



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

“CRIBADORA SEMIAUTOMÁTICA Y DOSIFICADORA DE FRÉJOL
SECO PARA EL SECTOR ARTESANAL”

AUTOR: LUIS FERNANDO LUCERO ROMÁN

DIRECTOR: Prof. MARCO CIACCIA SORTINO, PhD.

Ibarra, 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

Datos de contacto			
Cédula de identidad:	1003625777		
Apellidos y nombres:	Lucero Román Luis Fernando		
Dirección:	Ibarra, barrio La Primavera		
Email:	lflucero@utn.edu.ec		
Teléfono fijo:	062-510 055	Teléfono móvil:	0959969888

Datos de la obra	
Título:	Cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal
Autor (es):	Lucero Román Luis Fernando
Fecha: dd/mm/aaaa	15/09/2021
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniería Mecatrónica
Asesor /director:	Prof. Marco Ciaccia Sortino, PhD.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de septiembre de 2021

EL AUTOR:


(Firma).....

Nombre: *Fernando Lucero*.....



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Prof. Marco Ciaccia Sortino, PhD. director de la tesis de grado desarrollada por el señor estudiante Lucero Román Luis Fernando.

CERTIFICA

Que el proyecto de tesis de grado con el título **“CRIBADORA SEMIAUTOMÁTICA Y DOSIFICADORA DE FRÉJOL SECO PARA EL SECTOR ARTESANAL”**, ha sido realizado en su totalidad por el señor estudiante Lucero Román Luis Fernando bajo mi dirección, para obtener el título de Ingeniería Mecatrónica. Luego de ser revisado se ha considerado que se encuentra concluido en su totalidad y cumple con todas las exigencias y requerimientos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Mecatrónica, autoriza su presentación y defensa para que pueda ser graduado por el tribunal correspondiente.

Prof. Marco Ciaccia Sortino, PhD.

DIRECTOR DE GRADO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a Dios por ser la luz que guía mi camino y me ha bendecido con mis amados padres y hermano quienes son mi fortaleza e inspiración para culminar esta meta de mi vida profesional; les agradezco por el apoyo y cariño que me han brindado, ustedes son mi motivación para conseguir muchos éxitos en mi vida.

A mis abuelitos, quienes son mi mayor bendición junto con mis padres y mi hermano, ya que representan lo que más amo en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme con amor, salud y la oportunidad de estudiar en la Universidad Técnica del Norte.

Gracias a toda mi amada familia, amigos de la universidad que de a poco se han convertido en hermanos, docentes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, un saludo especial a mi tutor de tesis quién tiene mi admiración desde que tuve la oportunidad de ser su estudiante por su capacidad de enseñar, finalmente, quiero agradecer a mis padres y abuelitos quienes me vieron crecer y me han brindado todo el amor del mundo.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño y construcción de una cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco, cribando un promedio de 125 kg/h, obteniendo un producto clasificado en dos calidades con un mínimo de impurezas.

La máquina está enfocada para las microempresas artesanales, en base al sistema económico social y solidario del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, de tal manera que permitirá alcanzar un mejor rendimiento con mayor competitividad en la comercialización del grano.

La cribadora se realizó mediante el diseño mecánico y eléctrico, la construcción de la parte mecánica, implementación de la parte de control y pruebas de funcionamiento. Por lo tanto, se usó la metodología de diseño para sistemas mecatrónicos para satisfacer ciertas necesidades y expectativas de los usuarios; también se realizó los cálculos necesarios para presentar una máquina resistente a las condiciones de trabajo.

Finalmente, se realizó una validación de resultados, realizando un análisis de producción, análisis financiero y rentabilidad del proyecto.

ABSTRACT

The present work consists of the design and construction of a semiautomatic dry beans sorting and dosing machine, screening an average of 125 kg / h, obtaining a product classified into two qualities with a minimum of impurities.

The machine is focused on handcrafted micro-enterprises, based on the social and solidarity economic system of the National Development Plan 2017-2021, in such a way that it will allow to achieve a better performance with greater competitiveness in the commercialization of grain.

The dry beans sorting machine was made by mechanical and electrical design, construction of the mechanical part, implementation of the control part and functional tests. Therefore, the design methodology for mechatronic systems was used to satisfy certain needs and expectations of the users; the necessary calculations were also carried out to present a machine resistant to working conditions.

Finally, a validation of the results was carried out, carrying out a production analysis, financial analysis and profitability of the project.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
INTRODUCCIÓN	1
Descripción del Problema	1
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	2
Justificación	2
Alcance	3
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	4
1.1 El Fréjol.....	4
1.1.1 Tipos de fréjol	4
1.1.2 Impurezas en los granos	4
1.1.3 Propiedades físicas de la variedad de fréjol INIAP 428 Canario guarandeño	5
1.2 Limpieza de los Granos.....	6
1.2.1 Método manual	6
1.2.2 Método mecánico.....	6
1.2.3 Limpieza de granos y cereales	6
1.2.4 Principios básicos de la separación.....	7
1.3 Sistemas y Equipos.....	9
1.3.1 Limpieza con viento.....	9
1.3.2 Limpieza con zaranda manual	9
1.3.3 Limpieza con ventilador	10
1.3.4 Limpieza con zarandas cilíndricas rotativas	10

	X
1.3.5 Limpieza con ventilador y zarandas	11
1.4 Sistemas de Cribas	11
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....	12
2.1 Matriz QFD	12
2.2 Matriz Morfológica	12
2.2.1 Variantes de la matriz morfológica.....	12
2.2.2 Evaluación PUGH de las alternativas de la matriz morfológica.....	14
2.2.3 Análisis de diseños de cribadoras de empresas.....	14
2.2.4 Selección de variante óptima	15
2.3 CAD de la cribadora.....	15
CAPÍTULO III DISEÑO DE LA CLASIFICADORA Y DOSIFICADORA DE FRÉJOL SECO	
.....	17
3.1 Capacidad de la máquina.....	17
3.2 Diseño de las mallas perforadas	17
3.2.1 Dimensionamiento de las cribas	17
3.2.2 Análisis y cálculo de cargas existentes en el tamiz.....	18
3.2.3 Factor de seguridad de la criba	20
3.2.4 Esfuerzo admisible en el tamiz	21
3.2.5 Cálculo del espesor de las cribas	21
3.3 Análisis de cargas de diseño en la parte móvil de la máquina	23
3.3.1 Carga de las cribas	23
3.3.2 Carga de los marcos de apoyo	24
3.3.3 Carga de canaletas.....	24

3.3.4	Diseño y peso del bastidor	25
3.3.5	Carga de la tolva	26
3.3.6	Carga del ventilador	27
3.4	Diseño de la estructura	28
3.4.1	Carga distribuida en la estructura	29
3.4.2	Carga puntual en el perfil de la estructura	29
3.4.3	Simulación de la estructura.....	32
3.5	Diseño de los sujetadores del bastidor móvil.....	33
3.6	Potencia del motor.....	36
3.6.1	Cálculo del torque	36
3.7	Selección de poleas	38
3.7.1	Polea del eje de transmisión.....	38
3.7.2	Polea del eje del ventilador	39
3.7.3	Polea del eje de la tolva	39
3.8	Diseño del eje de transmisión de potencia	39
3.8.1	Par de torsión que soporta el eje de transmisión.....	40
3.8.2	Tensiones de la correa acoplada en la polea 2	40
3.8.3	Diseño del eje de transmisión de potencia	42
3.8.3.1	Diagrama de cargas del eje de transmisión en el plano XZ	44
3.8.3.2	Diagrama de cargas del eje de transmisión en el plano YZ	45
3.8.3.3	Sección crítica del eje de transmisión	45
3.8.3.4	Análisis estático del eje de transmisión.....	46
3.8.3.5	Análisis de fatiga del eje de transmisión.....	47
3.8.3.6	Simulación estática del eje de transmisión.....	49
3.9	Selección de correas	50

3.9.1	Potencia corregida de correas	50
3.9.2	Sección de correa	51
3.9.3	Longitudes de las correas.....	51
3.9.4	Factor de corrección en función de la longitud de la correa	51
3.9.5	Determinación del arco de contacto.....	51
3.9.6	Factor de corrección del arco de contacto.....	52
3.9.7	Velocidad de correa	52
3.9.8	Capacidad de potencia de la correa.....	52
3.9.9	Potencia efectiva por correa.....	53
3.9.10	Cantidad de correas.....	53
3.10	Sistema de vibración Vaivén.....	54
3.11	Diseño del circuito eléctrico y neumático	56
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....		60
4.1	Validación de resultados	60
4.1.1	Ventilador centrífugo	61
4.1.2	Clasificación de productos según el tamaño	61
4.1.2.1	Clasificación de producto mezclado	62
4.1.2.2	Clasificación de fréjol rojo	64
4.1.2.3	Clasificación de fréjol negro	65
4.1.2.4	Clasificación de café	67
4.1.2.5	Tiempo de clasificación de productos.....	68
4.1.2.6	Tiempo de cambio de cribas.....	69
4.1.3	Implementación de una mesa base en la cribadora semiautomática.....	70
4.1.4	Control de la cribadora semiautomática	71
4.1.4.1	Circuito de fuerza	74

4.1.4.2	Circuito de control.....	74
4.2	Corrección de errores	76
4.2.1	Corrección en la máquina	76
4.2.2	Corrección en el tablero de control.....	76
4.2.3	Resultados finales	77
4.2.4	Costo por solución	77
4.3	Análisis económico financiero	78
4.3.1	Costos Indirectos.....	78
4.3.2	Costos Directos	78
4.3.3	Gastos de Ingeniería.....	79
4.3.4	Costo Total.....	80
4.3.5	Rentabilidad del proyecto	80
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		83
5.1	CONCLUSIONES	83
5.2	RECOMENDACIONES	84
ANEXOS		90
6.1	Anexo 1 Variedades de fréjol Canario.....	91
6.2	Anexo 2 Metodología de diseño para sistemas mecatrónicos.....	92
6.3	Anexo 3 Matriz QFD.....	93
6.4	Anexo 4 Matriz morfológica [8, 32, 31, 33, 34]	94
6.5	Anexo 5 Tablas para el análisis por fatiga	95
6.6	Anexo 6 Tablas para selección de las correas [28]	96
6.7	Anexo 7 Tipos de vibrador [21]	98
6.8	Anexo 8 Código de Arduino	99

6.9 Anexo 9 Manual de Operación..... 121

6.10 Anexo 10 Fotos de la cribadora..... 132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Determinación manual del contenido de las impurezas [8].....	6
Figura 2. Dimensiones de varios granos: c = largo; l= ancho; y e = grosor [8].....	7
Figura 3. Separación en función del ancho [8].	7
Figura 4. Separación en función del grosor [8].....	8
Figura 5. Separación de impurezas por medio del aire [8].	8
Figura 6. Limpieza de granos por medio del viento [8].....	9
Figura 7. Limpieza con zaranda manual [8].	9
Figura 8. Equipo con ventilador para limpieza de granos [8].....	10
Figura 9. Equipo de limpieza con mallas cilíndricas [8].	10
Figura 10. Equipo de limpieza con ventilador y zarandas [8].	11
Figura 11. CAD de la cribadora.	16
Figura 12. CAD del bastidor móvil.....	16
Figura 13. Distribución de carga en el tamiz de la cribadora.	19
Figura 14. Diámetro y espesor de láminas perforadas redondas [12].....	19
Figura 15. Catálogo de mallas perforadas [13].	20
Figura 16. Relación de dimensiones placa apoyada [16].....	22
Figura 17. Características de las cribas metálicas. Tamaño nominal de las aberturas circulares medidas preferenciales [17].	23
Figura 18. Catálogo de los perfiles estructurales en L para los marcos [15].	24
Figura 19. Bastidor móvil.	26
Figura 20. Tolva.....	26
Figura 21. CAD del ventilador.....	27
Figura 22. Restauración del ventilador.	27

Figura 23. Flujo interno del ventilador centrífugo.....	28
Figura 24. Cargas puntuales en la estructura de la máquina.....	30
Figura 25. Diagrama de corte y momento flector de la estructura en MDSolid.....	31
Figura 26. Catálogo del perfil estructural L [15].....	32
Figura 27. Factor de seguridad de la estructura.....	33
Figura 28. Sujetador del bastidor móvil.....	33
Figura 29. Diagrama de cargas internas del sujetador en MDSolid.....	34
Figura 30. Factor de seguridad del sujetador.....	35
Figura 31. Mecanismo del sistema de transmisión de la máquina.....	41
Figura 32. Tensión de la banda acoplada a la polea 2.....	41
Figura 33. DCL del eje de transmisión de potencia.....	42
Figura 34. DCL resuelto del eje de transmisión de potencia.....	44
Figura 35. Diagrama de cargas del eje de transmisión en el plano XZ.....	44
Figura 36. Diagrama de cargas del eje de transmisión en el plano YZ.....	45
Figura 37. Simulación estática del eje de transmisión de potencia.....	50
Figura 38. Masa excéntrica.....	55
Figura 39. Desplazamiento del bastidor.....	56
Figura 40. Velocidad del bastidor.....	56
Figura 41. GRAFCET del circuito eléctrico.....	58
Figura 42. GRAFCET del circuito neumático.....	59
Figura 43. Elementos de la máquina.....	60
Figura 44. Eliminación de impurezas del producto por medio del ventilador.....	61
Figura 45. Productos mezclados antes de clasificar.....	62

Figura 46. Salida de producto clasificado.....	62
Figura 47. Producto clasificado en la primera criba de 6x30 mm.	63
Figura 48. Producto clasificado en la segunda criba de 4x12 mm.....	63
Figura 49. Clasificación de fréjol rojo.	64
Figura 50. Salida de fréjol rojo por medio de las canaletas.....	65
Figura 51. Fréjol rojo clasificado según su tamaño.	65
Figura 52. Clasificación de fréjol negro.	66
Figura 53. Producto de la canaleta de polvo.	66
Figura 54. Café sin clasificar.	67
Figura 55. Café clasificado.	68
Figura 56. Segunda malla clasificadora.	68
Figura 57. Parte posterior del bastidor para el intercambio de cribas.....	69
Figura 58. Simulación de la mesa base.	70
Figura 59. Mejoras en la estructura de la máquina.	71
Figura 60. Tablero de control.....	72
Figura 61. Diagrama de flujo del proceso de clasificación de la cribadora.....	73
Figura 62. Vista externa e interna del tablero eléctrico.	74
Figura 63. Celda de carga de 50 kg y Hx711 Arduino.	75
Figura 64. Cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal.	132
Figura 65. Vista lateral de la máquina.	132
Figura 66. Tablero de control eléctrico.....	133
Figura 67. Canaleta de la primera criba clasificadora implementado el sistema de dosificación automática.	133

Figura 68. Canaleta de la segunda criba clasificadora implementado el sistema de dosificación automática.	134
Figura 69. Pistón neumático instalado.	134
Figura 70. Balanzas con capacidad máxima de 50 kg.	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas de la variedad de fréjol INIAP 428 Canario guarandeño [2, 7].	5
Tabla 2. Dimensiones del fréjol INIAP 428 Canario guarandeño.	5
Tabla 3. Variantes de diseño de la matriz morfológica.	14
Tabla 4. Análisis de diseños de cribadoras registradas por empresas.	15
Tabla 5. Masa y peso de las cribas.	23
Tabla 6. Masa y peso de los marcos.	24
Tabla 7. Peso de las canaletas.	25
Tabla 8. Cargas concentradas en la estructura.	29
Tabla 9. Momentos de inercia de ejes y poleas.	37
Tabla 10. Variables de las ecuaciones del mecanismo biela-manivela.	55
Tabla 11. Nomenclatura de los elementos de transición.	57
Tabla 12. Nomenclatura de las etapas del diseño eléctrico.	57
Tabla 13. Nomenclatura de las etapas del circuito neumático.	58
Tabla 14. Tiempo de clasificación de forma manual y por medio de la cribadora.	69
Tabla 15. Medición de masa de granos de las celdas de carga.	75
Tabla 16. Grado de clasificación y limpieza de productos.	77
Tabla 17. Costos de soluciones de la máquina.	77
Tabla 18. Costos Indirectos.	78
Tabla 19. Costos directos.	79
Tabla 20. Gastos de Ingeniería.	80
Tabla 21. Costo Total.	80

Tabla 22. Indicadores del proyecto.....	80
Tabla 23. Costo total de 1 quintal de fréjol seco.....	81

INTRODUCCIÓN

Descripción del Problema

El fréjol (*Phaseolus vulgaris*) de consumo humano directo es de gran importancia en el planeta. Según [1], a través del estudio de la caracterización de la producción este tipo de grano ocupa el octavo lugar entre las leguminosas sembradas en el mundo. Para la población ecuatoriana constituye una de las principales fuentes de proteína y carbohidratos. Además, su comercialización de forma artesanal aporta al crecimiento económico del país.

Los propietarios y comerciantes de microempresas tienden a mejorar la calidad de fréjol seco dependiendo de una clasificación y limpieza manual, donde se emplea una técnica tradicional para eliminar impurezas que consiste en zarandear manualmente el instrumento, permitiendo eliminar terrones, piedras y desechos [2], generando consecuencias para la salud.

El método tradicional para cribar fréjol seco genera riesgos biomecánicos o físicos debido a la manipulación manual de cargas (más de 3 kg) que implica un potencial de riesgo dorsolumbar no tolerable, los movimientos repetitivos afectan principalmente a los miembros superiores (manos, muñecas, codos y brazos), mientras que las posturas forzadas provocan hiperextensiones, hiperflexiones y/o hiperrotaciones. Además, existe problemas al sistema respiratorio por exposición al polvo y daños en la piel como resequedad [3].

Una persona tarda aproximadamente dos horas en zarandear y clasificar 50 kg de fréjol seco de forma tradicional, siendo poco eficiente en la productividad de este, ya que el control de calidad del grano depende de la clasificación y limpieza de la leguminosa [4]. Además, en temporadas altas el gran volumen de comercialización del grano requiere una contratación elevada de personal sin la debida experiencia, dando lugar al incumplimiento de entregas en el tiempo establecido y

restringiendo las utilidades de los propietarios y comerciantes.

El costo elevado en el mercado de máquinas industriales afecta de manera directa a la pequeña producción de granos, evidenciado en el rendimiento de la producción e ingresos del microempresario. Por ello, la implementación de tecnologías aplicables al sector artesanal aportaría al desarrollo económico a nivel local, regional y nacional.

Objetivo General

Construir una cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para las microempresas artesanales.

Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema mecánico y eléctrico para cribar fréjol seco.
- Construir el sistema mecánico y eléctrico para cribar fréjol seco.
- Implementar un sistema semiautomático de dosificación de fréjol seco.
- Validar el funcionamiento del prototipo.

Justificación

El presente estudio permitirá diseñar, construir e implementar una cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco (Canario) para las microempresas artesanales, en base al sistema económico social y solidario del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 [5], enmarcado en el Eje 2: Economía al servicio de la sociedad, el cuál presenta los siguientes objetivos:

- Objetivo 5.- Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria.

- Objetivo 6.- Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir rural.

La mayoría de las máquinas con escala de producción industrial presentan un costo de mercado limitado para productores artesanales, lo cual, conlleva a un control de calidad poco eficiente de la leguminosa. La cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco permitirá alcanzar un mejor rendimiento con mayor competitividad en la comercialización del grano, eliminando en su mayoría impurezas producidas por la cosecha, que recae en las utilidades del microempresario.

Alcance

Durante el proyecto se desarrollará una máquina semiautomática para cribar fréjol seco (Canario), misma que será diseñada con el fin de eliminar impurezas. Además, tendrá una capacidad de producción mínima de 100 kg/h y estará enfocada al sector artesanal que involucra propietarios de bodega de granos y comerciantes.

La máquina semiautomática implica el diseño mecánico del prototipo conformado por un sistema de zaranda vibratoria, así como también un mecanismo de transmisión de potencia. Se implementará un sistema semiautomático de dosificación de fréjol seco que manipulará el funcionamiento de la máquina basado en la cantidad requerida de la leguminosa. Además, las investigaciones de referencia servirán como guía para el diseño y construcción de la máquina semiautomática para el sector artesanal.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 El Fréjol

Internacionalmente es la leguminosa más relevante, de tal manera que en Ecuador hay una variedad de leguminosas que forman parte de los sistemas de producción, por tal motivo es crucial para el manejo sostenible de la agricultura y la alimentación, generando empleo, alimento e ingresos económicos a pequeños, medianos y grandes agricultores [6].

1.1.1 Tipos de fréjol

Según [7], existen 16 variedades de fréjol arbustivo en zonas productoras de la Sierra del país, proporcionando semillas certificadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP).

En este proyecto se ha considerado especificar las características de fréjol arbustivo del tipo Canario, de tal manera que en el *Anexo 1* se detalla las variedades de fréjol para facilitar la diferenciación y manejo de este.

1.1.2 Impurezas en los granos

En los productos agrícolas se encuentran elementos ajenos a la leguminosa tales como restos de la propia planta, rastrojos y otras impurezas denominadas materias extrañas que consisten en semillas silvestres, terrones, tierra, piedras y otros [8].

1.1.3 Propiedades físicas de la variedad de fréjol INIAP 428 Canario guarandeño

La leguminosa INIAP 428 Canario guarandeño se manipula en el sector artesanal que se enfoca este proyecto, de tal manera que en la *Tabla 1* se detalla las propiedades físicas de la misma según su calidad [7].

Tabla 1.

Propiedades físicas de la variedad de fréjol INIAP 428 Canario guarandeño [2, 7].

Calidad de fréjol	Promedio de longitud (mm)	Promedio de ancho (mm)	Promedio de espesor (mm)	Peso de 100 granos (g)	Promedio coeficiente fricción	Densidad (g/cm ³)	Masa seca (%)	Humedad máxima (%)
PRIMERA	12,58	09,39	08,09	43,00	0,390	01,08	75,00	15,00
SEGUNDA	11,00	07,88	06,81					

Según [9], sugiere ciertas indicaciones para obtener muestras de un lote de granos, de tal manera que se llevó a cabo el proceso y en la *Tabla 2* se observa los resultados de las dimensiones físicas de la leguminosa.

Tabla 2.

Dimensiones del fréjol INIAP 428 Canario guarandeño.

Dimensiones del fréjol de primera calidad					
Variable	Mayor	Menor	Promedio	Mediana	Moda
Longitud (mm)	14,80	10,40	12,58	12,55	12,00
Ancho (mm)	10,60	08,40	09,39	09,38	10,00
Espesor (mm)	09,00	07,20	08,09	08,10	08,00
Dimensiones del fréjol de segunda calidad					
Variable	Mayor	Menor	Promedio	Mediana	Moda
Longitud (mm)	12,90	9	11	11	11
Ancho (mm)	9,10	6,60	7,88	8	8
Espesor (mm)	8	5,60	6,81	6,85	7

1.2 Limpieza de los Granos

1.2.1 Método manual

Según [8] este método separa las impurezas mediante tamices manuales como se observa en la *Figura 1*, de tal manera que se quedan los rastrojos en el primer cernidor permitiendo el paso del producto. Las impurezas menores son eliminadas por el segundo tamiz ya que este solo retiene el producto.

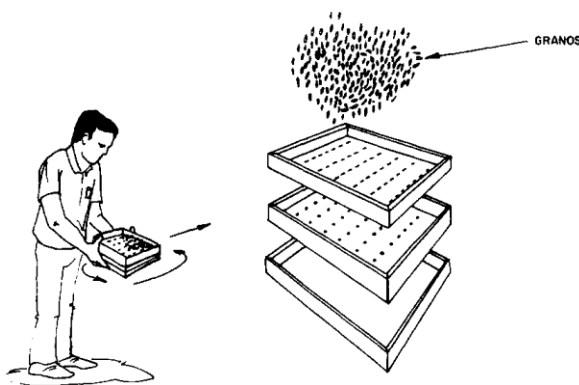


Figura 1. Determinación manual del contenido de las impurezas [8].

1.2.2 Método mecánico

Este método evita errores que puedan ser cometidos por el operador y realiza una mejor separación de las impurezas del producto usando una corriente de aire para eliminar impurezas livianas y las más pesadas son separadas mediante un conjunto de cribas [8].

1.2.3 Limpieza de granos y cereales

La preservación de las leguminosas durante el almacenamiento del producto consiste en la limpieza de los granos eliminando las impurezas para comercializar un producto de óptima calidad [8].

1.2.4 Principios básicos de la separación

Las máquinas clasificadoras de granos separan las impurezas con base en tres características básicas: tamaño, forma y velocidad terminal [8].

Separación en función del tamaño. Las cribas realizan la separación usando las dimensiones de largo y grosor de los granos, de tal manera que en la *Figura 2* se detalla las medidas de algunas leguminosas [8].

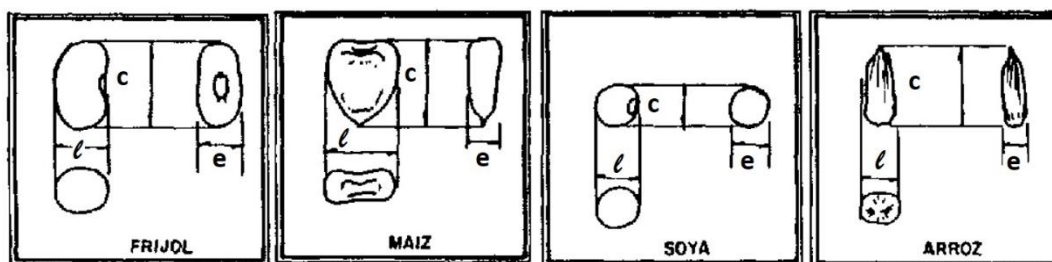


Figura 2. Dimensiones de varios granos: c = largo; l = ancho; y e = grosor [8].

Separación en función del ancho. En la *Figura 3* se ilustra el tipo de malla que se usa para separar los granos con base en el ancho de la leguminosa [8].

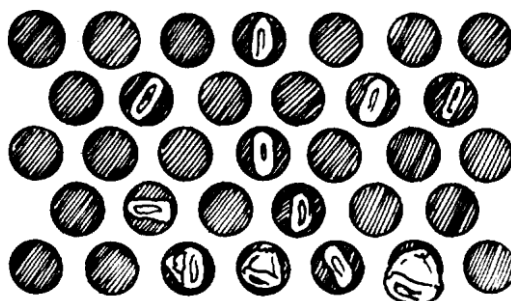


Figura 3. Separación en función del ancho [8].

Separación en función al grosor. Según [8], menciona que “los granos que poseen grosores diferentes pueden ser separados con una malla de orificios alargados u oblongos, si tienen el mismo

largo y ancho”, como se observa en la *Figura 4*.

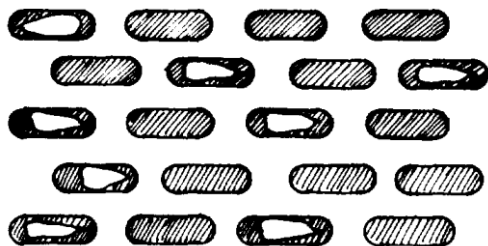


Figura 4. Separación en función del grosor [8].

Separación en función de la longitud. Se usa un separador de disco o cilindro alveolado para cribar los granos con base en diferencia de longitud [8].

Separación en función a la Forma. Es indispensable seleccionar una malla de perforaciones apropiadas a fin de separar los granos de forma correcta [8].

Velocidad terminal (o resistencia al aire). En la *Figura 5* se observa la máquina de limpieza que usa la velocidad terminal para separar las impurezas de los granos [8].

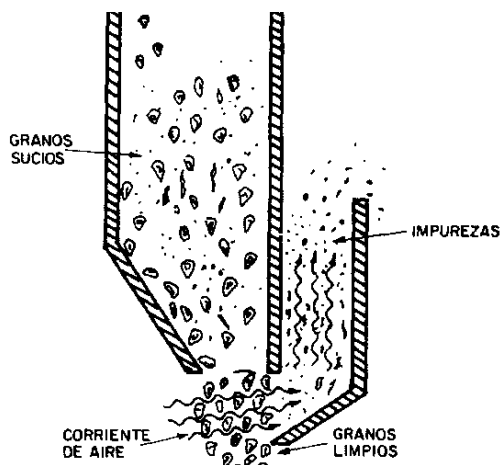


Figura 5. Separación de impurezas por medio del aire [8].

1.3 Sistemas y Equipos

1.3.1 Limpieza con viento

En la *Figura 6* se ilustra como los productores rurales usan este método de tal manera que consiste en separar las impurezas levantando los granos a cierta altura y dejar caer el producto eliminando las impurezas livianas mediante el viento [8].



Figura 6. Limpieza de granos por medio del viento [8].

1.3.2 Limpieza con zaranda manual

Las mallas perforadas apropiadas son usadas por agricultores realizando un movimiento de vibración o vaivén para separar las impurezas del producto, de tal manera que en la *Figura 7* se observa la aplicación de este método [8, 10].



Figura 7. Limpieza con zaranda manual [8].

1.3.3 Limpieza con ventilador

Eliminar las impurezas livianas es la función que realiza una máquina con ventilador, de tal manera que el producto pasa por una corriente de aire y se recomienda para la limpieza de maíz, arroz, fréjol y otras leguminosas [8].

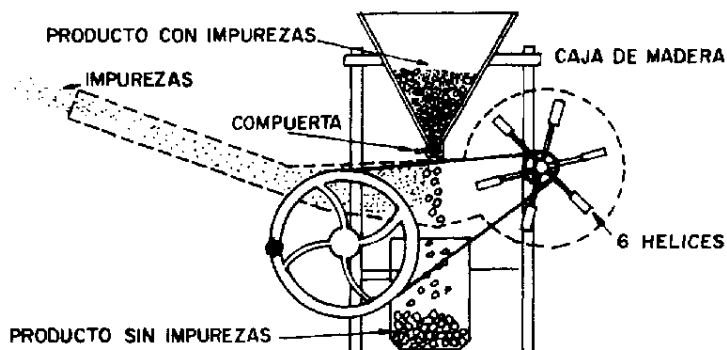


Figura 8. Equipo con ventilador para limpieza de granos [8].

1.3.4 Limpieza con zarandas cilíndricas rotativas

Las cribadoras con mallas cilíndricas tienen gran capacidad para limpiar varios tipos de productos. Estas máquinas contienen dos zarandas, un tamiz interior en forma de cono para que se deslice los granos y otra de forma circular como se observa en la Figura 9 [8].

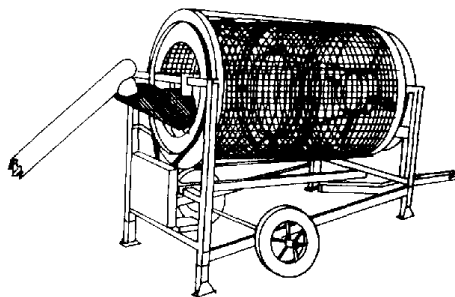


Figura 9. Equipo de limpieza con mallas cilíndricas [8].

1.3.5 Limpieza con ventilador y zarandas

Según [8] “las máquinas de limpieza con ventilador y zarandas constituyen el sistema más eficiente para la limpieza de los granos”, de tal manera que eliminan las impurezas y clasifican el producto, por lo cual en la *Figura 10* se ilustra cribadoras con este sistema.

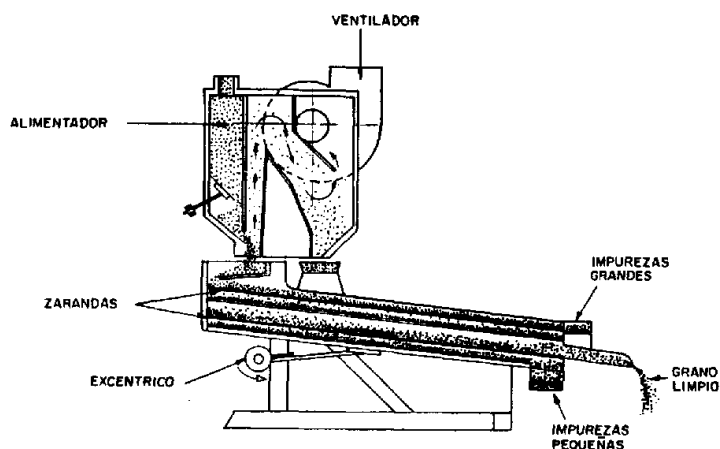


Figura 10. Equipo de limpieza con ventilador y zarandas [8].

1.4 Sistemas de Cribas

De acuerdo con las diferentes necesidades específicas del tratamiento de cada material han dado una gama de sistemas de accionamiento y movimiento del material que pueden ser de cuatro tipos: por contrapeso, excéntricas, sectores síncronos y electromecánico [2].

Así, el sistema de accionamiento y movimiento excéntrico se toma como referencia para el diseño de la cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal debido a su fácil construcción y óptimo funcionamiento [2].

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Durante el desarrollo de este proyecto se usó la metodología de diseño para sistemas mecatrónicos (*Anexo 2*) para satisfacer ciertas necesidades y expectativas de los usuarios mediante el progreso de un sistema, que se identificó por medio de la matriz QFD. Además, se aplicó la técnica de la matriz morfológica a fin de generar varias ideas y definir un diseño óptimo de la cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal.

2.1 Matriz QFD

Mediante la matriz QFD que se detalla en el *Anexo 3* se observa las características técnicas para el diseño de la cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco, de tal forma que se enfoca en la selección y calidad de cribas adecuadas para la clasificación de la leguminosa, así como también obtener un costo asequible para el sector artesanal.

2.2 Matriz Morfológica

En el *Anexo 4* se detalla la matriz morfológica, de tal manera que se divide en los siguientes conceptos: estructura de la máquina, el tipo de tolva para recibir el fréjol, el sistema mecánico, el tipo de cribas que usará para clasificar el producto, la parte eléctrica y electrónica de la cribadora y el tipo de canaletas para la salida del fréjol limpio y clasificado.

2.2.1 Variantes de la matriz morfológica

Azul: Cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal tipo ventilador con tolva cónica, con un sistema mecánico rotatorio que clasifica los granos en base a

la resistencia al aire (ventilador), con un motor de corriente alterna, usando un controlador PLC y el producto final saldrá por canaletas cerradas.

Naranja: Cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal con mallas cilíndricas, tolva cónica, con un sistema mecánico de cilindros rotatorios que criba los granos en base al tamaño de la leguminosa, con un motor de corriente alterna, usando un controlador tipo Raspberry y el producto final saldrá por canaletas cerradas.

Verde: Cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal de tres zarandas con tolva biselada, con un sistema mecánico de masa excéntrica vaivén que criba los granos en base al tamaño de la leguminosa, con un motor de corriente alterna, usando un controlador tipo Arduino y el producto final saldrá por canaletas abiertas.

Amarillo: Cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal de dos zarandas con tolva de transición, con un sistema mecánico de masa excéntrica vaivén que criba los granos en base a la forma de la leguminosa, con un motor de corriente alterna, usando un controlador tipo Raspberry y el producto final saldrá por canaletas abiertas.

Morado: Cribadora vibratoria semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal de tres zarandas con tolva chaflanada, con un sistema mecánico vibratorio usando resortes que criba los granos en base a la forma de la leguminosa, con un motor de corriente alterna, utilizando un controlador PLC y el producto final saldrá por canaletas cerradas.

Gris: Cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal de una zaranda con tolva de abertura cuadrada, con un sistema mecánico vibratorio usando resortes que criba los granos en base al tamaño de la leguminosa, con un motor de corriente alterna, utilizando

un controlador tipo Arduino y el producto final saldrá por canaletas abiertas.

2.2.2 Evaluación PUGH de las alternativas de la matriz morfológica

En la *Tabla 3* se evalúa el total ponderado de las alternativas de la matriz morfológica para seleccionar la variante óptima.

Tabla 3.

Variantes de diseño de la matriz morfológica.

Peso de transmisión	Importancia	Azul	Naranja	Verde	Amarillo	Morado	Gris
Tamaño (largo, ancho, altura)	5	1	1	1	0	1	0
Velocidad de la máquina (rpm)	5	1	-1	1	1	1	1
Dimensiones de las mallas (mm)	5	-1	0	1	1	1	1
Potencia de motor eléctrico (HP)	3	1	1	1	0	1	0
Número de Input/Output del controlador	3	1	-1	-1	-1	1	-1
Costo (\$)	5	0	1	1	1	-1	1
Total +		4	3	5	3	5	3
Total -		-1	-2	-1	-1	-1	-1
TOTAL		3	1	4	2	4	2
TOTAL PONDERADO		11	5	20	12	16	12

2.2.3 Análisis de diseños de cribadoras de empresas

En la *Tabla 4* se analiza las características de diferentes máquinas que existen en el mercado para la limpieza de granos, a fin de elegir la mejor alternativa que sirva como referencia para el diseño y construcción de la cribadora semiautomática.

Tabla 4.

Análisis de diseños de cribadoras registradas por empresas.

Tipo	Mallas cilíndricas	Vibratoria	Vibratoria	Vibratoria	Vibratoria
Empresa	HEGAMEX	SYTES	REINMAC	TYMSA	HEGAMEX
Motor	-	1 hp	-	-	-
Número de zarandas	3	3	2	3 o 4	1
Capacidad	6 ton/h	2, 3 y 5 ton/h	100 kg/h	-	3 a 8 ton/h
Ventilación	No	Si	No	No	Si
Aplicación	Granos y semillas	Granos y semillas	Granos y semillas	Piedras	Maíz, soya y fréjol
Canaletas	Cerradas	Abiertas	Abiertas	Abiertas	Cerradas
Sujetador de sacos	No	Si	No	No	No
Dosificadora automatizada	No	No	No	No	No

2.2.4 Selección de variante óptima

Se analizó varios diseños registrados por empresas extranjeras y nacionales que sirvan como guía para el diseño que se plantea en este proyecto, de tal manera que la variante de color verde es óptima basado en el resultado de la evaluación PUGH. La máquina de la empresa SYTES sirve como guía en el diseño de la cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal, por lo cual se implementará un sistema de control que consiste en la manipulación de entradas (celdas de carga de 50 kg) y salidas (relés, electroválvulas y pistón) mediante un microcontrolador.

2.3 CAD de la cribadora

En la *Figura 11* se ilustra el CAD de la máquina clasificadora con sus elementos principales, cumpliendo los requerimientos de los usuarios que se han considerado en la metodología para el diseño mecánico de la cribadora.

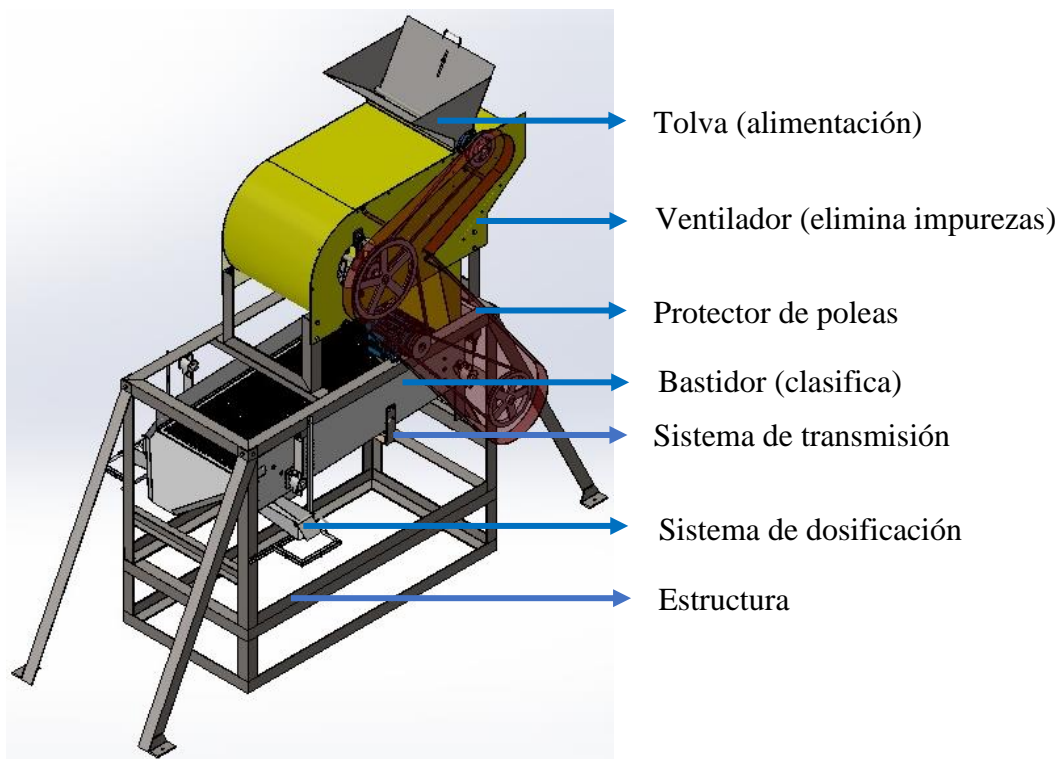


Figura 11. CAD de la cribadora.

En la *Figura 12* se observa las partes del bastidor móvil que su función es clasificar el producto mediante el uso de mallas perforadas apoyadas en marcos de tal manera que el producto clasificado saldrá por canaletas abiertas.

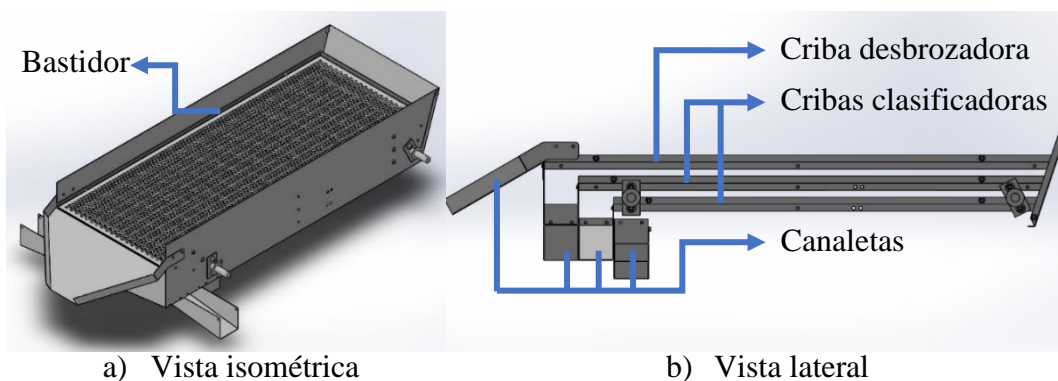


Figura 12. CAD del bastidor móvil.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA CLASIFICADORA Y DOSIFICADORA DE FRÉJOL SECO

Los trabajos de investigación [2, 11], se usan como referencia para realizar los cálculos y dimensionar los elementos que componen la máquina.

3.1 Capacidad de la máquina

Los usuarios del sector artesanal requieren una máquina con una capacidad de trabajo aproximadamente de 1 tonelada por día, es decir, la masa (m) que criba en una hora es de 125 kg de fréjol, por lo cual en la *Tabla 1* indica las propiedades físicas de la leguminosa presentando una densidad (ρ) de 1080 kg/m^3 , de tal manera que el volumen de carga (V_c) de la cribadora es la relación entre la masa y la densidad, obteniendo un valor de $0,1157 \text{ m}^3$.

3.2 Diseño de las mallas perforadas

El bastidor de la máquina contiene 3 mallas perforadas, de tal manera que el primer tamiz se denomina desbrozadora y las otras 2 clasificadoras.

3.2.1 Dimensionamiento de las cribas

Se supone que cada malla clasificadora cribará $\frac{1}{2}$ del volumen de carga por hora, sin embargo, el bulto de fréjol contiene impurezas, producto bueno y malo, los cuales no pasarán de la primera malla desbrozadora y en el caso de los granos partidos caerán al bastidor por lo que disminuye el volumen de los tamices que clasifican a $\frac{1}{3}$, obteniendo un volumen del tamiz (V_t) de:

$$V_t = \frac{V_c}{3} = 0,0386 \text{ m}^3$$

Se considera una altura inicial (h) de 50 mm entre cada tamiz, partiendo de este dato se procede a calcular el área (A) de la superficie de la criba:

$$A = \frac{Vt}{h} = 0,772 \text{ m}^2$$

Según [12], cada plancha perforada tiene dimensiones comerciales de 1000×2000 mm, de tal manera que se considera un largo promedio de la criba (a) de 1300 mm por requerimiento del cliente, a fin de calcular el ancho (b) de la criba aplicando la ecuación (1).

$$A = a \times b \quad (1)$$

$$b = \frac{A}{a} = 0,594 \text{ m}$$

Se considera aumentar el ancho del tamiz a 0,6 m. Por lo tanto, $A = 0,78 \text{ m}^2$.

Sin embargo, para facilidad de intercambio de las mallas perforadas se aumenta la altura en un 20 %, obteniendo una h de 60 mm.

3.2.2 Análisis y cálculo de cargas existentes en el tamiz

En la *Figura 13* se ilustra la carga distribuida (q) sobre una plancha de acero que representa al tamiz, que se obtiene reemplazando los valores de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{m}{A} = 1,603 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

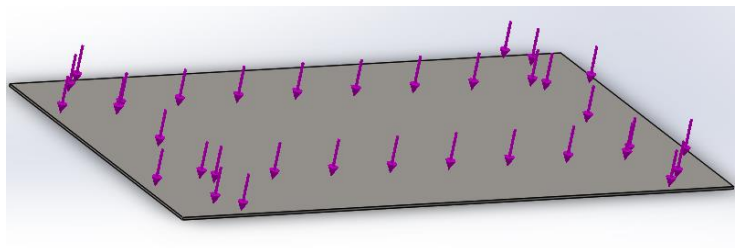


Figura 13. Distribución de carga en el tamiz de la cribadora.

En proveedores de productos metálicos como Repermetal o Acerimallas existen algunas alternativas para elegir la placa de tamiz desbrozadora como se indica en el catálogo de la Figura 14. Se toma como referencia el ancho mayor de la semilla de 10,60 mm debido a que la separación se realizará con base en esta propiedad física, por lo cual según [9], la malla de perforaciones redondas tendrá un diámetro equivalente de 1 a 2 mm mayor que la anchura de la leguminosa, por lo tanto, se considera un diámetro comercial de la perforación de 12 mm.

R mm.	T mm.	%	ESPEORES													
			0.50.8	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10			
10	14	46		•	•	•										
10	15	40							•					•		
10	18	28														•
12	16	51		•	•	•										
12	17	45							•	•						
15	18	63		•	•	•										
15	22	42							•							
18	25	47		•	•											

Figura 14. Diámetro y espesor de láminas perforadas redondas [12].

Además, como zarandas clasificadoras, se diseñó de perforaciones oblongas de tal manera que separa la leguminosa con base en diferencias de espesor, teniendo presente que clasificará dos categorías de fréjol, es decir, de primera y de segunda con un promedio de espesor de 8,09 mm y 6,81 mm respectivamente. Según [9], sugiere que haya una diferencia de 0,1 mm para separar la semilla, por lo tanto, el ancho de la primera criba clasificadora será de 7,99 mm, mientras que la

segunda tendrá 6,71 mm.

En conclusión, la *Figura 15* se aprecia las dimensiones de las perforaciones oblongas de las cribas de 8×30 mm y 6×30 mm que disponen en el catálogo de Acerimallas, a fin de clasificar fréjol de primera y de segunda respectivamente.

P= 4 X 12 mm.	C= 8,4 mm.	P= 8 X 30 mm.	C= 13 mm.
P= 4,5 X 9,5 mm.	C= 7,3 mm.	P= 9 X 30 mm.	C= 14 mm.
P= 5 X 30 mm.	C= 10 mm.	P= 10 X 30 mm.	C= 15 mm.
P= 6 X 30 mm.	C= 11 mm.	P= 11 X 30 mm.	C= 18,8 mm.
P= 7 X 30 mm.	C= 12 mm.	P= 12 X 30 mm.	C= 18,7 mm.

Figura 15. Catálogo de mallas perforadas [13].

3.2.3 Factor de seguridad de la criba

Según [2], considera tres tipos de materiales para el diseño de las zarandas Acero AISI 304, AISI 306 y Lámina Negra (acero al carbono). Por lo tanto, se considera el uso de acero al carbono como material principal para la construcción de las mallas perforadas.

Por otro lado, según [14] el factor de seguridad de la criba no debe ser demasiado pequeño, la posibilidad de falla se torna inaceptablemente grande; en el caso que sea demasiado grande, el resultado es un diseño caro o no funcional.

- El tamiz y la bandeja están sometidos a cargas repetitivas debido a la vibración, por lo tanto, puede provocar una falla repentina por fatiga.
- Escasas situaciones de carga se conocerán con certeza, pueden existir cambios en el uso, pueden introducir el producto en pequeña o gran cantidad esto producirá cargas dinámicas o

cíclicas, de tal manera que se requiere un mayor factor de seguridad.

Considerando estos aspectos según [11] propone un factor de seguridad (N) de 1,5.

3.2.4 *Esfuerzo admisible en el tamiz*

El material que se usará para la construcción de las cribas será el acero ASTM A36 con una resistencia de fluencia (S_y) de 250 MPa, de tal manera que se aplica la siguiente ecuación para calcular el esfuerzo admisible (σ_{adm}) [15].

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{N} \quad (2)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (2), se obtiene que $\sigma_{sdm} = 16,99 \text{ kg/mm}^2$.

3.2.5 *Cálculo del espesor de las cribas*

Según [16], la relación entre dimensiones principales (η) se obtiene con la ecuación (3).

$$\eta = \frac{a}{b} \quad (3)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (3), se obtiene que $\eta = 2,167$.

En la tabla de la *Figura 16* se presentan los valores que involucran a η , de tal manera que se interpola a fin de calcular el valor correspondiente a 2,167.

η	φ_x	φ_y	ψ	k
1	1,15	1,15	0,71	0,26
1,5	1,20	1,95	1,35	0,34
2	1,11	2,44	1,77	0,37
3	0,97	2,85	2,14	0,37
4	0,92	2,96	2,24	0,38
∞	0,90	3,00	2,28	0,38

Figura 16. Relación de dimensiones placa apoyada [16].

Interpolando los valores de la tabla que se observa en la *Figura 16*, se obtiene el factor de espesor (φ_y) de 2,509.

Según [16], la ecuación (4) se usa para calcular el espesor (e) de la placa.

$$e = \sqrt{\frac{\varphi_y \times q \times \left(\frac{b}{2}\right)^2}{\sigma_{adm}}} \quad (4)$$

Se reemplaza los valores en la ecuación (4), se obtiene un resultado de

$$e = 1,46 \text{ mm}$$

En la tabla de la norma INEN 1515 de la *Figura 17* indica el espesor de la criba metálica con base en el diámetro a clasificar, de tal manera que se considera un diámetro de 12 mm, por lo tanto, el espesor comercial de las mallas perforadas puede ser de 1,5 a 2 mm de espesor, cumpliendo la norma mencionada.

TAMAÑO NOMINAL mm	Variación permisible tamaño nominal mm	Distancia entre centros mm	Límites permisibles para la distancia entre centros mm	Espesor de la plancha mm	Límites permis. para el espesor de la plancha mm
*125	±1,0	160	144 a 184	3,4	2,5 a 4,0
106	±0,9	135	122 a 155	3,4	2,5 a 4,0
*90	±0,8	111	100 a 128	2,7	2,5 a 4,0
75	±0,7	95	86 a 109	2,7	2,5 a 4,0
*63	±0,6	80	72 a 92	2,7	2,5 a 4,0
53	±0,6	68	61 a 78	2,7	2,5 a 4,0
*45	±0,5	57	51 a 65	1,9	1,5 a 2,5
37,5	±0,4	48	43 a 55	1,9	1,5 a 2,5
*31,5	±0,4	41	37 a 47	1,9	1,5 a 2,5
26,5	±0,4	35	31 a 40	1,9	1,5 a 2,5
*22,4	±0,3	29	26 a 33	1,9	1,5 a 2,5
19,0	±0,3	25	22 a 29	1,9	1,5 a 2,5
*16,0	±0,27	21	19 a 24	1,9	1,5 a 2,5
13,2	±0,25	18	16 a 20	1,9	1,0 a 2,0
*11,2	±0,23	15	13 a 17	1,9	1,0 a 2,0
9,5	±0,20	13	11,5 a 14,5	1,9	1,0 a 2,0

Figura 17. Características de las cribas metálicas. Tamaño nominal de las aberturas circulares medidas preferenciales [17].

3.3 Análisis de cargas de diseño en la parte móvil de la máquina

La masa de trabajo que soporta la parte móvil de la máquina es de 125 kg.

3.3.1 Carga de las cribas

El peso de las cribas se obtiene por medio del software SolidWorks de tal manera que en la Tabla 5 se detalla la masa y peso de cada tamiz.

Tabla 5.

Masa y peso de las cribas.

Mallas	Masa (kg)	Peso (N)
Desbrozadora	10,20	100,1
Clasificadora 1	11,17	109,6
Clasificadora 2	09,07	88,98
Total	30,44	298,7

3.3.2 Carga de los marcos de apoyo

Los marcos de apoyo de las cribas serán seleccionados con base en un perfil estructural de acero de calidad ASTM A 36 SAE 1008 con las dimensiones detalladas en el catálogo de la *Figura 18*.

DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
AL 20X2	20	2	0.60	3.62	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84

Figura 18. Catálogo de los perfiles estructurales en L para los marcos [15].

En la *Tabla 6* se detalla las masas y pesos de cada marco para soporte de los tamices, teniendo un peso de 0,60 kg/m para el caso del perfil estructural, de tal manera que los valores se obtienen por medio de SolidWorks.

Tabla 6.

Masa y peso de los marcos.

Descripción marco	Masa (kg)	Peso (N)
Desbrozadora	02,39	23,45
Clasificadora 1	02,24	21,97
Clasificadora 2	02,10	20,60
Total	06,73	66,02

3.3.3 Carga de canaletas

Según [18], dispone de un catálogo comercial de varios limpiadores y separadores para el sector agroindustrial, usando acero al carbono para la construcción del cajón porta tamices (bastidor). Además, según [11] usa plancha de acero ASTM A36 como material principal para el bastidor, de

tal manera que se considera el mismo material para la construcción de las canaletas, por lo cual se usará una plancha de acero al carbono ASTM A36 con un espesor de 2 mm para el diseño del CAD, obteniendo el peso de las canaletas por medio de SolidWorks que se detalla en la *Tabla 7*.

Tabla 7.

Peso de las canaletas.

Descripción canaleta	Masa (kg)	Peso (N)
Desbrozadora	3,12	30,61
Clasificadora 1	5,42	53,17
Clasificadora 2	3,24	31,78
Polvo	2,73	26,78
Peso total	14,51	142,3

3.3.4 Diseño y peso del bastidor

Se consideran varios criterios para el diseño del bastidor, ya que es una parte fundamental de la máquina, y, según [11] se toma como referencia los siguientes aspectos:

- *Rigidez:* El bastidor deberá ser rígido para conseguir la protección del ser humano y de las mismas partes ya que en él se apoyará las cribas, marcos y el producto a ser clasificado.
- *Resistencia:* deberá resistir a todos los esfuerzos de tracción y de corte con el fin de evitar rupturas en el bastidor.
- *Aspecto:* deberá verse bien a los ojos, la estética es muy importante.

En la *Figura 19* se observa el bastidor móvil de la máquina, de tal manera que se usará una lámina de acero ASTM A 36 con un espesor de 2 mm, obteniendo una masa de 27,36 kg por medio de SolidWorks, es decir, un peso de 268,4 N.

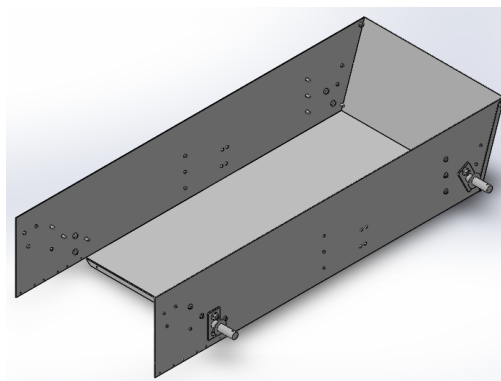


Figura 19. Bastidor móvil.

3.3.5 Carga de la tolva

El fréjol será elevado hasta la tolva por medio de un elevador de cangilones, de tal manera que asegura una alimentación constante a la siguiente etapa de limpieza por aire, por lo cual se usará una tolva biselada como se ilustra en el CAD de la *Figura 20* hecha de acero AISI 304 con un espesor de 2 mm obteniendo una masa de 11,82 kg, es decir, tiene un peso de 115,6 N, y, aproximadamente con un volumen de 0,094 m³.

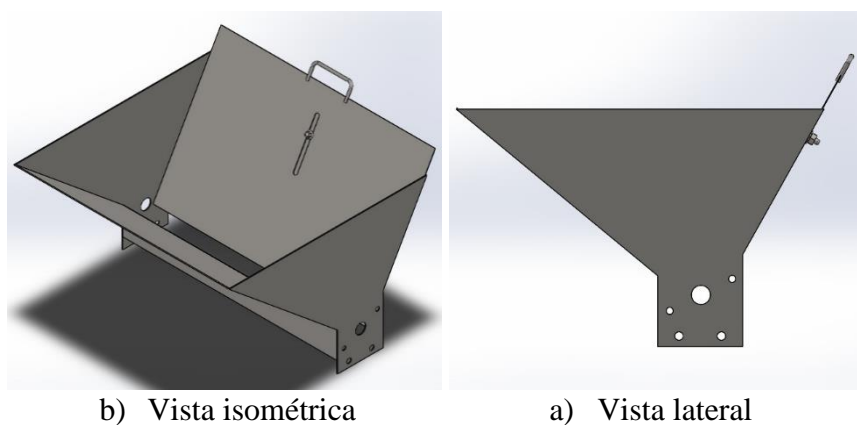


Figura 20. Tolva.

3.3.6 Carga del ventilador

Se restauró un ventilador centrífugo, de tal manera que se ilustra en la *Figura 21*, por lo tanto, será incorporado a la clasificadora de fréjol teniendo como material principal láminas de acero con calidad ASTM A36 de 2 mm de espesor obteniendo una masa total de 86,46 kg, es decir, un peso de 848,2 N.

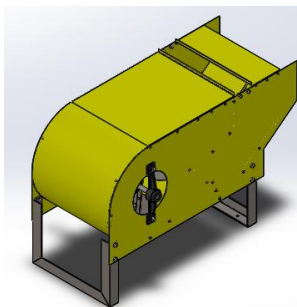


Figura 21. CAD del ventilador.

Por otra parte, según [19] “Las separadoras de aire se utilizan ampliamente para limpiar las semillas, para retirar el polvo, el material inerte, liviano, semillas partidas, granos encogidos y otros materiales contaminadores ligeros”, de tal manera que en la *Figura 22* se observa el ventilador restaurado, por lo cual, se considerará una velocidad aproximada de 450 rpm.

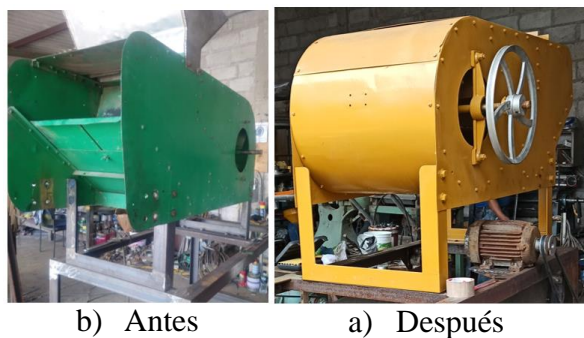


Figura 22. Restauración del ventilador.

Se usó el método de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para analizar el comportamiento del flujo interno del ventilador como se observa en la *Figura 23*, de tal manera que se consideró las condiciones de borde laterales la entrada de flujo de aire en condiciones ambiente girando las aletas a 450 rpm, de igual manera en la salida de la superficie del ventilador se insertó una condición de borde a condiciones ambiente obteniendo una velocidad aproximada de 21,54 m/s en un área de 0,0855 m², consiguiendo como resultado un caudal másico de salida de 1,842 m³/s.

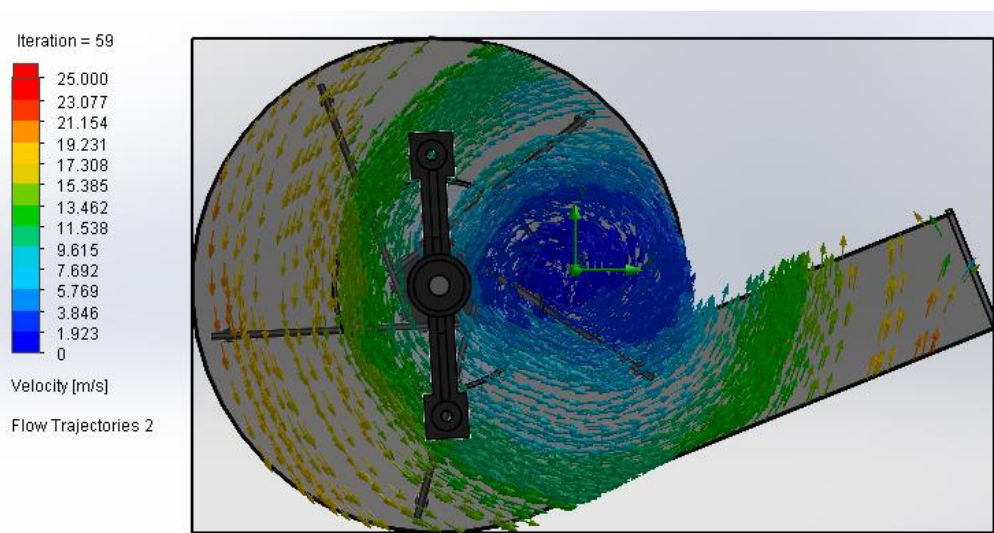


Figura 23. Flujo interno del ventilador centrifugo.

3.4 Diseño de la estructura

En la *Tabla 8* se detalla todas las cargas existentes a fin de determinar la carga máxima que soportará la estructura.

Tabla 8.

Cargas concentradas en la estructura.

Descripción marco	Variable	Masa (kg)	Peso (N)
Peso del fréjol	Pf	125,0	1226
Peso de las cribas	Pc	30,44	298,7
Peso de los marcos	Pm	06,73	66,02
Peso de canaletas	Pcn	14,51	142,3
Peso del bastidor	Pb	27,36	268,4
Peso de tolva	Pt	11,82	115,6
Peso de ventilador	Pv	86,46	848,2
Peso del motor	Pm	14,72	144,4
Peso total		317,0	3110

3.4.1 Carga distribuida en la estructura

La carga distribuida (P_a) es igual a la relación entre la suma de todos los pesos (Q_d) a excepción del valor correspondiente al motor, ventilador y tolva sobre el perfil de mayor longitud de la estructura (l) que es igual a 1,6 m.

$$P_a = \frac{Q_d}{l} \quad (5)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (5), se obtiene:

$$P_a = 1251 \frac{N}{m}$$

3.4.2 Carga puntual en el perfil de la estructura

Es el peso aproximado del motor, ventilador y tolva, de tal manera que en la *Figura 24* se observa las cargas puntuales que soporta la estructura de la cribadora, cabe recalcar que todos los extremos de los perfiles de la estructura estarán soldados.

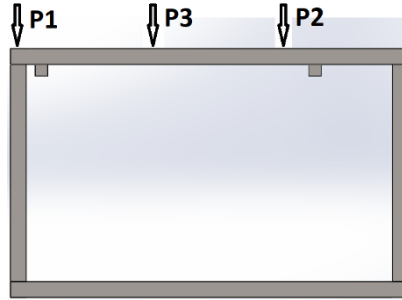


Figura 24. Cargas puntuales en la estructura de la máquina.

Entonces, $P1$ y $P2$ son cargas iguales, que se obtiene dividiendo la suma del peso del ventilador y de la tolva entre 2.

$$P1 = P2 = \frac{Pt + Pv}{2} = \frac{115,6 + 848,2}{2} = 481,9 \text{ N}$$

Así, la carga $P3$ es igual al peso del motor.

En la *Figura 25* se observa el diagrama de cargas de la estructura, de tal manera que los puntos A y B estarán soldadas, sin embargo, por ser conservador se considera puntos de apoyo y por medio de MDSolid se obtuvo el valor de las reacciones A y B de 1754 N y 1356 N respectivamente, cabe recalcar que W_1 es la carga distribuida Pa .

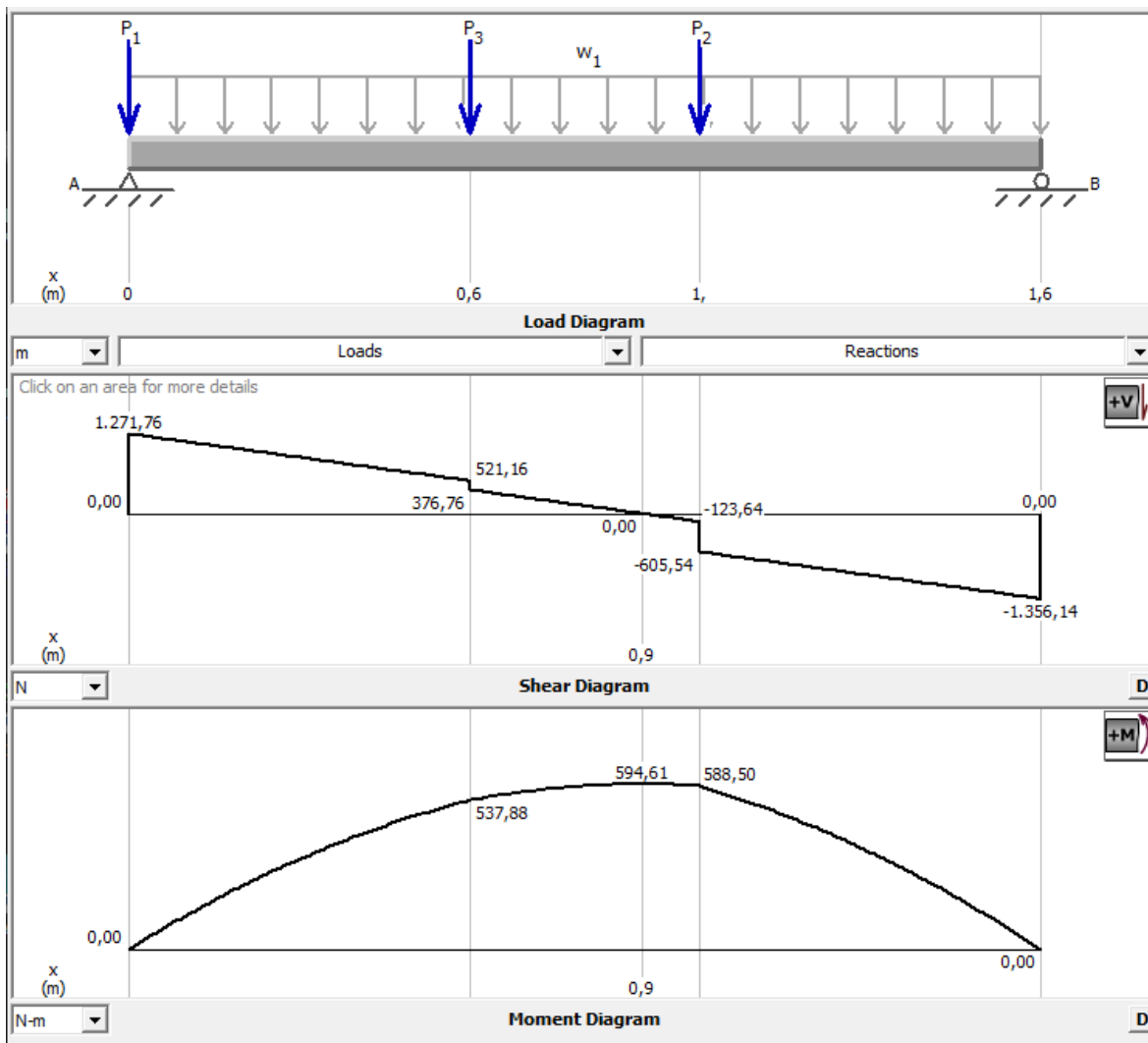


Figura 25. Diagrama de corte y momento flector de la estructura en MDSolid.

Entonces, el Momento flector máximo (M_{max}) es igual a 594,61 N.m; según [11], a partir de este valor se determina el módulo de sección (S_x) mediante la ecuación (6).

$$S_x = \frac{M_{max}}{0.6 S_y} \quad (6)$$

Se usará acero ASTM A36 para la construcción de la estructura (*propiedades mecánicas, límite*

de fluencia $S_y=250 \text{ MPa}$) [20]. Por lo tanto, se reemplaza los valores correspondientes en la ecuación anterior para obtener S_x .

$$S_x = 3,964 \text{ cm}^3$$

La estructura será construida en base a un perfil estructural de acero "L", calidad ASTM A36, debido a los perfiles comerciales que se ilustra en el catálogo de la *Figura 26* las dimensiones mínimas son $60 \times 60 \times 5 \text{ mm}$, sin embargo, por la disponibilidad de perfiles comerciales en las bodegas de DIPAC se selecciona un perfil de $2,5 \times 2,5 \times \frac{1}{4}$ pulgadas.

DIMENSIONES			PESOS		SECCION	EJE X-X = EJE Y-Y				EJE U-U	EJE V-V
A	B	e	6 metros	1 metro		I	W	I	X=Y	I	I
mm	mm	mm	Kg	Kg		cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
60	60	3	16.26	2.71	3.45	12.37	2.84	1.89	1.64	2.41	1.16
60	60	4	21.36	3.56	4.54	16.00	3.71	1.88	1.68	2.39	1.15
60	60	5	26.34	4.39	5.59	19.40	4.54	1.86	1.73	2.38	1.13
60	60	6	31.68	5.28	6.60	22.56	5.35	1.85	1.78	2.37	1.11
60	60	8	41.04	6.84	8.55	28.21	6.85	1.82	1.88	2.34	1.05

Figura 26. Catálogo del perfil estructural L [15].

3.4.3 Simulación de la estructura

La simulación se realizó en SolidWorks, en la *Figura 27* se observa el factor de seguridad de la estructura con un valor de 4 de tal manera que la estructura no falla, cabe recalcar que N es alto debido a las restricciones consideradas al momento de calcular el módulo de sección.

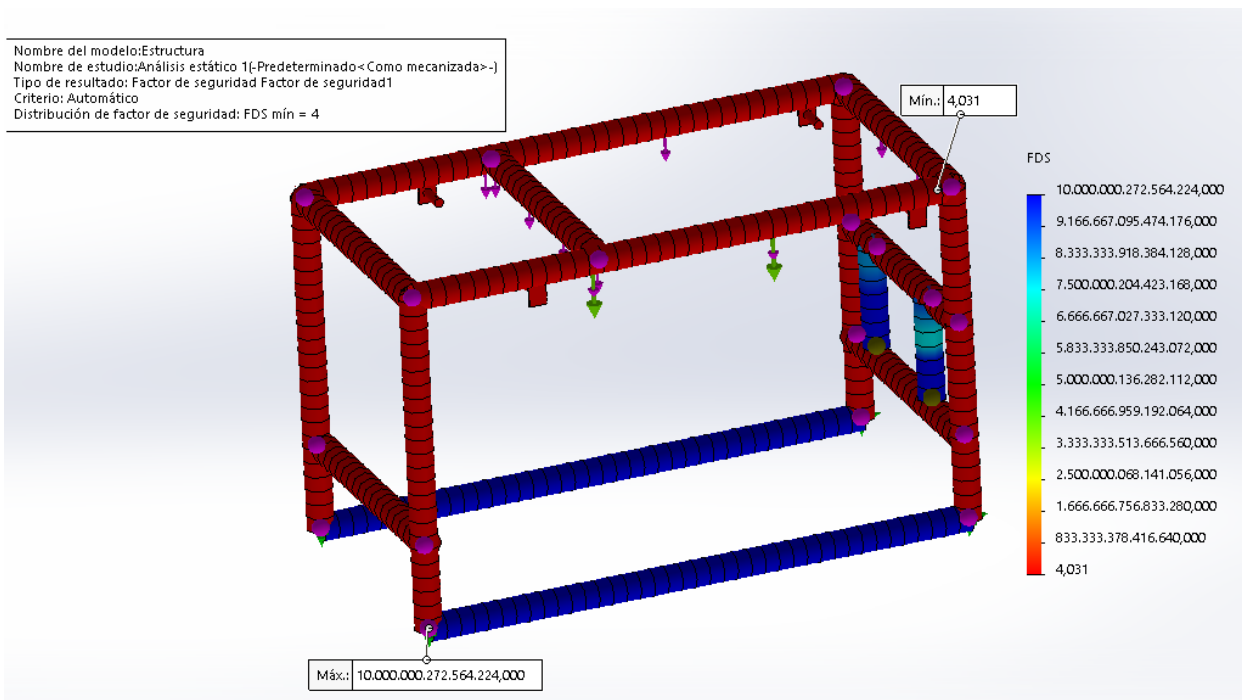


Figura 27. Factor de seguridad de la estructura.

3.5 Diseño de los sujetadores del bastidor móvil

Se considera un peso total de 2001 N que presenta el bastidor móvil, incluido el producto, de tal manera que el bastidor tiene 4 sujetadores de acero AISI 1018 ($S_y = 235 \text{ N/mm}^2$) como se ilustra en la Figura 28 que soportan una carga (P) de 500,3 N cada uno.

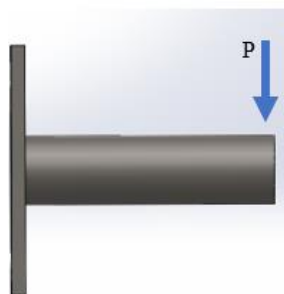


Figura 28. Sujetador del bastidor móvil.

En la *Figura 29* se observa el diagrama de cargas del sujetador del bastidor móvil, de tal manera que se obtiene el momento flector de (M_{\max}) 45,03 N.m.

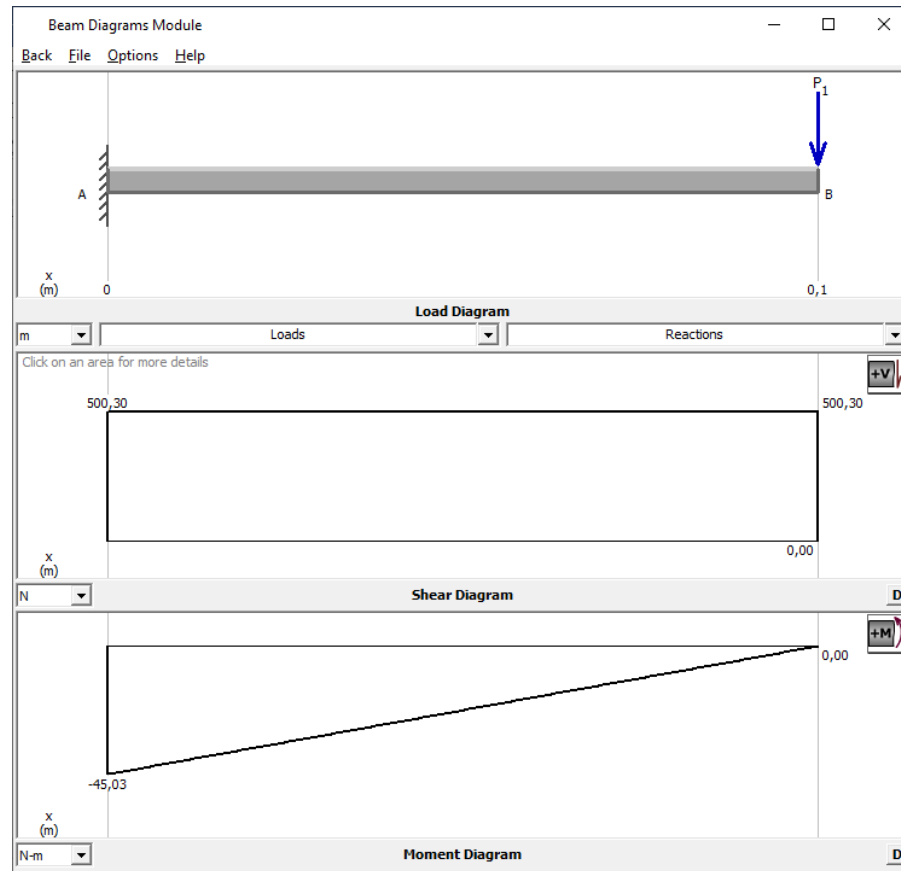


Figura 29. Diagrama de cargas internas del sujetador en MDSolid.

Aplicando la ecuación (2) y con un N de 1,5 se obtiene:

$$\sigma_{adm} = 156,7 \text{ MPa}$$

Debido a que la viga no se encuentra sometida a cargas axiales se determina el módulo de sección circular (S) mediante la ecuación (7), posteriormente se aplica la ecuación (8) para calcular el diámetro de la viga.

$$\sigma = \frac{M}{S} \quad (7)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32xS}{\pi}} \quad (8)$$

Despejando S de la ecuación (7) y reemplazando los valores, se obtiene:

$$S = 287,4 \text{ mm}^3$$

Entonces, se calcula el diámetro (D) aplicando la ecuación (8), y, se obtiene un diámetro de 14,31 mm.

En la *Figura 30* se ilustra la simulación del sujetador, de tal manera que se considera usar una viga con un diámetro de 1 pulgada obteniendo un factor de seguridad de 8,1.

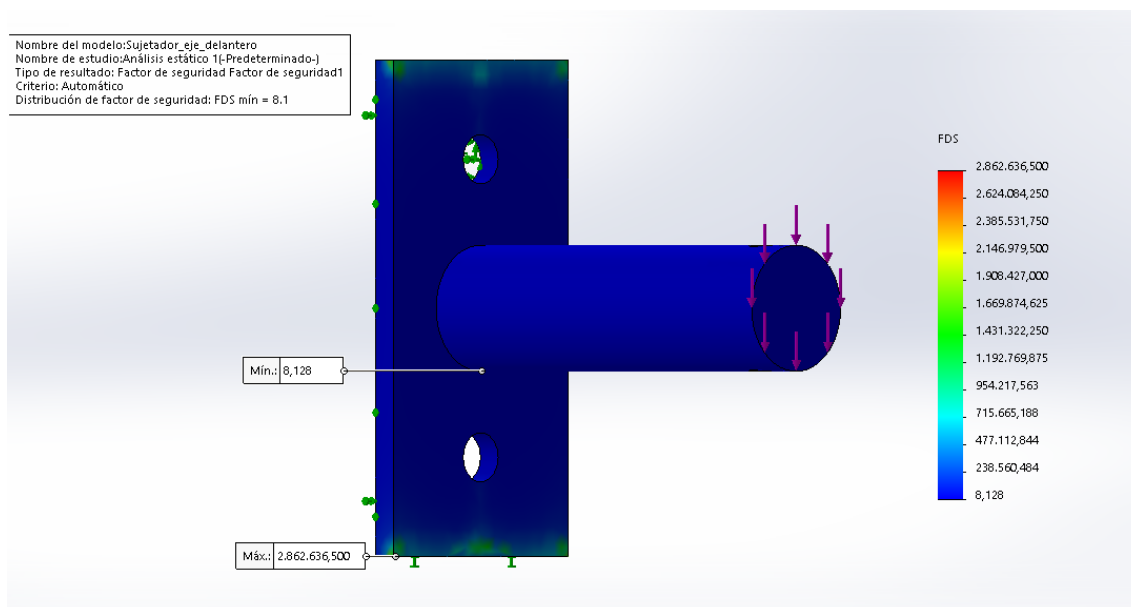


Figura 30. Factor de seguridad del sujetador.

3.6 Potencia del motor

Según [21] el rango de la frecuencia de la polea para el sistema de transmisión de tipo polea desbalanceada es de 500-2500 rpm con una carrera menor o igual a 10 mm para cribadoras de trabajos ligeros, además, para máquinas vaivén es necesario una pendiente del 2 al 8%, de tal manera que se considerará una velocidad de 650 rpm para el caso del eje de transmisión del bastidor, mientras que, para el ventilador será aproximadamente de 450 rpm.

La potencia del motor (P) se calcula mediante la ecuación (9), donde T es el torque y como característica de varios motores se toma como referencia una velocidad angular de 1725 rpm, es decir, 180,64 rad/s.

$$P = \frac{T \times rpm}{5252} \quad (9)$$

3.6.1 Cálculo del torque

Se obtiene la inercia (I) de los ejes y poleas de la máquina para determinar y seleccionar el tipo de motor que se usará. Por lo tanto, [2] menciona que la ecuación (10) se aplica para calcular el torque de arranque (Ta).

$$T = I \times \alpha \quad (10)$$

En la *Tabla 9* se detalla el valor del momento de inercia de los ejes y poleas que forman parte de la cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco.

Tabla 9.

Momentos de inercia de ejes y poleas.

Descripción	Abreviatura	I (kg.m ²)
Eje de transmisión de potencia	Ie	0,0044
Eje de ventilador	Iv	0,0002
Eje de la tolva	It	0,0002
Polea de transmisión de potencia	Ipe	0,0076
Polea de ventilador	Ipv	0,0347
Polea 2 de ventilador	Ipv2	0,0003
Polea de la tolva	Ipt	0,0019
Total		0,0493

Se calcula la aceleración angular (α) para un tiempo de arranque de 1 segundo.

$$\alpha = \frac{(w_f - w_o)}{t} = 180,64 \frac{rad}{s^2}$$

La inercia total se obtiene mediante la ecuación (11).

$$I = Ie + Iv + It + Ipe + Ipv + Ipv2 + Ipt \quad (11)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (11), se obtiene:

$$I = 0,0493 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Aplicando la ecuación (10) se determina T:

$$T = 8,906 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Se convierte las unidades del torque de arranque al sistema inglés:

$$T = 8,851 \text{ N} \cdot \text{m} \times \frac{0,7376 \text{ lb} \cdot \text{ft}}{1 \text{ N} \cdot \text{m}} = 6,569 \text{ lb} \cdot \text{ft}$$

Se reemplaza los datos en la ecuación (9):

$$P = \frac{6,569 \text{ lb} \cdot \text{ft} \times 1725 \text{ rpm}}{5252} = 2,16 \text{ Hp}$$

Según [22] por seguridad se incrementa un factor de servicio del 25%:

$$P = 2,16 \times 1,25 = 2,70 \text{ Hp}$$

La potencia mínima del motor debe ser de 2,70 Hp, sin embargo, por disponibilidad comercial se considerará un motor trifásico de 3 Hp.

3.7 Selección de poleas

La velocidad angular del eje de transmisión y del eje del ventilador es aproximadamente de 650 y 450 rpm respectivamente que se representan con la variable N2 en la ecuación (12), de tal manera que se determina las dimensiones comerciales de las poleas. Por otra parte, la velocidad del motor (N1) es de 1725 rpm con una polea de diámetro (D1) de 4 pulgadas de dos canales. Por lo cual se determinan las dimensiones de las poleas haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$N1 \times D1 = N2 \times D2 \quad (12)$$

3.7.1 Polea del eje de transmisión

Reemplazando los datos correspondientes en la ecuación (12), se calcula el diámetro de la polea del eje de transmisión obteniendo un valor de:

$$D2 = \frac{1725 \text{ rpm} \times 4''}{650 \text{ rpm}} = 10,62''$$

Entonces, según el catálogo de [23] se selecciona una polea de 10 pulgadas con una velocidad nominal de 690 rpm.

3.7.2 Polea del eje del ventilador

Aplicando la ecuación (12), se obtiene:

$$D2 = \frac{1725 \text{ rpm} \times 4''}{450 \text{ rpm}} = 15,33''$$

Así, con base en el catálogo de [23] se selecciona una polea de 15 pulgadas de diámetro con una velocidad nominal de 460 rpm.

3.7.3 Polea del eje de la tolva

Debido a que el eje de la tolva se usará con el fin de hacer una cortina para distribuir de forma uniforme el producto, se considera una polea de 3,5 pulgadas ubicada en el eje del ventilador con una velocidad de 460 rpm, por lo tanto, mediante la ecuación (12) se obtiene:

$$D2 = \frac{460 \text{ rpm} \times 3,5''}{250 \text{ rpm}} = 6,44''$$

Así, con base en el catálogo de [23] se selecciona una polea de 6 pulgadas de diámetro con una velocidad nominal de 268,3 rpm.

3.8 Diseño del eje de transmisión de potencia

Según [14] las especificaciones principales que deben cumplirse en el diseño de un eje de transmisión son la *potencia* que debe transmitirse y la *velocidad de rotación* del eje.

$$P = T \times w \quad (13)$$

Donde w es la velocidad angular del cuerpo expresada en radianes por segundo, y T es el par

de torsión ejercido sobre el eje.

3.8.1 Par de torsión que soporta el eje de transmisión

La velocidad angular del eje de transmisión es de 690 rpm, por lo tanto, la aceleración angular es de $72,26 \text{ rad/s}^2$ considerando el arranque en 1 segundo, de tal manera que se calcula el par de torsión sobre el eje aplicando la ecuación (10).

$$T_2 = (0,0044 + 0,0076) \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \times 72,26 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

En lo que se obtuvo un torque de 0,8671 N·m.

3.8.2 Tensiones de la correa acoplada en la polea 2

En la *Figura 31* se ilustra el mecanismo de la máquina, de tal manera que el eje de transmisión de potencia es el encargado de proporcionar movimiento al bastidor móvil por medio de la polea 2 de 10 pulgadas que esta acoplada a una banda trapezoidal generando las tensiones T_x y T_y .

Se calcula la fuerza tangencial (F_t) por medio de la ecuación (14), de tal manera que T es el torque y D el diámetro de la polea 2 [24].

$$F_t = \frac{T}{\frac{D}{2}} \quad (14)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (14), se obtiene una F_t de 6,828 N.

Según [24], la tensión para correas trapezoidales (T_d) se obtiene multiplicando 1,5 a la fuerza tangencial generada, obteniendo:

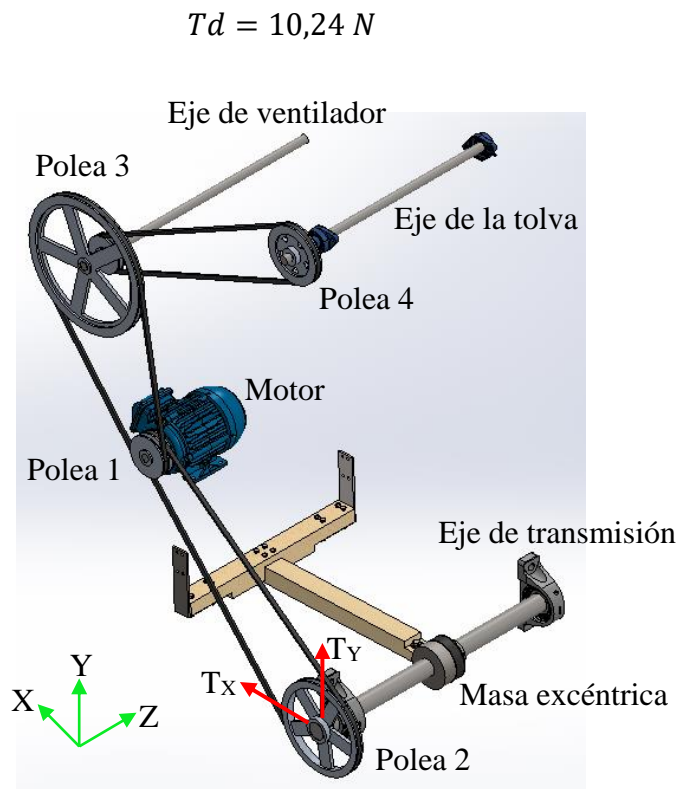


Figura 31. Mecanismo del sistema de transmisión de la máquina.

Entonces, la correa está acoplada a la polea 2 con un ángulo de 40° como se observa en la *Figura 32*, por lo cual se determina T_x y T_y .

$$T_x = 7,844 \text{ N}$$

$$T_y = 6,582 \text{ N}$$

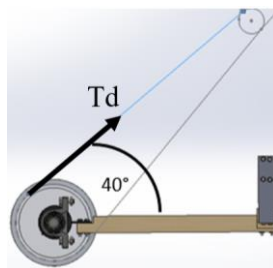


Figura 32. Tensión de la banda acoplada a la polea 2.

3.8.3 Diseño del eje de transmisión de potencia

En la *Figura 33* se representa el diagrama de cuerpo libre (DCL) del eje de transmisión de potencia. Donde F es la fuerza generada por el mecanismo de transmisión de potencia ubicada en el punto B donde se encuentra la masa excéntrica; además, el punto A, C y D representan a las chumaceras, finalmente en el punto E se encuentra la polea 2.

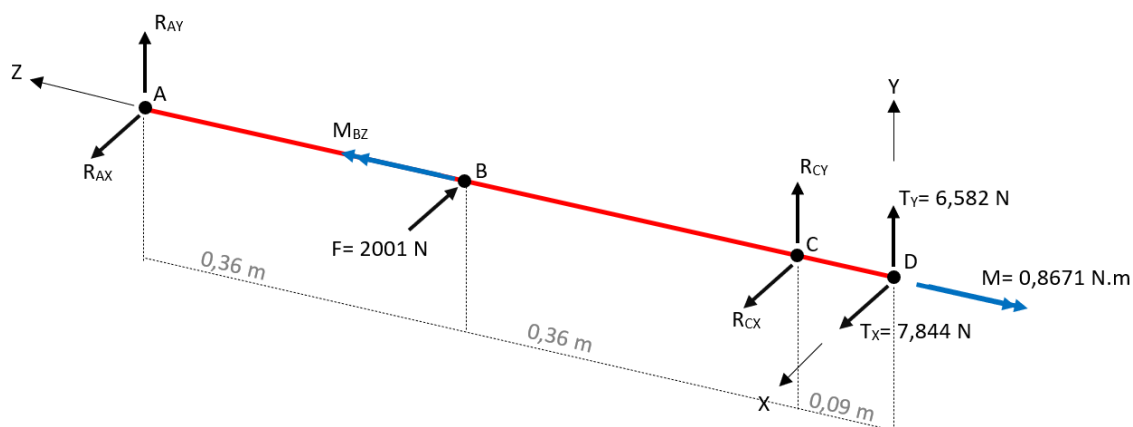


Figura 33. DCL del eje de transmisión de potencia.

Se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje X, Y y Z:

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{AX} + R_{CX} = 1993 \text{ N (a)}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{AY} + R_{CY} = -6,582 \text{ N (b)}$$

$$\sum F_z = 0$$

También, se realiza la sumatoria de momentos respecto al punto A

$$\sum M_{AX} = 0$$

$$0,72 \cdot R_{CY} + 0,81 \cdot 6,582 = 0 \quad (c)$$

$$\sum M_{AY} = 0$$

$$-0,72 \cdot R_{CX} = -0,36 \cdot 2001 + 0,81 \cdot 7,844 \quad (d)$$

$$\sum M_{DZ} = 0$$

$$M_{BZ} = 0,8671 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene los siguientes valores de las reacciones;

$$R_{AX} = 1001 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 0,8230 \text{ N}$$

$$R_{CX} = 991,7 \text{ N}$$

$$R_{CY} = -7,405 \text{ N}$$

En la *Figura 34* se ilustra el DCL resuelto del eje de transmisión.

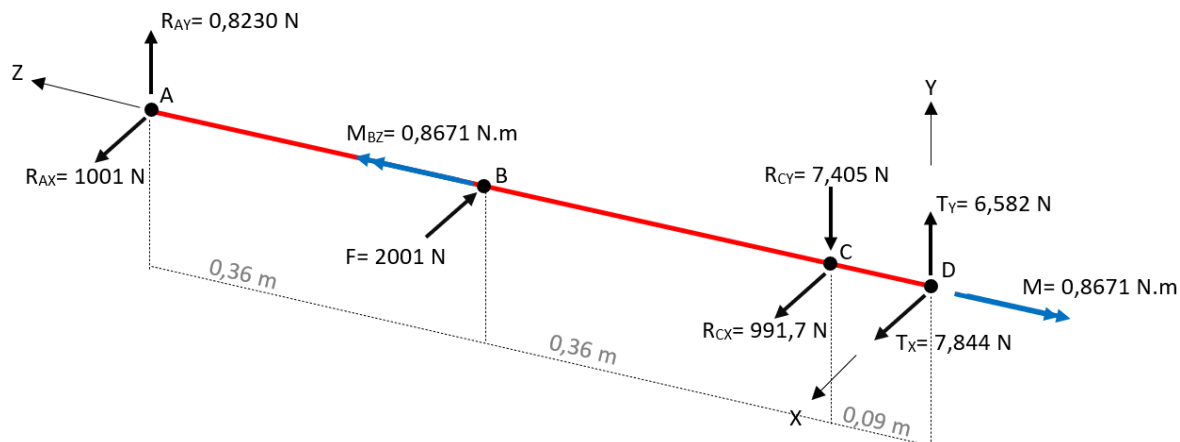


Figura 34. DCL resuelto del eje de transmisión de potencia.

3.8.3.1 Diagrama de cargas del eje de transmisión en el plano XZ

En la *Figura 35* se ilustra el diagrama de cargas del eje de transmisión y se puede observar que el eje no está sometido a cargas axiales.

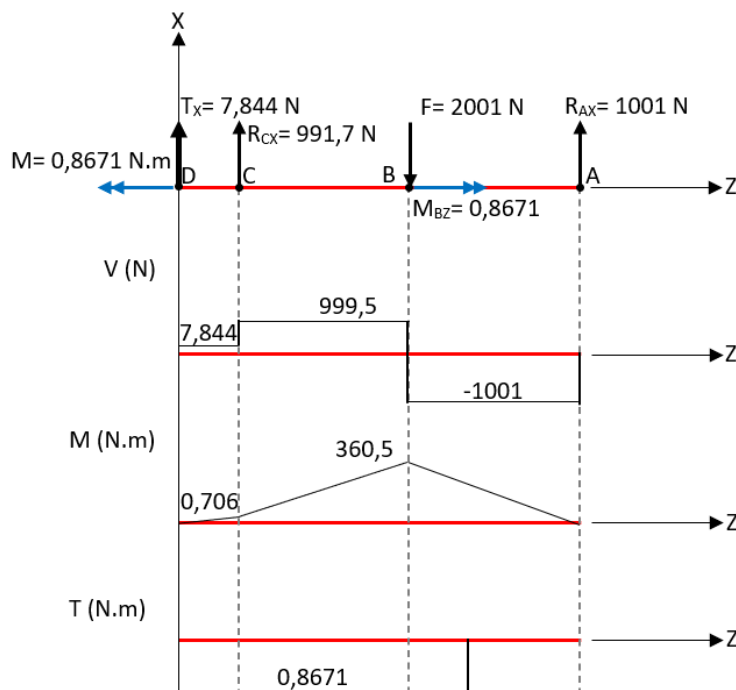


Figura 35. Diagrama de cargas del eje de transmisión en el plano XZ.

3.8.3.2 Diagrama de cargas del eje de transmisión en el plano YZ

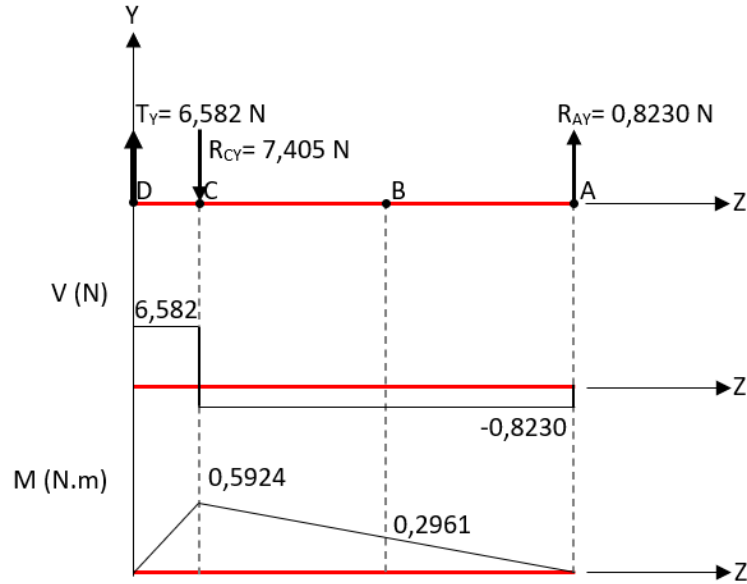


Figura 36. Diagrama de cargas del eje de transmisión en el plano YZ.

3.8.3.3 Sección crítica del eje de transmisión

El punto crítico es “B”

$$M_{max} = 360,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{max} = 0,8671 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Por lo tanto, el momento resultante (M_R) en la sección crítica es:

$$M_R = \sqrt{(360,5)^2 + (0,2961)^2} = 360,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

3.8.3.4 Análisis estático del eje de transmisión

Según [15], el material que se usa para el eje de transmisión de potencia es el acero AISI 1018 con un S_y de 235 MPa y un S_{ut} de 410 MPa, de tal manera que se usa la ecuación (15) para determinar el esfuerzo de von Mises. Por otra parte, se considera un eje de 2 pulgadas, ya que este diámetro es usado en máquinas clasificadoras en Industrial Productos Moro con similares características a la cribadora de este proyecto.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma x^2 + 3\tau xy^2} \quad (15)$$

Se calcula σx aplicando la ecuación (16), donde, M es el momento resultante del punto crítico y S es el módulo de sección del eje con un valor de 12870 mm³.

$$\sigma x = \frac{M}{S} \quad (16)$$

Por lo tanto, se obtiene que:

$$\sigma x = 28,01 \text{ MPa}$$

Además, con la ecuación (17) se calcula τxy , donde T es el torque máximo y Sp es el módulo de sección polar con un valor de 25740 mm³.

$$\tau xy = \frac{T}{Sp} \quad (17)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (17), se obtiene que:

$$\tau xy = 0,0337 \text{ MPa}$$

Igualando la ecuación (15) con el esfuerzo admisible se determina el factor de seguridad estático:

$$\sqrt{(28,01 \text{ MPa})^2 + 3 \cdot (0,0337 \text{ MPa})^2} = \frac{235 \text{ Mpa}}{N}$$

$$N = 8,39$$

3.8.3.5 Análisis de fatiga del eje de transmisión

Según [25], menciona que “la falla por fatiga se debe a la formación y propagación de grietas”, de tal manera que el análisis de falla por fatiga del eje se realizará con base en el criterio de falla de Soderberg:

$$\frac{1}{N} = \frac{\sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}}{S_y} \quad (18)$$

El esfuerzo flector (σ_a) se calcula aplicando la ecuación (19), donde K_t es una constante, M es el momento flector y d es el diámetro del eje.

$$\sigma_a = K_t \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3} \quad (19)$$

El esfuerzo torsor (τ_a) se obtiene por medio de la ecuación (20), donde K_{ts} es una constante y T es el par torsor en la sección crítica.

$$\tau_a = K_{ts} \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3} \quad (20)$$

En la sección crítica del eje hay un chavetero, de tal manera que es un concentrador de esfuerzos, por lo cual, según [25] (p, 361) los valores de las constantes son:

$$K_t = 2,2$$

$$K_{ts} = 3$$

Por lo tanto, reemplazando los valores en la ecuación (19), se obtiene:

$$\sigma_a = 61,62 \text{ MPa}$$

De igual manera, se reemplaza los valores en la ecuación (20) obteniendo:

$$\tau_a = 0,1011 \text{ MPa}$$

El límite de resistencia a la fatiga en la sección crítica (S_e) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (21)$$

Entonces, se determinan los factores de Marín:

- Factor de superficie (k_a), donde a y b se encuentra en la tabla 6-2 del *Anexo 5*.

$$k_a = a S_{ut}^b = 0,9158$$

- Factor de tamaño (K_b) para un diámetro de 25,4 mm se obtiene:

$$K_b = 1,24 \cdot d^{-0.107} = 0,8145$$

- Factor de carga (K_c) es igual a 1.
- Factor de temperatura (K_d) es igual a 1.
- Factor de confiabilidad (K_e), donde se considera un 99,99% de confiabilidad y se obtiene por media de la tabla 6-5 del *Anexo 5*.

$$K_e = 0,702$$

- Factor de efectos varios (K_f) es igual a 1.
- El límite de resistencia a la fatiga (S_e'):

$$S_e' = 0,5 \cdot S_{ut} = 205 \text{ MPa}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (21), se obtiene:

$$S_e = 107,4 \text{ MPa}$$

El esfuerzo flector medio y esfuerzo torsor medio son igual a 0, de tal manera que se reemplaza los valores en la ecuación (18) y se obtiene:

$$\frac{1}{N} = \frac{\sqrt{(61,62)^2 + 3 \cdot (0,1011)^2}}{107,4}$$

$$N = 1,74$$

El factor de seguridad por fatiga para vida infinita del eje de transmisión es óptimo, de tal manera que el diámetro de 2 pulgada del eje es adecuado, es decir, no falla.

3.8.3.6 Simulación estática del eje de transmisión

En el análisis estático se considera el acero AISI 1018 obteniendo un factor de seguridad estático de 8,39 y un N por fatiga de 1,74 de tal manera que el eje no falla, sin embargo, en la simulación del eje se elige el acero AISI 1020 con un $S_y = 350 \text{ MPa}$ debido a que SolidWorks no dispone del material real del eje, de tal manera que si igualamos la ecuación (15) con el esfuerzo admisible considerando el acero AISI 1020 se obtiene un $N = 12,50$.

Por lo tanto, en la *Figura 37* se observa la simulación del eje obteniendo un $N = 13,54$ teniendo un error de 7,68 % con los resultados obtenidos, de tal manera que valida los cálculos realizados

anteriormente generando confiabilidad en los valores y la selección del diámetro del eje de transmisión.

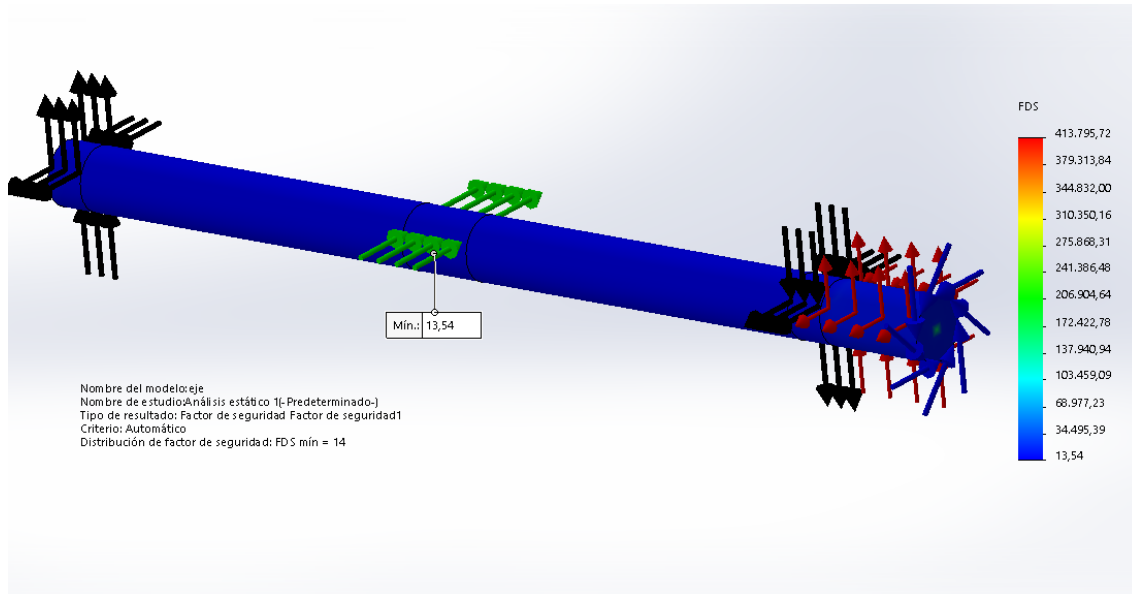


Figura 37. Simulación estática del eje de transmisión de potencia.

3.9 Selección de correas

El tipo de correa que se usará es trapezoidal o tipo “V”, ya que están enfocadas al área industrial de tal manera que este tipo de bandas mantienen su posición y asegura el perfecto acoplamiento correa-polea [26].

3.9.1 Potencia corregida de correas

La potencia corregida (P_c) se determina mediante

$$P_c = P \times F_{cp}$$

Donde, P es la potencia calculada de 3 Hp, mientras que, el factor de corrección de potencia (F_{cp}) es de 1,2. F_{cp} se obtuvo de la tabla 10 del Anexo 6. Por lo tanto, se obtiene $P_c = 3,6$ Hp.

3.9.2 Sección de correa

Se determina la sección de correa según la figura 5 del *Anexo 6*, conociendo P_c y las rpm de la polea conductora, en este caso corresponde acoger la sección “A”.

3.9.3 Longitudes de las correas

Se calcula la longitud (lp) de las correas con la ecuación (22), donde, c es la distancia entre los ejes de las poleas, mientras que, D es el diámetro de la polea mayor, y, d es el diámetro de la polea menor.

$$lp = 2c + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4c} \quad (22)$$

Reemplazando los valores se obtiene una longitud de la correa motor-eje de 2233 mm, la longitud de la correa motor-ventilador es de 1877 mm y la longitud de la correa ventilador-tolva es de 1922 mm. Por lo tanto, según el catálogo de [27] la correa motor- eje tiene la sección A87, la correa motor-ventilador adopta la sección A73 y la correa ventilador-tolva se sujeta a la sección A75.

3.9.4 Factor de corrección en función de la longitud de la correa

Según la tabla 12 del *Anexo 6*, a la correa A73 y A75 le corresponde un factor de corrección (F_{cc}) de 1,02; mientras que, la banda A87 le concierne 1,06.

3.9.5 Determinación del arco de contacto

El arco de contacto se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha = 180 - 57 \frac{(D - d)}{c} \quad (23)$$

Se reemplaza los valores correspondientes en la ecuación (23), y, se obtiene el arco de contacto motor-eje (α_{me}) de 169,6°; el arco de contacto motor-ventilador (α_{mv}) es de 150,6°; finalmente, el arco de contacto ventilador-tolva (α_{vt}) 175,3°.

3.9.6 Factor de corrección del arco de contacto

Según la tabla 13 del Anexo 6, para α_{me} le corresponde un factor de corrección del arco de contacto (F_{ca}) de 0,98; mientras que α_{mv} le concierne un F_{ca} de 0,92 y el F_{ca} de α_{vt} es de 0,99.

3.9.7 Velocidad de correa

Se determina la velocidad tangencial de la correa (v), donde d es el diámetro de la polea conductora. Según [28], la velocidad tangencial no debe sobrepasar los 30 m/s, en caso de ser superior a este valor se debe usar poleas especiales.

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot rpm}{60 \times 1000} = 9,177 \frac{m}{s}$$

3.9.8 Capacidad de potencia de la correa

La capacidad de potencia de la correa (P_{bk}) se obtiene de la Tabla No. 9 del artículo [28], además se debe sumar la capacidad de potencial adicional por relación de transmisión.

$$P_{bk} = P_b + \text{capacidad adicional por relación de transmisión}$$

$$P_{bk} = 3.10 + 0,29 = 3,39 \text{ Hp}$$

3.9.9 Potencia efectiva por correa

Se obtiene mediante la ecuación:

$$P_e = P_{bk} \times F_{cc} \times F_{ca}$$

En el caso de la potencia efectiva de la correa A73 (P_{emv}), se obtiene:

$$P_{emv} = 3,39 \times 1,02 \times 0,92 = 3,18 \text{ Hp}$$

Mientras que, la potencia efectiva de la correa A75 (P_{evt}), se obtiene

$$P_{evt} = 3,39 \times 1,02 \times 0,99 = 3,42 \text{ Hp}$$

Finalmente, la potencia efectiva de la correa A87 (P_{eme}), se obtiene

$$P_{eme} = 3,39 \times 1,06 \times 0,98 = 3,52 \text{ Hp}$$

3.9.10 Cantidad de correas

La cantidad de correas se determina mediante la relación de la potencia corregida total (P_c) a transmitirse y potencia total efectiva por correa (P_e).

- Cantidad de correas A73 se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de correas} = \frac{3,6 \text{ Hp}}{3,18 \text{ Hp}} = 1,13$$

- Cantidad de correas A75:

$$\text{Cantidad de correas} = \frac{3,6 \text{ Hp}}{3,42 \text{ Hp}} = 1,05$$

- Cantidad de correas A87:

$$\text{Cantidad de correas} = \frac{3,6 \text{ Hp}}{3,52 \text{ Hp}} = 1,02$$

Entonces, se necesita una correa trapezoidal de cada tipo A73, A75 y A87; a fin de transmitir movimiento al ventilador, al eje de la tolva y al eje de transmisión mediante un motor eléctrico trifásico de 3 Hp.

3.10 Sistema de vibración Vaivén

El mecanismo de la cribadora funciona horizontalmente o con una ligera pendiente del 2 al 8%. Según [21], hay varias formas de producir vibración, de tal manera que en el *Anexo 7* se observa el tipo de vibrador “b”, que se emplean en cribas vibratorias inclinadas. Por otra parte, en [29] menciona que el mecanismo biela-manivela “imprime un movimiento lineal alternativo al pie de la biela y obtener uno giratorio en el eje de la manivela”, obteniendo oscilaciones simétricas, mayor frecuencia y no existen puntos muertos.

Entonces, según [29] menciona que por medio de las ecuaciones (24) y (25) se determina el desplazamiento y velocidad del mecanismo biela-manivela, respectivamente.

$$X_C = l - \frac{r_{exc}^2}{4l} + r_{exc} \left(\cos(w_{eje} \cdot t) + \frac{r_{exc}}{4l} \cos(2 \cdot w_{eje} \cdot t) \right) \quad (24)$$

$$V_C = -r_{exc} \cdot w_{eje} \left(\text{sen}(w_{eje} \cdot t) + \frac{r_{exc}}{2l} \text{sen}(2 \cdot w_{eje} \cdot t) \right) \quad (25)$$

En la *Tabla 10* se detalla las variables usadas en las ecuaciones anteriores para determinar tanto el desplazamiento como la velocidad del mecanismo.

Tabla 10.

Variables de las ecuaciones del mecanismo biela-manivela.

Descripción	Variable	Valor	Unidad
Desplazamiento	X_c	-	m
Velocidad	V_c	-	m/s
Radio excéntrico	r_{exc}	0,005	m
Velocidad angular del eje	w_{eje}	72,26	rad/s
Longitud de la biela	l	0,6	m
Tiempo	t	1	s

Se considera un radio de excentricidad de 5 mm, de tal manera que en la *Figura 38* se observa tanto la masa excéntrica como el CAD de la misma.

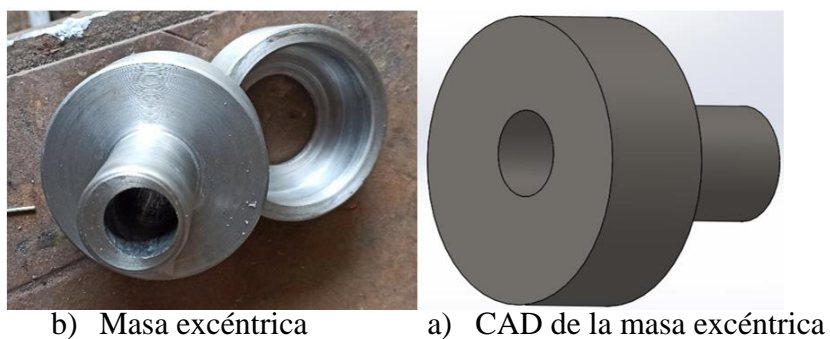


Figura 38. Masa excéntrica.

El desplazamiento del bastidor en 1 segundo se puede observar en la gráfica de la *Figura 39* que se obtuvo mediante Matlab aplicando la ecuación (24), teniendo como resultado una carrera aproximada de 10 mm debido a la masa excéntrica.

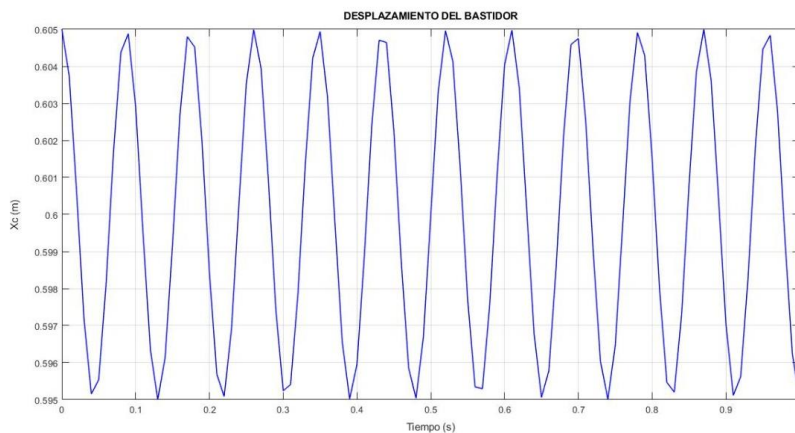


Figura 39. Desplazamiento del bastidor.

La velocidad del bastidor se determinó por medio de Matlab aplicando la ecuación (25), de tal manera que se puede observar V_C del bastidor en la gráfica de la *Figura 40* obteniendo una velocidad máxima aproximada de 0,3613 m/s.

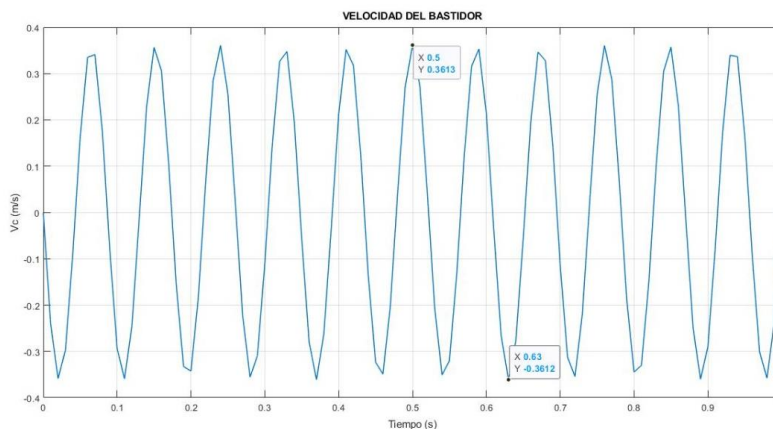


Figura 40. Velocidad del bastidor.

3.11 Diseño del circuito eléctrico y neumático

Se usó un diagrama de control con etapas y transiciones denominado “GRAF CET” como método de diseño para la parte eléctrica y neumática ya que describe los procesos a automatizar

en relación con la información que recibe. En la *Tabla 11* se detalla la nomenclatura de los elementos de transición del GRAFCET.

Tabla 11.

Nomenclatura de los elementos de transición

Descripción	Nomenclatura
Breaker	B1
Celda de carga CP	P1
Celda de carga CS	P2
Paro de emergencia	PE
Pulsador motor off	OFF
Pulsador motor on	ON
Relé térmico	RT
Selector CP	V1
Selector CS	V2
Selector motor elevador	Elev
Selector modo de operación	M_Aut

En la *Tabla 12* se observa las etapas del sistema de control eléctrico.

Tabla 12.

Nomenclatura de las etapas del diseño eléctrico.

Descripción	Nomenclatura
Electroválvula CP	CP
Electroválvula CS	CS
Energización del circuito eléctrico	T1
Motor de la máquina	Mcrib
Motor del elevador	Melev

En la *Figura 41* se ilustra el GRAFCET del circuito eléctrico.

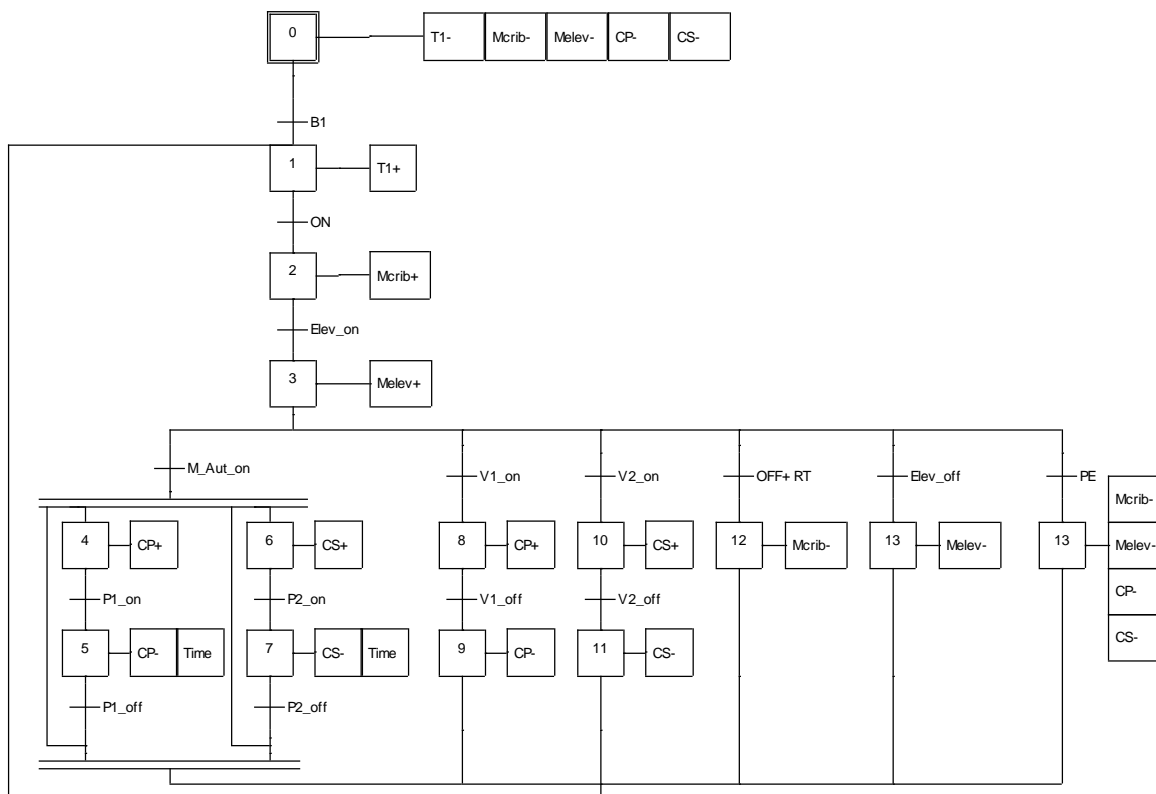


Figura 41. GRAFCET del circuito eléctrico.

La nomenclatura de los elementos de transición del circuito neumático de detalla en la *Tabla 11*, mientras que, En la *Tabla 13* se observa la nomenclatura de las etapas del proceso de control neumático.

Tabla 13.

Nomenclatura de las etapas del circuito neumático.

Descripción	Nomenclatura
Energización del circuito eléctrico	T1
Pistón neumático CP	A
Pistón neumático CS	B

En la *Figura 42* se ilustra el GRAFCET del circuito neumático que forma parte del sistema de dosificación de la cribadora.

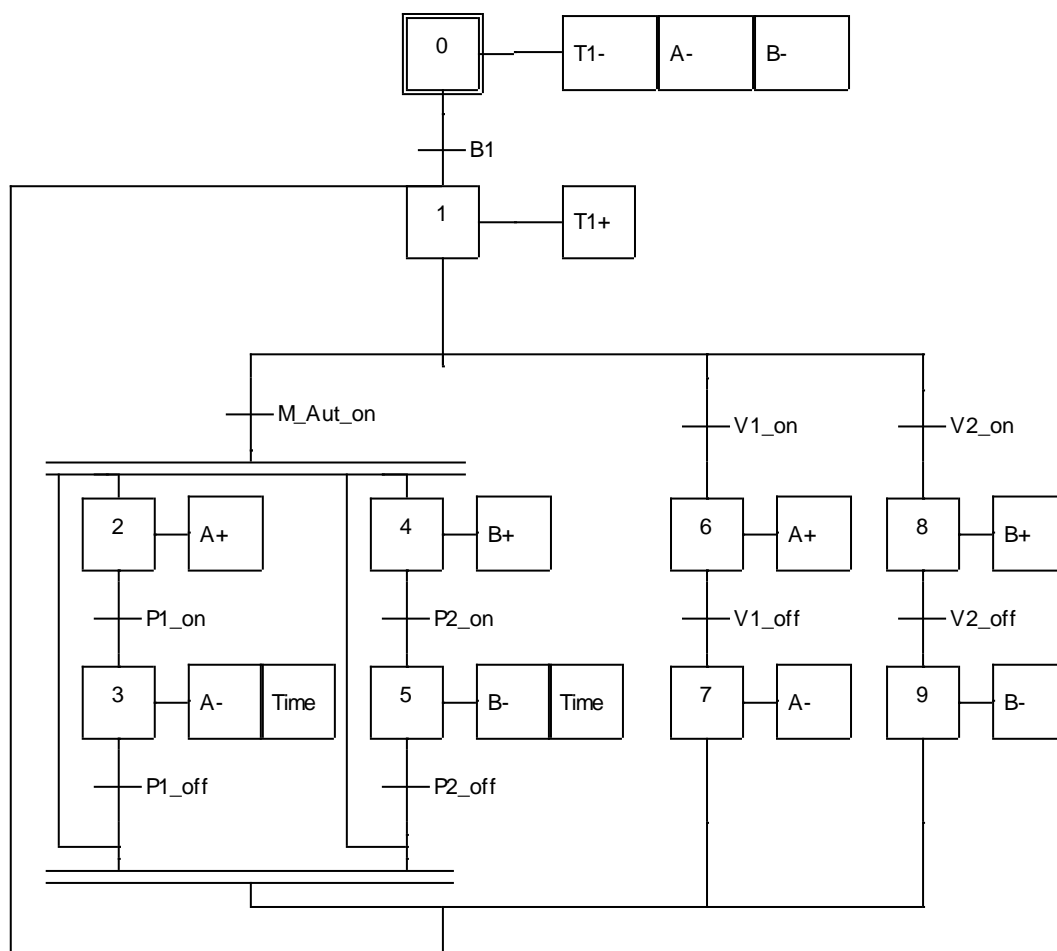


Figura 42. GRAFCET del circuito neumático.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Validación de resultados

En el presente capítulo se realizó la construcción de la clasificadora de fréjol seco enfocada al sector artesanal de tal manera que la máquina contiene 4 partes fundamentales detalladas en la *Figura 43*. Además, se llevó a cabo pruebas de funcionamiento para calibrar las tensiones de las correas, velocidades de los ejes y balanzas del sistema de dosificación.

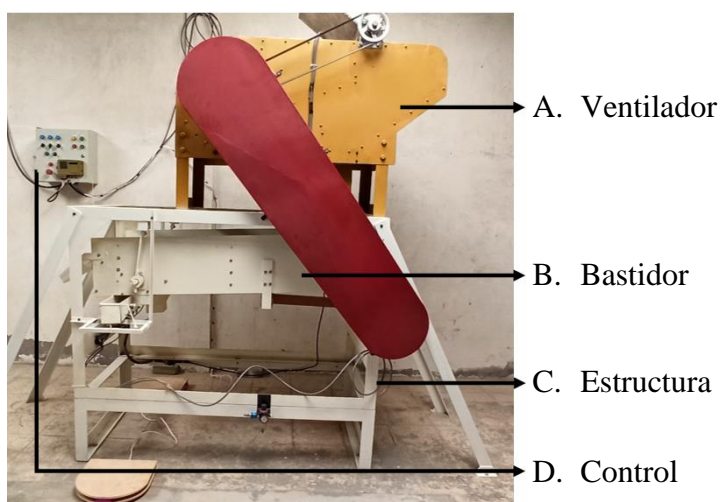


Figura 43. Elementos de la máquina.

Para las pruebas de funcionamiento se utilizó diversos tipos de granos seleccionando las mallas perforadas según el tipo de leguminosa. Además, el método que se usó en las pruebas de funcionamiento es experimental con el fin de obtener un resultado que satisfaga los requerimientos del cliente.

4.1.1 Ventilador centrífugo

El ventilador centrífugo funciona a 460 rpm generando un caudal másico calculado en SolidWorks de 1,842 m³/s, de tal manera que elimina las impurezas más livianas que contiene el producto antes de ser clasificado, sin embargo, a esta velocidad produce un ruido molesto para el operador.

En la *Figura 44* se observa la superficie de salida del ventilador que expulsa fragmentos indeseables del producto tales como granos partidos, rastrojos de la cosecha, polvo y otros materiales contaminadores ligeros.



Figura 44. Eliminación de impurezas del producto por medio del ventilador.

4.1.2 Clasificación de productos según el tamaño

Se realizó pruebas con varios productos, de tal manera que se usaron diferentes dimensiones de mallas perforadas clasificadoras para cada tipo de grano, sin embargo, se usó la misma malla desbrozadora de perforaciones circulares de 12 mm de diámetro para todas las pruebas.

4.1.2.1 Clasificación de producto mezclado

En la *Figura 45* se ilustra un producto mezclado que contiene fréjol rojo, fréjol negro, algunos granos de maíz, varios granos partidos, rastrojos de cosecha y polvo, obteniendo una masa total de 21,00 kg.



Figura 45. Productos mezclados antes de clasificar.

En la *Figura 46* se observa el producto final que pasó por la malla desbrozadora, así como también los granos partidos que caen al final del bastidor una vez que pasan por las tres mallas perforadas, obteniendo una masa total de 05,70 kg.



a) Canaleta desbrozadora



b) Canaleta de polvo

Figura 46. Salida de producto clasificado.

Se usó una malla de perforaciones oblongas de 6x30 mm para la primera criba clasificadora de tal manera que en la *Figura 47* se ilustra el producto final de la clasificación, obteniendo una masa total de 04,10 kg.



Figura 47. Producto clasificado en la primera criba de 6x30 mm.

Por otra parte, se usó una segunda malla clasificadora de perforaciones oblongas de 4x12 mm obteniendo granos de un espesor menor a 4 mm, como se observa en la *Figura 48* con una masa total de 10,90 kg.



Figura 48. Producto clasificado en la segunda criba de 4x12 mm.

En conclusión, la suma de las masas del producto clasificado da un total de 20,70 kg de tal manera que 0,3 kg fue eliminado por medio del ventilador centrífugo.

4.1.2.2 Clasificación de fréjol rojo

En la *Figura 49* se ilustra el tamizado de fréjol rojo, obteniendo una masa total de 75,00 kg de producto sin clasificar de tal manera que pasa por la criba desbrozadora con el fin de separar impurezas ajenas al producto tales como piedras, tallos y otros fragmentos indeseables que no se eliminaron por medio del ventilador.



Figura 49. Clasificación de fréjol rojo.

Se usó una criba clasificadora de 7x30 mm para tamizar un producto de primera calidad obteniendo fréjol limpio y con un espesor mínimo de 7 mm obteniendo una masa de 34,10 kg, mientras que, una malla de 5x30 mm separó el fréjol de segunda calidad consiguiendo una leguminosa de un espesor delgado con algunos granos en mal estado, debido a que las propiedades físicas de los granos son similares, por lo tanto se clasificó una masa de 40,80 kg (ver *Figura 50*).



b) Fréjol de primera calidad



a) Fréjol de segunda calidad

Figura 50. Salida de fréjol rojo por medio de las canaletas.

Entonces, se ilustra el producto final en la *Figura 51* que se obtuvo por medio de una clasificación de granos según su tamaño (espesor), de tal manera que la suma de las masas del producto clasificado da un total de 74,90 kg y el 00,10 kg se eliminó al pasar por el ventilador y algunos granos partidos que recolectó el bastidor.



a) Fréjol de primera calidad



b) Fréjol de segunda calidad

Figura 51. Fréjol rojo clasificado según su tamaño.

4.1.2.3 Clasificación de fréjol negro

Se cribó la cantidad de 45,00 kg de fréjol negro, de tal manera que la primera malla fue de

5x30 mm recolectando 08,90 kg de producto, mientras que, la segunda malla clasificadora tuvo dimensiones de 3x12 mm obteniendo una masa de 33,40 kg de fréjol limpio con un espesor similar.

Por otra parte, cabe mencionar que el producto clasificado presentó varios granos en mal estado debido a sus propiedades físicas tales como espesor, longitud y ancho de la leguminosa, ya que los tamices de perforaciones oblongas se usan para separar el fréjol según su tamaño (ver *Figura 52*).



b) Canaleta de primera criba



a) Canaleta de segunda criba

Figura 52. Clasificación de fréjol negro.

Finalmente, en la *Figura 53* se ilustra la recolección de granos partidos, piedras pequeñas y toda impureza que no se elimina al pasar por el ventilador centrífugo, malla desbrozadora y mallas clasificadoras que recoge el bastidor obteniendo una masa de 02,70 kg.



Figura 53. Producto de la canaleta de polvo.

4.1.2.4 Clasificación de café

Se realizó la prueba para la clasificación de 3 bultos café con una masa de 150,0 kg de tal manera que el producto pasó por una máquina trilladora antes de la cribadora semiautomática y dosificadora, por lo tanto, en la *Figura 54* se observa el producto que sale de la trilladora que contiene café, cascarillas y otras impurezas.



Figura 54. Café sin clasificar.

Después del proceso de limpieza por aire y clasificación según el tamaño del grano se obtuvo un producto clasificado como se observa en la *Figura 55*, de tal manera que en la primera malla clasificadora separó a los granos enteros con un espesor aproximado a 5 mm obteniendo una masa de 83,20 kg; mientras que, en la segunda malla clasificadora se consiguió el café partido y de un espesor mínimo con una masa total de 60,40 kg; cabe recalcar que se usó las mismas cribas que en la prueba del fréjol negro.

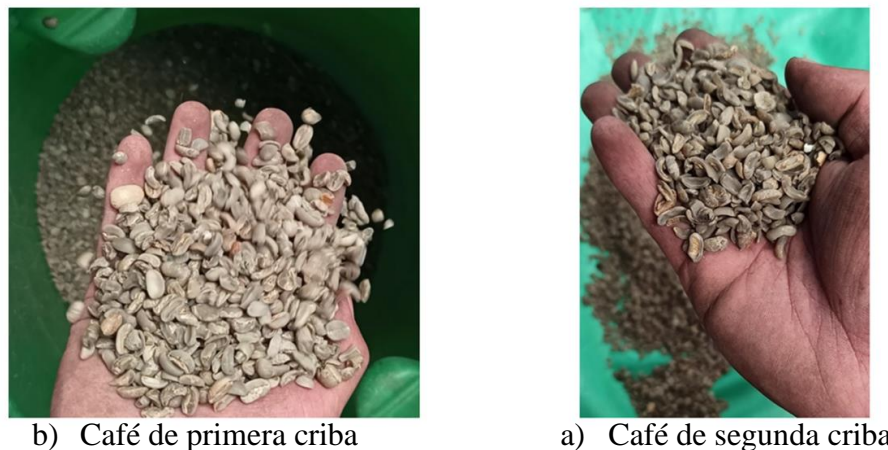


Figura 55. Café clasificado.

Por otra parte, una masa aproximada de 06,40 kg se recolecto entre cascarilla, granos partidos, impurezas que fueron eliminados por el ventilador. Además, en la *Figura 56* se ilustra granos de café atascados en las perforaciones de la malla clasificadora, debido a que según [30] deben usarse cribas adecuadas para la clasificación de café por tamaño.

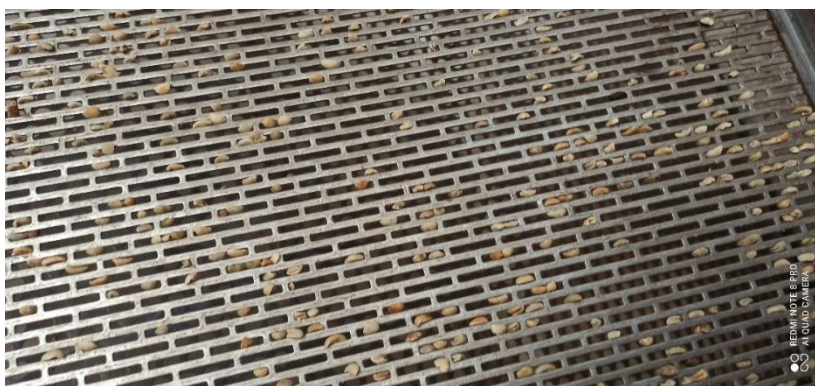


Figura 56. Segunda malla clasificadora.

4.1.2.5 Tiempo de clasificación de productos

En la *Tabla 14* se detalla el tiempo aproximado que tarda en clasificar de forma manual dos personas un producto determinado, de la misma forma se observa el tiempo de tamizado y la

cantidad de producto clasificado por medio de la cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal.

Tabla 14.

Tiempo de clasificación de forma manual y por medio de la cribadora.

Descripción	Masa de producto clasificado (kg)	Tiempo (h)		Masa clasificada en la máquina (kg)		
		Manual	Cribadora	CP	CS	Impurezas
Producto mezclado	21,00	-	00h05	04,10	10,90	06,00
Fréjol rojo	75,00	02h00	00h16	34,10	40,80	00,10
Fréjol negro	45,00	01h00	00h12	08,90	33,40	02,70
Café	150,0	04h00	00h38	83,20	60,40	6,40

4.1.2.6 Tiempo de cambio de cribas

Se utilizó un juego de rachas para desatornillar y atornillar los pernos de las cribas, de tal manera que se tarda un tiempo aproximado de 10 minutos para el intercambio de todas las mallas (ver *Figura 57*), cabe recalcar que depende de la habilidad del operador para reducir o incrementar el tiempo estimado.



Figura 57. Parte posterior del bastidor para el intercambio de cribas.

4.1.3 Implementación de una mesa base en la cribadora semiautomática

Por requerimientos del cliente se implementó una mesa base de 35 cm de altura para instalar la máquina sobre ella, de tal manera que se consideró un perfil estructural de 2,5x1/4 pulgadas con el fin de que las canaletas principales tengan una altura aproximada de 75 cm desde el piso. Por tal motivo, en la *Figura 58* se ilustra la simulación de la mesa base obteniendo un factor de seguridad de 2,6.

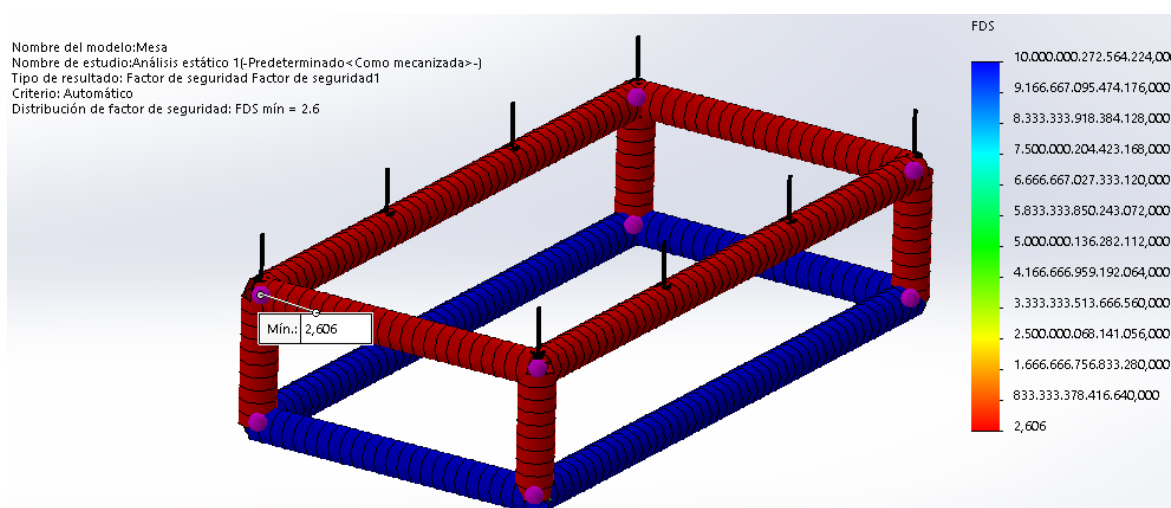


Figura 58. Simulación de la mesa base.

Además, se instaló 4 perfiles estructurales de 2,5x1/4 pulgadas de 145 cm de longitud (contra escuadra) que sujetan la estructura y van empotradas al piso con el fin de obtener una estructura fija. En la *Figura 59* se ilustra la mesa base y las contra escuadras que se implementó en la estructura de la máquina.



Figura 59. Mejoras en la estructura de la máquina.

4.1.4 Control de la cribadora semiautomática

En la *Figura 61* se observa el diagrama de flujo del proceso de operación de la cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal, de tal manera que presenta dos modalidades de dosificación de producto, las cuales son de operación manual y automática.

En el modo de operación manual el operador debe activar o desactivar los selectores en el tablero de control para accionar la apertura y cierre de las tapas de las canaletas (CP: canaleta de primera criba clasificadora; CS: canaleta de segunda criba clasificadora), mientras que en el modo de operación automático el operador debe configurar en el panel de control la masa del producto que medirá las balanzas y el tiempo de espera para cambiar de sacos (ver *Figura 60*).

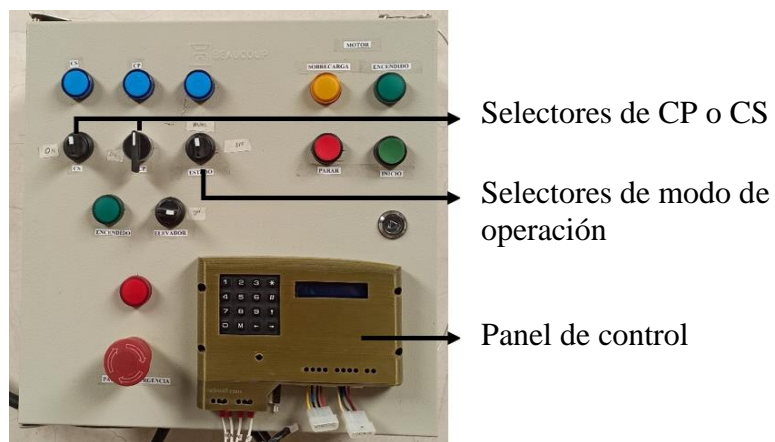


Figura 60. Tablero de control.

Generalmente la cribadora es operada por dos personas de tal manera que el tiempo promedio para el intercambio de sacos es de 7 segundos, sin embargo, este período depende de la habilidad del operador.

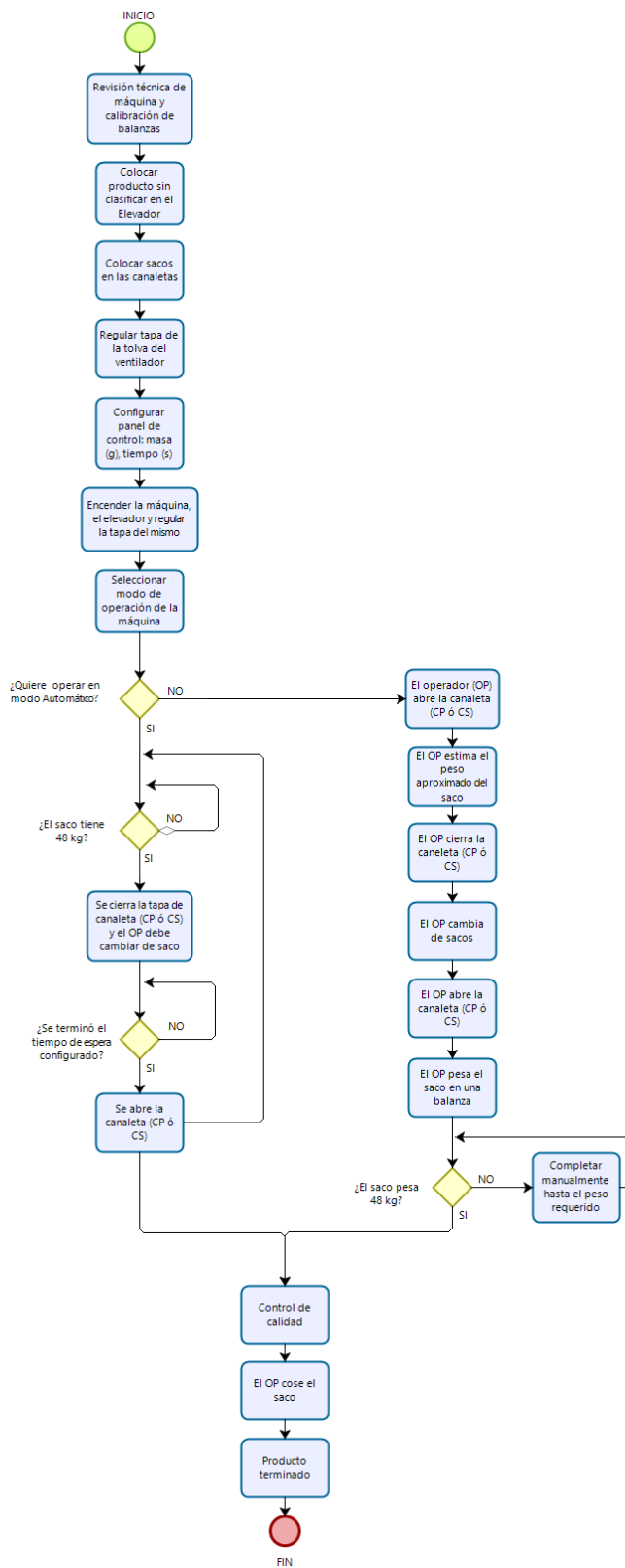


Figura 61. Diagrama de flujo del proceso de clasificación de la cribadora.

4.1.4.1 Circuito de fuerza

El circuito eléctrico de fuerza está instalado en un tablero eléctrico empotrado en la pared, donde está conectado el motor de la cribadora, la alimentación del panel de control y la conexión del elevador de cangilones, de tal manera que se usó canaletas HelaDuct para la organización de los cables internos del tablero, de la misma forma se utilizó terminales eléctricos para facilitar la conexión de los conductores con los dispositivos eléctricos o electrónicos (ver *Figura 62*).

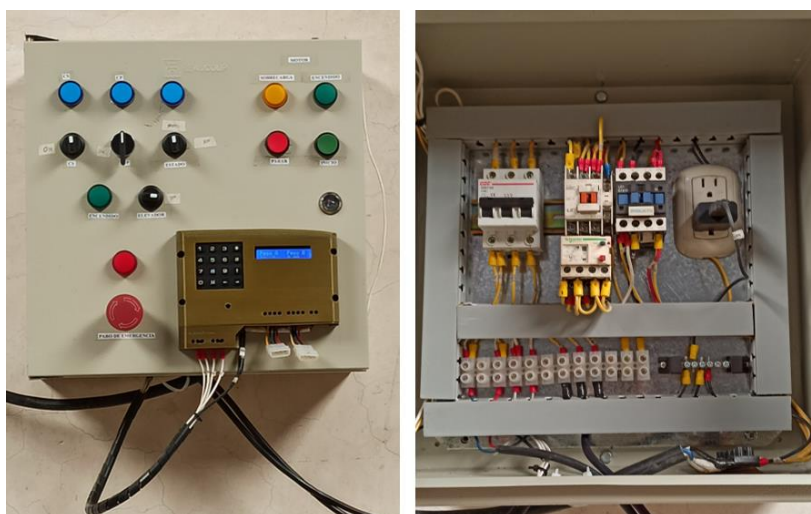


Figura 62. Vista externa e interna del tablero eléctrico.

4.1.4.2 Circuito de control

En la *Figura 61* se ilustra el diagrama de flujo del proceso de control automático y manual de la cribadora. En el caso del modo de operación automático generalmente se configura la masa de 48 kg, ya que este valor debe tener los sacos que contienen producto clasificado, teniendo en cuenta que las celdas de carga tienen una capacidad máxima de 50 kg (ver *Figura 63*).

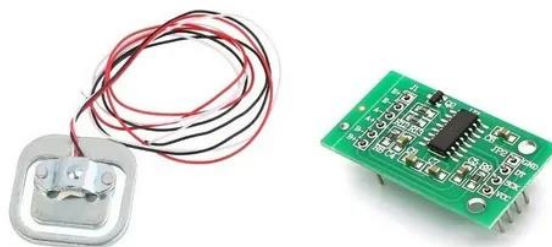


Figura 63. Celda de carga de 50 kg y Hx711 Arduino.

En la *Tabla 15* se detalla el error de medición de las celdas de carga, obteniendo un error máximo de 2,0 % en la balanza A cuando mide 10,00 kg, sin embargo, en la medición de 48,00 kg presenta un error mínimo de 0,4%. Por otro lado, la balanza B presentó un error máximo en la medición de 30,00 kg del 2,3%, mientras que, en 48,00 kg tuvo un error de 0,2 %.

Tabla 15.

Medición de masa de granos de las celdas de carga.

Masa configurada en el panel de control (g)	Promedio de la masa medida en una báscula		Error balanza A	Error balanza B
	Balanza A (kg)	Balanza B (kg)		
0	-	-	-	-
10000	09,80	10,10	-2,0%	+1,0%
20000	19,70	19,90	-1,5%	-0,5%
30000	30,20	29,30	+0,7%	-2,3%
40000	39,90	40,15	-0,3%	+0,4%
48000	47,80	47,90	-0,4%	-0,2%

En conclusión, se debe realizar un control de calidad para verificar la medida de la masa del saco que contiene producto clasificado por medio de una báscula electrónica ya que si se mide en una báscula mecánica la medida no será exacta, asimismo, controlar de forma visual la cantidad de productos buenos y malos.

4.2 Corrección de errores

4.2.1 Corrección en la máquina

En la cribadora se realizó cambios no significativos:

- En el sistema de transmisión de potencia se cambió la polea 2 de 10 in (ver *Figura 31*) por una de 11 in con el fin de reducir la velocidad del bastidor, usando el mismo tipo de banda A87.
- En la instalación de los pistones neumáticos que forman parte del sistema de dosificación, se usó tornillos de ¼ in soldados en las palancas de las tapas de las canaletas y un alza (tubo cuadrado estructural) con el fin de ubicar de forma adecuada al pistón, sin embargo, el uso de estos materiales depende del pistón a utilizar (ver *Figura 69 del Anexo 10*).

4.2.2 Corrección en el tablero de control

En el tablero de control se realizó dos cambios:

- Se reemplazó el selector de dos posiciones de la canaleta CS por uno de tres debido a que se usó una electroválvula por accionamiento con doble bobina para el sistema de la canaleta CS.
- Se implementó un switch de palanca de 2 polos para activar o desactivar el panel de control.

4.2.3 Resultados finales

La velocidad apropiada que se encontró del bastidor es de 627,3 rpm para obtener una clasificación de granos idónea, de tal manera que en la *Tabla 16* se detalla el grado de clasificación y limpieza de productos por medio de la cribadora teniendo en cuenta 3 grados de criterios (malo, bueno y muy bueno).

Tabla 16.

Grado de clasificación y limpieza de productos.

Producto	Dimensiones de 1ra criba (mm)	Dimensiones de 2da criba (mm)	Limpieza por aire	Clasificación según el tamaño	Observaciones
Fréjol rojo	7x30	5x30	Bueno	Muy bueno	Ninguna
Fréjol negro	5x30	3x12	Bueno	Muy bueno	Ninguna
Café	5x30	3x12	Bueno	Bueno	Producto atascado

En conclusión, es primordial usar el tipo de mallas adecuadas según el producto a clasificar, debido a que en las pruebas realizadas del café se atascó producto en la segunda criba. Por otro parte, la máquina cumple de forma satisfactoria la clasificación y limpieza de granos.

4.2.4 Costo por solución

En la *Tabla 17* se detalla el costo de solución de las correcciones que se realizó en la cribadora.

Tabla 17.

Costos de soluciones de la máquina.

Descripción	Unidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Polea 11 in	01,00	11,00	11,00
Tubo cuadrado	01,00	00,50	00,50
Tornillos ¼ in	04,00	00,05	00,20
Selector de 3 posiciones	01,00	05,60	05,60
Switch de palanca de 2 polos	01,00	01,00	01,00
Total \$			18,30

4.3 Análisis económico financiero

El costo de la cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco se determina mediante este análisis económico financiero, de tal manera que se registra los gastos directos, indirectos y gastos de ingeniería.

4.3.1 Costos Indirectos

Corresponde a herramientas y equipos usados en la construcción de la máquina de tal manera que los costos indirectos se ilustran en la *Tabla 18*.

Tabla 18.

Costos Indirectos.

Descripción	Unidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Torneado de ejes	01,00	100,0	100,0
Doblado de Tool	01,00	14,00	14,00
Corte y soldadura	01,00	60,00	60,00
Transporte	01,00	03,00	03,00
Total \$			177,0

4.3.2 Costos Directos

Estos costos se detallan en la *Tabla 19*, y, corresponde a los materiales adquiridos para la construcción de la máquina.

Tabla 19.

Costos directos.

Descripción	Unidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Tool ASTM A36 2 mm	01,50	39,45	59,18
Tool ASTM A36 1 mm	01,00	18,36	18,36
Tocho AISI 1018 25 cm	01,00	55,00	55,00
Perfil L 20x2 mm	02,00	04,32	08,64
Criba perforación circular 12mm	01,00	67,00	67,00
Criba perforación alargada 8x30 mm	01,00	72,00	72,00
Criba perforación alargada 6x30 mm	01,00	72,00	72,00
Platina 50x6 mm	01,00	13,33	13,33
Platina 2,5x1/8 pulgadas	02,00	08,35	16,70
Eje AISI 1018 de 1 pulgada	02,00	05,65	11,30
Eje AISI 1018 de 2 pulgadas	01,00	12,75	12,75
Eje de transmisión de 15 cm	00,25	235,6	58,90
Eje de Nylon de 2 pulgadas	00,40	21,27	08,50
Perfil L 2,5x1/4 pulgadas	04,00	45,15	180,6
Motor Weg 3 Hp	01,00	247,0	247,0
Poleas	03,00	15,00	45,00
Bandas	03,00	07,00	21,00
Pernos y tuercas	-	61,45	61,45
Pistones neumáticos	02,00	50,00	100,0
Materiales electrónicos	01,00	170,0	170,0
Caja de control	01,00	40,00	40,00
Botonera y botones	-	40,00	40,00
Guarda motor	01,00	29,00	29,00
Breaker	01,00	30,00	30,00
Material eléctrico	01,00	100,0	100,0
Litros de pintura	04,00	04,75	19,00
Litros de anticorrosivo	04,00	10,12	40,48
Total \$			1597

4.3.3 Gastos de Ingeniería

La Tabla 20 se refiere a los gastos requeridos en el transcurso de la investigación.

Tabla 20.

Gastos de Ingeniería.

Descripción	Unidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Internet	02,00	30,00	60,00
Impresiones	01,00	20,00	20,00
Total \$			80,00

4.3.4 Costo Total

En la *Tabla 21* se detalla el costo total de la máquina.

Tabla 21.

Costo Total.

Descripción	Unidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Costos directos	01,00	1538	1597
Costos indirectos	01,00	177,0	177,0
Gastos de ingeniería	01,00	80,00	80,00
Total \$			1854

4.3.5 Rentabilidad del proyecto

En la *Tabla 22* se ilustra los indicadores involucrados en este proyecto.

Tabla 22.

Indicadores del proyecto.

Indicadores para considerar	Cantidad	Descripción
Máquina (\$)	1854	Costo
Depreciación (\$)	185,4	10 % anual
Vida útil de la máquina	09,00	Años
Producción mínima de la máquina	125,0	Kg/h
Demanda	20,00	Quintal/día

Operador (\$)	400,0	Mes
Tiempo de trabajo	08h00	horas
Consumo eléctrico 2,24 kW (\$)	00,11	USD/h
Mantenimiento de máquina (\$)	20,00	Mes
Clasificación tradicional (\$)	04,00	USD/quintal
Bulto de fréjol cosechado (\$)	50,00	Costo
Quintal de fréjol (\$)	60,00	PVP al por mayor

El costo total de clasificar 1 quintal de fréjol en la cribadora semiautomática y dosificadora se observa en la *Tabla 23*, cabe recalcar que se asume 20 días laborables en el mes para obtener los resultados.

Tabla 23.

Costo total de 1 quintal de fréjol seco.

Rubro	Costo (USD/quintal)
Depreciación	0,039
Operador	01,00
Consumo eléctrico	00,10
Mantenimiento	00,05
Total \$	01,19

El costo de clasificar un quintal de fréjol de forma tradicional es aproximadamente de \$ 4,00 dólares americanos clasificando 4 quintales diarios, mientras que el precio de clasificación en la cribadora es de \$ 3,00 dólares americanos con una capacidad de 20 quintales por día, obteniendo una utilidad de \$ 1,81 dólares americanos por quintal de producto.

Entonces, se determina el tiempo de recuperación (tr) de la inversión mediante la relación entre el costo total de la máquina y la utilidad mensual del servicio de clasificación.

$$tr = \frac{\$ 1854}{\$ 724,0} = 2,56 \text{ meses}$$

Por otro lado, una persona que clasifica de forma tradicional tamiza alrededor de 80 quintales

mensuales de granos, obteniendo un costo de mano de obra de \$ 320,0 USD de tal manera que genera una utilidad de \$ 480 USD por la venta del producto al mes (utilidad por venta de quintal de grano clasificado: \$ 10,00 USD), mientras que, en la cribadora se clasificará 400 quintales mensuales teniendo un costo de \$ 476 USD generando una utilidad neta de \$ 3524 USD.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El diseño del sistema mecánico y eléctrico para la cribadora de fréjol consiste en 3 etapas; la primera elimina la mayoría de las impurezas livianas de la leguminosa mediante un ventilador centrífugo, la siguiente etapa clasifica el grano en 2 categorías utilizando cribas para la separación, y en la etapa de dosificación el peso total de los sacos de fréjol es definido por el usuario, de tal manera que cuando alcanza el valor configurado acciona la electroválvula que controla la apertura y el cierre de la tapa de la canaleta.
- En el proceso de construcción de la máquina se pudo notar que el sistema de transmisión de [31] elevaba el costo de la máquina y era menos eficiente que el desarrollado en este trabajo de investigación, por lo que se optó en un cambio de material y posición.
- El sistema semiautomático de la cribadora de fréjol consta de una balanza de celdas de carga la cual activa las entradas del microcontrolador y eso a su vez envía la señal a los relés activando a las electroválvulas que controlan la compuerta de la cribadora.
- Mediante los resultados que se obtuvieron en el capítulo anterior se puede demostrar que el diseño de la cribadora mejoró el tiempo promedio de clasificación en un 83,61 % con respecto a la forma tradicional, por lo tanto, cumple su función de una manera eficaz.

5.2 RECOMENDACIONES

- El redimensionamiento de la máquina reduciría el costo de la cribadora haciéndola asequible para el sector artesanal.
- A la salida de la máquina se puede implementar un sistema para pulir granos mejorando la calidad del producto y otorgando un valor agregado al mismo.
- La implementación de un mayor número de cribas incrementaría la eficacia de la máquina en cuanto a cantidad de granos clasificados y categorías.
- El sistema diseñado en el presente documento se puede utilizar como principio para la clasificación de varios productos comestibles.

Referencias

- [1] E. Torres Navarrete, D. Quisphe Caiza, A. Sánchez Laíño, M. Reyes Bermeo, B. González Osorio, A. Torres Navarrete, A. Cedeño Briones y A. Haro Chong, «Caracterización de la producción de frijol en la provincia de Cotopaxi Ecuador: caso comuna panyatug,» 21 Enero 2013. [En línea]. Available: http://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_V6%20N1%204Caract%20produccion%20frijol,%20Comuna%20Panyatug.pdf.
- [2] Almanza y A. Sue Agüero, *Diseño y construcción de una máquina para cibrar semillas de frijol*, México: Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- [3] Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, «Factores de riesgo ergonómico y causas de exposición,» 2015. [En línea]. Available: https://istas.net/sites/default/files/2019-12/M3_FactoresRiesgosYCausas.pdf.
- [4] R. Araya, K. Martínez, A. López y A. Murillo, *Protocolo para el manejo poscosecha de la semilla de frijol*, Costa Rica: FAO, 2013.
- [5] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, «Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida,» 2017. [En línea]. Available: https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf.
- [6] C. Estévez y P. Murgueitio, *Perfil de Fréjol*, Ecuador: CORPEI, 2009.

- [7] E. Peralta, Á. Murillo, N. Mazón y R. Diego , Catálogo de variedades mejoradas de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) para los valles y estribaciones de la Sierra Ecuatoriana, Quito: INIAP, 2014.
- [8] Oficina Regional de la FAO Para América La Caribe, «Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural,» 1993. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/x5027s/x5027S00.htm>.
- [9] R. Aguirre y S. Peske, *Manual para el beneficio de semillas*, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1992.
- [10] B. Murillo Amador, E. Rueda, J. García , F. Ruíz y A. Beltrán, *Agricultura Orgánica*, Temas de actualidad, México: Plaza y Valdés, 2010.
- [11] V. López, *Diseño y simulación de una máquina clasificadora vibratoria de granos de maíz según el tamaño*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 2015.
- [12] Repermetal, «REPERMETAL,» [En línea]. Available: https://irp-cdn.multiscreensite.com/6ed61e64/files/uploaded/Cuadr%C3%ADptico_Productos_Repermetal_2019.pdf.
- [13] Acerimallas, «ACERIMALLAS IDEAS EN METAL,» [En línea]. Available: <https://www.acerimallas.com.ec/>.
- [14] F. Beer, R. Johnston, J. DeWolf y D. Mazurek, *Mecánica de materiales*, México: McGraw-Hill, 2010.
- [15] DIPAC, «DIPAC PRODUCTOS DE ACERO,» [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/>. [Último acceso: 2020].
- [16] Arrizabalaga y N. Larburu, *Máquinas prontuario*, Madrid: Paraninfo, 2003.

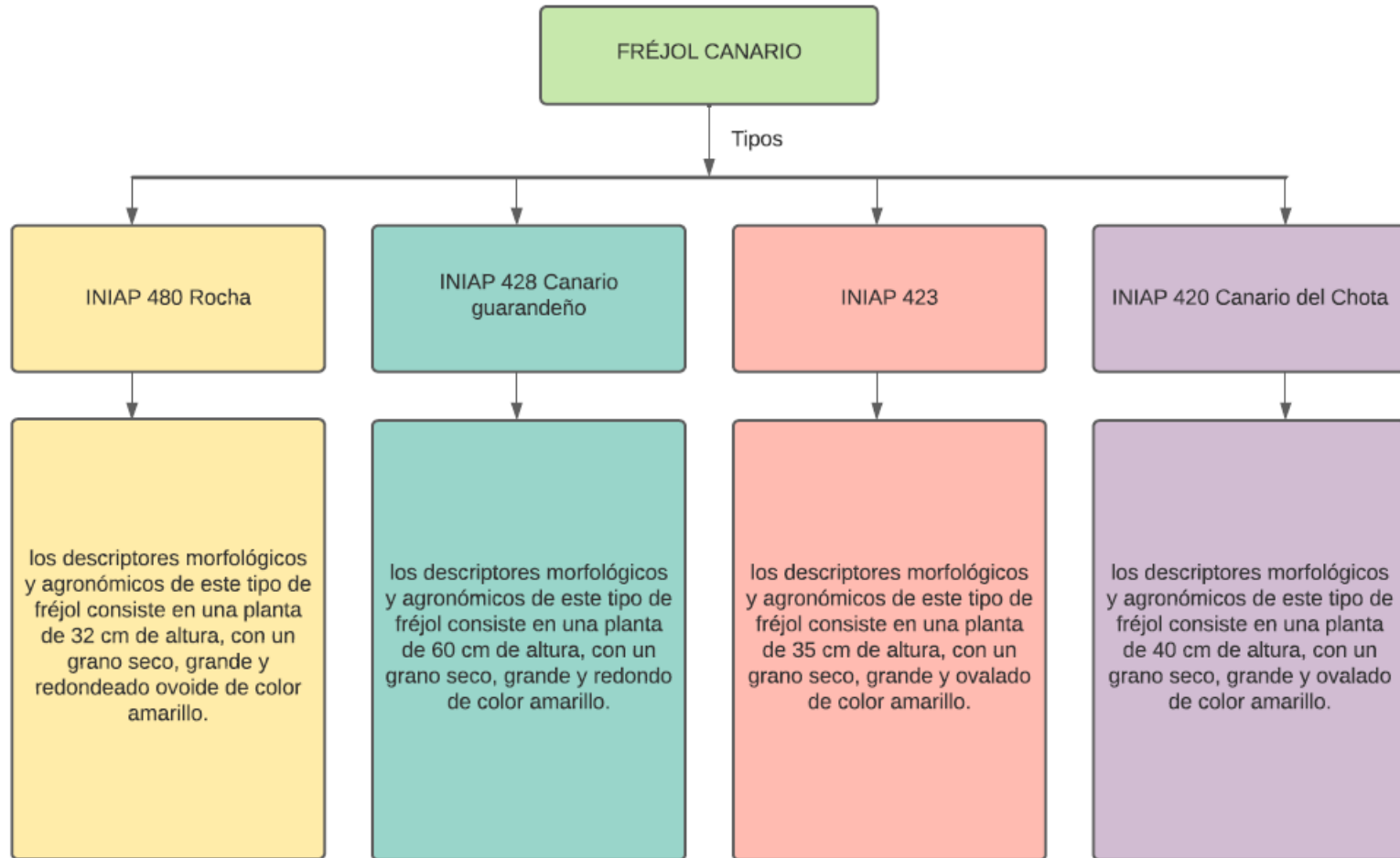
- [17] I. NTE INEN, *Granos y cereales. Cribas metálicas o zarandas y tamices. Tamaño nominal de la abertura*, Ecuador: INEN, 1987.
- [18] F. Zanin, «ZANIN,» 1956. [En línea]. Available: https://es.zanin-italia.com/productos_limpiador_psc5.html. [Último acceso: 2020].
- [19] J. Buenaver, D. Olaya y C. Trujillo, «Análisis y diseño de la maquinaria y/o equipo necesario para el manejo de granos,» 1991. [En línea]. Available: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/3572/T0001462.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [20] Suministros Técnicos S.A., «SUMITEC,» [En línea]. Available: <http://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE01.pdf>. [Último acceso: 2020].
- [21] OCW UPCT, «Operaciones de Preparación,» [En línea]. Available: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5551/mod_resource/content/1/Tema_6_-_Cribado.pdf.
- [22] Motortico, «MotorTico,» enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2015%20ENE%20-%20Factor%20de%20Servicio%20en%20Motores%20Electricos.pdf>.
- [23] Ecuasierras, «Catálogo de poleas,» [En línea]. Available: https://fd9d0c46-dba9-4cb7-b3e5-d0063727862f.filesusr.com/ugd/37b045_0b0b931643eb4a73b2b9593fdddbfba7.pdf.
- [24] G. Bavaresco, «Procedimiento para el diseño de ejes,» 2016. [En línea]. Available: https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/diseo_de_ejes.pdf.
- [25] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2008.

- [26] DUNLOP, «Correas de transmisión industrial,» DUNLOP ARGENTINA S.A., [En línea]. Available:
https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut121/Correas_Dunlop.pdf.
- [27] Abina, «TEXROPE Catálogo industrial de correas,» [En línea]. Available:
<https://www.abina.com/Catalogos/91/TEXROPE%20-%20TRAPECIALES.pdf>.
- [28] Á. Mendoza y F. Romano, «Correas industriales, cálculo y selección,» Universidad Nacional de Colombia, [En línea]. Available:
<http://bdigital.unal.edu.co/43065/6/Correasindustriales.pdf>.
- [29] R. L. Washington Amangandi, «Diseño y construcción de una máquina clasificadora de maíz partido,» 2013. [En línea]. Available:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2699/1/15T00538.pdf>.
- [30] I. 290, «Norma Técnica Ecuatoriana,» [En línea]. Available:
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/290.pdf>.
- [31] SYTES, «Cribadora de dos zarandas,» [En línea]. Available:
https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-582614676-cribadoraseleccionadora-de-granos-sytes-_JM?quantity=1&variation=30109884714.
- [32] Hegamex, «HEGAMEX,» [En línea]. Available: <https://www.hegamex.com/cribadoras>.
- [33] Reinmac, «REINMAC,» [En línea]. Available:
https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-669424045-seleccionadoras-cribadoras-economicas-para-granos-_JM#position=4&type=item&tracking_id=c3ebb2f9-8ddb-425b-9448-5aafcc6b557d.
- [34] Tymsa, «TYMSA,» [En línea]. Available: <https://trituracionymolienda.com/Cribas.html>.

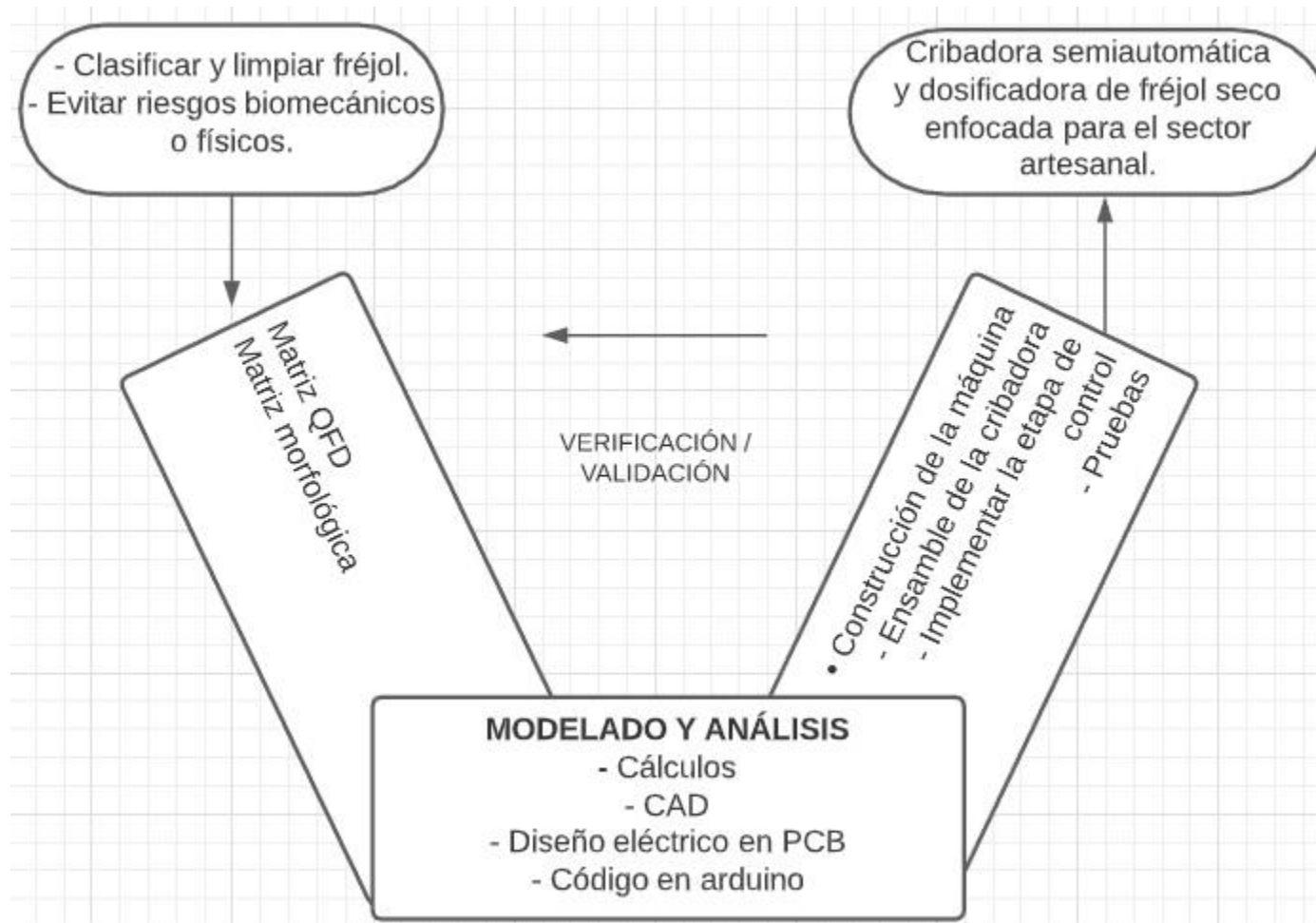
- [35] Provedora de acero Riobamba, «EL ACERO,» [En línea]. Available: <http://www.proveedorariobamba.com/wp-content/uploads/2015/12/catalogo-de-aceros.pdf>.
- [36] E. A. Blanco, «open course ware,» [En línea]. Available: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/9._clasificacion_cribado.pdf.
- [37] P. U. S. A., «UNIDAS,» [En línea]. Available: https://www.pinturasunidas.com/uploads/productos/automotriz/wash_primer_pu_400.pdf.

ANEXOS

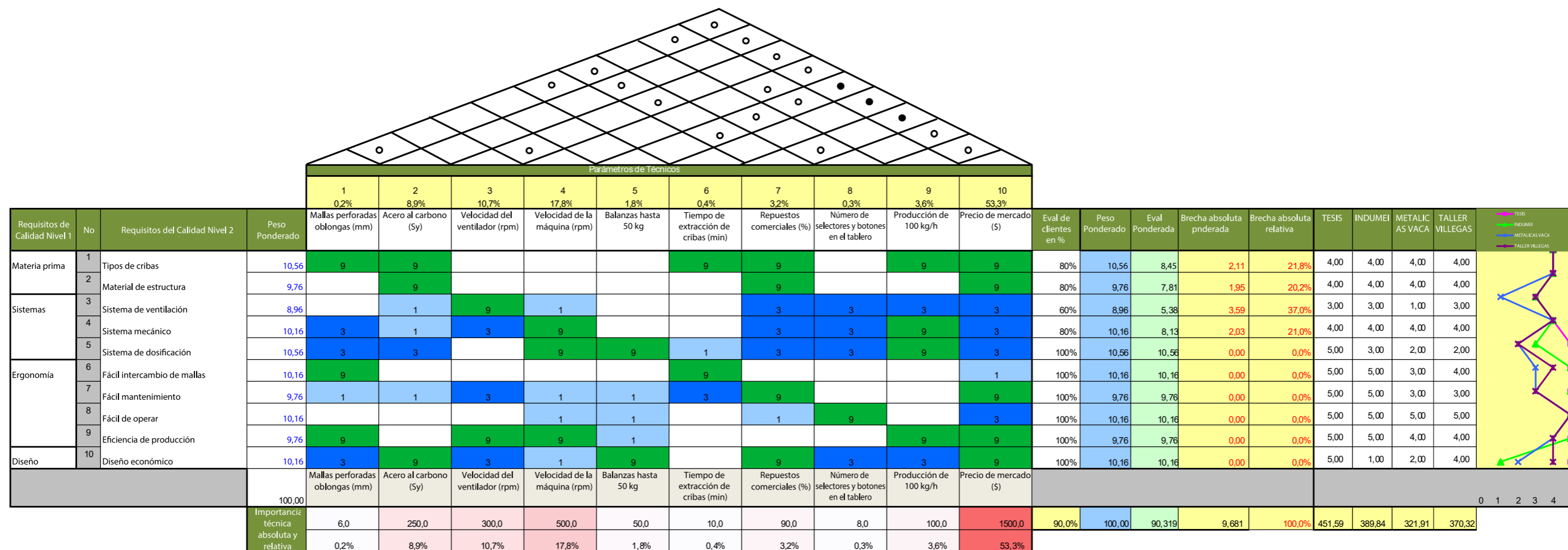
6.1 Anexo 1 Variedades de fréjol Canario.



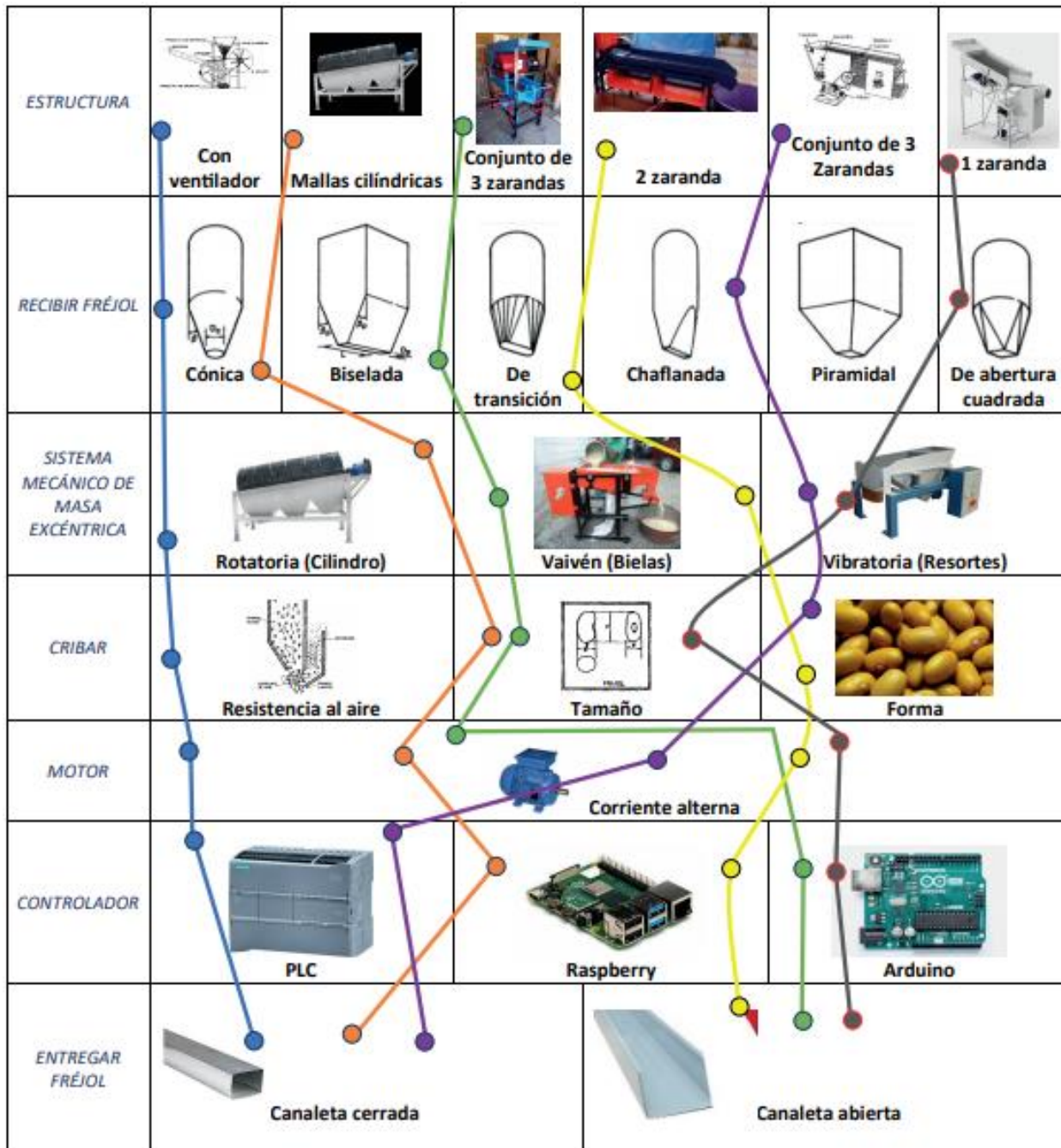
6.2 Anexo 2 Metodología de diseño para sistemas mecatrónicos.



6.3 Anexo 3 Matriz QFD.



6.4 Anexo 4 Matriz morfológica [8, 32, 31, 33, 34]



6.5 Anexo 5 Tablas para el análisis por fatiga

Tabla 6-2

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} , kpsi	S_{utr} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horgler (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Tabla 6-5

Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

6.6 Anexo 6 Tablas para selección de las correas [28]

TABLA No. 10. Coeficiente de corrección de potencia

	Tipo de Máquina conductora					
	Motores de corriente alternada. Torque normal, a jaula de ardilla, sincrónicos; fase partida. Motores de corriente continua; bobinado en shunt. Máquina a combustión interna. Cilindros múltiples.			Motores de corriente alternada. Alto torque, alto deslizamiento, bobinado en serie y anillo colector. Motores de corriente continua; bobinado en serie y bobinado en compound. Máquina de combustión interna monocilíndrica. Ejes en línea. Arranques directo y con embrague.		
	Servicio intermedio hasta 7 h/d	Servicio normal de 8 a 15 h/d	Servicio continuo más de 16 h/d	Servicio intermedio hasta 7 h/d	Servicio normal de 8 a 15 h/d	Servicio continuo más de 16 h/d
Agitador para líquidos y semilíquidos, ventiladores y aspiradores, compresores y bombas centrífugas. Sopladores hasta 10 HP. Transportadores livianos	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Cintas transportadoras para arena, granos, etc. Mezcladores de panadería. Sopladores de más de 10 HP, generadores. Línea de ejes (ejes principales), máquinas de lavaderos, máquinas herramienta, punzadoras - prensas - guillotinas, bombas rotativas positivas. Máquina de imprenta, Zarandas vibradoras y giratorias.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4

Figura No. 5. Elección de la sección de la Correa

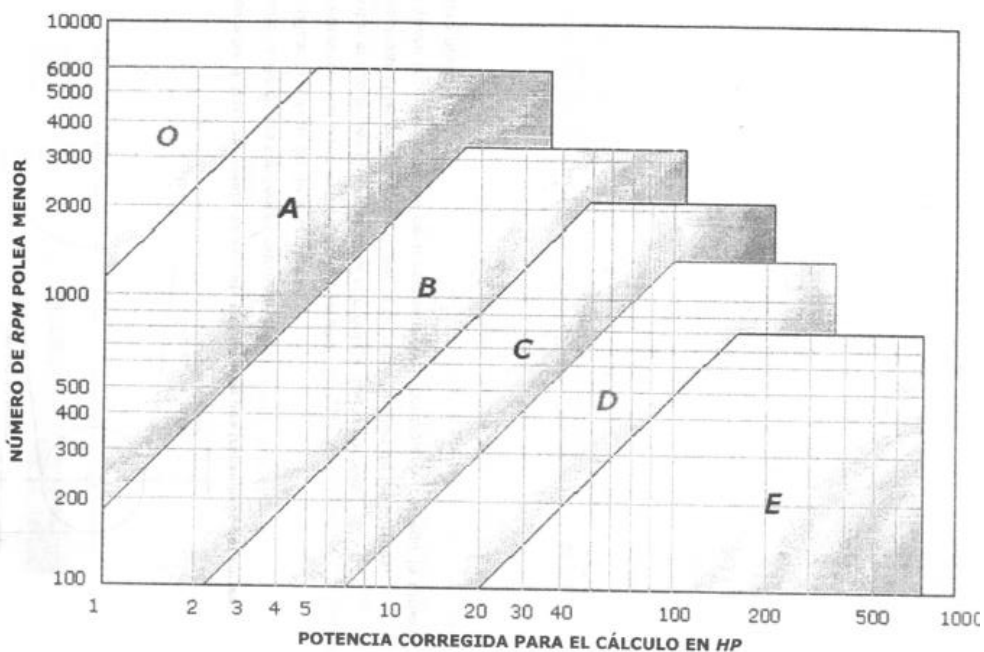


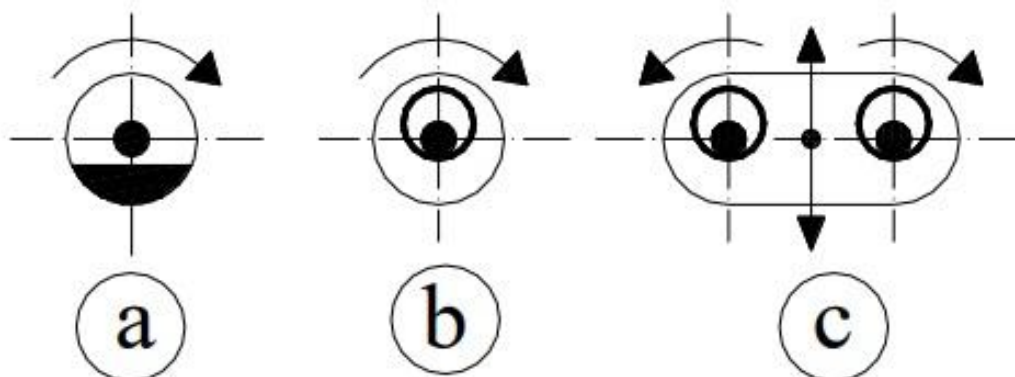
TABLA No.12. Factor de corrección en función de la longitud de la correa

		SECCIÓN DE LA CORREA					
		"O"	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"
l de la correa	16	0.80					
	24	0.83					
	26	0.84	0.81				
	31	0.89	0.84				
	35	0.92	0.87	0.81			
	38	0.93	0.88	0.83			
	42	0.95	0.90	0.85			
	46	0.97	0.92	0.87			
	51	0.99	0.94	0.89	0.80		
	55	1.00	0.96	0.90	0.81		
	60		0.98	0.92	0.82		
	68		1.00	0.95	0.85		
	75		1.02	0.97	0.87		
	80		1.04	0.98	0.89		
	81		1.04	0.98	0.89		
	85		1.05	0.99	0.90		
	90		1.06	1.00	0.91		
	96		1.08	1.02	0.92		
97		1.08	1.02	0.92			
105		1.10	1.04	0.94			
112		1.11	1.05	0.95			

TABLA No.13. Factor de corrección para el ángulo de contacto

		FACTOR DE CORRECCIÓN	
		Poleas acanaladas	Polea acanalada / plana
Arco de contacto de la polea menor	180°	1.00	0.75
	175°	0.99	0.76
	170°	0.98	0.77
	167°	0.97	0.78
	164°	0.96	0.79
	160°	0.95	0.80
	157°	0.94	0.81
	154°	0.93	0.81
	150°	0.92	0.82
	147°	0.91	0.83
	144°	0.90	0.83
	140°	0.89	0.84
	137°	0.88	0.85
	134°	0.87	0.85
	130°	0.86	0.86
	127°	0.85	0.85
	124°	0.84	0.84
	120°	0.82	0.82
	118°	0.81	0.81
	115°	0.80	0.80
	113°	0.79	0.79
	110°	0.78	0.78
	108°	0.77	0.77
	106°	0.77	0.77
	104°	0.76	0.76
	102°	0.75	0.75
	100°	0.74	0.74
	98°	0.73	0.73
96°	0.72	0.72	
94°	0.71	0.71	
92°	0.70	0.70	

6.7 Anexo 7 Tipos de vibrador [21]



Tipo de Vibrador	Características	Aplicaciones
a	Tipo de polea desbalanceada . Un eje concéntrico con contrapesos ajustables y dos cojinetes. El movimiento de excentricidad circular produce una vibración oscilante. La carrera puede variarse ajustando los contrapesos. Frecuencias: 500-2500 r.p.m. ; carrera < 10 mm.	Se emplean normalmente en cribas para trabajos ligeros.
b	Tipo de eje excéntrico . Un eje excéntrico con contrapesos ajustables y 2 cojinetes. (Normalmente se conocen con el nombre de " de 2 cojinetes "). El movimiento de excentricidad circular produce vibración. La carrera se modifica actuando sobre los contrapesos. Frecuencia: 25-500 r.p.m. Carrera: 15-30 mm.	Se emplean en cribas vibratorias inclinadas para trabajos pesados y ligeros.
c	Modelo reciprocante o " de 4 cojinetes ". Dos ejes, excéntricos o contrapesados, los cuales giran en sentido opuesto uno con respecto al otro, y en fase para producir un movimiento positivo en línea recta. La carrera puede inclinarse haciendo trabajar los ejes ligeramente desfasados.	Se emplean en cribas vibratorias horizontales y en algunos transportadores.

6.8 Anexo 8 Código de Arduino

```
#include <HX711_ADC.h>

#include <EEPROM.h>

#include <Keypad.h>

//HX711 constructor (dout pin, sck pin):

HX711_ADC LoadCell(A2, A3);

HX711_ADC LoadCell1(A0, A1);

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

////////////////////

int eepromAdress = 0;

int eepromAdress1 = 4;

int etAdir = 20;

int etBdir = 40;

float tA = 10;

float tB = 10;

long t;

const byte ROWS = 4; //four rows

const byte COLS = 4; //four columns
```

```
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {  
    {'1', '2', '3', '.'},  
    {'4', '5', '6', '#'},  
    {'7', '8', '9', '^'},  
    {'0', 'M', '<', '>'}  
};  
  
byte rowPins[ROWS] = {2, 7, 8, 9}; //connect to the row pinouts of the keypad  
byte colPins[COLS] = {6, 5, 4, 3}; //connect to the column pinouts of the keypad  
Keypad customKeypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);  
  
float controlNum = -1, controlNum1 = -1; //peso para la comparacion  
float rango = 0.5; //colocar la diferencia en lb  
  
#define releA 12  
#define releB 11  
#define led 13  
  
bool sw = 0, sw1 = 0;  
  
int tiempoPlc = 200; //tiempo de espera para que el microcontrolador lea los pulsos  
bool senda = 1;  
bool sendb = 1;  
bool sendbefa = 1;
```



```

bool sendbefb = 1;

char numVal = 'n';//número de balanza seleccionada para la calibración
//////////////////////////////////////tiempos
bool swControl = 0, swControl1 = 0; //para dar inicio a los contadores de tiempo de espera
unsigned long tiempoRefA, tiempoRefB = 0; //tiempo inicio de contadores temporales
unsigned long tiempoEsperaActuadorA = 0;
unsigned long tiempoEsperaActuadorB = 0;

void setup() {
  lcd.init();           // inicio de lcd
  lcd.backlight();

  pinMode(releA, 1);
  pinMode(releB, 1);
  pinMode(led, 1);
  digitalWrite(releA, 0); digitalWrite(releB, 0); digitalWrite(led, 0);

  float calValue; // calibración value
  float calValue1;

  EEPROM.get(eepromAdress, calValue);
  EEPROM.get(eepromAdress1, calValue1);

```

```
EEPROM.get(etAdir, tA);
EEPROM.get(etBdir, tB);
tiempoEsperaActuadorA = tA * 1000;
tiempoEsperaActuadorB = tB * 1000;

Serial.begin(9600); delay(10);

Serial.println();
Serial.println("Starting...");
LoadCell.begin();
LoadCell1.begin();

long stabilisingtime = 2000; // tare preciscion can be improved by adding a few seconds of
stabilising time

byte loadcell_1_rdy = 0;
byte loadcell_2_rdy = 0;
while ((loadcell_1_rdy + loadcell_2_rdy) < 2)
{ //run startup, stabilization and tare, both modules simultaneously
  if (!loadcell_1_rdy) loadcell_1_rdy = LoadCell.startMultiple(stabilisingtime);
  if (!loadcell_2_rdy) loadcell_2_rdy = LoadCell1.startMultiple(stabilisingtime);
}

if (LoadCell.getTareTimeoutFlag()) {
  Serial.println("Tare timeout, check MCU>HX711 no.1 wiring and pin designations");
```

```
}  
  
if (LoadCell1.getTareTimeoutFlag()) {  
    Serial.println("Tare timeout, check MCU>HX711 no.2 wiring and pin designations");  
}  
  
LoadCell.setCalFactor(calValue); // user set calibration value (float)  
LoadCell1.setCalFactor(calValue1); // user set calibration value (float)  
  
Serial.println("Startup + tare is complete");  
  
//while (!LoadCell.update());  
  
//calibrate();  
  
//PruebaKey();  
}  
  
  
char letra = ' ';  
  
float vpeso = 0.0, vpeso1 = 0.0;  
  
bool auxm = 0;  
  
bool swt = 0;  
  
  
void loop() {  
    letra = Teclado();  
  
    TomarPeso(4);  
  
  
    if (Serial.available() > 0) {  
        letra = Serial.read();  
    }  
}
```

```
}  
  
if (true) {  
    if (letra == '.') {  
        Serial.println("Ingrese el tiempo de espera A");  
        String valor = "";  
        lcd.clear();  
        lcd.setCursor(0, 0);  
        lcd.print("T. Espera A:");  
  
        for ( letra = 'n'; letra != '.'; ) {  
            char customKey = Teclado();  
            if (customKey) {  
                if ( customKey == '0' || customKey == '1' || customKey == '2' ||  
                    customKey == '3' || customKey == '4' || customKey == '5' || customKey == '6' ||  
                    customKey == '7' || customKey == '8' || customKey == '9') {  
                    valor += customKey;  
                }  
  
                letra = customKey;  
                lcd.setCursor(0, 1);  
                lcd.print(valor);  
            }  
        }  
    }  
}
```

```

}

valor.trim();

float num = valor.toFloat();

EEPROM.put(etAdir, num);

tA = num;

tiempoEsperaActuadorA = tA * 1000;

////////////////////////////////////

Serial.println("Ingrese el tiempo de espera B");

valor = "";

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("T. Espera B:");

for ( letra = 'n'; letra != '.'; ) {

    char customKey = Teclado();

    if (customKey) {

        if ( customKey == '0' || customKey == '1' || customKey == '2' ||

            customKey == '3' || customKey == '4' || customKey == '5' || customKey == '6' ||

            customKey == '7' || customKey == '8' || customKey == '9') {

            valor += customKey;

        }

        letra = customKey;

```

```
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(valor);  
  }  
  
}  
  
valor.trim();  
  
num = valor.toFloat();  
EEPROM.put(etBdir, num);  
tB = num;  
  
tiempoEsperaActuadorB = tB * 1000;  
}  
  
if (letra == '#') {  
  LoadCell.tareNoDelay();  
  LoadCell1.tareNoDelay();  
  letra = ' ';  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print("Tare");  
  lcd.clear();  
}  
  
if (letra == '<') {  
  Serial.println("Ingrese el peso de control A");
```

```
String valor = "";

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Ingreso A:");

for ( letra = 'n'; letra != '<'; ) {

    char customKey = Teclado();

    if (customKey) {

        if (customKey == '.' || customKey == '0' || customKey == '1' || customKey == '2' ||

            customKey == '3' || customKey == '4' || customKey == '5' || customKey == '6' ||

            customKey == '7' || customKey == '8' || customKey == '9') {

            valor += customKey;

        }

        letra = customKey;

        lcd.setCursor(0, 1);

        lcd.print(valor);

    }

}

lcd.clear();

Serial.println("valor tecleado A: " + valor);

valor.trim();
```

```
float num = valor.toFloat();

controlNum = num + rango; //modificado 27 01 2014

letra = 0;

sw = 1;

}

if (letra == '>') {

    Serial.println("Ingrese el peso de control B");

    String valor = "";

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("Ingreso B:");

    for ( letra = 'n'; letra != '>'; ) {

        char customKey = Teclado();

        if (customKey) {

            if (customKey == '.' || customKey == '0' || customKey == '1' || customKey == '2' ||

                customKey == '3' || customKey == '4' || customKey == '5' || customKey == '6' ||

                customKey == '7' || customKey == '8' || customKey == '9') {

                valor += customKey;

            }

            letra = customKey;

            lcd.setCursor(0, 1);
```



```
    lcd.print(valor);  
  }  
  
}  
  
lcd.clear();  
  
Serial.println("valor teclado B: " + valor);  
  
valor.trim();  
  
float num = valor.toFloat();  
  
controlNum1 = num + rango;  
  
letra = 0;  
  
sw1 = 1;  
  
}  
  
if (letra == 'M') {  
  lcd.clear();  
  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  
  lcd.print("Ingrese num val");  
  
  numVal = 'n';  
  
  while (numVal != '1' && numVal != '2') {  
    numVal = Teclado();  
  }  
  
  Serial.print("calibrando valanza num: ");  
  
  Serial.println(numVal);  
}
```

```
Serial.println("Ingrese el peso de la masa y vuelva a presionar M para confirmar ");  
  
lcd.clear();  
  
lcd.setCursor(0, 0);  
  
lcd.print("Calibracion:");  
  
lcd.setCursor(13, 0);  
  
lcd.print(numVal);  
  
  
String valor = "";  
  
for ( letra = 'n'; letra != 'M'; ) {  
  
    char customKey = customKeypad.getKey();  
  
    if (Serial.available() > 0) {  
  
        customKey = Serial.read();  
  
    }  
  
    if (customKey) {  
  
        if (customKey == '.' || customKey == '0' || customKey == '1' || customKey == '2' ||  
            customKey == '3' || customKey == '4' || customKey == '5' || customKey == '6' ||  
            customKey == '7' || customKey == '8' || customKey == '9') {  
  
            valor += customKey;  
  
        }  
  
        letra = customKey;  
  
        lcd.setCursor(0, 1);  
  
        lcd.print(valor);  
  
    }  
  
}
```

```
}  
  
lcd.clear();  
  
Serial.println("valor teclado: " + valor);  
  
valor.trim();  
  
float pesoCalibrar = valor.toFloat();  
  
if (numVal == '1') {  
    LoadCell.setCalFactor(1.0);  
    while (!LoadCell.update());  
    calibrate2(pesoCalibrar);  
    letra = 0;  
}  
  
if (numVal == '2') {  
    LoadCell1.setCalFactor(1.0);  
    while (!LoadCell1.update());  
    calibrate2(pesoCalibrar);  
    letra = 0;  
}  
  
}  
  
if (letra == '^' ) {  
    Serial.println("Abortar");
```

```

    controlNum = -1; controlNum1 = -1;

    sw = 0;

    sw1 = 0;

}

}

ControlActuador(controlNum, vpeso, 1); //valor ingresado por usuario, peso que va subiendo
mientras se llena el recipiente

ControlActuador(controlNum1, vpeso1, 2);

////////////////////////////////////

if (LoadCell.getTareStatus() == true) {

    Serial.println("Tare 1 complete");

}

if (LoadCell1.getTareStatus() == true) {

    Serial.println("Tare 2 complete");

}

////////////////////////////////////

}

////////////////////////////////////

void ControlActuador(float controlN, float peso, int actuador) {

if (sw == 1 ) {

    digitalWrite(releA, 1);

```

```
    digitalWrite(led, 1);
} else {
    digitalWrite(releA, 0);
}
if (sw1 == 1) {
    digitalWrite(releB, 1);
    digitalWrite(led, 1);
} else {
    digitalWrite(releB, 0);
}
if (sw == 0 && sw1 == 0) {
    digitalWrite(led, 0);
}

if (controlN > -1 && (controlN < peso ) ) {
    if (actuador == 1 && swControl == 0) {
        tiempoRefA = millis();
        swControl = 1;
    }
    if (actuador == 2 && swControl1 == 0) {
        tiempoRefB = millis();
        swControl1 = 1;
    }
}
```

```
}  
if (swControl) { //recipiente lleno  
    sw = 0;  
    if ((millis() - tiempoRefA) > tiempoEsperaActuadorA) {  
        //LoadCell.tareNoDelay();  
        swControl = 0;  
        sw = 1;  
    }  
}  
if (swControl1) {  
    sw1 = 0;  
    if ((millis() - tiempoRefB) > tiempoEsperaActuadorB) {  
        //LoadCell1.tareNoDelay();  
        swControl1 = 0;  
        sw1 = 1;  
    }  
}  
  
}  
  
char Teclado() {  
    char customKey = customKeypad.getKey();
```

```
    return customKey;
}

void TomarPeso(int muestreo) {
    LoadCell.update();
    LoadCell1.update();

    //get smoothed value from the data set
    if (millis() > t + 300) {

        float i = LoadCell.getData();
        float j = LoadCell1.getData();
        t = millis();
        vpeso = i;
        vpeso1 = j;
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Peso A");
        lcd.setCursor(9, 0);
        lcd.print("Peso B");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(i);
```

```
lcd.setCursor(9, 1);  
lcd.print(j);  
}  
}  
  
void calibrate2(float pesoCalibrar) { //calibracion para 2 valanzas  
  
float m = 0;  
  
boolean f = 0;  
  
while (f == 0) {  
  
if (numVal == '1') {  
  
LoadCell.update();  
  
}  
  
if (numVal == '2') {  
  
LoadCell1.update();  
  
} if (true) {  
  
m = pesoCalibrar;  
  
if (m != 0) {  
  
Serial.print("masa conocida: ");  
  
Serial.println(m);  
  
f = 1;  
  
}  
  
else {  
  
Serial.println("Invalid value");  
  
}  
  
}
```



```
    }  
  }  
  float c;  
  float c1;  
  if (numVal == '1') {  
    c = LoadCell.getData() / m;  
    LoadCell.setCalFactor(c);  
    Serial.print("El v calibración calculado: ");  
    Serial.print(c);  
  }  
  if (numVal == '2') {  
    c1 = LoadCell1.getData() / m;  
    LoadCell1.setCalFactor(c1);  
    Serial.print("El v calibración1 calculado: ");  
    Serial.print(c1);  
  }  
  //Serial.println(", use este valor para trabajar posteriormente");  
  
  f = 0;  
  Serial.print("Guardar permanente ");  
  Serial.println("? y/n");  
  while (f == 0) {
```

```
if (true) {  
  
    char inByte = 'y';  
  
    if (inByte == 'y') {  
  
        /*#if defined(ESP8266)  
  
            EEPROM.begin(512);  
  
            #endif  
  
        */  
  
        if (numVal == '1') {  
  
            EEPROM.put(eepromAdress, c);  
  
            Serial.println("guardo A");  
  
        }  
  
        if (numVal == '2') {  
  
            EEPROM.put(eepromAdress1, c1);  
  
            Serial.println("guardo B");  
  
        }  
  
        /*#if defined(ESP8266)  
  
            EEPROM.commit();  
  
            #endif  
  
        */  
  
        EEPROM.get(eepromAdress, c);  
  
        EEPROM.get(eepromAdress1, c1);  
  
    }  
  
}
```

```
Serial.print("Value eeprom: ");
Serial.print(c);
Serial.print(" ");
Serial.print("Value eeprom1: ");
Serial.println(c1);
f = 1;

}
else if (inByte == 'n') {
    Serial.println("No se ha guardado peranentemente");
    f = 1;
}
}
}

Serial.println("Calibración lista");
//Serial.println("para insertar manualmente el factor, ingrese 'f' en el monitor");
//Serial.println("****");
}

void PruebaKey() {
    while (1) {
        char customKey = Teclado();
```

```
if (customKey) {  
  Serial.println(customKey);  
}  
  
}  
  
}
```

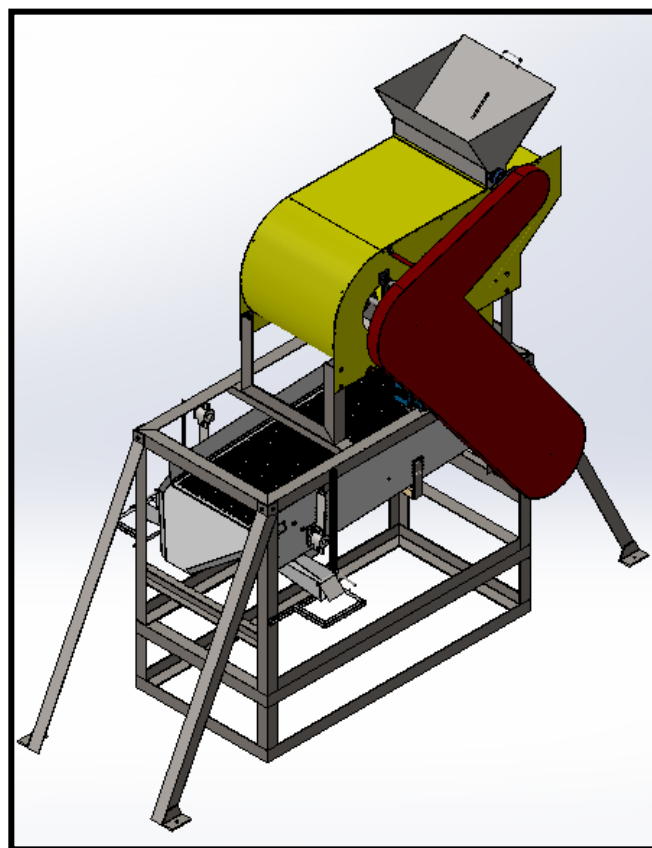
6.9 Anexo 9 Manual de Operación



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

MANUAL DE OPERACIÓN

**CRIBADORA SEMIAUTOMÁTICA Y DOSIFICADORA
DE FRÉJOL SECO PARA EL SECTOR ARTESANAL**



AVISO

Leer todas las instrucciones de seguridad y operación antes de poner a funcionar la cribadora para evitar accidentes y mala manipulación de la misma, sea este el caso se deslinda el fabricante de cualquier responsabilidad durante su uso.

OBJETIVO

El manual de operación guía al operador a usar la máquina mediante la información necesaria con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de la cribadora.

SEGURIDAD

RIESGO ELÉCTRICO.- La cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco funciona con una tensión de 220 V, de tal manera que el circuito eléctrico presenta un sistema de protección para sobrecargas, cortocircuitos y sobrecorriente.



RIESGO MECÁNICO. – El sistema de transmisión de potencia de la máquina es de mayor riesgo, debido a que poleas, bandas, ejes, biela y motor giran a gran velocidad, generando la posibilidad de ocasionar algún accidente.



PROHIBIDO INTRODUCIR LAS MANOS. – El sistema de dosificación está conformado por canaletas abiertas y sus respectivas tapas adaptadas a un pistón neumático, de tal manera que no se debe introducir las manos mientras la máquina se encuentre en funcionamiento.



USO OBLIGATORIO DE EPP. – Durante la manipulación y mantenimiento de la máquina es necesario el uso del Equipo de Protección Personal (EPP) con el fin de salvaguardar la seguridad del operador.



PARO DE EMERGENCIA. – Según la norma NTE INEN-ISO 13850 la función de parada de emergencia sirve para prevenir situaciones que puedan poner en peligro a las personas, para evitar daños en la cribadora o en trabajos en curso o para minimizar los riesgos ya existentes, y se activa con una sola maniobra de una persona suspendiendo el total funcionamiento de la máquina.

REGLAS DE SEGURIDAD

NO SE DEBE:

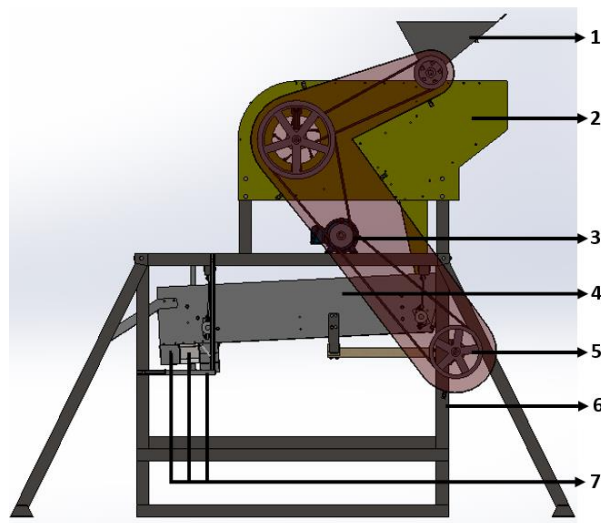
- Poner en funcionamiento la máquina sin leer el manual de operación.
- Operar la cribadora sin antes examinar la parte mecánica y eléctrica de la máquina.
- Realizar algún tipo de mantenimiento preventivo o correctivo mientras la cribadora está en funcionamiento.
- Cambiar las mallas perforadas sin antes apagar la máquina.
- Extraer algún elemento del mecanismo de transmisión.
- Permanecer debajo del mecanismo de cualquier parte de la máquina.
- Usar vestimenta holgada cerca de la máquina.

QUE SE DEBE HACER:

- Engrasar los bujes de las bielas mínimo 1 vez al mes.
- Verificar los pasadores en los sujetadores del bastidor.
- Inspeccionar la máquina con regularidad.
- Comprobar la tensión de las bandas.
- Respetar las etiquetas de advertencia.
- Usar siempre vestimenta de protección de medida adecuada (EPP).



DESCRIPCIÓN DE LA CRIBADORA



- 1) **Tolva de alimentación:** recibe el producto del elevador de cangilones, dando paso a la siguiente etapa de limpieza.
- 2) **Ventilador:** es un ventilador centrífugo que elimina las impurezas más livianas, funciona a una velocidad de 460 rpm generando un caudal másico de $1,842 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 3) **Motor:** motor de 3 Hp.
- 4) **Bastidor:** conformado por cribas perforadas que clasifica el producto.
- 5) **Sistema de transmisión:** causa la vibración en el bastidor móvil debido a la masa excéntrica generando un desplazamiento del bastidor de 10 mm.
- 6) **Estructura:** soporta el peso de todos los elementos de la máquina que esta empotrada al piso.
- 7) **Sistema de dosificación:** es la salida del producto limpio y clasificado.

INSTALACIÓN DE LA CRIBADORA

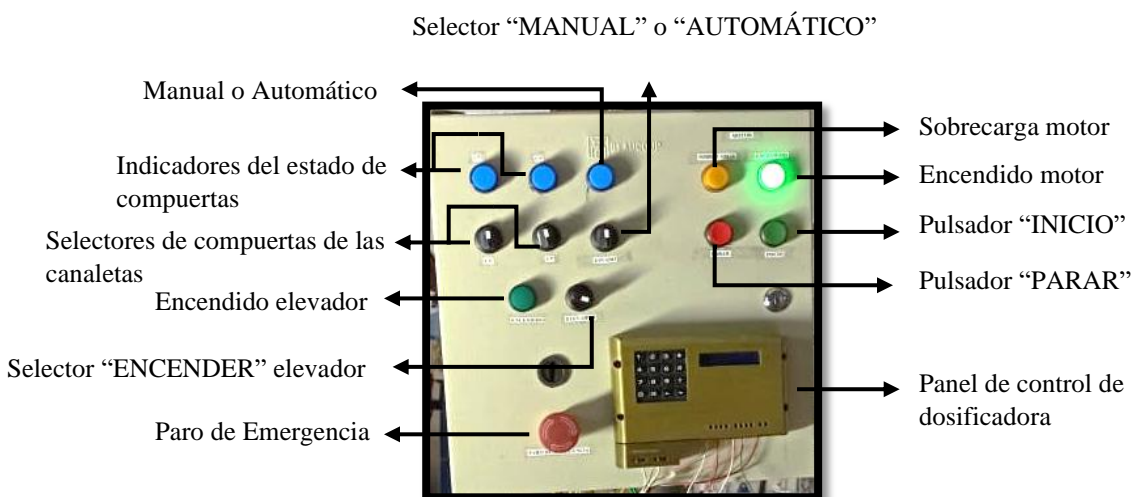
- **Funcionamiento**

NO arrancar la cribadora sin antes haber leído todo el manual. Se debe respetar las advertencias y operar la máquina tomando las debidas precauciones para manipular de forma segura y fiable.

- **Montaje de la cribadora**

Antes de instalar la máquina examine y verifique el área donde será instalada, de tal manera que el piso debe ser firme y nivelado para tener un óptimo rendimiento y operar de forma segura.

TABLERO ELÉCTRICO DE CONTROL



Operación de la máquina

- 1) Energizar el circuito activando el interruptor termomagnético (Breaker "B1").
- 2) Seleccionar en modo manual o automático con el selector "**ESTADO**", por lo cual, el indicador muestra el modo de operación de la máquina.
- 3) Para el estado "**MANUAL**" de la máquina, las canaletas se abren o cierran con dos selectores, uno por cada canaleta etiquetados como "**CS**" y "**CP**" que se definen como canaleta de la segunda criba y de la primera criba, respectivamente. Cada tapa de las canaletas tiene un indicador para identificar el estado de cada una.
- 4) En modo "**AUTOMÁTICO**", se configura la máquina mediante el panel de control de dosificadora, se ingresa los datos por medio de un teclado matricial y se observa por una pantalla LCD.

El programa funciona por medio de un nano Arduino que activa o desactiva dos relés conectados a dos electroválvulas para dar apertura o cierre de las tapas de las canaletas cuando llega al peso configurado, además, el operador dispone de un tiempo determinado para cambiar de recipiente o saco y de esa forma seguir llenando el producto clasificado.

Teclado matricial y sus funciones




- Para calibrar cualquier balanza, se coloca una pesa determinada sobre ella y se presiona “M”, después se ingresa el número “1” o “2” para seleccionar la balanza, en ese momento se ingresa el valor de la pesa en miligramos, confirmando con la letra “M”.
 - El límite de peso en cada canaleta se configura presionando la flecha ← para “CP”, mientras que la flecha → le corresponde “CS”, se ingresa el valor de la masa en gramos que se requiere y se confirma presionando la misma tecla.
 - El rango de tiempo para cambiar de recipiente o saco se configura presionando “*”, se ingresa el rango de tiempo que necesita el operador, por lo general se recomienda 7 segundos, finalmente, se presiona “*” para confirma e ingresar el rango de tiempo de la otra canaleta y se confirma con la misma tecla.
 - El botón “#” es el punto.
 - El Reset del programa se realiza presionando “↑”.
- Una vez configurado el programa, presionar “INICIO” para encender el motor de la máquina de tal manera que se enciende un indicador de color verde, sin embargo, cuando haya una sobrecarga el indicador de color amarillo se activa, indicando que existe una falla en el motor. Para apagar el motor se presiona “PARAR”.
 - Activar el selector “ELEVADOR” para energizar y dar funcionamiento al elevador de cangilones o apagar el mismo cambiando el estado del selector.

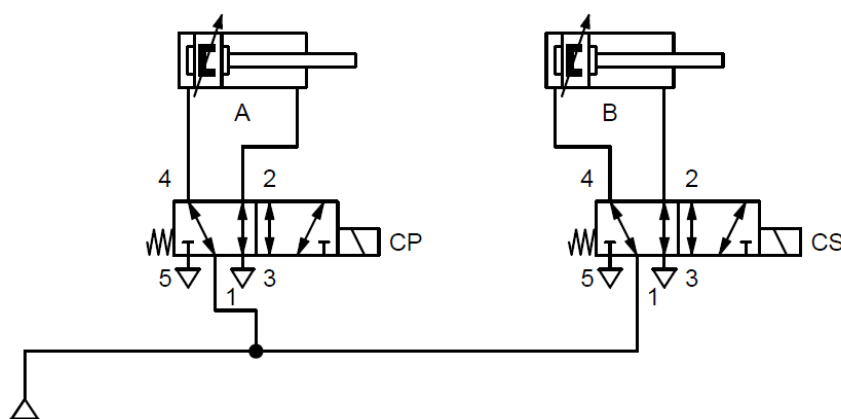
- 7) En el caso que exista alguna falla o situación de riesgo se presiona “**PARO DE EMERGENCIA**” desconectando la alimentación eléctrica de todas las funciones.

CIRCUITO NEUMÁTICO

En la siguiente tabla se detalla las variables usadas en el circuito neumático con su descripción, etiquetado y ubicación en la máquina.

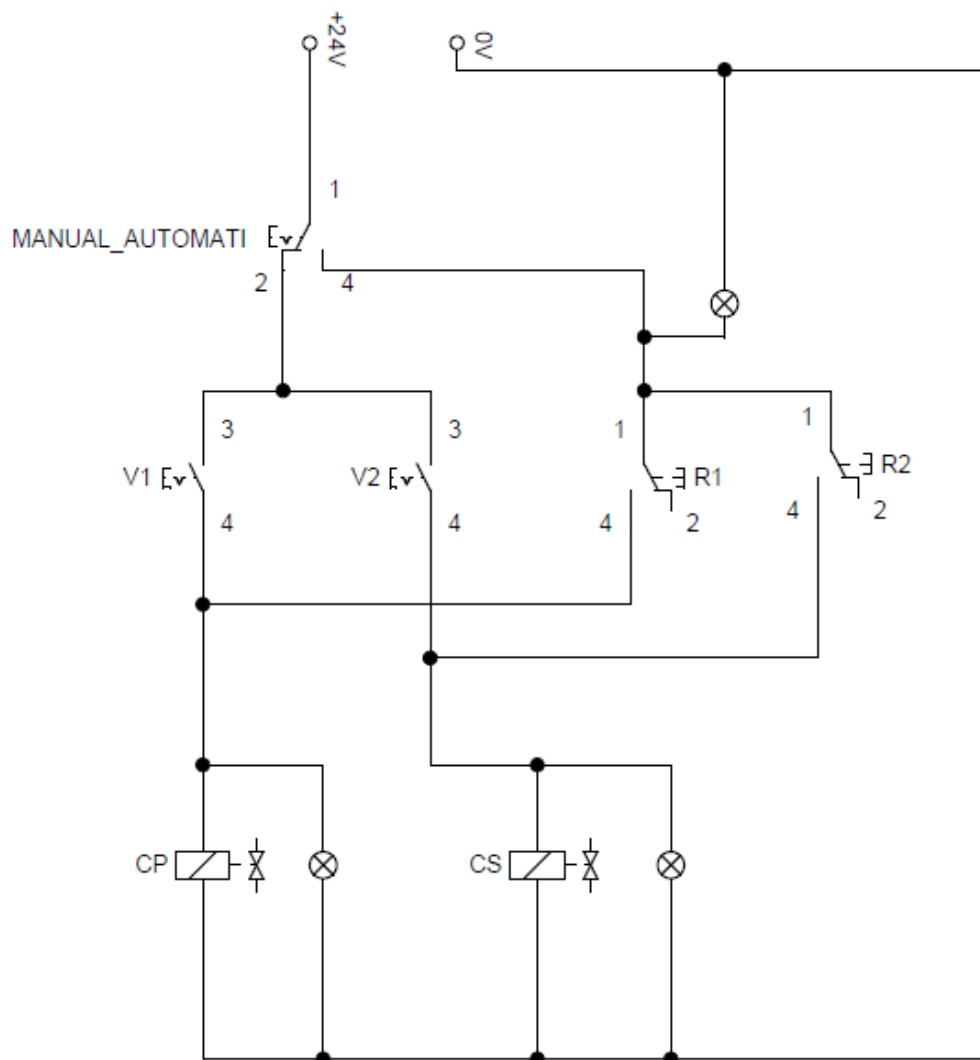
Descripción	Variable circuito	Etiqueta máquina	Ubicación
Estado de la máquina	MANUAL_AUTOMATI	ESTADO	Tablero eléctrico
Pistón neumático	A	A	Canaleta CP
Pistón neumático	B	B	Canaleta CS
Electroválvula CP	CP	E1	Estructura
Electroválvula CS	CS	E2	Estructura
Selector CP	V1	CP	Tablero eléctrico
Selector CS	V2	CS	Tablero eléctrico
Relé 1	R1	R1	Panel de control
Relé 2	R2	R2	Panel de control
Alimentación neumática		-	Compresor

Conexión del circuito neumático



Circuito de control neumático

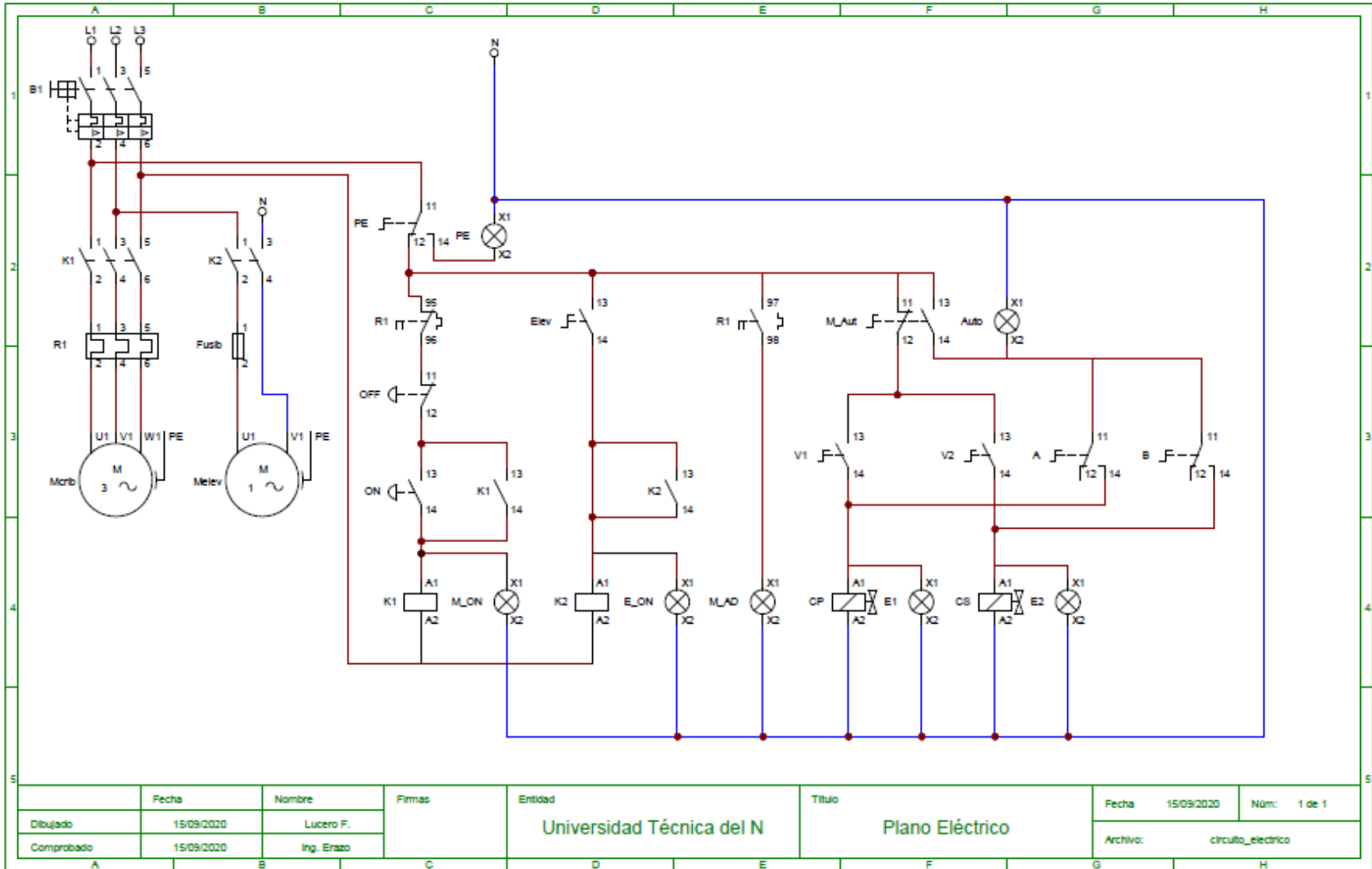
El circuito de control neumático está conformado por selectores, indicadores, electroválvulas, relés y conductores.



CIRCUITO ELÉCTRICO

En la siguiente tabla se detalla las variables usadas en el circuito eléctrico con su descripción, etiquetado y ubicación en la máquina.

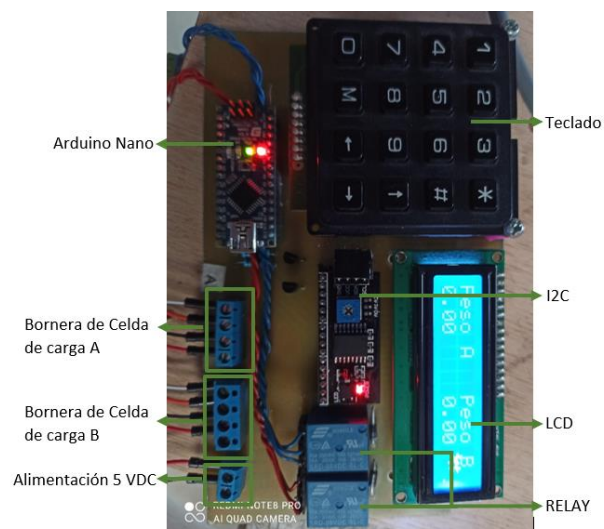
Descripción	Variable del plano	Serie o marca	Ubicación
Breaker	B1	CGC DZ47-63	Tablero eléctrico
Contactador	K1	MEC GMC-9	Tablero eléctrico
Contactador	K2	ENERLIGTH	Tablero eléctrico
Relé térmico	R1	SCHNEIDER	Tablero eléctrico
Porta fusible	Fusb	SCHNEIDER	Elevador
Motor de la criba	Mcrib	WEG	Cribadora
Motor del elevador	Melev	WEG	Elevador
Alimentación 220 V	L1, L2, L3	-	Tablero eléctrico
Paro de emergencia	PE	-	Tablero eléctrico
Pulsador PARAR	OFF	-	Tablero eléctrico
Pulsador INICIO	ON	-	Tablero eléctrico
Indicador INICIO	M_ON	-	Tablero eléctrico
Selector ELEVADOR	Elev	-	Tablero eléctrico
Indicador ELEVADOR	E_ON	-	Tablero eléctrico
Indicador SOBRECARGA del motor de la criba	M_AD	-	Tablero eléctrico
Selector de modo de operación	M_Aut	-	Tablero eléctrico
Selector CP	V1	-	Tablero eléctrico
Selector CS	V2	-	Tablero eléctrico
Indicador CP	E1	-	Tablero eléctrico
Indicador CS	E2	-	Tablero eléctrico
Electroválvula CP	CP	Festo	Estructura
Electroválvula CS	CS	Festo	Estructura
Relé 1	A	Arduino	Panel de control
Relé 2	B	Arduino	Panel de control
Indicador estado automático	Auto	-	Tablero eléctrico



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha	15/09/2020	Núm:	1 de 1
Dibujado	15/09/2020	Lucero F.		Universidad Técnica del N	Plano Eléctrico	Archivo:	circuito_electrico		
Comprobado	15/09/2020	Ing. Eraso							

Placa electrónica del panel de control

La placa electrónica del panel de control está instalada en el tablero eléctrico, de tal manera que permite la configuración de los datos necesarios para que la máquina dosifique de manera automática.



6.10 Anexo 10 Fotos de la cribadora



Figura 64. Cribadora semiautomática y dosificadora de fréjol seco para el sector artesanal.



Figura 65. Vista lateral de la máquina.



Figura 66. Tablero de control eléctrico.



Figura 67. Canaleta de la primera criba clasificadora implementado el sistema de dosificación automática.



Figura 68. Canaleta de la segunda criba clasificadora implementado el sistema de dosificación automática.



Figura 69. Pistón neumático instalado.



Figura 70. Balanzas con capacidad máxima de 50 kg.