



**Diseño, construcción y control de una máquina clasificadora de granos de maíz para la
empresa SERMEC**

Viteri Saltos, Kevin David

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Msc. Tapia Zurita, Melton Edmundo

16 de febrero del 2023

Reporte de verificación de contenido

15/2/23, 16:36

Tesis clasificadora

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Tesis diseño, construcción y control de una máquina clasificadora de granos

NOMBRE DEL ALUMNO

KEVIN DAVID VITERI SALTOS

NOMBRE DEL ARCHIVO

KEVIN DAVID VITERI SALTOS - Documento sin título

SE HA CREADO EL INFORME

15 feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	2	0,2 %
Fragmentos citados o entrecuillados	4	0,6 %

Coincidencias de la Web

sunedu.gob.pe	1	0,2 %
docplayer.es	2	0,2 %
ups.edu.ec	2	0,2 %
core.ac.uk	1	0,2 %





Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño, construcción y control de una máquina clasificadora de granos de maíz para la empresa SERMEC”** fue realizado por el señor **Viteri Saltos, Kevin David**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 16 de febrero de 2023



Tapia Zurita, Melton Edmundo

C. C1708863954



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Viteri Saltos, Kevin David**, con cédula de ciudadanía n° 1725253064, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Diseño, construcción y control de una máquina clasificadora de granos de maíz para la empresa SERMEC"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 16 de febrero de 2023

Viteri Saltos, Kevin David

C. C 1725253064



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo **Viteri Saltos, Kevin David**, con cédula de ciudadanía n°1725253064, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Diseño, construcción y control de una máquina clasificadora de granos de maíz para la empresa SERMEC"**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 16 de febrero de 2023

Viteri Saltos, Kevin David

C.C.: 1725253064

Dedicatoria

Con cariño a Rubén Viteri, Roció Saltos, Darío Viteri, Marisol Villacis y Ricardo Cevallos.

Agradecimiento

A mis padres quienes me apoyaron en el largo camino para adquirir mi título profesional, con su amor y cariño, que de manera única y especial han logrado sacar lo mejor de mí.

A mi hermano Darío Viteri, quien de cierta manera ha impulsado en mí el logro académico que estoy obteniendo, para ejemplificar que la perseverancia puede ante cualquier situación no favorable.

A mi novia Marisol, ella ha sido un pilar fundamental en mi desarrollo personal, brindándome su apoyo, cariño, amor y paciencia, estos sentimientos y acciones tan puras solo se reciben de una mujer ejemplar, no encuentro palabras para agradecer todo lo que ha hecho por mí. Lo único que espero en esta vida es poder hacerla feliz tanto como ella me hace a mí.

A mis amigos de toda la vida Ricardo Cevallos, Patricio Espinosa y, mi amigo incondicional, Renzo Caamaño. Cada uno de ellos me brindó su amistad desinteresada, consejos y vivencias que me han permitido cumplir otro objetivo más en mi vida. Sobre todo, quiero agradecer de manera especial a Ricardo, con quien he compartido tristezas y alegrías, de todo corazón muchas gracias a mi hermano de otra madre.

Agradecer a mis tíos Francisco Navas y Anita Pazmiño me brindaron su ayuda en los primeros pasos en mi carrera universitaria, ellos me supieron recoger como un hijo en su hogar y caminar de la mano conmigo mientras la vida lo ha permitido.

Al Ing. Melton Tapia quien trabajo a mi lado para el desarrollo de este proyecto de titulación y a su familia quien brindo un en el cual poder trabajar, en conjunto con la Universidad que me formó.

Índice de contenido

Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificado.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Resumen	16
Abstract.....	17
Capítulo I: Introducción	18
Planteamiento del problema.....	18
Antecedentes.....	20
Justificación e Importancia.....	25
Objetivos.....	28
<i>Objetivo General</i>	28
<i>Objetivos Específicos</i>	28
Alcance	28
<i>Diseño Mecánico</i>	31
<i>Diseño Eléctrico</i>	32
<i>Control</i>	33

<i>Software para análisis y simulación</i>	33
Capítulo II: Marco Teórico.....	34
Agroindustrias.....	34
Tipos y calidad del maíz.....	36
Capítulo III. Metodología y Diseño.....	38
Desarrollo del concepto.....	38
Diseño electrónico.....	41
<i>Motor</i>	41
<i>Componentes de control e interfaz</i>	41
<i>Arduino UNO</i>	42
<i>Modulo relé de 8 canales</i>	44
<i>Relé Industrial</i>	44
<i>Sensores</i>	45
<i>Otros dispositivos</i>	46
Comunicación	46
Diseño Mecánico	47
<i>Capacidad de la máquina</i>	47
<i>Estructura base</i>	50
<i>Selección de Cribas</i>	53
<i>Selección de Poleas</i>	55

Diseño de mecanismo vibratorio.....	57
<i>Balance del émbolo.</i>	58
<i>Balance de biela</i>	58
<i>Balance de la manivela</i>	60
<i>Eje (Manivela).</i>	68
<i>Chumaceras</i>	72
<i>Chaveta</i>	74
<i>Eslabón Conductor (Manivela)</i>	77
Selección de Banda.....	79
<i>Soporte para clasificación.</i>	81
<i>Bandeja de salida</i>	82
<i>Tolva de ingreso.</i>	84
<i>Ruedas</i>	85
Control	86
<i>Lógica de control.</i>	86
Interfaz del tablero de control.....	88
<i>Elementos de accionamiento:</i>	88
Capítulo IV. Discusión de resultados.....	90
Análisis mecánico	90
Análisis de control	90

Análisis de clasificación	90
<i>Grado 1</i>	92
<i>Grado 2</i>	92
<i>Grado 3</i>	92
<i>Grado 4</i>	93
<i>Estructura base</i>	93
<i>Sistema de clasificación</i>	94
<i>Sistema de salida</i>	94
<i>Sistema de control</i>	95
<i>Ensamblaje</i>	96
Conclusiones	98
Recomendaciones.....	99
Bibliografía	100
Apéndices.....	105

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Superficie, producción y rendimiento de maíz</i>	18
Tabla 2	<i>Tipos de clasificadoras de grano</i>	23
Tabla 3	<i>Matriz de selección de maquinaria</i>	40
Tabla 4	<i>Características del motor</i>	41
Tabla 5	<i>Componentes eléctricos</i>	42
Tabla 6	<i>Características del Arduino UNO</i>	43
Tabla 7	<i>Características del módulo relé</i>	44
Tabla 8	<i>Características principales de la comunicación I2C</i>	47
Tabla 9	<i>Densidad aparente de grano</i>	49
Tabla 10	<i>Propiedades del electrodo 6011</i>	53
Tabla 11	<i>Características de cribas metálicas</i>	54
Tabla 12	<i>Características de la banda A-39</i>	81
Tabla 13	<i>Adquisición de datos</i>	91
Tabla 14	<i>Resumen de datos</i>	91
Tabla 15	<i>Porcentaje de error</i>	92

Índice de figuras

Figura 1 <i>Tamizadora de café</i>	20
Figura 2 <i>Equipo clasificador de granos de maíz</i>	21
Figura 3 <i>Máquinas clasificadoras de granos</i>	22
Figura 4 <i>Máquina desgranadora - clasificadora de maíz</i>	24
Figura 5 <i>Población económicamente activa Latacunga</i>	25
Figura 6 <i>Diagrama de Ishikawa Presencia de materias extrañas</i>	27
Figura 7 <i>Geometría del grano de maíz</i>	29
Figura 8 <i>Histograma de pesos de maíz y maíz tierno</i>	29
Figura 9 <i>Histograma de largo de maíz y maíz tierno</i>	30
Figura 10 <i>Esquema de clasificadora de granos</i>	31
Figura 11 <i>Diagrama de conexión del sistema</i>	32
Figura 12 <i>Esquema de controles a implementar</i>	33
Figura 13 <i>Índice de producción de alimentos vs. la población</i>	34
Figura 14 <i>Innovación de equipos según consumidores</i>	35
Figura 15 <i>Prioridades para la creación de productos agrícolas al consumidor</i>	36
Figura 16 <i>Tipos de granos de maíz</i>	37
Figura 17 <i>Maquina clasificadora de tipo vibratoria</i>	38
Figura 18 <i>Maquina clasificadora de tipo horizontal</i>	39
Figura 19 <i>Esquema de acondicionamiento</i>	45
Figura 20 <i>Esquema de conexión</i>	46
Figura 21 <i>Características de los perfiles de acero rectangulares comerciales</i>	51
Figura 22 <i>Cargas de la estructura base</i>	51
Figura 23 <i>Análisis de Von Mises</i>	52

Figura 24 Carta de Rathbone	55
Figura 25 Selección de poleas	56
Figura 26 Diagrama de mecanismo	57
Figura 27 Diagrama de cuerpo libre émbolo	58
Figura 28 Diagrama de cuerpo libre biela.....	59
Figura 29 Diagrama de cuerpo libre manivela.....	60
Figura 30 Variación ángulo 2 vs. ángulo 1	61
Figura 31 Variación desplazamiento del émbolo vs. ángulo 1.....	62
Figura 32 Velocidad angular de la biela vs. ángulo 1	62
Figura 33 Velocidad lineal del émbolo vs. ángulo 1.....	63
Figura 34 Aceleración angular de la biela vs ángulo 1.	63
Figura 35 Aceleración lineal del émbolo vs. ángulo 1	64
Figura 36 Fuerza Ax vs. ángulo 1	64
Figura 37 Fuerza Ay vs. ángulo 1	65
Figura 38 Fuerza Bx vs. ángulo 1.....	65
Figura 39 Fuerza By vs. ángulo 1.....	66
Figura 40 Fuerza Cx vs. ángulo 1.....	66
Figura 41 Fuerza Cy vs. ángulo 1.....	67
Figura 42 Fuerza R vs. ángulo 1	67
Figura 43 Momento M vs. ángulo 1.....	68
Figura 44 Eje de transmisión de movimiento.....	68
Figura 45 Distribución de cargas en el eje	70
Figura 46 Diagrama de fuerzas y momentos flectores	70

Figura 47 <i>Datos del acero ASTM 60</i>	71
Figura 48 <i>Modelos de chumaceras</i>	73
Figura 49 <i>Selección de chumaceras</i>	73
Figura 50 <i>Diagrama de Fuerzas de la chaveta</i>	75
Figura 51 <i>Valores de la normativa DIN de chavetas</i>	76
Figura 52 <i>Factor de servicio</i>	79
Figura 53 <i>Selección de banda</i>	80
Figura 54 <i>Soporte de zarandas</i>	81
Figura 55 <i>Simulación CAD de esfuerzos en los laterales</i>	82
Figura 56 <i>Bandeja de salida</i>	83
Figura 57 <i>Simulación de la bandeja de salida</i>	83
Figura 58 <i>Tolva de ingreso</i>	84
Figura 59 <i>Simulación de cargas tolva de ingreso</i>	85
Figura 60 <i>Ruedas para transmisión de movimiento</i>	86
Figura 61 <i>Diagrama de flujo lógica de control</i>	87
Figura 62 <i>Distribución del tablero</i>	89
Figura 63 <i>Estructura base</i>	93
Figura 64 <i>Sistema de clasificación</i>	94
Figura 65 <i>Subsistema de salida</i>	95
Figura 66 <i>Tablero de control</i>	96
Figura 67 <i>Ensamblaje</i>	97

Resumen

El presente trabajo de titulación aborda el diseño, construcción y control de una máquina clasificadora de granos de maíz. En este sentido, si bien existen varios estudios como el de Minchala & Narvárez de 2010, donde explican el creciente valor del mercado agrícola para el Ecuador debido a su expansión desde los años 90, la producción de maíz se ha mantenido en niveles de productividad mínimos debido a la falta de implementación de maquinaria especializada para la separación de granos. Por tanto, es de suma importancia la construcción de una máquina clasificadora que permita diferenciar la calidad del producto y mejore los niveles de producción del sector agrícola.

Por tanto, se llevó a cabo la revisión literaria donde se encontró 3 tipos de máquinas clasificadoras de granos: horizontal, vertical y vibratoria. Las cuales cumplen con su principal función, pero carecen de un control a la salida del producto. Por lo cual, se realiza una matriz de selección en donde se pondera las ventajas y desventajas de cada tipo de clasificadora. Posteriormente, se realizaron los cálculos mecánicos, electrónicos y caracterización de dispositivos de control que permita la trazabilidad del producto. Por último, se procedió a la construcción de la clasificadora de granos.

En conclusión, se diseñó y construyó la estructura mecánica, electrónica y de control de una máquina clasificadora de granos de maíz usando materiales mixtos entre madera y acero en un periodo de 4 meses, cumpliendo con las métricas dadas por la empresa SERMEC.

Palabras clave: Automatización, diseño, construcción, clasificadora de granos, agricultura.

Abstract

This degree work deals with designing, constructing, and controlling a corn grain grading machine. In this sense, although there are several studies such as the one by Minchala & Narváez in 2010, where they explain the growing value of the agricultural market for Ecuador due to its expansion since the 90's, corn production has remained at minimum productivity levels due to the lack of implementation of specialized machinery for grain separation. So, it is of most importance the construction of a sorting machine that allows the differentiation quality of the product aims to improve the production levels of the agricultural sector.

Therefore, a literature review was carried out where 3 types of grain sorting machines were found: horizontal, vertical, and vibratory. These machines fulfill their main function but lack control over the output of the product. On this matter, a selection matrix is made where the advantages and disadvantages of each type of sorting machine are weighted. Subsequently, mechanical, and electronic calculations and characterization of control devices that allow product traceability were performed. As a result, the mechanical, electronic, and control structure of a corn grain sorting machine was designed and built using mixed materials between wood and steel in a period of 4 months, complying with the metrics given by the company SERMEC.

Keywords: Automation, design, construction, sorter, grains, agriculture.

Capítulo I: Introducción

Planteamiento del problema

Analizando el maíz producido en base al trabajo de (Minchala & Narváez, 2010) en el mercado ecuatoriano se observa un significativo crecimiento agrícola desde los años 1990 a 1994. Este ha tenido un aumento del 20% debido a que las áreas de cultivo se han ido expandiendo. Hablando del maíz como tal, se establece que en la industria se enfocada en la creación de balanceados para alimentación animal (aves, ganadería, camarones). En la Tabla 1 se muestra la superficie, producción y rendimiento:

Tabla 1

Superficie, producción y rendimiento de maíz

Años	Superficie	Producción	Rendimiento
	ha (hectárea)	TM (tonelada)	TM/ha
1999	244,910	423,229	1,73
2000	278,800	638,450	2,29
2001	56,4810	106,970	1,89
2002	129,690	291,388	2,25
2003	153,480	385,247	2,51
2004	186,400	501,090	2,69
2005	173,305	255,045	1,47
2006	110,335	248,529	2,25
2007	122,399	299,048	2,44
2008	120,000	360,000	3
2009	130,000	445,000	3,42

Nota. Tomado de *Proyecto de compra y venta de maíz en grano*, por Minchala & Narváez (2010).

Esto indica un crecimiento en el rendimiento para la producción de maíz, pero, por el contrario, según el trabajo de (Minchala & Narváez, 2010), la productividad se mantiene en niveles mínimos por el bajo presupuesto que se ha dado a la maquinaria.

Tomando en cuenta que Ecuador es un país que posee una riqueza agrícola que se diferencia de manera significativa al resto de países, es importante desarrollar automatismos que permitan el procesamiento de la materia prima que se genere en los campos, centrándose en la producción de granos tales como: trigo, arroz, cebada y maíz.

Por tal motivo, tales granos son considerados como los cereales de mayor importancia en la agricultura y gastronomía del Ecuador, que, a su vez, forman parte de la canasta básica (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), 2014). El consumo nacional de trigo supera las 45.000 toneladas por año.

Las industrias de procesamiento postcosecha han recibido un impulso en los últimos años gracias a proyectos financiados por el GPM y otras instituciones gubernamentales (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, 2014). Estos proyectos buscan fomentar el desarrollo de mini industrias en las localidades donde hay asociaciones de productos dedicadas a la comercialización de este cultivo, así como apoyar a otros emprendimientos.

Tomando toda la información expuesta, se obtiene que, ante una alta producción de granos de maíz e inversión para mini industrias agrícolas, no se tienen altos niveles de producción debido a que la maquinaria no es la adecuada, ni es desarrollada bajo estándares de calidad como las BPM¹.

1

Antecedentes

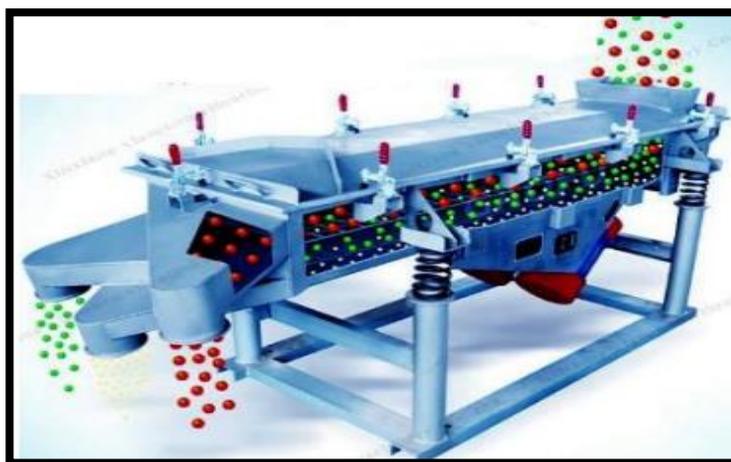
Las máquinas clasificadoras permiten diferenciar la calidad de los productos, por ejemplo, la tesis de (Espinosa & Varela, 2019) aplica un tamiz y mecanismos de vibración a cualquier material seco que fluye libremente, para clasificar los granos de café.

- Grado1: especial.
- Grado 2: calidad superior.
- Grado 3: intermedio.
- Grado 4: estándar.
- Grado 5: fuera de grado.

Cada tipo de grano se vende a diferente precio por el nivel de calidad que presenta. En esta máquina, se establece una tamizadora vibratoria para separar este tipo de granos, la cual se observa en la Figura 1.

Figura 1

Tamizadora de café

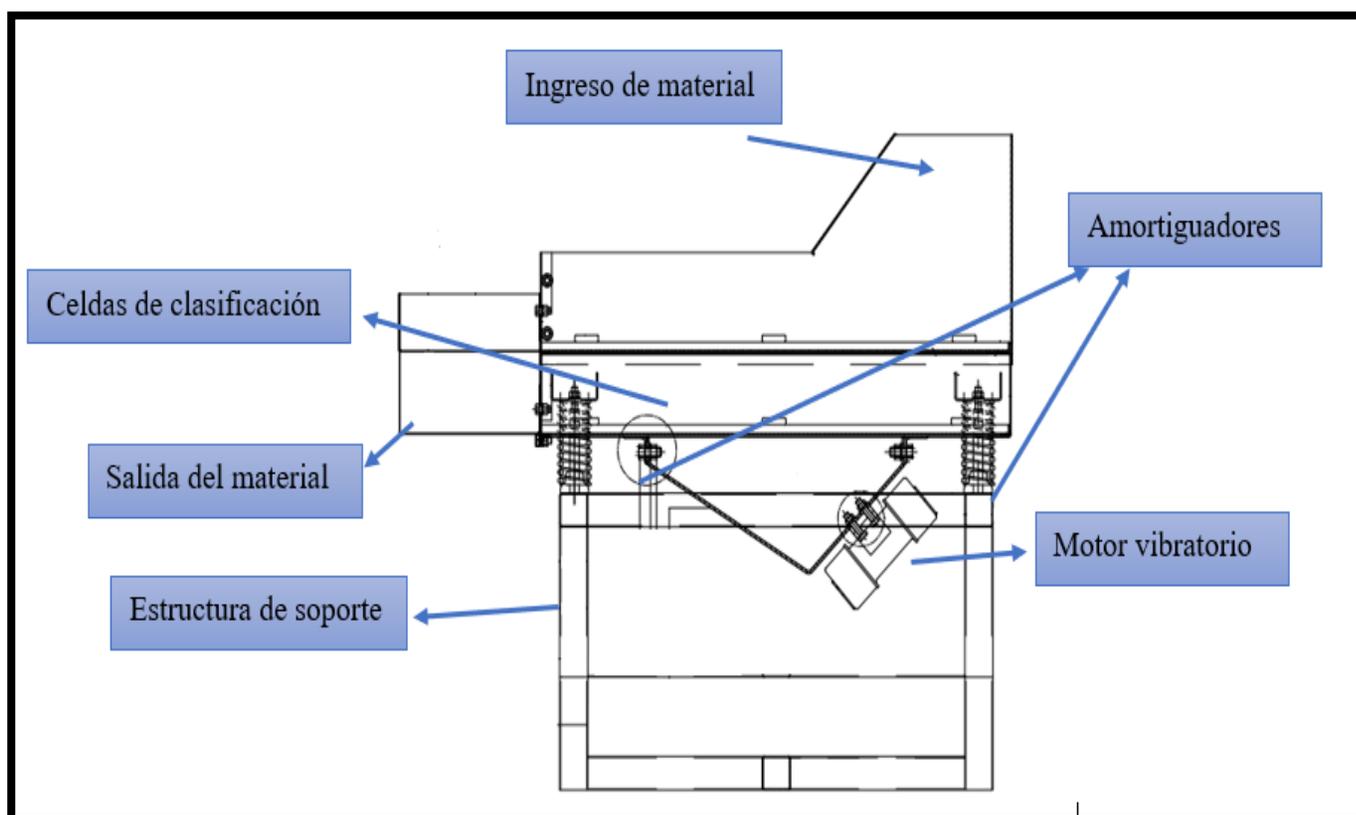


Nota. Tomado de Rediseño y simulación de una tamizadora de granos de café para la planta de empaquetado de la asociación INTAG, por Espinosa & Varela (2019).

En el trabajo de titulación de (Victoria Geovanny, 2015) se busca mejorar la eficacia del diseño de una máquina clasificadora de grano de maíz, identificando que se debe incorporar moto-vibradores para generar movimiento unidireccional. No obstante, hay que considerar que el aumento de amplitud puede provocar deterioro de las estructuras, por lo que se debe evitar que el sistema esté en resonancia. Como ejemplo, está la Figura 2.

Figura 2

Equipo clasificador de granos de maíz



Nota. Tomado de *Diseño de una máquina seleccionadora, para mejorar la calidad del tamaño de grano de maíz en la comunidad La Paccha-Huambos*, por Victoria Geovanny (2015).

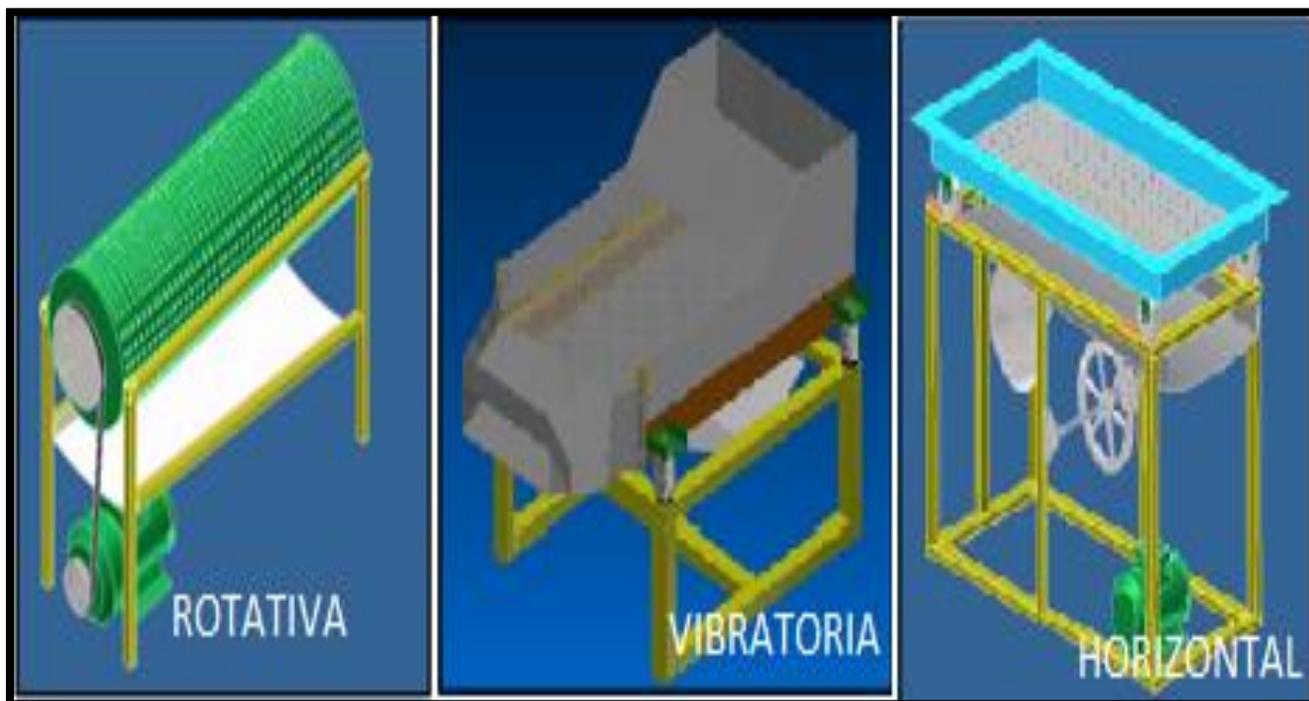
Para el diseño de máquinas clasificadoras de granos se exponen 3 diferentes tipos que se pueden observar en la Figura 3:

- Clasificadora de granos rotativa.

- Clasificadora de granos vibratoria.
- Clasificadora de granos horizontal.

Figura 3

Máquinas clasificadoras de granos.



Nota. Tomado de Diseño y simulación de una máquina clasificadora vibratoria de granos de maíz según el tamaño, por López, G (2019).

Las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de clasificadoras se muestran a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2

Tipos de clasificadoras de grano

Tipo	Ventajas	Desventajas
Rotativa	Trabaja en forma continua.	La construcción de las cribas es más compleja.
	La clasificación se realiza de forma rápida	Será un sistema incomodo de manejar por su gran robustez.
	La capacidad del producto es mayor ya que la zaranda abastece un gran volumen	Ocupa un gran espacio.
	Fácil construcción y montaje	Se produce mucho maltrato al producto.
Vibratoria	Reduce el tiempo de trabajo y disminuye esfuerzos del operario	Requiere un gran espacio físico.
	Fácil mantenimiento y operación.	Mecanismo más complejo.
	Capacidad del producto es mayor ya que la zaranda abastece un gran volumen.	Limitación de altura
	No produce daños al producto por su tipo de clasificado.	
	Reducción de ruido debido al sistema de amortiguamiento.	
	Sistema de clasificación confiable ya que el método de vibraciones es regulable.	
Horizontal	Reduce el costo de fabricación.	Existe posibilidad de atascamiento del grano.
	Mantenimiento sencillo y económico.	Requiere un gran espacio físico.
	Bajo costo de fabricación.	Existe mucho ruido debido al sistema biela-manivela.
	Facilita la recolección del grano clasificado.	Necesita de soportes de sujeción con el piso.

Nota. Tomado de *Diseño y simulación de una máquina clasificadora vibratoria de granos de maíz según*

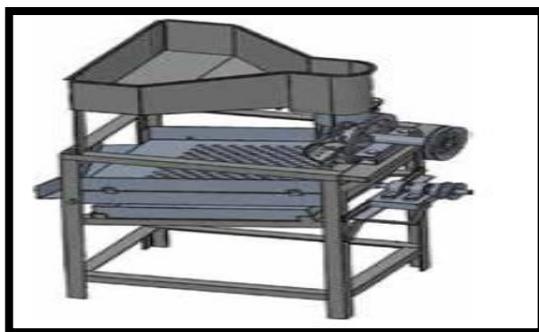
el tamaño, por López, G (2019).

En el valle del Mantaro, una localidad productora de maíz, existe el problema para clasificar, ya que realizan el proceso de forma manual, convirtiéndose en una labor tediosa, dado que se desgrana el maíz de mazorca en mazorca, necesitando largas jornadas de trabajo; además, el maíz desgranado y clasificado, varía su valor en el mercado de acuerdo a su tamaño, aumentando su valor adquisitivo al momento de ser vendido (Flores et al., 2018).

Se propone solucionar el problema mencionado anteriormente, diseñando y construyendo una máquina clasificadora de granos de maíz para optimizar tiempos, mejorando la calidad de trabajo de los pobladores de esta localidad rural. Dicho equipo se visualiza en la Figura 4.

Figura 4

Máquina desgranadora - clasificadora de maíz



Nota. Tomado de Diseño y fabricación de máquina para optimizar los procesos de desgrane y selección de granos de maíz. *Prospectiva Universitaria*, 15(1), 4., por Flores et al., (2018).

Se utilizan las máquinas clasificadoras para resolver la necesidad de separar el grano de maíz para cualquier tipo, utilizando su diámetro, peso, longitud o color. A pesar de la implementación de equipos para facilitar el tiempo en la producción, estos esfuerzos no son suficientes debido a que los diseños de los equipos no son muy sofisticados. Las maquinarias utilizadas actualmente causan problemas con el producto separado dado que caen al piso, se mezclan o dañan, por tanto, es necesario reprocesar el maíz, actividad que se realiza a causa de estos errores en las máquinas convencionales. A

nivel nacional las máquinas usadas o diseñadas no toman en cuenta la trazabilidad necesaria para brindar un producto de calidad.

Por lo expuesto, se requiere implementar un diseño que incluya un sistema de control a la salida de la maquinaria para mejorar el proceso.

Justificación e Importancia

A partir del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Latacunga se extrae la siguiente

Figura 5.

Figura 5

Población económicamente activa Latacunga



Nota. Tomado de *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial*, por Sánchez (2016).

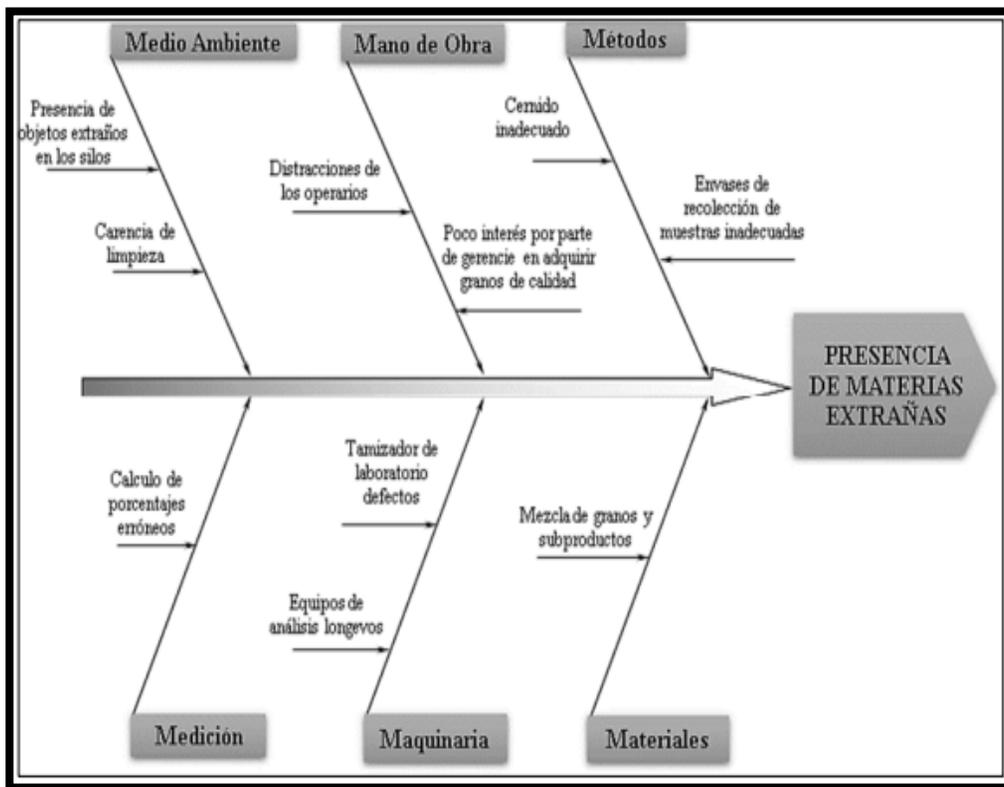
El proyecto plantea fortalecer la microindustria del sector, a partir de diseñar, construir y controlar una clasificadora de granos de maíz. Máquina capaz de elevar la productividad dentro de la industria agrícola. Esto permitirá a las familias que se dedican a la agricultura minimizar los horarios de procesamiento de los granos, liberando tiempo para que puedan invertirlo en educación, salud o actividades recreativas.

La máquina impulsará a las microindustrias agrícolas, volviéndolas más competitivas en el mercado nacional e internacional, mejorando las fuentes de ingreso a los campesinos, en su mayoría indígenas, dentro del país, redirigiendo al comercio justo y mejorando la exportación de granos a largo plazo. En este sentido, en los años 70, la agricultura representaba alrededor del 25% del PIB, mientras que en el año 2000 la agricultura llegó a representar el 9% del PIB del Ecuador (Fiallo Iturralde, 2017). Por esto, es importante fomentar el uso de maquinaria automatizada en la agricultura, para mejorar la calidad y dar un valor agregado al producto exportado. Se extrae del diagrama de Ishikawa de la Figura 6 los siguientes puntos:

- Envases de recolección de muestras inadecuados.
- Mezcla de granos y subproductos.
- Distracciones de los operarios.
- Fácil desarrollo de protocolos.
- Mejora de los procesos productivos agroindustriales.
- Impulsar el cumplimiento de normativas.
- Trazabilidad.
- Disminución de tiempos de procesamiento.
- Menores tiempos de limpieza de maquinaria.

Figura 6

Diagrama de Ishikawa Presencia de materias extrañas.



Nota. Tomado de *Análisis de fallas en el proceso productivo de harina de trigo mediante herramientas de control de calidad en la empresa "Molinos Miraflores S.A."*, por Álvaro (2020).

Dada la información expuesta anteriormente, la máquina presentada en este trabajo de titulación usará nuevas tecnologías enfocadas al monitoreo del producto ya clasificado, evitando de esta manera que los granos clasificados:

- Se mezclen entre sí.
- Tengan contacto con el piso.
- Adquieran contaminantes externos.
- Desalojo de malezas en la materia prima.

- Ruptura del grano clasificado.

Y, a su vez, las alarmas usadas alertan al operador del estado del proceso mejorando la calidad de productos, dando mayor trazabilidad, cumpliendo de esta manera las BPM del sector alimenticio.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar, construir y controlar una máquina clasificadora de granos de maíz con base a su tamaño para la empresa SERMEC.

Objetivos Específicos

- Diseñar y construir la estructura mecánica de una máquina clasificadora de granos de maíz usando materiales mixtos entre madera y acero.
- Seleccionar los dispositivos electrónicos necesarios en el monitoreo y control de la máquina clasificadora que permita mantener una trazabilidad del producto.
- Diseñar el mecanismo de transmisión de movimiento con los equipos que posee SERMEC.
- Realizar las simulaciones CAD de las estructuras de soporte donde interactúa directamente el material.
- Evaluar la máquina diseñada usando las métricas de: tamaños de clasificación, uso de materiales y capacidad de procesamiento.

Alcance

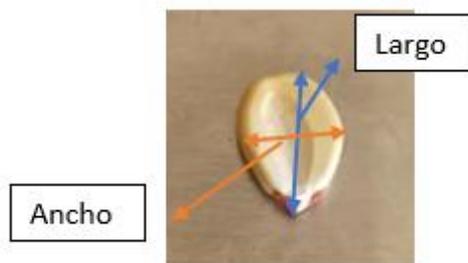
Se requiere realizar una máquina clasificadora de granos de maíz que cumpla con las siguientes características:

- Clasificar mínimo 10 kg de maíz cada minuto.
- Los materiales que se utilizarán en el equipo deben de ser mixtos: aceros y madera.

Para el procesamiento de los granos de maíz se recopila la siguiente información. Las dimensiones de largo y ancho se identifican en la Figura 7.

Figura 7

Geometría del grano de maíz



Tomando 2 muestras de 60 granos de producto, se extraen medidas de largo (mm) y peso (gr) de maíz y maíz tierno, esto permite analizar un conjunto total de 120 granos dando como resultado los histogramas de la Figura 8 y Figura 9.

Figura 8

Histograma de pesos de maíz y maíz tierno

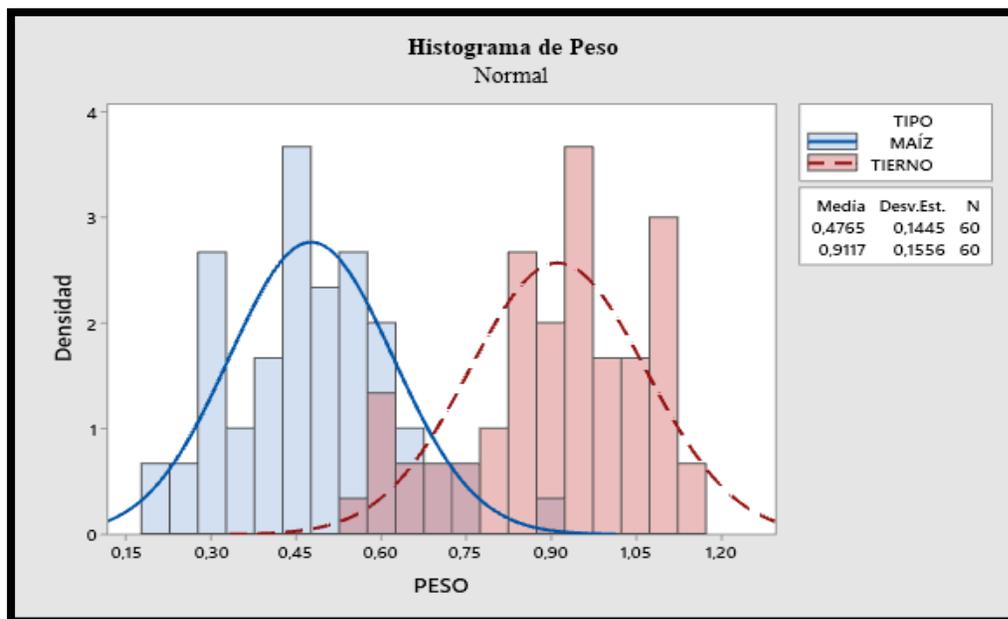
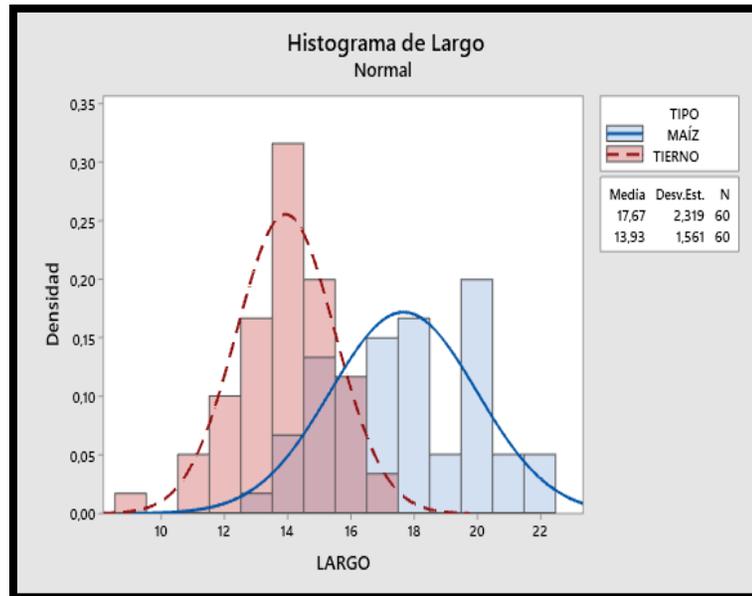


Figura 9

Histograma de largo de maíz y maíz tierno



Debido a que la variación entre el largo del grano tierno no representa un valor a ser considerado en este proceso industrial, es decir, su diferencia es muy baja como para representar una ventaja, sus datos no serán considerados para el diseño de la clasificadora. A su vez, considerando los histogramas de pesos y largo del maíz se sugiere que la máquina debería clasificar los siguientes grados:

- Grado 1: Menores de (13,2 mm).
- Grado 2: Entre (13,2-15,5 mm).
- Grado 3: Entre (15,6-17,7 mm).
- Grado 4: Mayores a (17,8 mm).

Sin embargo, la empresa SERMEC establece que requiere las siguientes clasificaciones:

- Grado 1: Menores de (8.5 mm).
- Grado 2: Entre (8.5-9,5 mm).

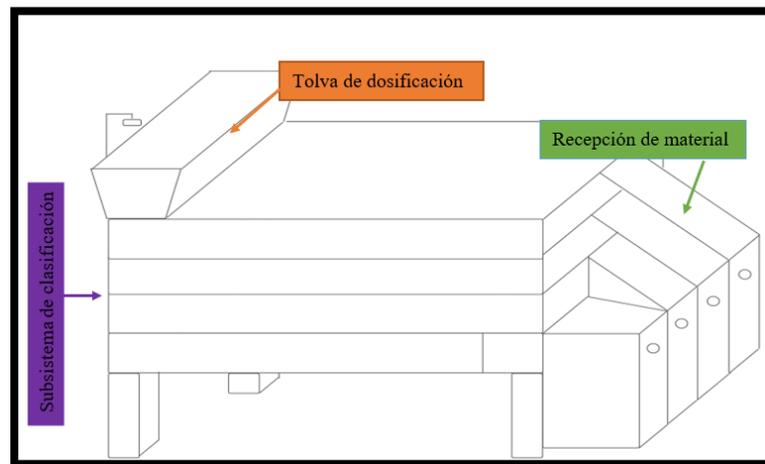
- Grado 3: Entre (9,5-12 mm).
- Grado 4: Mayores a (13 mm).

Otros parámetros para la clasificación son:

- Las dimensiones requeridas serán de un máximo de (2x2x2) metros.
- Mantenimiento preventivo cada 36 toneladas.
- Sistema de salida de basura.

Figura 10

Esquema de clasificadora de granos



Diseño Mecánico

Para el diseño mecánico se requiere establecer los cálculos de las estructuras, utilizando técnicas por elementos finitos o cálculos por rigidez, uso de estructuras mixtas entre madera y aceros, en el desarrollo de la tesis se establecerán los parámetros de:

- Resistencia mecánica, implementación de un coeficiente de seguridad mínimo del 20%.
- Fácil montaje de equipos.

Diseño Eléctrico

Requiere establecer los puntos:

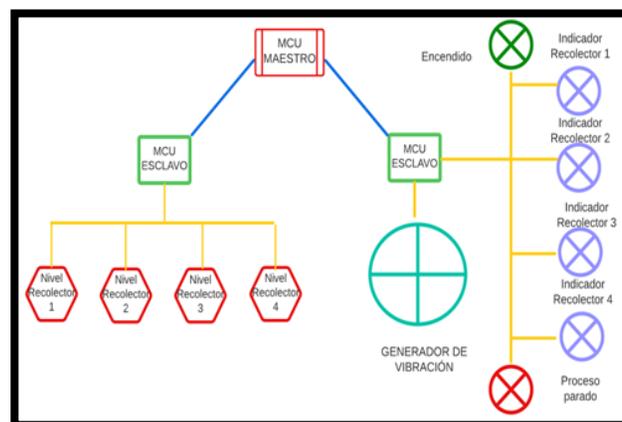
- Dimensionamiento y cálculo de actuador (generador de vibración).
- Implementación de sensores:
 - Control del proceso (estado o no de producto).
 - 4 sensores de presencia fin de carrera.
 - 1 pulsador de reinicio.
 - 1 paro de emergencia.
- Topología de red a dos niveles en la pirámide de automatización como se muestra en la Figura 11.
 - Nivel de planta: Sensores y actuadores.
 - Nivel de control: Microcontroladores (Comunicación Maestro-Esclavo).

Esta red se establece solo para el proceso de clasificación de granos de maíz.

- Plano de conexión eléctrica.

Figura 11

Diagrama de conexión del sistema



Control

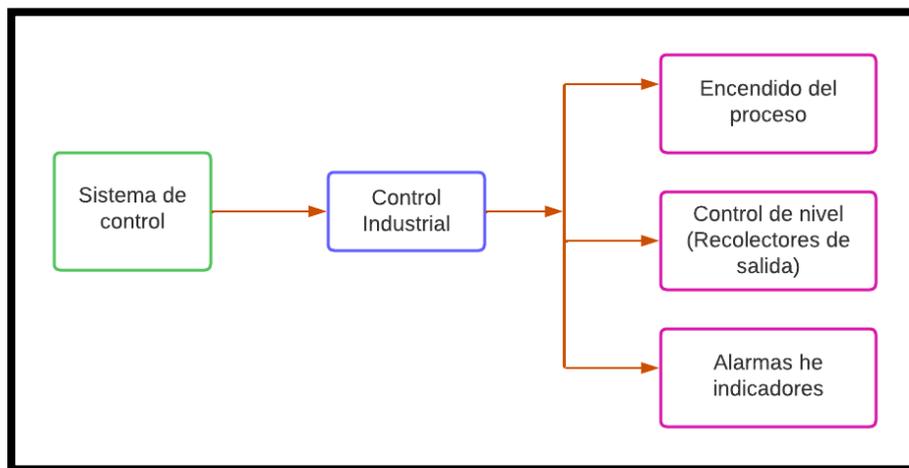
Se implementa una interfaz de usuario hombre-máquina con los siguientes puntos clave:

- Elementos de seguridad: Protectores de equipo (fusibles, relés y disyuntores), pulsadores y paro de emergencia.
- Indicadores luminosos: rojo, verde y azul.
- La clasificación se va a realizar con base a los 4 grados establecidos en el alcance.
- El sistema de control será modular actuadores y sensores independientes.

Todos los controles requeridos se ven en la Figura 12.

Figura 12

Esquema de controles a implementar



Software para análisis y simulación

- Simulador CAE.
- Matlab.
- MDSolids 4.0.

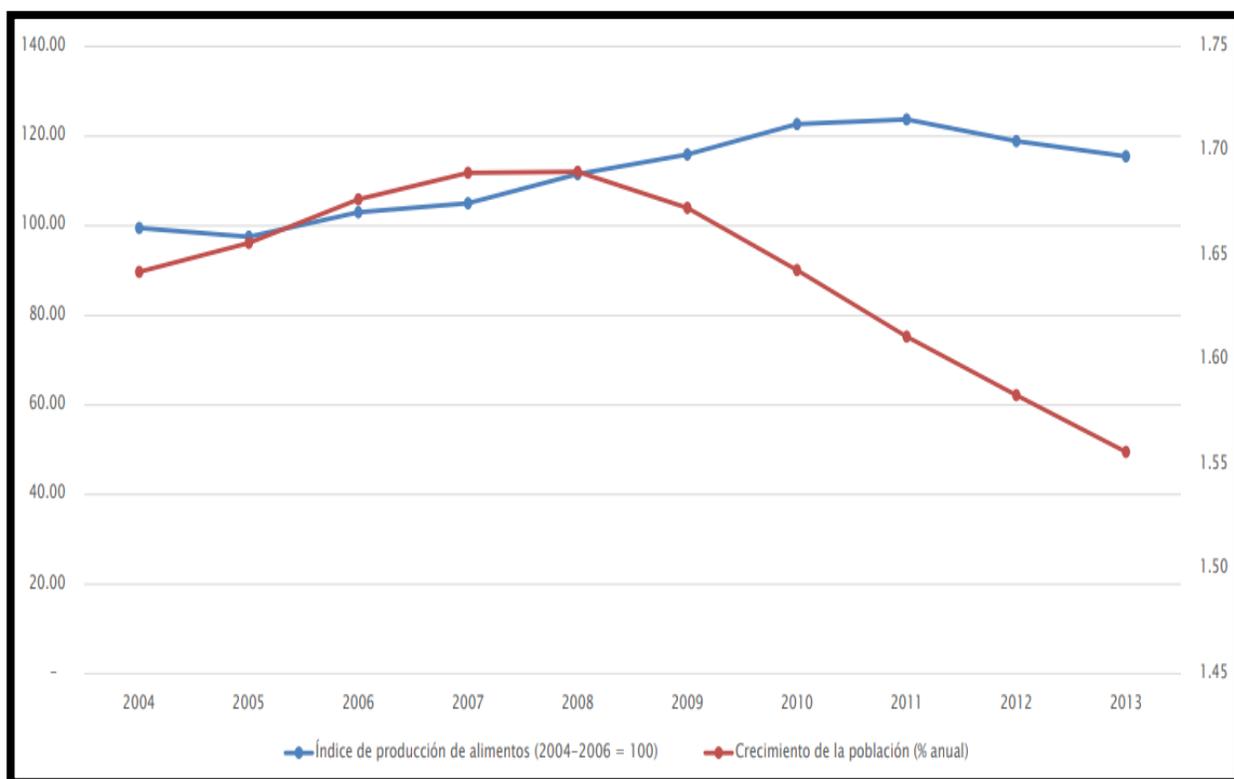
Capítulo II: Marco Teórico

Agroindustrias

El término AGRUBYSUBESS comenzó a ser usado en América Latina durante la Primera Guerra Mundial en Norteamérica y Europa (Merchán & Herrera, 2017). Esta agroindustria se refiere a la integración de la agricultura y la industria, en la que se emplean nuevas tecnologías para producir y procesar alimentos a gran escala, así como para su empaque y distribución. La Figura 13 muestra el índice de producción de alimentos en relación con la población ecuatoriana entre los años 2004 y 2013.

Figura 13

Índice de producción de alimentos vs. la población

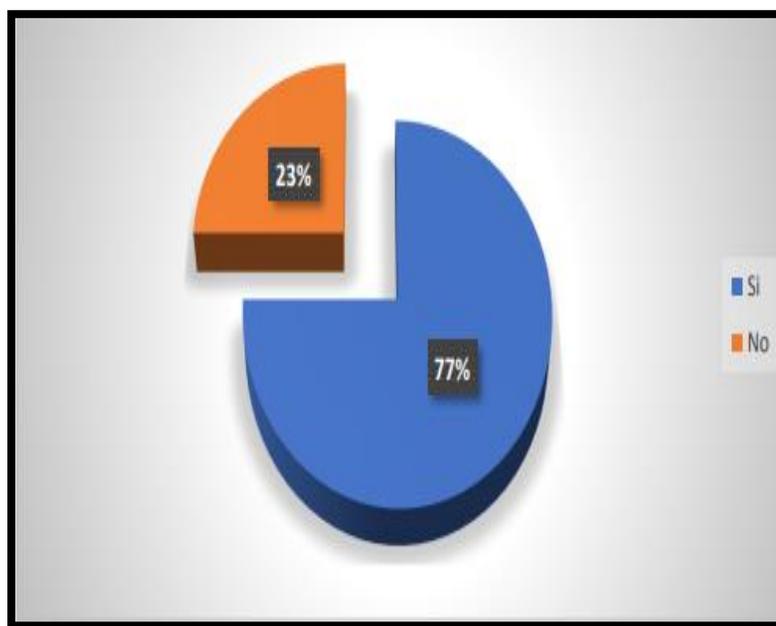


Nota. Tomado de *Análisis del desarrollo de la agroindustria en el Ecuador*, por Merchán & Herrera (2017).

De acuerdo con el trabajo de (Mata Balón, 2018), la Figura 14 muestra que, en una población de 82 propietarios de almacenes, la mayoría considera que los productores agrícolas deberían innovar en la aplicación de equipos tecnológicos para mejorar los estándares de calidad de sus productos.

Figura 14

Innovación de equipos según consumidores



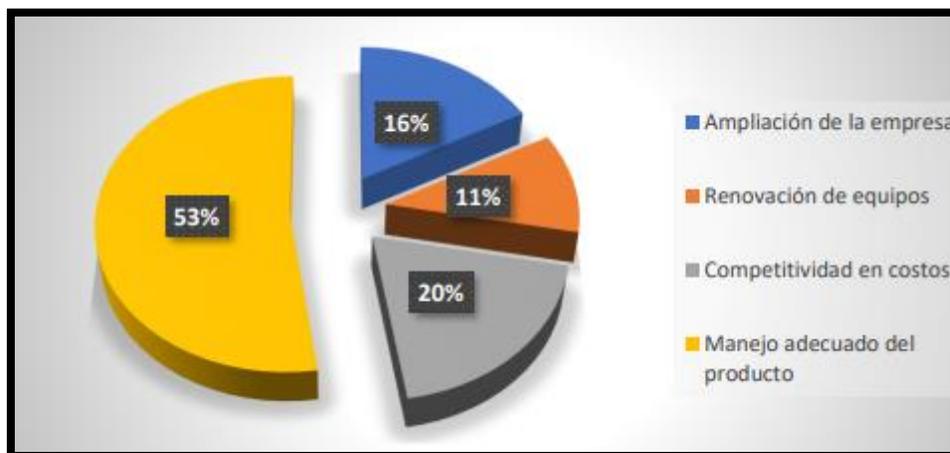
Nota. Tomado de *Análisis del control de calidad en los procesos de almacenamiento y conservación de arroz y maíz en las empresas agroindustriales del cantón Daule*, por Bata (2018).

El 77% de los encuestados concuerda en que se debe fomentar la innovación en los equipos, así como mejorar la participación de los agricultores pequeños y medianos en toda la cadena de producción, con el fin de reforzar estructuralmente el ámbito agrícola.

Figura 15 muestra que la renovación de equipos no es una prioridad para la agroindustria. Esto se debe en gran parte a la falta de conocimiento acerca del manejo adecuado del producto y a los costos competitivos resultantes de los procesos y maquinarias utilizadas durante la producción agrícola.

Figura 15

Prioridades para la creación de productos agrícolas al consumidor



Nota. Tomado de *Análisis del control de calidad en los procesos de almacenamiento y conservación de arroz y maíz en las empresas agroindustriales del cantón Daule*, por Bata (2018).

Tipos y calidad del maíz.

Maíz tierno (choclo) y maíz son el mismo producto, pero con diferente tiempo de madurez. Los dos son altamente consumidos en el mercado nacional, a la par se puede tomar lo expuesto por (Julbrex Aldrin, 2020) que separa al maíz en las siguientes formas:

- Dentados: Son los más cultivados; tiene forma de embudo.
- Lisos: Grano con altas concentraciones de proteínas, estos son comúnmente usados en harinas.
- Harinosos: Es una de las variedades más antiguas del maíz, se caracteriza por ser blanda e imposibilita que participe en el comercio exterior.
- Dulces: Poseen un alto contenido de azúcar, es el preferido por los consumidores.
- Pisingallo: Son particularmente granos pequeños que son muy resistentes al impacto y rozamiento.

- Ornamentales: Estos son usados principalmente con fines decorativos.
- Los granos se visualizan en Figura 16.

Figura 16

Tipos de granos de maíz



Nota. Tomado de Diseño de máquina desgranadora y clasificadora de granos secos de maíz amiláceo con capacidad de 500 kg/h para el Valle del Mantaro, por Julbrex (2020).

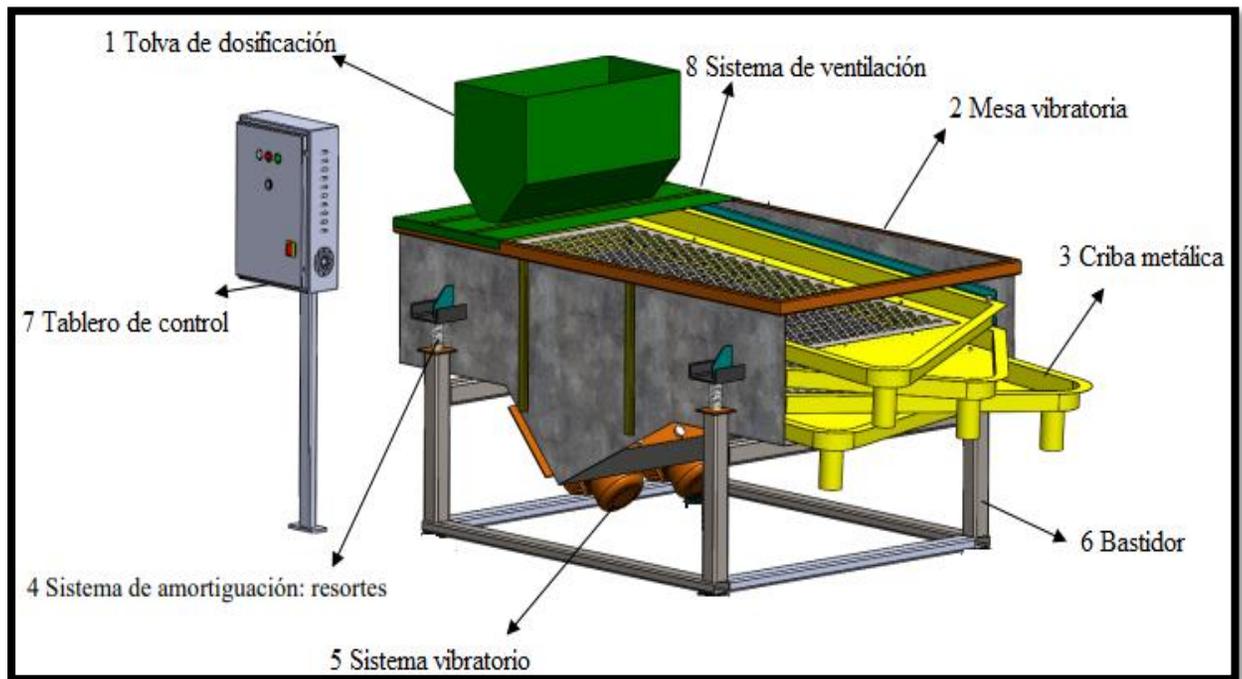
Capítulo III. Metodología y Diseño

Desarrollo del concepto.

Dentro del desarrollo del proyecto se toma en cuenta el concepto de una clasificadora de tipo vibratoria mostrada en la Figura 17.

Figura 17

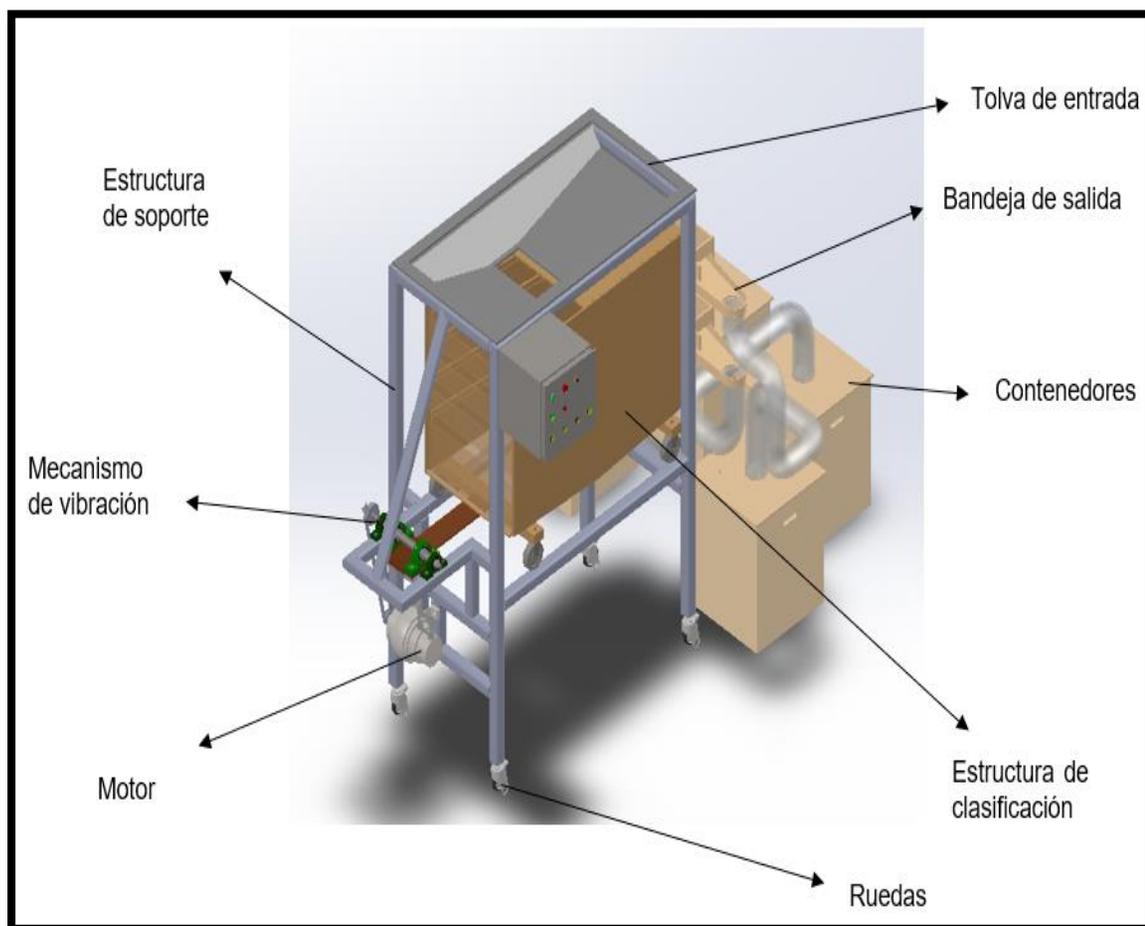
Máquina clasificadora de tipo vibratoria



El segundo tipo de máquina vibratoria es la horizontal, vista en la Figura 18, se postulan principalmente estos dos tipos de máquinas debido a las características muy superiores que tienen a comparación de la clasificadora de tipo rotativa.

Figura 18

Máquina clasificadora de tipo horizontal



A su vez se procede a evaluar con una matriz de selección usando las máquinas clasificadoras de la Figura 3, que da como resultado la matriz de selección de maquinaria

Tabla 3

Matriz de selección de maquinaria

	Conceptos						
		Vibratoria		Rotativa		Horizontal	
Criterios de selección	Peso	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Interfaz	3%	5	0,15	3	0,09	4	0,12
Facilidad de uso	10%	5	0,15	3	0,09	3	0,09
Facilidad de manufactura	20%	4	0,12	2	0,06	4	0,12
Durabilidad	20%	4	0,12	2	0,06	5	0,15
Costos	7%	2	0,06	2	0,06	5	0,15
Sistema de limpieza	2%	5	0,15	1	0,03	5	0,15
Fácil de ensamblar	8%	3	0,09	5	0,15	5	0,15
Capacidad de procesamiento	30%	5	0,15	3	0,09	5	0,15
Total	100%	33	0,99	21	0,63	36	1,08
	Lugar	2		3		1	
	¿Continuar?	Segunda alternativa		No		Desarrollar	

Diseño electrónico

Motor

El motor es proporcionado por la empresa SERMEC y posee las características de la Tabla 4.

Tabla 4

Características del motor

Motor	
Voltaje	110 V AC
Frecuencia	60 H
Potencia	0.55 KW
RPM	1680
Fases	1
Diámetro del eje	20 mm
Peso	20 kg
Amperaje	5 A
Sujeción	Pernos M10

Nota. Tomado de *Datos de Motor*, por SERMEC, Ecuador.

Componentes de control e interfaz

En la Tabla 5 se indica la cantidad de dispositivos eléctricos usados para el control y la interfaz de la máquina clasificadora.

Tabla 5*Componentes eléctricos*

Dispositivo	Cantidad	Etapa
Breaker	1	Protección
Fusible	1	Protección
Cable calibre #12	20 metros	Comunicación
Bornera	10	Comunicación
Arduino UNO	3	Control
Selector	1	Control
Pulsador NO	1	Control
Pulsador tipo hongo NC	1	Control
Modulo Relé de 8 canales	1	Control
Relé Industrial	1	Control
Luz piloto Verde	1	Interfaz
Luz piloto Rojo	1	Interfaz
Luz piloto Amarilla	4	Interfaz

A continuación, se va a detallar los puntos principales de cada componente.

Arduino UNO

La implementación de Arduino UNO como se visualiza en la Figura 11, estos dispositivos son seleccionados por las características detalladas conforme a la Tabla 6.

Tabla 6*Características del Arduino UNO*

Características	Descripción
Microcontrolador	ATMega2560
Velocidad de reloj	16 MHz
Voltaje de trabajo	5 V
Voltaje de entrada	7,5-12 V
Pines	
Digitales	13
Analógicos	16
Digitales	15
Puertos Seriales	3
Memoria	
Flash	256 KB
RAM	8KB
Eeprom	4 KB

Nota. Tomado de *Arduino*, por Suárez (2023).

Para el control del equipo se usan los siguientes parámetros mínimos:

- 8 puertos digitales.
- 4 KB de memoria RAM.
- Velocidad de reloj 16 MHz.
- 2 puertos seriales.

Por lo tanto, el Arduino UNO cumple con los parámetros mínimos requeridos para su correcto funcionamiento.

Modulo relé de 8 canales.

El módulo relé posee las características de la Tabla 7:

Tabla 7

Características del módulo relé

Características	Descripción
Voltaje de operación	5 VDC
Señal de control	3,3 o 5 V
Canales	8 CH
Código	SRD-05VDC-SL-C
Capacidad Máxima	10A/ 30VDC
Corriente Máxima	10 A (NO), 5 A (NC)
Tiempo de acción	10 ms/5ms

Nota. Tomado de *Módulo relay 8CH 5VDC*, por Naylap Mechatronics SAC (2020).

Se requiere este dispositivo para el control e implementación de las luces pilotos y encendido del sistema de vibración. La cantidad mínima de canales es de 8.

Relé Industrial

Usando las especificaciones del motor y la ley de OHM se calcula la corriente que cruza por el motor:

$$P = V * I$$

Donde

V Voltaje

I Intensidad

P Potencia

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{0.55 [kW]}{110[V]}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

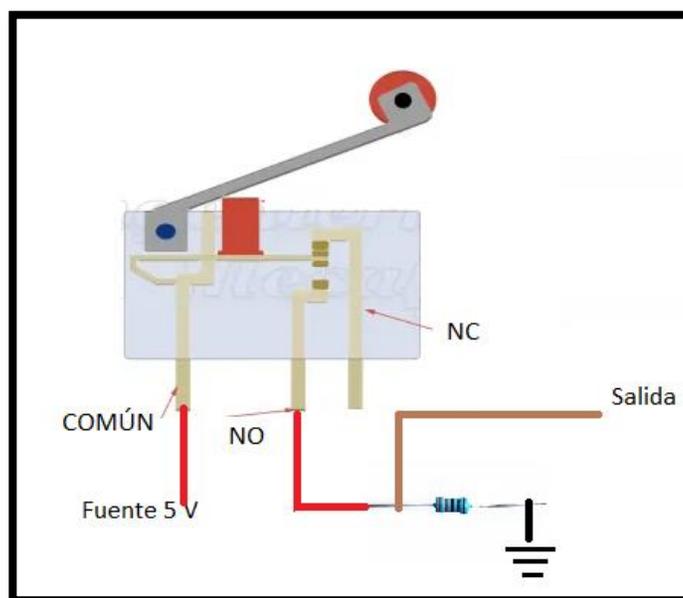
La intensidad requerida es de 5 A, por lo tanto, se usa el relé Industrial Finder de 4 contactos 7 A, 110 VAC (Electrosón Galicia, 2022).

Sensores

Al no ser materiales metálicos y la cantidad es volumétrica se implementa el uso de fines de carrera. Por sus características se requiere el uso de una etapa de acondicionamiento que se expone en la Figura 19.

Figura 19

Esquema de acondicionamiento



Nota. Tomado de *Qué es un final de carrera*, por MECAFENIX (2020).

Otros dispositivos

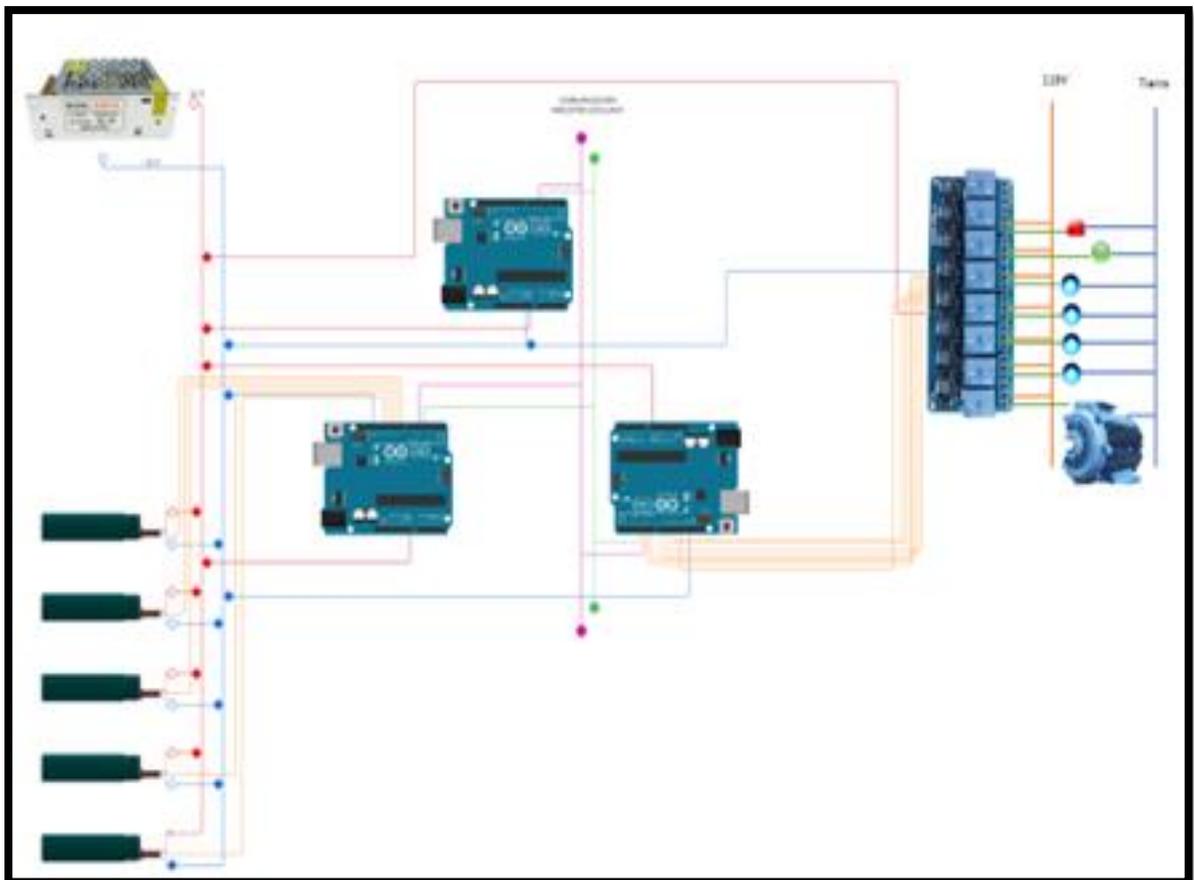
Los dispositivos como interruptores, luces pilotos y pulsadores son los comerciales en la Industria no requieren de una característica específica para operar que no sea el voltaje de 110 VAC.

Comunicación

En la Figura 20 se muestra el esquema de conexión planteado para el equipo.

Figura 20

Esquema de conexión



Para la comunicación de los Arduino UNO se va a implementar el protocolo de comunicación I2C, el cual muestra sus prestaciones en la Tabla 8.

Tabla 8*Características principales de la comunicación I2C*

Número de vías	2
Velocidad Máxima	Modo Estándar (Sm) 100 kbps
	Modo Rápido (Fm) 400 kbps
	Modo High Speed (Fm+) 3,4 Mbps
	Modo Ultra Fast (Hs-mode) 5 Mbps
Número máximo de maestros	Ilimitado (Teóricamente)
Número máximo de esclavos (7-bits)	112
Compatible con ESP	Si
Compatibilidad con Arduino	Si

Nota. Tomado de *Comunicación I2C con Arduino lo mejor de dos mundos*, por Guerra (2016).

Dentro del proyecto de titulación es factible usar el modo estándar ya que la velocidad de respuesta no requiere ser tan elevada. El número tanto de maestros como esclavos es mucho mayor al necesario, por lo tanto, este protocolo de comunicación resuelve adecuadamente la complejidad del equipo.

Diseño Mecánico

Capacidad de la máquina.

Partiendo de las especificaciones del usuario se tiene que las dimensiones de las planchas serán de 1000x500mm.

$$A_p = L_p \times A_p$$

Donde:

A_p Área de la plancha

L_p Largo de plancha

A_p Ancho de plancha

$$A_p = 1[m] \times 0.5[m]$$

$$A_p = 0.5 [m^2]$$

Tomando en cuenta el área se calcula el volumen de la criba teniendo el dato de alturas entre cribas, el cual se estableció con el usuario de mínimo 10 cm entre criba.

$$V_c = A_p \times h_c$$

Donde:

V_c Volumen de la criba

h_c Alto entre criba

$$V_c = 0.5 [m^2] \times 0.1[m]$$

$$V_c = 0.05[m^3]$$

$$V_c = \frac{V_q}{3}$$

V_q Volumen de carga

$$V_q = V_c \times 3$$

$$V_q = 0.2[m^3]$$

Para obtener el flujo másico del equipo se tiene los valores de la Tabla 9.

Tabla 9*Densidad aparente de grano*

Densidad aparente	
Productos agrícolas sólidos	Densidad [kg/m³]
Alfalfa, granos	750-800
Algodón, granos no apretados	100-120
Arroz de embarque descascarado	700-750
Avena	500-540
Cacahuete con cáscara para aceite	370-400
Cacao granos frescos	900
Maíz, grano amarillo	760
Maíz, grano blanco	800
Maíz, grano jaeno	740
Maíz, grano morocho	750
Maíz, mazorcas peladas	450
Malta	530-600
Mijo	700
Soja, granos	720-800
Sorgo, granos	670-760
Trigo	750-840

Nota. La densidad propuesta es del grano amarillo. Tomado de *Diseño de una máquina seleccionadora, para mejorar la calidad del tamaño de grano de maíz en la comunidad La Paccha-Huambos*, por Vidarte (2022).

Con los datos obtenidos y la Tabla 9 se calcula la masa

$$V_q = \frac{m_{Mp}}{d_M}$$

Donde:

m_{Mp} Masas del maíz procesado

d_M Densidad aparente del grano amarillo (Maíz).

V_q Volumen del maíz procesado

$$m_{Mp} = V_q \times d_M$$

$$m_{Mp} = 0.2[m^3] \times 760[kg/m^3]$$

$$m_{Mp} = 152 [kg]$$

Se plantea que los 152 kg los va a procesar en 10 min por lo tanto el flujo másico de la tolva corresponde a:

$$\dot{m}_{Mp} = \frac{m_{Mp}}{t}$$

\dot{m}_{Mp}

t Tiempo

$$\dot{m}_{Mp} = \frac{152 [kg]}{10 [min]}$$

$$\dot{m}_{Mp} = 15.2 [kg/min]$$

Estructura base

Para la estructura base se considera el perfil comercial A36 debido a su fácil disponibilidad y adquisición. Cuenta con un metraje de 6 metros por perfil y se plantea el uso de espesores no menores a 1.5 mm para facilitar su soldadura.

Se toma como base los perfiles cuadrados con las siguientes especificaciones observadas en la Figura 21.

Figura 21

Características de los perfiles de acero rectangulares comerciales

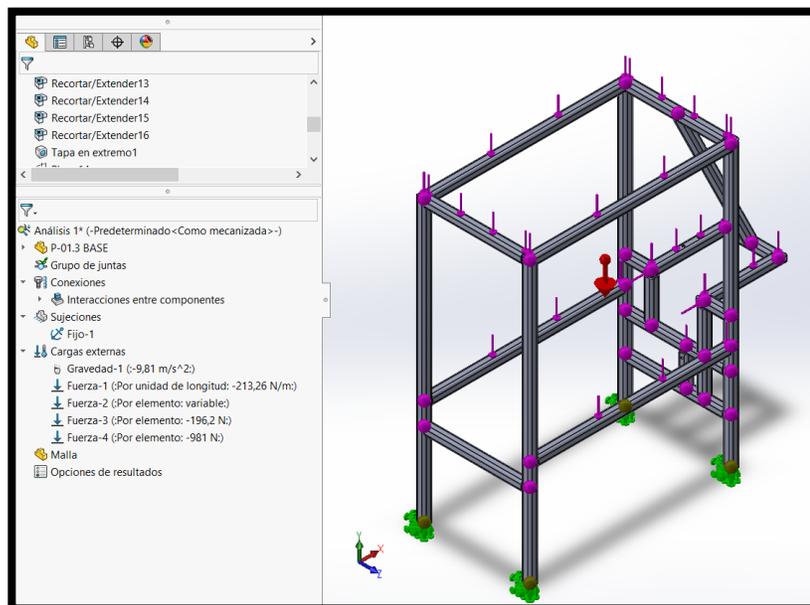
METALTUB TUBERÍA ESTRUCTURAL CUADRADA (ACABADO NEGRO Y GALVANIZADO)												
REFERENCIA	ESPEORES EN MILIMETROS										UNIDAD DE EMPAQUE	
	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0		10,0
Tubos Cuadrados (mm)	Peso Teórico Calculado (kg / m)											
50 x 50	2,34	3,08	3,80									100
	2,33	3,07	3,80									
60 x 60		3,71	4,59	5,45								100
		3,70	4,58	5,44								
70 x 70		4,34	5,37	6,39								64
		4,32	5,36	6,38								
90 x 90		5,59	6,94	8,28								36
		5,58	6,93	8,26								
100 x 100		6,22	7,73	9,22								36
		6,20	7,71	9,20	12,14		17,75					
120 x 120					14,81							30
					16,69		24,58					25
135 x 135					18,58		27,41					16
150 x 150									40,08			

Nota. Tomado de Ficha Técnica, por ACESCO (2022).

Con el perfil seleccionado se realiza la simulación en SolidWorks, con las cargas que este debe de soportar, vistas en la Figura 22.

Figura 22

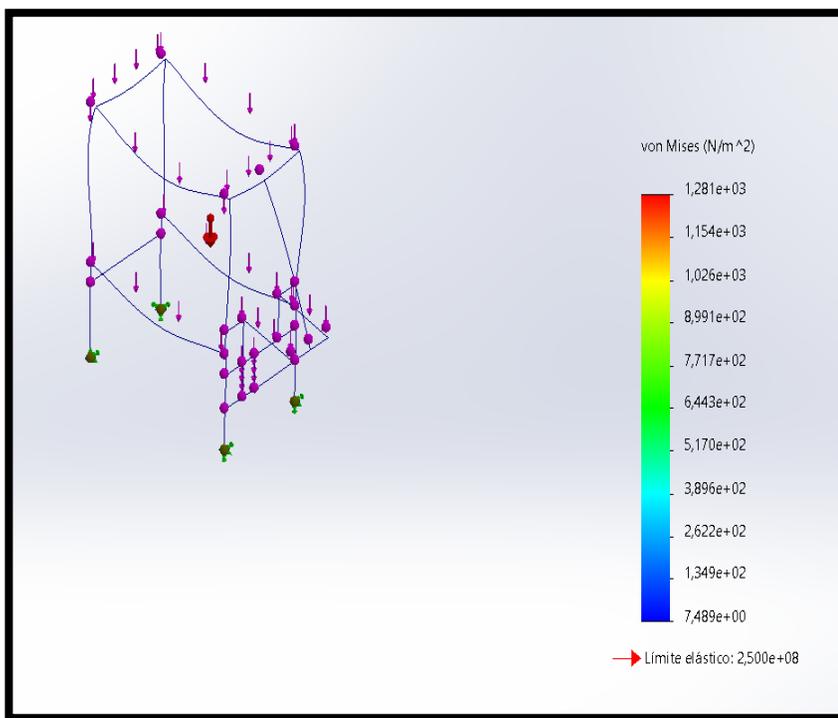
Cargas de la estructura base



En el análisis de Von Mises se tienen esfuerzos máximos de $1.281e + 03 \text{ N/m}^2$ y se establece que el límite elástico es $2.5e + 08 \text{ N/m}^2$ observado en Figura 23, con estos datos se obtiene que los perfiles están sobredimensionados.

Figura 23

Análisis de Von Mises



En la identificación de las uniones a realizar, se determina que se implementasen con soldadura SMAW, usando el electrodo 6011 que posee las siguientes propiedades.

Tabla 10*Propiedades del electrodo 6011*

Propiedades Mecánicas	
Resistencia a la Tracción	63-74 Ksi
Límite de fluencia	52-60 Ksi
Elongación	27 a 35%
Reducción de área	55 a 70%
Resistencia al Impacto	27-100 joules
Amperajes Recomendados	
2,4x300mm	50-80 A
3,2-350	70-115 A

Nota. Tomado de *Scribd ACP 611 SS*, por West Arco (2023).

Las juntas de los cordones solo van a estar expuestas a esfuerzos cortantes, por lo tanto, se toma el límite de fluencia para el análisis que es de 358 MPa mínimo. Tomando el esfuerzo máximo de la Figura 22 y Figura 23 se puede realizar un análisis comparativo con relación a los porcentajes.

$$n = \frac{358 * 10^6}{1.281 * 10^8} = 2.8$$

Este análisis concluye que al igual que el material base, las uniones pueden soportar mayor cantidad de cargas, 2 veces más sin presentar ningún problema.

Selección de Cribas

Con base al histograma y los valores dentro de la Figura 9, se seleccionan los valores de las cribas con los valores más cercanos. Usando estándares de máquinas clasificadoras mostradas en Tabla

11.

Tabla 11*Características de cribas metálicas*

Tamaño nominal mm	Variación permisible tamaño nominal mm	Distancia entre centros mm	Límite permisibles para la distancia entre centros mm	Espesor de la plancha mm	Límites permisibles para el espesor de la plancha mm
90	0,8	111	100-128	2,7	2,5-4
75	0,7	95	86-109	2,7	2,5-4
63	0,6	80	72-92	2,7	2,5-4
53	0,6	68	61-78	2,7	2,5-4
45	0,5	57	51-65	1,9	1,5-2,5
37,5	0,4	48	43-55	1,9	1,5-2,5
31,5	0,4	41	37-47	1,9	1,5-2,5
26,5	0,4	35	31-40	1,9	1,5-2,5
22,4	0,3	29	26-33	1,9	1,5-2,5
19	0,3	25	22-29	1,9	1,5-2,5
16	0,27	21	19-24	1,9	1,5-2,5
13,2	0,25	18	16-20	1,9	1-2
11,2	0,23	15	13-17	1,9	1-2
9,5	0,2	13	11,3-14,9	1,9	1-2
8	0,19	11	9,5-12,6	1,9	1-2

Nota. Tomado de *Diseño y construcción de una máquina clasificadora de maíz partido*, por Amagandi

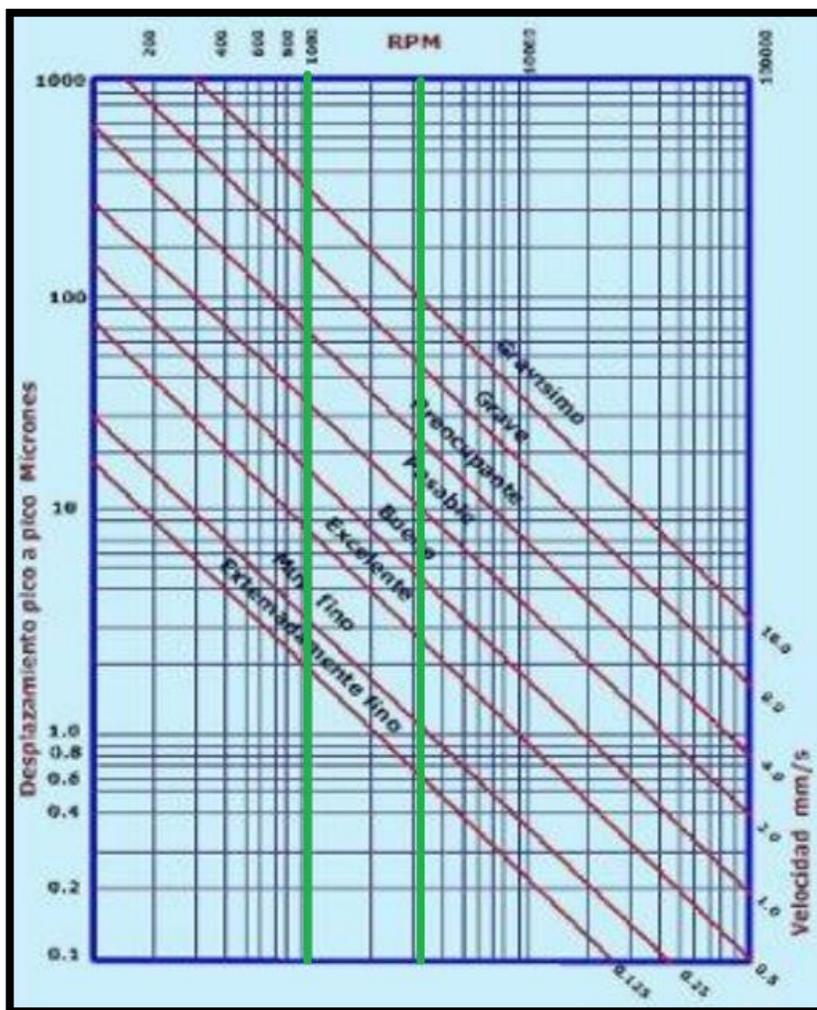
(2013).

Selección de Poleas.

En la transmisión de movimiento del diseño se requiere enviar a la máquina clasificadora un valor entre 1200-1000 rpm. Estas revoluciones entregan una vibración más controlada según la carta de Rathbone Figura 24.

Figura 24

Carta de Rathbone



Nota. Tomado de *Análisis de vibraciones en motores eléctricos*, por Velarde (2014).

Partiendo del problema, se obtiene la relación de transferencia de movimiento circular:

$$r_{polea} = \frac{W_{Inicial}}{W_{Final}}$$

Se toma el rpm de salida del motor 1680 RPM y los valores de velocidad circular del equipo:

$$r_{polea\ mínimo} = \frac{W_{Inicial}}{W_{Final\ Máximo}}$$

$$r_{polea\ mínimo} = \frac{1680}{1200} = \frac{7}{5} = 1.4$$

$$r_{polea\ máximo} = \frac{W_{Inicial}}{W_{Final\ Mínimo}}$$

$$r_{polea\ máximo} = \frac{1680}{1000} = \frac{42}{25} = 1.68$$

Se seleccionan las poleas conforme a la Figura 25:

Figura 25

Selección de poleas

Número de Parte	DE	Diámetro de Paso		Tipo	Barrenos a la Medida en Existencia Incluye Cuiñero y Opresor	F	E	Largo Total (L)	Peso Lb (Aprox.)
		Datum Bandas A (4L)	Bandas 3L						
AK15	1.55	1.30	-	A	1/2 - 5/8	21/32	7/16	13/32	0.3
AK17	1.75	1.50	1.16	A	1/2 - 5/8	21/32	7/16	19/16	0.3
AK19	1.95	1.70	1.36	A	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8	21/32	7/16	15/16	0.5
AK20	2.00	1.80	1.46	A	1/2 - 5/8 - 3/4 -	21/32	7/16	19/16	0.5
AK21	2.10	1.90	1.56	A	1/2 - 5/8 - 3/4 -	21/32	7/16	19/16	0.5
AK22	2.20	2.00	1.66	A	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8	21/32	7/16	19/16	0.6
AK23	2.30	2.10	1.76	A	1/2 - 5/8 - 3/4 -	21/32	7/16	19/16	0.6
AK24	2.40	2.20	1.86	A	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	21/32	7/16	19/16	0.6
AK25	2.50	2.30	1.96	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - -	21/32	7/16	19/16	0.7
AK26	2.60	2.40	2.06	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - - - -	21/32	7/16	19/16	0.7
AK27	2.70	2.50	2.16	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - - - - 1	21/32	7/16	19/16	0.8
AK28	2.80	2.60	2.26	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - -	21/32	7/16	19/16	0.8
AK30	3.05	2.80	2.46	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	21/32	7/16	19/16	0.9
AK32	3.25	3.00	2.66	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	21/32	7/16	19/16	1.0
AK34	3.45	3.20	2.86	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	21/32	7/16	19/16	1.1

Nota. Tomado de *Poleas*, por Polybandas (2023).

$$r_{real} = \frac{De_{polea\ conducida}}{De_{polea\ conductora}} = \frac{2.8}{1.95} = 1.43$$

Donde:

$$1.4 < 1.43 < 1.68$$

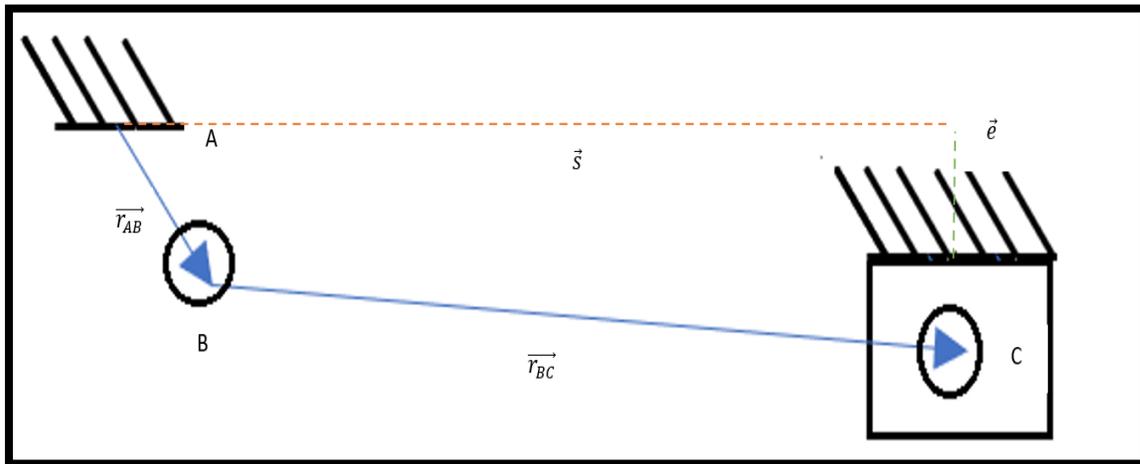
Peso de la polea 13.0473 N

Diseño de mecanismo vibratorio.

El mecanismo vibratorio que se implementa es el expuesto en la Figura 26. Un mecanismo biela, manivela corredera.

Figura 26

Diagrama de mecanismo



Usando la sumatoria de vectores tenemos que:

$$\vec{r}_{AB} + \vec{r}_{BC} - \vec{e} - \vec{s} = 0$$

Descomponiendo en el plano (x,y).

$$r_{AB} * \cos(\phi_1) + r_{BC} * \cos(\phi_2) - s = 0$$

$$r_{AB} * \sin(\phi_1) + r_{BC} * \sin(\phi_2) - e = 0$$

Derivando y despejando cada una de las ecuaciones encontramos:

$$\phi_2 = \sin^{-1} \left(\frac{e - r_{AB} * \sin(\phi_1)}{r_{BC}} \right)$$

$$s = r_{AB} \cos(\phi_1) + r_{BC} \cos(\phi_2)$$

$$v = \omega_1 * r_{AB} * \cos(\phi_1)$$

$$\omega_2 = - \frac{\omega_1 * r_{AB} * \cos(\phi_1)}{r_{BC} * \cos(\phi_2)}$$

$$\alpha_2 = \frac{\omega_1^2 * r_{AB} * \sin(\phi_1) + \omega_2^2 * r_{BC} * \sin(\phi_2)}{r_{BC} * \cos(\phi_2)}$$

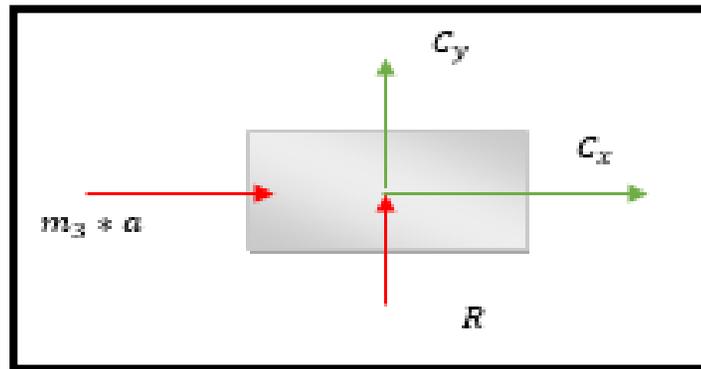
$$a = -\omega_1^2 * r_{AB} * \cos(\phi_1) - \alpha_2 * r_{BC} * \cos(\phi_2) - \omega_2^2 * r_{BC} * \sin(\phi_2)$$

Balance del émbolo.

El émbolo en nuestro caso considera a toda la estructura de clasificación, ver Figura 27.

Figura 27

Diagrama de cuerpo libre émbolo



$$\sum F_x = m_3 * a$$

$$C_x = m_3 * a$$

$$\sum F_y = 0$$

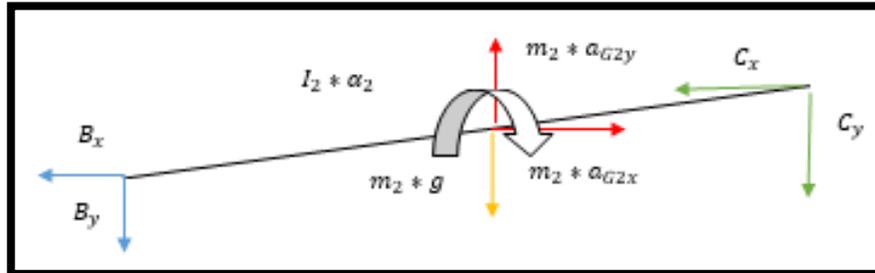
$$C_y + R = 0$$

Balance de biela

Se analiza las geometrías planteadas para la biela conductora, Figura 28.

Figura 28

Diagrama de cuerpo libre biela



$$\sum F_x = m_2 * a_{G2x}$$

$$B_x - C_x = m_2 * a_{G2x}$$

$$\sum F_y = m_2 * a_{G2y}$$

$$B_y - C_y = m_2 * a_{G2y}$$

$$\sum M_o = I * \alpha_2$$

$$\frac{r_{BC}}{2} * B_y * \cos(\theta_2) - \frac{r_{BC}}{2} * B_x * \sin(\theta_2) + \frac{r_{BC}}{2} * C_y * \cos(\theta_2) - \frac{r_{BC}}{2} * C_x * \sin(\theta_2) = I * \alpha_2$$

$$I = \frac{m_2 * r_{BC}^2}{12}$$

$$\vec{a}_{G2} = \vec{a} + (\vec{a}_{G2C})_n + (\vec{a}_{G2C})_t$$

$$\vec{a}_{G2} = \begin{pmatrix} a \\ 0 \end{pmatrix} - \omega_2^2 \begin{pmatrix} (\vec{r}_{G2C})_x \\ (\vec{r}_{G2C})_y \end{pmatrix} + \alpha_2 \begin{pmatrix} -(\vec{r}_{G2C})_x \\ (\vec{r}_{G2C})_y \end{pmatrix}$$

$$(\vec{r}_{G2C})_x = \frac{r_{BC}}{2} * \cos(\theta_2)$$

$$(\vec{r}_{G2C})_y = \frac{r_{BC}}{2} * \sin(\theta_2)$$

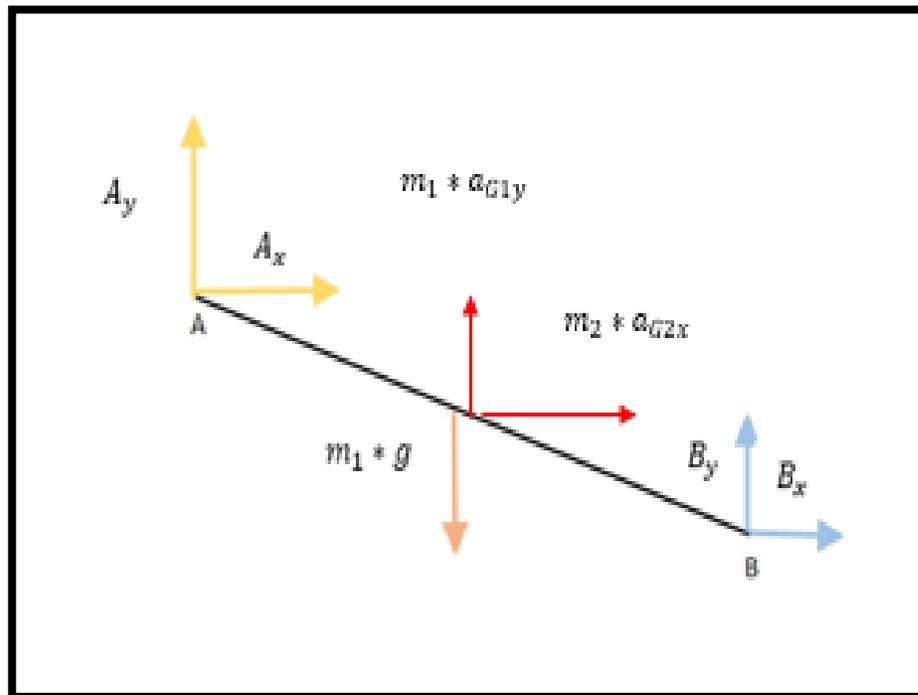
$$I_2 = \frac{m_2 r_{BC}^2}{12}$$

Balance de la manivela

La manivela representada en la Figura 29, será el conjunto de eje, soporte y chumaceras que darán el movimiento al sistema.

Figura 29

Diagrama de cuerpo libre manivela



$$\sum F_x = m_1 * a_{G1x}$$

$$A_x + B_x = m_1 * a_{G1x}$$

$$\sum F_y = m_1 * a_{G1y}$$

$$A_y + B_y = m_1 * a_{G1y}$$

$$\sum M_G = 0$$

$$\frac{r_{AB}}{2} * A_y * \cos(\theta_1) - \frac{r_{AB}}{2} * A_x * \sin(\theta_1) + \frac{r_{AB}}{2} * B_y * \cos(\theta_1) - \frac{r_{AB}}{2} * B_x * \sin(\theta_1) + M = 0$$

$$\begin{aligned}\vec{a}_{G1} &= \vec{a}_{G1} + (\vec{a}_{G1A})_n + (\vec{a}_{G1A})_t \\ \vec{a}_{G1} &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} - \omega_1^2 \begin{pmatrix} (\vec{r}_{G1A})_x \\ (\vec{r}_{G1A})_y \end{pmatrix} + 0 * \begin{pmatrix} (\vec{r}_{G1A})_x \\ (\vec{r}_{G1A})_y \end{pmatrix} \\ \vec{a}_{G1} &= -\omega_1^2 \begin{pmatrix} (\vec{r}_{G1A})_x \\ (\vec{r}_{G1A})_y \end{pmatrix} \\ (\vec{r}_{G1A})_x &= \frac{r_{AB}}{2} * \cos(\theta_1) \\ (\vec{r}_{G1A})_y &= \frac{r_{AB}}{2} * \sin(\theta_1)\end{aligned}$$

Con todos los análisis y ecuaciones realizadas se obtienen las gráficas de cinemática del sistema.

Figura 30

Variación ángulo 2 vs. ángulo 1

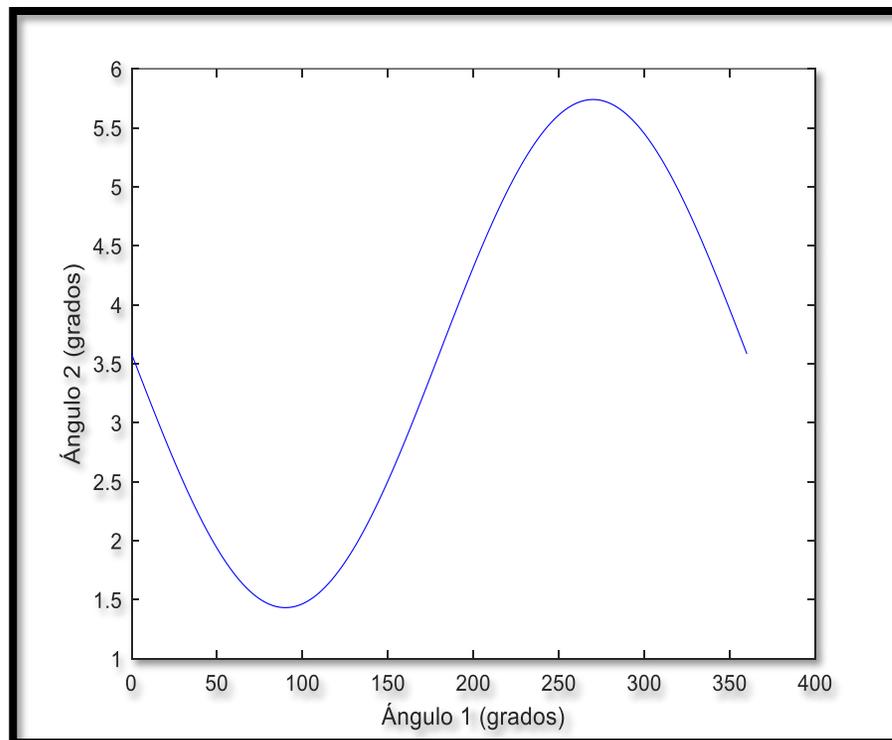
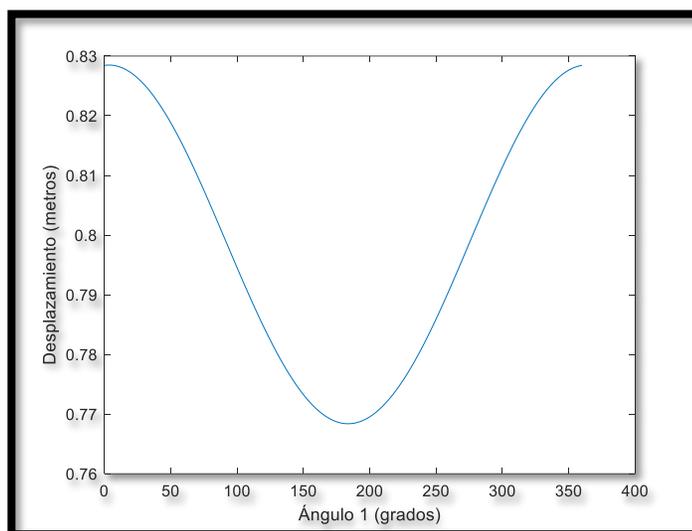


Figura 31

Variación desplazamiento del émbolo vs. ángulo 1

**Figura 32**

Velocidad angular de la biela vs. ángulo 1

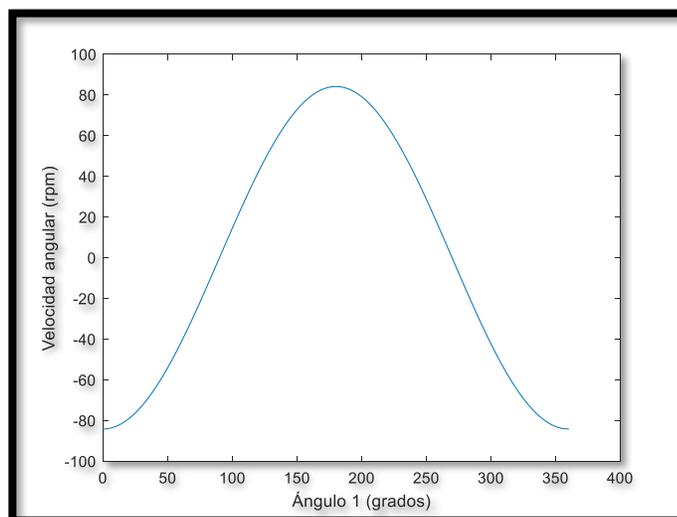
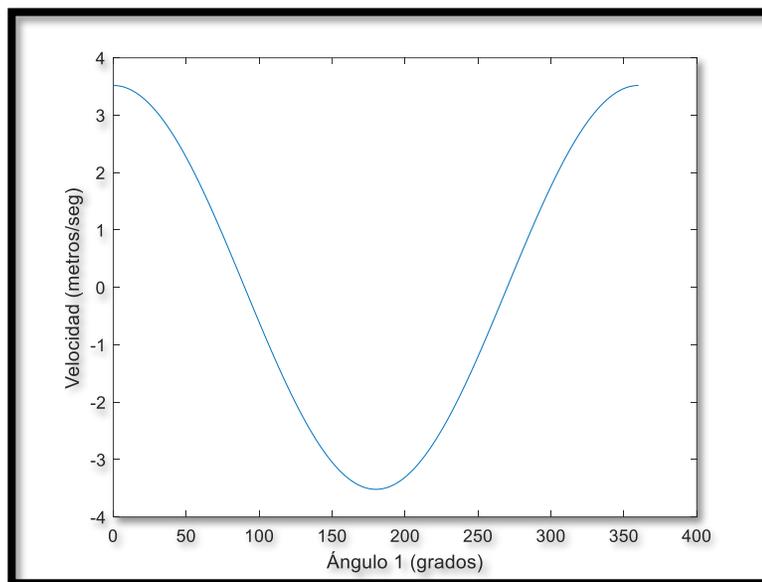


Figura 33

Velocidad lineal del émbolo vs. ángulo 1

**Figura 34**

Aceleración angular de la biela vs ángulo 1.

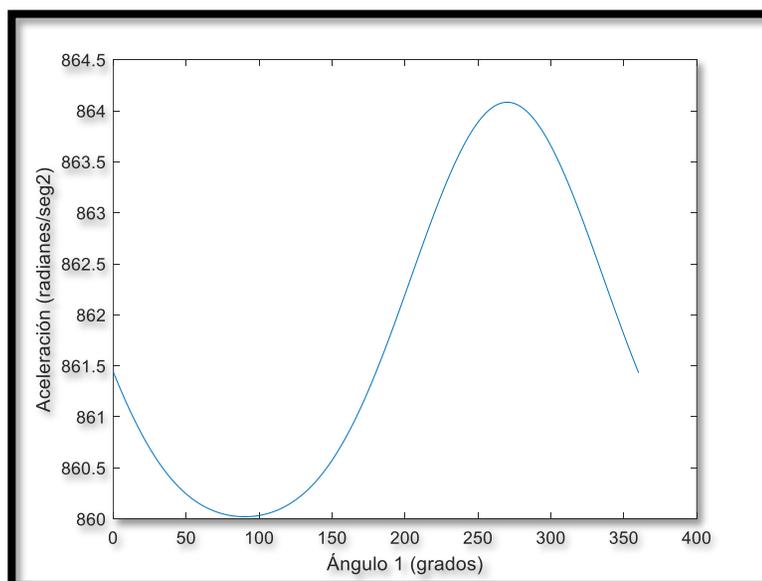
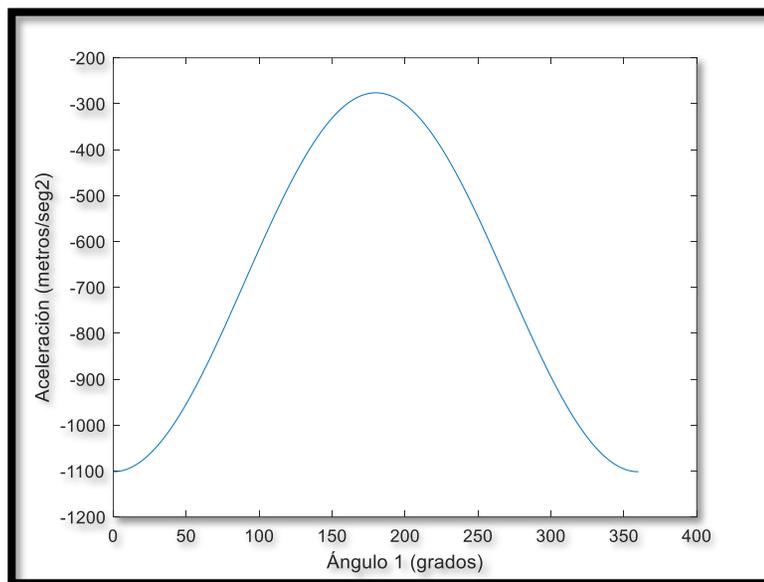


Figura 35

Aceleración lineal del émbolo vs. ángulo 1



En el análisis dinámico se obtuvieron las siguientes gráficas:

Figura 36

Fuerza Ax vs. ángulo 1

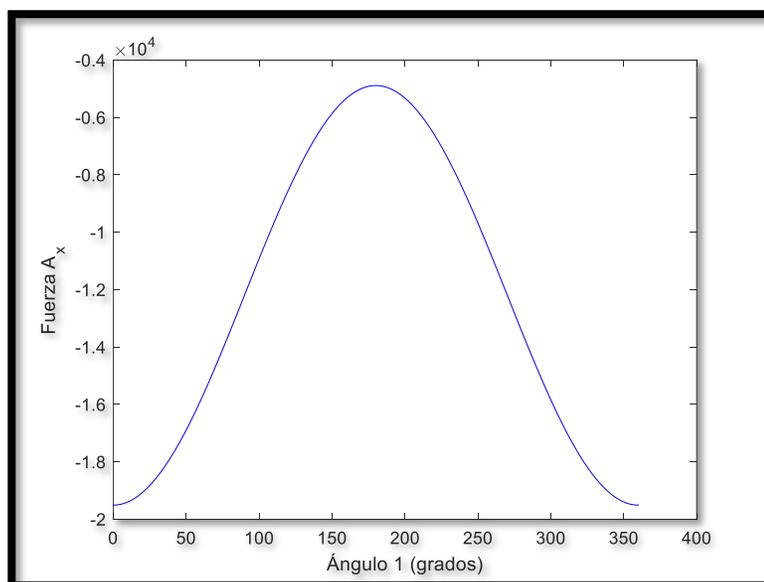


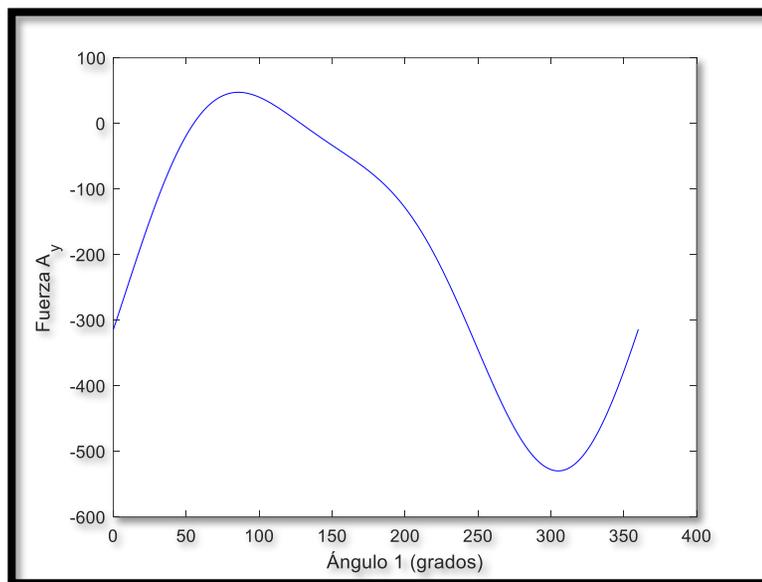
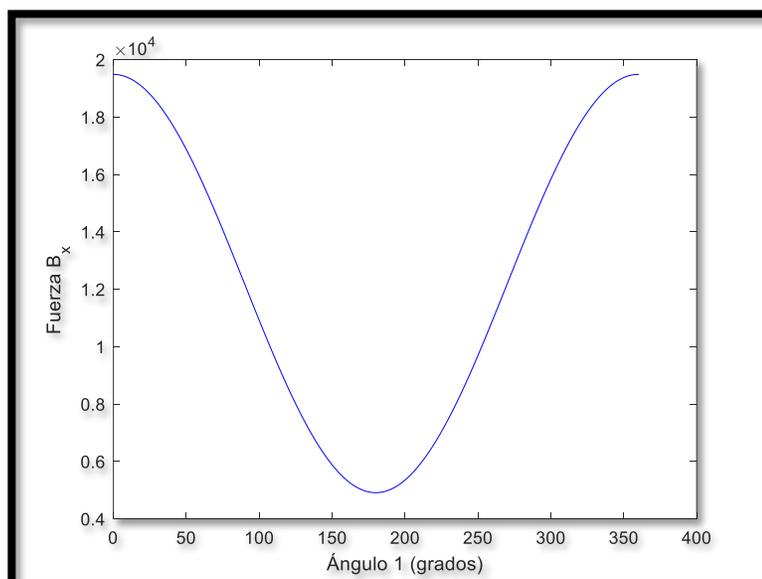
Figura 37*Fuerza Ay vs. ángulo 1***Figura 38***Fuerza Bx vs. ángulo 1*

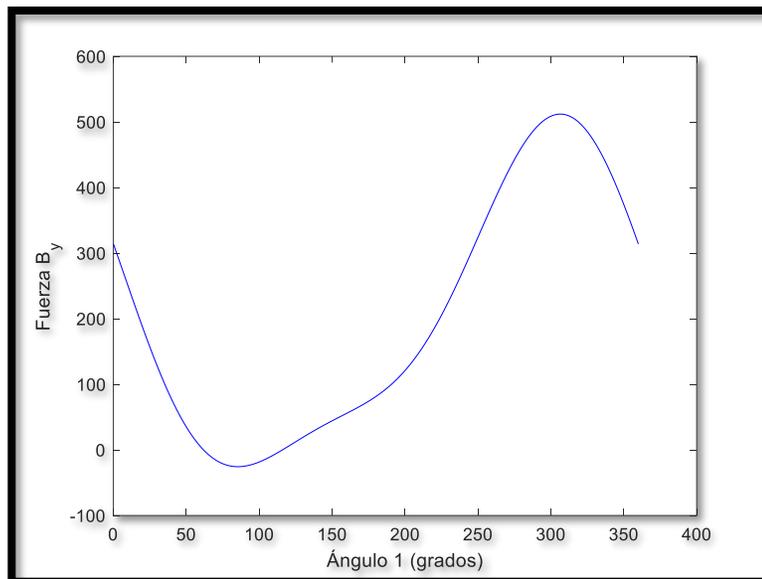
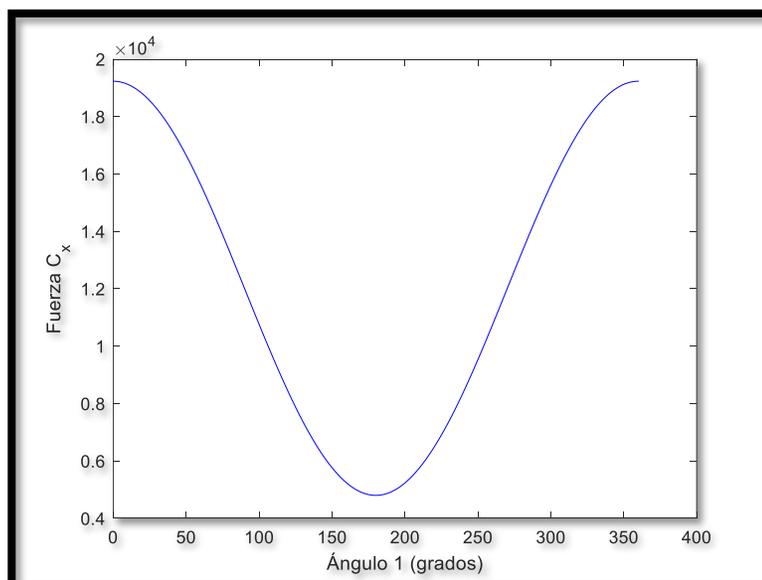
Figura 39*Fuerza B_y vs. ángulo 1***Figura 40***Fuerza C_x vs. ángulo 1*

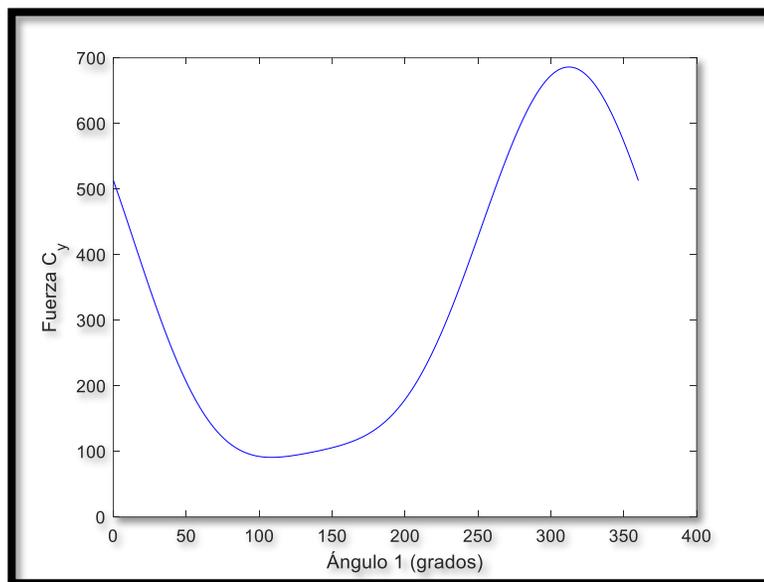
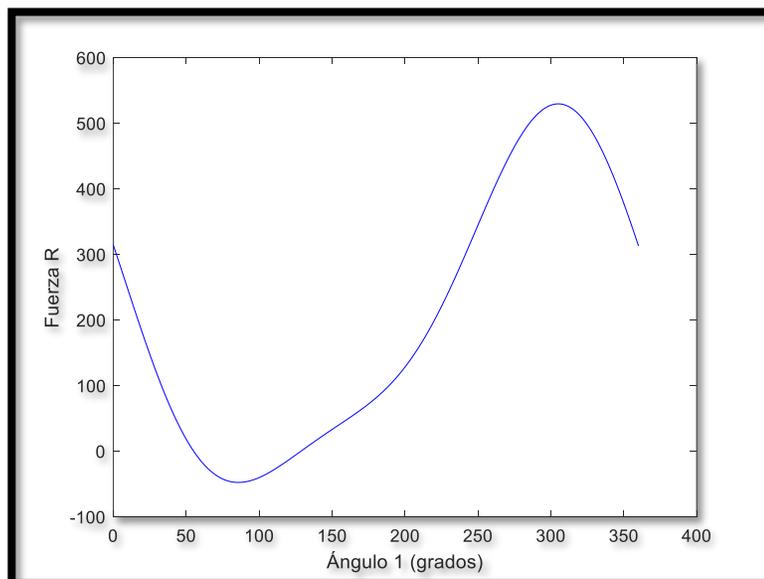
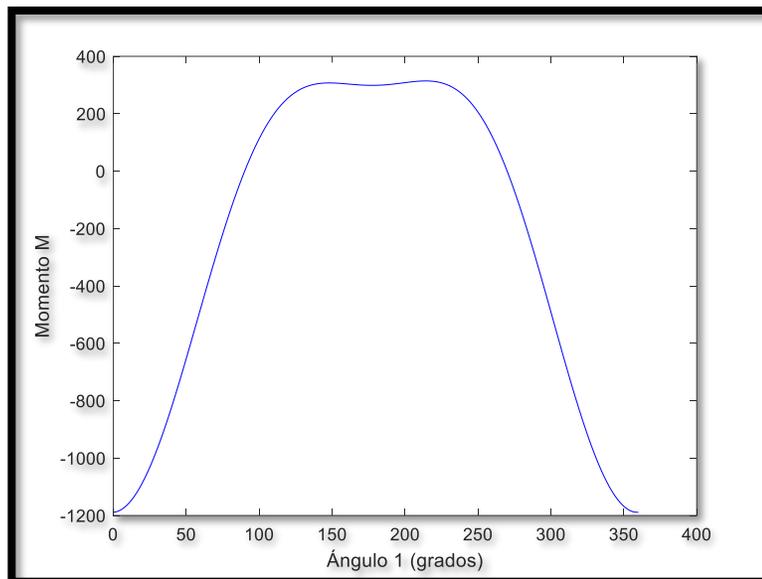
Figura 41*Fuerza C_y vs. ángulo 1***Figura 42***Fuerza R vs. ángulo 1*

Figura 43

Momento M vs. ángulo 1



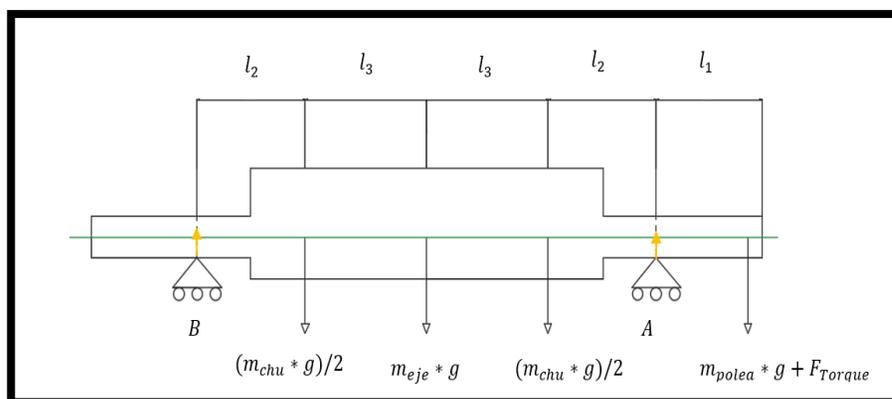
En el análisis de cada una de las partes del sistema vibratorio se implementan las gráficas dinámicas obtenidas.

Eje (Manivela)

La Figura 44 muestra las dimensiones del eje.

Figura 44

Eje de transmisión de movimiento



Usando las fuerzas necesarias se establecen las siguientes relaciones.

$$\sum F_y = 0$$

$$A + B - g * (m_{eje} + m_{chu} + m_{polea}) - F_{Torque} = 0$$

$$A + B = g * (m_{eje} + m_{chu} + m_{polea}) + F_{Torque}$$

$$\sum M_o = 0$$

$$-A * l_1 + (l_1 + l_2) * \left(\frac{m_{chu} * g}{2}\right) + (m_{eje} * g) * (l_1 + l_2 + l_3) + (l_1 + l_2 + 2 * l_3) * \left(\frac{m_{chu} * g}{2}\right) = 0$$

$$-A * l_1 + (l_1 + l_2) * \left(\frac{m_{chu} * g}{2}\right) + (m_{eje} * g) * (l_1 + l_2 + l_3) + (l_1 + l_2 + 2 * l_3) * \left(\frac{m_{chu} * g}{2}\right) = 0$$

$$A * l_1 + B * (2 * l_3 + 2 * l_2 + l_1) = T + g * (m_{chu} + m_{eje}) * (l_1 + l_2 + l_3)$$

Considerando el torque aplicado, que se lo calcula con la relación de RPM y potencia transmitida por el motor eléctrico de esta manera se encuentra la fuerza aplicada por el motor:

$$T = \frac{HP * 716}{RPM}$$

$$T = \frac{0.7375621 * 716}{1680 * 2/3}$$

$$T = 0.47 \text{ kg m} = 4.61 \text{ Nm}$$

Diámetro interno de la polea:

$$d_{int} = 35 \text{ mm}$$

$$F_{Torque} = \frac{T}{d_{int}}$$

$$F_{Torque} = \frac{4.61}{35/1000}$$

$$F_{Torque} = 131.71 \text{ N}$$

Todos estos valores y criterios tomados a consideración se los implementa en el software MDSoldis, el cual refleja las siguientes gráficas.

Figura 45

Distribución de cargas en el eje

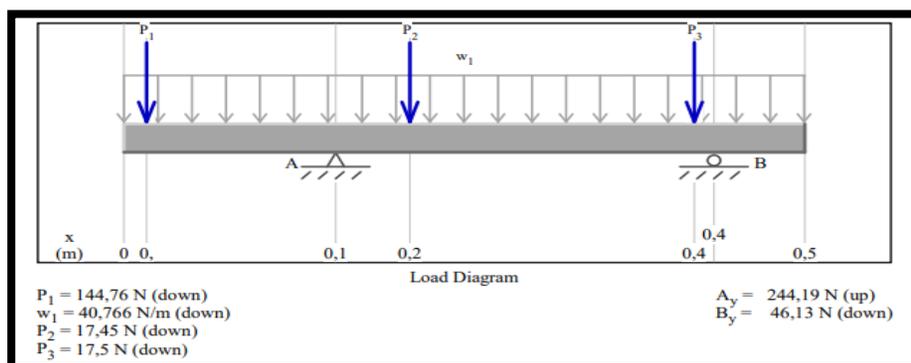
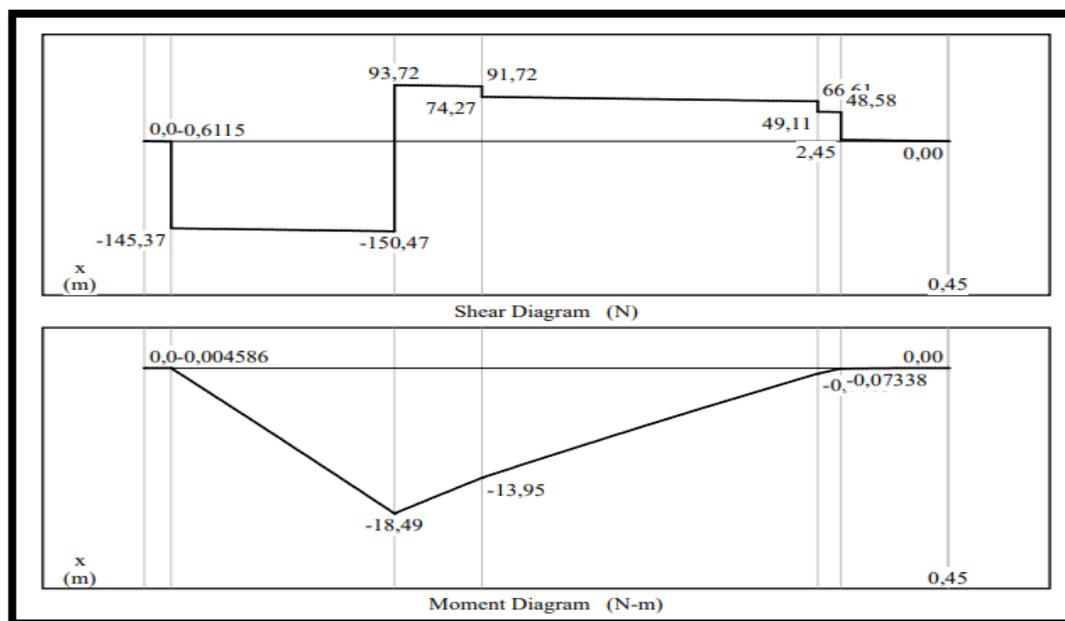


Figura 46

Diagrama de fuerzas y momentos flectores



Tomando la Figura 46 se aplica el criterio de Von Mises:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$M_a = 18,5 \text{ Nm}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3 * \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_x = \frac{4 * M_a}{\pi * r^3} = \frac{23.55}{r^3}$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\tau_{xy} = \frac{2 * T}{\pi * r^3} = \frac{2.93}{r^3}$$

$$\sigma' = \frac{24.1}{r^3}$$

El criterio del valor mínimo del factor de seguridad se considera 1.2.

$$N = 1.2$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Se plantea usar acero ASTM 36, el cual tiene un límite de fluencia de 250 MPa en la Figura 47.

Figura 47

Datos del acero ASTM 60

Tabla A-24
Propiedades mecánicas de tres metales no ferrosos
a) Propiedades típicas del hierro fundido gris
[El sistema de numeración de la American Society for Testing and Materials (ASTM) del hierro fundido gris es tal que los números corresponden a la *resistencia a la tensión mínima* en kpsi. En consecuencia, un hierro fundido núm. 20 ASTM tiene una resistencia a la tensión mínima de 20 kpsi. Observe en particular que las tabulaciones son *típicas* de varias coladas.]

Número ASTM	Resistencia a la tensión	Resistencia a la compresión	Modulo de rotura por cortante	Modulo de elasticidad, Mpsi		Límite de resistencia a la fatiga*	Dureza Brinell	Factor de concentración al esfuerzo a la fatiga
	S_{UT} , kpsi	S_{UC} , kpsi	S_{SU} , kpsi	Tensión†	Torsión	S_e , kpsi	H_B	K_f
20	22	83	26	9.6–14	3.9–5.6	10	156	1.00
25	26	97	32	11.5–14.8	4.6–6.0	11.5	174	1.05
30	31	109	40	13–16.4	5.2–6.6	14	201	1.10
35	36.5	124	48.5	14.5–17.2	5.8–6.9	16	212	1.15
40	42.5	140	57	16–20	6.4–7.8	18.5	235	1.25
50	52.5	164	73	18.8–22.8	7.2–8.0	21.5	262	1.35
60	62.5	187.5	88.5	20.4–23.5	7.8–8.5	24.5	302	1.50

* Piezas pulidas o maquinadas.
† El módulo de elasticidad del hierro fundido en compresión corresponde de manera muy cercana al valor superior en el intervalo dado para tensión y es un valor más constante que el de tensión.

Nota. Tomado de *Diseño en Ingeniería Mecánica* de Shigley, por Budynas (2012).

Por lo tanto:

$$1.2 = \frac{250 * 10^6}{24.1/r^3}$$

$$r = 4.87 \text{ mm} \approx 5$$

Por selección de chumaceras se contempla un diámetro interior de 20 mm el cual da un sobredimensionamiento, que se lo comprueba con la relación del coeficiente de seguridad a continuación:

$$N = \frac{250 * 10^6}{\frac{24.1}{0.01^3}}$$

$$N = 10.37$$

$$N_r = \frac{10.37}{4.87} = 2.13$$

El factor de seguridad es 2.13 veces mayor al solicitado, por lo tanto, cumple con las condiciones de diseño.

Una vez encontrado el diámetro mínimo para la excentricidad se le agrega una separación de 10 mm que servirán para el acople de las chumaceras detalladas a continuación.

Chumaceras

La selección de las chumaceras para la transmisión de movimiento se implementa considerando el apartado del diseño del eje, se requiere tomar los valores de diámetro interno, diámetro externo y fuerza máxima que soporta:

$$\emptyset_{Interno} = 20 \text{ [mm]}$$

$$\emptyset_{Exterior} = 30 \text{ [mm]}$$

$$F_{Maxima} = 150.47 \text{ [N]}$$

Con los datos recogidos se analiza el catálogo (Timken, 2023) aplicando la selección del tipo puente como se ve en Figura 48, debido a su geometría se acoplará a la estructura plana que nos dan los perfiles de acero.

Figura 48

Modelos de chumaceras

Modelo	Superficie del diámetro interior del rodamiento (Fijación del eje)	Modelo Código	Diámetro del eje				Número de página de la tabla de dimensiones	
			>Min.	Max.	>Min.	Max.		
			in		mm			
	Inserción de rodamientos de bola	con bloqueo por tornillos prisioneros	UC	½	4,0	12	140	26,66
		con collarín de bloqueo excéntrico	UEL	½	3,0	12	75	40
		con diámetro interior cónico (manguito de fijación ⁽¹⁾)	UK	¾	3,0	20	80	54
	Soportes tipo puente	con bloqueo por tornillos prisioneros	UCP	½	4,0	12	140	16,58
		con collarín de bloqueo excéntrico	UELP	½	3,0	12	75	30
		con diámetro interior cónico (manguito de fijación ⁽¹⁾)	UKP	¾	3,0	20	80	44

Nota. Tomado de *Catálogo de soportes para rodamientos de bolas de serie U*, por Timken (2023).

En este catálogo se exponen diferentes diámetros de soportes, adquiriendo los datos principales del eje mencionado en los anteriores puntos. Se seleccionan los modelos UCP 204 para el diámetro exterior y UCP 206 para el diámetro interior de la Figura 49.

Figura 49

Selección de chumaceras

Eje Diá. d	Designación del soporte	Referencia del rodamiento	Índices de carga básicos		Dimensiones											Tamaño del perno	Peso	
			Dinámico	Estático	H	L	L ₁	A	H ₁	J	H ₂	S	B	N	N ₁			
			C _r	C _{0r}	mm in	mm in	mm in	mm in	mm in	mm in	mm in	mm in	mm in	mm in	mm in			mm in
12	UCP201	UC201																
1/2	UCP201-8	UC201-8																
15	UCP202	UC202	12,8	6,7	30,2	127	36	38	16	95	60	12,7	31,0	13	18	M10	0,6	
5/8	UCP202-10	UC202-10	2878	1495	1 3/16	5	1 13/32	1 1/2	5/8	3 3/4	2 3/8	0,500	1,220	1/2	2 3/32	3/8	1,3	
17	UCP203	UC203																
3/4	UCP204-12	UC204-12	12,8	6,7	33,3	127	36	38	16	95	65	12,7	31,0	13	18	M10	0,7	
20	UCP204	UC204	2878	1495	1 3/16	5	1 13/32	1 1/2	5/8	3 3/4	2 3/8	0,500	1,220	1/2	2 3/32	3/8	1,5	
3/8	UCP205-14	UC205-14																
15/16	UCP205-15	UC205-15																
25	UCP205	UC205	14	7,85	36,5	140	38	38	16	105	70	14,3	34,1	13	18	M10	0,8	
1	UCP205-16	UC205-16	3147	1765	1 1/8	5 1/2	1 1/2	1 1/2	5/8	4 1/8	2 9/16	0,563	1,343	1/2	2 3/32	3/8	1,8	
1 1/8	UCP206-18	UC206-18																
30	UCP206	UC206	19,5	11,3	42,9	165	48	48	17	121	84	15,9	38,1	17	21	M14	1,3	
1 3/16	UCP206-19	UC206-19	4384	2540	1 11/16	6 1/2	1 7/8	1 7/8	2 1/2	4 3/4	3 3/16	0,626	1,500	2 1/2	1 11/16	1/2	2,9	
1 1/4	UCP206-20	UC206-20																

Nota. Tomado de *Catálogo de soportes para rodamientos de bolas de serie U*, por Timken (2023).

Analizando las cargas a soportar:

$$N_{204} = \frac{F_{Dinámica204}}{F_{Máxima}} = \frac{12800 [N]}{150.47 [N]}$$

$$N_{204} = 85$$

$$N_{206} = \frac{F_{Dinámica206}}{F_{Máxima}} = \frac{19500 [N]}{150.47 [N]}$$

$$N_{206} = 129.6$$

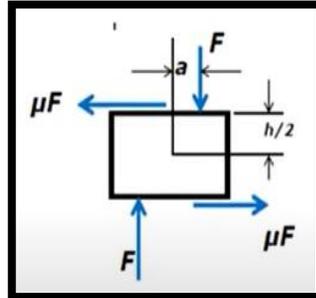
Tanto la Polea UCP 204 y UCP 206 se ven sobredimensionadas. De manera, en el catálogo se establecen cuáles los pernos sugeridos para la sujeción de las chumaceras.

Chaveta

Para el cálculo de la chaveta requerida se usa el diagrama de la Figura 50.

Figura 50

Diagrama de Fuerzas de la chaveta



La fuerza F genera esfuerzos de aplastamiento sobre la cara superior e inferior de la chaveta, mientras que la fuerza de fricción μF genera esfuerzos de corte mucho menores a la magnitud de los de aplastamiento, por ende, es despreciable para el diseño:

$$\sigma = \frac{F}{A_a} \leq \frac{S_y}{\varphi}$$

$$F = \frac{T}{1.14 * u * d}$$

$$\frac{T}{1.14 * u * d * l * b} \leq \frac{S_y}{\varphi}$$

Donde:

A_a Área de aplastamiento.

F Fuerza obtenida por el torque.

T Torque obtenido.

u Coeficiente de fricción.

b Ancho de la chaveta.

d Diámetro del eje

l Longitud de la chaveta.

h Altura de la chaveta.

$$\varphi = \frac{l * 1.14 * u * S_y * d * b}{T}$$

Las dos chavetas se van a usar con el material ASTM 36 y una longitud de 30 mm provisionadas por la empresa SERMEC, tomando los datos de la Figura 47.

$$S_y = 88.5 [kpsi] = 610.18 [MPa]$$

$$T = 4.61 [Nm]$$

$$l = 30 [mm] = 0.03$$

$$u = 0.15$$

Eje conducido:

$$b_{conducido} = 6 [mm] = 0.006 [m]$$

$$h_{conducido} = 6 [mm] = 0.006 [m]$$

$$\varphi_{conducido} = 24.44$$

Eje conductor:

$$b_{conductor} = 5 [mm] = 0.005 [m]$$

$$h_{conductor} = 5 [mm] = 0.005 [m]$$

$$\varphi_{conductor} = 16.97$$

Se demuestra que las dos chavetas poseen un valor de coeficiente de seguridad mucho mayor al 1.2 propuesto.

Eslabón Conductor (Manivela)

El análisis para el desarrollo del eslabón conductor parten de las Figuras: 38, 39, 40 y 41. Donde se muestran las cargas implementadas en los ejes x,y del eslabón conductor, debido a sus valores y a la sección transversal que existe para el eje x se desprecia los esfuerzos flectores y solo se considera las fuerzas que generan tracción en el equipo tomando las fuerzas $B_x = 1.95 * 10^4 [N]$ y $C_x = 0.425 * 10^4 [N]$.

$$F_x = (1.95 + 0.425) * 10^4 [N]$$

$$F_x = 23750 [N]$$

Siendo esta fuerza la máxima en el eje x, considerando que el material a usar para este conductor será MDF el valor de la resistencia del material es de 17.64 MPa según (Martínez, Calil, & Juliano, 2002) .

$$N_{conductor} \geq 1.2$$

$A_{conductor}$ Área transversal del conductor.

$$A_{conductor} = b_{conductor} * e_{conductor}$$

$$b_{conductor} = 150 [mm]$$

$e_{conductor}$ Espesor del conductor

$$\sigma' = \frac{F_x}{A_{conductor}}$$

$$\sigma' = \frac{F_x}{b_{conductor} * e_{conductor}}$$

$$N_{conductor} = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Remplazando tenemos:

$$N_{conductor} = \frac{S_y * b_{conductor} * e_{conductor}}{F_x}$$

$$e_{conductor} = \frac{N_{conductor} * F_x}{S_y * b_{conductor}}$$

$$e_{conductor} = \frac{1.2 * 23750}{17.64 * 10^6 * 0.15}$$

$$e_{conductor} = 0.01[m] = 10 [mm]$$

Por facilidad se emplea una plancha de MDF de 20 mm.

$$N_{conductor} = \frac{17.64 * 10^6 * 0.15 * 0.02}{23750}$$

$$N_{conductor} = 2.22$$

Selección de Banda

Potencia transmitida (P_c):

$$P_c = P * K$$

Donde:

P potencia del motor

K es el factor de servicio según las características de servicio y el motor se usa el valor de 1,3

visto en:

Figura 52

Factor de servicio

Ejemplos de máquinas de trabajo	Ejemplos de máquinas motrices					
	Factor de carga c_2 para funcionamiento diario (horas)			Factor de carga c_2 para funcionamiento diario (horas)		
	hasta 10	más de 10 hasta 16	más de 16	hasta 10	más de 10 hasta 16	más de 16
Transmisiones ligeras Bombas centrífugas y compresores, cintas transportadoras (para material ligero), ventiladores y bombas hasta 7,5 kW	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Transmisiones medias Cizallas, prensas, transportadoras de cadenas y de cinta (para material pesado), tamices vibratorios, generadores y dinamos, amasadoras, máquinas herramienta (tornos y esmeriladoras), lavadoras, impresoras, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Transmisiones pesadas Molinos, compresores de pistón, transportadoras de carga pesada, expulsos (transportadoras helicoidales, de placas, de cangilones, de palas), ascensores, prensas de ladrillos, maquinaria textil, maquinaria de elaboración de papel, bombas de pistones, bombas draga, sierras alternativas, molinos de martillos.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Transmisiones muy pesadas Molinos de carga pesada, trituradoras de piedra, calandrias, mezcladoras, tornos, grúas, dragas, maquinaria pesada para la madera.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Nota. Tomado de *Cálculo de transmisión*, por RODAUIGO, S.A. (2006).

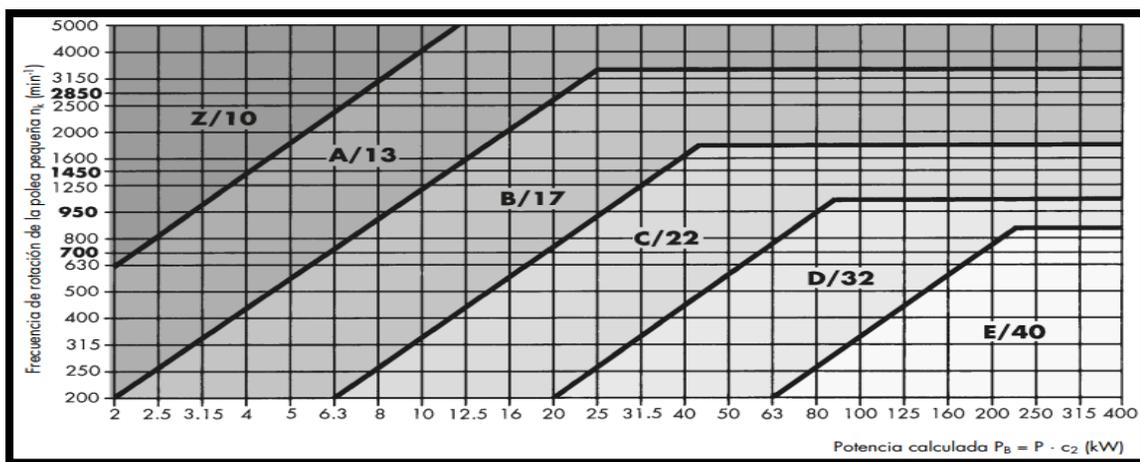
$$P_c = 0.55[kW] * 1.3$$

$$P_c = 0.72 \text{ [kW]}$$

Debido a que la transmisión de potencia no es tan significativa para considerar una relación según la Figura 53.

Figura 53

Selección de banda



Nota. Tomado de *Cálculo de transmisión*, por RODAUIGO, S.A. (2006).

Por la geometría de las chumaceras seleccionadas se usarán bandas en V de tipo A, ya que son las más comerciales en el mercado, la selección con base a la geometría disponible.

Longitud aproximada de la correa.

$$L_{ac} = 2 * DEC + 1.57 * (D_{conducido} + D_{conductor}) + \frac{(D_{conducido} + D_{conductor})^2}{4 * DEC}$$

$D_{conducido}$ Diámetro de la polea conducida.

$D_{conductor}$ Diámetro de la polea conductora

DEC Distancia entre centros 430 mm, es planteada por los espacios del equipo.

$$L_{ac} = 2 * 430 + 1.57 * (35 + 50) + \frac{(35 + 50)^2}{4 * 430}$$

$$L_{ac} = 997.65 \text{ [mm]}$$

Con los valores de los obtenidos se selecciona la banda A-39 con las características de la Tabla

12.

Tabla 12

Características de la banda A-39

Características	
Peso	0,122 kg
Longitud externa	1040 mm
Longitud Interna	1000 mm

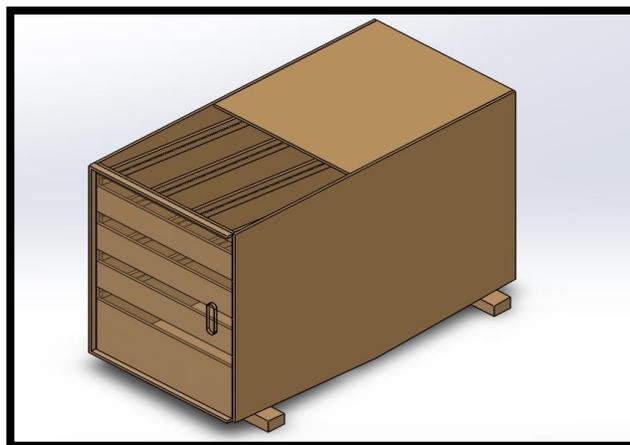
Nota. Tomado de CATAPTV20, por Gates, 2020.

Soporte para clasificación.

La estructura que soporta las zarandas de clasificación se observa en la Figura 54, donde se determina que los puntos más críticos son las caras laterales que soportan el peso con las zarandas y el material de alrededor de 100 kg por lado.

Figura 54

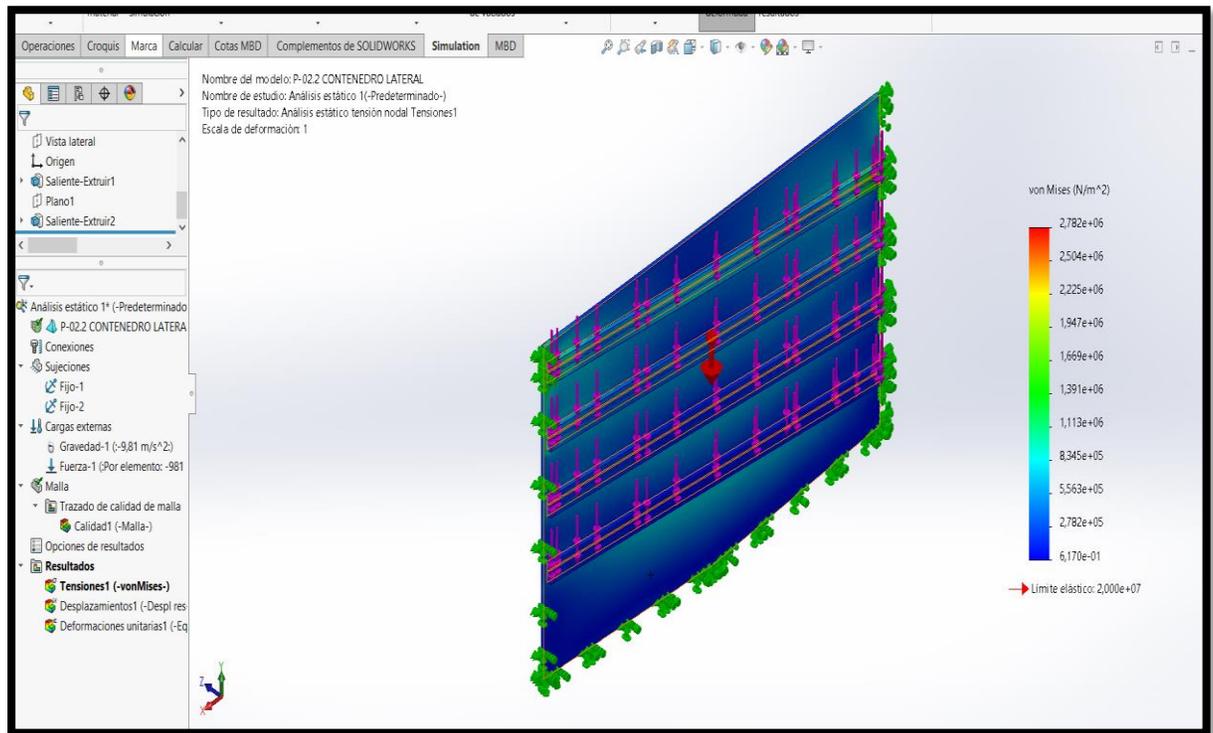
Soporte de zarandas



Se realiza la simulación de los esfuerzos presentes en las caras laterales visto en la Figura 54 a continuación:

Figura 55

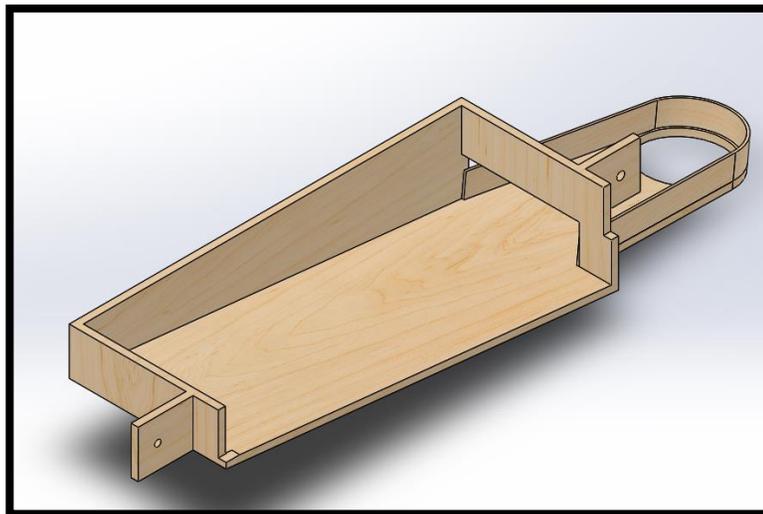
Simulación CAE de esfuerzos en los laterales



A partir de la simulación no se tiene ningún esfuerzo que sobrepase el valor de $2.728e + 06 N/m^2$ por lo tanto se confirma que la estructura soporta con las cargas aplicadas y las uniones que esta tendrá también lo hacen.

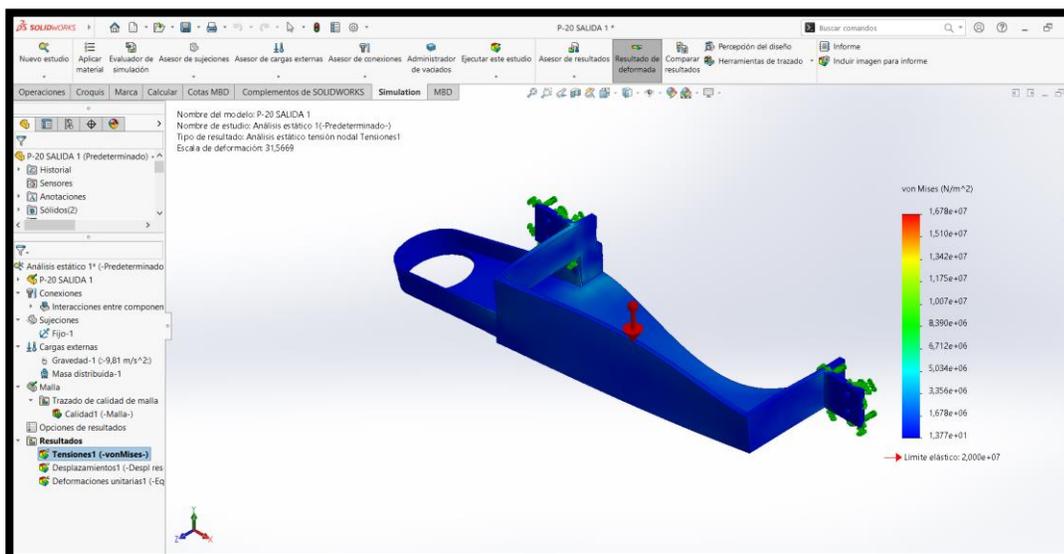
Bandeja de salida

Se plantea el diseño de la Figura 56, en donde este sistema va a ser sometido a cargas por toda el área de contacto, de alrededor de 50 kg cuando la capacidad de la máquina este cargada de material lo cual no es recomendable.

Figura 56*Bandeja de salida*

Con los datos que van a ser sometidos en la bandeja de salida se procede a realizar la simulación

CAD de la Figura 57.

Figura 57*Simulación de la bandeja de salida*

No se observan cargas superiores al límite elástico de $2 e + 07 N/m^2$, por lo tanto, la bandeja de salida es funcional.

Tolva de ingreso.

En la Figura 58 se aprecia el diseño de la tolva de ingreso a la cual se debe distribuir el peso de quintal de maíz.

Figura 58

Tolva de ingreso

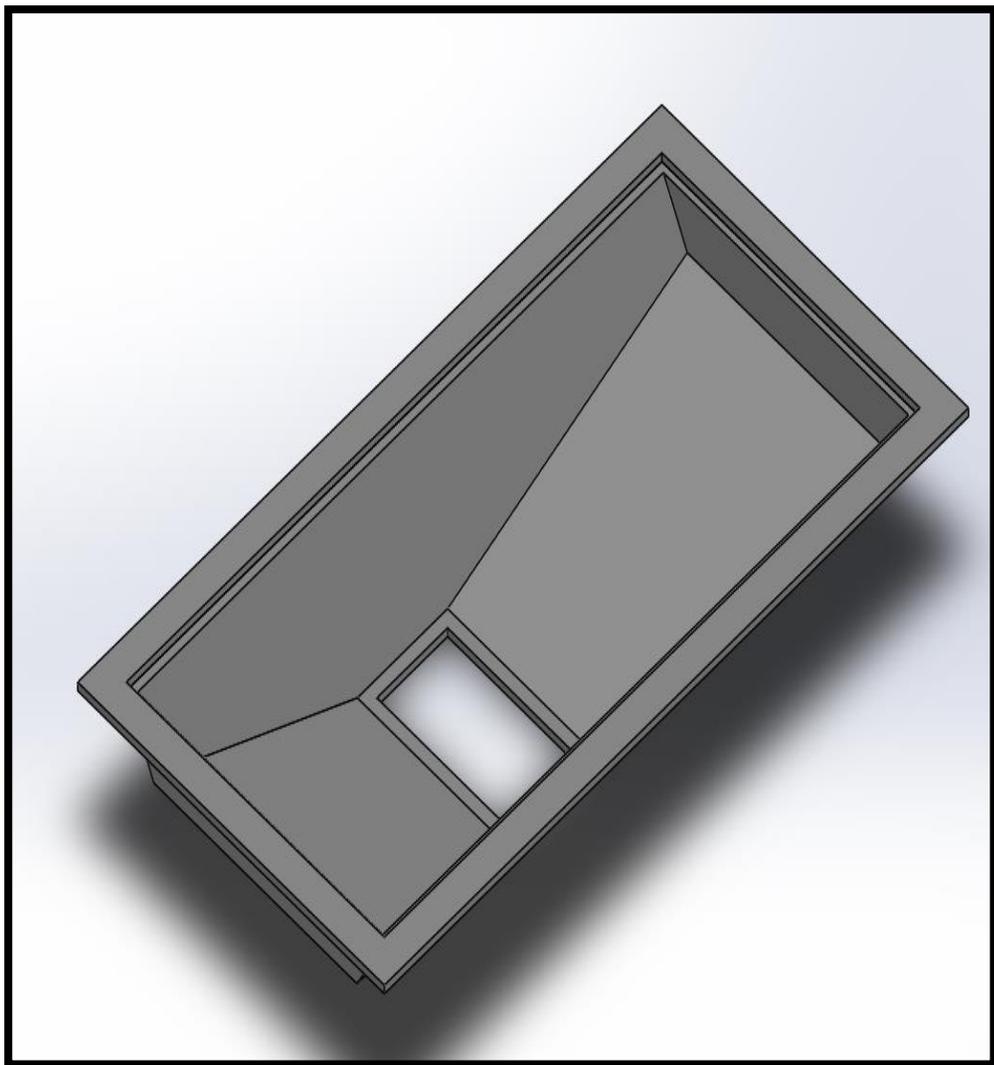
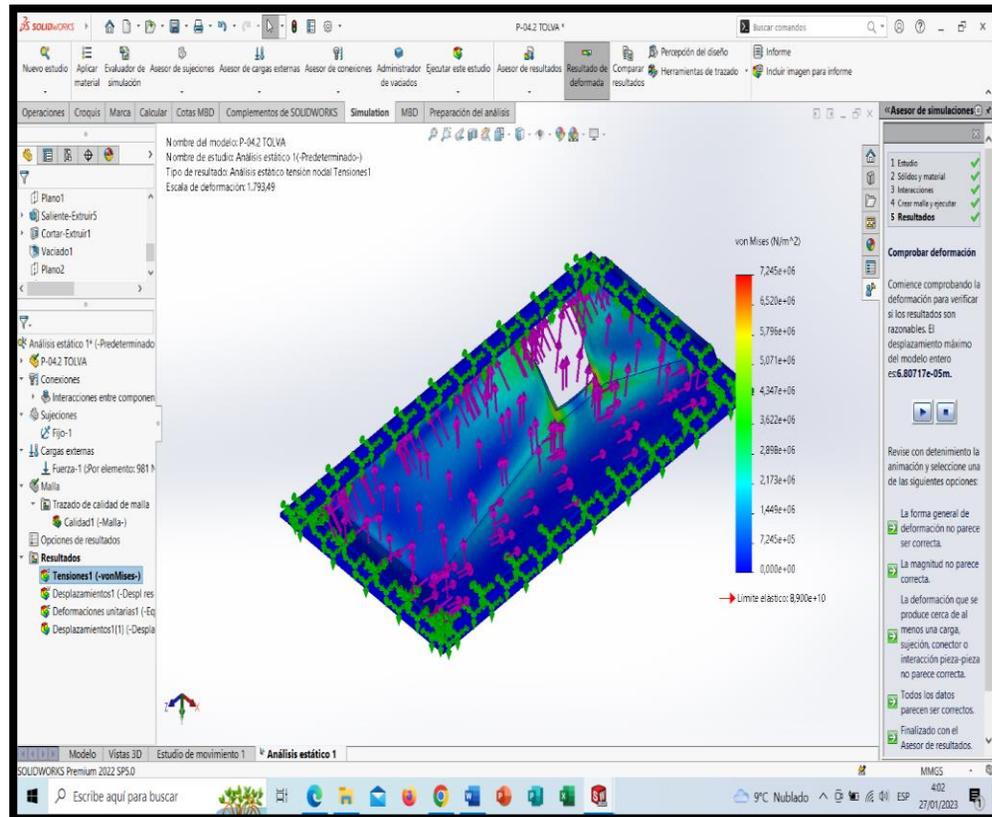


Figura 59

Simulación de cargas tolva de ingreso



Al igual que las anteriores simulaciones esta no sobrepasa el límite de elástico de $8.9 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, ni si quiera se toman valores mayores al 60% de dicha carga, dando como resultado un equipo funcional.

Ruedas

La selección de ruedas se la realiza con base al peso máximo de la estructura, la cual no sobrepasa a 300kg con carga, también se analiza el equipo de soporte de zarandas que no sobrepasa los 150 kg con carga, usando estos criterios se solicita al proveedor ruedas que soporten 100 kg ya que estos pesos son distribuidos en 4 ruedas cada uno, el cual nos brinda la información de la rueda de la Figura 60.

Figura 60

Ruedas para transmisión de movimiento

www.imsa-colson.com	<p>ROD-3-PG-023-E 1/2-FTO/BP-7/16-PL-GR-TZ</p> <p>Código IMSA: 7018460</p>	
		<p>Características:</p> <p>Rodachinas ensambladas con un tenedor de acero de grueso calibre, acabado galvanizado, doble pista de rodamientos y rueda de poliuretano gris. Disponibles fijas y giratorias, con o sin freno total.</p> <p>Usos:</p> <p>Especiales para transporte de carga intermedia. Excelente capacidad de carga para su tamaño. Ideal para ser usada en la industria y en los hospitales, carros de lavandería y hoteles.</p>
	<p> Material de la banda: POLIURETANO ELASTOMERICO.</p> <p> Dureza de la banda: 90 +/- 5 SHORE A</p> <p> Superficie de la banda: Semiredonda</p> <p> Capacidad de carga: 100 Kg</p> <p> Rodamiento: BALINERA DE PRECISIÓN</p> <p> Protección de piso: Media</p>	

Nota. Tomado de ROD-3-PG-023-E 1/2-FTO/BP-7/16-PL-GR-TZ, por IMSA (2022).

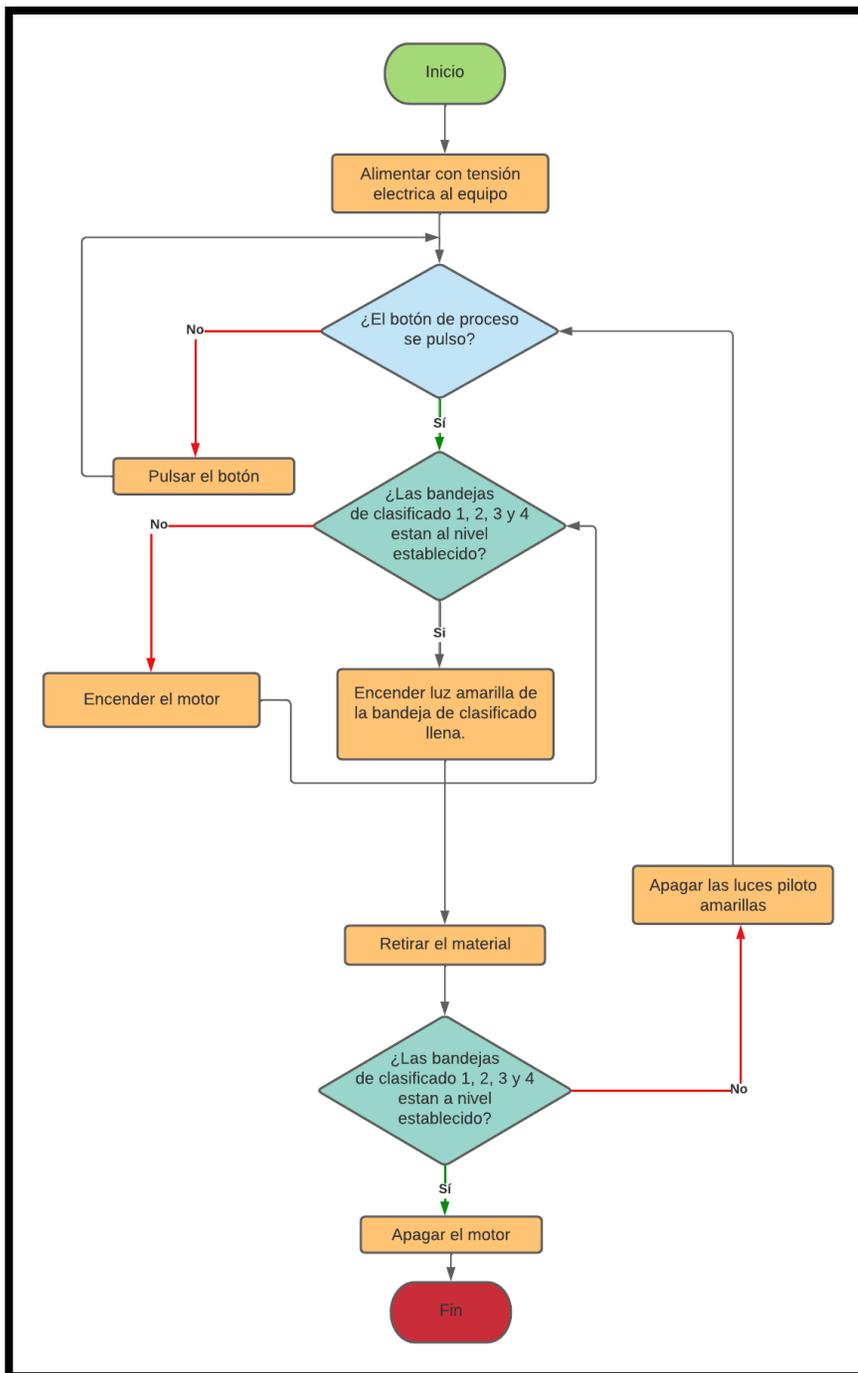
Control

Lógica de control.

El control del sistema eléctrico se basa en el diagrama de flujo Figura 61.

Figura 61

Diagrama de flujo lógica de control



Interfaz del tablero de control

En el tablero de control se requiere distribuir los elementos de accionamiento, paro o reinicio del proceso he indicadores luminosos de los diferentes estados.

Elementos de accionamiento:

Encendido. - Interruptor que da paso a la alimentación eléctrica del tablero de control.

Reinicio (Reset). - Es un pulsador normalmente cerrado que permite el inicio del proceso siempre y cuando cumpla las siguientes condiciones:

- Interruptor encendido, en posición ON.
- Paro de seguridad OFF.
- Sensores de nivel apagados.
- Sensor de nivel en tolva encendido.

Emergencia (Paro). - Pulsador de tipo hongo normalmente cerrado con enclavamiento, suspende la alimentación eléctrica en caso de ser requerido.

Luz piloto verde (Proceso). – Su estado de encendido muestra que el equipo se encuentra clasificando el material.

Luz piloto rojo (Paro). – Cuando se encuentra encendido muestra que el equipo no está clasificando el material por cualquiera de los siguientes motivos:

- Los niveles están llenos.
- La tolva se encuentra vacía.
- El pulsador de emergencia se encuentra enclavado.

Luz piloto amarilla (Nivel). – Cuando una de estas luces se encuentra encendida, se identifica que el nivel de los 4 contenedores de granos clasificados se encuentra llenos y el proceso se para.

En la Figura 62 se detalla la distribución de la interfaz del tablero, dividiéndola en 3 filas.

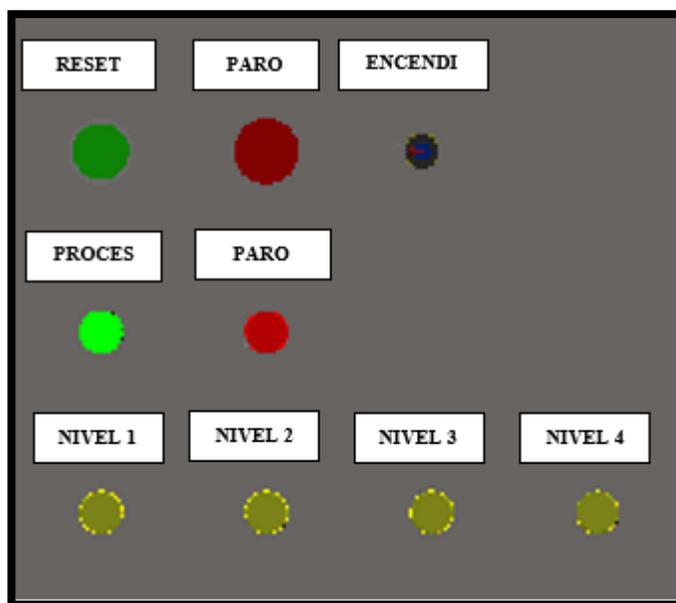
Primera fila. – Interruptores y pulsadores.

Segunda fila. – Estado del proceso.

Tercera fila. – Indicadores de nivel.

Figura 62

Distribución del tablero



En esta composición y conjunto de colores conforme a la guía GEDIS se establece una fácil comprensión del proceso de clasificación y manejo.

Capítulo IV. Discusión de resultados

Análisis mecánico

Evaluando los diseños realizados por (Espinosa Mendoza & Varela Rosero, 2019) Figura 1 y (Victoria Geovanny, 2015) Figura 2, se tiene como base común un sistema de clasificación con la implementación de moto vibradores, lo cual, es un indicador clave en el diseño propuesto que implementa un mecanismo de manivela, biela corredera para la clasificación del maíz seco. Este es desarrollado con elementos encontrados en el mercado nacional, permitiendo la vibración necesaria para clasificar alrededor de 15 kg por minuto, superando por 5 kg al propuesto por la empresa SERMEC. Por lo cual, posee un 50% más de capacidad que la requerida por la empresa.

Análisis de control

En el proyecto presentado, se encuentra una ventaja de un sistema de recolección de material, el cual, tiene un control a la salida. Esto es posible gracias a la comunicación I2C maestro esclavo que se presenta en el desarrollo de la tesis, que permitirá la conexión con diferentes equipos o a su vez ampliar el mismo para la toma de diversos controles o procesos en el área agroindustrial. La interfaz operador-máquina es la óptima, debido a que este tipo de usuario tiene una gran resistencia a la implementación de nuevas tecnologías por la complejidad que resulta de operar maquinarias automatizadas.

Análisis de clasificación

De 3 muestras de 20 granos, cada una por grado de clasificación, se obtienen los resultados de la Tabla 13. Se establecen los promedios en la Tabla 14, para posteriormente analizarlos en la Tabla 15 .

Tabla 13*Adquisición de datos*

Muestra 1 mm	Inferior	Superior	Rango
Grado 1	8	8,5	0,5
Grado 2	8,6	9,3	0,7
Grado 3	9,6	11	1,4
Grado 4	13,3	22	8,7
Muestra 2 mm	Inferior	Superior	Rango
Grado 1	7,8	8,4	0,6
Grado 2	8,5	9,5	1
Grado 3	9,9	11,2	1,3
Grado 4	13	23	10
Muestra 3 mm	Inferior	Superior	Rango
Grado 1	8,1	8,7	0,6
Grado 2	8,7	9,4	0,7
Grado 3	9,5	11	1,5
Grado 4	13,1	20	6,9

Tabla 14*Resumen de datos*

Promedios mm			
Resultados	Inferior	Superior	Rango
Grado 1	7,97	8,53	0,57
Grado 2	8,60	9,40	0,80
Grado 3	9,67	11,07	1,40
Grado 4	13,13	21,67	8,53

Tabla 15

Porcentaje de error

	Inferior propuesto	Inferior real	% Error	Superior propuesto	Superior real	% error	Rango propuesto	Rango real	% Error
Grado									
1	N/A	N/A	N/A	8,5	8,53	0,35%	N/A	N/A	N/A
Grado									
2	8,5	8,6	1,16%	9,5	9,4	1,05%	1	0,8	20,00%
Grado									
3	9,5	9,67	1,76%	12	11,07	7,75%	2,5	1,4	44,00%
Grado									
4	13	13,13	0,99%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

La interpretación de los datos obtenidos para cada grano son los siguientes:

Grado 1

El rango, así como límite inferior, son irrelevantes, ya que no se han establecido valores para estos criterios. Sin embargo, el límite superior propone un valor del 0.35% de error. Dicho valor es bajo y no representa ninguna complicación significativa en el proceso.

Grado 2

El límite inferior y superior poseen un error de 1.16% y 1.05%. Dicho valor es bajo y no representa ninguna magnitud relevante a la clasificación de los granos en este grado. Por otra parte, analizando el rango se entiende que la variación entre granos es de alrededor de un 20%.

Grado 3

A medida que suben los grados, se encuentra mayores porcentajes de error, los cuales, son de 1.76% para el límite inferior y 7.75% del límite superior. Esto brinda una correlación entre el grano más grande el tamaño del grano, el margen de error aumenta hasta un 44%.

Grado 4

En el grado 4 el valor superior es intrascendente, al igual que el rango propuesto, por lo tanto, se analiza el límite inferior real que posee un error de 0.99%. Esta magnitud no genera ningún inconveniente para el proceso de clasificación.

La construcción del equipo se realiza a partir de los cálculos visualizados en la metodología. Estos mostraron los materiales óptimos y disponibles en el mercado para su construcción siendo los seleccionados una combinación de MDF y acero ASTM A36, dichos materiales garantizarán una alta durabilidad. Para el proceso de fabricación se toma en cuenta 4 pilares en la clasificadora de granos.

Estructura base.

Esta es ensamblada a partir de perfiles de acero A36 unidos mediante una soldadura SMAW con electrodo 6011, dando como resultado una estructura base robusta observada en la Figura 63.

Figura 63

Estructura base



Sistema de clasificación

En la mayoría de los cálculos expuestos se presenta el uso de MDF para el sistema de clasificación. Dicho sistema consta de un contenedor rectangular con guías en donde van montadas las planchas perforadas. De igual manera, consta con el mecanismo biela, manivela corredera que permitirá la transmisión de movimiento por parte del motor. Finalmente, se le acoplarán las cribas emitidas con los diámetros facilitados por la empresa SERMEC.

Figura 64

Sistema de clasificación



Sistema de salida

El sistema de salida es el conjunto de las bandejas de recolección y los cubículos de recepción. Estos constan con fines de carrera que alertan al sistema de la presencia de grano de maíz al nivel requerido. De igual forma, permite un control de manejo de producto que, a la vez, evita que el grano

pueda tener contaminación, se maltrate o rompa si este llegase a caer en el piso. La manufactura de estos componentes diseñados se visualiza en la Figura 65.

Figura 65

Subsistema de salida



Sistema de control

El sistema de control integra a la salida del material con el sistema de clasificación. Este acciona el motor y es el encargado de recibir y emitir las señales de alarma al operador de manera clara y precisa; que, a su vez, brinda una fácil interpretación de sus comandos por la interfaz operador-máquina desarrollada. Ninguna máquina expuesta en la literatura establece un control del grano a la salida, y es una de las principales características que tiene esta máquina a comparación de las existentes en el

mercado. Se puede observar en la Figura 66 el tablero de control desarrollado para la integración de las salidas con la clasificación.

Figura 66

Tablero de control



Ensamblaje

El ensamblaje es rápido y sencillo debido al sistema modular que posee. Todos los componentes se sujetan a la estructura base mediante pernos M10 para el motor y las chumaceras, M6 para las salidas del material con sus respectivas tuercas, concluyendo de esta manera que el montaje y desmontaje de la clasificadora de granos sea conforme lo solicitado por la empresa SERMEC. El conjunto del equipo armado y funcional se ve en la Figura 67.

Figura 67*Ensamblaje*

Conclusiones

Se diseñó, construyó y controló una máquina clasificadora de granos. Esta máquina cumple a cabalidad con los parámetros solicitados por la empresa SERMEC, en donde se puede resaltar la capacidad de clasificación de alrededor de 15 kg por minuto de producto. A su vez, se comprueba de manera analítica, he implementado simulaciones, que la estructura mecánica posee un coeficiente de seguridad mínimo de 2. Sus dimensiones no superan los 8 metros cúbicos, cumpliendo así las métricas establecidas por la empresa. Por otra parte, debido a la inquietud de la empresa sobre la unión de un sistema automatizado para cargar el material de manera continua, la tolva de recepción no fue elaborada físicamente, aunque en el diseño y planos se encuentran dimensiones y el material fue seleccionado, se justifica de manera teórica con una simulación, dando como resultado un sistema adecuado de recepción del producto.

La máquina permite una trazabilidad debido al sistema de control que posee, ya que al tener un sistema que permita automatizar los recipientes en los cuales los productos van a ser monitoreados, con la ayuda de registros llevados por el personal operativo de la máquina se transforma en un proceso productivo controlado como lo manifiestan las BPM del sector alimenticio. A su vez, el protocolo de comunicación maestro-esclavo I2C permite la fácil integración de otros módulos de control que desembocan en una mayor supervisión del producto.

Los valores reales máximos y mínimos de longitudes de granos para la clasificación no superan el 8%, es decir, que se tiene un proceso productivo en el cual la eficiencia de separación del grano de maíz es del 92%, un valor alto, y que cumple con los estándares de calidad que requiere la empresa SERMEC para los procesos productivos.

Recomendaciones

El diseño de la máquina soluciona adecuadamente los requerimientos solicitados por la empresa SERMEC, sin embargo, se visualiza que los espesores de la estructura pueden ser menores. Por ende, si se busca la fabricación en masa de estos equipos se debe rediseñar y seleccionar perfiles de acero diferentes, ya que en el desarrollo del trabajo se utilizó los disponibles en el mercado.

Se recomienda realizar evaluaciones con las dimensiones de la maquinaria realizada, pero con el cambio de mecanismo transmisor de movimiento que implemente moto vibradores y ya no un sistema de vibración manivela, biela corredera, el cual es ampliamente utilizado por varios autores.

El sistema de control dentro del proyecto cumple con su objetivo principal de controlar las salidas del material, a pesar de ello, se tiene la problemática de una amplia cantidad de cables en el equipo que llegan al tablero de control. Por lo tanto, se sugiere implementar una etapa de control a la salida con comunicaciones inalámbricas como bluetooth e internet para evitar la acumulación de cables.

La máquina clasificadora de granos de maíz se desarrolló conforme al presupuesto dado por la empresa SERMEC, por lo cual, para abaratar costos se optó por sistemas de control económicos. Con esta premisa, se plantea que el control de las salidas puede implementarse de mejor forma por medio de galgas extensiométricas ya que serían las adecuadas para el cumplimiento de las BPM. En este sentido, permitirá almacenar los valores reales del peso obtenido en los contenedores ubicados a la salida del producto y no un estimado volumétrico dado por la detección del material.

Bibliografía

Acesco. (Septiembre de 2022). *Ficha técnica MetalTub*.

<https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-metaltub.pdf>

Amagandi Aguilar, J. W., & Lamiña Maygua, F. R. (2013). *Diseño y construcción de una máquina*

clasificadora de maíz partido [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

Archivo digital. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2699/1/15T00538.pdf>

Analuza Nauzam, A. A. (Octubre de 2020). *Análisis de fallas en el proceso productivo de harina de trigo*

mediante herramientas de control de calidad en la empresa "Molinos Miraglores S.A." [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Archivo digital.

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31504/1/t1726id.pdf>

Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánico de Shigley*. Mc Graw Hill.

Electrosón Galicia. (Mayo de 2022). *Finder - Relé Industrial 4 Contactos 110V*.

<https://www.electroson.com/producto/finder-rele-industrial-4-contactos-110v/5534110VAC>

Espinosa Mendoza, A. E., & Varela Rosero, E. F. (Julio de 2019). *Rediseño y simulación de una tamizadora*

de granos de café para la planta de empaquetado de la Asociación Río Intag [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Archivo digital.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17596/1/UPS%20-%20ST004175.pdf>

Fiallo Iturralde, J. I. (10 de Diciembre de 2017). *Importancia del sector agrícola en una economía*

dolarizada [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. Archivo digital.

<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6807/1/134856.pdf>

Flores, O., Morales, W., León, D., & Rebollar, M. (01 de Enero de 2018). *Diseño y fabricación de máquina*

para optimizar los procesos de desgrane y selección de granos de maíz. Prospectiva

Universitaria, 15(1), 4.

<https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/855/1070>

Gates. (2020). *Catálogo de transmisión de potencia de banda en V de Gates*.

<https://www.gates.com.mx/pdf/CATALOGO%20DE%20TRANSMISION%20DE%20POTENCIA%20BANDA%20EN%20V%20GATES.pdf>

Guerra Carmenate, J. (Mayo de 2016). *Comunicación I2C con Arduino lo mejor de dos mundos*.

<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/comunicacion-i2c-con-arduino/>

Imbachí Gómez, D. L. (Agosto de 2019). *Diseño de una máquina clasificadora de café por tamaño* [Tesis de pregrado, Universidad de Popayán]. Archivo digital.

<http://unividadafup.edu.co/repositorio/files/original/c784b0590b880b2e8a7455024a643d77.pdf>

Importaciones. (13 de agosto de 2018). *Clasificadora de granos*.

<http://larevista.aqpsoluciones.com/2018/08/13/clasificadora-de-granos/>

IMSA. (Noviembre de 2022). *ROD-3-PG-023-E 1/2-FTO/BP-7/16-PL-GR-TZ*.

<http://americanrr.com/wp-content/uploads/2018/07/Catalogo-Ruedas-IMSA.pdf>

Ingeniería Mecafenix. (2021). *Final de carrera*. <https://www.ingmecafenix.com/electronica/final-de-carrera/>

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2014). *Trigo*.

<http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rtrigo>

Julbrex Aldrin, R. T. (2020). *Diseño de máquina desgranadora y clasificadora de granos secos de maíz amiláceo con capacidad de 500 kg/h para el Valle del Mantaro* [Tesis de pregrado, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica]. Archivo digital.

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8214/3/IV_FIN_111_TI_Ricaldi_Torres_2020.pdf

Latacunga. (2016). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Latacunga 2016-2028*.

https://www.latacunga.gob.ec/images/pdf/PDyOT/PDyOT_Latacunga_2016-2028.pdf

López Gómez, V. G. (2015). *Diseño y simulación de una máquina clasificadora vibratoria de granos de maíz según el tamaño* [Tesis de pregrado, Universidad Politecnica Salesiana]. Archivo digital.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7518/6/UPS-KT00888.pdf>

Machine, T. v. (2022). *Alibaba.com*. [https://spanish.alibaba.com/p-detail/TCN-](https://spanish.alibaba.com/p-detail/TCN-60838429029.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.5db82380PSqfku)

[60838429029.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.5db82380PSqfku](https://spanish.alibaba.com/p-detail/TCN-60838429029.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.5db82380PSqfku)

Martínez, M., Calil, C., & Juliano, F. (2002). Resistencia mecánica de los tableros de densidad media parte 1: Resistencia a la tracción paralela a la superficie *Scielo*, 2.

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2002000200008#:~:text=Finalmente%20concluimos%2C%20que%20para%20establecer,las%20dimensiones%20del%20material%20ensayado.)

[221X2002000200008#:~:text=Finalmente%20concluimos%2C%20que%20para%20establecer,las%20dimensiones%20del%20material%20ensayado.](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2002000200008#:~:text=Finalmente%20concluimos%2C%20que%20para%20establecer,las%20dimensiones%20del%20material%20ensayado.)

Mata Balón, C. (Abril de 2018). *Diseño y construcción de una máquina clasificadora de granos según tamaño y peso* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Archivo digital.

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/28778/1/TESIS%20CARLOS%20MATA%20BAL%20%93N.pdf>

Merchán, D., & Herrera, D. (Febrero de 2017). *Análisis del desarrollo de la agroindustria en el Ecuador*.

https://www.ecorfan.org/congresos/8voanual/2_PRESENTACIONES/Presentaciones/An%C3%A1lisis%20del%20desarrollo%20de%20la%20agroindustria%20en%20el%20Ecuador.pdf

Minchala, P., & Narváez, J. (20 de Febrero de 2010). *Proyecto de compra y venta de maíz en grano* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Archivo digital.

<http://201.159.223.180/bitstream/3317/6174/1/T-UCSG-PRE-ECO-CECO-117.pdf>

- Muro Facho, C. (2020). *Diseño de una máquina limpiadora y seleccionadora de grano de maíz (zea mays) para optimizar la producción de 25qq/h en el distrito de Mórrope* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]. Archivo digital.
<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7802/Muro%20Facho%2c%20C%3a%9sar%20Robinson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Naylamp Mechatronics. (2021). *Módulo Relay 8 Canales 5VDC*.
<https://naylampmechatronics.com/drivers/177-modulo-relay-8-canales-5vdc.html>
- Niu, F. (Agosto de 2021). *Sensor de proximidad capacitivo*. <https://www.omch.co/es/capacitive-proximity-sensor/>
- OPAC. (2023). *DIN 6885A - Chavetas*. <https://www.opac.net/pdf/DIN%206885%20A.pdf>
- Polybandas. (2023). *Poleas para banda V de Martin*.
<https://www.polybandas.com/images/catalogos/poleas-para-banda-v-de-martin.pdf>
- RODAUIGO, S.A. (2006). *Catálogo de cálculo de transmisión de correa trapecial de Optibelt*.
<https://rodavigo.net/catalogos/OPTIBELT/Correas%20trapeciales/OPTIBELT%2006%20C%3A1lculo%20de%20trasnmisi%C3%B3n.pdf>
- Suárez, R. (2023). *Arduino*. <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/rsuagued/arduino/>
- Timken. (2023). *Catálogo de unidades de alojamiento de rodamientos de bolas de la serie U de Timken*.
<https://www.timken.com/resources/timken-u-series-ball-bearing-housed-unit-catalog-spanish/>
- Velarde, X. (2014). *Análisis de vibraciones en motores eléctricos* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Archivo digital.
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1787/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-21.pdf>
- Vendig, M. (2022). *La línea mas completa en maquinas despachadoras*.
<https://www.marketingvending.com/tienda/espinal-grande-para-maquina-ams>

- Víctoria Geovanny, L. G. (Enero de 2015). *Diseño y simulación de una máquina clasificadora vibratoria de granos de maíz según el tamaño* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Archivo digital. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7518/6/UPS-KT00888.pdf>
- Vidarte, W. (2022). *Diseño de una máquina seleccionadora, para mejorar la calidad del tamaño de grano de maíz en la comunidad La Paccha-Huambos* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Archivo digital. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57151/Vidarte_VW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- West Arco. (2023). *Scribd, ACP 611 SS*. <https://es.scribd.com/document/192585536/6011>

Apéndices