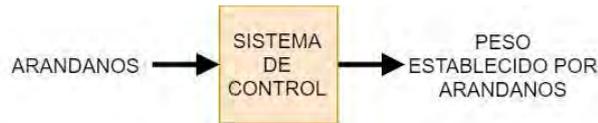


Figura 77 Diagrama de bloque de control

Se eligió el control On/Off, cuando el peso este por debajo del parámetro de referencia proporcionado por el usuario al inicio de la configuración, la dosificación vibratoria permanecerá encendida, cuando alcance dicho valor se apagará el motor.

$R(s)$ = entrada

$C(s)$ = salida

$E(s)$ = entrada/salida

$U(s)$ = señal de control

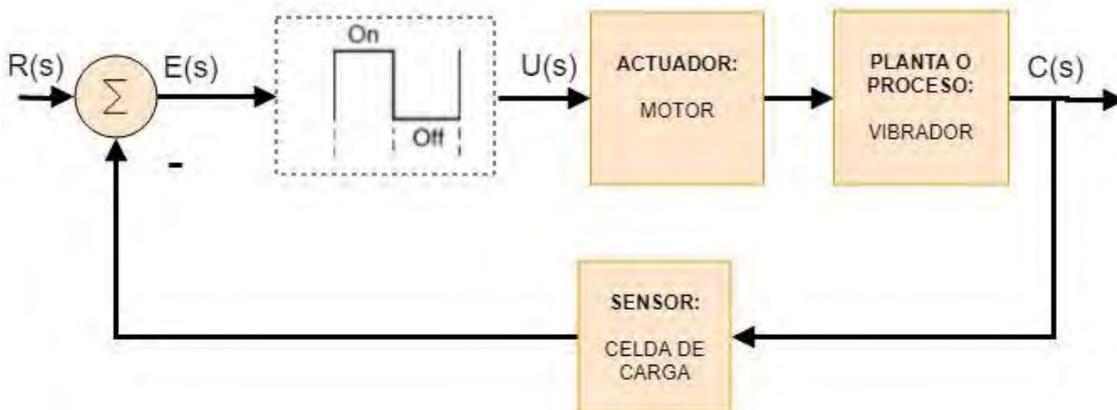


Figura 78 Diagrama de control

3.8 Prototipo de sistema de control

Para obtener la lectura de las celdas y comprobar que al ejercer fuerza en las dos celdas se reciba el dato de la suma, se empleó un Arduino UNO, drivers, pantalla LCD, 2 celdas de carga y cables. El resultado fue el esperado.

²⁵ Schneider Electric. (s.f.). Cable USB de conexión a PC para rele Zelio. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/product/SR2USB01/cable-usb-de-conexi%C3%B3n-a-pc-para-rele-zelio-largo-3m/>

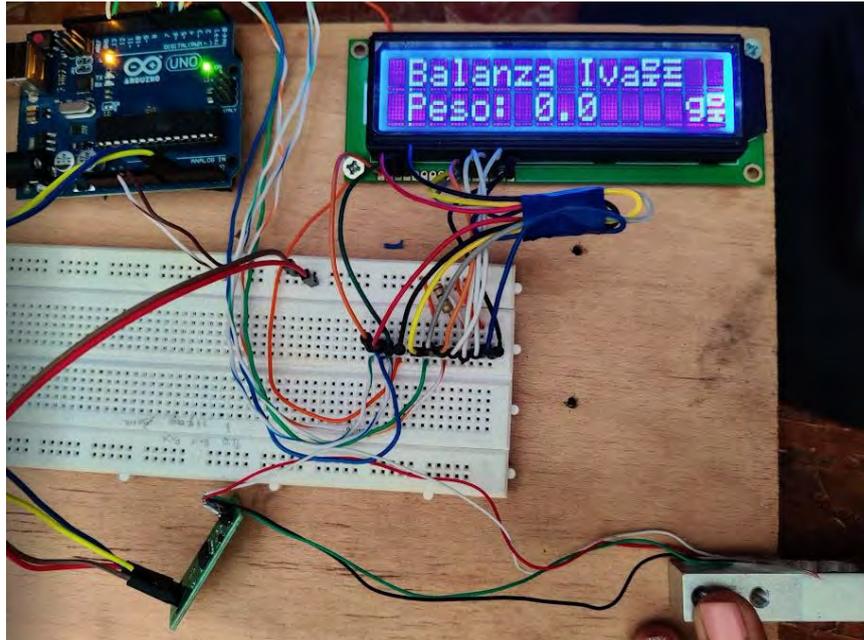


Figura 79 Prototipo con pantalla LCD

Debido que el funcionamiento fue el correcto se procedió a realizar las pruebas con un controlador de peso (de mayores características a la necesaria) y con ello se verifico su funcionalidad.



Figura 80 Dosificador con celda de carga



Figura 81 Controlador de peso con celda de carga

Para la máquina diseñada se seleccionó el siguiente indicador de control digital

Marca: WEBO

Modelo: ID550

Material: Acero Inoxidable

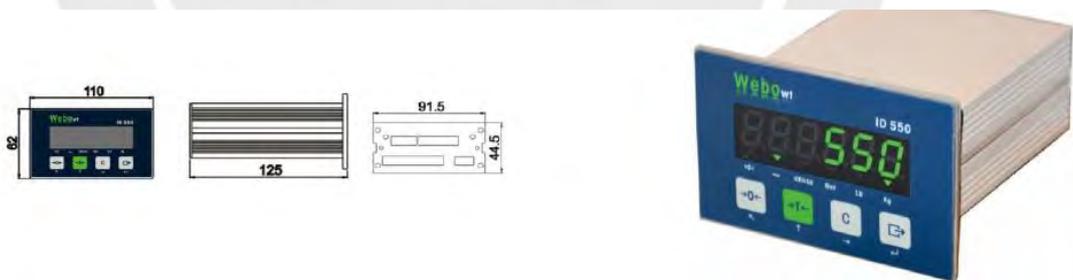


Figura 82 Controlador de peso WEBO ID550²⁶

Specifications and Parameters	
Accuracy	
Accuracy Class	III
EU Approval	100,000 Display Division , CMC 6000e
Display & Keypad	
Display	6 bits 7-segment red LED display, 0.56" high (14.2mm)
Update Speed	250ms
Status Display	Gross, Net, Motion, Center of Zero, Kg/Lb
Key	4 function keys (Tare, Clear, Zero, Print)
ADC	
Type	24-bit
Speed	200 Hz
Resolution	0.06uV/d
Resolution Approved	1uV/vsi (legal for trade)
Input	0.1mV to 19 mV
Accuracy	100,000d
Linearity and Stability	
In-linearity & TC	≤0.0015% FS; ≤5ppm/°C
Load Cell	
Exciting Voltage	5V DC, max 150mA
Load Cell Number	Max 6 x 350Ω
Connect Type	4-wired or 6-wired , Cable:274mR/m2
Scale Basic Functionality	
Calibration	2-point with testing weight or no testing(CalFree)
Filter	5-step
Scale Process	Tare, Zero, Auto Zero, Motion,
Inputs	Option 4 Inputs, Can be assigned remote inputs for remote host(PLC or DCS)
Outputs	Option 6 Outputs, Can be assigned remote outputs for remote host(PLC or DCS)
Target Control	
OVER/UNDER/OK	Support
Zero Tolerance	Support
Target Control	Simple Setpoint or Sequence Control(with Start & Abort command)
Communication I/F	
Serial Port	1 ports: RS232/485
Continuous Output	10ms ~ 20ms, (100~50 Hz)
MODBUS-RTU	Support, Integer & Floating data format
Analog Output	4~20mA , 16-bit DAC
Housing	
Panel Mount	IP65, 0.56" display
Power Supply	24VDC

Figura 83 Especificaciones técnicas WEBO ID550

3.9 Diseño de sistema neumático

El sistema neumático trabaja en condiciones normales.

Temperatura = 273K

Presión = 1.013 bar

Densidad = 1.293 Kg/m³.

La unidad de presión según el SI es el Pascal=1N/m²; sin embargo, se usa bar (1bar =10⁵Pa).

3.9.1 Instalación neumática

En una instalación neumática es necesario 4 componentes: compresor, equipo de preparación de aire (trampa de suciedad, unidad de mantenimiento y válvula de mantenimiento), tratamiento de aire (filtros) y componentes de control (válvula de distribución, caudal, retención y de presión)²⁷ como lo señala la figura 82. Sin embargo, en la industria alimentaria se debe satisfacer normas internacionales como la ISO 8573-1:2010, donde establecen exigencias de calidad de aire comprimido y determina qué cantidad máxima de contaminantes y tamaños de partículas puede contener cada clase, la clase se clasifica por el producto alimentario que se usará en la planta.

²⁷ Barriga, B. (2013). Circuito Neumático. Lima: PUCP.

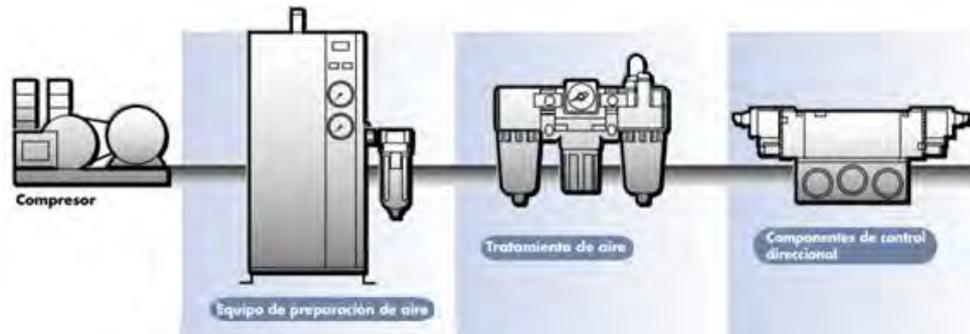


Figura 84 Componentes de una instalación neumática ²⁷

3.9.2 Dimensionamiento de actuadores

Para el desarrollo del sistema global se necesita 5 actuadores neumáticos. Los dos primeros (1 y 2) para la separación de los clamshell, el tercero (3) para sostener los clamshell, el cuarto (4) para cerrar y abrir la compuerta dosificadora, el quinto (5) para expulsar el producto (clamshell con arándanos) hacia una faja transportadora y el último actuador (6) para el transporte del dispensado al dosificado.

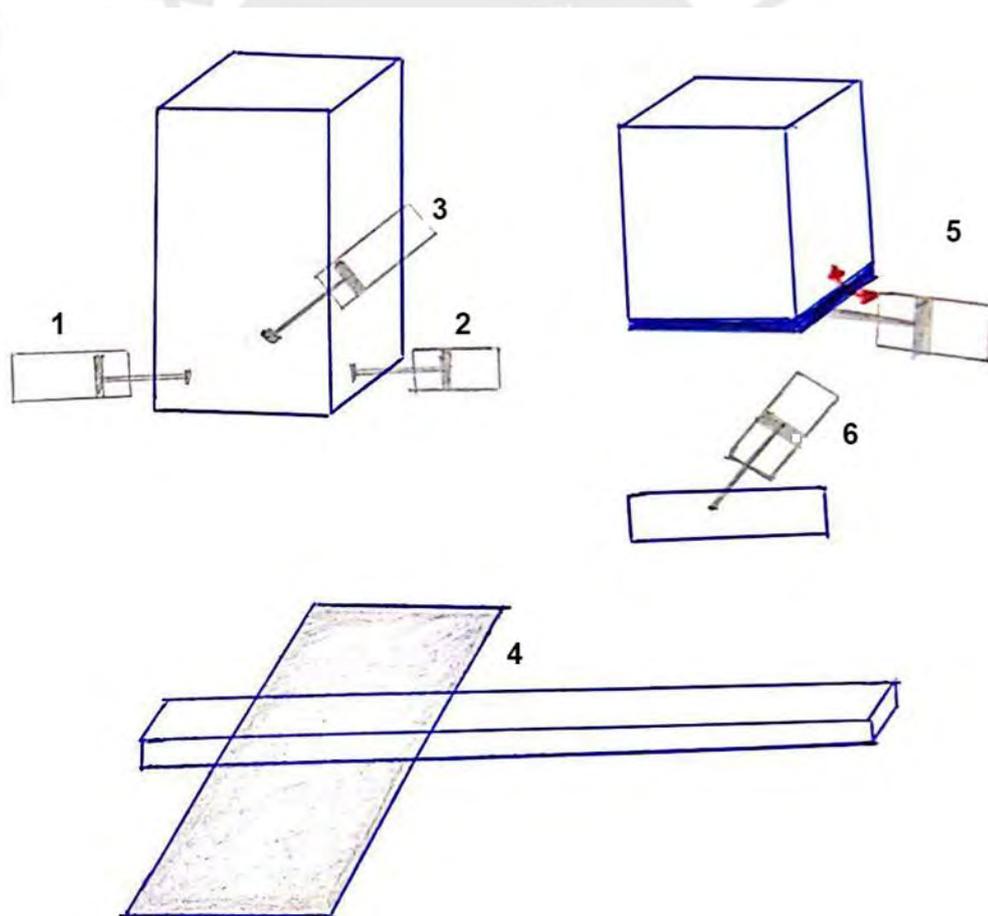


Figura 85 Numeración de actuadores

En la tabla 12, se puede ver los tiempos que demora cada proceso. El total de tiempo de un ciclo se determina con lo siguiente:

- Tiempo que se emplea en separar el clamshell a utilizar
- Deslizar la aleta que soporta todos los clamshell
- Desplazamiento del carro desde la posición inicial hacia la final
- Llenado del envase
- Empujar el envase
- Retornar el sistema de empuje hacia su posición inicial
- Retorno de posición final a inicial

Teniendo una duración total de 5.9 segundos.



3.9.3 Selección de actuadores y elementos neumáticos

3.9.3.1 Transporte

Se eligió un actuador neumático sin vástago, al cual se le incorporó un carro para transportar el clamshell en la parte superior. Para verificar los momentos y fuerzas que actúan sobre el actuador se realizó el diagrama de fuerzas (figura 86).

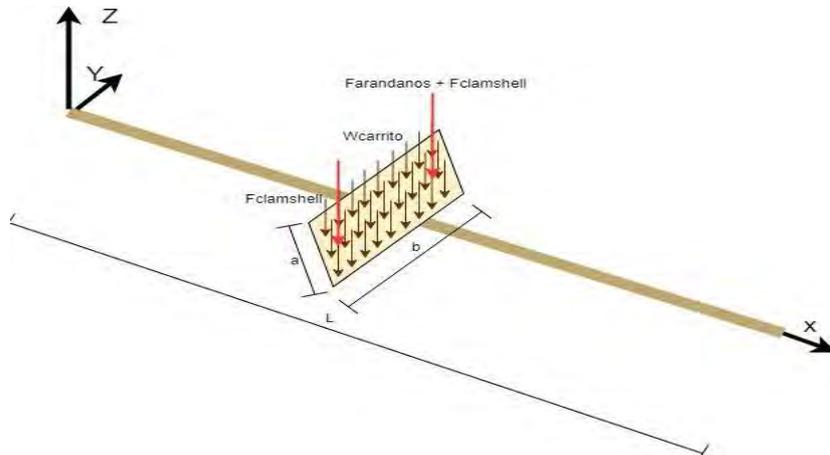


Figura 86 DCL de carrito transportador

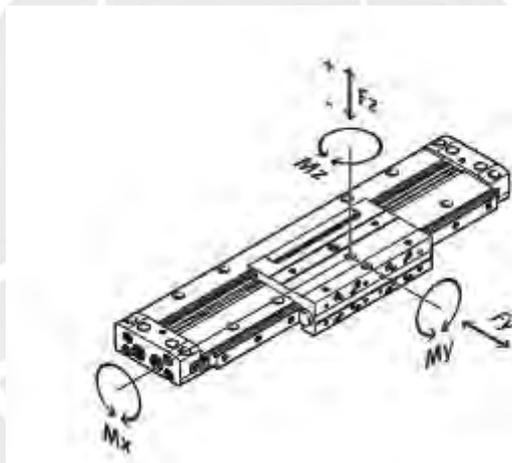


Figura 87 Fuerzas y Momentos permitidos ²⁸

$$F \text{ arándanos} = 0.2\text{kg} \cdot \frac{9.81\text{N}}{1\text{kg}} = 1.96\text{N}$$

$$b = 0.117\text{m}$$

$$M_x = (b/2) \cdot (F \text{ arándanos}) = 0.115 \text{ N.m}$$

$$\text{Fuerza total} = (0.505 + 0.2) \cdot 9.81 = 6.91\text{N}$$

Se seleccionó el actuador lineal DLGF-KF con diámetro del embolo de 20mm ya que cumple las características necesarias, es comercial y el precio es menor a uno de menor diámetro.

Piston diameter [mm]	Theoretical force at 6 bar [N]	Guide characteristics					
		Fy [N]	Fz+ [N]	Fz- [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
KF							
20	188	600	400	700	5.4	15	15

Figura 88 Actuadores lineales Festo ²⁸

Considerando que la masa del carro es de 0.505kg, y el tiempo estimado del desplazamiento desde la recepción de clamshell hacia la dosificación es de 1segundo; con la hoja de dato se determinó que la velocidad máxima será 1.5m/s. para cumplir el objetivo del tiempo la carrera del transporte deberá ser menor a 1.5m. Por ello se seleccionó el actuador sin vástago DLGF-KF-20-400-PPSA.

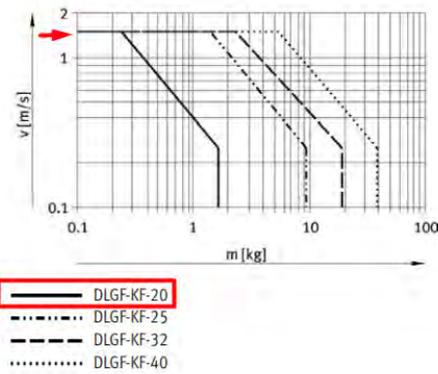


Figura 89 Ficha técnica DGC²⁸

Debido que la fuerza vertical que se aplica es 6.91N, solo se necesita un elemento de montaje en cada extremo ²⁸.

También se seleccionó los accesorios adecuados para el funcionamiento:

- Racor rápido de rosca exterior con hexágono exterior QS-1/8-10
- Racor con válvula de estrangulamiento y antirretorno GRLA-1/8-QS-3-D

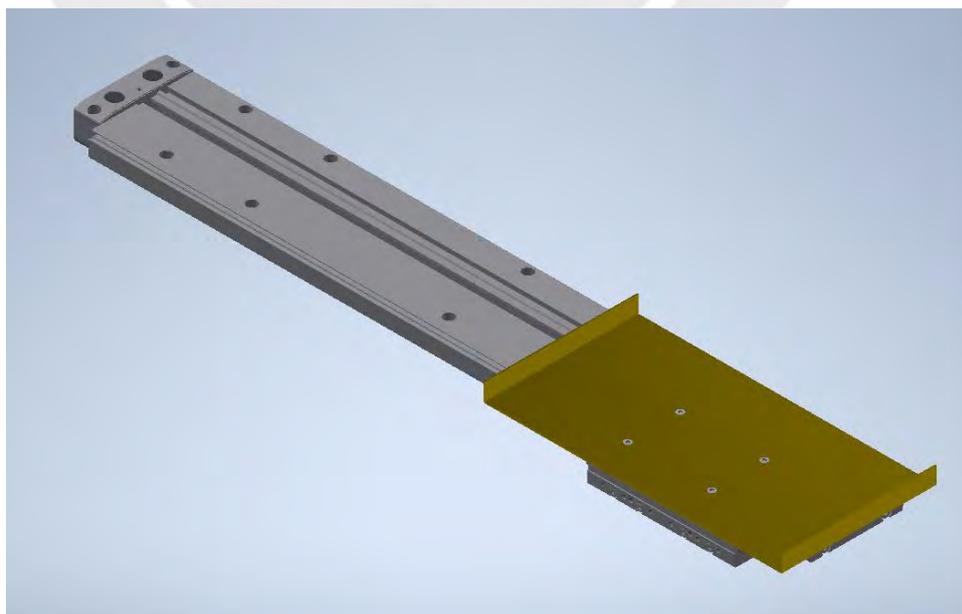


Figura 90 Ensamble sistema de transporte

3.9.3.2 Compuerta

El actuador permite el llenado de los arándanos, almacenados en el recipiente, al clamshell. Cuando el pistón este extendido, las compuertas se cierran, mientras cuando este comprimido las compuertas se abren y permiten el paso de las bayas, este movimiento se da cuando el pistón se contrae, mientras cuando este está extendido se cierra, como se aprecia en la figura 91.

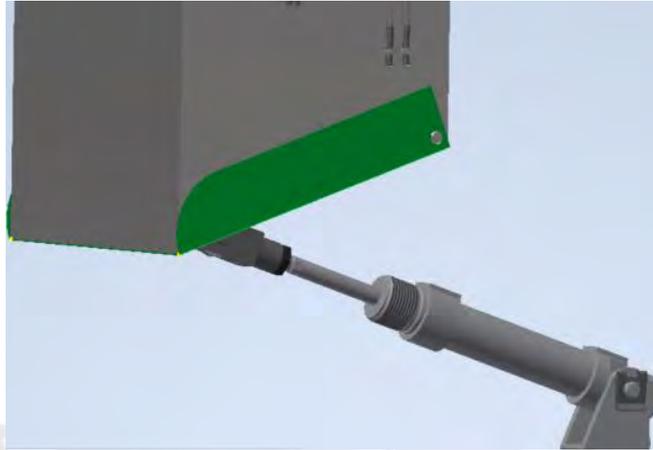


Figura 91 Pistón extendido

Se seleccionó un pistón DSNU, de 20 mm de diámetro del émbolo y con una carrera de 35mm, DSNU-20-35-PPV-A.

También se seleccionó los accesorios adecuados para su funcionamiento:

- Racor rápido de rosca exterior con hexágono exterior QS-1/8-10
- Racor con válvula de estrangulamiento y antirretorno GRLA-1/8-QS-6-D

3.9.3.3 Retirar

El actuador permite retirar el producto (clamshell con arándano) del carro transportador hacia una faja transportadora. Para realizar este movimiento es necesario contar con una guía que acompaña al pistón,

Los pistones no están diseñados para aplicar una fuerza, en este caso el empujar el producto es por eso es necesario diseñar una guía para realizar esta acción, como se muestra en la figura 92.

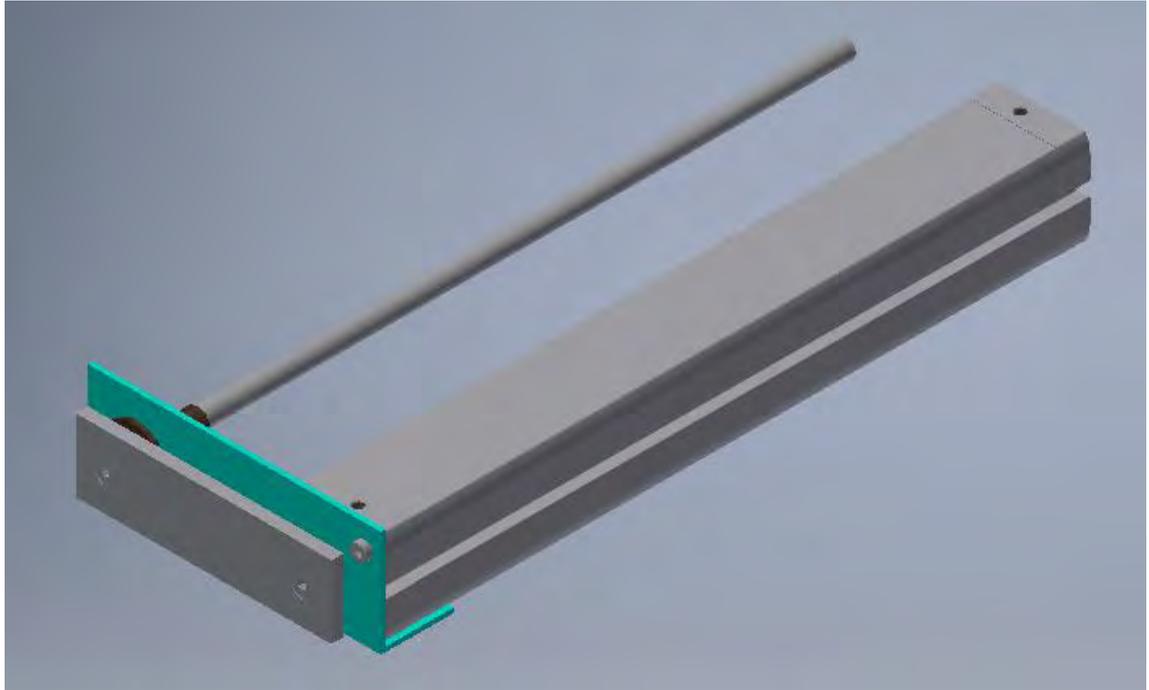


Figura 92 Ensamble sistema de expulsión

Se seleccionó una varilla de 8mm de diámetro con un pistón DSNU (ISO 6432), de 20 mm de diámetro del embolo y con una carrera de 35mm, DSNU-20-35-PPV-A.

También se seleccionó los accesorios adecuados para su funcionamiento:

- Racor rápido de rosca exterior con hexágono exterior QS-1/8-10
- Racor con válvula de estrangulamiento y antirretorno GRLA-1/8-QS-6-D

Tabla 13 Actuadores seleccionados

N°	Descripción	Modelo	Cantidad
#1	Dispensador lateral	ADN-S-12-25-I-P-A	1
#2	Dispensador lateral	ADN-S-12-25-I-P-A	1
#3	Dispensador frontal	DSNU-S-20-125-P-A-MX	1
#4	Compuerta	DSNU-20-35-PPV-A	1
#5	Retirar clamshell	DSNU-20-35-PPV-A	1
#6	Transporte	DGC-25-400-G-PPV-A	1

3.9.4 Cálculos de Caudal

Para hallar el caudal, es necesario saber la velocidad del cilindro, así como La velocidad mínima de los pistones es 6.54 cm/s.

- Separar clamshell (Pistón 1 y 2)
 Carrera: 25mm
 Tiempo de ingreso: 0.5s
 P=6bar
 Datos del pistón:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro (d)} &= 12\text{mm} \\ V &= 50\text{mm/s} \\ \text{Área} &= \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = 113.1 \text{ mm}^2 \\ \text{Caudal (Q1)} &= A*V= 5\,655 \text{ mm}^3/\text{s} \\ \text{Caudal (Q2)} &= A*V= 5\,655 \text{ mm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- Soportar clamshell (Pistón 3)

$$\begin{aligned} \text{Carrera: } &125\text{mm} \\ \text{Tiempo de retiro: } &1 \text{ s} \\ P &= 6\text{bar} \end{aligned}$$

Datos del pistón:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro (d)} &= 20\text{mm} \\ V &= 125\text{mm/s} \\ \text{Área} &= \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = 314.2 \text{ mm}^2 \\ \text{Caudal (Q3)} &= A*V= 39\,270 \text{ mm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- Transporte:

$$\begin{aligned} \text{Carrera: } &400\text{mm} \\ \text{Tiempo desde el dispensador hasta la dosificación: } &1.1\text{s} \\ P &= 6\text{bar} \end{aligned}$$

Datos del pistón:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro (d)} &= 20\text{mm} \\ V &= 363.7\text{mm/s} \\ \text{Área} &= \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = 314.16 \text{ mm}^2 \\ \text{Caudal (Q6)} &= A*V=114\,260 \text{ mm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- Compuerta:

$$\begin{aligned} \text{Carrera: } &35\text{mm} \\ \text{Tiempo para la apertura de compuerta: } &0.3 \\ P &= 6\text{bar} \end{aligned}$$

Datos del pistón:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro (d)} &= 25\text{mm} \\ V &= 116.67\text{mm/s} \\ \text{Área} &= \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = 490.874 \text{ mm}^2 \\ \text{Caudal (Q4)} &= A*V=57\,285 \text{ mm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- Expulsión de producto:

$$\begin{aligned} \text{Carrera: } &80\text{mm} \\ \text{Tiempo para retirar envase: } &0.5\text{s} \\ P &= 6\text{bar} \end{aligned}$$

Datos del pistón:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro (d)} &= 12\text{mm} \\ V &= 160\text{mm/s} \\ \text{Área} &= \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = 113.1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Caudal (Q5)} = A \cdot V = 18\,096 \text{ mm}^3/\text{s}$$

El caudal total será:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 137\,387 \text{ mm}^3/\text{s}$$

3.9.5 Circuito neumático.

Se empleó 5 cilindros de simple efecto y 4 válvulas monoestable 3/2, 1 actuador doble efecto y una válvula 5/2. Su funcionamiento consta de permanecer en la posición estable hasta recibir alguna señal para cambiarla.

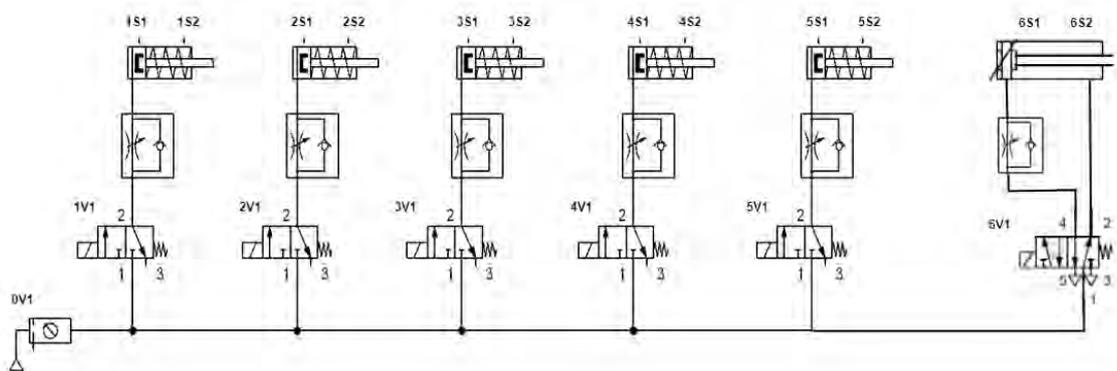


Figura 93 Diagrama Neumático

3.10 Diseño de la estructura

Para la estructura se seleccionó perfiles “L” fabricados con acero al carbono laminados en caliente (LAC) debido que no tienen contacto directo con los alimentos.

Se seleccionó el perfil L con las siguientes características:

Dimensión: 25x25x2

Norma: ASTM A500

Sección	Norma técnica		Grado	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación mínima
	Del tubo	Del acero				
Redondo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	A	228	310	25
	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 1011 CS TIPO B				
Cuadrado	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	A	269	310	25
	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 1011 CS TIPO B				
Rectángulo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	B	269	310	25
	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 1011 CS TIPO B				

(*) Dimensiones y Tolerancias.



Figura 94 Tubo cuadrado ²⁹

Soldadura:

Se emplea soldadura tubular de 1 mm Mig/Mag para la estructura.

Peso: 1.107Kg/m



Figura 95 Alambre para soldadura Mig/Mag³⁰

La estructura principal de la máquina no soporta cargas considerables y al estar construida de perfiles estructurales de acero DIN EN 10210-2 (25 x 25 x 2), presenta una gran resistencia a la sollicitación, el peso total de la máquina con los 25kg de arándanos y los *clamshell* es menor a 500kg (peso de maquina calculado en base a datos proporcionados por el software de modelación). Se realizó una simulación usando elementos finitos en Autodesk Inventor, obteniendo dos resultados: un análisis de esfuerzos máximos (figura 96) y de deformación (figura 97).

²⁹ Acero Arequipa. (s.f.). Tubo ASTM A500 LAC Y GALV. Obtenido de https://acerosarequipa.com/sites/default/files/fichas/2023-08/TUBO_LAC_CALIENTE-PERU.pdf?fv=Sc1YtgXA

³⁰ PROMART. (s.f.). Alambre para soldadura ER70S-6 1MM X 15KG. Obtenido de https://www.promart.pe/alambre-para-soldadura-er70s-6-1mm-x-15kg/p?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAgeeqBhBAEiwAoDDhn62sgsf8PCxtFbiU-Kc2cutgDVDz1d9MbWkivf865beu3CSc1XrSFxoCzLQQAyD_BwE

Tabla 14 Datos de la estructura

Masa	33.741 kg
Área	42177.111 mm ²
Volumen	4298.228 mm ³
Centro de gravedad	x=-125.711 mm
	y=72.095 mm
	z=-110.935 mm
Densidad de masa	7.850 g/cm ³
Área de sección (a)	179.708 mm ²
Anchura de sección	25.000 mm
Altura de sección	25.000 mm
Centroide de sección (x)	12.500 mm
Centroide de sección (y)	12.500 mm



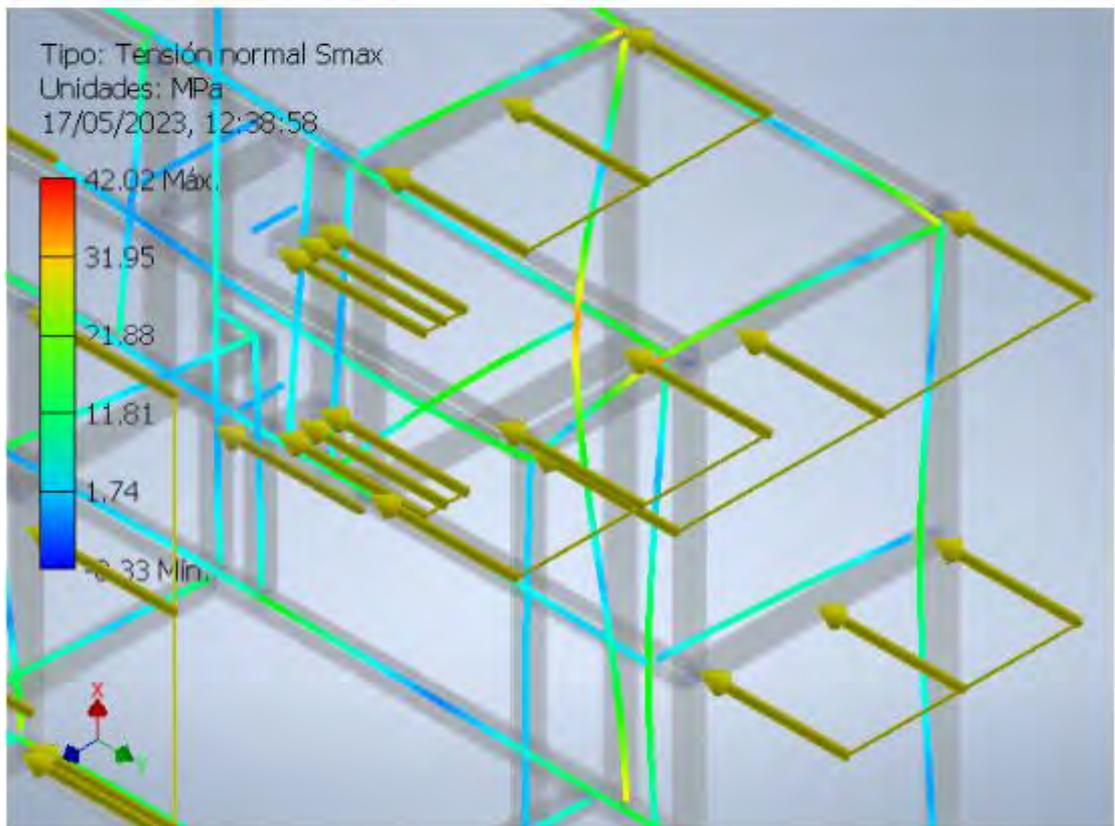
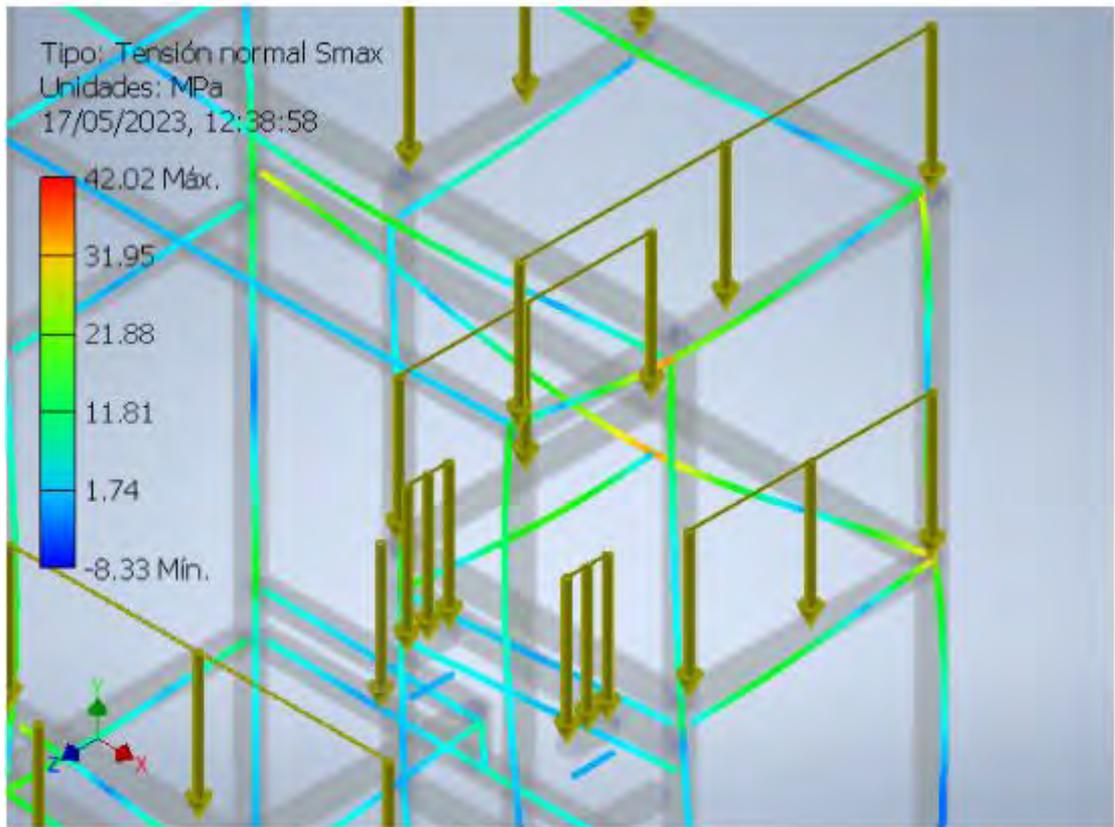


Figura 96 Esfuerzo máximo normal en la estructura

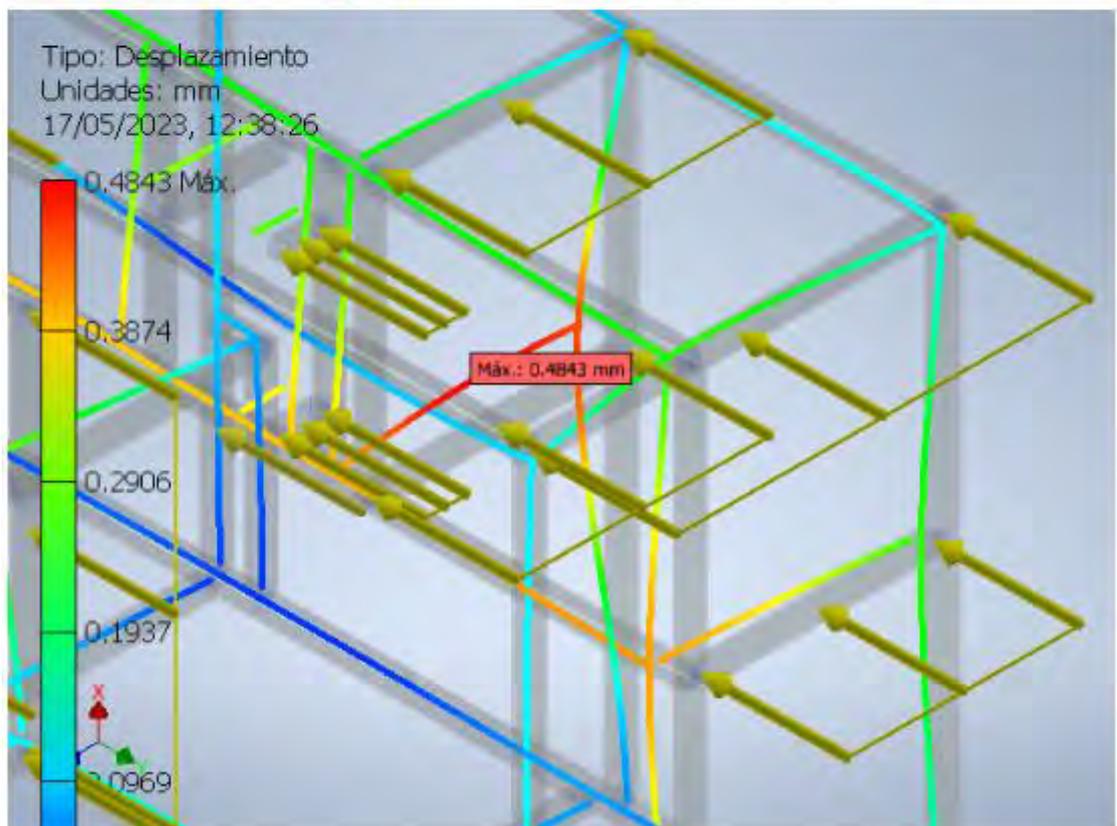
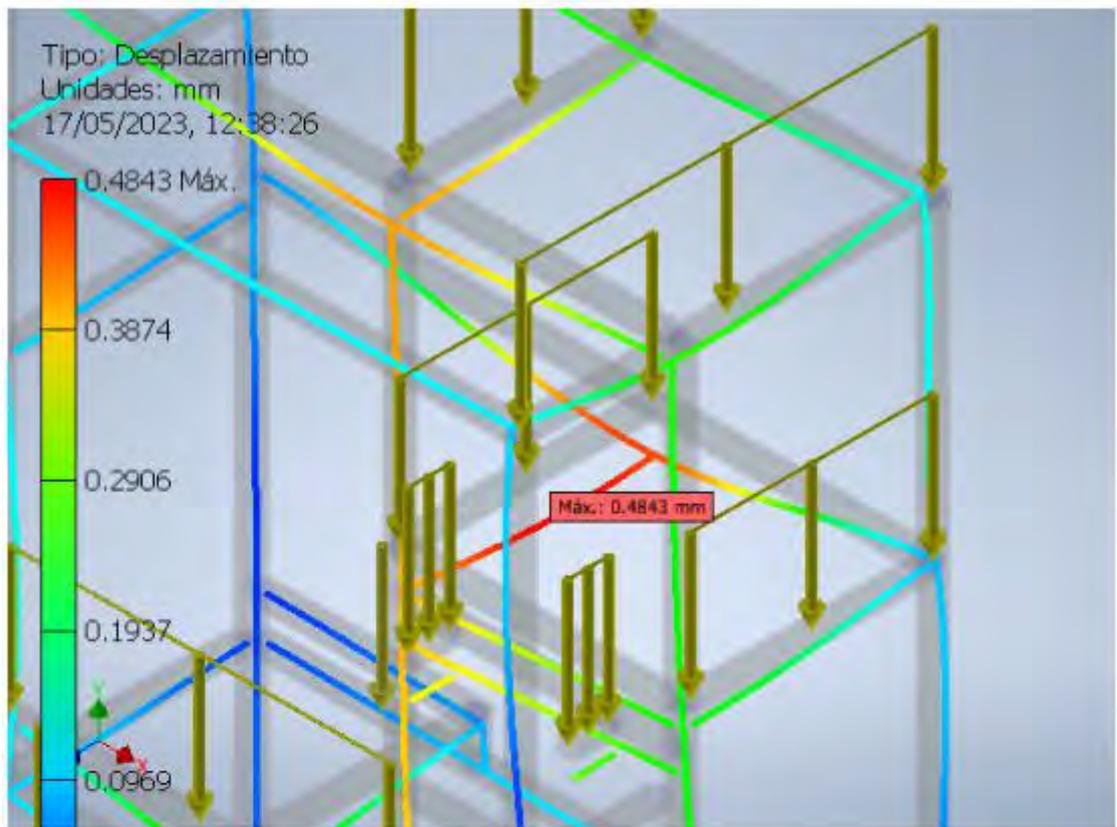


Figura 97 Desplazamiento de la estructura

Mediante el análisis de esfuerzo, se tiene que:

Esfuerzo normal máximo: 42.02 MPa

Esfuerzo cortante máximo $\sqrt{5.253^2 + 12.21^2} = 13.29 \text{ MPa}$

Se halla el esfuerzo equivalente de Von Mises:

$$= 55.31 \text{ MPa}$$

El esfuerzo más crítico que soporta la estructura es de 55.31MPa, al comparar con el límite elástico del acero ASTM A-36 que es de 269MPa²⁹ se obtiene un factor de seguridad de 4.89, lo cual no ocasiona problema alguno con la carga asumida. Por otro lado, la deformación máxima es de 0.48 mm en el vibrador mecánico.

3.11 Diseño del sistema de software

3.11.1 Diagrama de flujo

En el diagrama de flujo se representa una secuencia de pasos para el funcionamiento del proyecto. Se inicia con una configuración inicial, en la cual el usuario establece el peso deseado para el producto, después si se encuentra los productos de entrada (clamshell y arándanos) a niveles establecidos se activa el funcionamiento. Luego se dispensa el clamshell, se dosifica los arándanos y finalmente se retira el producto.

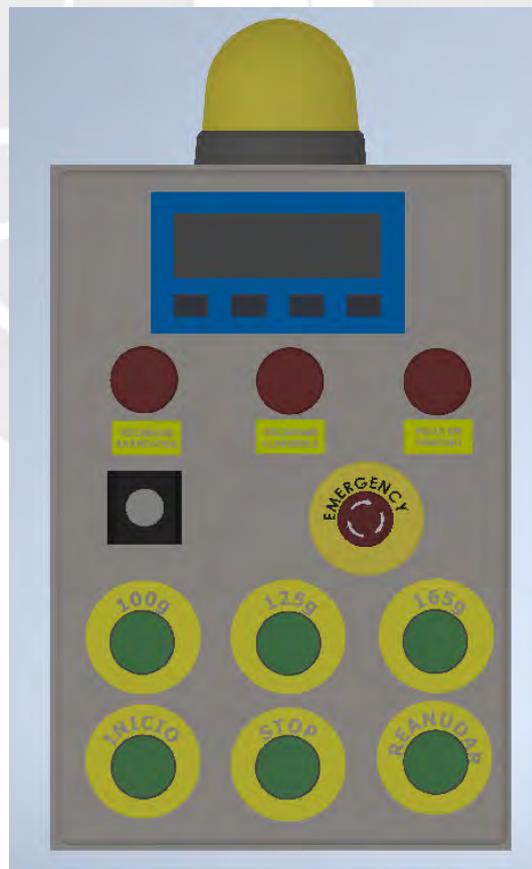


Figura 98 Gabinete de control

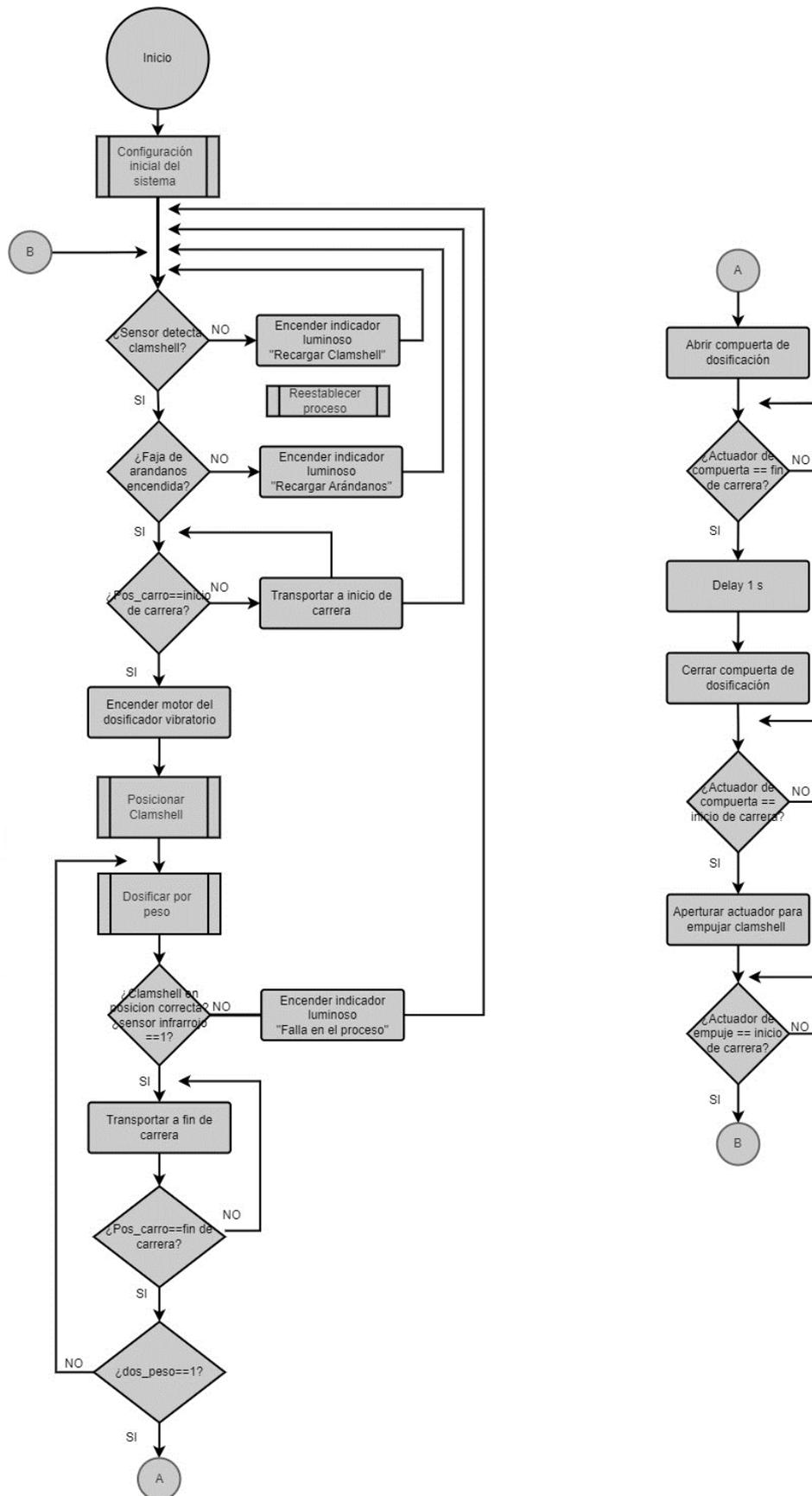


Figura 99 Diagrama Principal

La interrupción es una parada temporal del proceso, para ejecutar una subrutina (no forma parte del proceso), cuando finalice la subrutina se reanuda la ejecución del programa³¹. Para el proceso de operación de la maquina se necesita tres interrupciones: Botón de apagado y emergencia.

Interrupción externa
Botón de Apagado



Interrupción externa
Botón Emergencia

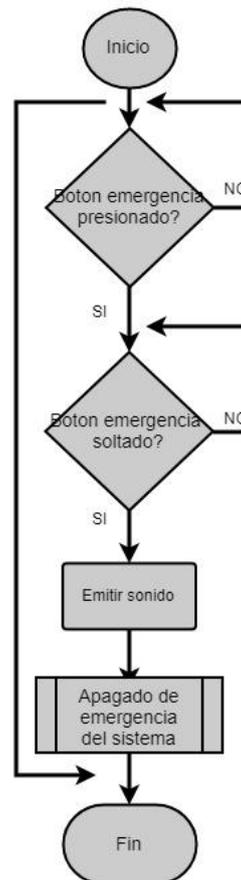


Figura 100 Diagrama de interrupciones

La función es un subprograma, que es parte del programa principal. Para este proyecto se tiene tres funciones: posicionar, dosificar y configuración inicial.

³¹ Aprendiendo Arduino. (s.f.). Interrupciones. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/13/interrupciones/>

Función Dosificar por peso

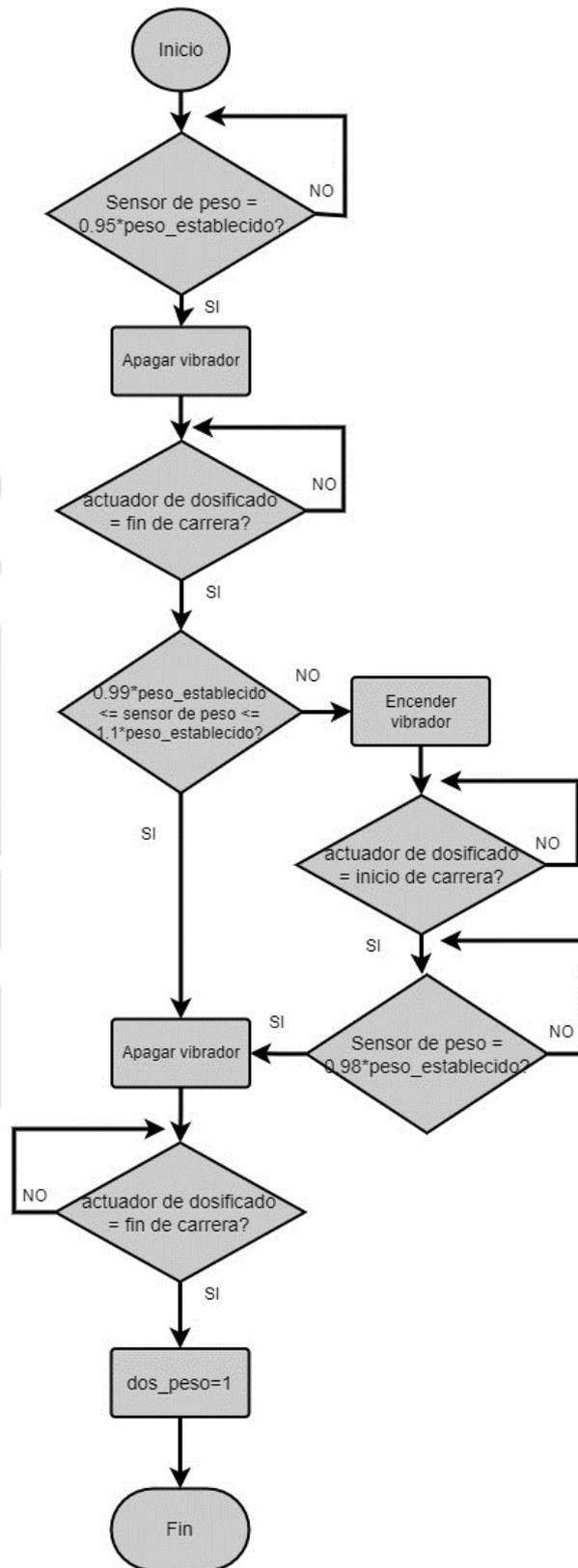


Figura 101 Diagrama de función dosificar peso

Función
Configuración del sistema

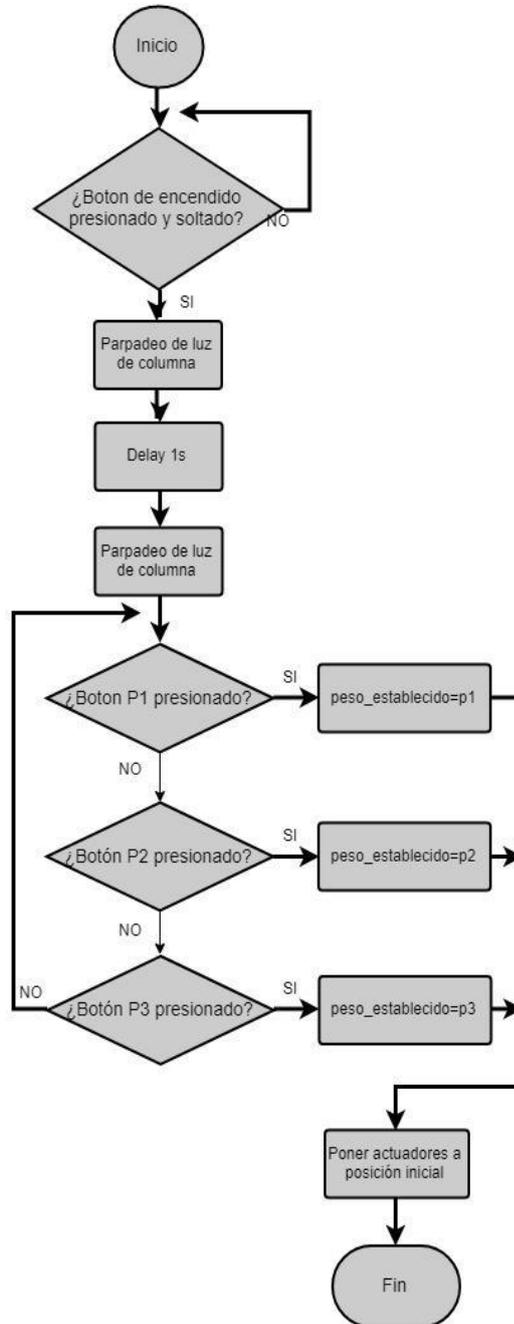


Figura 102 Diagrama de configuración del sistema

3.12 Modelado en 3D

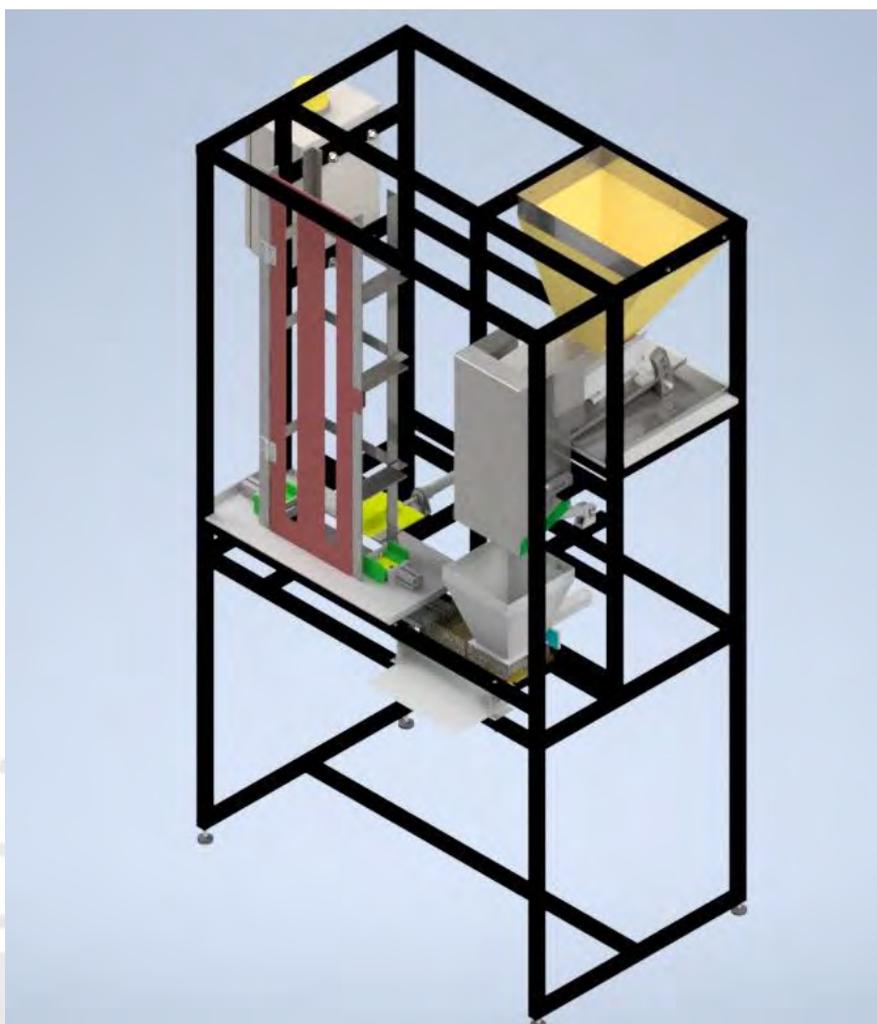


Figura 103 Vista 1 del modelo en 3D



Figura 104 Vista 2 del modelo en 3D

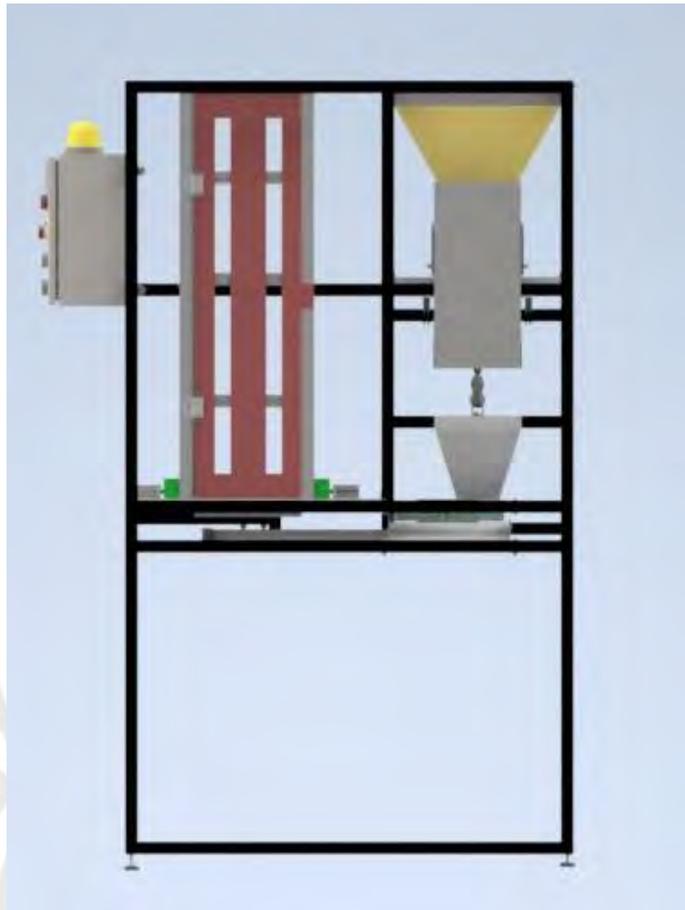


Figura 105 Vista 3 del modelo en 3D

Para la estructura se utilizó 4 soportes con niveladores.

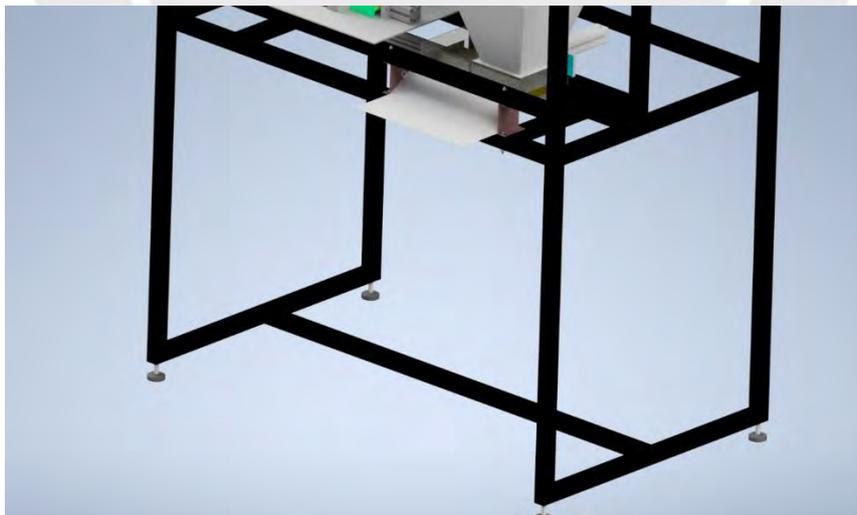


Figura 106 Soporte de las estructuras

La interfaz con el usuario posee 7 botones, donde el usuario va a poder elegir entre tres opciones de dosificación del producto (100, 125 y 150g), además de contar con un botón de inicio, stop y el de emergencia. El indicador luminoso y sonoro es la torreta que se encuentra en la parte superior del tablero, la cual se activa

cuando se presenta un evento durante el proceso, el nivel de clamshell este bajo y no se tenga arándanos. También se activa los indicadores luminosos en el tablero de acuerdo a la alarma sucedida.

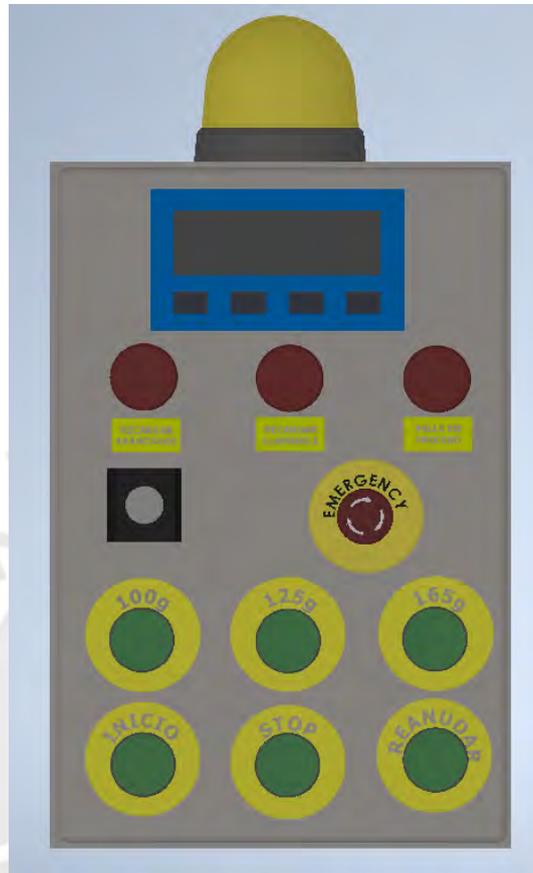


Figura 107 Interfaz del usuario

3.13 Mantenimiento de equipo de pesaje

Cada vez que se requiera emplear la máquina diseñada es necesario realizar una calibración de las celdas de peso y controlador.

Para ello primero se debe asegurar que la compuerta este limpia y sin desperdicios.

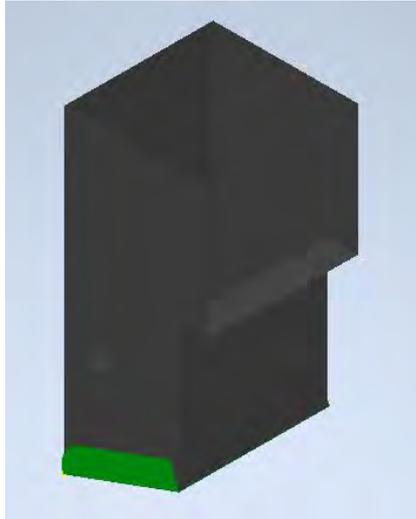


Figura 108 Compuerta dosificadora

Después, se debe realizar las siguientes calibraciones:

- Calibración en vacío
- Calibración *span* para ello será necesario posicionar la pesa patrón sobre la cubierta

Con estas calibraciones se confirma que la balanza se encuentra en condiciones adecuadas para su uso con mayor precisión.

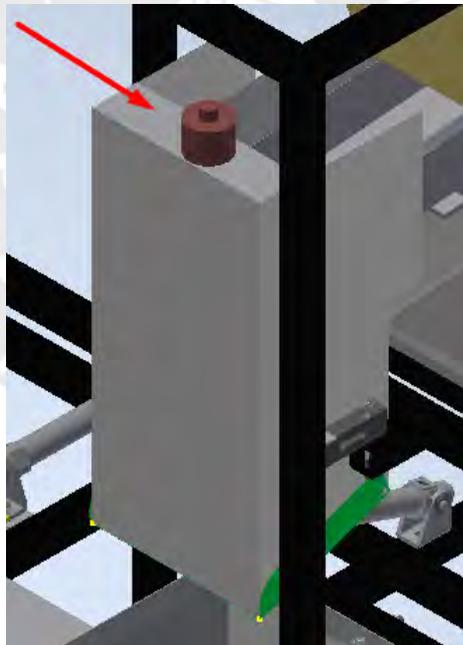


Figura 109 Ubicación de pesa patrón

La pesa patrón seleccionada es la siguiente:

Clase: F1

Marca: Fuyue

Material; Acero inoxidable



Figura 110 Pesa Patrón F1 Fuyue³²

³² PESATEC. (s.f.). Pesas Individuales. Obtenido de <https://pesatec.com/producto/ind001/>

4 LISTA DE PLANOS

4.1 Lista de planos para dispensador de clamshell

PLANO	DESCRIPCIÓN
A0 - DC001	ENSAMBLE - DISPENSADOR CLAMSHELL
A0 - DC002	ENSAMBLE DE ALMACENAMIENTO DE CLAMSHELL
A3 - DC003	PUERTA DE DISPENSADOR
A3 - DC004	ESTRUCTURA DE DISPENSADOR
A4 - DC005	SOPORTE LATERAL
A4 - DC006	UNION DE ESTRUCTURA I
A4 - DC007	UNION DE ESTRUCTURA II
A3 - DC008	SOPORTE VERTICAL_
A3 - DC009	ESTRUCTURA DISPENSADOR DE CLAMSHELL
A4 - DC010	SOPORTE BISAGRA
A4 - DC011	GUIA DE ALETA
A3 - DC012	SOPORTE DISPENSADOR

4.2 Lista de planos para sistema de transporte

PLANO	DESCRIPCIÓN
A3 - PT002	ENSAMBLE - TRANSPORTE DE CLAMSHELL
A3 - PT003	SOPORTE PORTACLAMSHELL

4.3 Lista de planos para dosificadora de arándanos

PLANO	DESCRIPCIÓN
A0 - PD001	TRANSPORTADOR PARA DOSIFICAR

A0 - PD002	ESTRUCTURA DE ALIMENTADOR VIBRATORIO
A3 - PD003	ENSAMBLE - BANDEJA
A3 - PD004	BASE FIJA
A3 - PD005	SOPORTE DE VARILLA
A3 - PD006	BASE MOVIL DE ALIMENTADOR
A3 - PD007	REGULADOR DE ANGULO
A3 - PD008	CHAPA BANDEJA
A4 - PD009	TAPA DE BANDEJA
A3 - PD010	ENSAMBLE CONTENEDOR DOSIFICADOR
A3 - PD011	TOLVA
A3 - PD012	PUERTA DE CONTENEDOR
A3 - PD013	PIN PARA CONTENEDOR

4.4 Lista de planos para sistema de expulsión

PLANO	DESCRIPCIÓN
A3 - PR001	ENSAMBLE - SISTEMA RETIRAR CLAMSHELL
A4 - PR002	BOCINA DE 8 MM
A3 - PR003	SOPORTE DE ACTUADOR PARA RETIRAR
A4 - PR004	GUÍA DE PISTÓN DE EXPULSIÓN
A3 - PR005	BASE DE RETIRO
A3 - PR006	ENSAMBLE - EXPULSIÓN DE CLAMSHELL
A3 - PR007	SOPORTE VERTICAL
A4 - PR008	SUJETADOR
A3 - PR009	SOPORTE DE ACTUADOR PARA RETIRAR

4.5 Lista de planos estructura y global

PLANO	DESCRIPCIÓN
A0 - PG001	ENSAMBLE GLOBAL
A3 - PG002	ESTRUCTURA

4.6 Lista de planos gabinete de control

PLANO	DESCRIPCIÓN
A3 - SC001	GABINETE DE CONTROL



5 COSTOS

5.1.1 Componentes mecánicos

Tabla 15 Costo de componentes mecánicos³³

Descripción	Norma/Marca	Total (USD)
Fabricación de estructura	LAC 2"x2"x2mm	600
Fabricación del sistema de dosificación de arándanos	AISI 316	800
Fabricación del sistema de dispensado de clamshell	AISI 316	300
Fabricación del sistema de expulsión de clamshell	AISI 304	180
Fabricación del sistema de transporte	AISI 316	120
Pernos	M3, M4, M6, M10	150
Total (sin IGV)		2 150
IGV		387
		\$ 2,537.00

5.1.2 Componentes electrónicos

Tabla 16 Costo de componentes electrónicos³³

Descripción	Marca	Cantidades	Precio (\$)	Total
Celda de carga de 5kg	CALT	2	30	52
Sensores ultrasonido	Balluff	1	280	55.44
Luz de Columna		1	26	23.44
Botón iluminado		7	15	49.35
Switch socket		7	4.5	14.84
Fuente Switching 24v		1	30	30

³³ Los precios fueron obtenidos de la cotización emitida por IGNC CORPORATION SAC

Fuente Switching 5v		1	20	15
Total (sin IGV)				240.1
IGV			18%	43.2
				\$ 283.3

5.1.3 Componentes de control

Tabla 17 Costo de componentes control ³³

Descripción	Modelo	Total (USD)
Relé programable inteligente modular Zelio Logic	SR3B261FU	400
Cable USB de conexión a PC para rele Zelio	SR2USB01	50
Módulo de ampliación - 8 entradas - 6 salidas digitales	SR3XT141FU	300
Accesorios		200
Total (sin IGV)		950
IGV		171
		\$1,121.00

5.1.4 Componentes neumáticos

Tabla 18 Costo de componentes neumáticos ³³

Descripción	Características	Unidades	Precio (\$)	Total
Dispensador lateral	ADN-S-12-25-I-P-A	1	100	100
Dispensador lateral	ADN-S-12-25-I-P-A	1	150	100
Dispensador frontal	DSNU-S-20-125-P-A-MX	1	40	100
Compuerta	DSNU-20-35-PPV-A	1	40	100
Retirar clamshell	DSNU-20-35-PPV-A	1	40	100
Transporte	DGC-25-400-G-PPV-A			200

Electroválvula 3/2	Monoestable	5	55	275
Electroválvula 5/2	Biestable	1	55	55
Válvula reguladora de caudal	Rosca 1/4"	6	100	600
Silenciador de bronce sinterizado	Rosca 1/4"	6	30	180
Racores	Rosca 1/4", d=6mm	6	30	180
Manguera de aire de poliuretano	d=6mm	15	4	60
Total (sin IGV)				2050
IGV			+18%	369
				\$2,419.00

5.1.5 Costo de ensamblaje

Para el armado de los componentes se estima 7 días de trabajo de un operario, lo cual hace un costo de \$400.

5.1.6 Estimación de costos totales

El costo total de todo el sistema es de \$6,760, lo cual hace una máquina considerablemente competitiva respecto a los sistemas de automatizado de envasado, además que el diseño es compacto. En el siguiente cuadro se detalla los costos por cada dominio.

Tabla 19 Estimación de costo total

Dominio	Costo total (\$)
Mecánico	\$2,537.00
Electrónico	\$ 283.30
Control	\$1,121.00
Neumático	\$2,419.00
Ensamblado	\$ 400.00
	\$ 6,760.00

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El diseño de la maquina satisface el objetivo principal del diseño de un sistema dispensador de clamshell y dosificador de arándanos según el peso establecido por el usuario.
- Se diseñó un prototipo de cada sistema para validar los principios de funcionamiento de la máquina, teniendo resultados óptimos.
- Se realizó un análisis de frecuencia (OMA) en el prototipo del dosificador de arándanos, validando la frecuencia natural de operación de 5.5Hz, por lo tanto, su funcionamiento siempre debe trabajar fuera de ese rango.
- El diseño de la maquina cumplió los requerimientos de la norma sanitaria para la industria alimentaria, donde establece que los materiales que están al contacto del fruto deben ser AISI 316 o AISI 304, en este caso se consideró AISI 316.
- Se cumplió el requerimiento inicial donde se establece la velocidad máxima de 90kg de arándanos por hora con envases de 125gr, lo cual optimiza el proceso de envasado comparado al manual (realizado anteriormente).
- Para el sistema de transporte se seleccionó el actuador considerando que la velocidad de funcionamiento este por debajo de la máxima, además se calculó todas las fuerzas y momentos necesarios y se comparó con las fuerzas máximas que resiste el actuador, verificando el cumplimiento de esto.
- El sistema de dispensado tuvo una evolución en el diseño debido que inicialmente se consideró con ventosas; sin embargo, su implementación generaba tener componentes adicionales y su tiempo de dispensado era mayor, por ello se decidió realizarlo con tres aletas. Su funcionamiento fue comprobado a través de un prototipo.
- El presupuesto asignado al proyecto sin considerar el costo de diseño fue de \$10,000. Basado en el diseño, se cotizó que el costo sería de \$6,760 siendo un 30% menor del presupuesto inicial asignado.
- La máquina ha sido diseñada para trabajar en climas cálidos como fríos (temperaturas alrededor de 0° a 40°), además de tener una interfaz para el usuario sencillo y fácil de comprender el funcionamiento.
- La máquina utiliza tensión monofásica de 220V a 60 Hz, cumpliendo los requerimientos de la lista de exigencias.

- Es posible el diseño de un sistema de control electrónico en un tablero de control para las cuatro fases de la máquina, cada circuito independiente entre sí.
- El sistema fue diseñado para dosificar los arándanos dentro del clamshell, se puede añadir un sistema para el cerrado de los clamshells y también un sistema de etiquetado.



7 BIBLIOGRAFÍA

- Acero Arequipa. (s.f.). *Tubo ASTM A500 LAC Y GALV*. Obtenido de https://acerosarequipa.com/sites/default/files/fichas/2023-08/TUBO_LAC_CALIENTE-PERU.pdf?fv=Sc1YtgXA
- ADEX PERU. (31 de Marzo de 2023). *ADEX PERU*. Obtenido de <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/en-el-2022-peru-fue-el-primer-exportador-mundial-de-arandanos/>
- AGROMARKET. (s.f.). *Clamshell de arandanos*. Obtenido de <https://agromarket.pe/52-para-arandanos>
- Aliexpress. (s.f.). *Vibrador Electromagnético*. Obtenido de https://es.aliexpress.com/item/32911119661.html?storeId=1548016&spm=a219c.search0104.3.2.61cd7186JmS22d&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb2_01602_3_10065_10068_319_10059_10884_317_10887_10696_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_537_536%2Csearchw
- Aprendiendo Arduino. (s.f.). *Interrupciones*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/13/interrupciones/>
- BALLUFF. (s.f.). *Retroreflective sensors BOS01MN*. Obtenido de <https://www.balluff.com/en-de/products/BOS01MN>
- Barriga, B. (2013). *Circuito Neumatico*. Lima: PUCP.
- BBC Technologies. (s.f.). Obtenido de <http://bbctechnologies.com/cherry-bagger-clamshell-filler/>
- Blueberries Consulting. (14 de Febrero de 2020). *Pequeños productores contribuyen con más del 20% de las exportaciones de arándanos de Perú*. Obtenido de <https://blueberriesconsulting.com/pequenos-productores-contribuyen-con-mas-del-20-de-las-exportaciones-de-arandanos-de-peru/>
- BOHLER PERU. (s.f.). *ANTINIT 304 L*. Obtenido de <https://www.bohlerperu.com/app/uploads/sites/138/2019/09/ANTINIT-304L.pdf>
- ESAN. (25 de Noviembre de 2022). *Exportación de arándanos en crisis: Una mirada desde la logística*. Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/exportacion-de-arandanos-en-crisis-una-mirada-desde-la-logistica>
- FESTO. (s.f.). *Actuadores lineales DLGF*. Obtenido de <https://www.festo.com/media/pim/611/D15000100149611.PDF>
- FESTO. (s.f.). *COMPONETES NEUMÁTICOS*. Obtenido de <https://www.festo.com/es/es/>
- Induser. (s.f.). *ENVASADORAS*. Obtenido de <https://www.induser.es/es/envasadoras>
- Lakewood. (s.f.). *Process Machinery*. Obtenido de <https://www.lakewoodpm.com/wp-content/uploads/2015/01/Lakewood-Process-Machinery-Raspberry-Packing-Equipment.pdf>

- Lakewood. (s.f.). *RASPBERRY & BLACKBERRY PACKING EQUIPMENT*. Obtenido de <http://lakewoodpm.com/wp-content/uploads/2015/01/Lakewood-Process-Machinery-Raspberry-Packing-Equipment.pdf>.
- MIDAGRI. (2016). *El arandano en el Perú y el Mundo*. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.midagri.gob.pe/index.php/analisis-economicos/boletines/2016/36-el-arandano-en-el-peru-y-el-mundo/file>
- PESATEC. (22 de Febrero de 2023). INDICADOR DIGITAL - ID550. *COTIZACIÓN*. Lima, Peru.
- PESATEC. (s.f.). *Pesas Individuales*. Obtenido de <https://pesatec.com/producto/ind001/>
- PROMART. (s.f.). *Alambre para soldadura ER70S-6 IMM X 15KG*. Obtenido de https://www.promart.pe/alambre-para-soldadura-er70s-6-1mm-x-15kg/p?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAgeeqBhBAEiwAoDDhn62sgsf8PCxtFbiU-Kc2cutgDVDz1d9MbWkivf865beu3CSc1XrSFxoCzLQQA_vD_BwE
- PUCP. (s.f.). *Metodología de Diseño Mecatrónico*.
- RS. (s.f.). *Botones Pulsadores*. Obtenido de <https://cl.rsdelivers.com/product/schneider-electric/zb5aw333/interruptor-de-boton-pulsador-ip66-ip67-ip69k/3422891>
- Russell, K. F. (1969). *Estados Unidos Patente n° US3618285A*. Obtenido de [https://patents.google.com/patent/US3618285A/en?q=\(PACKING\)&q=\(MACHINE\)&q=\(FRUIT\)&oq=PACKING+MACHINE+FRUIT](https://patents.google.com/patent/US3618285A/en?q=(PACKING)&q=(MACHINE)&q=(FRUIT)&oq=PACKING+MACHINE+FRUIT)
- Schneider Electric. (s.f.). *Cable USB de conexión a PC para rele Zelio*. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/product/SR2USB01/cable-usb-de-conexi%C3%B3n-a-pc-para-rele-zelio-largo-3m/>
- Schneider Electric. (s.f.). *Relé programable inteligente modular Zelio Logic*. Obtenido de <https://www.se.com/co/es/product/SR3B261FU/rel%C3%A9-programable-inteligente-modular-zelio-logic-26-e-s-100-240-v-ca-16-entradas-10-salidas-con-reloj-pantalla/>
- Schneider Electric. (s.f.). *SR3XT141FU Imagen del producto Schneider Electric*. Obtenido de <https://www.se.com/pe/es/product/SR3XT141FU/modulo-de-ampliacion-8-entradas-6-salidas-digitales-sr3-220v-dc/>
- Schneider Electric. (s.f.). *XCJ126C Long flat lever plunger*. Obtenido de https://www.ops-ecat.schneider-electric.com/ecat/browse.do?cat_id=BU_AUT_2593_L4&conf=sensors&ctg=&el_typ=product&prd_id=XCJ126C&tab=0
- Stevens, H. A. (1965). *Estados Unidos Patente n° US3338009A*. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/US3338009>
- SUNAT. (2021). *ESTADISTICAS DE COMERCIO EXTERIOR*. Obtenido de https://www.sunat.gob.pe/estad-comExt/modelo_web/web_estadistica.htm
- Volm Companies. (s.f.). *Primary Packaging*. Obtenido de <https://volmcompanies.com/products/equipment/primary-packaging>
- Zemic Europe. (s.f.). *Type L6D Load Cell*. Obtenido de https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/L6D_Datasheet.pdf

8 ANEXOS

8.1 Arquitectura de Control

8.2 Lista de Señales

8.3 Programación Ladder

8.4 Circuito Neumático

8.5 Planos Mecánicos

- Sistema dispensado de clamshell
- Sistema dosificado de arándanos
- Sistema de expulsión
- Sistema de transporte
- Ensamble Global y estructura
- Gabinete de Control

