



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA VIBRATORIA**  
**CLASIFICADORA DE SEMILLA DE ALFALFA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR:**

**BRYAN EDUARDO MARTINEZ DUQUE**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA VIBRATORIA**  
**CLASIFICADORA DE SEMILLA DE ALFALFA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR: BRYAN EDUARDO MARTINEZ DUQUE**

**DIRECTOR: ING. SANTIAGO ALEJANDRO LÓPEZ ORTIZ**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Bryan Eduardo Martinez Duque

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Bryan Eduardo Martinez Duque, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de diciembre de 2023



**Bryan Eduardo Martinez Duque**

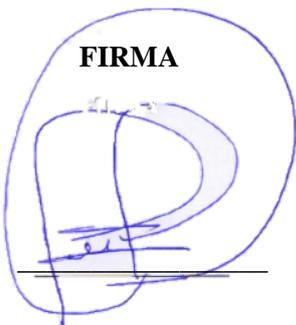
**C.I. 185019113-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA VIBRATORIA CLASIFICADORA DE SEMILLA DE ALFALFA**, realizado por el señor: **BRYAN EDUARDO MARTINEZ DUQUE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Homero Almendariz Puento <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-12-04
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-12-04
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>ASESOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-12-04

## **DEDICATORIA**

A la memoria imborrable de mi querido padre, En cada página de esta tesis, tu espíritu y legado perduran como una fuente inagotable de inspiración. Tu sabiduría, amor incondicional y valores, han dejado una huella imborrable en mi vida y en cada logro que he alcanzado. A mi madre, con amor y gratitud eterna, eres mi pilar más sólido y guía incansable a lo largo de mi camino académico. Tu inquebrantable fe en mí y tu apoyo constante han sido el faro que iluminó cada paso de este viaje. A mi amada esposa e hijo, gracias por ser mi mayor inspiración y sostén durante este arduo camino. Su presencia y apoyo constante han sido la fuerza que me ha impulsado a seguir adelante. Sin su amor y comprensión, este logro no sería posible.

Bryan Martinez

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por su dedicación inquebrantable hacia la excelencia académica. Su compromiso constante ha sido un impulso fundamental en nuestra búsqueda por alcanzar estándares académicos superiores durante nuestra formación. Además, su compromiso continuo con la calidad educativa ha sido un faro en nuestro camino académico. La constante búsqueda de la excelencia por parte de la institución ha moldeado no solo nuestro conocimiento, sino también nuestra ética de trabajo y nuestra visión del mundo profesional. Esta influencia perdurará mucho más allá de nuestras etapas formativas, ya que nos ha brindado las herramientas y la mentalidad necesarias para afrontar los desafíos futuros con confianza y determinación.

Bryan Martinez

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xix
RESUMEN .....	xx
SUMMARY .....	xxi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1.</b>	<b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
<i>1.1.1.</i>	<i>Antecedentes Internacionales.....</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2.</i>	<i>Antecedentes Nacionales.....</i>	<i>3</i>
<b>1.2.</b>	<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.</b>	<b>Justificación.....</b>	<b>4</b>
<i>1.3.1.</i>	<i>Justificación Teórica .....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2.</i>	<i>Justificación Metodológica .....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.3.</i>	<i>Justificación Práctica.....</i>	<i>4</i>
<b>1.4.</b>	<b>Alcance .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>5</b>
<i>1.5.1.</i>	<i>Objetivo General.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5.2.</i>	<i>Objetivos Específicos .....</i>	<i>5</i>

### CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.</b>	<b>La Alfalfa.....</b>	<b>7</b>
<i>2.1.1.</i>	<i>Variedades .....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2.</i>	<i>Características .....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.1.1.</i>	<i>Físicas .....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.1.2.</i>	<i>Químicas.....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.3.</i>	<i>Almacenamiento.....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.4.</i>	<i>Producción de Semillas de Alfalfa en Ecuador .....</i>	<i>8</i>

2.1.5.	<i>Densidad y Mercado en Ecuador</i> .....	8
2.2.	<b>Clasificación y Limpieza de Semillas</b> .....	9
2.2.1.	<b>Métodos de Clasificación</b> .....	9
2.2.1.1.	<i>Manual</i> .....	9
2.2.1.2.	<i>Artesanal</i> .....	9
2.2.1.3.	<i>Industrial</i> .....	10
2.2.2.	<b>Métodos Actuales de Clasificación</b> .....	10
2.2.2.1.	<i>Vibratorio</i> .....	10
2.2.2.2.	<i>Giratorio</i> .....	10
2.2.2.3.	<i>Clasificación por Anillos</i> .....	11
2.2.2.4.	<i>Clasificación por Cilindros Cribado</i> .....	11
2.2.2.5.	<i>Mesa de Gravedad</i> .....	12
2.2.2.6.	<i>Inteligencia Artificial</i> .....	13
2.2.3.	<b>Método de Limpieza de Impurezas</b> .....	13
2.2.3.1.	<i>Venteadado</i> .....	13
2.2.3.2.	<i>Cribas Cilíndricas Rotativas</i> .....	14
2.2.3.3.	<i>Aire y Cribas</i> .....	14
2.2.3.4.	<i>Maquinaria con Turbina y Cribas</i> .....	14
2.3.	<b>Optimización del proceso</b> .....	14
2.3.1.	<b>Agroindustria</b> .....	14
2.3.2.	<b>Materiales Comunes en la Industria Agrícola</b> .....	14
2.3.2.1.	<i>Metales y Aleaciones</i> .....	15
2.3.2.2.	<i>Acero Inoxidable</i> .....	15
2.3.2.3.	<i>Material Compuesto de Aluminio</i> .....	15
2.3.3.	<b>Motores Eléctricos</b> .....	16
2.3.3.1.	<i>Principio Básico Funcionamiento</i> .....	16
2.3.3.2.	<i>Estructura</i> .....	16
2.3.3.3.	<i>Selección</i> .....	17
2.3.3.4.	<i>Características</i> .....	18
2.3.4.	<b>Mecanismos de transmisión</b> .....	18
2.3.4.1.	<i>Transmisión del movimiento</i> .....	19
2.3.4.2.	<i>Sistemas de poleas</i> .....	19
2.3.4.3.	<i>Sistemas de poleas con correa</i> .....	20
2.3.5.	<b>Bandas de transmisión</b> .....	20
2.3.6.	<b>Zarandas</b> .....	20
2.3.7.	<b>Ventiladores</b> .....	21
2.3.8.	<b>Soldaduras</b> .....	22

2.3.9.	<i>Soldadura por Arco Eléctrico Manual con Electrodo Revestido (SMAW):</i>	22
2.3.10.	<i>Electrodos de soldadura SMAW</i>	23
2.4.	<b>Normativa DIN VDI</b>	24
2.4.1.	<i>Norma VDI 2222 Parte 4: Metodología de diseño para proyectos de ingeniería.</i>	24
2.4.2.	<i>Lista de exigencias del proyecto</i>	24

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	26
3.1.	<b>Metodología de diseño</b>	26
3.2.	<b>Consideraciones de diseño</b>	27
3.3.	<b>Especificaciones del equipo</b>	28
3.4.	<b>Estructura de funciones</b>	29
3.5.	<b>Descripción de funciones</b>	29
3.6.	<b>Consideraciones de funcionamiento</b>	30
3.7.	<b>Matriz morfológica</b>	30
3.8.	<b>Análisis de mercador de clasificadoras de semillas de alfalfa</b>	31
3.8.1.	<i>Evaluación de alternativas</i>	37
3.9.	<b>Análisis de ventajas y desventajas de los equipos</b>	37
3.9.1.	<i>Definición de requerimientos</i>	38
3.9.2.	<i>Evaluación técnica</i>	39
3.9.3.	<i>Evaluación económica</i>	41
3.9.3.1.	<i>Resultados de la evaluación técnica y económica</i>	42
3.10.	<b>Diseño de detalle</b>	43
3.10.1.	<i>Tolva</i>	43
3.10.2.	<i>Características de materiales para tolvas</i>	43
3.10.3.	<i>Volumen de la tolva</i>	44
3.10.4.	<i>Cálculo de espesor de la tolva</i>	47
3.10.5.	<i>Simulación estática de la tolva</i>	56
3.10.6.	<i>Resultados del estudio</i>	58
3.11.	<b>Cálculo de vibración de la maquina clasificadora</b>	59
3.12.	<b>Análisis del mecanismo del eje excéntrico</b>	62
3.13.	<b>Diseño del volante de giro</b>	65
3.14.	<b>Calculo para la potencia del motor</b>	68
3.15.	<b>Cálculo de relación de transmisión</b>	70
3.15.1.	<i>Selección del motor</i>	72
3.16.	<b>Cálculo de par o torque</b>	74

3.16.1.	<i>Transmisión de torque</i> .....	74
3.17.	<i>Cálculo de longitud de paso</i> .....	76
3.18.	<i>Cálculo de la distancia entre centro</i> .....	77
3.19.	<i>Cálculo del ángulo de contacto</i> .....	77
3.20.	<i>Cálculo de la velocidad periférica</i> .....	78
3.21.	<i>Cálculo del factor de corrección del ángulo de contacto</i> .....	78
3.22.	<i>Factor de corrección de la longitud de banda</i> .....	79
3.23.	<i>Potencia permitida por banda</i> .....	79
3.24.	<i>Tensión centrífuga</i> .....	80
3.25.	<i>Tensión mayor en la banda</i> .....	81
3.25.1.	<i>La tensión mayor se calcula con la fórmula:</i> .....	82
3.25.2.	<i>Tensión menor de las bandas</i> .....	82
3.25.3.	<i>Tensión inicial</i> .....	82
3.26.	<i>Diseño de eje del ventilador</i> .....	82
3.26.1.	<i>Consideraciones para el diseño del eje</i> .....	83
3.27.	<i>Diseño estático del eje</i> .....	87
3.28.	<i>Diseño dinámico</i> .....	89
3.28.1.	<i>Resistencia a la fatiga en el eje rotatorio</i> .....	90
3.28.2.	<i>Resistencia a la fatiga en el eje</i> .....	90
3.28.3.	<i>Resistencia a la fatiga</i> .....	90
3.28.4.	<i>Factor de condición superficial</i> .....	91
3.28.5.	<i>Factor de tamaño</i> .....	92
3.28.6.	<i>Factor de carga</i> .....	92
3.28.7.	<i>Factor de temperatura</i> .....	92
3.28.8.	<i>Factor de confiabilidad</i> .....	92
3.28.9.	<i>Factor de efectos varios</i> .....	92
3.28.10.	<i>Límite de resistencia a la fatiga</i> .....	92
3.28.11.	<i>Cálculo de resistencia de fatiga</i> .....	92
3.28.12.	<i>Factor de seguridad</i> .....	93
3.29.	<i>Diseños estructurales de la maquina</i> .....	93
3.29.1.	<i>Simulación MEF de la estructura</i> .....	95
3.29.2.	<i>Análisis de resultados de la estructura</i> .....	98
3.29.3.	<i>Resultados</i> .....	100
3.30.	<i>Diseño del sistema de limpieza</i> .....	101
3.30.1.	<i>Geometría del ventilador</i> .....	103
3.30.1.1.	<i>Diseño de la carcasa del ventilador</i> .....	104
3.30.2.	<i>Simulación de flujo en SolidWorks</i> .....	106

3.30.3.	<i>Resultados de Flow Simulation</i> .....	108
3.31.	<b>Diseño de la soldadura de la estructura</b> .....	110
3.32.	<b>Análisis económico</b> .....	113
3.32.1.	<i>Costos directos</i> .....	113
3.32.2.	<i>Costos indirectos</i> .....	116
3.32.3.	<i>Costos totales</i> .....	116

## **CAPÍTULO IV**

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	117
4.1.	<b>Tecnología de construcción de la clasificadora vibratoria de semilla de alfalfa</b> .....	117
4.2.	<b>Equipos necesarios para la construcción de la clasificadora</b> .....	118
4.2.1.	<i>Máquinas Herramientas</i> .....	118
4.2.2.	<i>Instrumentos de Medición</i> .....	119
4.2.3.	<i>Equipos Electrónicos</i> .....	119
4.2.4.	<i>Herramientas Manuales</i> .....	119
4.3.	<b>Denominación de las herramientas y maquinas herramientas</b> .....	119
4.4.	<b>Cursograma de construcción</b> .....	121
4.5.	<b>Cronograma de actividades para la construcción de la maquina clasificadora de semillas de alfalfa</b> .....	124
4.6.	<b>Evaluación y resultados de la maquina clasificadora</b> .....	125
4.6.1.	<i>Plan de pruebas</i> .....	125
4.6.1.1.	<i>Pruebas de funcionalidad</i> .....	126
4.6.1.2.	<i>Prueba de clasificación</i> .....	127
4.6.1.3.	<i>Prueba de capacidad</i> .....	130
4.6.1.4.	<i>Prueba de calidad a la salida de la maquina</i> .....	131
4.6.1.5.	<i>Prueba de mantenimiento</i> .....	132

## **CAPÍTULO V**

5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	134
5.1.	<b>Conclusiones</b> .....	134
5.2.	<b>Recomendaciones</b> .....	136

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Nomenclatura para tipos de electrodos SMAW .....	24
<b>Tabla 2-2:</b> Listas de deseos y exigencias norma VDI 2222 .....	25
<b>Tabla 3-1:</b> Tablas de deseo y existencias .....	27
<b>Tabla 3-2:</b> Análisis de tecnologías .....	38
<b>Tabla 3-3:</b> Evaluación técnica del proyecto .....	40
<b>Tabla 3-4:</b> Evaluación económica del proyecto.....	41
<b>Tabla 3-5:</b> Resumen de la evaluación del proyecto .....	42
<b>Tabla 3-6:</b> Materiales para tolvas .....	43
<b>Tabla 3-7:</b> Relación de diferentes materiales para tolvas .....	44
<b>Tabla 3-8:</b> Propiedades del acero estructural.....	44
<b>Tabla 3-9:</b> Propiedades de materiales granulados.....	50
<b>Tabla 3-10:</b> Cargas de presión dado por la materia prima en la tolva para semillas de alfalfa ..	52
<b>Tabla 3-11:</b> Dimensiones estándar .....	55
<b>Tabla 3-12:</b> Propiedades del estudio .....	56
<b>Tabla 3-13:</b> Propiedades del material .....	57
<b>Tabla 3-14:</b> Propiedades del mallado .....	57
<b>Tabla 3-15:</b> Resultados del estudio .....	58
<b>Tabla 3-16:</b> Resultado de desplazamiento.....	58
<b>Tabla 3-17:</b> Factor de seguridad.....	59
<b>Tabla 3-18:</b> Tabla general de severidad de vibraciones de maquinaria .....	61
<b>Tabla 3-19:</b> Cálculo de aceleración de la vibración.....	64
<b>Tabla 3-20:</b> Rendimientos .....	69
<b>Tabla 3-21:</b> Poleas de la Máquina .....	70
<b>Tabla 3-22:</b> Características de motor W22 .....	73
<b>Tabla 3-23:</b> Características Motor W22 Monofásico .....	73
<b>Tabla 3-24:</b> Velocidades de las poleas .....	75
<b>Tabla 3-25:</b> Dimensiones de longitud .....	77
<b>Tabla 3-26:</b> Consideraciones para el diseño del eje.....	83
<b>Tabla 3-27:</b> Cargas distribuidas de la estructura.....	94
<b>Tabla 3-28:</b> Cargas distribuidas de la estructura.....	96
<b>Tabla 3-29:</b> Propiedades mecánicas del acero 36 .....	97
<b>Tabla 3-30:</b> Punto de Sujecion .....	97
<b>Tabla 3-31:</b> Cargas aplicadas en la estructura .....	97
<b>Tabla 3-32:</b> Tabla de resultados de la simulacion .....	99

<b>Tabla 3-33:</b> Datos iniciales para el calculo sistema de ventilacion .....	101
<b>Tabla 3-34:</b> Condiciones del fluido .....	107
<b>Tabla 3-35:</b> Costos de materia prima .....	114
<b>Tabla 3-36:</b> Costos de complementos .....	114
<b>Tabla 3-37:</b> Costos electrónicos .....	115
<b>Tabla 3-38:</b> Costos de mano de obra .....	115
<b>Tabla 3-39:</b> Costos directos.....	115
<b>Tabla 3-40:</b> Costos indirectos.....	116
<b>Tabla 3-41:</b> Costos totales.....	116
<b>Tabla 4-1:</b> Designación de herramientas .....	120
<b>Tabla 4-2:</b> Designación de instrumentos de medición .....	120
<b>Tabla 4-3:</b> Designación de equipos eléctricos .....	120
<b>Tabla 4-4:</b> Designación de herramientas manuales .....	121
<b>Tabla 4-6:</b> Dimensión de la maquina.....	127
<b>Tabla 4-7:</b> Prueba de encendido .....	127
<b>Tabla 4-8:</b> Prueba de vibración .....	127
<b>Tabla 4-9:</b> Prueba de clasificación 1 .....	128
<b>Tabla 4-10:</b> Prueba de clasificación .....	129
<b>Tabla 4-11:</b> Prueba de clasificación 3 .....	129
<b>Tabla 4-12:</b> Prueba de capacidad .....	130
<b>Tabla 4-13:</b> Pruebas de calidad a las salidas.....	131
<b>Tabla 4-14:</b> Prueba de mantenimiento.....	132
<b>Tabla 4-15:</b> Prueba General de Funcionamiento .....	133

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Cilindro Cribado.....	12
<b>Ilustración 2-2:</b>	Mesa de gravedad.....	13
<b>Ilustración 2-3:</b>	Acero dulce .....	15
<b>Ilustración 2-4:</b>	Láminas de acero inoxidable .....	15
<b>Ilustración 2-5:</b>	Láminas de aluminio .....	16
<b>Ilustración 2-6:</b>	Partes que conforman un motor eléctrico .....	17
<b>Ilustración 2-7:</b>	Mecanismos de transmisión .....	18
<b>Ilustración 2-8:</b>	Transmisión por bandas.....	20
<b>Ilustración 2-9:</b>	Tipos de movimientos de zarandas vibratorias. ....	21
<b>Ilustración 2-10:</b>	Máquina con zarandas vibratorias para la cacificación de granos.....	21
<b>Ilustración 2-11:</b>	Ventilador de regillas. ....	22
<b>Ilustración 2-12:</b>	Elementos dispuestos para una soldadura SMAW .....	23
<b>Ilustración 3-1:</b>	Mapa conceptual de la metodología del diseño.....	26
<b>Ilustración 3-2:</b>	Estructura de funciones .....	29
<b>Ilustración 3-3:</b>	Diagrama de procesos .....	30
<b>Ilustración 3-4:</b>	Diagrama morfológico .....	31
<b>Ilustración 3-5:</b>	Clasificadora de granos SIRCA Modelo .....	33
<b>Ilustración 3-6:</b>	Limpiadoras y clasificadoras de granos VDH .....	35
<b>Ilustración 3-7:</b>	Ventiladora y clasificadora de granos.....	37
<b>Ilustración 3-8:</b>	Diagrama de evaluación según norma VDI 2222 .....	43
<b>Ilustración 3-9:</b>	Medidas asumidas 1 .....	45
<b>Ilustración 3-10:</b>	Medidas asumidas 2 .....	46
<b>Ilustración 3-11:</b>	Presiones de un silo .....	48
<b>Ilustración 3-12:</b>	Presiones ejercidas sobre la tolva .....	49
<b>Ilustración 3-13:</b>	Presiones encontradas para el diseño de tolva .....	53
<b>Ilustración 3-14:</b>	Cálculo de vibración maquina clasificadora .....	60
<b>Ilustración 3-15:</b>	Aceleración de la vibración .....	65
<b>Ilustración 3-16:</b>	Volante de giro.....	66
<b>Ilustración 3-17:</b>	Datos de volumen, masa e inercia del volante de giro .....	67
<b>Ilustración 3-18:</b>	Arreglo de poleas y bandas.....	70
<b>Ilustración 3-19:</b>	Primera etapa de transmisión.....	71
<b>Ilustración 3-20:</b>	Segunda etapa de transmisión .....	71
<b>Ilustración 3-21:</b>	Tercera etapa de transmisión .....	72

<b>Ilustración 3-22:</b>	Motor eléctrico de 2Hp.....	72
<b>Ilustración 3-23:</b>	Potencia corregida para el cálculo en H.P .....	75
<b>Ilustración 3-24:</b>	Primer juego de poleas .....	76
<b>Ilustración 3-25:</b>	Factor de corrección del ángulo de contacto.....	79
<b>Ilustración 3-26:</b>	Factor de corrección de longitud de banda .....	79
<b>Ilustración 3-27:</b>	Potencias nominales de bandas en V estándar .....	80
<b>Ilustración 3-28:</b>	Algunos parámetros de bandas en V .....	81
<b>Ilustración 3-29:</b>	Diseño de eje del ventilador .....	83
<b>Ilustración 3-30:</b>	Modelo del eje del ventilador .....	83
<b>Ilustración 3-31:</b>	Polea numero 2.....	84
<b>Ilustración 3-32:</b>	Diagrama de cuerpo libre .....	85
<b>Ilustración 3-33:</b>	Diagrama de fuerza en el plano .....	85
<b>Ilustración 3-34:</b>	Diagrama de fuerzas cortantes.....	86
<b>Ilustración 3-35:</b>	Diagrama de momentos flectores .....	87
<b>Ilustración 3-36:</b>	Coefficiente de seguridad .....	88
<b>Ilustración 3-37:</b>	Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin .....	91
<b>Ilustración 3-38:</b>	Distribucion de cargas de la estructura .....	94
<b>Ilustración 3-39:</b>	Modelo de la estructura .....	95
<b>Ilustración 3-40:</b>	Estructura Mallada.....	96
<b>Ilustración 3-41:</b>	Modelacion de la Ventilacion.....	101
<b>Ilustración 3-42:</b>	Geometria del Ventilador .....	103
<b>Ilustración 3-43:</b>	Condiciones para la Simulacion .....	107
<b>Ilustración 3-44:</b>	Trayectorias de fluido.....	108
<b>Ilustración 3-45:</b>	Resultados de Flow Simulation .....	108
<b>Ilustración 3-46:</b>	Resultados de Velocidad .....	109
<b>Ilustración 3-47:</b>	Trayectoria de Presiones .....	110
<b>Ilustración 3-48:</b>	Soldadura a tope.....	110
<b>Ilustración 3-49:</b>	Esfuerzos de la soldadura .....	112
<b>Ilustración 3-50:</b>	Límite de fluencia de la 1018 .....	113
<b>Ilustración 4-1:</b>	Máquina clasificadora de semillas.....	117
<b>Ilustración 4-2:</b>	Mecanizado de volante de giro y malla para la limpiadora.....	118
<b>Ilustración 4-3:</b>	Simbología de diagrama de procesos .....	121
<b>Ilustración 4-4:</b>	Nomenclatura cursograma.....	122
<b>Ilustración 4- 5:</b>	Cursograma del proceso constructivo de la maquina clasificadora de semillas.....	123
<b>Ilustración 4-7:</b>	Cronograma de actividades .....	124
<b>Ilustración 4-8:</b>	Máquina Clasificadora de semillas de alfalfa .....	125

<b>Ilustración 4-9:</b>	Ingreso de mosto a la maquina clasificadora .....	128
<b>Ilustración 4-10:</b>	Primera malla de la maquina clasificadora .....	128
<b>Ilustración 4-11:</b>	Semilla de alfalfa después de la primera prueba.....	129
<b>Ilustración 4-12:</b>	Pruebas de clasificación .....	130

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 3-1:</b> Flujo de trabajo.....	28
<b>Ecuación 3-2:</b> Volumen de la tolva.....	45
<b>Ecuación 3-3:</b> Volumen de la Piramide rectangular.....	46
<b>Ecuación 3-4:</b> Presión de paredes laterales vertical.....	47
<b>Ecuación 3-5:</b> Presión de paredes laterales horizontal.....	47
<b>Ecuación 3-6:</b> Presión de vertical maxima.....	47
<b>Ecuación 3-7:</b> Presión tomando z como la maxima profundidad.....	48
<b>Ecuación 3-8:</b> Presión tomando z como la maxima profundidad.....	48
<b>Ecuación 3-9:</b> Presión en caras inclinadas.....	48
<b>Ecuación 3-10:</b> Presión debida al llenado de la tolva .....	48
<b>Ecuación 3-11:</b> Presión debida al llenado de la tolva .....	49
<b>Ecuación 3-12:</b> Presión debida a la Presión vertical sobre el material almacenado .....	49
<b>Ecuación 3-13:</b> Presión en paralelas a las caras inclinadas .....	49
<b>Ecuación 3-14:</b> Presión perpendicular a las caras inclinadas.....	52
<b>Ecuación 3-15:</b> Presiones verticales .....	53
<b>Ecuación 3-16:</b> Presiones en las caras inclinadas.....	53
<b>Ecuación 3-17:</b> Espesor de la chapa metalica .....	53
<b>Ecuación 3-18:</b> Factor de seguridad .....	54
<b>Ecuación 3-19:</b> Esfuerzo nominal basico .....	54
<b>Ecuación 3-20:</b> Esfuerzo máximo .....	54
<b>Ecuación 3-21:</b> Frecuencia .....	60
<b>Ecuación 3-22:</b> Amplitud .....	61
<b>Ecuación 3-23:</b> Desplazamiento de zaranda.....	62
<b>Ecuación 3-24:</b> Velocidad de la zaranda .....	62
<b>Ecuación 3-25:</b> Aceleración de zaranda .....	62
<b>Ecuación 3-26:</b> Aceleración de subida .....	63
<b>Ecuación 3-27:</b> Aceleración de bajada .....	63
<b>Ecuación 3-28:</b> Aceleración angular .....	67
<b>Ecuación 3-29:</b> Radio del eje .....	68
<b>Ecuación 3-30:</b> Formula de potencia .....	68
<b>Ecuación 3-31:</b> Presión perpendicular a las caras inclinadas .....	68
<b>Ecuación 3-32:</b> Potencia del motor .....	69
<b>Ecuación 3-33:</b> Numeros de revolucion de motor.....	72

<b>Ecuación 3-34:</b> Transmisión de Torque .....	74
<b>Ecuación 3-35:</b> Ecuación de Calculo de longitud de paso .....	76
<b>Ecuación 3-36:</b> Ecuación de Calculo de distancia entre centro.....	77
<b>Ecuación 3-37:</b> Ecuación de ángulo de contacto .....	78
<b>Ecuación 3-38:</b> Ecuación de Calculo de la velocidad periferica .....	78
<b>Ecuación 3-39:</b> Factor de correccion del ángulo de contacto .....	78
<b>Ecuación 3-40:</b> Potencia permitida por banda.....	80
<b>Ecuación 3-41:</b> Tensión centrifuga .....	80
<b>Ecuación 3-42:</b> Tensión mayor en la banda .....	81
<b>Ecuación 3-43:</b> Tensión mayor.....	82
<b>Ecuación 3-44:</b> Tensio menor.....	82
<b>Ecuación 3-45:</b> Tensión inicial.....	82
<b>Ecuación 3-46:</b> Esfuerzo de torsión .....	84
<b>Ecuación 3-47:</b> Carga distribuida .....	85
<b>Ecuación 3-48:</b> Materia de fuerza en Y.....	86
<b>Ecuación 3-49:</b> Sumatoria de momentos .....	86
<b>Ecuación 3-50:</b> Esfuerzo máximo por flexion.....	88
<b>Ecuación 3-51:</b> Esfuero máximo por torsion.....	89
<b>Ecuación 3-52:</b> Ecuación de Von Misses.....	89
<b>Ecuación 3-53:</b> Resistencia a la Tensión.....	90
<b>Ecuación 3-54:</b> Resistencia a la fatiga en el eje .....	90
<b>Ecuación 3-55:</b> Resistencia a la fatiga.....	90
<b>Ecuación 3-56:</b> Ecuación para la densidad del aire.....	101
<b>Ecuación 3-57:</b> Potencia al eje kw .....	102
<b>Ecuación 3-58:</b> Ecuación de Caudal.....	103
<b>Ecuación 3-59:</b> Ecuación de velocidad .....	104
<b>Ecuación 3-60:</b> Radio máximo .....	104
<b>Ecuación 3-61:</b> Ecuación de Ángulo de Ataque.....	105
<b>Ecuación 3-62:</b> Distancia focal en A.....	106
<b>Ecuación 3-63:</b> Ecuación de la velociadad relativa del flujo .....	109
<b>Ecuación 3-64:</b> Presión Total .....	111
<b>Ecuación 3-65:</b> Esfuerzo normal medio .....	111
<b>Ecuación 3-66:</b> Esfuerzo cortante medio .....	112

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A: MANUAL DE USUARIO**

**ANEXO B: LAMINAS DE DETALLE**

## RESUMEN

La producción agrícola depende de semillas de calidad para garantizar cosechas exitosas. En la provincia de Chimborazo, cantón Guano, en la asociación de la parroquia Juntus, el proceso manual de limpieza y clasificación de semillas de alfalfa es lento y genera baja calidad, además de que al realizar dichas actividades empleando métodos rudimentarios, ocasiona lesiones y traumatismo en las personas que realizan la tarea. Por lo tanto, el objetivo del presente proyecto técnico fue “Diseñar y construir una máquina clasificadora vibratoria de semillas de alfalfa con capacidad mínima de producción de ocho quintales por hora”. La metodología implementada tuvo un enfoque teórico y práctico, se estudió las bases teóricas de los métodos de limpieza y clasificación de diferentes semillas, así como las tecnologías y herramientas empleadas para limpiar, seleccionar y clasificar las semillas de tal forma que se obtenga un producto de calidad y listo para su comercialización. Asimismo, se hicieron simulaciones tanto para encontrar los parámetros de diseño como para los componentes a utilizar. Por otro lado, en la parte práctica, se construyó la máquina y se lo ensambló con todos los componentes necesarios para su correcto funcionamiento y que garantice un producto final de calidad. Mediante esta metodología se logró construir la máquina clasificadora vibratoria de semillas de alfalfa, la cual emplea elementos como zarandas, para la parte de limpieza y extracción de la semilla, así mismo se usó ventiladores centrífugos y un tambor rotatorio para la clasificación de la semilla, todos estos sistemas son impulsados por un arreglo de poleas que transmiten la potencia a todo el conjunto. En este contexto se concluye que la máquina construida se alinea a la normativa ecuatoriana que regula el tipo de maquinaria agrícola vibratoria, además de seguir lineamientos en cuanto a la seguridad y fiabilidad de su funcionamiento.

**Palabras clave:** <VIBRACIÓN>, <ZARANDA>, <TAMIZADO>, <CLASIFICACIÓN>, <SIMULACIÓN>.

0105-DBRA-UPT-2024



## SUMMARY

Agricultural production depends on quality seeds to guarantee successful results. In the province of Chimborazo, Canton Guano, in the association of the Juntas Parish, the manual process of cleaning and classification of alfalfa seeds is slow and generally low quality, in addition to the activities carried out using rudimentary methods, occasional injuries, and traumatism in the people who realize the problem. Therefore, the object of the present technical project is to "Design and build a classic vibratory machine for alfalfa seeds with a minimum production capacity of 100 quintals per hour". The methodology implemented is theoretical and practical, studying the technical bases of the cleaning methods and classifying different seeds, as well as the technologies and tools used for cleaning, selecting, and classifying the seeds to obtain a product of Calibration and list for commercialization. Likewise, it must be set up simulations to meet the design parameters and the components used. Therefore, in the practical part, the machine is built and assembled with all the necessary components for correct operation and guarantees a final quality product. This method is used to build the classifying machine vibrating alfalfa seeds, which uses elements such as shaking screens, for the part of cleaning and extracting the seed, as well as using centrifugal fans and a rotary drum for the classification of the seed, all of these systems are driven by a set of poles that transmit power to all of the units. In this context, it is concluded that the constructed machine is aligned with the Ecuadorian standard that regulates the type of agricultural machinery vibration, in addition to ensuring its line of connections as long as the safety and reliability of its operation.

**Keywords:** <VIBRATION>, <SCREEN>, <SIEVING>, <CLASSIFICATION>, <SIMULATION>.



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

0603747809

## INTRODUCCIÓN

La producción de semillas es esencial para la industria agrícola. La calidad de las semillas es un factor crítico para garantizar una producción exitosa. Para lograr una buena cosecha, es necesario que las semillas sean de alta calidad y estén libres de impurezas. La limpieza y clasificación de semillas de alfalfa son procesos clave para garantizar que las semillas sean de calidad y estén listas para su uso en la siembra.

Actualmente, el proceso de limpieza y clasificación de semillas de alfalfa se realiza de forma manual, lo que es un proceso lento y tedioso. Además, este método es propenso a errores humanos y no garantiza la calidad uniforme de las semillas. En este sentido, el objetivo de este trabajo es diseñar e implementar una máquina clasificadora vibratoria de semillas de alfalfa que mejore el proceso de limpieza y clasificación de semillas.

Este proyecto se enfoca en la provincia de Chimborazo en Ecuador, donde la producción de semillas de alfalfa es importante para la economía local. La máquina clasificadora vibratoria que se propone en este trabajo tiene como objetivo facilitar el proceso de limpieza y clasificación de semillas de alfalfa para los pequeños productores y comerciantes de la región.

Para lograr este objetivo, este trabajo se estructura en cuatro capítulos. En el **primer capítulo** se presenta el problema y la justificación del proyecto, así como los objetivos a alcanzar. En el **segundo capítulo** se revisan las investigaciones y bases teóricas que respaldan el desarrollo de los capítulos siguientes. El **tercer capítulo** describe el diseño e implementación de la máquina clasificadora vibratoria de semillas de alfalfa, que incluye desde el diseño conceptual hasta el análisis de costos. Por último, el **cuarto capítulo** presenta las pruebas de funcionamiento del sistema de control y las conclusiones del trabajo, junto con las recomendaciones para futuros trabajos en este campo.

En resumen, este proyecto busca mejorar el proceso de limpieza y clasificación de semillas de alfalfa a través del diseño e implementación de una máquina clasificadora vibratoria que beneficie a los pequeños productores y comerciantes de la provincia de Chimborazo en Ecuador.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

#### 1.1.1. Antecedentes Internacionales

Rueda (2020), En su trabajo de titulación denominado “Construcción de un Prototipo de una Máquina Selector de Semillas de *Sacha Inchi*”. Estuvo enfocado en construir un prototipo funcional de una máquina para la selección de semillas de *Sacha Inchi* aptas para el proceso de elaboración de aceite mediante el uso de técnicas de visión artificial útiles en el procesamiento de imágenes. La metodología que aplico fue el modelo V, que se basa en las necesidades de los consumidores, se establece unas soluciones para verificar los resultados y así desarrollar un software que cumpla con todas estas necesidades. Concluyendo que la metodología en V para el desarrollo del proyecto permitió validar la etapa de diseño con las pruebas de validación, esta metodología permite desglosar el proyecto en diferentes etapas y es la más adecuada para proyectos que requieran prototipo ya que se pueden realizar ajustes desde el diseño e incluso hasta la etapa final (Soto, 2020).

Grande (2021), en su trabajo titulado “Diseño y construcción de una clasificadora de papas (*solanum tuberosum* l.)”, el principal objetivo fue, diseñar y construir un prototipo para clasificar papas en cuatro grupos (primera-S1, segunda-S2, tercera-S3 y cuarta-S4) de acuerdo con su grosor, para uso de productores en pequeñas escalas. La investigación se realizó en base a un análisis descriptivo y experimental dividido en dos etapas para determinar las propiedades físico-mecánicas de la papa y para el diseño y construcción de la clasificadora. Los resultados que se obtuvieron que la su productividad fue de 2289.6 kg h<sup>-1</sup>, con una eficiencia del 34.06 % en la clasificación y con un 3.11 % de papas dañadas. Concluyendo que el prototipo para clasificar tubérculos de papa para pequeños productores con una productividad de 2289.6 kg h<sup>-1</sup> con dos pares de rodillos sin fin y lisos. El prototipo puede clasificar en cuatro tamaños de papas como lo indica la Norma Mexicana con una eficiencia de 34.06 % y con 3.11 % de papas dañadas, su costo de fabricación fue de \$ 24 mil pesos mexicanos (Grande, 2021).

Kanjanawanishkul, (2018) En su trabajo titulado “Diseño y evaluación de clasificadora automática de pimientos”. En este estudio, los autores diseñaron y fabricaron una clasificadora automática de pimiento (*Capsicum annum* L.) originaria de Tailandia, tomando como criterio de selección tamaño

y peso, capacidad efectiva de 12.700 granos. /hora. El mecanismo está compuesto por: alimentador de granos, máquina de inspección de granos con cámara y clasificador de granos con sistema de vacío. Un plato giratorio circular con hileras de agujeros ciegos diseñado para transportar las semillas de cada estación. Permite que las tres estaciones procesen una fila de perlas en paralelo. Para identificar los granos descoloridos, las imágenes se capturan y procesan para detectar áreas oscuras en la superficie del grano. Como resultado, la máquina tiene una precisión de selección de semillas de entrada del 90,9 %.

En el desarrollo de este trabajo se darán a conocer todos los datos técnicos necesarios y los elementos relacionados con los equipos involucrados en la clasificación. El avance de la ciencia, la evolución de la tecnología y las necesidades del mercado han obligado a la industria de alimentos balanceados a buscar nuevas formas de mejorar la producción, para ser más competitivos en el mercado.

### ***1.1.2. Antecedentes Nacionales***

Guamanquispe (2016) en su trabajo investigativo titulado: “Estudio de un sistema mecánico aplicado a la limpieza de cebada en la elaboración de harina de máchica para mejorar la producción artesanal”, estuvo enfocado en realizar el estudio de un sistema mecánico aplicado a limpieza de cebada en la elaboración de harina de máchica para mejorar la producción artesanal. Para cumplir con el objetivo, la metodología que aplico en su trabajo fue un enfoque cualitativo en el análisis investigativo porque se hizo comparaciones con los distintos métodos de limpieza existentes en el medio para obtener ciertos datos que serán analizados por diseño experimental, teniendo como resultados la solución más factible para la selección del sistema mecánico acorde a los parámetros de cantidad de producto, costo, construcción de la máquina, dimensiones y manejo. En conclusión, el sistema mecánico para la limpieza de la cebada constituye un diseño beneficioso y eficiente para aplicar la propuesta porque en el sistema manual se ocupa un tiempo de 445 min mientras que en el mecánico su utiliza un tiempo de 33min teniendo un ahorro del 92.5 %.

Por su parte, Chuquitarco (2019), en su trabajo investigativo titulado “Optimización del proceso de separación de chocho”, el objetivo principal fue optimizar el proceso de separación del chocho a partir del diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo de máquina separadora de chocho. Para lograr con la meta y basados en la problemática existente se establecieron diferentes alternativas de solución con el fin de obtener resultados alentadores para lograr la optimización el proceso de separación, concluyendo que al tomar en cuenta los parámetros para maquinaria que trabaja con alimentos se reprodujo el prototipo mismo que realiza la separación de chochos buenos de malos permitiendo la optimización de recursos utilizados en el proceso, limitando la

intervención de las personas para el suministro del producto en la tolva de alimentación, así como para su recolección y posterior almacenamiento (Chuquitarco, 2019).

## **1.2. Planteamiento del Problema**

El estudio se centró en la zona agrícolas de Chimborazo donde se siembra y cosecha alfalfa, se observó que para la limpieza y clasificación de granos las personas que realizan este trabajo en su mayoría lo ejecutan de forma artesanal usando un tamiz para obtener los granos de mejor calidad, eventualmente los daños no solo afectan al operador provocando traumatismos en las articulaciones a causa de posturas repetitivas y forzadas sino también en la producción debido al tiempo excesivo y recursos que se emplean para obtener un grado de primera calidad.

## **1.3. Justificación**

### ***1.3.1. Justificación Teórica***

Este trabajo tiene como objetivo contribuir al conocimiento técnico en el campo de la agricultura. A través del desarrollo de los diferentes modos de control del prototipo, se busca crear nuevas competencias para los profesionales y emprendedores agrícolas. Además, se espera proporcionar una visión realista de los problemas que normalmente se enfrentan en la solución de problemas que involucren el uso de motores o máquinas industriales. La importancia de este trabajo radica en el hecho de que la automatización y el control en la agricultura son cada vez más necesarios para aumentar la productividad y la eficiencia de los procesos.

### ***1.3.2. Justificación Metodológica***

Para la elaboración del presente trabajo será necesario realizar un correcto estudio bibliográfico que permitan la adecuada selección de los componentes que involucren el sistema de control, además, de hacer uso de metodologías activas enfocadas en la aplicación de conocimientos y habilidades adquiridas, así como el autoaprendizaje que permitirán un correcto diseño de la máquina planteada.

### ***1.3.3. Justificación Práctica***

En muchos molinos, el proceso de clasificación de semillas se realiza de forma manual, lo que implica una importante cantidad de personal y un mayor período de tiempo. Sin embargo, debido a la necesidad de reducir el tiempo de clasificación, se propone diseñar y fabricar una máquina

clasificadora de semillas que permita ahorrar dinero y obtener productos de mejor calidad. El impacto de esta máquina es significativo, ya que puede mejorar significativamente la eficiencia y la productividad en el proceso de clasificación de semillas. Además, su uso puede reducir los costos de producción y mejorar la calidad del producto final. En última instancia, la implementación de esta máquina puede mejorar la competitividad de los productores agrícolas y beneficiar a la sociedad en general al mejorar la producción y la calidad de los productos agrícolas. La factibilidad de este proyecto se ve respaldada por la disponibilidad de los componentes necesarios, así como por la posibilidad de implementar soluciones innovadoras y eficientes en el campo de la agricultura.

#### **1.4. Alcance**

Si bien el diseño brinda las mejores condiciones de trabajo y operación, existen limitaciones y limitaciones que se detallan a continuación: el estudio de la partícula, donde la posibilidad de su vibración será generada por el motor-vibrador eléctrico. El diseño de cada parte de la máquina debe estar de acuerdo con las condiciones tecnológicas del país en cuanto a factores de normalización, disponibilidad de materias primas. Además, no se considera ningún tipo de norma específica para el diseño de la clasificadora de granos de alfalfa. Se desarrollará un análisis del estudio mecánico de vibración desde el punto de vista de la ingeniería, donde se desarrollará un análisis a través del directorio para establecer todos los parámetros que interfieren en el proceso de vibración (Resonancia). La máquina obtendrá a su salida granos categorizados según su tamaño y estado de conservación externo, separando los defectuosos. Además, los granos seleccionados serán entregados íntegros, por calibre y limpios de impurezas o residuos.

#### **1.5. Objetivos**

##### ***1.5.1. Objetivo General***

Diseñar y construir una máquina clasificadora vibratoria de semillas de alfalfa con capacidad mínima de producción de ocho quintales por hora.

##### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Analizar el estado de arte referente a máquinas de clasificación de semillas de alfalfa en la industria agrícola.

- Realizar el diseño y selección de componentes de una máquina clasificadora y limpiadora de semillas de alfalfa de tipo vibratoria siguiendo la metodología de diseño mecánico aplicando la normativa VDI 2221 y VDI 2222.
- Validar la estructura de la máquina y los elementos constitutivos mediante simulación numérica para garantizar la seguridad y fiabilidad del equipo bajo las condiciones requeridas.
- Construir la máquina clasificadora de semillas de alfalfa y ejecutar las pruebas necesarias para garantizar su correcto funcionamiento.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. La Alfalfa

De nombre científico *Medicago Sativa*, es una especie de planta herbácea perteneciente a la familia de las fabáceas o leguminosas (Murillo Naranjo, 2019). Alrededor del 490 A.C, estas semillas fueron traídas de Persia a Grecia por su valor nutritivo. Se cree que su cultivo se inició en la Edad del Bronce utilizada como forraje fresco, o seco para el ganado, ovinos, porcinos, equinos y aves de corral.

##### 2.1.1. Variedades

Entre las variedades más conocidas se encuentran variedades tempranas como peruana, Peluda, Moapa y Flamenca, variedades de crecimiento medio como Caliverde, Provenza y Poitou, y variedades tardías como Ranger, Thuringia, Rizoma, Francia (Franquesa M. 2016).

##### 2.1.2. Características

###### 2.1.1.1. Físicas

Se presenta en forma granular de color marrón claro y tamaño mediano, de 1.5 a 2.5 mm de tamaño, el peso de 1000 semillas se estima en 0.56 gramos, alcanzando 1.7 - 2.2 millones por kilogramo (López J., 2019, p.9).

###### 2.1.1.2. Químicas

Contiene vitaminas B, C, D, E, K y P, los minerales constituyen el 10% de su masa, de los que destacan el calcio, fósforo, hierro, azufre, sílice, potasio, magnesio y sodio, mientras que el 22% de su peso es proteína vegetal, que aumenta a medida que la semilla germina. Contiene isoflavonas, saponinas, cumarina y enzimas digestivas (Ecoandes, 2017).

##### 2.1.3. Almacenamiento

Se debe considerar tres factores importantes:

- **Humedad:** el sitio donde se almacenen las semillas no debe exceder más del 10% de humedad, de lo contrario la germinación puede comenzar durante el almacenamiento o pueden pudrirse y cubrirse de hongos.
- **Temperatura:** El ambiente ideal para el almacenamiento de semillas debe ser fresco, entre 2°C y 16°C, y es muy importante que las semillas no sufran fluctuaciones de temperatura.
- **Iluminación:** Las semillas deben almacenarse en lugares más o menos oscuros, protegidas de la luz solar directa.
- **Envase:** En su máxima posibilidad de preservar las óptimas condiciones de la semilla, debe ser hermético (Infocampo, 2018).

#### **2.1.4. Producción de Semillas de Alfalfa en Ecuador**

La producción de semillas de alfalfa en Ecuador es un sector agrícola importante y en constante crecimiento. La alfalfa es una leguminosa con alto valor nutritivo que se utiliza principalmente como forraje para la alimentación del ganado. Además, también se utiliza en la producción de semillas, que son exportadas a diferentes países.

La producción de semillas de alfalfa se concentra principalmente en las provincias de Imbabura, Pichincha y Cotopaxi, donde se encuentran las principales empresas productoras. Se estima que en Ecuador se producen alrededor de 60.000 toneladas de semillas de alfalfa al año, de las cuales aproximadamente el 70% se exporta a diferentes países como Estados Unidos, México, Canadá, entre otros (Badillo C., 2009).

Para garantizar la calidad de las semillas de alfalfa producidas en Ecuador, se utilizan técnicas de selección y clasificación, lo que ha llevado al desarrollo de maquinarias especializadas para este proceso. El diseño y fabricación de una máquina clasificadora vibratoria de semillas de alfalfa, como la que se propone en este proyecto, podría contribuir a mejorar la eficiencia y la calidad en este proceso de producción, permitiendo un ahorro de tiempo y recursos para los productores.

#### **2.1.5. Densidad y Mercado en Ecuador**

Tenemos muy buenos rendimientos la zona centro del país con 15 - 18 toneladas por hectárea, dependiendo de la cantidad de lluvia. Solo en la sierra ecuatoriana están sembradas 194.000 hectáreas de alfalfa de acuerdo con la investigación del Ministerio de Agricultura.

Actualmente, existen varias organizaciones campesinas en el Ecuador que se especializan en la producción de alfalfa. La mayoría utiliza la cosecha principalmente para sus animales domésticos,

mientras que el resto la vende en ferias estatales. Las variedades que más se cultivan son la *flor morada* que se usa como alimento para animales y la *flor blanca* que se usa como materia prima para fármacos (Calderón E., 2013). También se le puede dar uso de fertilizante en la jardinería por su alto contenido de nitrógeno.

## **2.2. Clasificación y Limpieza de Semillas**

La separación de las impurezas se basa en el contraste que existe entre las propiedades físicas del grano y las impurezas. El limpiador o la maquinaria realiza la separación en base a tres características principales:

- **Tamaño:** ancho, largo, espesor.
- **Forma:** regular, irregular y amorfas.
- **Velocidad terminal:** corriente de aire (aventador de impurezas) menor a la velocidad terminal del grano en cuestión, eleva y filtra impurezas.

### **2.2.1. Métodos de Clasificación**

#### **2.2.1.1. Manual**

Es un método de eliminación de suciedad con flujo de aire como herramienta principal. A día de hoy, es uno de los métodos más utilizados por los agricultores debido a la sencillez de su técnica. Se trata de lanzar el grano al aire para que el viento se lleve las impurezas como: polvo, hojas, grano vacío. No es adecuado si hay objetos extraños más pesados, por ejemplo: arena, piedras, caídas con cebada (Puente, 2016).

#### **2.2.1.2. Artesanal**

Es el uso más familiar para los agricultores. Esto implica usar un tamiz manual y agitar el tamiz para que el grano esté contra el viento y el flujo de aire elimine los desechos más livianos. Luego agitar la zaranda para forzar la salida de los pequeños residuos a través de los agujeros. Las cribas se utilizan ampliamente porque limpian eficientemente pequeñas porciones de productos y pueden ser construidas fácilmente por los propios agricultores. Estas características le permiten extenderse en la mayoría de los países del mundo. Brasil es uno de los países que utilizan este método (Puente, 2016).

### 2.2.1.3. *Industrial*

En la parte industrial, permite resolver mecánicamente la producción en selección de grano. El tamizado mecánico es una oportunidad para lograr un proceso de industrialización mecánica utilizando un motor y un marco de metal que controla uniformemente los productos según su peso y espesor, lo que hace que el procedimiento sea simple y conveniente y evita el desperdicio de granos (Puente, 2016).

## 2.2.2. *Métodos Actuales de Clasificación*

### 2.2.2.1. *Vibratorio*

El método de vibración se utiliza para clasificar una amplia gama de productos, ya que el movimiento de vibración se transfiere a las cribas a través de levas, volantes excéntricos y desequilibrados o con la ayuda de electroimanes. Las vistas pueden tener una sola superficie de malla o dos o tres en serie (Chuquitarco, 2019).

#### **Ventajas**

- Uso para capacidades grandes
- Rendimiento alto
- Selección del tamaño con exactitud
- Costo de mantenimiento bajo
- Ahorro en instalaciones

#### **Desventajas**

- No clasifica por densidad
- Sin una fuente de energía su uso es inservible

### 2.2.2.2. *Giratorio*

Consiste en una malla cilíndrica que gira alrededor de un eje. Se pueden disponer en serie en varios barriles, de modo que el primero tamice por el segundo, luego de éste al tercero, etc. (Chuquitarco, 2019).

## **Ventajas**

- Bajo costo
- Fácil manejo
- El trabajo es continuo
- La clasificación se realiza en forma rápida

## **Desventajas**

- Pérdida de tiempo por cambio de escribas
- Mantenimiento constante

### *2.2.2.3. Clasificación por Anillos*

Esto es útil si el producto es redondo y se puede separar usando un tamaño de anillo, que puede ser de madera o se puede comprar en diferentes tamaños (Chuquitarco, 2019).

La ventaja de este tipo de producto es:

- Facilidad de construcción
- Facilidad de montaje
- Bajo costo.

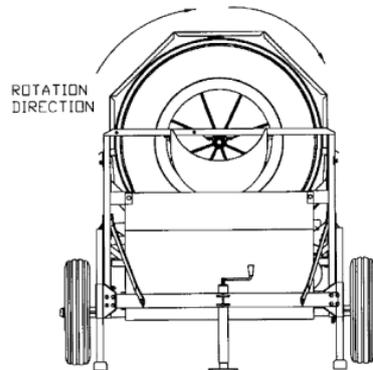
La situación con respecto a la clasificación por anillos es:

- La clasificación no es inmediata
- Su clasificación es en cantidades bajas

### *2.2.2.4. Clasificación por Cilindros Cribado*

La principal función de limpieza proviene de la fuerza de fricción creada por el contacto directo entre la red y las plantas de frijol. A medida que el cilindro gira tamiza los granos y separa todas las impurezas según el diámetro de malla calculado, evitando que semillas o granos de cierto diámetro pasen por la limpieza. Esta máquina puede remover no solo la suciedad pequeña, sino también las cabezas largas y las hojas, solo con un motor de 3 caballos a 1725 rpm, el motor está

conectado al engranaje reductor a través de una cadena, como se muestra en la figura. La figura muestra la rotación del cilindro tamizador (González, 2009).



**Ilustración 2-1:** Cilindro Cribado  
Fuente: (González, 2009)

#### 2.2.2.5. *Mesa de Gravedad*

Seleccionan los granos por peso, lo que permite una selección más precisa al distinguir entre granos integrales y fragmentos de granos que ya no son comestibles. La selección se logra mediante la constante vibración e inclinación de la mesa, lo que significa que solo un cierto peso de grano llega al otro extremo de la mesa donde se recolecta. La mesa de gravedad tiene un mecanismo de vibración y aire que se puede ajustar según el grado de suciedad de cada producto. La mesa de gravedad juega un papel fundamental en el proceso de tamizado de granos, es la encargada de separarlos por peso, obteniendo un producto de calidad, ya que separa granos vacíos, granos coloreados (más claros que los granos normales), partículas pequeñas y granos quebrados. Las mesas de gravedad utilizan un sistema de aire y gravedad para separar las semillas pesadas de las ligeras. Sopla suficiente aire a través de las perforaciones en la mesa para levantar las semillas livianas y mantenerlas suspendidas.

Las semillas más pesadas quedan en contacto con la mesa, donde son sometidas a vibraciones que las transportan hacia arriba hasta caer en el contenedor. Las semillas más ligeras no entran en contacto con la mesa y debido a su pendiente caen bajo la influencia de la gravedad a la parte inferior ya otro recipiente (González, 2009).



**Ilustración 2-2:** Mesa de gravedad  
**Fuente:** (González, 2009)

#### 2.2.2.6. *Inteligencia Artificial*

Estas máquinas se han desarrollado debido al gran avance tanto en los distintos sistemas de medición láser como en los sistemas de visión artificial, que proporcionan una velocidad de finalización de procesos más rápida y son más eficientes en comparación con las máquinas anteriores. Proporcionado por un operador humano. Las características comúnmente analizadas para clasificar las semillas van desde propiedades puramente físicas, como el peso, el color, el tamaño o la humedad, hasta propiedades químicas, como el contenido de proteínas o la proporción de enlaces de carbono en el grano.

Con tantos parámetros, las clasificaciones que se pueden hacer son muy amplias. En este trabajo, los atributos elegidos para la clasificación son el color y el tamaño. Gracias a estas propiedades, son posibles diferentes tipos de clasificación, desde la separación de semillas con cierto tipo de moteado, pasando por diferentes agrupaciones por colorimetría (parámetros L, a, b), hasta el rechazo de división (Sevilano, 2015).

#### 2.2.3. *Método de Limpieza de Impurezas*

##### 2.2.3.1. *Venteadado*

El viento, actualmente utilizada en las zonas rurales, limpia y separa el grano, lo que consiste en levantar el grano a cierta altura y luego dejarlo caer para que el viento pueda quitar la suciedad. Las impurezas pueden ser: fragmentos de la propia planta, como tocones, hojas, tallos de granos, ramas, etc., que son más livianos que el buen grano. La desventaja es que el método depende del clima en el área donde se realiza la limpieza. El proceso también puede ser manual y obtener viento de un ventilador que crea un flujo de aire que separa las impurezas del producto. Esta separación se basa en las diferencias en las velocidades terminales de impurezas y partículas (Chuquitarco, 2019).

#### 2.2.3.2. *Cribas Cilíndricas Rotativas*

Estas máquinas tienen una alta capacidad de limpieza y consisten básicamente en dos mallas cilíndricas concéntricas que están ahusadas en su interior, por lo que cuando la máquina está funcionando a menor velocidad, el grano se deslizará (Chuquitarco, 2019).

#### 2.2.3.3. *Aire y Cribas*

Una máquina de limpieza con ventilador y colador se considera el sistema más eficiente para limpiar el grano. Estas máquinas se utilizan cuando los productos deben limpiarse de manera más eficiente. En términos generales, una máquina de ventilador y criba consiste en un alimentador, un sistema de suministro de viento, un conjunto de tamices reemplazables y un conjunto de pantallas de dispositivo para vibración u oscilación (Chuquitarco, 2019).

#### 2.2.3.4. *Maquinaria con Turbina y Cribas*

Es el sistema de limpieza de granos más efectivo. En términos generales, consta de un tanque, un sistema de succión, un conjunto de pantallas, un dispositivo que genera vibraciones en la pantalla y un sistema opcional de limpieza de pantallas (Chuquitarco, 2019).

### **2.3. Optimización del proceso**

#### 2.3.1. *Agroindustria*

Se requiere materias primas de alta calidad, es decir, productos estandarizados, coloridos, no tóxicos y libres de impurezas orgánicas e inorgánicas; por lo tanto, para alcanzar y respetar estos parámetros, las materias primas deben pasar por una fase de procesamiento industrial.

#### 2.3.2. *Materiales Comunes en la Industria Agrícola*

Actualmente, existen diferentes tipos de clasificaciones de productos, como arroz, café u otros granos, y tienen ciertas desventajas para algunos granos (como la quinua) que son esencialmente más pequeños que los granos anteriores. Estos núcleos son muy difíciles de clasificar con máquinas adecuadas para otros núcleos, y también es ineficiente clasificar estos núcleos con clasificadoras adecuadas para otros núcleos, por lo que tienen que pasar por varios procesos de clasificación, lo cual no es correcto. Por lo tanto, el diseño del clasificador debe abordar todos los problemas con los granos a clasificar (Chagua, 2022).

### 2.3.2.1. Metales y Aleaciones

Como se muestra en la Figura, el acero dulce se usa ampliamente en la construcción de armaduras y componentes de equipos que no entran en contacto directo con el producto que se procesa (Chuquitarco, 2019).



**Ilustración 2-3:** Acero dulce  
**Fuente:** (Chuquitarco, 2019)

### 2.3.2.2. Acero Inoxidable

En general, como puedes ver en la imagen, el acero inoxidable es muy resistente a la corrosión y, por lo tanto, es muy utilizado en la industria alimentaria. Existe una amplia gama de aceros inoxidables, y la selección del grado más adecuado depende del proceso y del agente de limpieza, así como de las propiedades de corrosión del desinfectante (no solo en términos de los iones químicos involucrados, sino también del pH y temperatura). La elección dependerá también de otros factores como el esfuerzo al que se verá sometido el acero y su soldabilidad, dureza, coste, etc (Chuquitarco, 2019).

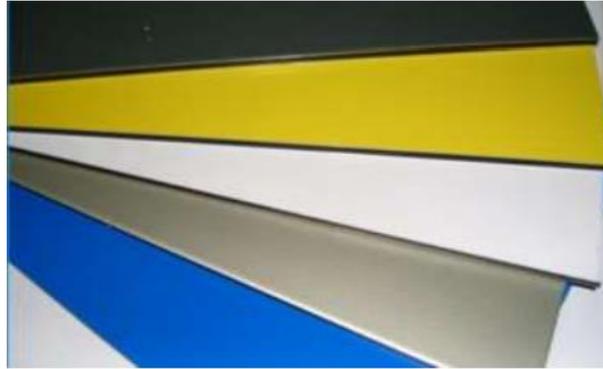


**Ilustración 2-4:** Láminas de acero inoxidable  
**Fuente:** (Chuquitarco, 2019)

### 2.3.2.3. Material Compuesto de Aluminio

El material compuesto de aluminio consta de 2 láminas de aluminio y un núcleo de polietileno de alta densidad, el cual es considerado un material de aislamiento térmico, disponible en varios colores, resistente al impacto, humedad, fricción, ambiente ácido, contaminación, agua, clima,

etc. fácil de limpiar, mantener y desechar. Materiales utilizados para la construcción de fachadas, cubiertas y marquesinas, revestimiento de túneles, revestimiento de interiores, revestimiento de superficies de cocinas, vallas publicitarias, quioscos, vallas publicitarias, revestimiento de furgonetas, etc. en producción (Chuquitarco, 2019).



**Ilustración 2-5:** Láminas de aluminio  
Fuente: (Chuquitarco, 2019)

### **2.3.3. Motores Eléctricos**

Es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica actuando sobre un campo magnético creado por sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotativas formadas por un estator y un rotor. Algunos motores eléctricos son reversibles porque convierten la energía mecánica en energía eléctrica al actuar como generadores o generadores. Los motores de tracción utilizados en locomotoras o vehículos híbridos a menudo pueden realizar ambas tareas si se diseñan adecuadamente (Herrera, 2015).

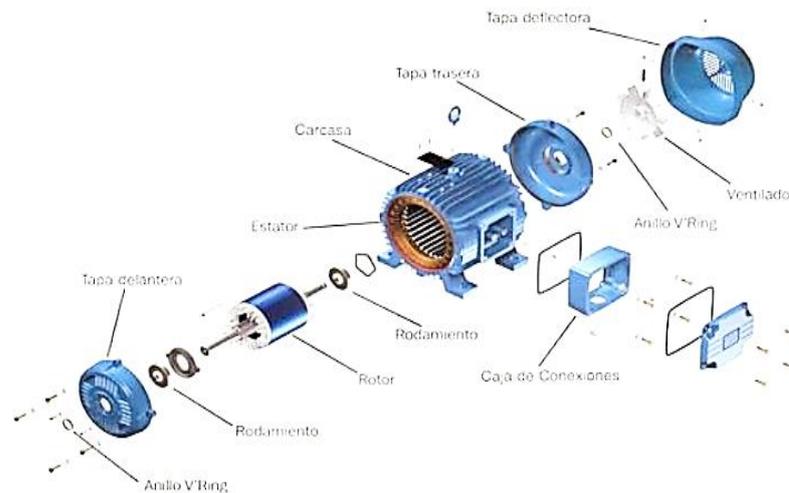
#### **2.3.3.1. Principio Básico Funcionamiento**

Existen diferentes tipos de motores eléctricos, cada uno con diferentes componentes cuyo diseño determina la interacción entre las corrientes eléctricas y magnéticas que dan como resultado la potencia o par del motor. El principio básico que describe cómo la interacción de una carga puntual que en un campo eléctrico y magnético crea una fuerza es la ley de Lorentz (Herrera, 2015).

#### **2.3.3.2. Estructura**

Un motor eléctrico es un elemento destinado a generar movimientos circulares, cuyo funcionamiento se basa en los principios magnéticos y electromagnéticos de la energía eléctrica. La estructura de un motor eléctrico consiste básicamente en una parte fija llamada estator y una parte móvil llamada rotor. El estator consta de un conjunto de placas magnéticas, bobinados de

alambre de cobre, un cuerpo de hierro fundido y bloques de terminales. El rotor consta de placas magnéticas, tiras conductoras y nervaduras de ventilación. El funcionamiento de un motor eléctrico consiste en un rotor (parte móvil) que gira concéntricamente dentro de un estator (parte estacionaria) debido al campo magnético entre estos elementos como resultado de la acción de fuerzas de atracción y repulsión (Herrera, 2015).



**Ilustración 2-6:** Partes que conforman un motor eléctrico  
Fuente: (Herrera, 2015)

### 2.3.3.3. Selección

Para elegir correctamente un motor eléctrico es importante conocer el sistema a instalar, las condiciones de funcionamiento y el tipo de montaje. Los datos básicos necesarios para seleccionar un motor son los siguientes:

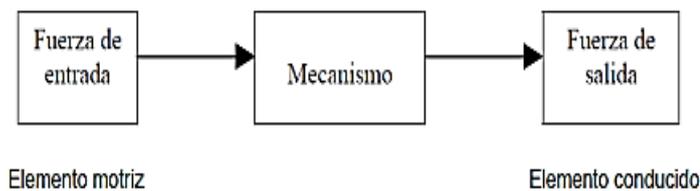
- **Potencia:** Selecciona un motor capaz de producir la potencia necesaria para el sistema y conéctelo.
- **Velocidad de rotación:** Cabe señalar que la velocidad del motor debe estar de acuerdo con la velocidad de trabajo de fábrica y, en algunos casos, se debe usar un reductor
- **Tipo de trabajo:** El trabajo continuo es sin interrupción y continuo, largo tiempo. El trabajo intermitente se refiere al inicio y parada frecuente del trabajo. Modo de inicio: inicio con carga por eje o inicio sin carga. Para elegir un motor utilizando el catálogo, es necesario conocer dos datos básicos, la potencia de salida y la velocidad de funcionamiento del sistema. Las unidades comúnmente utilizadas son la potencia en kW (kilovatios) y la velocidad en rpm (Vueltas por minuto).

#### 2.3.3.4. Características

- Los motores eléctricos tienen el siguiente conjunto de características:
- Potencia: Potencia disponible para accionar el elemento a instalar, normalmente expresada en kW (kilovatios) o HP (caballos de fuerza).
- Velocidad de rotación: el número de revoluciones que realiza el rotor en un minuto, expresado en rpm. (Vueltas por minuto)
- Sistema eléctrico: sistema operativo, trifásico o monofásico.
- Tipo de corriente: DC y AC (Herrera, 2015).

#### 2.3.4. Mecanismos de transmisión

Un mecanismo es un dispositivo que convierte el movimiento (fuerza de entrada) producido por un elemento impulsor en un movimiento de salida deseado (fuerza de salida), denominado elemento impulsor (Herrera, 2015).



#### **Ilustración 2-7:** Mecanismos de transmisión

**Fuente:** (Herrera, 2015)

Estos elementos mecánicos suelen ir montados sobre ejes de transmisión, que son piezas cilíndricas que albergan el mecanismo. Hay dos conjuntos de mecanismos:

- Mecanismo de transmisión de movimiento.
- Mecanismo de conversión de movimiento.

Entre estos mecanismos, podemos distinguir tres tipos de movimiento:

- Movimiento circular o giratorio, p. con ruedas.
- Movimiento lineal, es decir, movimiento continuo en línea recta.
- Movimiento alterno: Este es un movimiento de ida y vuelta como un péndulo. Los mecanismos de transmisión son aquellos en los que el elemento accionado (o de entrada) y el elemento accionado (o de salida) tienen el mismo tipo de movimiento. Los mecanismos de

transición son aquellos en los que los elementos impulsores y conducidos tienen diferentes tipos de movimiento (Herrera, 2015).

#### 2.3.4.1. Transmisión del movimiento

Transmiten movimiento de un punto a otro, en ambos casos el mismo tipo de movimiento. Por otro lado, tenemos dos tipos:

- **Actuadores lineales:** En este caso, el elemento de entrada y el elemento de salida realizan un movimiento lineal.
- **Engranaje circular:** En este caso, los elementos de entrada y salida se mueven en círculo (Herrera, 2015).

#### 2.3.4.2. Sistemas de poleas

Una polea es una rueda acanalada que gira alrededor de un eje por el que pasa una cuerda, y la resistencia  $R$  se puede vencer fácilmente aplicando una fuerza  $F$ . De esta forma, podemos levantar objetos pesados a una altura determinada. Es un sistema de accionamiento lineal porque el movimiento de entrada y salida es lineal; tenemos tres casos:

- **Polea fija:** Las poleas fijas, como sugiere su nombre, consisten en una polea fija en su lugar. La fuerza  $F$  requerida para vencer la resistencia  $R$  es:

$$\text{fuerza} = \text{resistencia},$$

- **Polea móvil:** Es un conjunto de dos poleas, una de las cuales es fija y la otra es móvil. Para una polea en movimiento, la fuerza  $F$  requerida para vencer la resistencia  $R$  se reduce a la mitad. Por tanto, este tipo de polea te permite levantar más peso con menos esfuerzo. Entonces, si quieres levantar 40 kg, 20 kg son suficientes.
- **Polipasto:** Es una polea móvil con un número par de poleas, la mitad de las cuales son fijas y la otra mitad móviles. En una grúa, si es necesario vencer la resistencia  $R$ , se debe aplicar una fuerza mucho menor, de modo que:

$$P = \frac{R}{2^n}$$

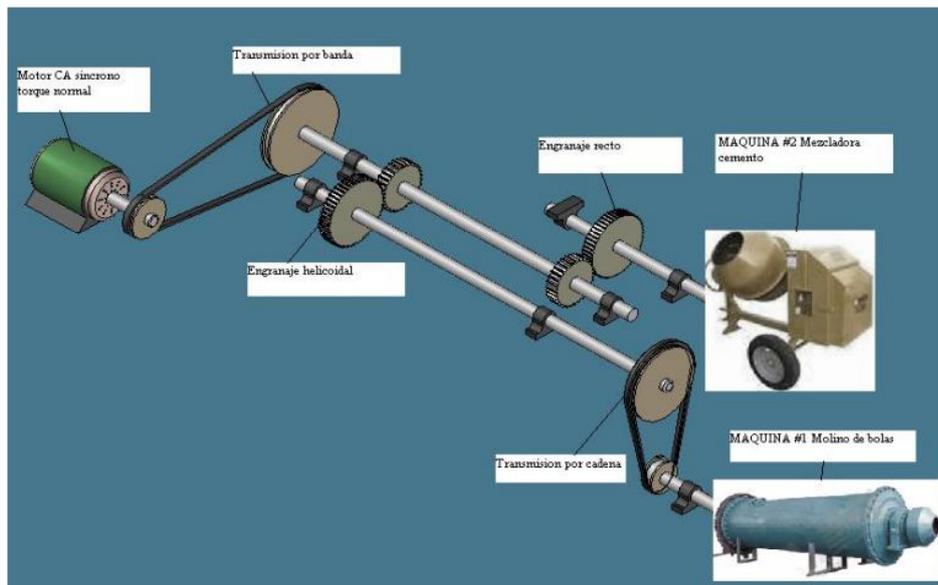
Donde  $n$  es el número de poleas móviles

### 2.3.4.3. *Sistemas de poleas con correa*

Estas son dos ruedas con una cierta distancia entre sí, y giran simultáneamente bajo la influencia de la correa. La correa suele ser una correa de cuero resistente y flexible (Puente, 2016).

### 2.3.5. *Bandas de transmisión*

Una correa es un elemento flexible capaz de transmitir potencia que se ajusta firmemente alrededor de un conjunto de poleas o poleas. Cuando se usa para reducir la velocidad, como se muestra en este ejemplo, la polea estriada más pequeña se monta en el eje de alta velocidad que se acoplará a un motor de CA síncrono de par convencional y la polea de mayor diámetro se acoplará al eje central (Chagua, 2022).

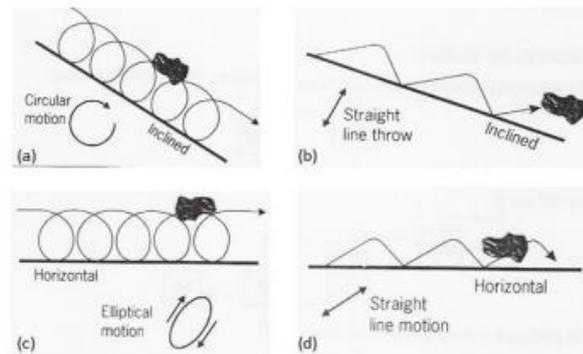


**Ilustración 2-8:** Transmisión por bandas  
Fuente: (Chagua, 2022)

### 2.3.6. *Zarandas*

Las zarandas vibratorias son equipos esenciales en la clasificación de materiales, incluyendo semillas. Operan mediante la generación de movimientos vibratorios controlados por un excitador que permite estratificar y separar materiales según su tamaño. La estratificación se logra al hacer que el material pase a través de una malla con orificios de tamaño específico, permitiendo que las partículas adecuadas pasen mientras se retienen las inadecuadas. Para evitar daños en la estructura base o en otros equipos, se utilizan aisladores de vibración activos. Tres parámetros esenciales influyen en el rendimiento de las zarandas: el tipo de movimiento, la inclinación y el uso de diferentes mallas o decks. El tipo de movimiento puede ser circular, elíptico o lineal, dependiendo

de la aplicación y las necesidades de clasificación. En zarandas inclinadas convencionales, se prefiere el movimiento circular o elíptico, mientras que en las horizontales se opta por el movimiento lineal.



**Ilustración 2-9:** Tipos de movimientos de zarandas vibratorias.  
Fuente:(Shah, 2018)

Las zarandas vibratorias desempeñan un papel fundamental en la clasificación de una variedad de materiales, incluidas las semillas, y su evolución ha permitido su uso en diversas aplicaciones, desde la minería hasta la agricultura, garantizando la separación y clasificación efectiva de los materiales.



**Ilustración 2-10:** Máquina con zarandas vibratorias para la clasificación de granos.  
Fuente: (Paro, 2019)

### 2.3.7. Ventiladores

Los ventiladores son esenciales en sistemas de ventilación, donde suministran o retiran aire para controlar contaminantes, humedad y temperatura. En la clasificación de semillas, su función es crucial al eliminar impurezas mediante un flujo de aire controlado. Esto se logra con un ventilador de succión, una cámara gravitacional para separar impurezas y un ducto de succión. Los

ventiladores aseguran que las semillas clasificadas estén libres de contaminantes, manteniendo la calidad del producto. Además, seleccionados adecuadamente, superan la resistencia de los granos y pérdidas de presión en las tuberías, garantizando la eficiencia del proceso de clasificación. En resumen, los ventiladores son vitales en la clasificación de semillas al mantener la calidad del aire y optimizar la eficiencia del proceso.



**Ilustración 2-11:** Ventilador de regillas.  
Fuente: (Toro, 2022)

### **2.3.8. Soldaduras**

La soldadura es un proceso que une metales utilizando un material de aporte que es de la misma composición que el material base. Se diferencia de otros métodos de unión, ya que utiliza calor para fundir los materiales en contacto y un material adicional.

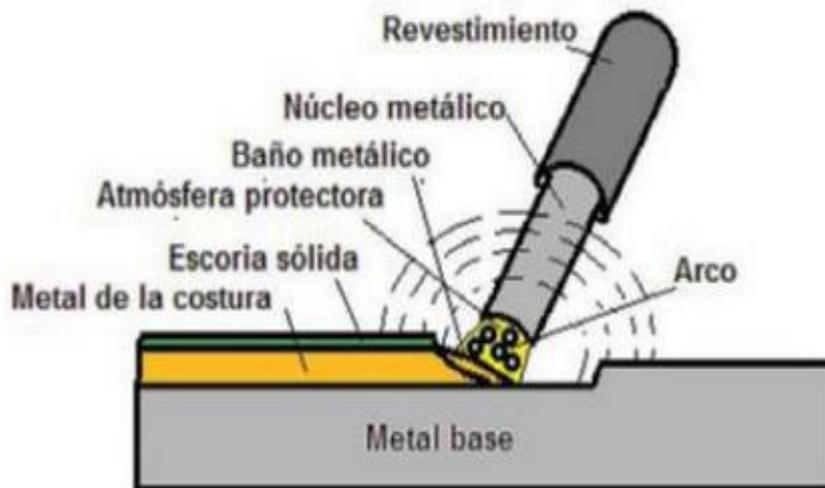
Ventajas de la soldadura incluyen economía en la materia prima, estructuras más ligeras, capacidad de fabricar piezas grandes, reparabilidad, aumento de productividad, reducción de costos y uniones herméticas. Las desventajas de la soldadura son la dificultad de mantenimiento en maquinarias y la necesidad de profesionales capacitados para llevar a cabo los diferentes procesos de soldadura.

### **2.3.9. Soldadura por Arco Eléctrico Manual con Electrodo Revestido (SMAW):**

La SMAW es un proceso de soldadura que utiliza un arco eléctrico generado entre un electrodo revestido y las piezas a unir.

El arco eléctrico produce un calor intenso (aproximadamente 4,000°C) que funde los metales y crea una junta permanente. La calidad de las juntas soldadas en el proceso SMAW es buena y resistente, pero puede tener limitaciones en cuanto a posiciones de soldadura.

Los elementos fundamentales en la SMAW incluyen el metal base, metal de aporte, chaflanes, junta soldada, cordón de soldadura, fuente de calor, entre otros. La designación de electrodos para SMAW sigue un estándar que indica su resistencia, posición de soldadura y tipo de corriente y revestimiento.



**Ilustración 2-12:** Elementos dispuestos para una soldadura SMAW  
Fuente: (Herrera, 2021)

### 2.3.10. *Electrodos de soldadura SMAW*

La regulación de los electrodos utilizados en el proceso de soldadura SMAW está estandarizada por organizaciones como AWS y ASME. Estas entidades proporcionan información detallada y simbología para identificar los electrodos revestidos. La nomenclatura aplicada a estos electrodos se compone de varios elementos: "E" que indica que se trata de un electrodo para el proceso SMAW, dos dígitos ("XX") que representan la resistencia a la tracción del material en libras por pulgada cuadrada ( $\text{lb}/\text{in}^2$ ), un tercer dígito ("Y") que especifica las posiciones de soldadura permitidas, y un último dígito ("Z") que define varios aspectos, incluido el tipo de corriente y el tipo de revestimiento, aspectos fundamentales para la ejecución exitosa del proceso de soldadura.

**Tabla 2-1:** Nomenclatura para tipos de electrodos SMAW

CIFRA	SIGNIFICADO	EJEMPLO
Las 2 ó 3 primeras	Mínima resistencia a la tracción	E 60 XX = 60 000 lb/pulg <sup>2</sup> (mínimo).
Penúltima	Posición de soldadura	E XX1X = toda posición E XX2X = plana y horizontal E XX4X = P, H, VD, SC
Ultima	Tipo de corriente Tipo de escoria Tipo de arco Penetración Presencia de compuestos químicos en el revestimiento	

Fuente: (Pacherre, 2019)

## 2.4. Normativa DIN VDI

La Asociación de Ingenieros Alemanes (VDI, por sus siglas en alemán), fundada en 1856, juega un papel crucial al impulsar el desarrollo tecnológico y abogar por los intereses de los ingenieros y las empresas de ingeniería en Alemania (Verein Deutscher Ingenieure, 2022, p. 3).

Entre las normas fundamentales para la ingeniería, se destacan las siguientes:

### 2.4.1. Norma VDI 2222 Parte 4: Metodología de diseño para proyectos de ingeniería

La Norma VDI 2222 Parte 4 establece criterios para evaluar proyectos de ingeniería bajo los conceptos de optimización técnica y económica del producto. Este proceso implica la recopilación de requisitos del proyecto mediante una lista de exigencias. Posteriormente, cada opción es evaluada, y se selecciona la alternativa que mejor se ajusta a los requisitos del proyecto (Verein Deutscher Ingenieure, 2022, p. 5).

### 2.4.2. Lista de exigencias del proyecto

La lista de exigencias del proyecto sirve como contrato entre el cliente y el diseñador, fundamentando el diseño en un documento integral. Además de proporcionar datos informativos sobre el proyecto, se centra en tres aspectos de los requisitos:

- *Deseo o exigencia:* Destaca la importancia vital de un requisito en el diseño o, en su defecto, si puede ser obviado por el diseñador.

- *Características:* Enumera necesidades traducidas a especificaciones técnicas, como velocidades, fuerzas, geometría, entre otras.
- *Descripción:* Establece las características que deben cumplir las máquinas durante el diseño.
- *Responsable:* Indica el profesional o entidad encargada de llevar a cabo el proyecto.

**Tabla 2-2:** Listas de deseos y exigencias norma VDI 2222

Lista de exigencias			
PROYECTO	Universidad		Fecha:
	Facultad		Autor.
Característica	Deseo o exigencia	Descripción	
Función Principal			
Geometría			
Cinemática			
Fuerzas			
Energía			
Materia Prima			
Fabricación			
Montaje			
Transporte			
Costos			
Seguridad			
Calidad			
Señales			
Ergonomía			

Fuente: VDI 2222, 2020

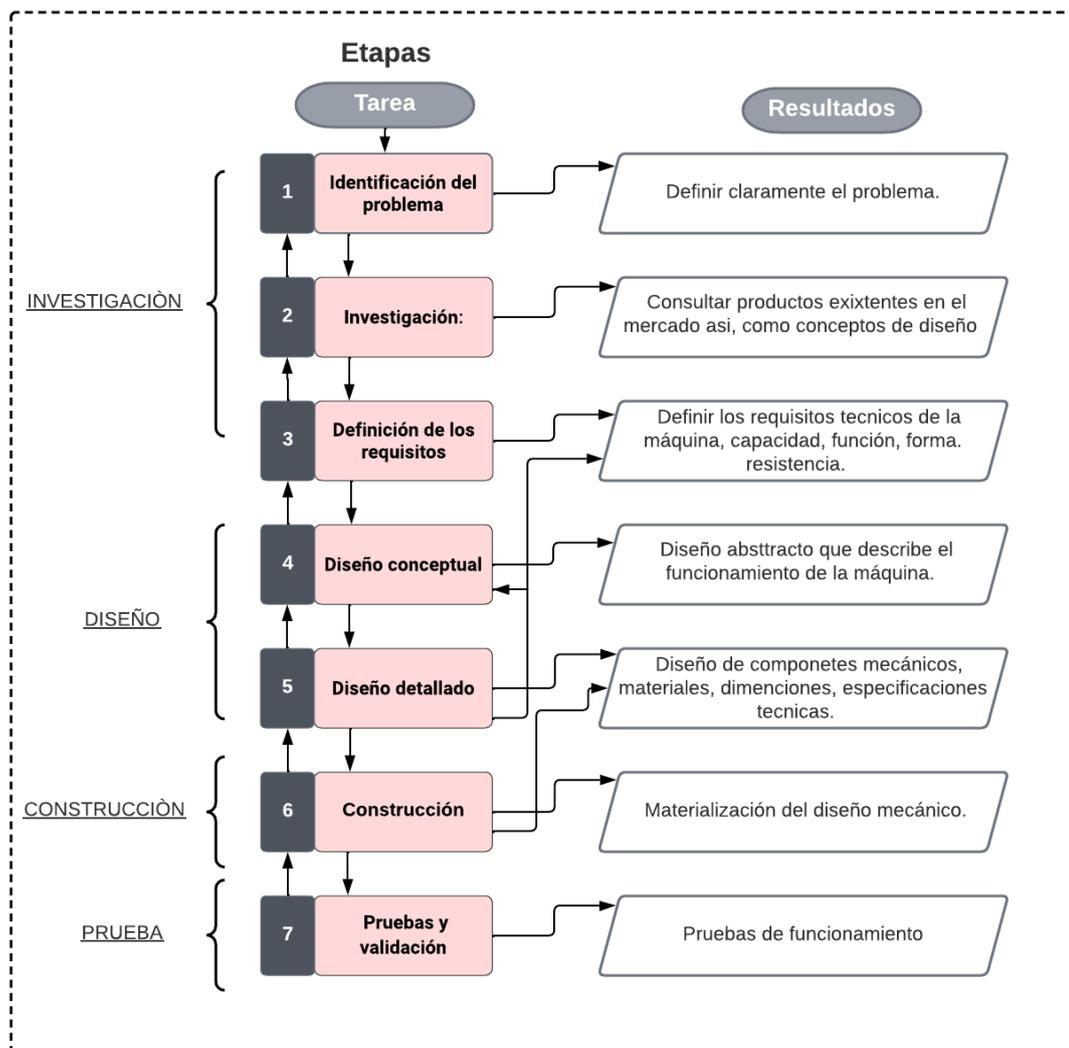
Además, entre las normas principales para ingeniería, se incluyen la VDI 2222 Parte 1 (1997-06) que aborda la metodología de diseño y el desarrollo de los principios de solución, la VDI 2223 (2004-01) que se centra en el diseño de productos técnicos, la VDI 2225 Parte 1 (1997-11) que trata sobre la metodología de diseño y el diseño de ingeniería simplificado para el cálculo de costos, la VDI 2225 Parte 3 (1998-11) que aborda la metodología de diseño, el diseño de ingeniería y la evaluación técnica y económica, y la VDI 2225 Parte 4 (1997-11) que se ocupa de la metodología de diseño y el diseño de ingeniería para lograr un dimensionamiento óptimo a nivel de costo.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Metodología de diseño

Diseñar una máquina implica un proceso complejo que requiere la aplicación de una metodología estructurada para asegurarse de que el resultado final sea un producto funcional y eficiente. A continuación, se describen los pasos generales para la metodología de la máquina clasificadora vibratoria de semilla de alfalfa.



**Ilustración 3-1:** Mapa conceptual de la metodología del diseño

**Realizado por:** Martínez B., 2023.

### 3.2. Consideraciones de diseño

Para el diseño de la maquina clasificadora vibratoria se consideraran los requerimientos del cliente con los aspectos de capacidad de producción por día y por hora. De acuerdo con este punto de vista se analizará la capacidad máxima de producción de semilla de alfalfa.

**Tabla 3-1:** Tablas de deseo y existencias

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>		
<b>Proyecto</b>	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA VIBRATORIA DE SEMILLAS DE ALFALFA MECÁNICA.	
<b>Cliente</b>		<b>Elaborado por:</b> Martínez B., 2023.
<b>Deseo o Exigencia</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable:</b>
E	<b>Función principal</b> Limpiar y clasificar la semilla de alfalfa	Martínez B., 2023.
E	<b>Geometría</b> El equipo debe ser compacto con unas medidas aproximadas de (2.30; 2; 0.65) metros tanto el alto, largo y ancho respectivamente, las cuales permitan una instalación fácil en el lugar de trabajo	Martínez B., 2023.
E	<b>Capacidad</b> La producción mínima requerida debe ser mayor o igual a 8 qq/h.	Martínez B., 2023.
E	<b>Energía</b> Todo el sistema de clasificación y limpiado de semilla debe ser alimentado con energía eléctrica monofásica de 110 V.	Martínez B., 2023.
D	<b>Fabricación</b> El sistema completo, tanto en la parte operativa, como en el sistema de transmisión de potencia debe ser fabricado de tal manera que sus componentes puedan ser manufacturados en un taller de precisión o se encuentren disponibles en el mercado local.	Martínez B., 2023.
D	<b>Transporte</b> El equipo deberá ser de fácil transporte ya que estará operando permanentemente en un cobertizo donde será el área de clasificación de la semilla.	Martínez B., 2023.
	<b>Costos</b>	

D	El costo de fabricación, operación y mantenimiento no deben superar un presupuesto \$3000,00	Martínez B., 2023.
E	<b>Uso</b> Clasificar a través de las diversas zarandas la semilla de alfalfa. Limpiar la semilla de alfalfa a través de escobillas.  Separar la semilla de alfalfa de la flor de esta	Martínez B., 2023.
E	<b>Seguridad</b> El equipo no debe representar un riesgo para el operario.	Martínez B., 2023.
E	<b>Ergonomía</b> Facilidad de acceso para el mantenimiento o cambio de piezas	Martínez B., 2023.
E	<b>Calidad</b> La clasificación y limpieza de la semilla debe cumplir criterios de calidad Norma Oficial Mexicana NOM-001-SAG/FITO-2013, por la que se establecen los criterios, procedimientos y especificaciones para la elaboración de guías para la descripción varietal y reglas para determinar la calidad de las semillas para siembra.	Martínez B., 2023.

Realizado por: Martínez B., 2023.

### 3.3. Especificaciones del equipo

La capacidad de producción de trabajo en día

$$m_p = 8000 \text{ Kg} = 80 \text{ qq}$$

Tiempo promedio de trabajo

$$t_p = 10 \text{ horas}$$

**Ecuación 3-1:** Flujo de trabajo

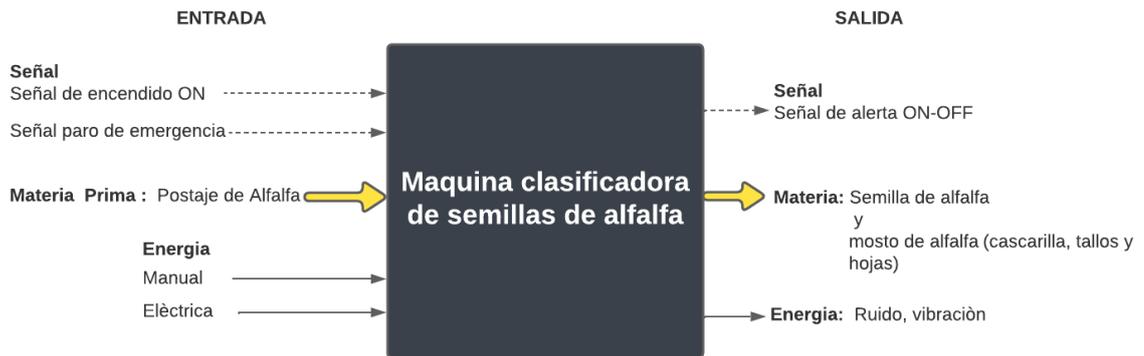
$$Q_t = \frac{m_p}{t_p} \quad \text{Ecu 1-3}$$

$$Q_t = \frac{8000}{10} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]$$

$$Q_t = 800 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]$$

$$Q_t = 8 \left[ \frac{\text{qq}}{\text{h}} \right]$$

### 3.4. Estructura de funciones



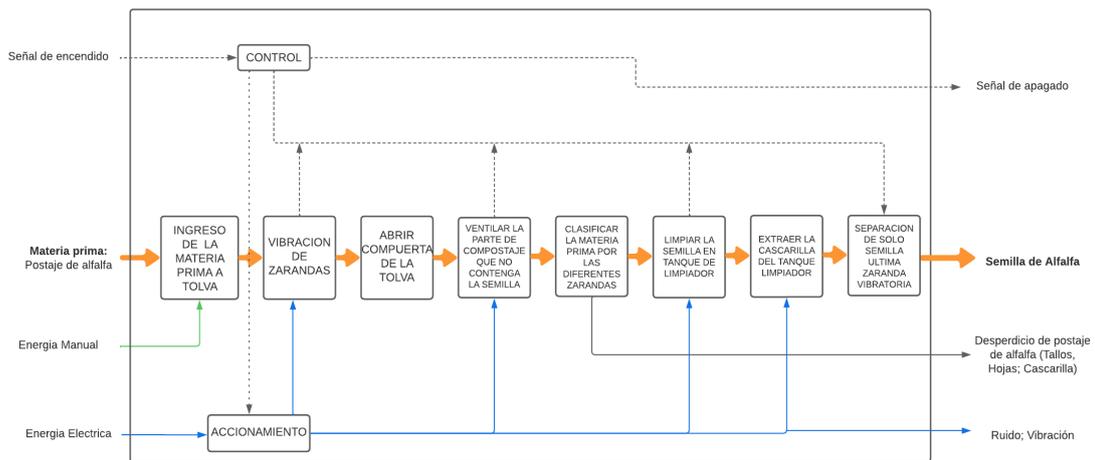
**Ilustración 3-2:** Estructura de funciones

Fuente: Martínez B., 2023.

### 3.5. Descripción de funciones

- **Alimentar.** Mediante una tolva ubicada en la parte superior del equipo, con ayuda del operario, ingresara el producto, en este caso la semilla de alfalfa con partes de hoja e impurezas presentes en la planta para posteriormente comenzar con los procesos de clasificación y limpia de la semilla.
- **Control de operación.** Para el control del encendido y apagado de la maquina se tiene que tener un panel de control el cual nos ayudara en la funcionalidad de la máquina.
- **Operación.** El equipo debe cuatro niveles de clasificación incluyendo el de limpieza y debe ser operado por una persona para que su funcionamiento sea secuencial.
- **Montaje y desmontaje.** Es necesario que el equipo sea desmontable para su fácil mantenimiento con piezas simples para evitar la complejidad del proceso o cambios de partes.
- **Modo de clasificación.** El modo de clasificación se lo realizara por zarandas a través de un sistema de vibración el cual clasificara en tres niveles la semilla y luego pasara por sistema de limpieza con ventilador.
- **Mecanismo de Vibratorio.** El mecanismo optimo se lo realizara de forma analítica tomando en cuenta todos los parámetros de diseño.
- **Transmisión de movimiento.** Para el funcionamiento de este tipo de maquinaria lo más utilizado es la transmisión por poleas a través de bandas lo cual ayuda a que el movimiento se controlado y sea fácil el desmontaje y el mantenimiento, teniendo en cuenta el bajo costo de construcción.

### 3.6. Consideraciones de funcionamiento

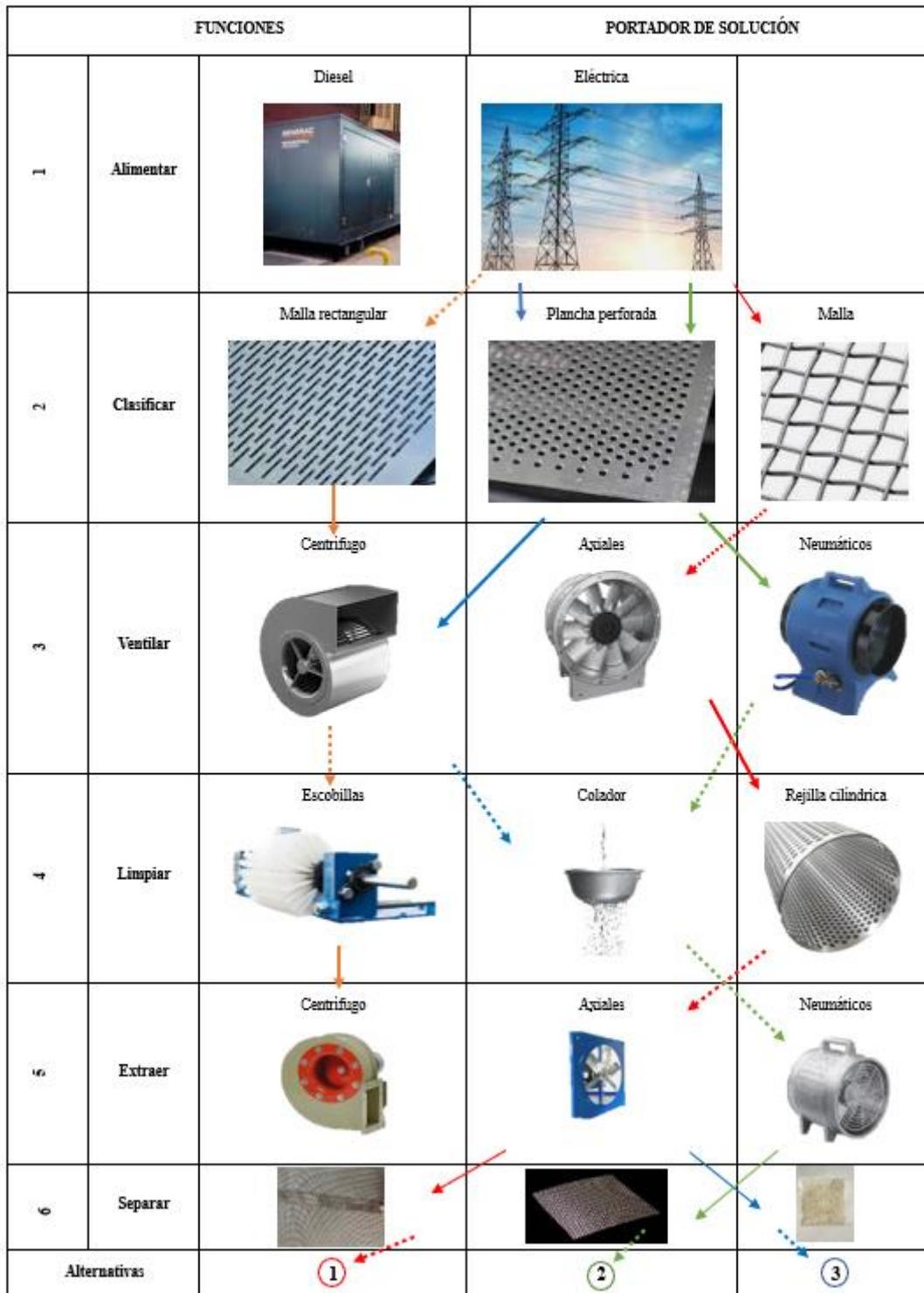


**Ilustración 3-3:** Diagrama de procesos

Fuente: Martínez B., 2023.

### 3.7. Matriz morfológica

Una vez definida la estructura de funciones, mediante la matriz morfológica de Zwicky se propone alternativas de solución y su conformación para posteriormente ser evaluadas. A continuación, se detallan las posibles alternativas de solución.



**Ilustración 3-4:** Diagrama morfológico  
Fuente: Martínez B., 2023.

### 3.8. Análisis de mercador de clasificadoras de semillas de alfalfa

El mercado de clasificadoras de semillas de alfalfa es un mercado especializado en equipos agrícolas utilizados para separar semillas de alfalfa de diferentes tamaños, formas y pesos. Estas

máquinas son importantes para los agricultores que cultivan alfalfa y desean obtener semillas de alta calidad para su próxima cosecha.

En cuanto a los tipos de clasificadoras de semillas de alfalfa, el mercado se divide en máquinas de cribado, máquinas de selección por gravedad y máquinas de clasificación por color. Las máquinas de cribado son las más utilizadas, ya que son más económicas y simples de operar, pero las máquinas de selección por gravedad y clasificación por color se están volviendo cada vez más populares debido a su capacidad para clasificar semillas de manera más precisa.

En este estudio de mercado se tratará las máquinas de gravedad horizontales ya que es uno de los requerimientos es este tipo de modelos por su operabilidad en espacios pequeños. En las siguientes Tablas se detallará tres modelos del mercado con las características de que se apeguen a las condiciones del cliente. Con estos tres modelos se analizará las características principales y las partes de importancia dentro de su funcionamiento, con esto se tener un punto de partida y el panorama mucho más amplio para el diseño conceptual.

## **Modelo A**

### **- CLASIFICADORA DE GRANOS SIRCA**

#### **I. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO**

- Equipo especial para la limpieza del grano.
- Realiza una prelimpia en base al movimiento vibratorio y por gravedad.
- Equipado con 2 zarandas para preclasificación, tolva para alimentación del grano, y 3 descargas para producto limpio y subproductos.
- Bajo consumo energético.
- Todo el equipo protegido con doble capa de pintura base y anticorrosiva.
- Sirve para clasificar: Granos pegados, ramillas, grano limpio, cascarilla y polvo.

#### **II. DONDE SE PUEDE COMPRAR**

- **Empresa que comercializa:** SIRCA Maquinaria Agroindustrial.
- **Costo aproximado de la máquina:** \$8,640.00
- **Garantía:** 1 año.
- **Dirección de la tienda:** Lotización Santa Adriana, Mz 16. Solar 1 Guayaquil – Ecuador.

- **Teléfonos:** +593998419918 y +593998859528.
- **Dirección electrónica:** [contactos@sirecuador.com](mailto:contactos@sirecuador.com)

### III. DATOS TÉCNICOS

- **Marca:** Sirca
- **Modelo:** 1
- **Potencia (Hp):** 2
- **Niveles:** 2
- **Productividad (gg/h):** 35
- **Voltaje (Volts):** 220
- **Suministro:** Monofásico
- **Vida útil:** 10
- **Para su instalación requiere:** Interruptor termo magnético de 20 amperios.

### IV. COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

- **Costo de electricidad \$/Hora:** Aprox. tarifa ARCERNNR (\$0.092/Kwh).
- **Repuestos que utiliza la máquina:** Correa cojinetes, etc.
- **Insumos para la máquina:** 1/4 litro de grasa.
- **Mano de obra:** Una persona

### V. RECOMENDACIONES

- Solicitar siempre un manual o catálogo de funcionamiento de la máquina. Solicitar una capacitación previa del uso de la máquina. Solicitar tiempo de garantía.



**Ilustración 3-5:** Clasificadora de granos SIRCA Modelo  
Fuente: (SIRCA, MAQUINA AGROINDUSTRIAL, 2018)

Modelo B

## **FICHA TECNICA. LIMPIADORAS Y CLASIFICADORAS DE GRANOS VDH**

### **I. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO**

- Capacidad de ventilación regulable por medio de apertura de compuertas a los lados del ventilador.
- Intercambio de zarandas: de acuerdo con el calibre del grano se pueden intercambiar distintos tamaños de malla.
- Se entrega con mallas perforadas de 3mm, 5mm, 6 mm, y 8 mm o a elección.
- Granos que procesa: avena, centeno, cebada, trigo, maíz, legumbres, pasturas, alfalfa, etc.
- Transmisión: por correas y poleas.
- Motor blindado.

### **II. DONDE SE PUEDE COMPRAR**

- **Empresa que comercializa:** VDH MAQUINAS.
- **Costo aproximado de la máquina:** \$6,520.00
- **Garantía:** 1 año.
- **Dirección de la tienda:** Camino del Valle km 3969 Paraje las Golondrinas, Lago Puelo, Chubut. Argentina.
- **Teléfonos:** +549294154704058
- **Dirección electrónica:** [contacto@vdhmaquinas.com.ar](mailto:contacto@vdhmaquinas.com.ar)

### **III. DATOS TÉCNICOS**

- **Marca:** VHD
- **Modelo:** 6000
- **Potencia (Hp):** 1
- **Niveles:** 4
- **Productividad (gg/h):** 6
- **Voltaje (Volts):** 220
- **Suministro:** Monofásico
- **Vida útil:** 10
- **Para su instalación requiere:** Interruptor termo magnético de 15 amperios.

#### IV. COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

- **Costo de electricidad \$/Hora:** Aprox. tarifa ARCERNNR (\$0.092/Kwh).
- **Repuestos que utiliza la máquina:** Correa cojinetes, etc.
- **Insumos para la máquina:** 1/4 litro de grasa.
- **Mano de obra:** Una persona

#### V. RECOMENDACIONES

- Solicitar siempre un manual o catálogo de funcionamiento de la máquina. Solicitar una capacitación previa del uso de la máquina. Solicitar tiempo de garantía.



**Ilustración 3-6:** Limpiadoras y clasificadoras de granos VDH  
Fuente: (VDH MAQUINAS , 2015)

#### Modelo C

#### FICHA TECNICA VENTILADORA Y CLASIFICADORA DE GRANOS

##### I. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

- Máquina especializada para ventilar y clasificar granos, algunas legumbres y cereales al mismo tiempo separa las impurezas almacenando a un recipiente diferente.
- Garantía.
- Extraordinario sistema de clasificado depositando las impurezas a un recipiente diferente.
- Visor para visualizar el avance del producto.
- Máquina apropiada para granos grandes como cebada, trigo arroz, alverja, habas, maíz, soya, alfalfa, etc.
- Fuente de alimentación con capacidad hasta 50 kilos.

— Cuenta con un manual de uso.

## **II. DONDE SE PUEDE COMPRAR**

— **Empresa que comercializa:** INDUSTRIAS FAMACIN DEL PERU.

— **Costo aproximado de la máquina:** \$12,000.00

— **Garantía:** 1 año.

— **Dirección de la tienda:** URB. URPAICANCHA, Huancayo 12001. Perú

— **Teléfonos:** +51954804343

— **Dirección electrónica:** Informes@industriasfamaci.com

## **III. DATOS TÉCNICOS**

— **Marca:** FAMACI

— **Modelo:** VCGF 1000AI

— **Potencia (Hp):** 1.5

— **Niveles:** 4

— **Productividad (gg/h):** 10

— **Voltaje (Volts):** 220

— **Suministro:** Trifásico

— **Vida útil:** 10

— **Para su instalación requiere:** Interruptor termo magnético de 30 amperios.

— **Peso (Kg):** 150

— **Altura (m):** 1.90

## **IV. COSTOS DE FUNCIONAMIENTO**

— **Costo de electricidad \$/Hora:** Aprox. tarifa ARCERNNR (\$0.092/Kwh).

— **Mano de obra:** Una persona

## **V. RECOMENDACIONES**

— Solicitar siempre un manual o catálogo de funcionamiento de la máquina. Solicitar una capacitación previa del uso de la máquina. Solicitar tiempo de garantía.

### 3.8.1. Evaluación de alternativas

Para la evaluación de alternativas de la clasificadora vibratoria de semillas de se tiene las diferentes alternativas las cuales son:

- Modelo A: clasificadora y limpiadora (Marca SIRCA)
- Modelo B: clasificador (Marca VHD)
- Modelo C: clasificadora ventilador vertical (Marca FAMACIN)



**Ilustración 3-7:** Ventiladora y clasificadora de granos  
Fuente: (INDUSTRIAS FAMACIN, 2014)

### 3.9. Análisis de ventajas y desventajas de los equipos

Como criterio analítico principal, se evaluarán las fortalezas y debilidades de cada tecnología disponible de limpieza y clasificación de granos. Las ventajas y desventajas de cada modelo ayudarán a tener las condiciones de diseño para la creación del prototipo.

**Tabla 3-2:** Análisis de tecnologías

Tecnología	Modelo	Ventajas	Desventajas
<p>Vibración y gravedad para la clasificación de granos.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bajo costo de mantenimiento.</li> <li>· Operación sencilla.</li> <li>· Tres descargas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Selección no optima (suciedad).</li> <li>· Costo elevado.</li> <li>· Dependiente de energía eléctrica.</li> <li>· Nivel de ruido elevado en funcionamiento.</li> </ul>
<p>Ventilador en tolva y mesa vibratoria para la limpieza y clasificación de granos.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bajo costo de mantenimiento.</li> <li>· Operación sencilla.</li> <li>· Trabajo continuo.</li> <li>· Clasificación efectiva.</li> <li>· Cuatro descargas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Costo elevado.</li> <li>· Dependiente de energía eléctrica.</li> <li>· Nivel de ruido elevado en funcionamiento.</li> <li>· Lubricación y mantenimiento continuo.</li> </ul>
<p>Limpiador rotativo inferior y mesa vibratoria para la limpieza y clasificación de granos.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bajo costo de mantenimiento.</li> <li>· No genera desperdicios.</li> <li>· Operación sencilla.</li> <li>· Trabajo continuo.</li> <li>· Clasificación efectiva.</li> <li>· Cuatro descargas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Tamaño.</li> <li>· Costo elevado.</li> <li>· Dependiente de energía eléctrica.</li> <li>· Nivel de ruido elevado en funcionamiento.</li> <li>· Lubricación y mantenimiento continuo.</li> </ul>

Realizado por: Martínez B., 2023.

### 3.9.1. Definición de requerimientos

Una clasificadora de semillas de alfalfa es un equipo que se encarga de separar las semillas de alfalfa en diferentes categorías según su tamaño, peso y calidad. Para diseñar una clasificadora de semillas de alfalfa, se deben tener en cuenta los siguientes requerimientos:

- **Capacidad de producción:** la máquina debe ser capaz de procesar una cantidad suficiente de semillas por hora para cumplir con las necesidades de los productores. La capacidad promedio necesaria para procesar es de 8 qq/h.
- **Tamaño.** Las consideraciones de tamaño para el clasificador se deben analizar para el espacio de trabajo disponible. Para este caso se va a poner en énfasis un clasificador horizontal ya que este nos permite reducir el espacio de trabajo.
- **Construcción.** Para la construcción se debe priorizar una fabricación sencilla y rápida, que no necesite piezas o maquinaria especiales para el ensamble del equipo, esto evitara gastos y disminuir el precio de fabricación.
- **Precisión de clasificación:** la precisión de la clasificación debe ser alta, para garantizar que las semillas se separen correctamente en diferentes categorías según su tamaño, peso y calidad. En esta máquina se establece tres niveles de clasificación, y un nivel de limpiado para el producto final.
- **Eficiencia energética:** la máquina debe ser eficiente en términos de consumo de energía para reducir los costos de producción y disminuir el impacto ambiental. Con esto se procura que la maquina sea de consumo de bifásico con la ayuda un motor ½ HP y con blower adicional para el limpiado de la semilla, este consumo está dentro de las consideraciones de producción y no afecta al rendimiento de costos en el proceso de producción.
- **Facilidad de uso:** la máquina debe ser fácil de usar y mantener para que los operadores puedan manejarla sin dificultad. En este punto se puede decir que maquina va a tener un solo operario el cual este encargado de suministrar la materia prima dentro de la tolva y verificar que le proceso se cumpla con normalidad
- **Seguridad:** la máquina debe cumplir con todas las normas de seguridad requeridas para proteger a los operadores y evitar accidentes laborales.
- **Durabilidad:** la máquina debe ser resistente y duradera para soportar las condiciones de trabajo y tener una larga vida útil.
- **Flexibilidad:** la máquina debe ser adaptable a diferentes tipos de semillas y tamaños para satisfacer las necesidades de los clientes.
- **Precio:** el costo de la máquina debe ser razonable y competitivo en comparación con otras opciones del mercado.

### 3.9.2. *Evaluación técnica*

En la siguiente Tabla, se muestra la evaluación de las variables que describirán las características de cada alternativa según VDI 2222.

**Tabla 3-3: Evaluación técnica del proyecto**

Evacuación de proyectos - Valor técnico (Vi)												
Proyecto: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA CALSIFICADORA VIBRATORIA DE SEMILLAS DE ALFALFA/ p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valor según la norma VDI).												
g: peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación.												
0 = No aceptable, 1 = Poco satisfactorio, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 =Ideal												
Criterios de evaluación en fase de conceptos o proyectos.												
Variables de Proyectos			Alternativa de solución								Solución ideal S	
			A		B		C		Prototipo			
No	Criterios de evaluación	g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g
1	Facilidad de ingreso de la materia prima	3	4	12	3	9	4	12	4	12	4	12
2	Velocidad de clasificación de la semilla de alfalfa	4	3	12	3	12	4	16	4	16	4	16
3	Calidad de clasificación de la semilla de alfalfa	4	4	16	4	16	3	12	4	16	4	16
4	Capacidad de la máquina para clasificar	3	3	9	3	9	2	6	4	12	4	12
5	Facilidad de mantenimiento de la maquina	3	3	9	3	9	3	9	4	12	4	12
6	Diseño y Ergonomía de la maquina clasificadora	3	4	12	3	9	4	12	4	12	4	12
7	Operabilidad	3	4	12	4	12	4	12	3	9	4	12
8	Seguridad	3	4	12	3	9	3	9	4	12	4	12
9	contaminación	2	3	6	3	6	2	4	3	6	2	4
<b>Puntaje máximo</b>		28	32	100	29	91	29	92	34	107	34	108
<b>Valor técnico (Vi)</b>			<b>0,923</b>		<b>0,839</b>		<b>0,846</b>		<b>0,986</b>		1	1

Realizado por: Martínez B., 2023

El valor técnico de la Alternativa del prototipo es un valor de 0,986 es el más alto de las tres alternativas planteadas, tomando así su modelo como referencia de construcción para el prototipo del proyecto.

### 3.9.3. Evaluación económica

La evaluación económica se la realiza como un indicador para determinar una opción óptima, para lo cual se han determinado varios valores correspondientes a costes inmersos en la producción de cada alternativa.

**Tabla 3-4:** Evaluación económica del proyecto

Evaluación de proyectos - Valor económico (Yi)												
Proyecto: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA CALSIFICADORA VIBRATORIA DE SEMILLAS DE ALFALFA												
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valor según la norma VDI). g: peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación. 0 = No aceptable, 1 = Poco satisfactorio, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 =Ideal												
Criterios de evaluación en fase de conceptos o proyectos.												
Variables de Proyectos			Alternativa de solución								Solución Ideal S	
			A		B		C		Prototipo			
No	Criterios de evaluación	g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g
1	Costo de diseño	4	4	16	3	12	4	16	3	12	4	16
2	Costo de construcción	3	3	9	4	12	3	9	4	12	4	12
3	Costo de montaje	2	4	8	3	6	3	6	2	4	2	4
4	Costo de transporte	3	3	9	3	9	4	12	3	9	4	12
5	Costo de mantenimiento	3	3	9	4	12	4	12	4	12	4	12
6	Costos adicionales	4	3	12	3	12	9	3	4	16	3	12
Puntaje máximo p*g		19	20	63	20	63	27	58	20	65	21	68
Valor económico (Yi)			<b>0,93</b>		<b>0,93</b>		<b>0,96</b>		<b>0,96</b>		1	1

Realizado por: Martínez B., 2023.

A diferencia que el valor técnico, el valor económico de la Alternativa de prototipo con un valor de 0,96, se presenta muy alto a comparación de las otras alternativas dado que su tecnología es superior.

En la siguiente Tabla se presenta los valores técnicos y económicos de cada alternativa.

**Tabla 3-5:** Resumen de la evaluación del proyecto

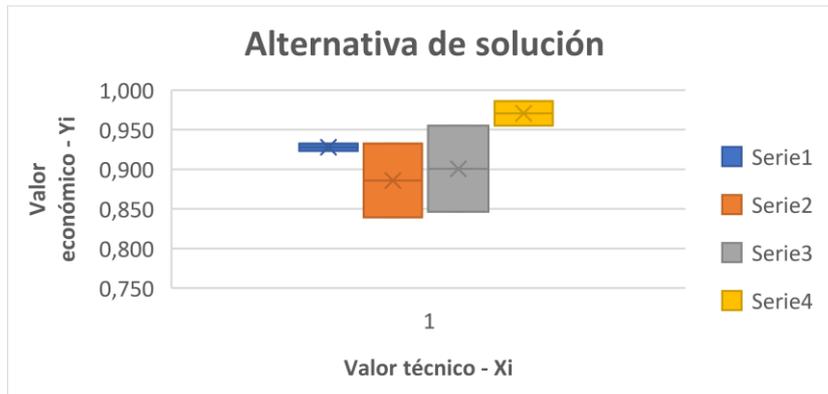
Alternativa de solución	Valor técnico - Xi	Valor económico - Yi
1	0,923	0,93
2	0,839	0,93
3	0,846	0,96
<b>PROTOTIPO</b>	<b>0,986</b>	<b>0,96</b>

Realizado por: Martínez B., 2023

La evaluación de las alternativas existentes muestra una valoración indicada para cada una de ellas, en el que puede observarse que la mejor opción para este proyecto es la alternativa 3 que corresponde al “Limpiador rotativo inferior y mesa vibratoria para la limpieza y clasificación de granos de la marca FAMACIN” es la que cumple con la mayor parte de los requerimientos de diseño y construcción. Pese a que se realiza una evaluación previa de las alternativas es muy recomendable tener en cuenta la funcionalidad y considerar algunos aspectos que pueden añadirse a la evaluación que probablemente varíen los resultados.

### 3.9.3.1. Resultados de la evaluación técnica y económica

En la ilustración 9-3, se realizó la evaluación técnica y económica de las 4 alternativas de posibles soluciones, donde se observa los valores de cada uno de los enfoques del estudio. En el eje de las X se encuentra el Valor técnico y en el eje de las Y se encuentra el Valor económico. Los resultados mostrados en la ilustración se observan que la alternativa propuesta para el prototipo debe ser superior a las demás, satisfaciendo de manera focalizada todos los aspectos propuestos para este proyecto.



**Ilustración 3-8:** Diagrama de evaluación según norma VDI 2222  
Realizado por: Martínez B., 2023.

### 3.10. Diseño de detalle

#### 3.10.1. Tolva

La tolva en una máquina clasificadora de semillas es un recipiente grande ubicado en la parte superior de la máquina que se utiliza para almacenar las semillas antes de que se introduzcan en el proceso de clasificación. La tolva está diseñada para permitir la carga de grandes cantidades de semillas de manera eficiente y segura, y se puede ajustar en función del tamaño y la capacidad de la máquina clasificadora de semillas. Las semillas se vierten en la tolva y luego se transfieren a la máquina clasificadora de semillas para su procesamiento. En algunos casos, la tolva también puede incluir un mecanismo de alimentación que se utiliza para controlar la velocidad de entrada de las semillas en la máquina clasificadora, para lograr una mayor eficiencia y precisión en el proceso de clasificación de semillas.

#### 3.10.2. Características de materiales para tolvas

**Tabla 3-6:** Materiales para tolvas

Calidad Estructural												
Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

Fuente: (Promacons, 2020).

- **Relación de diferentes materiales para tolvas**

**Tabla 3-7:** Relación de diferentes materiales para tolvas

	<b>Acero Estructural A36</b>	<b>AISI 304</b>	<b>Aluminio T6</b>	<b>Acero Galvanizado AISI 1018</b>
<b>Resistencia a la fluencia</b>	250 MPa	276 MPa	169 MPa	370 MPa
<b>Densidad</b>	6.8 g/cm <sup>3</sup>	7.8 g/cm <sup>3</sup>	2.7 g/cm <sup>3</sup>	7.85 g/cm <sup>3</sup>
<b>Resistencia a la corrosión</b>	Baja	Alta	Media	Media
<b>Costos</b>	Baja	Alta	Alta	Media
<b>Limpieza</b>	Regular	Excelente	Excelente	Regular
<b>Toxicidad</b>	Regular	Baja	Baja	Regular

Realizado por: Martínez B., 2023.

Para realizar el diseño de la tolva se escoge el material de acuerdo con las ponderaciones y a las necesidades antes expuestas. Luego de hacer este análisis para la elección del material se escogió el acero estructural ASTM A36 como mejor opción ya que sus características son suficientes para el tipo de aplicación que va a trabajar y que le costó de fabricación es adecuado para la inversión a realizar. Las características de este material se muestran en la Tabla.

**Tabla 3-8:** Propiedades del acero estructural

Propiedades del Acero Estructural ASTM – A36				
Propiedades Mecánicas		Símbolo	Valor	Unidades
Densidad			7860	Kg/m <sup>3</sup>
Resistencia última	Tensión		400	MPa
	Tensión		250	MPa
Fluencia	Cortante		145	MPa
Módulo de Elasticidad			200	GPa
Módulo de Rigidez			77.2	GPa
Coeficiente de Expansión Térmica			11.7	
Ductilidad (% 50mm)			21	%

Fuente: (Peña, 2013)

### 3.10.3. Volumen de la tolva

Para el volumen para la tolva se analiza la forma de la semilla para verificar el que pueda caer sin dificultad, teniendo en cuenta el factor de rozamiento que tiene la semilla de alfalfa. Ya que la semilla de alfalfa tiene forma elíptica el ángulo seleccionado es de 38° esto se da para que la caída

sea de forma continua y fluya dentro de la tolva. En base a esto y a la capacidad de procesamiento se analizó la forma de la tolva y se asumió medidas que cumplan esta función.

Flujo del procesamiento:  $8 \frac{qq}{h}$

Densidad del producto:  $800 \frac{Kg}{m^3}$

Capacidad de procesamiento: 800 Kg

**Ecuación 3-2:** Volumen de la tolva

$$V_{proc} = \frac{m_c}{\delta} \quad \text{Ecu 2-3}$$

$$V_{proc} = \frac{800Kg}{800 Kg/m^3}$$

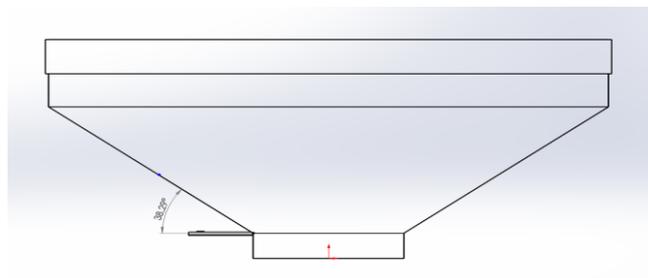
$$V_{proc} = 1 m^3$$

Este volumen es el que se procesa durante una hora de trabajo en la clasificadora. El tiempo de procesamiento básicamente es cuanto se demora en procesar el material dentro de la maquina y una las condiciones es que no se mas de 15 minutos en cada recarga de materia prima. Por lo tanto, el volumen de la tolva se divide para este tiempo. De esta manera se puede obtener el volumen de cada recarga.

$$V_{tolva} = 1 m^3 \left( \frac{15mint}{60mint} \right)$$

$$V_{tolva} = \frac{1}{4} m^3 = 0.25m^3$$

Con este volumen se procederá a generar la geometría de la tolva la cual debe tener la entrada de material, en esta va a ser de forma rectangular. Luego la caída de material la cual va a ser forma piramidal con base rectangular y por último la boca de base rectangular. Para el volumen de la primera parte se asumió las siguientes medidas:



**Ilustración 3-9:** Medidas asumidas 1

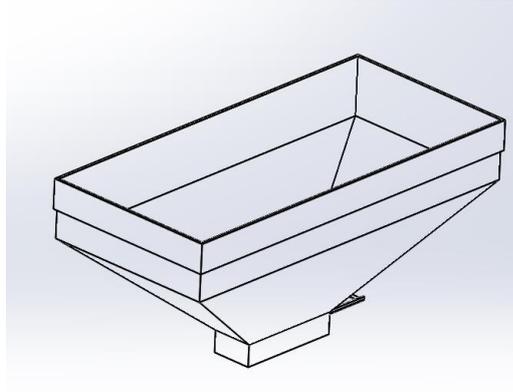
Realizado por: Martínez B., 2023.

$$a = 1300mm$$

$$b = 600mm$$

$$h = 200 mm$$

$$V_{boca} = 1.3 * 0.6 * 0.2 = 0.156m^3$$



**Ilustración 3-10:** Medidas asumidas 2  
Realizado por: Martínez B., 2023.

Volumen de la pirámide rectangular

$$h = 375 mm$$

Ecuación 3.3

**Ecuación 3-3:** Volumen de la Piramide rectangular

$$V_{piram} = \frac{1}{3}(Area\ Base)(Altura)$$

Ecu 3-3

$$V_{piram} = \frac{1}{3}(0.6 * 1.3)(0.375)$$

$$V_{piram} = 0.0975m^3$$

Volumen de la boca

$$a = 350mm$$

$$b = 140mm$$

$$h = 75 mm$$

$$V_{boca} = 0.14 * 0.35 * 0.075$$

$$V_{boca} = 0.003675m^3$$

Volumen total de la tolva

$$V_{T\ tolva} = 0.156 + 0.0975 + 0.00367$$

$$V_{T\ tolva} = 0.2571\ m^3$$

El volumen de la tolva debe ser mayor al volumen de carga en este caso cumple con las medidas asumidas de trabajo.

$$V_{T\ tolva} > V_{tolva}$$

#### **3.10.4. Cálculo de espesor de la tolva**

Para el cálculo del espesor de la tolva se analiza la teoría de diseño de silos y tolvas en cual se basan en el Euro código 1 parte 4, donde se calculan las presiones máximas que se producen en las paredes para poder luego determinar el espesor adecuado de la chapa metálica.

El análisis está dividido en dos partes, la parte vertical que vendría a ser el silo donde se producen presiones de rozamiento sobre la pared  $p_{wf}$ , presiones horizontales  $p_{hf}$  y presiones verticales  $p_v$  y la parte con paredes inclinadas que sería la tolva donde se producen presiones perpendiculares a las paredes que dependen de las presiones antes mencionadas. Además, se debería calcular presiones de llenado y de vaciado para comparar entre estas y determinar la presión máxima, pero de acuerdo con la norma para silos cortos estas presiones son idénticas.

De acuerdo AENOR, 1998 en la norma euro código las ecuaciones para la presión en silos y tolvas se encuentran de la siguiente manera:

**Ecuación 3-4:** Presión de paredes laterales vertical

$$P_{wf}(z) = \gamma \frac{A}{U} C_z(z) \quad \text{Ecu 3-4}$$

**Ecuación 3-5:** Presión de paredes laterales horizontal

$$P_{hf}(z) = \gamma \frac{A}{\mu U} C_z(z) \quad \text{Ecu 3-5}$$

**Ecuación 3-6:** Presión de vertical maxima

$$P_V(z) = \gamma \frac{A}{K_s \mu U} C_z(z) \quad \text{Ecu 3-6}$$

**Ecuación 3-7:** Presión tomando z como la maxima profundidad

$$C_z(z) = 1 - e^{-\frac{z}{z_0}} \quad \text{Ecu 3-7}$$

**Ecuación 3-8:** Presión tomando z como la maxima profundidad

$$z_0 = \frac{A}{K_s \mu U} \quad \text{Ecu 3-8}$$

**Dónde:**

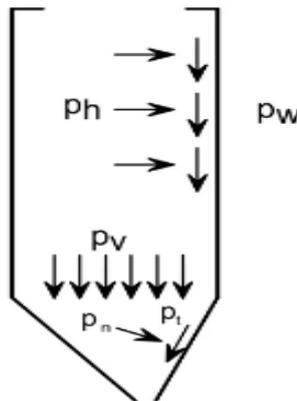
$\gamma$  = peso específico de la carga

$\mu$  = el coeficiente de rozamiento de la pared

$K_s$  = relación de presiones horizontal y vertical

$Z$  = profundidad

$U$  = perímetro interior



**Ilustración 3-11:** Presiones de un silo  
Fuente: (AENOR, 1998)

Para la tolva de figura se calcula las presiones perpendiculares en las paredes inclinadas y presiones de rozamiento.

**Ecuación 3-9:** Presión en caras inclinadas

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \left( \frac{x}{lh} \right) \quad \text{Ecu 3-9}$$

**Ecuación 3-10:** Presión debida al llenado de la tolva

$$p_{n1} = p_{v0} (C_b \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) \quad \text{Ecu 3-10}$$

**Ecuación 3-11:** Presión debida al llenado de la tolva

$$p_{n2} = C_b p_{v0} \cos^2 \alpha \quad \text{Ecu 3-11}$$

**Ecuación 3-12:** Presión debida a la Presión vertical sobre el material almacenado

$$p_{n3} = \frac{3A}{U} * \frac{\gamma K_s}{\sqrt{\mu}} \text{sen}^2 \alpha \quad \text{Ecu 3-12}$$

**Ecuación 3-13:** Presión en paralelas a las caras inclinadas

$$p_t = p_n * \mu \quad \text{Ecu 3-13}$$

**Dónde:**

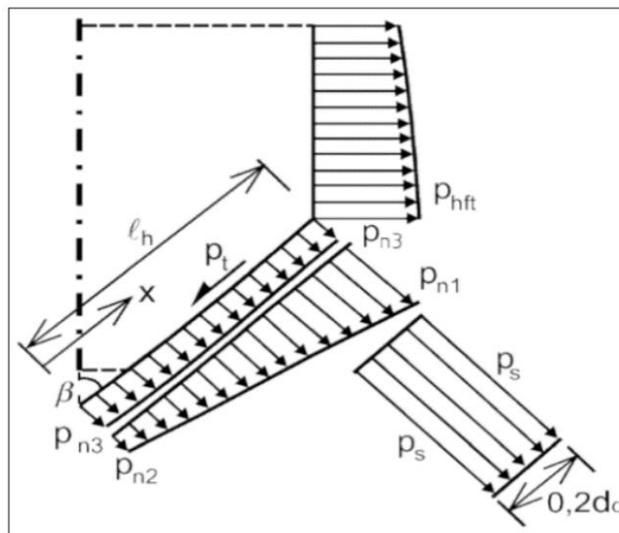
$x$  = longitud entre 0 y  $l_h$

$p_{n1}$ ,  $p_{n2}$  = presión debida al llenado de la tolva

$p_{n3}$  = presión debida a la presión vertical sobre el material almacenado directamente por encima de la transición;

$C_b$  = coeficiente de mayoración de la presión sobre el fondo

$p_{v0}$  = presión vertical actuante en la transición



**Ilustración 3-12:** Presiones ejercidas sobre la tolva

Fuente: (Norma Alemana DIN 1055, 2005)

Para determinar las presiones en la tolva de la clasificadora se parte con los siguientes datos:

$h_1 = 0.20$  m (profundidad en la pared vertical)

$h_2 = 0.3758$  m (profundidad en la pared inclinada)

$l = 0.6$  m (lado corto de la tolva)

$l_2 = 1.3$  m (lado largo de la tolva)

$\alpha = 38^\circ$  (ángulo de inclinación de la tolva)

$k_s = 0.55$  (relación entre Presiones verticales y horizontales)

$\gamma = 7.840$  kN/m<sup>3</sup> (Peso específico de la semilla de alfalfa,  $\gamma = \rho * g$ )

$C_b = 1.35$  (Coeficiente de mayoración basado en la Tabla)

Para determinar el valor de  $\mu$  se considera las exPresiones 7.1, 7.2, 7.3 de la norma Dónde:

Máx.  $ph \rightarrow \mu = 0.9\mu_m$

Máx.  $pv \rightarrow \mu = 0.9\mu_m$

Máx.  $pw \rightarrow \mu = 1.15\mu_m$

- **Propiedades de materiales granulados**

**Tabla 3-9:** Propiedades de materiales granulados

Material granular	Densidad <sup>1)</sup> $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Relación de presiones ( $K_{s,m}$ )	Coeficiente de rozamiento de la pared $\mu_m$		Máximo coeficiente de mayoración de la presión $C_o$
			Acero <sup>4)</sup>	Hormigón	
cebada <sup>1)</sup>	8,5	0,55	0,35	0,45	1,35
cemento	16,0	0,50	0,40	0,50	1,40
clinker de cemento	18,0	0,45	0,45	0,55	1,40
arena seca <sup>2)</sup>	16,0	0,45	0,40	0,50	1,40
harina <sup>1)</sup>	7,0	0,40	0,30	0,40	1,45
ceniza volante <sup>2)</sup>	14,0	0,45	0,45	0,55	1,45
maíz <sup>1)</sup>	8,5	0,50	0,30	0,40	1,40
azúcar <sup>1)</sup>	9,5	0,50	0,45	0,55	1,40
trigo <sup>1)</sup>	9,0	0,55	0,30	0,40	1,30
carbón <sup>1), 2)</sup>	10,0	0,50	0,45	0,55	1,45

Fuente: Martínez B., 2023

Y el valor de  $\mu_m$  de la Tabla, por lo tanto

$$\mu_{ph,pv} = 0.9 * 0.35 = 0.315$$

$$\mu_{pw,pv} = 1.15 * 0.35 = 0.4025$$

Con estos datos se procede a calcular las Presiones tomando  $z$  como la máxima profundidad

$$z_0 = \frac{A}{K_s \mu U}$$

$$z_0 = \frac{1.3 * 0.6}{0.55 * 0.315 * (0.2 * 4)} = 5.627 \text{ m}$$

$$C_z(z) = 1 - e^{-\frac{z}{z_0}}$$

$$C_z(0.20 + 0.375) = 1 - e^{-\frac{0.20+0.315}{5.627}}$$

$$C_z(0.575) = 0.0874$$

Con esta constante se calcula las Presiones en las secciones de las paredes verticales

$$P_{wf}(z) = \gamma \frac{A}{U} C_z(z)$$

$$P_{wf}(0.6) = 7.840 \frac{1.3*0.6}{0.2*4} (0.0874)$$

$$P_{wf} = 0.668 \text{ kPa}$$

$$P_V(z) = \gamma \frac{A}{K_s \mu U} C_z(z)$$

$$P_V(0.6) = 7.840 \frac{1.3 * 0.6}{0.55 * 0.315 * 0.2 * 4} (0.0874)$$

$$P_V = 3.8561 \text{ kPa}$$

$$P_{hf}(z) = \gamma \frac{A}{\mu U} C_z(z)$$

$$P_{hf}(z) = P_V(z) * K_s$$

$$P_{hf}(0.6) = 3.8561 * 0.55$$

$$P_{hfmax} = 2.12 \text{ kPa}$$

Para las paredes inclinadas con estos valores se pueden calcular:

$$p_{n1} = p_{v0}(C_b \cos^2 \alpha + \text{sen}^2 \alpha)$$

$$p_{n1} = 3.8561 \text{ kPa}(1.35 \cos^2 38 + \text{sen}^2 38)$$

$$p_{n1} = 6.6546 \text{ kPa}$$

$$p_{n2} = C_b p_{v0} \cos^2 \alpha$$

$$p_{n2} = 1.35(3.856 \text{ kPa}) \cos^2 38^\circ$$

$$p_{n2} = 3.22 \text{ kPa}$$

$$p_{n3} = \frac{3A}{U} * \frac{\gamma K_s}{\sqrt{\mu}} \text{sen}^2 \alpha$$

$$p_{n3} = \frac{3(0.78)}{0.2 * 4} * \frac{7.840 * 0.55}{\sqrt{0.315}} \text{sen}^2 3^\circ$$

$$p_{n3} = 8.51 \text{ kPa}$$

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \left(\frac{x}{lh}\right)$$

Donde la relación de  $\left(\frac{x}{lh}\right)$  en distancias donde ocurre la presión máxima es cuando se igualan cada una de estas  $\left(\frac{x}{lh}\right) = 1$

$$p_n = 8.51 + 3.22 + (6.654 - 3.22)(1)$$

$$p_n = 15.164 \text{ kPa}$$

Para la presión de rozamiento  $p_t$  se calcula:

$$p_t = p_n * \mu$$

$$p_t = 15.164 * 0.4025$$

$$p_t = 6.1035 \text{ kPa}$$

Para la presión perpendicular en la tolva se la calcula de la siguiente forma, esta presión se la conoce como sobrepresión debido al flujo de masa;

**Ecuación 3-14:** Presión perpendicular a las caras inclinadas

Ecu 3-14

$$p_s = 2P_{hfmax}$$

$$p_s = 2 * 2.12$$

$$p_s = 4.24 \text{ kPa}$$

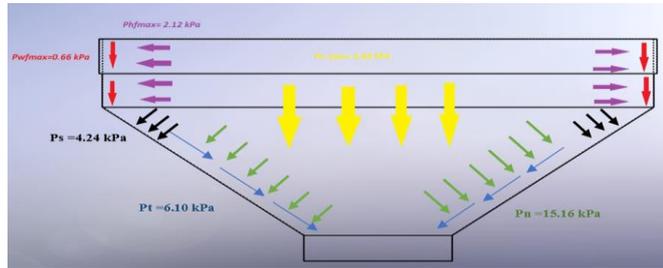
Con todas estas presiones podemos representar las cargas de presión dado por la materia prima en la tolva para semillas de alfalfa.

**Tabla 3-10:** Cargas de presión dado por la materia prima en la tolva para semillas de alfalfa

Presiones	Medida	Ubicación
$P_{wf}$	0.668 kPa	Presión en paredes laterales vertical
$P_V$	3.8561 kPa	Presión de vertical máxima
$P_{hfmax}$	2.12 kPa	Presión en paredes laterales horizontal
$p_n$	15.164 kPa	Presión en caras inclinadas
$p_t$	6.1035 kPa	Presión en paralelas a las caras inclinadas
$p_s$	4.24 kPa	Presión perpendicular a las caras inclinadas

Realizado por: Martínez B., 2023.

Gráficamente se representará de la siguiente forma las presiones encontradas para el diseño de tolva como lo indica la figura:



**Ilustración 3-13:** Presiones encontradas para el diseño de tolva  
Realizado por: Martínez B., 2023.

Para determinar el espesor de la tolva se analiza las Presiones que más afectan a la estructura de la tolva para ello se sumara las Presiones más altas y se verificara el punto de aplicación para escoger la chapa metálica adecuada para la tolva.

**Ecuación 3-15:** Presiones verticales

$$P_{vertimax} = P_{wf} + P_v \quad \text{Ecu 3-15}$$

$$P_{vertimax} = 0.66 + 3.85$$

$$P_{vertimax} = 4.51 \text{ kPa}$$

**Ecuación 3-16:** Presiones en las caras inclinadas

$$P_{inclinimax} = P_s + P_n \quad \text{Ecu 3-16}$$

$$P_{inclinimax} = 4.24 + 15.16$$

$$P_{inclinimax} = 19.4 \text{ kPa}$$

La presión más alta está dada en las caras inclinadas de la tolva estas se ubican de forma perpendicular a las caras. Con esta presión se puede obtener el espesor necesario para que soporte estas cargas. Para el cálculo se utilizará la siguiente expresión:

**Ecuación 3-17:** Espesor de la chapa metálica

$$e = \frac{P_{max} D}{\sigma_{max} * 20} \quad \text{Ecu 3-17}$$

**Dónde:**

$e$  = espesor de la chapa metálica

$p_{max}$  = presión máxima generada en las paredes de la tolva

$\sigma_{adm}$  = esfuerzo a la tracción admisible del material (factor de seguridad recomendado 2)

$D$  = diámetro del silo la sección transversal es circular, y lado si es cuadrada. En este caso en lado inclinado.

**Por lo tanto:**

**Ecuación 3-18:** Factor de seguridad

$$f_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad \text{Ecu 3-18}$$

**Dónde:**

$f_s$  = factor de seguridad

$S_y$  = esfuerzo a la fluencia (250 MPa Acero ASTM A36))

**Ecuación 3-19:** Esfuerzo nominal básico

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= \frac{S_y}{f_s} && \text{Ecu 3-19} \\ \sigma_{max} &= \frac{250 \text{ MPa}}{2} \\ \sigma_{max} &= 125 \text{ MPa} \end{aligned}$$

**Ecuación 3-20:** Esfuerzo máximo

$$e = \frac{P_{max} D}{\sigma_{max} * 20} \quad \text{Ecu 3-20}$$
$$e = \frac{19.4 \text{ kPa} * 0.650 \text{ m}}{125 \text{ MPa} * 20}$$

$$e = 5.044 * 10^{-3} \text{ mm}$$

El espesor para la tolva es demasiado bajo y no representa un espesor comercial con las presiones encontradas por las cargas de las semillas de alfalfa. Con este dato no es factor suficiente para

una selección exacta del espesor de la chapa metálica. Para la selección se tomará el catálogo que se encuentran en el mercado.

**Tabla 3-11:** Dimensiones estándar

ESPEORES mm	PESO TEÓRICO EN kg/plancha		TOLERANCIA EN EL ESPESOR mm ±	ESPESOR EQUIVALENTE ó APROXIMADO
	905 X 2,400 mm	1,200 X 2,400 mm		
0.30	5.12		0,04	1/84"
0.40	6.82	9.04	0,05	1/64"
0.45	7.67	10.17	0,05	1/57"
0.50	8.53	11.30	0,05	1/54"
0.55	9.38	12.43	0,05	1/46"
0.60		13.56	0,06	1/40"
0.65		14.70	0,06	1/38"
0.70		15.83	0,06	1/36"
0.75		16.96	0,06	1/34"
0.80		18.09	0,07	1/32"
0.85		19.22	0,07	1/30"
0.90		20.35	0,07	1/27"
0.95		21.48	0,07	1/26"
1.00		22.61	0,08	1/24"
1.15		26.00	0,08	1/22"
1.20		27.13	0,08	1/20"
1.45		32.78	0,10	1/18"
1.50		33.91	0,10	1/16"
1.75		39.56	0,12	2/29"
1.90		42.96	0,12	3/40"
1.95		44.09	0,12	5/64"
2.00		45.22	0,14	5/64"

Fuente: (Comercial Acero, 2019)

En la selección del espesor de la chapa metálica designamos como espesor comercial a la plancha de acero en frío ASTM A36, NTE INEN 115 con un espesor de 1.5mm ya que este espesor nos ayudara a tener mejor rigidez en el momento del armado y cuando se apliquen las soldaduras no se tengan deformaciones excesivas en los lados de la tolva.

Para tener una mejor definición del espesor escogido se realizará un análisis estático en la modelación de la tolva con las presiones calculadas para observar de mejor forma el comportamiento de esta. Esto se lo realizara en el Simulation de SolidWorks.

### 3.10.5. Simulación estática de la tolva

Para la simulación estática de la tolva se modeló en 3D con las medidas calculadas para la capacidad de trabajo descrita en los requerimientos con esto se colocó las presiones calculadas en las caras de interés donde están las mayores cargas en este caso en las caras inclinadas de la tolva con un valor de 19.4 kPa (0.0194 MPa) para luego realizar la simulación estática y encontrar los resultados de interés como tensión, desplazamientos y factor de seguridad.

- **Propiedades del estudio**

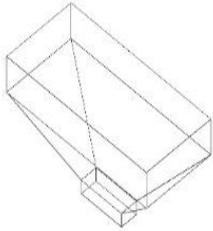
**Tabla 3-12:** Propiedades del estudio

<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático de la Tolva
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solucionador</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Detallado
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (D:\HP LAPTO\PROYECTOS\TESIS CLASIFICADORA DE SEMILLA DE ALFALFA\SIMULACION\SIMULACION ESTATICA DE LA TOLVA)

Realizado por: Martínez B., 2023

- **Propiedades del Material**

**Tabla 3-13:** Propiedades del material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Número:	<b>ASTM A36 Acero</b>
	Tipo de modelo:	<b>Isotrópico elástico lineal</b>
	Criterio de error predeterminado:	<b>Desconocido</b>
	Límite elástico:	<b>2.5e+08 N/m<sup>2</sup></b>
	Límite de tracción:	<b>4e+08 N/m<sup>2</sup></b>
	Módulo elástico:	<b>2e+11 N/m<sup>2</sup></b>
	Coefficiente de Poisson:	<b>0,26</b>
	Densidad:	<b>7.850 kg/m<sup>3</sup></b>
	Módulo cortante:	<b>7.93e+10 N/m<sup>2</sup></b>
	Datos de curva:	N/A

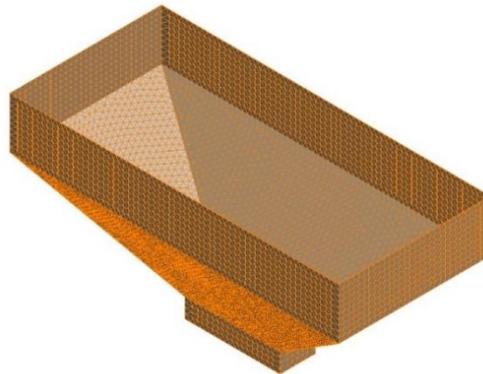
Realizado por: Martínez B., 2023

- **Propiedades del mallado**

**Tabla 3-14:** Propiedades del mallado

Número total de nodos	10333
Número total de elementos	30279
Cociente máximo de aspecto	41,954
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	0
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	92,2
Tiempo para completar la malla (hh; mm; ss):	00:00:10

Nombre del modelo: TOLVA\_2M  
Nombre de estudio: Análisis estático 1G (Predeterminado)  
Tipo de malla: Malla sólida



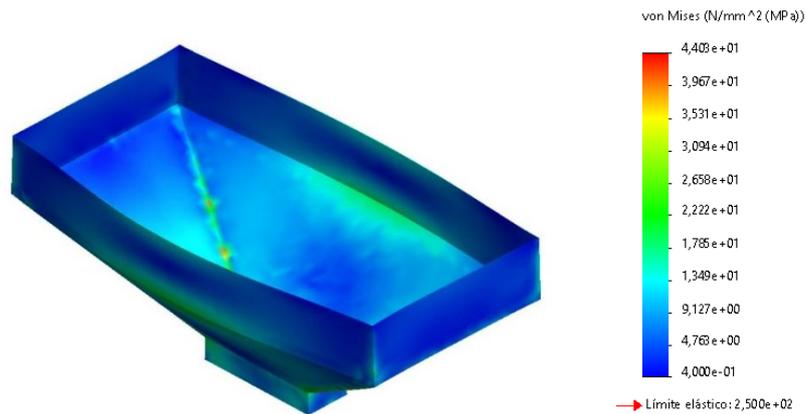
Realizado por: Martínez B., 2023

### 3.10.6. Resultados del estudio

- Resultados de esfuerzos

**Tabla 3-15:** Resultados del estudio

Número	Tipo	La mía.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de Von Mises	4,000e-01N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nudo: 320	4,403e+01N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nudo: 2313



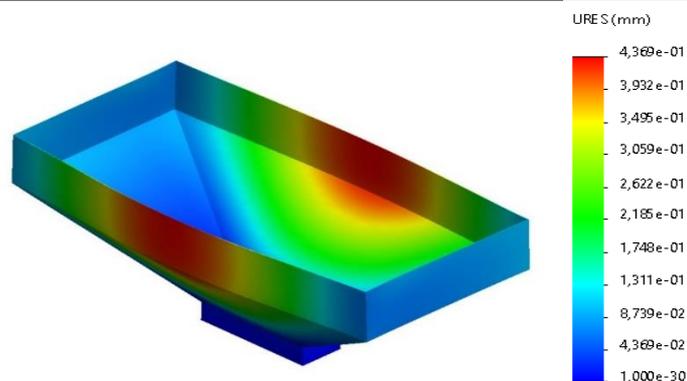
TOLVA SIM-Análisis estático 1-Tensiones1

Realizado por: Martínez B., 2023

- Resultados de desplazamiento

**Tabla 3-16:** Resultado de desplazamiento

Número	Tipo	La mía.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00mm Nudo: 5178	4.369E-01mm Nudo: 64



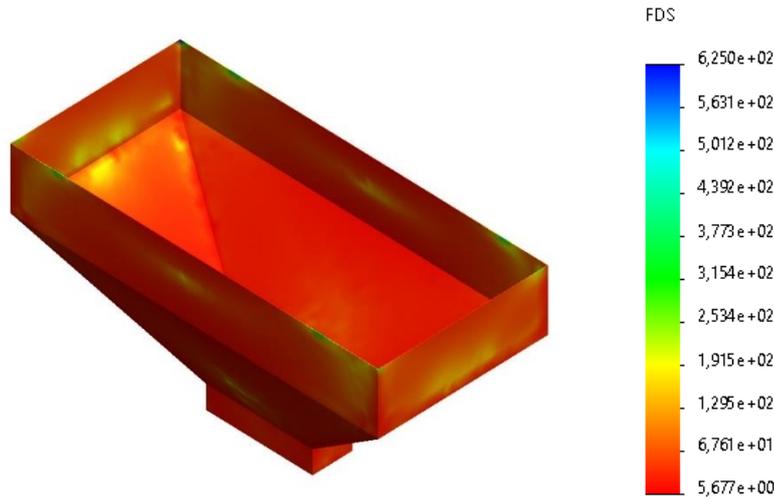
TOLVA SIM-Análisis estático 1-Desplazamientos1

Realizado por: Martínez B., 2023

- **Resultado de factor de seguridad**

**Tabla 3-17:** Factor de seguridad

Número	Tipo	La mía.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	5,677E+00 Nudo: 2313	6.250e+02 Nudo: 320



TOLVA SIM-Análisis estático 1-Factor de seguridad

Realizado por: Martínez B., 2023.

Con estos resultados obtenidos en la simulación estática se puede observar que el espesor escogido cumple con los requerimientos para la realización del conformado de la tolva con las Presiones máximas dadas en esta. Ya que la materia prima no representa mayores esfuerzos o Presiones dentro de la tolva en factor de seguridad con este espesor de 1.5 mm es de 5.6 dando un rango amplio para otro tipo de semillas a parte de las semillas de alfalfa.

Con este espesor se tiene más rigidez para el armado de la estructura completa de la clasificadora y nos ayuda a tener un espesor mínimo para la soldadura de esta. Los desplazamientos máximos están concentrados en los lados laterales ya que estos por su longitud tienden a deformarse con más facilidad en este caso la deformación máxima es de 0.4 mm con esfuerzo máximo de 4 MPa. Con esto se comprueba que la tolva con esta configuración geométrica resiste a las cargas generadas por la materia prima puesta en ella.

### 3.11. Cálculo de vibración de la maquina clasificadora

Rathbone es un método utilizado para medir la vibración de las máquinas. Se trata de un método de medición de vibración que implica el uso de un instrumento de medición de vibración, como

un acelerómetro o un transductor de vibración, para medir la vibración en diferentes puntos de la máquina.

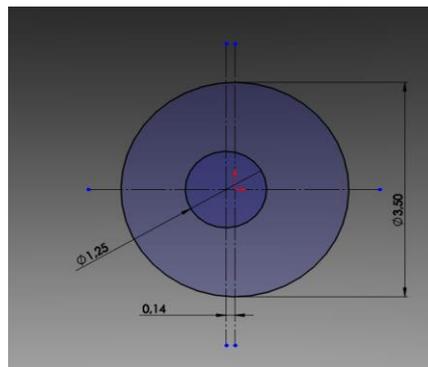
La vibración aceptable de una máquina dependerá del tipo de máquina y su aplicación. En general, se busca que la vibración de una máquina esté dentro de ciertos límites aceptables para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. Los límites aceptables de vibración varían según el tipo de máquina, la velocidad de operación y otros factores.

Para determinar la vibración aceptable de una máquina utilizando el método Rathbone, se debe medir la vibración en diferentes puntos de la máquina y comparar los resultados con los límites aceptables establecidos por el fabricante o la normativa aplicable. Si los valores medidos están dentro de los límites aceptables, se considera que la vibración de la máquina es aceptable. Si los valores medidos están fuera de los límites aceptables, se deben tomar medidas para corregir la vibración y garantizar que la máquina funcione correctamente.

En el siguiente gráfico se puede observar las escalas logarítmicas de las frecuencias y las amplitudes en desplazamiento de centro excéntrico que produce la masa. Para ello se tomará los siguientes datos para el cálculo:

$$r_{exc} = 0.14 \text{ in} = 3.5 \text{ mm}$$

$$w_{eje2} = 650 \text{ rpm} = 68,06 \text{ rad/s}$$



**Ilustración 3-14:** Cálculo de vibración maquina clasificadora  
Realizado por: Martínez B., 2023.

**Ecuación 3-21:** Frecuencia

$$f = \frac{w_{eje2}}{2 * \pi}$$

Ecu 3-21

**Dónde:**

f = Frecuencia

eje1 = Velocidad angular del eje 2

$$f = \frac{68.06 \text{ rad/s}}{2 * \pi}$$

$$f = 10.83 \text{ S}^{-1}$$

En la siguiente ecuación se analiza el nivel de amplitud de la vibración:

**Ecuación 3-22:** Amplitud

$$X = 2r_{exc} \cos(\omega_{eje2} * t)$$

Ecu 3-22

**Dónde:**

x = Amplitud

$r_{exc}$  = Radio excéntrico

En un tiempo t = 0 se tiene la máxima amplitud de 3.5 mm reemplazando los valores se tiene.

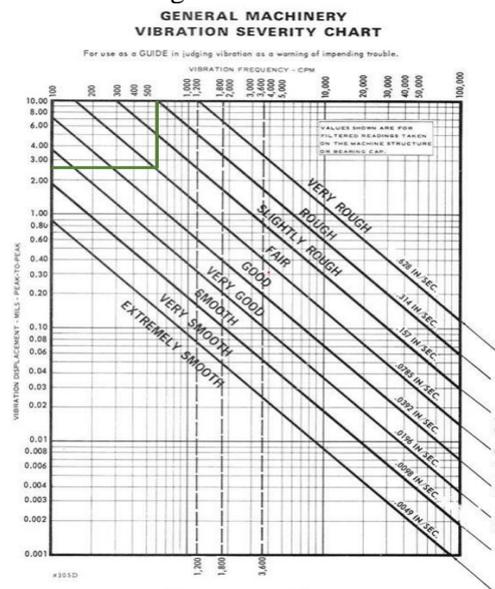
$$r_{exc} = 3.5 \text{ mm}$$

$$X = 2(3.5) \cos 0^\circ$$

$$X = 7 \text{ mm}$$

$$X = 2.75 \text{ S}^{-1}$$

**Tabla 3-18:** Tabla general de severidad de vibraciones de maquinaria



Fuente: (IRD Mechanalysis, 1975)

Observando la gráfica de Rathbone podemos establecer que con 650 RPM y una amplitud de 2.75 Mills se encuentra situado en la línea de Fair (ACEPTABLE) lo que nos indica que podemos trabajar con estos valores para el cálculo de la potencia de motor necesaria.

### 3.12. Análisis del mecanismo del eje excéntrico

Para producir el movimiento vibratorio como se observó anteriormente se necesita el eje excéntrico como un uso de biela – manivela, la cual genera el movimiento oscilatorio. La vibración se produce en este mecanismo debido a la aceleración y desaceleración del pistón y de la biela en diferentes puntos de su recorrido. La aceleración es más pronunciada en los extremos superior e inferior de la carrera del pistón, lo que hace que la biela se mueva más rápido y produzca una vibración. Esto se debe a que la biela tiene una velocidad angular variable durante el movimiento del pistón, lo que hace que su centro de masa se mueva hacia arriba y hacia abajo en un patrón oscilatorio. Por lo tanto, es importante tener en cuenta todos estos factores durante el diseño y la fabricación de la máquina para minimizar la vibración generada por el mecanismo de la biela.

Ecuación característica de la biela- manivela: (Joseph Edward Shigley).

- **Desplazamiento de zaranda**

**Ecuación 3-23:** Desplazamiento de zaranda

$$X_c = l - \frac{r_{exc}^2}{4l} + r_{exc} \left( \cos(\omega_{eje} * t) + \frac{r_{exc}^2}{4l} \cos(2\omega_{eje} * t) \right) \quad \text{Ecu 3-23}$$

**Ecuación 3-24:** Velocidad de la zaranda

$$V_c = -r_{exc} \omega_{eje} (\text{sen}(\omega_{eje} * t) + \frac{r_{exc}}{2l} \text{sen}(2\omega_{eje} * t)) \quad \text{Ecu 3-24}$$

**Ecuación 3-25:** Aceleración de zaranda

$$a_c = -r_{exc} \alpha_{eje} \left( \text{sen}(\omega_{eje} * t) + \frac{r_{exc}}{2l} \text{sen}(2\omega_{eje} * t) \right) \quad \text{Ecu 3-25}$$

$$- r_{exc} \omega_{eje}^2 \left( \text{sen}(\omega_{eje} * t) \right)$$

$$+ \frac{r_{exc}}{l} \cos(2\omega_{eje} * t)$$

**Dónde:**

$r_{exc}$  = Radio excéntrico mm

$\omega_{eje}$  = Velocidad angular del eje RPM

$l$  = longitud del eje

$t$  = tiempo

Para la aceleración en la parte de manivela se produce dos desplazamiento tanto positivo y negativo donde se debe cumplir la siguiente condición para el correcto funcionamiento.

$$a_{cB} < a_c < a_{cS}$$

**Ecuación 3-26:** Aceleración de subida

$$a_{cS} = \frac{g}{\frac{\cos \alpha_B}{\mu_E} - \operatorname{sen} \alpha_B} \quad \text{Ecu 3-26}$$

**Ecuación 3-27:** Aceleración de bajada

$$a_{cB} = \frac{g}{\frac{\cos \alpha_B}{\mu_C} - \operatorname{sen} \alpha_B} \quad \text{Ecu 27-3}$$

**Dónde:**

$\alpha_B$  = Ángulo de inclinación del soporte lateral (30°)

$\mu_E$  = Coeficiente de rozamiento estático (0.86)

$\mu_C$  = Coeficiente de rozamiento dinámico (0.67)

los datos de los coeficientes tomados de “Diseño de un molino de rodillos” Espoch.

Con esto podemos verificar los valores de la aceleración para que cumplan con la condición de diseño. Haciendo uso de estas Ecuaciones procedemos a encontrar los datos:

$$a_{cS} = \frac{9.8 \text{ m/s}^2}{\frac{\cos 30^\circ}{0.86} - \operatorname{sen} 30^\circ}$$
$$a_{cS} = 19.32 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{cB} = \frac{9.8 \text{ m/s}^2}{\frac{\cos 30^\circ}{0.67} - \text{sen}30^\circ}$$

$$a_{cB} = 12.36 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Luego de esto aplicaremos la ecuación en función del tiempo, radio excéntrico, y la velocidad angular para así encontrar una velocidad que cumpla los parámetros anteriormente expuestos. El tiempo para esta ecuación es igual a cero ya que este punto se produce la aceleración máxima del sistema.

$$a_c = -r_{exc} \alpha_{eje} \left( \text{sen}(\omega_{eje} * t) + \frac{r_{exc}}{2l} \text{sen}(2\omega_{eje} * t) \right) - r_{exc} \omega_{eje}^2 \left( \text{cos}(\omega_{eje} * t) + \frac{r_{exc}}{l} \text{cos}(2\omega_{eje} * t) \right)$$

$$r_{exc} = 0.0035 \text{ m}$$

$$\alpha_{eje} = 30^\circ = 0.523599 \text{ rad}$$

$$l = 2.25 \text{ in} = 0.05715 \text{ m}$$

$$t = 0 \text{ seg}$$

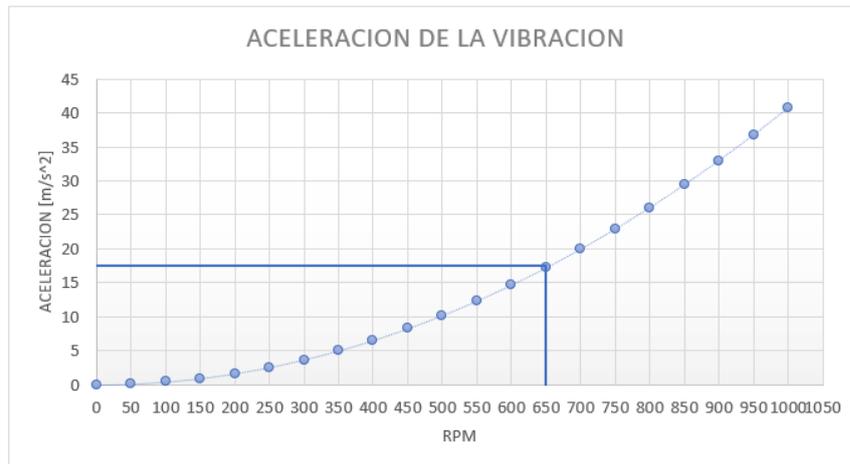
Con estos datos calculamos la aceleración de la vibración en las diferentes velocidades del eje con la utilización del Excel.

**Tabla 3-19:** Cálculo de aceleración de la vibración

$r_{exc}$	$l$	$\omega_{eje}[RPM]$	$\omega_{rad}$	$a_c \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$
0,0035	0,057	0	0	0
0,0035	0,057	50	5,23583333	0,10184042
0,0035	0,057	100	10,4716667	0,40736169
0,0035	0,057	150	15,7075	0,9165638
0,0035	0,057	200	20,9433333	1,62944675
0,0035	0,057	250	26,1791667	2,54601055
0,0035	0,057	300	31,415	3,6662552
0,0035	0,057	350	36,6508333	4,99018068
0,0035	0,057	400	41,8866667	6,51778701
0,0035	0,057	450	47,1225	8,24907419
0,0035	0,057	500	52,3583333	10,1840422
0,0035	0,057	550	57,5941667	12,3226911
0,0035	0,057	600	62,83	14,6650208
0,0035	0,057	650	68,0658333	17,2110313
0,0035	0,057	700	73,3016667	19,9607227
0,0035	0,057	750	78,5375	22,914095

<b>0,0035</b>	0,057	800	83,7733333	26,0711481
<b>0,0035</b>	0,057	850	89,0091667	29,431882
<b>0,0035</b>	0,057	900	94,245	32,9962968
<b>0,0035</b>	0,057	950	99,4808333	36,7643924
<b>0,0035</b>	0,057	1000	104,716667	40,7361688

Realizado por: Martínez B., 2023



### Ilustración 3-15: Aceleración de la vibración

Realizado por: Martínez B., 2023.

En esta Tabla podemos entrar la aceleración dentro de las diferentes velocidades que se puede obtener en el eje. Se ha escogido la velocidad de  $\omega_{eje} = 650 \text{ RPM}$  con una aceleración de  $a_c = 17.21 \frac{m}{s^2}$ , con esta aceleración comprobamos si esta dentro de los límites establecidos.

$$a_{cB} < a_c < a_{cS}$$

$$12.36 < 17.21 < 19.32$$

Con esto demostramos que la vibración es aceptable y las Aceleraciones está dentro los límites establecidos.

### 3.13. Diseño del volante de giro

En general, el volante de giro debe ser lo suficientemente grande y pesado para proporcionar una inercia adecuada y mantener la zaranda en movimiento de manera constante y uniforme. Además, debe estar diseñado para soportar las vibraciones y las cargas cíclicas asociadas con la operación de la zaranda.

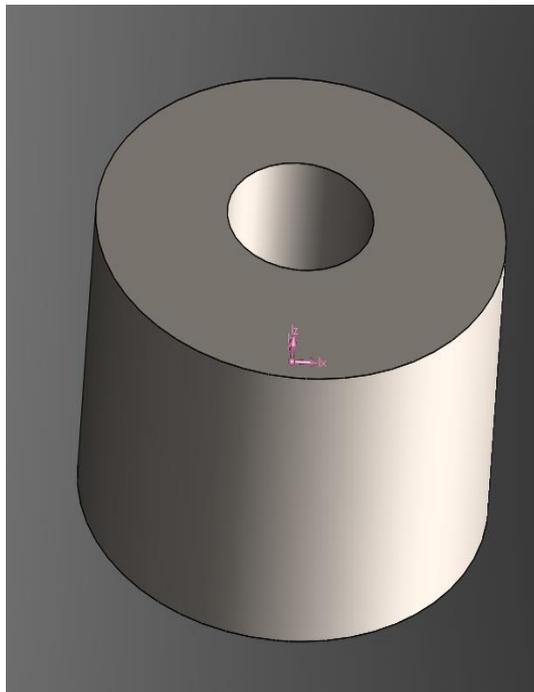
Algunas consideraciones adicionales para tener en cuenta al diseñar el volante de giro para la vibración de zaranda son:

- El volante de giro debe estar equilibrado y ser simétrico para minimizar las vibraciones y reducir la fatiga del material.
- La posición del volante de giro en la zaranda debe estar cuidadosamente ajustada para garantizar una distribución uniforme de la energía de vibración.
- El material utilizado para fabricar el volante de giro debe ser resistente y duradero para soportar las cargas repetitivas y las vibraciones asociadas con la operación de la zaranda.

Configuración para el volante de giro

- Diámetro= 3.5in = 0.0889m
- Longitud del eje = 2.25in = 0.057 m
- Agujero eje = 1 ¼ in = 0.03175 m

Con estos datos y con la ayuda de SolidWorks podemos sacar los datos de volumen, masa e inercia de la configuración del volante giro para ello ocuparemos el material AISI 1020 laminado en frio con una densidad de 7870 kg/m<sup>3</sup>



**Ilustración 3-16:** Volante de giro  
Realizado por: Martínez B., 2023.

Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 7870.000000 kilogramos por metro cúbico		
Masa = 2.435703 kilogramos		
Volumen = 0.000309 metros cúbicos		
Área de superficie = 0.032493 metros cuadrados		
Centro de masa: ( metros )		
X = 0.028575		
Y = 0.000000		
Z = -0.000512		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( kilogramo		
Medido desde el centro de masa.		
lx = ( 0.000000, 1.000000, 0.000000)	Px = 0.002015	
ly = ( 0.000000, 0.000000, 1.000000)	Py = 0.002020	
lz = ( 1.000000, 0.000000, 0.000000)	Pz = 0.002708	
Momentos de inercia: ( kilogramos * metros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenac		
Lxx = 0.002708	Lxy = 0.000000	Lxz = 0.000000
Lyx = 0.000000	Lyy = 0.002015	Lyx = 0.000000
Lzx = 0.000000	Lzy = 0.000000	Lzz = 0.002020
Momentos de inercia: ( kilogramos * metros cuadrados )		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 0.002709	lxy = 0.000000	lxz = -0.000036
lyx = 0.000000	lyy = 0.004004	lyz = 0.000000
lzx = -0.000036	lzy = 0.000000	lzz = 0.004008

**Ilustración 3-17:** Datos de volumen, masa e inercia del volante de giro  
**Realizado por:** Martínez B., 2023.

$$Volumen = 0.000309 \text{ m}^3$$

$$Masa = 2.4357 \text{ kg}$$

$$Momento \text{ de inercia} = 2.35 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Peso \text{ total de la estructura a mover} = P_{Mp} + P_{Est}$$

$$P_T = (200 + 38) \text{ kg}$$

$$P_T = 238 \text{ kg}$$

Con estos datos se podrá calcular la aceleración angular del sistema del volante de giro con la siguiente formula:

**Ecuación 3-28:** Aceleración angular

$$\alpha = \frac{2 * P_T * g}{M * R} \quad \text{Ecu 3-28}$$

**Dónde:**

$\alpha$  = aceleracion angular

$mE$  = masa de la estructura

$MD$  = peso del disco

$R$  = Radio del eje

$$\alpha = \frac{2 * 238 * 9.8}{2.43 * \left(\frac{0.088}{2}\right)}$$

$$\alpha = 43628.88 \frac{rad}{s^2}$$

El torque debido a la inercia es de:

Ecuación 3-29: Radio del eje

$$\tau = I * \alpha \quad \text{Ecu 3-29}$$

$$\tau = 0.000235 \frac{kg}{m^2} * 43628.88 \frac{rad}{s^2}$$

$$\tau = 10.25 N.m$$

La potencia para vencer la inercia del disco es igual a:

**Ecuación 3-30:** Formula de potencia

$$P = \tau * \omega \quad \text{Ecu 3-30}$$

**Dónde:**

$$\omega = 650 RPM = 68.065 \frac{rad}{s}$$

$$P = 10.25 N.m * 68.065 rad/s$$

$$P = 697.85 W$$

$$P = 0.935 HP$$

### 3.14. Cálculo para la potencia del motor

Es importante tener en cuenta que estos cálculos son solo una guía general y que otros factores, como la eficiencia del motor y las pérdidas de energía, también deben ser considerados para determinar la potencia del motor adecuada para una zaranda vibratoria específica.

**Ecuación| 3-31:** Presión perpendicular a las caras inclinadas

$$P_t = P * fs \quad \text{Ecu 3-31}$$

El factor de seguridad utilizado para este tipo de aplicaciones es de 1.5 lo cual sube la potencia de trabajo necesaria para el correcto funcionamiento del motor en la aplicación a utilizar.

$$P_t = 0.935 * 1.5$$

$$P_t = 1.4 \text{ Hp}$$

Cuando se utiliza un sistema de poleas para transmitir la potencia del motor a un eje o una carga, la energía mecánica se transfiere mediante una serie de correas que se ajustan alrededor de las poleas. En este proceso, se producen fricciones que reducen la eficiencia del sistema de transmisión y generan calor.

La fricción entre la correa y la polea es una fuente importante de pérdidas de potencia. Cuanto mayor sea el número de poleas y correas en el sistema, mayor será la pérdida de potencia debido a la fricción. Además, cuanto más grande sea la relación de transmisión entre las poleas, mayor será la pérdida de potencia debido a la tensión adicional en la correa.

Por lo tanto, para minimizar las pérdidas de potencia, se recomienda utilizar poleas con un diámetro adecuado y una relación de transmisión que sea la más pequeña posible, y también es importante utilizar correas adecuadas y mantenerlas en buen estado para minimizar la fricción.

**Tabla 3-20:** Rendimientos

Rendimientos		
Rendimiento de bandas	$n_b$	0.91
Rendimiento de rodamientos	$n_r$	0.9
Otros	$n_{otros}$	0.85
$n_{TOTAL} = n_b * n_r * n_{otros}$	$n_{TOTAL}$	0.69615

Realizado por: Martínez B., 2023

- **Potencia del motor**

**Ecuación 3-32:** Potencia del motor

$$P_M = \frac{P_t}{n_{TOTAL}} \quad \text{Ecu 3-32}$$

$$P_M = \frac{1.4}{0.69615}$$

$$P_M = 2.0 \text{ Hp}$$

La potencia necesaria para el correcto funcionamiento del sistema de clasificación a través de vibración para semillas de alfalfa es de 2 Hp.

### 3.15. Cálculo de relación de transmisión

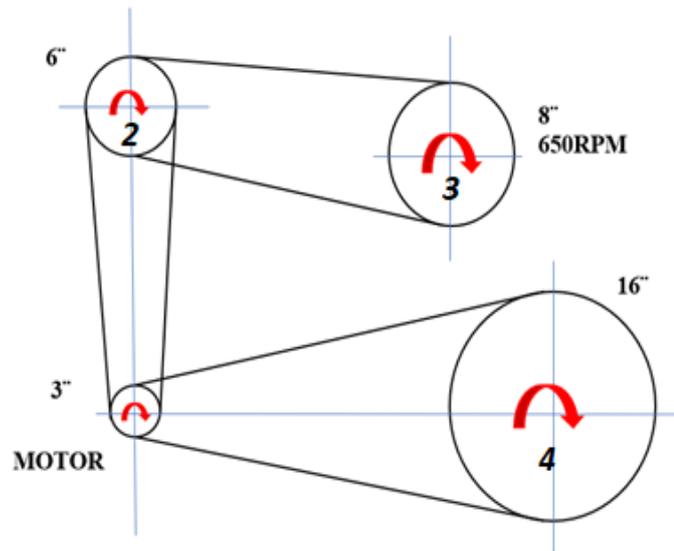
Para el cálculo de las relaciones de transmisión del sistema para la maquina clasificadora se tomó en cuenta la configuración de las diferentes funciones que debe tener la misma. Con esto podemos determinar las velocidades en cada uno de los puntos que se va a ocupar.

Para ello se ha hecho una preselección de las a ocupar en dada uno de los puntos:

**Tabla 3-21:** Poleas de la Máquina

Poleas	Diámetros de poleas	canales
Polea Motor	3 in	3 canales
Polea de ventilador	6 in	2 canales
Polea del volante de inercia	8 in	1 canal
Polea para tolva de limpieza	16in	1 canal
Polea del extractor	3 in	1 canal

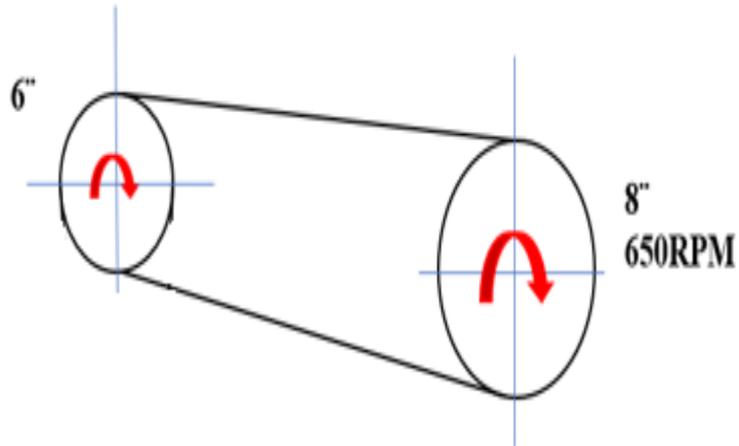
Realizado por: Martínez B., 2023



**Ilustración 3-18:** Arreglo de poleas y bandas

Realizado por: Martínez B., 2023.

En nuestro diseño tiene esta configuración en el arreglo de poleas donde la velocidad necesaria para el funcionamiento correcto del volante de giro es de 650 RPM, con este dato podemos encontrar las velocidades de cada una de las poleas. Con esto se puede calcular la velocidad necesaria en el motor.



**Ilustración 3-19:** Primera etapa de transmisión  
 Realizado por: Martínez B., 2023.

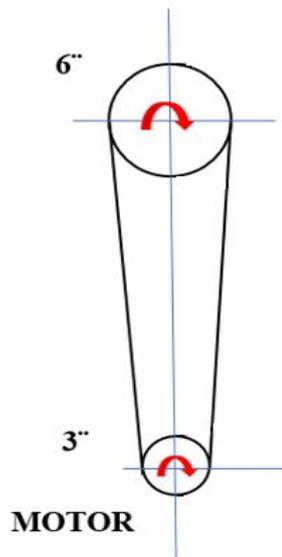
$$n_3 D_3 = n_2 D_2$$

$$n_2 = \frac{n_3 D_3}{D_2}$$

$$n_2 = \frac{650 \text{ RPM} * 8''}{6''}$$

$$n_2 = 866.667 \text{ RPM}$$

De la misma forma para uno las poleas restantes:



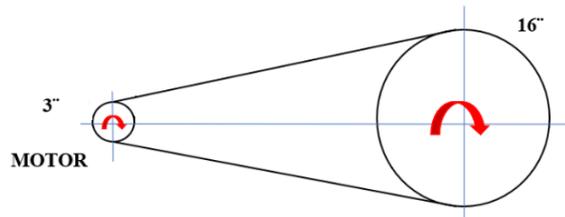
**Ilustración 3-20:** Segunda etapa de transmisión  
 Realizado por: Martínez B., 2023.

$$n_2 D_2 = n_M D_M$$

**Ecuación 3-33:** Numeros de revolucion de motor

$$n_M = \frac{n_2 D_2}{D_M}$$
$$n_M = \frac{866.67 \text{ RPM} * 6''}{3''}$$
$$n_M = 1733.33 \text{ RPM}$$

Ecu 3-33



**Ilustración 3-21:** Tercera etapa de transmisión  
Realizado por: Martínez B., 2023.

$$n_4 D_4 = n_M D_M$$
$$n_4 = \frac{n_M D_M}{D_4}$$
$$n_4 = \frac{1733.3 \text{ RPM} * 3''}{16''}$$
$$n_4 = 325 \text{ RPM}$$

Con estos resultados de las velocidades de cada una de las poleas a utilizar en la maquina clasificadora vibratoria de alfalfa se puede observar cómo va a funcionar cada una de las partes y componentes de la máquina. Para el funcionamiento del ventilador tendrá una velocidad aproximada de 866.67 RPM donde nos damos cuenta de que está dentro de los rangos de operación para los ventiladores que realizan este tipo de trabajos.

**3.15.1. Selección del motor**



**Ilustración 3-22:** Motor eléctrico de 2Hp  
Fuente: (WEG, 2023)

Para seleccionar el motor adecuado para una zaranda, se debe considerar la potencia requerida para mover el tamiz y la vibración necesaria para separar el material. También se debe considerar la velocidad requerida y el tipo de alimentación eléctrica disponible. Con los cálculos anterior obtuvimos todos estos datos donde la potencia necesaria del motor para el funcionamiento correcto es de 2 Hp con un factor de seguridad de 1.5, de la misma manera la velocidad adecuada para el funcionamiento del sistema es de 1733.33 RPM.

Con estos datos podemos ir a los catálogos comerciales y escoger un motor que cumpla las características anteriormente mencionadas. Una de las características también importantes dentro de la selección del motor es el tipo de alimentación que se debe tener para alimentar a la máquina, en este caso va a hacer un motor monofásico.

**Tabla 3-22:** Características de motor W22

**W22 Monofásico - Con condensador de arranque o arranque y permanente - 60 Hz**

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado Ii/In	Par con rotor trabado Tl/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
kW	HP											Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V
												50	75	100	50	75	100		
0,12	0,16	63	0,068	5,0	2,3	2,0	0,0007	7	9,8	47	1730	32,5	40,0	44,2	0,50	0,58	0,66	1,87	0,935
0,18	0,25	71	0,101	5,0	2,8	2,1	0,0008	15	12,7	55	1730	49,6	55,2	60,4	0,43	0,51	0,61	2,22	1,11
0,25	0,33	71	0,141	5,0	2,6	2,2	0,0009	18	13,2	55	1725	45,1	51,0	56,2	0,46	0,53	0,64	3,16	1,58
0,37	0,5	80	0,207	6,8	2,1	2,5	0,0030	10	17,8	55	1740	51,7	61,0	66,1	0,76	0,83	0,88	2,89	1,45
0,55	0,75	80	0,308	5,8	2,1	2,2	0,0034	9	18,5	55	1740	54,0	63,5	68,0	0,71	0,81	0,87	4,23	2,12
0,75	1	90S	0,414	8,5	2,3	2,4	0,0055	7	24,0	58	1765	55,8	65,1	70,3	0,82	0,87	0,91	5,32	2,66
1,1	1,5	90L	0,607	9,5	2	2,3	0,0069	6	28,0	58	1765	61,0	69,5	74,0	0,88	0,93	0,95	7,12	3,56
1,5	2	100L	0,837	7,2	2,5	2,2	0,0093	10	37,0	58	1745	66,0	73,0	77,0	0,87	0,90	0,93	9,51	4,76
2,2	3	112M	1,23	7,7	2,9	2,7	0,0156	8	46,0	60	1745	65,0	74,0	77,0	0,79	0,87	0,90	14,4	7,22
3	4	112M	1,68	8,0	2,7	2,4	0,0184	6	49,0	60	1740	69,5	75,0	77,0	0,96	0,97	0,98	18,1	9,04
3,7	5	125S	2,06	7,3	2,4	2,5	0,0236	6	65,0	62	1750	71,0	77,0	80,5	0,84	0,91	0,92	23,5	11,3

Fuente: (WEG, 2023)

**Tabla 3-23:** Características Motor W22 Monofásico

Motor W22 Monofásico	Características
Potencia = 2Hp	– Estándar
Par nominal = 0.837 kg.m	– Potencia: 0,12 hasta 11 kW
Velocidad = 1745 RPM	– Polaridad: 2, 4 y 6
Corriente nominal = 9.51 A	– Carcasas: 63 hasta 132M/L
Peso = 37kg	– Tensión: 220/440 V
	– Frecuencia: 50 y 60 Hz
	– Grado de protección: IP55
	– Plan de pintura: 207A
	– Material de la carcasa: Hierro gris

Realizado por: Martínez B., 2023

### 3.16. Cálculo de par o torque

Para el cálculo del torque lo realizamos de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\tau_M &= HP * \frac{716}{RPM} \\ \tau_M &= \frac{2 * 716}{1745} \\ \tau_M &= 0.8206 \text{ kg.m} \\ \tau_M &= 0.8206 \text{ kg.m} * 9.81 \frac{m}{s^2} \\ \tau_M &= 8.05 \text{ N.m}\end{aligned}$$

#### 3.16.1. Transmisión de torque

Para la transmisión del par o torque lo realiza de la misma forma que se lo realizo para la encontrar las velocidades de las poleas con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-34:** Transmisión de Torque

$$\begin{aligned}\tau_M D_M &= \tau_2 D_2 && \text{Ecu 3-34} \\ \tau_2 &= \frac{\tau_M D_M}{D_2} \\ \tau_2 &= \frac{8.05 * 3''}{6''} \\ \tau_2 &= 4.025 \text{ N.m}\end{aligned}$$

Este torque corresponde al ventilador que va a funcionar en la parte superior del motor.

$$\begin{aligned}\tau_2 D_2 &= \tau_3 D_3 \\ \tau_3 &= \frac{\tau_2 D_2}{D_3} \\ \tau_3 &= \frac{4.025 \text{ N.m} * 3''}{8''} \\ \tau_3 &= 1.509 \text{ N.m}\end{aligned}$$

Para el volante de giro de igual manera se lo realiza de la misma forma:

$$\begin{aligned}\tau_M D_M &= \tau_4 D_4 \\ \tau_4 &= \frac{\tau_M D_M}{D_4}\end{aligned}$$

$$\tau_4 = \frac{8.05 * 3''}{16''}$$

$$\tau_4 = 1.509 \text{ N.m}$$

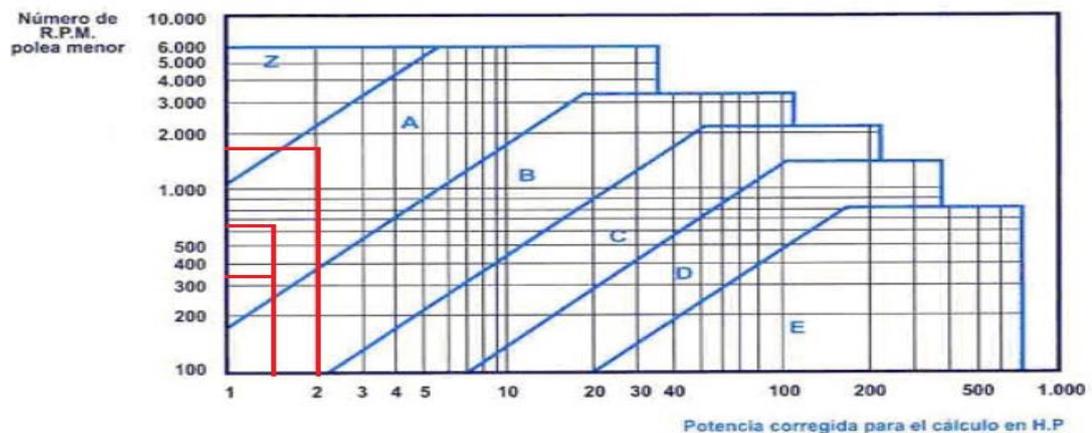
Para la selección de bandas en el sistema de transmisión para la maquina clasificadora se analizará varios factores, como la longitud de paso, tipo de banda, distancia entre centros, ángulo de contacto, velocidad periférica, corrección de ángulo de contacto, potencia de permitida por la banda, tensión centrífuga, tensión menor y mayor.

Con datos obtenido de la velocidad de cada una las poleas, los diámetros asumidos de estas, la potencia ejercida en cada de las poleas tenemos la siguiente Tabla.

**Tabla 3-24:** Velocidades de las poleas

Poleas del sistema	Velocidad (RPM)	Torques (N.m)	Potencia (Hp)
Polea de motor	1745	8.05	2
Polea 2	866.6	4.025	1.4
Polea 3	650	1.509	0.95
Polea 4	325	1.059	1.4
Polea 5	866.6	4.025	1.4

Realizado por: Martínez B., 2023

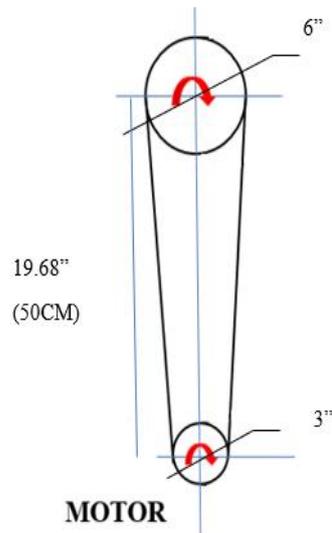


**Ilustración 3-23:** Potencia corregida para el cálculo en H.P

Fuente: (DUNLOP, 2015)

Cada fabricante dispone de graficas donde se muestra el tipo de correa o banda adecuada para trabajar en función de la potencia transmitida y de las revoluciones de giro. Según las grafica se observa la zona de trabajo de la banda a utilizar en este caso son bandas tipo A para cada una de las fases de transmisión de movimiento dentro de la maquina clasificadora de semillas.

### 3.17. Cálculo de longitud de paso



**Ilustración 3-24:** Primer juego de poleas  
Realizado por: Martínez B., 2023.

Para el cálculo se utilizará la siguiente formula:

**Ecuación 3-35:** Ecuación de Calculo de longitud de paso

$$L_p = 2C + \frac{\pi(D+d)}{2} + \frac{\pi(D-d)^2}{2} \quad \text{Ecu 3-35}$$

**Dónde:**

$L_p$  = longitud de paso

$C$  = centro de ejes

$D$  = Diámetro

$$L_p = 2(20'') + \frac{\pi(6 + 3)}{2} + \frac{(6 - 3)^2}{2}$$
$$L_p = 58.63in$$

Para obtener el valor exacto la longitud se debe sumar a la cantidad de la circunferencia interior para obtener la longitud de paso.

**Tabla 3-25:** Dimensiones de longitud

**Tabla 17-11**

Dimensiones de conversión de longitud. (Sume la cantidad que se muestra a la circunferencia interior para obtener la longitud de paso en pulgadas)

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Fuente: (Budynas, 2012)

$$L_p = L + 1.3$$

$$L_p = 58.63 + 1.3$$

$$L_p = 59.6 \text{ in}$$

### 3.18. Cálculo de la distancia entre centro

Para la distancia entre centros ocupamos la siguiente formula:

**Ecuación 3-36:** Ecuación de Calculo de distancia entre centro

$$C = 0.25 \left\{ \left[ L_p - \frac{\pi(D + d)}{2} \right] + \sqrt{\left[ L_p - \frac{\pi(D + d)}{2} \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\} \quad \text{Ecu 3-36}$$

$$C = 0.25 \left\{ \left[ 58.63 - \frac{\pi(6 + 3)}{2} \right] + \sqrt{\left[ 58.63 - \frac{\pi(6 - 3)}{2} \right]^2 - 2(6 - 3)^2} \right\}$$

$$C = 24.56 \text{ in}$$

### 3.19. Cálculo del ángulo de contacto

Con la siguiente ecuación se expresa para el ángulo de contacto:

$$\phi = \theta_d = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left( \frac{D - d}{2C} \right)$$

**Siendo:**

d= Diámetro de la polea de menor tamaño

D= Diámetro de la polea de mayor tamaño

$\theta$ = Ángulo de contacto

C= Distancia entre centros

**Ecuación 3-37:** Ecuación de ángulo de contacto

$$\phi = \theta_d = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left( \frac{D - d}{2C} \right)$$

Ecu 3-37

$$\phi = \theta_d = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left( \frac{6 - 3}{2(20)} \right)$$

$$\phi = -5.46 \text{ radianes}$$

### 3.20. Cálculo de la velocidad periférica

Para la velocidad de la polea motriz se calcula mediante la expresión:

**Ecuación 3-38:** Ecuación de Calculo de la velocidad periferica

$$V = \frac{\pi d n}{12}$$

Ecu 3-38

**Dónde:**

V= Velocidad periférica

d= diámetro de la polea motriz

n= velocidad de rotación

$$V = \frac{\pi(3)(1745)}{12}$$

$$V = 1370.51 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

### 3.21. Cálculo del factor de corrección del ángulo de contacto

Con la relación de diámetros de poleas y distancia entre centros calculamos el factor a través de la Tabla 17-13 de “Shigley Joseph, Diseño de Ingeniería Mecánica”.

**Ecuación 3-39:** Factor de correcion del ángulo de contacto

$$\frac{D - d}{C}$$
$$\frac{6 - 3}{20} = 0.15$$

Ecu 3-39

Fuente: Shigley Joseph, Diseño en Ingeniería Mecánica

**Tabla 17-13**

Factor de corrección del ángulo de contacto  $K_1$  para transmisiones de banda plana VV\* y en V

$\frac{D-d}{C}$	$\theta$ , grados	VV	$K_1$ Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

\*Un ajuste de curva de la columna VV en términos de  $\theta$  es  $K_1 = 0.143\ 543 + 0.007\ 46\ 8\ \theta - 0.000\ 015\ 052\ \theta^2$  en el intervalo de  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ .

**Ilustración 3-25:** Factor de corrección del ángulo de contacto  
Fuente: (Budynas, 2012)

Interpolando se obtiene, el valor de  $K_1=0.77$

### 3.22. Factor de corrección de la longitud de banda

Según el tipo de la banda y sus dimensiones en **Tablas** se puede leer el factor de longitud y para obtener el factor de corrección se debe multiplicar por la potencia nominal de la banda.

**Tabla 17-14**

Factor de corrección de longitud de banda  $K_2^*$

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

\*Multiplique la potencia nominal de la banda por este factor para conseguir la potencia corregida.

**Ilustración 3-26:** Factor de corrección de longitud de banda  
Fuente: (Budynas, 2012)

Para bandas de longitud 60-75 pulgadas el factor de corrección de longitud  $K_2$ , es de igual a 1.

### 3.23. Potencia permitida por banda

Nos ayudamos con la **Tabla** 17-12 de Shigley Joseph, donde encontramos el valor de H que representa la potencia permitida de la banda.

**Tabla 17-12**  
Potencias nominales de  
bandas en V estándar

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
B	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
C	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
D	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
E	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 y mayor	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
28.0 y mayor	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1	

**Ilustración 3-27:** Potencias nominales de bandas en V estándar  
Fuente: (Budynas, 2012)

**Ecuación 3-40:** Potencia permitida por banda

$$H_a = K_1 * K_2 * H \quad \text{Ecu 3-40}$$

$$H_a = 0.77 * 1 * 0.66$$

$$H_a = 0.5082 H_p$$

### 3.24. Tensión centrífuga

La tensión centrífuga se calcula de con la siguiente expresión:

Ecuación 3-41: Tensión centrífuga

$$F_c = K_C \left( \frac{V}{1000} \right)^2 \quad \text{Ecu 3-41}$$

**Dónde:**

F<sub>c</sub>= tensión centrífuga

K<sub>c</sub>= parámetro según el tipo de banda

V= velocidad periférica

K<sub>c</sub>=0.561

**Tabla 17-16**  
Algunos parámetros de  
bandas en V\*

Sección de la banda	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

\*Datos cortesía de Gates Rubber Co., Denver, Colo.

**Ilustración 3-28:** Algunos parámetros de bandas en V  
Fuente: (Budynas, 2012).

Para bandas de tipo A, es  $K_c=0.561$

$$F_c = 0.561 \left( \frac{1370.51}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 0.9410 \text{ lb}$$

### 3.25. Tensión mayor en la banda

Utilizamos la siguiente fórmula para la tensión:

**Ecuación 3-42:** Tensión mayor en la banda

$$\Delta F = \frac{63025 \frac{H}{N}}{n * \frac{d}{2}} \quad \text{Ecu 3-42}$$

**Dónde:**

Delta F= tensión debido al par de torsión transmitido

H= potencia de diseño

N= Número de bandas

n= velocidad del eje conductor

d= diámetro del eje conductor

$$\Delta F = \frac{63025 \frac{H}{N}}{n * \frac{d}{2}}$$

$$\Delta F = \frac{63025 \left( \frac{2}{3} \right)}{1733.6 * \frac{3}{2}}$$

$$\Delta F = 16.1577 \text{ lb}$$

**3.25.1. La tensión mayor se calcula con la fórmula:**

**Dónde:**

$$f = 0.3 \text{ Coeficiente de rozamiento}$$

**Ecuación 3-43:** Tensión mayor

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F * \exp(f\phi)}{\exp(f\phi) - 1} \quad \text{Ecu 3-43}$$
$$F_1 = 0.94 + \frac{16.15 * 2}{2 - 1}$$
$$F_1 = 30.36 \text{ lb} = 135.04801 \text{ N}$$

**3.25.2. Tensión menor de las bandas**

**Ecuación 3-44:** Tensio menor

$$F_2 = F_1 - \Delta F \quad \text{Ecu 3-44}$$
$$F_2 = 30.36 - 16.15$$
$$F_2 = 14.21 \text{ lb}$$
$$= 63.20922 \text{ N}$$

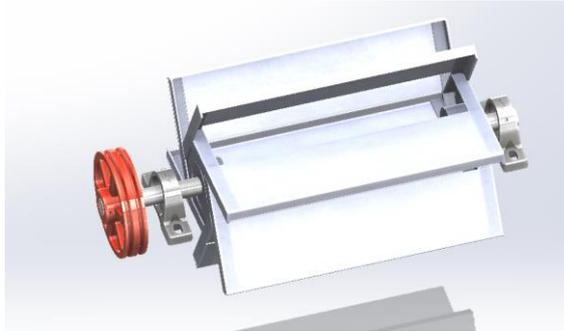
**3.25.3. Tensión inicial**

**Ecuación 3-45:** Tensión inicial

$$F_i = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_c \quad \text{Ecu 3-45}$$
$$F_i = \frac{30.36 + 14.21}{2} - 0.94$$
$$F_i = 21.37 \text{ lb} = 95.058 \text{ N}$$

**3.26. Diseño de eje del ventilador**

Para el diseño del eje del ventilador se tomará en cuenta todas las consideraciones dentro del diseño mecánico como el peso de la polea, peso de las aspas del ventilador, el peso de los ejes de soporte, las distancias entre rodamientos, y el material para el mismo. Con estas consideraciones se calculará el diámetro del eje para el funcionamiento del ventilador. Los pesos de cada uno de los elementos tomados para el estudio del cálculo del eje se basan en los resultados que nos arroja el programa SolidWorks.



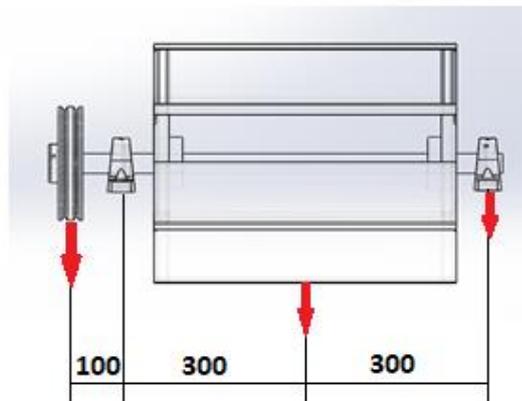
**Ilustración 3-29:** Diseño de eje del ventilador  
Realizado por: Martínez B., 2023.

### 3.26.1. Consideraciones para el diseño del eje

**Tabla 3-26:** Consideraciones para el diseño del eje

Componentes	Pesos	Distancias
Polea de 6 in	1.63 lb (0.739Kg)	0
Aspas de ventilador	13.88 lb (6.3Kg)	400mm
Rodamientos de 1in	-----	700 mm
Peso del eje 1in	6.15 lb (2.8 Kg)	

Realizado por: Martínez B., 2023.

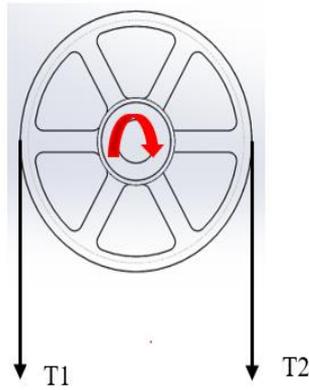


**Ilustración 3-30:** Modelo del eje del ventilador  
Realizado por: Martínez B., 2023.

Para encontrar las fuerzas que actúan sobre el eje se tiene que descomponer el torque generado por el motor.

$$\tau_M = 8.05 \text{ N.m}$$

Y con los datos encontrados de las fuerzas de aplicación de las bandas se puede calcular la fuerza de la polea.



**Ilustración 3-31:** Polea numero 2  
 Realizado por: Martínez B., 2023.

**Ecuación 3-46:** Esfuerzo de torsión

$$\tau = \frac{Pot}{\omega} \quad \text{Ecu 3-46}$$

$$\tau = \frac{2Hp}{1745RPM}$$

$$\tau = \frac{1491.4 W}{182,73 rad/s}$$

$$\tau = 8.16 N.m$$

$$\tau = (T_1 - T_2) * \frac{d}{2}$$

$$\tau = (T_1 - 2T_1) * \frac{d}{2}$$

$$\frac{2\tau}{d} = -T_1$$

$$T_1 = -\frac{2(8.16)}{0.08}$$

$$T_1 = -204 N$$

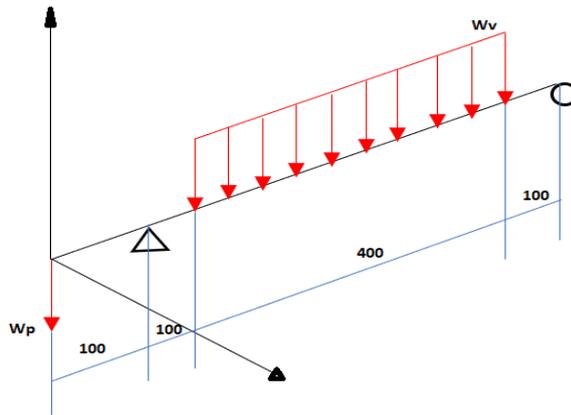
$$T_2 = -2(204)N$$

$$T_2 = -408 N$$

$$T_s = T_1 + T_2$$

$$T_s = 612N$$

Con esta fuerza y los pesos del ventilador y del eje se puede calcular el diámetro del eje.



**Ilustración 3-32:** Diagrama de cuerpo libre  
Realizado por: Martínez B., 2023.

Para el cálculo de la fuerza distribuida se realiza el siguiente calculo, teniendo el peso de las aspas con la longitud de estas.

**Ecuación 3-47:** Carga distribuida

$$W_v = \frac{w}{l} \quad \text{Ecu 3-47}$$

$$q_v = \frac{10Kg}{400 \text{ mm}} = \frac{98.06 \text{ N}}{400 \text{ mm}}$$

$$q_v = 0.245 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Teniendo ya todas las fuerzas dentro del sistema estructural del eje realizamos las gráficas de fuerzas, diagramas de momentos flectores.

- **Diagrama de fuerzas cortantes**



**Ilustración 3-33:** Diagrama de fuerza en el plano  
Realizado por: Martínez B., 2023.

## Reacciones

**Ecuación 3-48:** Materia de fuerza en Y

$$\sum F_y = 0$$
$$-612 + R_{y1} - 98 + R_{y2} = 0$$

Ecu 3-48

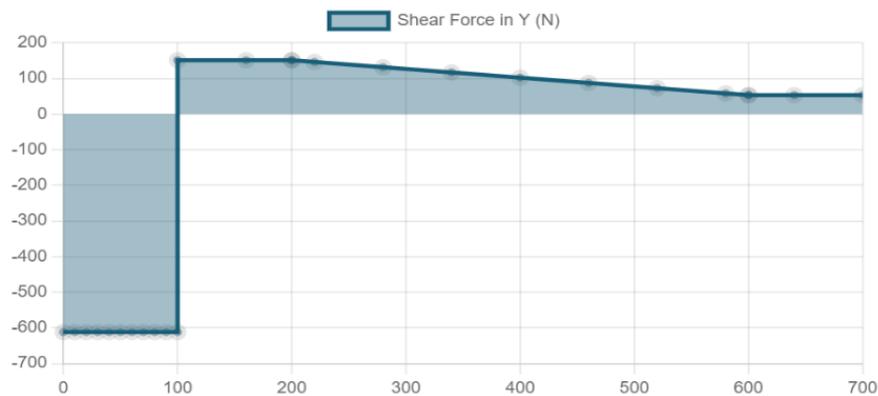
$$R_{y2} = 612 - R_{y1} + 98$$

**Ecuación 3-49:** Sumatoria de momentos

$$\sum M_2 = 0$$
$$98(300) - R_{y1}(600) + 612(700)$$
$$= 0$$
$$R_{y1} = 763 \text{ N}$$

Ecu 3-49

$$R_{y2} = -53 \text{ N}$$



**Ilustración 3-34:** Diagrama de fuerzas cortantes

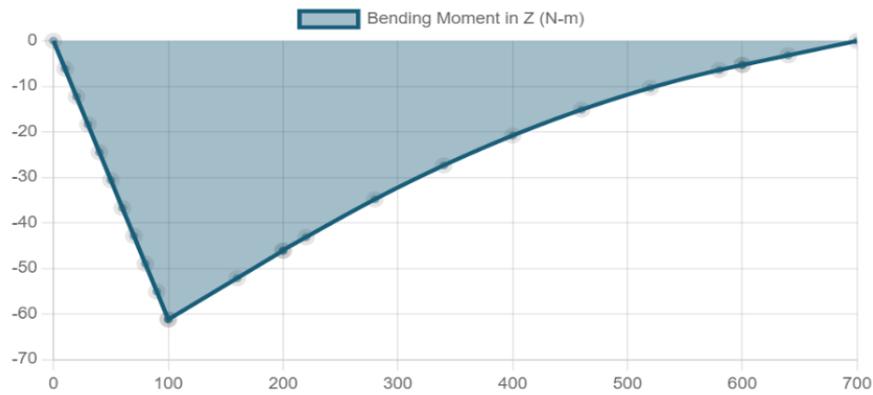
Realizado por: Martínez B., 2023.

$$M_0 = 0$$

$$M_1 = -612 \text{ N} * 0.100 \text{ m}$$

$$M_1 = -61.2 \text{ N} - \text{m}$$

$$M_2 = 0$$



**Ilustración 3-35:** Diagrama de momentos flectores  
Realizado por: Martínez B., 2023.

$$M_{max} = -61.2 \text{ N.m}$$

### 3.27. Diseño estático del eje

Para el diseño un eje estático, es necesario considerar varios factores importantes, incluyendo la carga que soportará el eje, el tipo de material utilizado para el eje, las dimensiones y la geometría del eje, y las condiciones de operación a las que estará sometido.

Consideraciones de diseño:

- Determinar la carga: Es importante conocer la carga que el eje soportará durante su funcionamiento, incluyendo la carga axial, la carga radial y la carga de torsión.
- Seleccionar el material: El material utilizado para el eje debe tener las propiedades adecuadas para soportar la carga aplicada. Los materiales comunes utilizados para ejes estáticos incluyen acero al carbono, acero inoxidable y aleaciones de aluminio.
- Determinar las dimensiones: Las dimensiones del eje dependen de la carga que soportará, así como de la geometría del eje. Es importante asegurarse de que el eje tenga la resistencia necesaria para soportar la carga aplicada.
- Selección de la geometría: La geometría del eje también es importante en el diseño estático. Los ejes pueden tener diferentes formas, como cilíndrica, cuadrada, hexagonal, entre otras. La elección de la geometría adecuada depende de la aplicación específica.
- Verificación de la resistencia: Una vez que se han determinado las dimensiones y la geometría del eje, es importante verificar si el eje tiene la resistencia adecuada para soportar la carga aplicada. Esto puede hacerse mediante cálculos y simulaciones numéricas.

- Considerar las condiciones de operación: Las condiciones de operación a las que estará sometido el eje también deben ser consideradas. Esto puede incluir la temperatura, la velocidad de rotación y el ambiente en el que se encuentra el eje.

El material para utilizar el diseño del eje:

El coeficiente de seguridad es un factor que se utiliza para garantizar que el eje tenga una resistencia adecuada y suficiente para soportar la carga aplicada sin fallar. El valor del coeficiente de seguridad depende de varios factores, como la aplicación específica del eje y las normas de diseño y seguridad aplicables.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
G10100	1010	CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
		HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
G10150	1015	CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
		HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
G10180	1018	CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
		HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
G10200	1020	CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
		HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
G10300	1030	CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
		HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
G10350	1035	CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
		HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
G10400	1040	CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
		HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170

**Ilustración 3-36:** Coeficiente de seguridad

Fuente: (Budynas, 2012)

En general, el coeficiente de seguridad recomendado para el diseño de ejes estáticos suele ser de al menos 1.5. Esto significa que la resistencia del eje debe ser al menos 1.5 veces la carga máxima que el eje soportará durante su operación normal. Con este dato calcularemos los esfuerzos de generado por las cargas en el eje.

- **Esfuerzo máximo por flexión**

**Ecuación 3-50:** Esfuerzo máximo por flexión

$$\sigma_x = \frac{32 * M_{max}}{\pi * d^3} \quad \text{Ecu 3-50}$$

$$\sigma_x = \frac{32 * 61.2}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{623.37 \text{ N.m}}{d^3}$$

- **Esfuerzo máximo por torsión:**

**Ecuación 3-51:** Esfuero máximo por torsion

$$\tau_{xy} = \frac{16 * T_{max}}{\pi * d^3} \quad \text{Ecu 3-51}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 * 8.16N.m}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{41.55N.m}{d^3}$$

Usando Von Misses:

**Ecuación 3-52:** Ecuación de Von Misses

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ecu 3-52}$$

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{623.37 N.m}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{41.55N.m}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma' = \frac{627.51}{d^3}$$

$$Sy = 210 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{Sy}{\sigma'}$$

$$n = 2$$

$$d^3 = \sqrt[3]{\frac{627.51 * 2}{210 * 10^6}}$$

$$d = 0.01814m$$

$$d = 18.14mm$$

### 3.28. Diseño dinámico

Para el diseño por fatiga se toma en cuenta la falla del material, por lo cual se analiza los siguientes parámetros como:

- Acero AISI 1020 RC
- Velocidad de giro =866 RPM

- Trabajo continuo de 24 horas
- 72000 ciclos de rotación
- Factor de seguridad = 2
- Para los parámetros de diseño asumimos lo siguiente ya que conocemos el diámetro del eje:  $k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f = 0.33$

### 3.28.1. Resistencia a la fatiga en el eje rotatorio

Resistencia a la tensión:

$$S_{ut} = 380 \text{MPa}$$

**Ecuación 3-53:** Resistencia a la Tensión

$$S'_e = 0.5 * (S_{ut}) \quad \text{Ecu 3-53}$$

$$S'_e = 0.5 * 380$$

$$S'_e = 190 \text{MPa}$$

### 3.28.2. Resistencia a la fatiga en el eje

**Ecuación 3-54:** Resistencia a la fatiga en el eje

$$S_e = 0.3 * S'_e \quad \text{Ecu 3-54}$$

$$S_e = 0.33 * 190$$

$$S_e = 62.7 \text{MPa}$$

### 3.28.3. Resistencia a la fatiga

$$f = 0.9$$

Para aceros con  $S_{ut} < 70 \text{ Kpsi}$ ; AISI 1020 = 55Kpsi

**Ecuación 3-55:** Resistencia a la fatiga

$$a = \frac{(f * S_{ut})^2}{S_e} \quad \text{Ecu 3-55}$$

$$a = \frac{(0.9 * 390)^2}{62.7}$$

$$a = 1964.92 \text{MPa}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left( \frac{f * S_{ut}}{S_e} \right)$$

$$b = -0.2455$$

$$Sf = aN^b$$

$$Sf = 1964.92(72000)^{-0.2455}$$

$$Sf = 126.144MPa$$

$$n = \frac{Sf}{\sigma}$$

$$n = \frac{Sf * \pi * d^3}{32 * M}$$

$$d^3 = \frac{32 * 61.2 * 2}{126.144 * \pi}$$

$$d = 0.02146 m$$

$$d = 21.46 mm$$

En ese caso seleccionamos un eje comercial más cercano el cual es de 1 pulg o 25.4mm y por la factibilidad de compra.

Comprobación con diámetro de 25.4 mm

### 3.28.4. Factor de condición superficial

$$Ka = a * Sut^b$$

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

**Ilustración 3-37:** Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin  
Realizado por: (Budynas, 2012)

Los factores de a y b se seleccionan para Maquinado en frío

$$a = 4.51 MPa$$

$$b = -0.265$$

$$Ka = 4.51 * 390^{-0.265}$$

$$Ka = 0.9279$$

### 3.28.5. *Factor de tamaño*

$$Kb = 1.24d^{-0.107}$$

$$Kb = 0.87$$

### 3.28.6. *Factor de carga*

$$Kc = 0.59$$

### 3.28.7. *Factor de temperatura*

Para temperatura ambiente de 20°C es igual a:

$$Kd = 1$$

### 3.28.8. *Factor de confiabilidad*

Para el factor de confiabilidad de 99% es igual a:

$$Ke = 0.814$$

### 3.28.9. *Factor de efectos varios*

Para este tipo de eje que no tiene muesca o concentradores de esfuerzos

$$Kf = 1$$

### 3.28.10. *Límite de resistencia a la fatiga*

$$Se = ka * kb * kc * kd * ke * kf * S'e$$
$$Se = 0.9279 * 0.87 * 0.59 * 1 * 0.814 * 1 * 190MPa$$
$$Se = 73.66 MPa$$

### 3.28.11. *Cálculo de resistencia de fatiga*

$$a = \frac{(f * Sut)^2}{S_e}$$

$$a = \frac{(0.9 * 390)^2}{73.66}$$

$$a = 1672.56 \text{ MPa}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{f * Sut}{S_e}\right)$$

$$b = -0.226$$

$$Sf = aN^b$$

$$Sf = 1672.56(72000)^{-0.226}$$

$$Sf = 133.544 \text{ MPa}$$

### 3.28.12. Factor de seguridad

$$\sigma' = \frac{627.51}{0.0254^3}$$

$$\sigma' = 38.2930 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = \frac{41.55 \text{ N.m}}{(0.0254 \text{ m})^3}$$

$$\tau_{xy} = 2.5355 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{Sf}{\sigma}$$

$$n = \frac{133.544}{38.29}$$

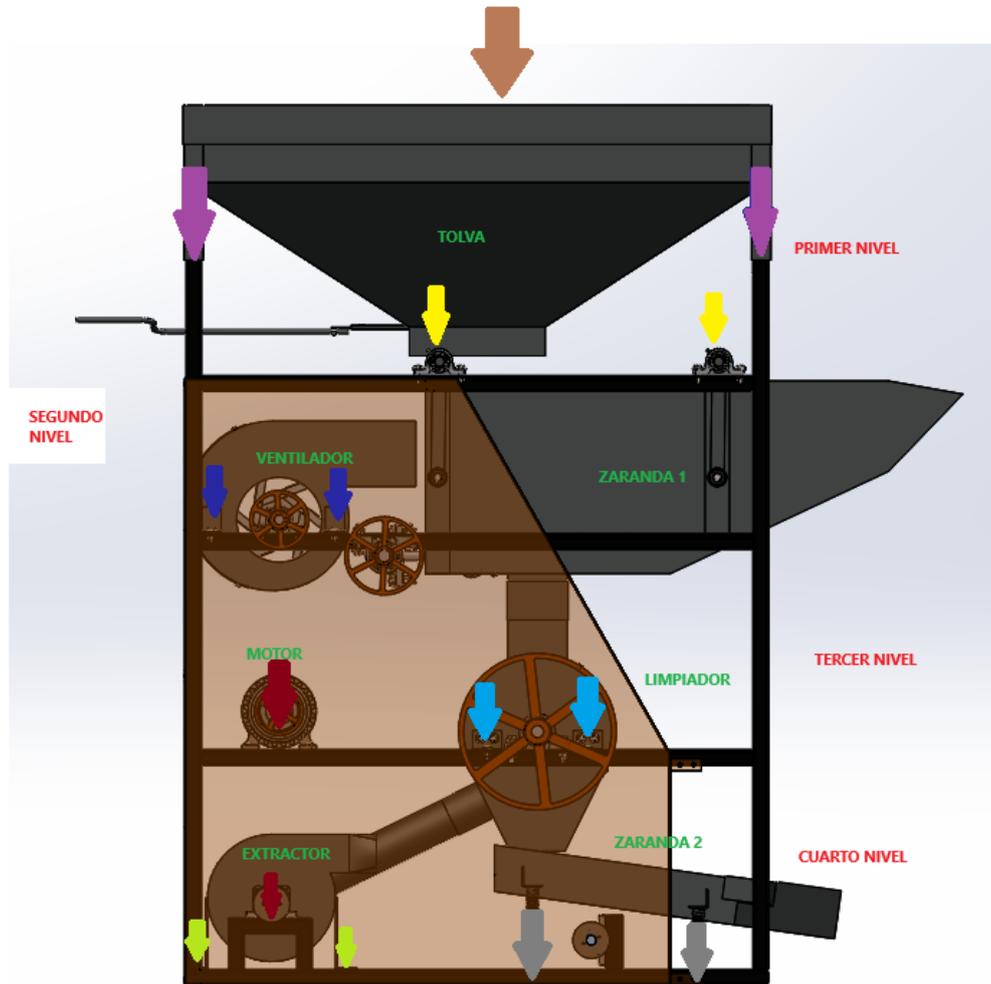
$$n = 3.48$$

### 3.29. Diseños estructurales de la maquina

Para el diseño de la parte estructural de la maquina clasificadora de semilla de alfalfa, se lo realiza con el uso de un software CAD, para determinar y evaluar el factor de seguridad de está aplicando un análisis estático bajo el criterio de cálculo de vigas y el dimensionamiento de este. Para este caso la parte estructura se determinó con el perfil cuadrado 40\*40\*3 (mm). Para las cargas generadas y los pesos que debe soportar la estructura de la maquina se ha analizado de la siguiente manera:

- La capacidad máxima de la maquina
- Pesos de las partes que conforma la maquina clasificadora
- Carga de materia prima
- Cargas vivas

En cada una de estas se analizará en la siguiente **Tabla** donde valoramos las cargas y los puntos donde están aplicadas cada una de estas.



**Ilustración 3-38:** Distribución de cargas de la estructura  
Realizado por: Martínez B., 2023.

**Tabla 3-27:** Cargas distribuidas de la estructura

Cargas distribuidas de la estructura			
Cargas	Cantidad	Ubicación	Total
Tolva	39.14 Kg en vacío	Parte superior de la estructura	39.14
Zaranda 1	43.24 kg en	Segundo nivel de la estructura	43.24
Ventilador	25.5 Kg aspas y carcasa	Segundo nivel de la estructura	25.5
Limpiador	28.22 kg aspas y carcasa	Tercer nivel de la estructura	28.22

Motor	12 kg	Tercer nivel de la estructura	12
Extractor	15 kg	Cuarto nivel de la estructura	15
Zaranda 2	20 kg	Cuarto nivel de la estructura	20
Materia prima	200 Kg	En el primer nivel	200
Carga viva	70 kg	De una persona en segundo nivel	70

Realizado por: Martínez B., 2023.

### 3.29.1. Simulación MEF de la estructura

Para la simulación de la parte estructural se ha analizado el tipo de geometría, generación de mallado, definición del material, condiciones de contorno, tipo de análisis y por último interpretación de resultados. Con esto podremos comprobar la geometría y el tipo de perfilería seleccionada en la estructura de la maquina clasificadora de semillas de alfalfa.

- **Modelado de la geometría:** Se comienza por crear un modelo tridimensional de la estructura de la clasificadora de semillas. Esto implica diseñar para una de las necesidades que la maquina clasificadora tiene que realizar. Para ello la modelación mecánica quedo de la siguiente manera.

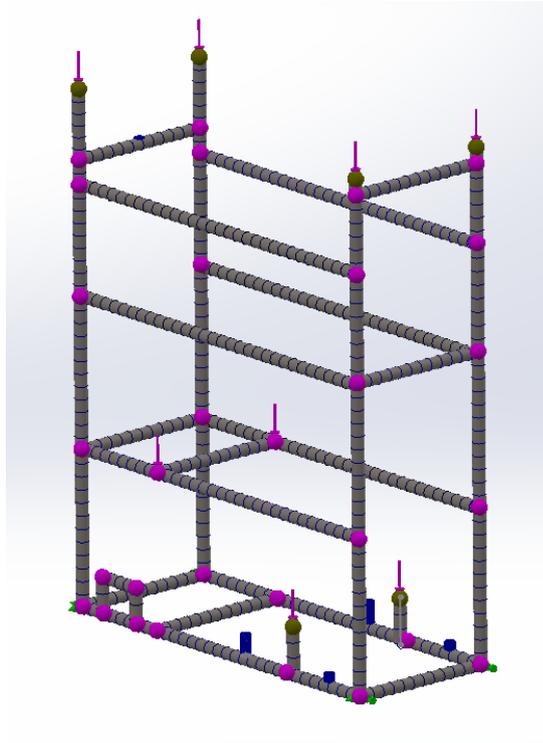


**Ilustración 3-39:** Modelo de la estructura

Realizado por: Martínez B., 2023.

- **Generación de malla:** Divide la geometría en elementos finitos. La calidad de la malla (la división de la geometría en elementos más pequeños) es esencial para obtener resultados precisos. La mayoría de los programas de simulación MEF tienen herramientas de generación

de mallas. Para este caso la malla generada se representa de la siguiente manera la aplicación de perfilería.



**Ilustración 3-40:** Estructura Mallada  
Realizado por: Martínez B., 2023.

**Tabla 3-28:** Cargas distribuidas de la estructura

<b>Información de malla</b>	
<b>Tipo de malla</b>	Malla mixta
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla basada en curvatura de combinado
<b>Puntos jacobianos para malla de alta calidad</b>	16 puntos
<b>Verificación jacobiana para el vaciado</b>	Activar
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	5,98532 mm
<b>Tamaño mínimo del elemento</b>	1,99509 mm
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden
<b>Información de malla - Detalles</b>	
<b>Número total de nodos</b>	17910

<b>Número total de elementos</b>	10869
<b>Tiempo para completar la malla (hh; mm; ss):</b>	00:00:08
<b>Nombre de computadora:</b>	

Realizado por: Martínez B., 2023.

- **Definición de propiedades de los materiales:** Asigna propiedades de material a las partes de la estructura. Debes conocer las propiedades del material de cada componente de la clasificadora de semillas, como módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, densidad, entre otros.

**Tabla 3-29:** Propiedades mecánicas del acero 36

<b>Propiedades mecánicas del material</b>	
<b>Material</b>	Acero estructural A36
<b>Límite elástico</b>	250 MPa
<b>Límite de tracción</b>	400 MPa
<b>Coefficiente de poisson</b>	0.26
<b>Densidad</b>	7850 kg/m <sup>3</sup>

Realizado por: Martínez B., 2023.

- **Condiciones de contorno:** Define las condiciones de contorno, como restricciones y cargas. Por ejemplo, asegúrate de fijar los puntos de anclaje o soporte de la clasificadora y aplica las cargas que experimentará la máquina durante su funcionamiento.

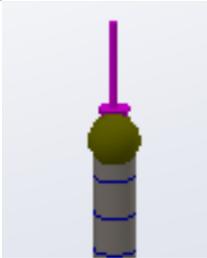
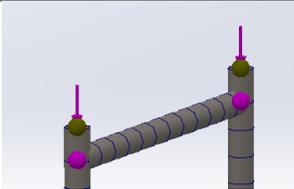
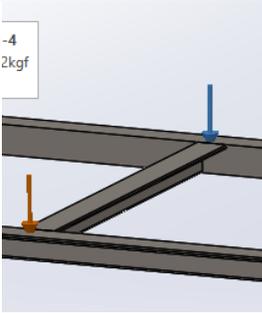
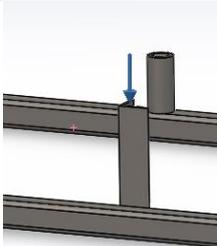
**Tabla 3-30:** Punto de Sujecion

<b>Punto de sujeción</b>		
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Tipo: Geometría fija</b>

Realizado por: Martínez B., 2023.

**Tabla 3-31:** Cargas aplicadas en la estructura

<b>Cargas aplicadas</b>		
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga

Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 4 Juntas <b>Referencia:</b> Arista< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> 0; 0; 310 kgf <b>Momentos:</b> 0; 0; 0 kgf.cm
Fuerza-2		<b>Entidades:</b> 4 Juntas <b>Referencia:</b> Arista< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> 0; 0; 44 kgf <b>Momentos:</b> 0; 0; 0 kgf.cm
Fuerza-3		<b>Entidades:</b> 4 Juntas <b>Referencia:</b> Arista< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> 0; 0; 25,5 kgf <b>Momentos:</b> 0; 0; 0 kgf.cm
Fuerza-4		<b>Entidades:</b> 4 Juntas <b>Referencia:</b> Arista< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> 0; 0; 12 kgf <b>Momentos:</b> 0; 0; 0 kgf.cm
Fuerza-5		<b>Entidades:</b> 4 Juntas <b>Referencia:</b> Arista< 1 > <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> 0; 0; 28,22 kgf <b>Momentos:</b> 0; 0; 0 kgf.cm

Realizado por: Martínez B., 2023.

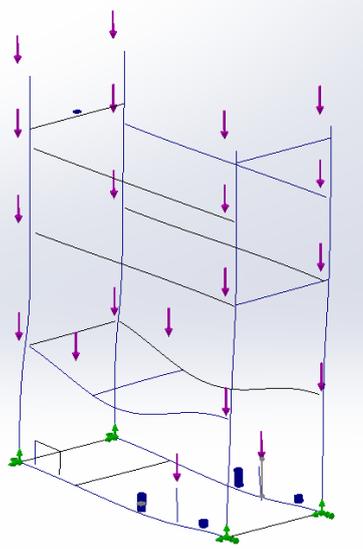
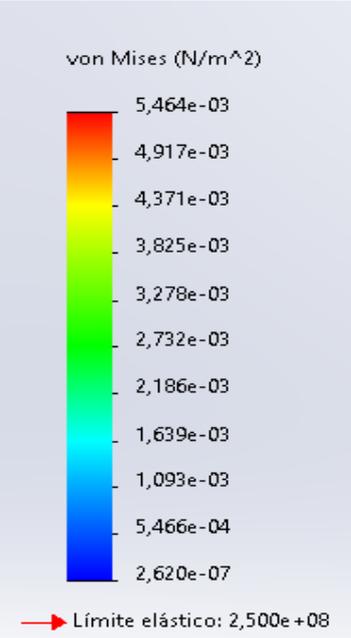
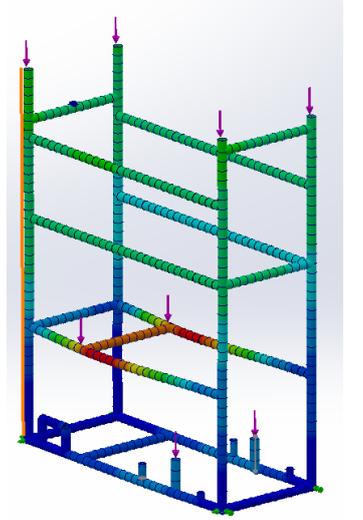
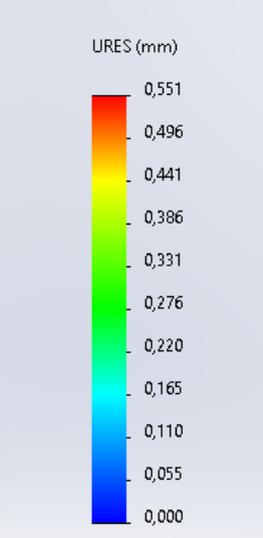
### 3.29.2. Análisis de resultados de la estructura

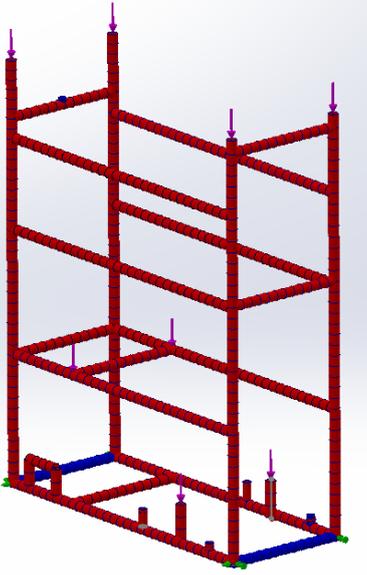
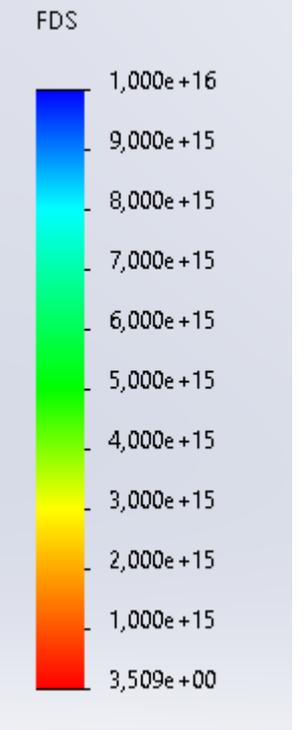
- **Análisis estático:** Para el análisis estático se toma a toda la estructura en equilibrio con las fuerzas que intervienen en las mismas. Para este caso se lo realizo a través de la simulación

MEF, la cual nos ayuda a resolver las Ecuaciones en equilibrio para obtener los diferentes resultados.

- **Interpretación de resultados:** Analiza los resultados de la simulación. Se analizará las deformaciones, Tensiones, desplazamientos, factores de seguridad de la estructura de la clasificadora de semillas.

**Tabla 3-32:** Tabla de resultados de la simulacion

<b>Resultados de simulación MEF</b>		
<b>Tensión axial y de flexión en la base</b>	<b>Grafica de Resultados</b>	<b>Resultados máximos en Tensión (N/m<sup>2</sup>)</b>
	 <p>von Mises (N/m<sup>2</sup>)</p> <p>5,464e-03 4,917e-03 4,371e-03 3,825e-03 3,278e-03 2,732e-03 2,186e-03 1,639e-03 1,093e-03 5,466e-04 2,620e-07</p> <p>→ Límite elástico: 2,500e+08</p>	<p>1,405e-04N/m<sup>2</sup> Nodo: 14176</p>
<b>Análisis de desplazamiento de la estructura</b>	<b>Grafica de Resultados</b>	<b>Resultados del máximo de desplazamiento (mm)</b>
	 <p>URES (mm)</p> <p>0,551 0,496 0,441 0,386 0,331 0,276 0,220 0,165 0,110 0,055 0,000</p>	<p>5,512e-01mm Nodo: 17576</p>

Factor de seguridad	Grafica de Resultados	Resultados del mínimo de factor de seguridad
		<p style="text-align: center;">3,509e+00 Nodo: 17370</p>

Realizado por: Martínez B., 2023.

### 3.29.3. Resultados

Con estos resultados del estudio estático de la estructura de la maquina clasificadora de semillas a través de método MEF en el programa de SolidWorks 2020, se puede concluir los siguiente:

Los perfiles de la maquina clasificadora de semillas son los siguientes:

- Perfil cuadrado de 40x40x3.2(mm) de acero de construcción A36
- Ángulo de 45x45x3.2(mm) de acero de construcción A36
- La geometría de la estructura es dentro de los parámetros de diseño y construcción los cuales se ha descrito al principio donde se definía las necesidades y las capacidades de la máquina.
- El desplazamiento máximo de todo el sistema de la estructura es de 0.5521 mm donde se está dentro los rangos establecidos.
- Con esta configuración de la geometría, material y fuerzas que la estructura está soportando se ha analizado el factor de seguridad el cual es de 3.5 el cual estamos garantizando la resistencia del diseño.

### 3.30. Diseño del sistema de limpieza

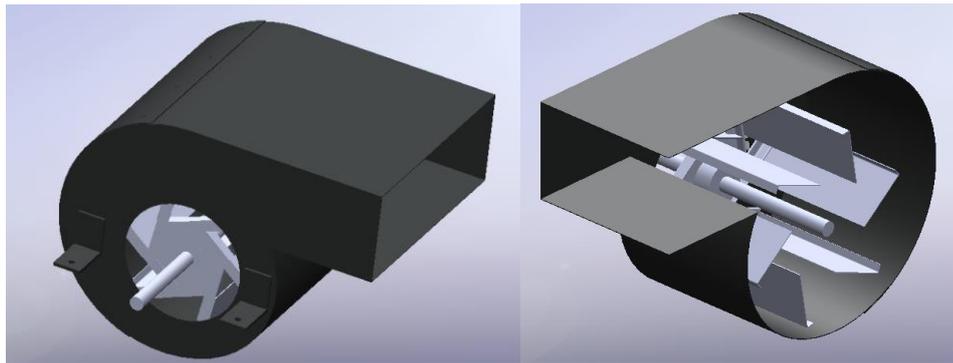
Para el diseño del sistema de limpieza en la maquina clasificadora de semilla se analizará, el caudal máximo, velocidad, área de corriente de aire, rpm. Tanto del ventilador como la del extractor de aire. Para ello nos ayudamos de los cálculos iniciales del torque y velocidad de cada una de las poleas.

**Tabla 3-33:** Datos iniciales para el calculo sistema de ventilacion

Datos iniciales para el cálculo sistema de limpieza			
Ubicación	Torque	RPM	Potencia
Polea 2	4.025	866.6	1.4
Polea 5	4.025	866.6	1.4

Realizado por: Martínez B., 2023.

Para velocidad máxima del ventilador estará dentro de los rangos de 7-12 m/s.



**Ilustración 3-41:** Modelacion de la Ventilacion

Realizado por: Martínez B., 2023.

Para iniciar con los cálculos del ventilador se determinará en primer lugar la densidad del aire correspondiente para el lugar de trabajo.

- **Densidad del aire:**

**Ecuación 3-56:** Ecuación para la densidad del aire

$$\rho = \frac{P_0}{T_0 R} \quad \text{Ecu 3-56}$$

$\rho$  = densidad del aire ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$P_0$  = Presión absoluta (101 KPa)

To = Temperatura absoluta(°K)

R = Constante de gases (aire =0.287 KJ/(kgx°K))

$$\rho = \frac{P_0}{T_0 R} = \frac{101}{(20 + 273) \times 0.287}$$
$$\rho = 1.20108 \frac{Kg}{m^3}$$

Para los ventiladores centrífugos que son los que tienen una alta eficiencia y capaz de generar grandes cantidades de aire, tienen una eficiencia de 60% a 75%. Para el estudio se tomará de 75% el valor de la eficiencia. Para determinar la potencia del eje manejaremos la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-57:** Potencia al eje kw

$$P = \frac{\rho_{aire} * g * Q * H_{aire}}{1000 * \eta} \quad \text{Ecu 3-57}$$

P = Potencia al eje kw

$\rho_{aire}$  = Densidad del aire  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

Q = Caudal  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

Haire = Altura equivalente en metros de aire ( mdca)

$\eta$  = eficiencia total del ventilador (75%)

De la **Tabla 15-3** de los resultados de las poleas en cada punto podemos verificar que la velocidad, torque y potencia de la polea del ventilador tiene las siguientes características:

*Velocidad* = 866.6 RPM

*Torque* = 4.025 N.m

*Potencia* = 1.4 Hp = 1.04398 Kw

Para la altura equivalente de aire se toma como referencia la altura estándar que son 90 (mdca) para los cuales se obtiene del Senamhi. Con este dato se puede calcular el caudal que se obtiene con estas características.

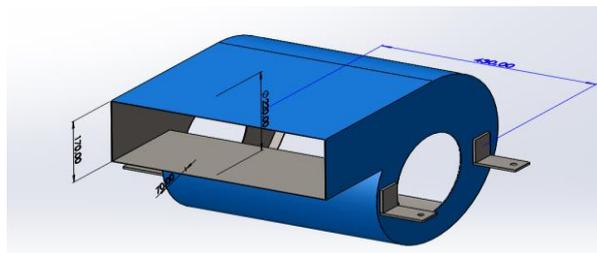
### Ecuación 3-58: Ecuación de Caudal

$$Q = \frac{1000 * n * P}{\rho_{aire} * g * H_{aire}} \quad \text{Ecu 3-58}$$
$$Q = \frac{1000 * 0.75 * 1.04398}{1.20 * 9.81 * 90}$$
$$Q = 0.738 \frac{m^3}{s}$$

La velocidad de la corriente de aire no debe ser ni muy alta ni muy baja, si es muy alta la semilla con la cascarilla saldrán de la zaranda y de la máquina, teniendo un desperdicio de esta. Si es demasiado baja se podrá expulsar la cascarilla y las demás partes del mosto de la materia prima. Por ese motivo la velocidad del extractor debe estar en el intervalo de 5 a 10 [m/s]. Con esto se garantizará que la semilla no salga expulsada, y que solamente las hojas y demás componentes del mosto innecesario salga de la máquina. Para el cálculo del área de salida del aire del ventilador se trabajará con una velocidad 10m/s.

$$Q = A * V$$
$$A = \frac{Q}{V}$$
$$A = \frac{0.738}{10}$$
$$A = 0.0738 m^2$$

#### 3.30.1. Geometría del ventilador



**Ilustración 3-42:** Geometria del Ventilador  
Realizado por: Martínez B., 2023.

La geometría del área de salida del ventilador se realizó con esa área para generar una velocidad de salida de 10 m/s. Con esto se garantiza que la velocidad va a hacer adecuada para la maquina clasificadora de semillas.

$$A_{Diseño} = 170 * 430 = 73100mm^2 = 0.0731m^2$$

**Ecuación 3-59:** Ecuación de velocidad

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecu 3-59}$$
$$V = \frac{0.738m^3/s}{0.0731m^2}$$
$$V = 10.09 m/s$$

*3.30.1.1. Diseño de la carcasa del ventilador*

Para el ventilador de la maquina clasificadora de semillas se tiene que tomar en cuenta algunas consideraciones en tales como:

La distribución del flujo de aire debe ser uniforme sobre las semillas para que se pueda separar los residuos.

El diseño de la carcasa debe ser de manera eficiente esto implica las formas de las palas o aspas del ventilador, la entrada de aire y la salida de aire de este, evitando las turbulencias.

La carcasa debe ser construida para que permita el fácil mantenimiento y limpieza de este, evitar cualquier acumulación de polvo o residuos.

Con estos primeros aspectos para el diseño de la carcasa se realizará los siguientes cálculos:

**Radio de carcasa:**

$$\log \frac{r}{r^2} = Kp * \varphi$$
$$\text{Para } \beta_2 = 60^\circ$$
$$\beta_2 < 90^\circ$$

**Radio máximo:**

**Ecuación 3-60:** Radio máximo

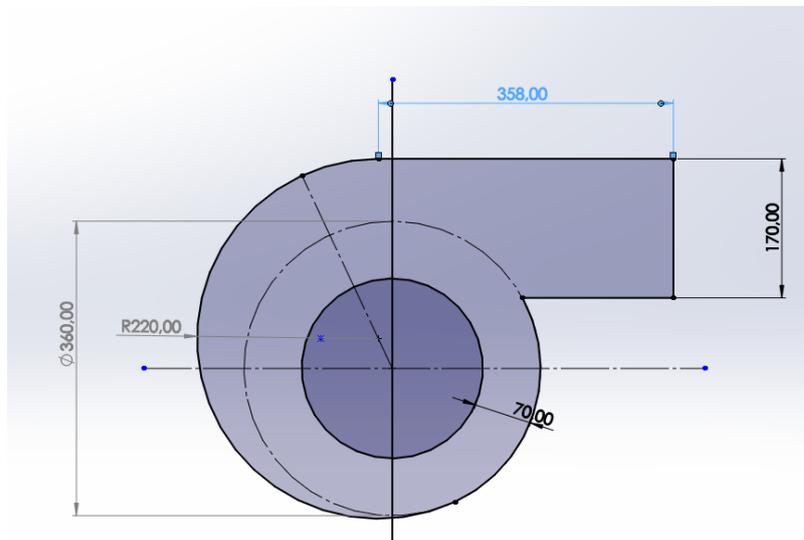
$$R_{max} = 1.7 * \frac{D_2}{2} \quad \text{Ecu 3-60}$$
$$R_{max} = 1.7 * \frac{320}{2}$$
$$R_{max} = 272mm$$
$$\frac{R_{max}}{r_2} = 1.7$$

**Dónde:**

$$kp = \frac{1}{360} \log\left(\frac{R_{max}}{r_2}\right) = \frac{1}{360} \log(1.7)$$
$$kp = 6.04 * 10^{-4}$$

**Dónde se despeja:**

$$r = r_2 * 10^{kp*\varphi}$$
$$r = \frac{D_2}{2} * 10^{kp*\varphi}$$
$$r = 272mm * 10^{6.04*10^{-4}*\varphi}$$



$$r = r_2 + 0.01 D_2$$
$$r = 220 + 0.01(360)$$
$$r = 223.6 \text{ mm}$$

De la ecuación anterior:

$$r = r_2 * 10^{kp*\varphi}$$

**Ecuación 3-61:** Ecuación de Ángulo de Ataque

$$\varphi = \frac{\log\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{kp}$$
$$\varphi = \frac{\log\left(\frac{272}{223.6}\right)}{6.04 * 10^{-4}}$$
$$\varphi = 140.88^\circ$$

Ecu 3-61

Con estos datos obtenidos ya se puede realizar el cálculo de las distancias de la carcasa.

Para la espiral calculamos con la siguiente fórmula:

$$\frac{A}{B} = (1.15 - 0.68)$$

La relación de distancias

$$\frac{A}{B} = 0.47$$

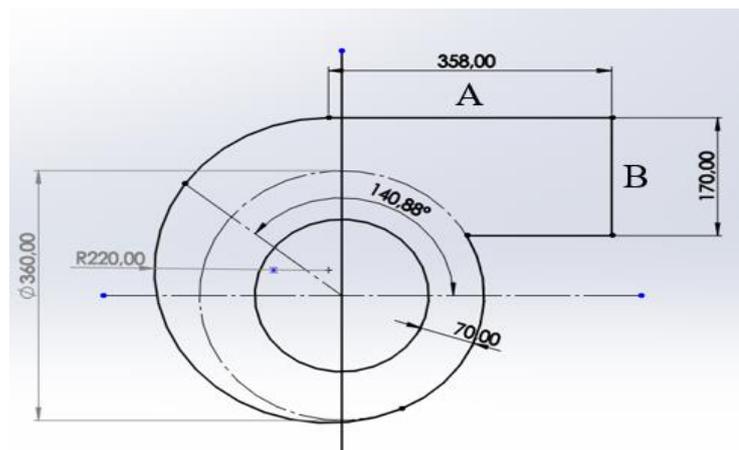
Para la distancia total en A

**Ecuación 3-62:** Distancia focal en A

$$\begin{aligned} A &= r_{max} - r_1 \cos \varphi && \text{Ecu 3-62} \\ A &= 145 - 272 \cos 140.88 \\ \mathbf{A} &= \mathbf{356.02 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Como la relación asumimos de 0.47 B resultada

$$\begin{aligned} B &= 0.47 * A \\ B &= 0.47 * 356.02 \\ \mathbf{B} &= \mathbf{167.32 \text{ mm}} \end{aligned}$$



### 3.30.2. Simulación de flujo en SolidWorks

Para la verificación del flujo de la geometría del diseño del ventilador se realizó la simulación en Flow Simulation, con los parámetros de velocidad angular de las aspas el tipo de fluido y las

condiciones geométricas. Esta simulación de flujo nos ayudara a comprobar la cantidad de aire arrojado por las aspas.

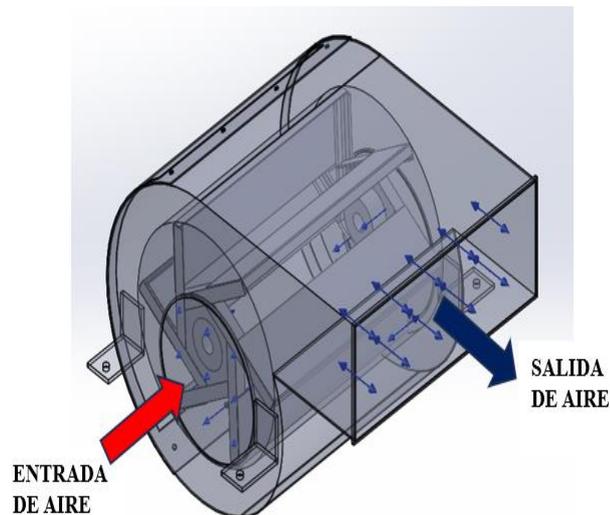
- **Condiciones para la simulación**

En la siguiente Tabla se muestran las condiciones iniciales para poder generar la simulación de flujo.

**Tabla 3-34:** Condiciones del fluido

Condiciones de trabajo del fluido		
Variables	Cantidad	Unidades
Presión	101 325	Pa
Temperatura	25	°C
Velocidad	0.2	m/s
Velocidad de las aspas	866.66	RPM
Densidad	1.2	Kg/m <sup>3</sup>

Realizado por: Martínez B., 2023.

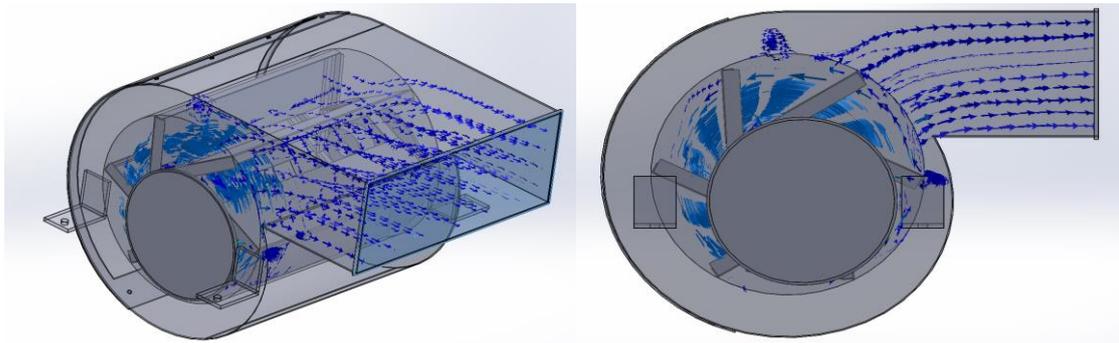


**Ilustración 3-43:** Condiciones para la Simulación

Realizado por: Martínez B., 2023.

Tanto para la entrada como para la salida del ventilador se va a encontrar en condiciones del ambiente, en la presión y temperatura del fluido. Estos datos iniciales no permitirán conocer la velocidad del flujo sabiendo que las aspas giran a 866.6 RPM. Iniciamos la simulación y a través de las trayectorias del flujo de aire y verificamos la velocidad que nos arroja la simulación.

### 3.30.3. Resultados de Flow Simulation



**Ilustración 3-44:** Trayectorias de fluido

Realizado por: Martínez B., 2023.

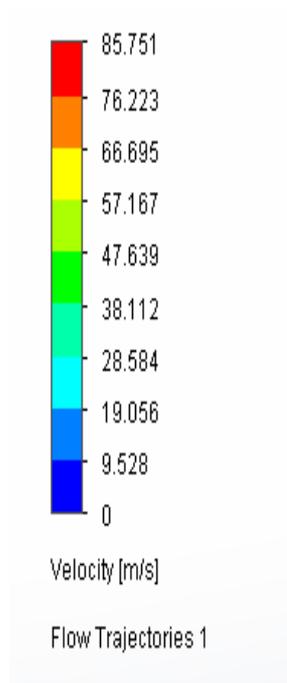
En estos resultados se puede obtener información sobre el comportamiento del flujo de fluido alrededor y a través del ventilador, para este estudio se enfocará en la geometría de las aspas dentro del caracol en el ventilador y la velocidad de salida de esta. De igual forma determinar los puntos críticos y formación de vórtice dentro del ventilador.

Parameter	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m <sup>3</sup> ]	1.20	1.22
Pressure [Pa]	101267.25	101551.00
Temperature [°C]	16.40	20.23
Temperature (Fluid) [°C]	16.40	20.23
Velocity [m/s]	0	85.751
Velocity (X) [m/s]	-37.735	38.772
Velocity (Y) [m/s]	-31.282	40.140
Velocity (Z) [m/s]	-81.662	52.609
Mach Number [ ]	0	0.25
Mach Number RRF [ ]	0	0.25
Velocity RRF [m/s]	0	85.751
Velocity RRF (X) [m/s]	-46.545	53.423
Velocity RRF (Y) [m/s]	-42.219	41.022
Velocity RRF (Z) [m/s]	-81.662	52.609
Vorticity [1/s]	0.08	17607.00
Relative Pressure [Pa]	-110.64	173.12
Shear Stress [Pa]	2.84e-19	0.56

**Ilustración 3-45:** Resultados de Flow Simulation

Realizado por: Martínez B., 2023.

En la ilustración se puede observar todos los parámetros del estudio y los resultados mínimos y máximos de la simulación del fluido. Donde se puede comprobar que la velocidad máxima es de 85.75 m/s en las aspas del ventilador. La velocidad a la salida del ventilador es de 9.528 m/s en la boca de esta, con esto se puede concluir que está dentro de los parámetros ya que la velocidad calculada es de 10.09 m/s.



**Ilustración 3-46:** Resultados de Velocidad  
**Realizado por:** Martínez B., 2023.

- **Error relativo de la velocidad del flujo**

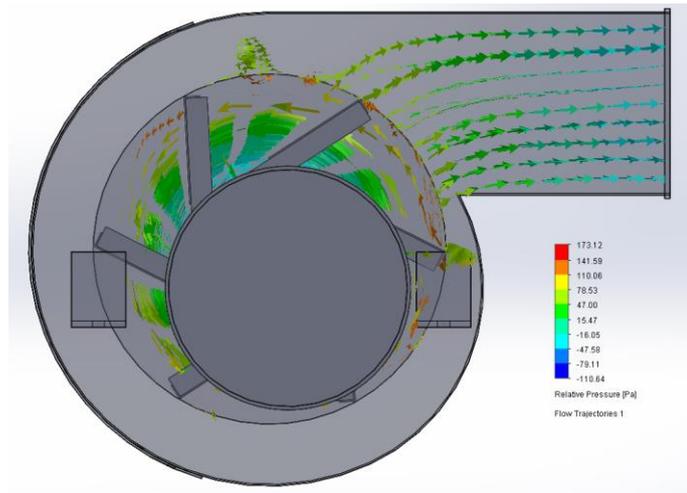
Para verificar el porcentaje del error de los cálculos de la velocidad dada por la geometría y los resultados de la simulación tenemos la siguiente expresión:

**Ecuación 3-63:** Ecuación de la velocidad relativa del flujo

$$\begin{aligned} \varepsilon_{relativo} &= \frac{V_{cal} - V_{sim}}{V_{sim}} && \text{Ecu 3-63} \\ & * 100\% \\ \varepsilon_{relativo} &= \frac{10.09 - 9.528}{9.528} * 100\% \\ \varepsilon_{relativo} &= 5.32\% \end{aligned}$$

- **Simulación de Presiones en el ventilador**

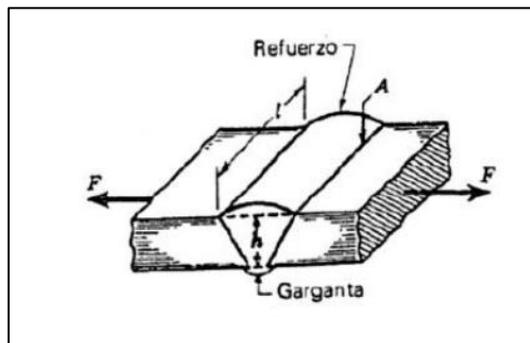
La generación de presiones y turbulencias dentro del ventilador también son de importancia para evitar bajas eficiencias dentro de la generación en el flujo de aire.



**Ilustración 3-47:** Trayectoria de Presiones  
Realizado por: Martínez B., 2023.

### 3.31. Diseño de la soldadura de la estructura

Para el diseño de la soldadura es importante producir una soldadura de calidad en tiempos cortos, eso nos permitirá tener una soldadura con penetración suficientemente eficiente, sin poros o bolsas o huecos, para tener una soldadura con un acabado superficial limpio, estético y sin defectos. Para la maquina clasificadora de semilla se escoge una junta a tope que no utiliza preparación de biselado ya que el grosor de los perfiles es pequeño.



**Ilustración 3-48:** Soldadura a tope  
Fuente: Shigley Joseph,

La fuerza  $F$  representa el peso total de la estructura más la cantidad de materia prima que va a trabajar la maquina clasificadora. Esta fuerza  $F$  va a ser la que actúa en cada elemento. Los elementos estructurales del prototipo son perfiles rectangulares de  $40 \times 40 \times 3.2$  de acero estructural ASTM A36. Para los pesos totales en el diseño estructural se analizará la carga máxima y el peso de toda la estructura.

Carga máxima = 200 Kg

Peso de la estructura total = 200 Kg

$$P_{Total\ est} = 400\ Kg = 3920\ N$$

Longitud del perfil máximo dentro del prototipo de la maquina clasificadora es de 2280 mm con peso de 3.54 Kg/m.

$$P_{EEG} = 2.28 * 3.54 = 8.07\ Kg = 79.086\ N$$

**Ecuación 3-64:** Presión Total

$$P_{Total} = P_{Total\ est} + P_{EEG}$$

Ecu 3-64

$$P_{Total} = 3920 + 79.086$$

$$P_{Total} = 4000\ N$$

Este peso se divide para el numero de columna de la estructura

$$P_{Total} = \frac{4000}{4}\ N$$

$$P_{Total} = 1000\ N$$

El esfuerzo normal medio está definido por la siguiente expresión cuando existen cargas de tensión y compresión.

**Ecuación 3-65:** Esfuerzo normal medio

$$\sigma_1 = \frac{F}{hl}$$

Ecu 3-65

**Dónde:**

$\sigma_1$  = Esfuerzo normal medio, (Pa)

F = Carga de tensión o compresión, (N)

h = Media dela garganta = 0.002m

l = Longitud de la soldadura = 0.04m

Para el esfuerzo cortante medio para la junta está representada por la siguiente expresión:

**Ecuación 3-66:** Esfuerzo cortante medio

$$\tau_1 = \frac{F}{hl}$$

Ecu 3-66

**Dónde:**

$\tau_1$  = Esfuerzo cortante medio, (Pa)

Resolviendo cada uno del esfuerzo obtenemos los siguientes resultados:

$$\sigma_1 = \frac{1000N}{0.002 * 0.04}$$

$$\tau_1 = \frac{1000N}{0.002 * 0.04}$$

$$\sigma_1 = 12.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_1 = 12.5 \text{ MPa}$$

Para el esfuerzo admisible de las cargas normales y cortantes lo escogeremos de Shigley Joseph, Diseño en Ingeniería Mecánica.

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	0.60S <sub>y</sub>	1.67
Aplastamiento	A tope	0.90S <sub>y</sub>	1.11
Flexión	A tope	0.60-0.66S <sub>y</sub>	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	0.60S <sub>y</sub>	1.67
Cortante	A tope o de filete	0.30S <sub>y</sub>	

\*El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión  
El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de 0.40S<sub>y</sub> del metal base.

**Ilustración 3-49:** Esfuerzos de la soldadura

Fuente: Shigley Joseph,

Donde tenemos lo siguiente:

$$\sigma_{adm} = 0.6 S_y$$

$$\tau_{adm} = 0.4 S_y$$

**Dónde:**

$S_y =$  Limite de fluencia del material (MPa)

Para el electro se selecciona el material AISI 1018 y se escoge el límite de fluencia en la siguiente ilustración:

Número	Material	Condición	Fluencia	Última	A la fractura
			$S_y$	$S_u$	$\sigma_f$
			Mpa (kpsi)	Mpa (kpsi)	Mpa (kpsi)
1018	Acero	Recocido	220 [32.0]	341 [49.5]	628 [91.1] <sup>†</sup>
1144	Acero	Recocido	358 [52.0]	646 [93.7]	898 [130] <sup>†</sup>
1212	Acero	HR	193 [28.0]	424 [61.5]	729 [106] <sup>†</sup>
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 [220]	1 580 [230]	2 380 [345]
303	Acero inoxidable	Recocido	241 [35.0]	601 [87.3]	1 520 [221] <sup>†</sup>
304	Acero inoxidable	Recocido	276 [40.0]	568 [82.4]	1 600 [233] <sup>†</sup>
2011	Aleación de aluminio	T6	169 [24.5]	324 [47.0]	325 [47.2] <sup>†</sup>

\*Los valores se toman uno o dos colapas y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%. <sup>†</sup>Valor derivado.

**Ilustración 3-50:** Limite de fluencia de la 1018

Fuente: Shigley Joseph, Diseño de ingeniería mecánica

Donde el límite de fluencia es de 220 MPa.

### 3.32. Análisis económico

Para el análisis económico de este proyecto se lo realizara como una descripción de todos los gastos para la realización de la maquina clasificadora y limpiadora de semillas de alfalfa, tanto la parte de diseño ingenieril como la parte constructiva.

#### 3.32.1. Costos directos

En los costos directos se toman en cuenta todos los materiales utilizados tanto los costos mecánicos como eléctricos, además la mano de otra, transporte y otros que se detallan las siguientes Tablas.

**Tabla 3-35:** Costos de materia prima

<b>COSTO MATERIA PRIMA</b>				
<b>Material</b>	<b>Características</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo/u (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
<b>TOL ACERO NEGRO</b>	1220x2440x1,2[mm]	3	\$66,60	\$199,80
<b>PERFIL CUADRADO DE ACERO A36</b>	6[m]; 3 mm	2	\$40,00	\$80,00
<b>ÁNGULO DE ACERO A1020</b>	1 1/2" X 1/4 [in]	1	\$30,00	\$30,00
<b>ÁNGULO DE ACERO A1020</b>	1 1/2" X 3/16 [in]	1	\$20,00	\$20,00
<b>ÁNGULO DE ACERO A1020</b>	1" X 3/16 [in]	1	\$15,00	\$15,00
<b>PLANCHA PERFORADA</b>	0,9H3x20 1x20 NG	1	\$60,00	\$60,00
<b>EJE 1" SAE 1020</b>	220[cm]	1	\$36,00	\$36,00
<b>EJE 1 1/4" SAE 1021</b>	165[cm]	1	\$35,00	\$35,00
<b>EJE 3" SAE 1022</b>	10[cm]	1	\$10,00	\$10,00
<b>EJE 3 1/2" SAE 1020</b>	18[cm]	1	\$35,00	\$35,00
<b>EJE 1"1/2 SAE 1020</b>	40[cm]	1	\$16,00	\$16,00
<b>PLATINA ACERO A36</b>	11/2 x11/4[in]	2	\$10,00	\$20,00
<b>PLATINA ACERO A36</b>	3 x 1/4[in]	1	\$15,00	\$15,00
<b>PLATINA ACERO A36</b>	1x 3/16[in]	1	\$10,00	\$10,00
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$581,80</b>
			<b>L</b>	

Realizado por: Martínez B., 2023.

- **Costos de componentes mecánicos**

**Tabla 3-36:** Costos de complementos

<b>Material</b>	<b>Características</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo/u (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
<b>CHUMACERA PISO 205</b>	1 [in]	9	\$13,30	\$119,70
<b>CHUMACERA PISO 207</b>	1 1/4[in]	4	\$20,00	\$80,00
<b>CHUMACERA PISO M208</b>	1 1/2 [in]	1	\$30,00	\$30,00
<b>CHUMACERA PARED 205</b>	1 [in]	1	\$25,00	\$25,00
<b>POLEA ALUMINIO 16"</b>	16[in] 1C TIPO A	1	\$30,00	\$30,00
<b>POLEA ALUMINIO 8"</b>	8[in] 1C TIPO A	1	\$15,00	\$15,00
<b>POLEA ALUMINIO 6"</b>	6[in] 2C TIPO A	1	\$20,00	\$20,00
<b>POLEA ALUMINIO 2 1/2"</b>	2 1/2[in] 4C TIPO A	1	\$15,00	\$15,00
<b>ESCOBAS</b>	LIMPIADORAS	6	\$3,40	\$20,40
<b>BISAGRAS</b>	5/8 [in] PARES	2	\$2,50	\$5,00

<b>RODAMIENTOS</b>	G203 16	8	\$2,50	\$20,00
<b>PERNOS Y RODELAS</b>	3/8 x 1 [in] Kg	4	\$2,00	\$8,00
<b>1 KILO PERNOS</b>	5 x 1/16 X 1 [in]	1	\$5,00	\$5,00
<b>1 KILO PERNOS</b>	3/8 x 1 1/2[in]	1	\$5,00	\$5,00
<b>1,6 KILOS PERNOS</b>	5/8 x3 X1/2	2	\$6,00	\$9,60
<b>BANDAS</b>	TIPO A	5	\$12,00	\$60,00
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$467,70</b>

Realizado por: Martínez B., 2023.

**Tabla 3-37:** Costos electrónicos

<b>Costos de componentes eléctricos</b>				
<b>COMPONENTES ELECTRICOS</b>				
<b>Material</b>	<b>Características</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo/u (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
<b>MOTOR ELECTRICO</b>	WDR 2 HP	1	\$350,00	\$350,00
<b>BREAKER EMC</b>	12 [A]	1	\$25,00	\$25,00
<b>INTERUPTOR</b>	2 POSICIONES	1	\$1,70	\$1,70
<b>CABLE SOLIDO</b>	12x4	1	\$1,75	\$1,75
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$378,45</b>

Realizado por: Martínez B., 2023.

**Tabla 3-38:** Costos de mano de obra

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Características</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo/u (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
<b>MANUFACTURA Y ENSAMBLE</b>		1	\$1.000,00	\$1.000,00
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$1.000,00</b>

Realizado por: Martínez B., 2023.

**Tabla 3-39:** Costos directos

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	
<b>MATERIA PRIMA</b>	\$581,80
<b>COMPENENTES MECANICOS</b>	\$467,70
<b>COMPONENTES ELECTRICOS</b>	\$378,45
<b>MANO DE OBRA</b>	\$1.000,00
<b>TRANSPORTE</b>	\$40,00
<b>OTROS</b>	\$32,00
<b>TOTAL, DE COSTOS DIRECTOS</b>	<b>\$2.427,95</b>

Realizado por: Martínez B., 2023.

### 3.32.2. Costos indirectos

Para los costos indirectos son de la inversión destinada a suplir cualquier imprevisto, tanto para la construcción como para el transporte de la máquina.

**Tabla 3-40:** Costos indirectos

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	
<b>TRANSPORTE</b>	\$60,00
<b>IMPREVISTOS</b>	\$100,00
<b>TOTAL, DE COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>\$160,00</b>

Realizado por: Martínez B., 2023.

### 3.32.3. Costos totales

Para los costes totales sumamos los costos directos y costos indirectos, con el detalle que cada costo viene incluido en IVA de 12% aplicado en nuestro país.

**Tabla 3-41:** Costos totales

<b>COSTOS TOTALES</b>	
<b>COSTOS DIRECTOS</b>	\$2.427,95
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	\$160,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$2.587,95</b>

Realizado por: Martínez B., 2023.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Tecnología de construcción de la clasificadora vibratoria de semilla de alfalfa

La clasificadora vibratoria de semillas, también conocida como criba o zaranda vibratorias, es una máquina utilizada para separar y clasificar materiales granulares según su tamaño y otras características. En el caso de las semillas de alfalfa, estas máquinas se utilizan para separar semillas de diferentes tamaños y calidades, asegurando que solo las semillas de alta calidad y tamaño deseado se utilicen para la siembra.



**Ilustración 4-1:** Máquina clasificadora de semillas  
Realizado por: Martínez B., 2023.

A continuación, se describen los componentes y el funcionamiento básico de una clasificadora vibratoria:

- **Tolva de alimentación:** Es el punto de entrada de las semillas a la máquina. Las semillas se vierten en la tolva y luego se alimentan gradualmente en la zona de clasificación.
- **Criba o malla:** La criba es una superficie perforada o tejida que permite que las partículas más pequeñas pasen a través de ella, mientras que las partículas más grandes se retienen. En una clasificadora vibratoria, se utilizan diferentes tamaños de cribas para lograr la separación deseada de las semillas.

- **Mecanismo vibratorio:** Esta es una parte crucial de la máquina. Utiliza un motor vibratorio o un sistema de vibración para generar movimientos oscilatorios en la criba. Estos movimientos permiten que las semillas se desplacen a lo largo de la superficie de la criba, lo que facilita la separación por tamaño.
- **Sistema de clasificación:** A medida que las semillas se desplazan a lo largo de la criba vibrante, las partículas más pequeñas pasan a través de las aberturas de la criba, mientras que las partículas más grandes se desplazan hacia el extremo de la criba y son expulsadas. Esto resulta en la separación de las semillas en diferentes fracciones según su tamaño.
- **Salidas múltiples:** Las semillas separadas se recogen en diferentes salidas o tolvas según su tamaño. Esto permite la recolección y el almacenamiento separado de diferentes categorías de semillas.
- **Ajustes y controles:** Básicamente el accionamiento del motor y las protecciones de este para el correcto funcionamiento.

Para la construcción de la maquina se detallará de forma cronológica cada una de las operaciones para la fabricación de esta. En la siguiente ilustración se muestra las partes del volante de giro y la malla para la limpiadora de la semilla de alfalfa.



**Ilustración 4-2:** Mecnizado de volante de giro y malla para la limpiadora  
Realizado por: Martínez B., 2023.

#### 4.2. Equipos necesarios para la construcción de la clasificadora

Para la construcción y el ensamble de la maquina clasificadora de semillas se utilizaron las siguientes maquinas herramientas e instrumentos de medición las cuales se describirá a continuación.

##### 4.2.1. Máquinas Herramientas

- **Torno:** Utilizado para dar forma a piezas giratorias como ejes y componentes cilíndricos.

- **Fresadora:** Para cortar formas precisas en piezas metálicas.
- **Máquina de corte por plasma:** Para cortar láminas de metal con alta precisión.
- **Prensa de corte:** Para cortar piezas de metal en formas específicas.
- **Máquina de soldadura:** Para unir componentes de metal mediante soldadura.
- **Plegadora:** Para doblar láminas de metal en ángulos específicos.
- **Taladro:** Para perforar agujeros en piezas metálicas.
- **Compresor de aire.** Para los acabados de pintura de la máquina.
- **Moladora:** Para corregir superficies irregulares

#### 4.2.2. *Instrumentos de Medición*

- **Calibradores vernier o calibradores digitales:** Para medir dimensiones precisas de componentes.
- **Micrómetros:** Para medir con alta precisión dimensiones pequeñas.
- **Cinta métrica:** Para mediciones generales de longitud.
- **Escuadra y transportador:** Para verificar y ajustar ángulos y alineaciones.
- **Goniómetro:** Para medir ángulos con alta precisión.

#### 4.2.3. *Equipos Electrónicos*

- **Multímetro:** Para medir voltajes, corrientes y resistencias eléctricas.
- **Soldador eléctrico:** Para unir componentes electrónicos.

#### 4.2.4. *Herramientas Manuales*

- **Llaves (fijas y ajustables):** Para apretar y aflojar tuercas y pernos.
- **Destornilladores:** Para ensamblar componentes con tornillos.
- **Martillo:** Para ajustar piezas o hacer conexiones ligeras.
- **Alicates:** Para agarrar, doblar o cortar cables y componentes.

### 4.3. **Denominación de las herramientas y maquinas herramientas**

Para describir el proceso constructivo de la maquina clasificadora de semilla se ha denominado de la siguiente forma para las maquinas herramientas, instrumentos de medición, equipos electrónicos, herramientas manuales. Se designa para la maquina herramientas con la letra M,

instrumentos de medición con la letra I, equipos electrónicos con la letra E, y herramientas manuales con la letra H.

**Tabla 4-1:** Designación de herramientas

<b>Designación</b>	<b>Herramientas y accesorios</b>
M1	Torno
M2	Fresadora
M3	Maquina corte de plasma
M4	Presa de corte
M6	Plegadora
M7	Taladro
M8	Compresor de aire
M9	Moladora
M10	Soldadora Eléctrica

Realizado por: Martínez B., 2023.

- **Designación de instrumentos de medición**

**Tabla 4-2:** Designación de instrumentos de medición

<b>Designación</b>	<b>Instrumentos de medición</b>
I1	Calibrador
I2	Micrómetro
I3	Cinta métrica
I4	Escuadra y transportador
I5	Goniómetro

Realizado por: Martínez B., 2023.

- **Designación de Equipo Eléctricos**

**Tabla 4-3:** Designación de equipos eléctricos

<b>Designación</b>	<b>Equipos eléctricos</b>
E1	Multímetro
E2	Soldador Electrónico

Realizado por: Martínez B., 2023.

- **Designación de herramientas manuales**

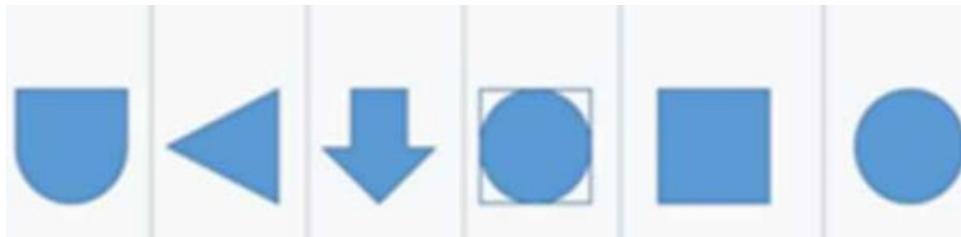
**Tabla 4-4:** Designación de herramientas manuales

<b>Designación</b>	<b>Herramientas manuales</b>
H1	Llaves
H2	Destornilladores
H3	Martillo
H4	Alicates

Realizado por: Martínez B., 2023.

#### 4.4. Cursograma de construcción

En la siguiente matriz de cursograma se representa las operaciones tecnológicas que se aplicaron para la construcción de la maquina clasificadora de semillas. Las operaciones de construcción de esta máquina no tienen un orden específico, se realizaron de acuerdo con la necesidad de avance requerida. El tiempo requerido se coloca a lado de cada una de las operaciones implementadas en la construcción. En esta matriz se detalla el proceso aplicando la nomenclatura según la norma IRAM 34501,34502, 34503, la cual detallaremos en la siguiente Tabla.



**Ilustración 4-3:** Simbología de diagrama de procesos

Fuente: (Yumpu.com, s. f.)

Símbolo	Denominación	Descripción
	<b>Operación</b>	Indica que se altera el estado de un elemento con el que se está trabajando. En procedimientos administrativos, brindar información, emitir un formulario, etc.
	<b>Inspección</b>	Indica que se verifica la calidad, la cantidad o ambas conforme a especificaciones preestablecidas.
	<b>Transporte</b>	Indica el traslado físico de los trabajadores, materiales y equipo de un lugar a otro. En procedimientos administrativos el traslado de un formulario.

Símbolo	Denominación	Descripción
	<b>Espera</b>	Indica que hay un elemento dado detenido esperando a que se produzca un acontecimiento determinado. Periodo de tiempo en el que se registra inactividad ya sea en los trabajadores, materiales o equipo
	<b>Almacenamiento</b>	Indica depósito de un objeto bajo vigilancia en un almacén según un criterio determinado de clasificación.

**Ilustración 4-4:** Nomenclatura cursograma

Fuente: (Puente S,2017,pdf, s. f.)

Las nomenclaturas de operaciones tecnológicas son términos estandarizados o específicos de una industria que se utilizan para describir diferentes operaciones, procesos o actividades que se llevan a cabo en la fabricación, producción. Para la fabricación de la clasificadora se describe el proceso en la siguiente matriz.

Objetivo: DETALLAR EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA MAQUINA	Actividad									
	Proceso: CONSTRUCCION DE LA MAQUINA CLASIFICADORA VIBRATORIA DE SEMILLAS DE ALFALFA	Operación	Trasporte						Espera	Inspeccion
Lugar: Ambato										
Descripcion	Maquinas	Herramienta	Tiempo (días)	Simbolo					Observaciones	
<b>Diseño y planificación</b>										
Definicion de requisitos			15	●						
Diseño conceptual			15	●						
Diseño detallado			30	●	→					
<b>Adquisicion de materiales y componentes</b>										
Compra de materiales			10	●						
Selección y compra de componentes			5	●						
<b>Fabricacion de componentes estructurales</b>										
Medicion y trazado		I3, I4	1	●						
Corte de perfiles	M4		1	●						
Soldadura de perfiles	M10		1	●						
Soldadura y ensamble de la parte estructural	M10		2	●						
Medicion y tradado de lamina (tol) tolva		I3	1	●						
Plegado de laminas para la tolva	M6		1	●						
Corte de perfiles para soprtes	M4	I3	2	●						
Soldadura para el ensamblaje	M10		2	●						
Ensamblaje de con la estructura	M10		2	●						
<b>Fabricacion de componentes rotatorios</b>										
Medicion de perfil para aspas		I3	1	●						
Corte de aspas	M4		1	●						
Corte de carcasa para el bloquer	M4		1	●						
Medicion de ejes		I1	1	●						
Mecanizado de ejes	M1	I1	5	●						
Mecanizado de eje de volante de giro	M1	I1	3	●						
Mecanizado de poleas	M1	I1	2	●						
Medicion para soporte de aspas		I3	5	●						
Corte de aspas para la limpiadora		I3	5	●						
Medicion de carcasa para limpiadora giratoria		I3	3	●						
Soldadura para el ensamblaje del limpiador	M10		6	●						
Ensamblaje de con la estructura			7	●						
<b>Ensamble general</b>										
Montaje de la tolva		H2	3	●						
Montaje del ventilador		H1, H2	4	●						
Montaje del limpiador		H1	4	●						
Montaje del ventilador		H1	5	●						
<b>Acabados de la maquina</b>										
Pulida de puntos de soldadura	M9		2	●						
Pulida de superficies irregulares	M9		2	●						
Lijado de la estructura		H3	1	●						
Pintura anticorrosiva	M8		1	●						
Pintura mate	M8		1	●						
<b>Colocacion de accesorios en la estructura</b>										
Colocacion de chumaceras		H1	2	●						
Colocacion de ejes		H1, H2, H3	5	●						
Colocacion de las mallas en la tolva		H1	2	●						
Colocacion de las poleas		H3	2	●						
Colocacion de las bandas para las poleas		H1	2	●						
Colocacion del motor		H1, E1, E2	2	●						
<b>Pruebas de funcionamiento</b>										
Pruebas de funcionamiento de mecanismo		E1	5	●						
Prueba del sistema vibratorio		I1	3	●						
Prueba del ventilador y del extractor			3	●						
Prueba con la compostaje de alfalfa			8	●						
Correcciones			8	●						
Pruebas finales			10	●						
			<b>203</b>							

**Ilustración 4- 5:** Cursograma del proceso constructivo de la maquina clasificadora de semillas  
Realizado por: Martínez B., 2023.



## **4.6. Evaluación y resultados de la maquina clasificadora**

### **4.6.1. Plan de pruebas**

Para el plan de pruebas de la maquina clasificadora vibratoria de semillas de alfalfa se abordar varios aspectos clave para garantizar su funcionamiento eficiente y preciso. Para ello se ha realizado varias pruebas en varios aspectos de importancia dentro de la maquina los cuales describiremos a continuación:



**Ilustración 4-7:** Máquina Clasificadora de semillas de alfalfa  
Realizado por: Martínez B., 2023.

#### **1. Pruebas de Funcionalidad:**

- Encendido/Apagado: Verificar que la máquina pueda ser encendida y apagada correctamente.
- Ajuste de Vibración: Probar los diferentes niveles de vibración para asegurarse de que se pueden ajustar adecuadamente.
- Alimentación: Verificar que la máquina puede recibir semillas y alimentarlas de manera continua sin atascos ni bloqueos.

#### **2. Pruebas de Clasificación:**

- Consistencia: Ejecutar múltiples pruebas para asegurarse de que la máquina clasifique de manera constante y no haya variaciones significativas entre las pruebas.

### **3. Pruebas de Capacidad:**

- Carga Máxima: Determinar la capacidad máxima de semillas que la máquina puede manejar sin degradar su rendimiento.
- Velocidad de Procesamiento: Medir el tiempo que tarda la máquina en procesar una cantidad específica de semillas y verificar si cumple con las expectativas de velocidad.

### **4. Pruebas de Calidad de Salida:**

- Inspección Visual: Revisar las semillas clasificadas en cada categoría de tamaño para asegurarse de que no haya semillas mal clasificadas o dañadas.
- Recuento: Contar manualmente las semillas en cada categoría de tamaño para verificar la precisión del recuento de la máquina.

### **5. Pruebas de Mantenimiento:**

- Limpieza: Evaluar la facilidad con la que se puede limpiar la máquina entre lotes de semillas.
- Reemplazo de Partes: Simular la necesidad de reemplazar componentes clave de la máquina y verificar la accesibilidad y facilidad de reemplazo.

### **6. Pruebas de Usuario:**

- Usabilidad: Evaluar la facilidad de uso de la máquina, incluida la interfaz de usuario y las instrucciones de operación.
- Capacitación: Evaluar la necesidad de capacitación para operadores nuevos y medir cuánto tiempo lleva familiarizarse con la máquina.

### **7. Pruebas de Documentación:**

- Manual de Usuario: Revisar y validar que el manual de usuario proporcione instrucciones claras y detalladas para la instalación, operación y mantenimiento.

#### *4.6.1.1. Pruebas de funcionalidad*

Para la prueba de funcionalidad se verifico las dimensiones principales calculadas en el diseño. Luego de esto se realizó las pruebas encendido, mecanismo de vibración y la capacidad de

alimentación. En las siguientes **Tablas** describiremos los resultados encontrados. Estos resultados son cualificados de forma visual en función de la forma de trabajo de la máquina.

**Tabla 4-5:** Dimensión de la maquina

Dimensión	Verificación	
	SI	NO
Altura	X	
Ancho	X	
Largo	X	

Realizado por: Martínez B., 2023.

**Tabla 4-6:** Prueba de encendido

Prueba de encendido			
Elementos	Bueno	Regular	Malo
Motor eléctrico	X		
Mecanismo de poleas	X		

Realizado por: Martínez B., 2023.

**Tabla 4-7:** Prueba de vibración

Prueba de vibración			
Elementos	Bueno	Regular	Malo
Volante de inercia	X		
Movimiento de tolva	X		
Movimiento de polea		X	

Realizado por: Martínez B., 2023.

#### 4.6.1.2. Prueba de clasificación

En la recolección de información de la clasificación de semillas de alfalfa se lo realizo de la siguiente manera. Se coloco en la alimentación de la tolva un 40 kg de mosto de alfalfa en cual contiene la planta de alfalfa con todas sus partes tallos hojas flores y la semilla de alfalfa toda esta seca como se muestra en la ilustración 8. La semilla de alfalfa se encuentra dentro de una cascarilla de las flores de la alfalfa la cual está en esta mezcla de mosto. Para prueba de clasificación de la semilla se lo realizo de manera visual con una inspección en cada una de las salidas de la maquina clasificadora la cual cuenta de cuatro salidas que a continuación describiremos.

- Salida 1: salida para ramas, hojas, y partes del mosto demasiado grandes
- Salida 2: para partes del mosto de tamaño mediano
- Salida 3: para la cascarilla de la flor y la semilla
- Salida 4: para la semilla de alfalfa



**Ilustración 4-8:** Ingreso de mosto a la maquina clasificadora  
Realizado por: Martínez B., 2023.

La inspección visual de la clasificación consto de tres pruebas realizadas a cada una de las salidas de forma cualitativa.

**Tabla 4-8:** Prueba de clasificación 1

Pruebas de Clasificación 1						
Salidas	Ubicación	Tipo material	% de semilla	Bueno	Regular	Malo
Salida 1	Superior lado derecho	Tallos y hojas	0%	X		
Salida 2	Superior lado izquierdo	Hojas	5%	X		
Salida 3	Inferior lado izquierdo	Cascarilla y semilla	20%			X
Salida 4	Inferior parte central	Cascarilla y semilla	35%		X	
		<b>% total de semilla</b>	<b>60%</b>			

Realizado por: Martínez B., 2023.

En esta primera prueba se observó que la salida 1 no hubo porcentaje de semilla solo de tallos y hojas como estaba diseñado, esto es gracias a la malla de la primera zaranda donde se separa las partes más grandes como se observa en la ilustración 9.



**Ilustración 4-9:** Primera malla de la maquina clasificadora  
Realizado por: Martínez B., 2023.

En la salida 2 que es donde sale las partes medias del postaje de la alfalfa tenemos un 5% en semillas, esto se lo pudo comprobar con a través de la balanza donde se pude cuantificar este valor. En la salida 3 se observa que la semilla de alfalfa sale mezclada con la cascarilla que la cubre y de la misma manera con más porcentaje tenemos en la salida 4, una mezcla de cascarilla y semilla como se muestra en la figura 10.



**Ilustración 4-10:** Semilla de alfalfa después de la primera prueba  
Realizado por: Martínez B., 2023.

**Tabla 4-9:** Prueba de clasificación

Pruebas de Clasificación 2						
Salidas	Ubicación	Tipo material	% de semilla	Bueno	Regular	Malo
Salida 1	Superior lado derecho	Tallos y hojas	0%	X		
Salida 2	Superior lado izquierdo	Hojas	3%	X		
Salida 3	Inferior lado izquierdo	Cascarilla y semilla	30%		X	
Salida 4	Inferior parte central	Cascarilla y semilla	40%		X	
			<b>% total de semilla</b>	<b>73%</b>		

Realizado por: Martínez B., 2023.

Para esta segunda prueba se realizó los ajustes en las escobillas en la limpiadora donde se puede observar un cambio en los porcentajes en la salida 3 y 4 de la máquina. De esta manera podemos regular el porcentaje de semilla limpia que salga de la máquina.

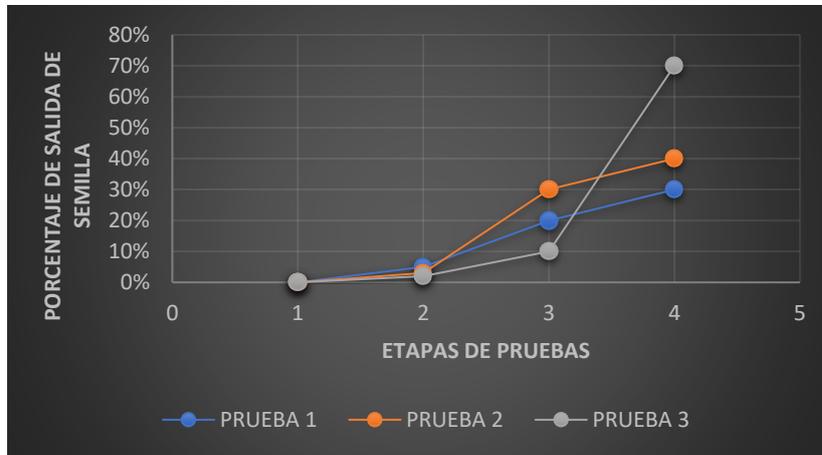
**Tabla 4-10:** Prueba de clasificación 3

Pruebas de Clasificación 3						
Salidas	Ubicación	Tipo material	% de semilla	Bueno	Regular	Malo
Salida 1	Superior lado derecho	Tallos y hojas	0%	X		
Salida 2	Superior lado izquierdo	Hojas	2%	X		
Salida 3	Inferior lado izquierdo	Cascarilla y semilla	10%	X		
Salida 4	Inferior parte central	Cascarilla y semilla	70%		X	
			<b>% total de semilla</b>	<b>82%</b>		

Realizado por: Martínez B., 2023.

Para esta última prueba se observa que se ha mejorado un 82 % en la salida de semilla de alfalfa limpia teniendo un gran porcentaje en la salida 4. Con esto se observa que el diseño esta correcto

al porcentaje calculado. Para mejorar mas el porcentaje de salida se tendría que cambiar de mallas en el tanque limpiador. Con este porcentaje se considera como funcional la clasificación de la máquina.



**Ilustración 4-11:** Pruebas de clasificación  
Realizado por: Martínez B., 2023.

Como se puede observar en la ilustración 11 desde de cada prueba hemos logrado aumentar el porcentaje de y limpieza de la semilla de alfalfa y disminuir el desperdicio de esta. Cada una de las salidas está votando la parte correspondiente para la cual fue diseñada, esto gracias al sistema vibratorio y a cada una de las zarandas con sus respectivas mallas de cernido, también al sistema de limpiado que se puede regular sus escobillas. Con esto hemos un obtenido un gran porcentaje de semillas de alfalfa separadas de las demás partes del postaje de la planta de alfalfa.

#### 4.6.1.3. Prueba de capacidad

Para la prueba de capacidad se realizó a través de un análisis visual, observando en comportamiento de la maquina a diferentes cargas. En la siguiente **Tabla** se describe los tiempos y cargas que ha trabajado con el fin de observar el rendimiento y verificar que no existan atascos o mal funcionamiento de la máquina.

**Tabla 4-11:** Prueba de capacidad

<b>Prueba de capacidad</b>				
<b>Peso (quintales)</b>	<b>Funcionalidad de la clasificación</b>			<b>Tiempo de proceso (min)</b>
	Buena	Regular	Mala	
1	X			10
3	X			25
5	X			40
8	X			65

Realizado por: Martínez B., 2023.

Las cargas que se le ha puesto a la maquina ha sido en quintales de postaje alfalfa donde se ha observado que la maquina no ha tenido ningún inconveniente en trabajar, con esto se puede verificar que la maquina puede trabajar a la capacidad máxima que fue diseñada en este caso 8(qq/h). Los tiempos de trabajo van variando de acuerdo con la mezcla de postaje de alfalfa que ingresamos ya que este no es uniforme.

#### 4.6.1.4. Prueba de calidad a la salida de la maquina

De la misma forma las pruebas a las salidas de la maquina clasificadora se analizaron de forma cualitativa las cuales se verificaron en función a una inspección visual. Cada una de las salidas se analizaron de acuerdo con el diseño. Para ellos hemos realizado cinco pruebas y verificado de forma que cada una de ellas sea la correspondiente a la funcionalidad descrita. En la siguiente **Tabla 12** se describe cada una de estas pruebas colocando observaciones de estas pruebas. Algo muy importante de recalcar es que la semilla de alfalfa que sigue mezclada con la cascarilla se vuelto a procesar para garantizar que toda la materia prima se procese y no tener semilla desperdiciada.

**Tabla 4-12:** Pruebas de calidad a las salidas

Pruebas de calidad de salida				
Pruebas	Inspección visual de la semilla de alfalfa			Observaciones
	Buena	Regular	Mala	
1			X	No se clasifica bien las semillas
2		X		Sale con mucha cascarilla
3		X		La semilla sale mezclada con cascarilla
4	X			Hay más porcentaje de semillas que cascarilla
5	X			Poco porcentaje de cascarilla y más de semilla

Realizado por: Martínez B., 2023.

En las primeras pruebas se observó que las semillas de alfalfa con la cascarilla salían mezcladas con los tallos y hojas en las primeras salidas, ese fue el primer problema que se observó dentro del funcionamiento de la máquina. Este problema es ocasionado por el mal funcionamiento del sistema de vibración donde toda la estructura vibraba de forma irregular. El movimiento correcto de la vibración es de forma longitudinal y no de forma transversal, para corregir este error se colocó un soporte en la parte final de la estructura donde se mejoró el movimiento de todo el sistema.

Para la prueba dos ya corregido este problema del movimiento de la zaranda se observó que en las primeras salidas arrojaba semillas con cascarilla mezclada. Donde este porcentaje era

demasiado elevado para su funcionamiento. Para la corrección de este problema se utilizó una malla diferente con un diámetro de salida más pequeño, con esto mejoramos la funcionalidad y se evitó el problema de desperdiciar la materia prima.

Para la prueba tres se observó que en las últimas salidas se tenía una mezcla de semilla con cascarilla donde no cumplía con las condiciones establecidas en el diseño. Para la corrección de este problema se regulo las escobillas de la limpiadora, con esto las cascarillas con expulsadas por la salida 3 y la semilla con poco porcentaje de cascarillas son expulsadas por la salida 4. Para la última prueba se comprobó en correcto funcionamiento de la maquina dando un porcentaje alto de salida de semillas de alfalfa, con esto aseguramos que cumple con la funcionalidad propuesta en el diseño.

#### 4.6.1.5. Prueba de mantenimiento

Para las pruebas de mantenimiento de la maquina clasificadora de semillas se realizó en función de las operaciones para el correcto funcionamiento de esta. En la **Tabla 14** se observa los aspectos de mayor importancia para el mantenimiento y de manera cualitativa se analizaron. El mantenimiento se recomienda realizar de acuerdo con el manual de usuario y mantenimiento descrito en el Anexo.

**Tabla 4-13:** Prueba de mantenimiento

<b>Prueba de Mantenimiento</b>			
<b>Operaciones</b>	<b>Facilidad de operación</b>		
	<b>Fácil</b>	<b>Complicado</b>	<b>Difícil</b>
<b>Inspección visual del motor</b>	X		
<b>Correcto funcionamiento de poleas</b>	X		
<b>Regulación de escobillas</b>		X	
<b>Limpieza de la maquina</b>		X	
<b>Lubricación de chumaceras</b>	X		

Realizado por: Martínez B., 2023.

Para el mantenimiento de la maquina clasificadora se ha analizado las diferentes operaciones las cuales se han cualificado a la complejidad de la cada una de ellas. De acuerdo con el analice no existe operación que sea de difícil trabajo realizarla en la máquina, con esto se analiza se garantiza que la maquina con el correcto funcionamiento y el correcto funcionamiento va a tener una vida útil de larga duración.

**Tabla 4-14:** Prueba General de Funcionamiento

Pruebas de Funcionalidad					
Tipos de Pruebas					
1. Prueba de Funcionalidad		Excelente	Bueno	Regular	Malo
Prueba de Encendido	Motor Eléctrico	X			
	Mecanismo de poleas	X			
Prueba de vibración	Volante de inercia	X			
	Movimiento de tolva	X			
	Movimiento de polea		X		
<b>2.Prueba de clasificación</b>					
Ubicación y Tipo de Material	Superior lado derecho / Tallos y hojas	X			
	Superior lado izquierdo / Hojas	X			
	Inferior lado izquierdo / Cascarilla y semilla	X			
	Inferior parte central / Cascarilla y semilla		X		
<b>3.Prueba de Capacidad</b>					
Peso (Quintales)	1	X			
	3	X			
	5	X			
	8	X			
<b>4.Prueba de Calidad de Salida</b>					
Pruebas	1			X	
	2		X		
	3		X		
	4	X			
	5	X			
<b>5.Prueba de Mantenimiento</b>					
Operaciones	Inspección visual del motor	X			
	Correcto funcionamiento de poleas	X			
	Regulación de escobillas		X		
	Limpieza de la maquina		X		
	Lubricación de chumaceras	X			

Realizado por: Martínez B., 2023.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se determinó la base teórica de la industrialización en los procesos de clasificación y limpieza en cuanto a semilla de alfalfa se trata, en donde se corroboró la aplicación de métodos los cuales se basan en las técnicas usualmente usadas por los agricultores llevándolas a una manera mecanizada, con lo cual se optimiza recursos, incrementando potencialmente la productividad y siendo más competitivo en el mercado.
- Para la etapa de diseño y construcción de los componentes que conformaran cada sección del sistema de la máquina, se tomó como referencia valores admisibles, tales como esfuerzos y la vibración, cabe resaltar que la normativa RTE INEN 037:2009 no es específica en cuanto a la selección de materiales para maquinaria agrícola, por lo que se considera el acero ASTM A36 para la construcción ya que es el más usado en la industria, además de que su disponibilidad en el mercado es alta.
- Durante el diseño y construcción de la máquina clasificadora vibratoria de semilla de alfalfa, se encontraron varios obstáculos, pero gracias a la realización de varias pruebas de funcionamiento se pudo lograr la correcta selección de ciertos componentes como las mallas que conforman la zaranda, en donde se obtuvo 650 RPM con una frecuencia de 2,75 mm, esto se logró gracias a la disposición del sistema de transmisión de 5 bandas, que dotan de energía mecánica a todas las zonas que conforman la máquina.
- La validación del modelo estructural fue posible, gracias a las simulaciones realizadas en SolidWorks, en el cual en un primer escenario se obtuvo desplazamientos muy elevados, exclusivamente en la parte baja de la zaranda. Esto y con la ayuda de las pruebas de funcionamiento se logró corregir aumentando un soporte en la parte baja de la zaranda, dando así mayor rigidez a todo el sistema, obteniendo desplazamientos de 0,5 mm, con estos resultados se logró entrar en el rango permisible establecido por la normativa RTE INEN 037:2009 y respetando los estándares de seguridad que establece la norma RTE INEN102.
- La eficiencia del funcionamiento de la máquina fue respaldada con diversas pruebas de calidad en donde se demostró que, por cada 40 kg de postaje de alfalfa, se llega a obtener 12 kg de semilla de alta calidad en la salida principal del producto, mientras se obtuvo remanentes de semilla del 2% al 10% de concentrado en las demás salidas del sistema,

mientras que, en la parte restante, se encuentra todos los residuos como son los tallo, hojas y cascarillas.

## 5.2. Recomendaciones

- Se sugiere que, para obtener una mayor eficiencia en la clasificación y limpieza de la semilla de alfalfa, se tome como consideración, que el postaje de alfalfa debe encontrarse en el rango de humedad de 10% a 12% ya que se demostró en las pruebas de funcionamiento que mientras más seca se encuentra la materia prima, mayor será la calidad de la semilla además de que se acorta los tiempos en todo el proceso.
- Es de vital importancia que cada 1500 horas de trabajo que tenga la máquina, se engrase los elementos móviles, como son los rodamientos, volante de giro, poleas para lograr mantener la integridad de la maquina y no interfiera en el correcto funcionamiento de la misma. Además de que antes de manipular la maquina se revise el manual de usuario en el cual se indica datos importantes como su uso, funcionamiento, mantenimiento, basadas en la normativa RTE INEN 102.
- La máquina clasificadora vibratoria construida tiene la ventaja de que variando el tipo de malla en las zarandas y regulando la vibración mediante un arreglo en el sistema de transmisión, se la puede adaptar para diferentes tipos de semillas, realizando las pruebas de funcionamiento requeridas. La capacidad de adaptación y su potencial para optimizar procesos hacen que esta máquina sea una innovación prometedora con posibilidades futuras de mejoras.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ALEXANDROV, M.** *Aparatos y Máquinas de Elevación y Transporte* [en línea]. Mir. 1976, pág. 450. [Consulta: 15 abril 2023] Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/Aparatos\\_y\\_m%C3%A1quinas\\_de\\_elevaci%C3%B3n\\_y\\_tra.html?id=49ptMwEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Aparatos_y_m%C3%A1quinas_de_elevaci%C3%B3n_y_tra.html?id=49ptMwEACAAJ&redir_esc=y)
2. **BUDYNAS, Richard.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* [en línea]. 9na ed. Massachussets-USA, 2012. [Consulta: 22 abril 2023]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/Dise%C3%B1o\\_en\\_ingenier%C3%ADa\\_mec%C3%A1nica\\_de\\_Shig.html?id=knWJDAAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Dise%C3%B1o_en_ingenier%C3%ADa_mec%C3%A1nica_de_Shig.html?id=knWJDAAAQBAJ&redir_esc=y)
3. **CHAGUA, Irenio.** "Diseño y construcción de prototipo de máquina clasificadora de quinua por color usando sensores IR". *Revista de Investigaciones Altoandinas* [en línea], 2022, (Perú), vol. 24 (1), págs.45-51. [Consulta: 2023-05-27]. ISSN 2306-8582. Disponible en: <https://huajsapata.unap.edu.pe/index.php/ria/article/view/272>
4. **CHUQUITARCO, Luis.** Optimización del proceso por separación del chocho. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga-Ecuador. 2019. págs. 9-53. [Consulta: 2023-05-21]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5475>
5. **COMERCIAL ACERO.** *Chapas Metálicas*. 2019. [en línea]. [Consulta: 4 abril 2023]. Disponible en: [https://comasa.com.pe/wp-content/uploads/2019/09/Catalogo-Comasa-A4-Digital\\_42.pdf](https://comasa.com.pe/wp-content/uploads/2019/09/Catalogo-Comasa-A4-Digital_42.pdf)
6. **DUNLOP.** *Correas de transmisión industrial*. 2015. [en línea]. [Consulta: 8 abril 2023]. Disponible en: <https://dunlop.com.ar/catalogosonline/>
7. **GONZÁLEZ, Leopoldo.** Diseño conceptual de una máquina limpiadora de frijol. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Autónoma de México. México. 2009. págs. 1-66. [Consulta: 2023-05-18]. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/disen%C3%B3-conceptual-de-una-maquina-limpiadora-de-frijol-3518965>

8. **GRANDE, Gaudencio.** Diseño y construcción de una clasificadora de papas (*solanum tuberosum* l.). [en línea]. (Trabajo de titulación) (Posgrado). Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. 2021. págs. 14-78. [Consulta: 2023-05-26]. Disponible en: <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/c81008c8-66d3-4793-a4e7-dfdc44da23ff>
9. **HERRERA, Alexander.** Diseño y construcción de una zaranda clasificadora de papa. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Grado). Área agropecuaria y de recursos naturales renovables, Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador. 2015. [Consulta: 2023-06-03]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11278>
10. **INDUSTRIAS FAMACIN.** INDUSTRIAS FAMACIN. *INDUSTRIAS FAMACIN.* [En línea] 2014. [Consulta: 9 julio 2023]. Disponible en: <https://industriasfamacin.com/portfolio/ventiladora-y-clasificadora/> .
11. **IRD MECHANALYSIS.** *Tabla general de severidad de vibraciones de maquinaria* . [En línea] 1975. [Consulta: 9 julio 2023]. Disponible en: <https://www.irdmech.com/>
12. **NORMA ALEMANA DIN 1055.** *Norma alemana DIN 1055.* [En línea] 2005. [Consulta: 5 agosto 2023]. Disponible en: <https://tienda.aenor.com/norma-din-1055-1-1978-05-7374026>
13. **PEÑA, Urday.** Diseño de una planca de trituración de caliza para una capacidad de 50 TN/H . [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Perú. 2013. págs. 45-50. [Consulta: 2023-08-09]. Disponible en: <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/155406>
14. **Promacons.** *Calidad estructural.* [En línea]. 2020. [Consulta: 20 julio 2023]. Disponible en: <https://www.promacons.com/>
15. **PUENTE, Diego.** Estudio de un sistema mecánico aplicado a la limpieza de cebada en la elaboración de harina de máchica para mejorar la producción artesanal. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Pregrado). Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 2016. págs. 18-152. [Consulta: 2023-06-12]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/23379>
16. **SEVILANO, Francisco.** Equipo de clasificación de semillas basado en visión artificial. Implantación sobre hardware libre. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Grado).

Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid. Valladolid. 2015. pág. 21.  
[Consulta: 2023-06-12]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/17054>

17. **SIRCA, MAQUINA AGROINDUSTRIAL.** SIRCA, MAQUINA AGROINDUSTRIAL. *SIRCA, MAQUINA AGROINDUSTRIAL.* [En línea]. 2018. Disponible en: <https://sircaecuador.com/productos/limpiadora-clasificadora-sirca-de-granos/> .
18. **SOTO, Marco.** Construcción de un Prototipo de una Máquina Selectora de Semillas de Sacha Inchi. Bucaramanga. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Grado). 2020. págs. 12-94. [Consulta: 2023-06-16]. Disponible en: <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/22737>
19. **TARQUÍN, Blank.** *Economía en la Ingeniería* [en línea]. 6ta edición. Texas-USA: McGraw-Hill, 2007. [Consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/Ingenier%C3%ADa\\_econ%C3%B3mica.html?id=oT3fMgEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Ingenier%C3%ADa_econ%C3%B3mica.html?id=oT3fMgEACAAJ&redir_esc=y)
20. **VDH MAQUINAS.** VDH MAQUINAS. *VDH MAQUINAS* . [En línea]. 2015. [Consulta: 18 julio 2023]. Disponible en: <http://www.vdhmaquinas.com.ar/limpiadoras-y-clasificadoras-de-granos/>.
21. **WEG.** *Catálogo Motores MEG capacitores.* [En línea]. 2023. [Consulta: 6 agosto 2023]. Disponible en: [https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Motores-EI%C3%A9ctricos/Monof%C3%A1sico/Usos-Generales/W22-\(IP55\)/W22-Capacitor-Permanente-0-5-cv-4P-71-1F-220-V-60-Hz-IC411---TFVE---B3D/p/13832054](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Motores-EI%C3%A9ctricos/Monof%C3%A1sico/Usos-Generales/W22-(IP55)/W22-Capacitor-Permanente-0-5-cv-4P-71-1F-220-V-60-Hz-IC411---TFVE---B3D/p/13832054).

## **ANEXOS**

### **ANEXO A: MANUAL DE USUARIO**

## **ANEXO B: LAMINAS DE DETALLE**