



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y  
PRUEBAS DE EQUIPOS PARA  
PROCESAMIENTO DE SEMILLAS DE ALFALFA  
Y TRÉBOL**

**AYABACA LARA ROBERTO CARLOS  
DÍAZ RAMOS LUIS EDUARDO**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2012**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Diciembre, 06 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**AYABACA LARA ROBERTO CARLOS**

---

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE EQUIPOS  
PARA PROCESAMIENTO DE SEMILLAS DE ALFALFA Y TRÉBOL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Washington Ruales  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Juan de Dios Silva  
ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Diciembre, 06 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**DÍAZ RAMOS LUIS EDUARDO**

---

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE EQUIPOS  
PARA PROCESAMIENTO DE SEMILLAS DE ALFALFA Y TRÉBOL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Washington Ruales  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Juan de Dios Silva  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** AYABACA LARA ROBERTO CARLOS

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE EQUIPOS PARA PROCESAMIENTO DE SEMILLAS DE ALFALFA Y TRÉBOL”

**Fecha de Examinación:** Diciembre de 2012.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Washington Ruales (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Juan de Dios Silva (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
f) Presidente del Tribunal

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** DÍAZ RAMOS LUIS EDUARDO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE EQUIPOS PARA PROCESAMIENTO DE SEMILLAS DE ALFALFA Y TRÉBOL”

**Fecha de Examinación:** Diciembre de 2012.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Washington Ruales (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Juan de Dios Silva (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que se presenta, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Roberto Carlos Ayabaca Lara

---

f) Luis Eduardo Díaz Ramos

## DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedicado a:

Mis Padres,

Hermana,

Familiares,

Maestros y amigos.

**Roberto Carlos Ayabaca Lara**

Dedico este trabajo a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para seguir adelante y por su protección ante todas las adversidades.

A mis Padres Ana Ramos y Washington Díaz por su apoyo incondicional.

A mis hermanos y amigos por su continuo aliento.

**Luis Eduardo Díaz Ramos**

## **AGRADECIMIENTO**

Llegando al final de mi carrera estudiantil en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, expreso mi agradecimiento a todos mis maestros, compañeros y amigos por sus invaluables aportes.

A los miembros del Tribunal, en especial al Ing. Washington Ruales por la ayuda y guía brindada en la elaboración del presente trabajo de tesis.

Al Ing. Pablo Llumiyinga por la paciencia, comprensión y tiempo dedicado en la construcción de los equipos.

A mis padres, hermana, abuelos, tías y tíos por la confianza depositada en mi persona durante todos estos años.

**Roberto Carlos Ayabaca Lara**

A Dios por llenar mi vida de bendiciones. A mis Padres de todo corazón por su comprensión. Al Director de tesis, Ing. Washington Ruales por su apoyo y orientación. Al Asesor de tesis Ing. Juan Silva por su apoyo y guía. Ing. Pablo Llumiyinga por su aporte invaluable en la construcción de los equipos. A mis maestros por su disposición y ayuda brindadas durante toda mi carrera. A mis amigos y compañeros por su ayuda y continuo aliento.

**Luis Eduardo Díaz Ramos**

## CONTENIDO

	Pág.
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
1.4 Metodología .....	2
1.4.1 <i>Fase 1. Especificaciones.</i> .....	3
1.4.2 <i>Fase 2. Diseño conceptual.</i> .....	3
1.4.3 <i>Fase 3. Diseño de ingeniería.</i> .....	3
1.4.4 <i>Fase 4. Diseño de detalle.</i> .....	3
2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Estado del arte .....	5
2.1.1 <i>Secador.</i> .....	5
2.1.1.1 <i>Silo secador de flujo contracorriente.</i> .....	5
2.1.1.2 <i>Secador rotatorio de flujo a contracorriente.</i> .....	7
2.1.1.3 <i>Secador continuo de túnel.</i> .....	9
2.1.1.4 <i>Estudios realizados</i> .....	10
2.1.1.5 <i>Aplicabilidad en Ecuador</i> .....	11
2.1.2 <i>Descascarador</i> .....	12
2.1.2.1 <i>Pulidora N-70</i> .....	12
2.1.2.2 <i>Piladora SB-10.</i> .....	14
2.1.2.3 <i>Trilladora B-150.</i> .....	15
2.1.2.4 <i>Estudios realizados</i> .....	17
2.1.2.5 <i>Aplicabilidad en Ecuador</i> .....	17
2.1.3 <i>Separador por peso específico.</i> .....	18
2.1.3.1 <i>Separador de mesa gravimétrica.</i> .....	18
2.1.3.2 <i>Separador neumático</i> .....	19
2.1.3.3 <i>Estudios realizados</i> .....	20
2.1.3.4 <i>Aplicabilidad en Ecuador</i> .....	20

2.2	Marco teórico .....	20
2.2.1	Secador.....	20
2.2.1.1	Clasificación de los secadores.....	21
2.2.1.2	Capacidad de secado del secador .....	21
2.2.1.3	Velocidad de transferencia de calor.....	21
2.2.1.4	Carta psicométrica .....	23
2.2.1.5	Balance de masas en procesos psicométricos .....	23
2.2.1.6	Balance de energía en procesos psicométricos .....	23
2.2.1.7	Selección del ventilador.....	24
2.2.1.8	Área perforada para el piso falso.....	25
2.2.1.9	Consumo de combustible.....	26
2.2.2	Descascarador.....	27
2.2.2.1	Clasificación de la descascaradora .....	28
2.2.2.2	Fuerza de descascarado de la semilla de alfalfa .....	28
2.2.2.3	Potencia del motor .....	29
2.2.2.4	Cilindro descascarador.....	29
2.2.2.5	Cilindro de dientes cónicos.....	30
2.2.2.6	Momento flector máximo sobre vigas mediante el método gráfico.....	31
2.2.2.7	Diámetro de ejes por resistencia a la fatiga según Von Misses .....	31
2.2.2.8	Elementos mecánicos flexibles.....	32
2.2.2.9	Mecanismo de vibración de la zaranda .....	37
2.2.2.10	Selección de chumaceras .....	39
2.2.2.11	Tamaño de la zaranda.....	41
2.2.3	Separador por peso.....	45
2.2.3.1	Clasificación de los separadores por peso .....	45
2.2.3.2	Separación por peso de semillas.....	46
2.2.3.3	Fuerza para elevar semillas .....	46
2.2.3.4	Área transversal del ducto.....	47
2.2.3.5	Peso de las semillas sin poder germinativo.....	47
3.	PROCESO DE DISEÑO.....	48
3.1.	Definición del problema.....	48
3.2.	Declaración de la misión .....	48
3.2.1	Descripción de los equipos.....	48
3.2.2	Mercado primario .....	48
3.2.3	Postulados .....	48
3.2.4	Personas interesadas.....	49
3.3	Especificaciones del producto .....	49
3.3.1	Necesidades del operario.....	49
3.3.2	Necesidades del cliente.....	49

3.3.2.1	<i>Secador</i> .....	49
3.3.2.2	<i>Descascarador</i> .....	50
3.3.2.3	<i>Separador por peso específico</i> .....	50
4.	DISEÑO CONCEPTUAL .....	51
4.1	Caja negra.....	51
4.1.1	<i>Secador</i> .....	51
4.1.1.1	<i>Flujos de entrada</i> .....	51
4.1.1.2	<i>Flujos de salida</i> .....	51
4.1.1.3	<i>Función principal</i> .....	51
4.1.1.4	<i>Flujo principal</i> .....	51
4.1.1.5	<i>Retroalimentación</i> .....	51
4.1.2	<i>Descascarador</i> .....	52
4.1.2.1	<i>Flujos de entrada</i> .....	52
4.1.2.2	<i>Flujos de salida</i> .....	52
4.1.2.3	<i>Función principal</i> .....	52
4.1.2.4	<i>Flujo principal</i> .....	52
4.1.2.5	<i>Retroalimentación</i> .....	52
4.1.3	<i>Separador por peso específico</i> .....	53
4.1.3.1	<i>Flujos de entrada</i> .....	53
4.1.3.2	<i>Flujos de salida</i> .....	53
4.1.3.3	<i>Función principal</i> .....	53
4.1.3.4	<i>Flujo principal</i> .....	53
4.1.3.5	<i>Retroalimentación</i> .....	53
4.2	Estructura funcional.....	53
4.2.1	<i>Secador</i> .....	54
4.2.1.1	<i>Funciones de la estructura funcional del secador</i> .....	54
4.2.2	<i>Descascarador</i> .....	55
4.2.2.1	<i>Funciones de la estructura funcional del descascarador</i> .....	55
4.2.3	<i>Separador por peso específico</i> .....	56
4.2.3.1	<i>Funciones de la estructura funcional del separador por peso específico</i> .....	57
4.3	Generación de alternativas.....	57
4.4	Diagrama morfológico .....	57
4.4.1	<i>Secador</i> .....	58

4.4.1.1	<i>Descripción de la ruta solución 1</i> .....	59
4.4.1.2	<i>Descripción de la ruta solución 2</i> .....	60
4.4.1.3	<i>Descripción de la ruta solución 3</i> .....	60
4.4.2	<i>Descascarador</i> .....	62
4.4.2.1	<i>Descripción de la ruta solución 1</i> .....	63
4.4.2.2	<i>Descripción de la ruta solución 2</i> .....	63
4.4.2.3	<i>Descripción de la ruta solución 3</i> .....	64
4.4.3	<i>Separador por peso específico</i> .....	65
4.4.3.1	<i>Descripción de la ruta solución 1</i> .....	65
4.4.3.2	<i>Descripción de la ruta solución 2</i> .....	66
4.4.3.3	<i>Descripción de la ruta solución 3</i> .....	67
4.5	Metodología de evaluación y resultados .....	67
4.5.1	<i>Secador</i> .....	67
4.5.1.1	<i>Lista de objetivos</i> .....	67
4.5.1.2	<i>Ordenar y asignar ponderaciones relativas a los objetivos</i> .....	68
4.5.1.3	<i>Parámetros de rendimiento</i> .....	69
4.5.1.4	<i>Diagrama de evaluación de objetivos</i> .....	71
4.5.2	<i>Descascarador</i> .....	72
4.5.2.1	<i>Lista de objetivos</i> .....	72
4.5.2.2	<i>Ordenar y asignar ponderaciones relativas a los objetivos</i> .....	72
4.5.2.3	<i>Parámetros de rendimiento</i> .....	74
4.5.2.4	<i>Diagrama de evaluación de objetivos</i> .....	75
4.5.3	<i>Separador por peso específico</i> .....	76
4.5.3.1	<i>Lista de objetivos</i> .....	76
4.5.3.2	<i>Ordenar y asignar ponderaciones relativas a los objetivos</i> .....	76
4.5.3.3	<i>Parámetros de rendimiento</i> .....	78
4.5.3.4	<i>Diagrama de evaluación de objetivos</i> .....	79
4.6	Alternativa seleccionada análisis sistémico .....	80
4.6.1	<i>Secador estacionario tipo silo</i> .....	80
4.6.2	<i>Trilladora MAQTRON B-150</i> .....	81
4.6.3	<i>Separador neumático</i> .....	82
5.	DISEÑO DE INGENIERÍA .....	83
5.1	Diseño de elementos mecánicos .....	83
5.1.1	<i>Datos de campo</i> .....	83

5.1.2	<i>Necesidades de uso de los equipos</i> .....	83
5.1.3	<i>Secador</i> .....	84
5.1.3.1	<i>Tiempo básico de secado de alfalfa</i> .....	84
5.1.3.2	<i>Tiempo básico de secado del trébol</i> .....	86
5.1.3.3	<i>Porcentaje de desperdicios de alfalfa</i> .....	88
5.1.3.4	<i>Porcentaje de desperdicios del trébol</i> .....	88
5.1.3.5	<i>Capacidad del secador</i> .....	89
5.1.3.6	<i>Dimensiones del secador</i> .....	89
5.1.3.7	<i>Calor requerido para el secamiento de la semilla de alfalfa</i> .....	90
5.1.3.8	<i>Flujo y masa de aire caliente para el secado</i> .....	92
5.1.3.9	<i>Pérdida de calor a través de paredes</i> .....	93
5.1.3.10	<i>Selección del ventilador</i> .....	95
5.1.3.11	<i>Dimensionamiento del piso falso</i> .....	97
5.1.3.12	<i>Consumo de combustible</i> .....	97
5.1.3.13	<i>Lista estructurada del equipo</i> .....	99
5.1.4	<i>Descascarador</i> .....	100
5.1.4.1	<i>Fuerza de descascarado</i> .....	100
5.1.4.2	<i>Dimensiones del cilindro trillador</i> .....	101
5.1.4.3	<i>Transmisión de potencia por banda trapecial motor-trilla</i> .....	102
5.1.4.4	<i>Transmisión de potencia por banda trapecial trilla-zaranda</i> .....	106
5.1.4.5	<i>Cálculo del diámetro del eje de la unidad trilladora según el método gráfico</i> .....	108
5.1.4.6	<i>Cálculo del diámetro del eje de la zaranda</i> .....	110
5.1.4.7	<i>Selección de chumaceras eje de la trilla</i> .....	111
5.1.4.8	<i>Selección de chumaceras eje de la zaranda</i> .....	112
5.1.4.9	<i>Dimensionamiento del sistema de zarandas</i> .....	113
5.1.4.10	<i>Equipo diseñado</i> .....	116
5.1.5	<i>Separador por peso específico</i> .....	118
5.1.5.1	<i>Peso de la semilla de alfalfa</i> .....	118
5.1.5.2	<i>Peso de la semilla de trébol</i> .....	118
5.1.5.3	<i>Fuerza para elevar la semilla muerta de alfalfa</i> .....	119
5.1.5.4	<i>Selección del ventilador</i> .....	119
5.1.5.5	<i>Dimensiones del separador neumático</i> .....	120
5.1.5.6	<i>Lista estructurada del equipo</i> .....	122
5.2	<i>Diseño de circuitos de control y potencia</i> .....	123
5.2.1	<i>Secador</i> .....	123
5.2.1.1	<i>Circuito de control de la temperatura</i> .....	123
5.2.1.2	<i>Circuito de potencia para el motor del ventilador</i> .....	123
5.2.2	<i>Descascarador</i> .....	124
5.2.2.1	<i>Circuito de potencia para el motor</i> .....	124

5.2.3	<i>Separador neumático</i> .....	124
5.2.3.1	<i>Circuito de potencia para el motor del ventilador</i> .....	124
6.	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y COSTOS .....	125
6.1	Tecnología de la construcción de los equipos .....	125
6.1.1	<i>Fases del proceso de construcción</i> .....	125
6.1.1.1	<i>Secador</i> .....	125
6.1.1.2	<i>Descascarador</i> .....	125
6.1.1.3	<i>Separador neumático</i> .....	125
6.1.2	<i>Operaciones tecnológicas</i> .....	126
6.1.3	<i>Cursograma de construcción</i> .....	126
6.1.3.1	<i>Secador</i> .....	127
6.1.3.2	<i>Descascarador</i> .....	128
6.1.3.3	<i>Separador neumático</i> .....	129
6.1.4	<i>Cronograma de actividades en la construcción</i> .....	130
6.1.4.1	<i>Secador</i> .....	130
6.1.4.2	<i>Descascarador</i> .....	130
6.1.4.3	<i>Separador neumático</i> .....	130
6.2	Mantenimiento.....	131
6.2.1	<i>Guía de montaje y operación</i> .....	131
6.2.1.1	<i>Características principales</i> .....	131
6.2.1.2	<i>Montaje</i> .....	132
6.2.1.3	<i>Operación</i> .....	133
6.2.2	<i>Guía de mantenimiento</i> .....	134
6.2.3	<i>Riesgos y medidas preventivas</i> .....	136
6.3	Costos .....	137
6.3.1	<i>Costos directos</i> .....	138
6.3.2	<i>Costos indirectos</i> .....	138
6.3.3	<i>Secador</i> .....	138
6.3.3.1	<i>Costos directos</i> .....	138
6.3.3.2	<i>Costos indirectos</i> .....	140
6.3.4	<i>Descascarador</i> .....	140

6.3.4.1	<i>Costos directos</i> .....	140
6.3.4.2	<i>Costos indirectos</i> .....	142
6.3.5	<i>Separador neumático</i> .....	143
6.3.5.1	<i>Costos directos</i> .....	143
6.3.5.2	<i>Costos indirectos</i> .....	144
6.4	Viabilidad del proyecto .....	144
6.4.1	<i>Inversión inicial del proyecto</i> .....	144
6.4.2	<i>Costos por operación y mantenimiento</i> .....	145
6.4.3	<i>Salvamento de los equipos</i> .....	145
6.4.4	<i>Depreciación de los equipos</i> .....	146
6.4.5	<i>Ingresos anuales</i> .....	146
6.4.6	<i>Análisis del VAN y TIR.</i> .....	147
6.4.7	<i>Análisis de punto de equilibrio</i> .....	148
7.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	150
7.1	Condiciones de cosecha .....	150
7.2	Equipo para mediciones.....	150
7.2.1	<i>Secador</i> .....	150
7.2.1.1	<i>Medición de temperaturas y humedad</i> .....	150
7.2.1.2	<i>Medición de la velocidad</i> .....	150
7.2.1.3	<i>Medición del consumo de combustible</i> .....	150
7.2.2	<i>Trilladora y separador neumático</i> .....	151
7.2.2.1	<i>Medición de potencia</i> .....	151
7.2.2.2	<i>Pesaje</i> .....	151
7.3	Pruebas preliminares .....	151
7.4	Pruebas de rendimiento .....	151
7.4.1	<i>Secador</i> .....	152
7.4.2	<i>Trilladora y separador neumático</i> .....	152
7.5	Pruebas de durabilidad.....	153
7.6	Secador.....	153
7.6.1	<i>La máquina a probar</i> .....	153
7.6.2	<i>Informe de resultados</i> .....	154
7.6.2.1	<i>Breve descripción</i> .....	154
7.6.2.2	<i>Especificaciones</i> .....	154
7.6.2.3	<i>Aspectos de seguridad</i> .....	155
7.6.2.4	<i>Capacidad de trabajo</i> .....	156

7.6.2.5	<i>Resultados de las pruebas de rendimiento</i> .....	156
7.7	Descascarador .....	159
7.7.1	<i>La maquina a probar</i> .....	159
7.7.2	<i>Resultado</i> .....	159
7.7.2.1	<i>Breve descripción</i> .....	160
7.7.2.2	<i>Especificaciones</i> .....	160
7.7.2.3	<i>Aspectos de seguridad</i> .....	161
7.7.2.4	<i>Capacidad de trabajo</i> .....	161
7.7.2.5	<i>Resultados de las pruebas de rendimiento de alfalfa</i> .....	161
7.7.2.6	<i>Reparaciones y ajustes durante las pruebas</i> .....	164
7.7.2.7	<i>Resultados de las pruebas de rendimiento de trébol</i> .....	164
7.8	Separador neumático .....	165
7.8.1	<i>Informe</i> .....	165
7.8.1.1	<i>Breve descripción</i> .....	166
7.8.1.2	<i>Especificaciones</i> .....	166
7.8.1.3	<i>Aspectos de seguridad</i> .....	166
7.8.1.4	<i>Capacidad de trabajo</i> .....	167
7.8.1.5	<i>Resultados de las pruebas de rendimiento con alfalfa</i> .....	167
7.8.1.6	<i>Reparaciones y ajustes durante las pruebas</i> .....	169
7.8.1.7	<i>Resultados de las pruebas de rendimiento con trébol</i> .....	169
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	171
8.1	Conclusiones.....	171
8.2	Recomendaciones.....	173

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS  
 BIBLIOGRAFÍA  
 LINKOGRAFÍA  
 ANEXOS  
 PLANOS

## LISTADE TABLAS

	Pág.
1	Poder calorífico de algunos combustibles.....27
2	Comparación entre cilindro de barras y cilindro con dientes cónicos .....30
3	Diagrama de carga, cortante y momento flector en vigas .....31
4	Corrección de la potencia según condiciones de trabajo .....33
5	Diámetro primitivo mínimo en función del ángulo de la garganta .....34
6	Factor de corrección para arcos inferiores a 180° ( $C_f$ )..... 35
7	Factor de corrección en función del tipo de correa ( $C_L$ ) .....36
8	Factores de carga radial DODGE .....40
9	Capacidad de carga de chumaceras DODGE.....40
10	Factor de capacidad básica de la zaranda.....42
11	Factor de gran tamaño de la zaranda .....42
12	Factor de porcentaje de material muy grande para la apertura.....43
13	Factor de ubicación de la pantalla de la zaranda .....44
14	Factor de tamizado húmedo de la zaranda.....44
15	Factor por peso del material .....44
16	Factor de forma de la apertura de la zaranda .....45
17	Factor de eficiencia de la zaranda .....45
18	Necesidades del los operarios.....49
19	Matriz morfológica secador.....58
20	Matriz morfológica descascarador .....62
21	Matriz morfológica separador por peso.....65
22	Lista de objetivos del secador.....68
23	Ordenado de la lista de objetivos secador .....68
24	Cálculo del peso relativo de los objetivos del secador .....69

25	Peso relativo de objetivos principales .....	69
26	Escala de rendimiento de tamaño del secador .....	70
27	Escala de rendimiento económico del secador .....	70
28	Diagrama de evaluación de objetivos del secador .....	71
29	Lista de objetivos descascarador .....	72
30	Ordenado de la lista de objetivos descascarador .....	72
31	Cálculo del peso relativo de los objetivos del descascarador .....	73
32	Pesos relativos de los objetivos principales del descascarador .....	73
33	Escala de rendimiento de tamaño del descascarador .....	74
34	Escala de rendimiento económico del descascarador .....	74
35	Diagrama de evaluación de objetivos del descascarador .....	75
36	Lista de objetivos separador por peso específico .....	76
37	Ordenado de la lista de objetivos del separador por peso .....	76
38	Cálculo del peso relativo de los objetivos del separador por peso específico .....	77
39	Asignación de pesos relativos a los objetivos separador por peso específico .....	77
40	Escala de rendimiento de tamaño separador por peso .....	78
41	Escala de rendimiento económico separador por peso .....	78
42	Diagrama de evaluación de objetivos del separador por peso .....	79
43	Peso de las muestras de alfalfa antes del secado .....	84
44	Pérdida de peso de las muestras de alfalfa en el tiempo .....	84
45	Peso de las muestras de trébol antes del secado .....	86
46	Pérdida de peso de las muestras de trébol en el tiempo .....	86
47	Porcentaje de impurezas de alfalfa .....	88
48	Porcentaje de impurezas del trébol .....	88
49	Lista estructurada del secador .....	100
50	Lista estructurada del descascarador .....	117
51	Peso de la semilla de alfalfa .....	118

52	Peso de la semilla de trébol.....	118
53	Lista estructurada del separador neumático .....	122
54	Operaciones tecnológicas .....	126
55	Cronograma de actividades del secador.....	130
56	Cronograma de actividades del descascarador .....	130
57	Cronograma de actividades del separador neumático .....	130
58	Frecuencia de revisiones de las partes del secador .....	135
59	Frecuencia de revisiones de las partes del descascarador.....	135
60	Frecuencia de revisiones de las partes del separador neumático.....	135
61	Costo total de la inversión .....	145
62	Consumo eléctrico anual de los equipos.....	145
63	Costos anuales de operación y mantenimiento de los equipos.....	145
64	Flujo anual de caja .....	147
65	Costos fijos y variables de operación y mantenimiento.....	149
66	Parámetros de medición del secador.....	152
67	Parámetros de medición de la trilladora y separador neumático.....	152
68	Parámetros a calcular de la trilladora y separador neumático.....	152
69	Datos obtenidos durante el secado.....	156
70	Datos obtenidos de la muestra húmeda .....	157
71	Datos obtenidos de la muestra después de treinta minutos de secado.....	157
72	Datos obtenidos de la muestra después de una hora de secado.....	157
73	Datos obtenidos de la muestra después de hora y media de secado .....	157
74	Datos de pruebas del descascarador para alfalfa .....	162
75	Tabulación de resultados de pruebas del descascarador para alfalfa.....	163
76	Porcentaje de semillas dañadas de alfalfa.....	163
77	Datos de pruebas del descascarador de semillas de trébol .....	164
78	Tabulación de resultados de pruebas del descascarador para trébol .....	165
79	Datos de pruebas de separador neumático para alfalfa.....	168

80	Tabulación de resultados de pruebas del separador neumático para alfalfa.....	168
81	Datos de pruebas de separador neumático para trébol .....	169
82	Tabulación de resultados de pruebas del separador neumático para trébol .....	170

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Modelo de Pahl y Beitz ..... 4
2	Secador estacionario tipo silo ..... 5
3	Secador rotatorio ..... 8
4	Secador continuo de túnel ..... 10
5	Descascaradora de rodillo de acero tipo Engleberg..... 12
6	Pulidora N-70 ..... 13
7	Descascaradora de rodillos de caucho ..... 14
8	Piladora SB-10 ..... 15
9	Trilladora – cribadora de cereales..... 16
10	Mesa de gravedad..... 18
11	Separador neumático ..... 19
12	Representación de variables en superficies cilíndricas ..... 22
13	Flujo de calor en superficies cilíndricas..... 22
14	Flujo másico en procesos psicométricos..... 23
15	Flujo de calor en procesos psicométricos ..... 24
16	Esquema cinemático de transmisión ..... 32
17	Elección de la sección de la banda..... 34
18	Mecanismo de biela excéntrica..... 37
19	Caja negra de secador ..... 52
20	Caja negra de descascarador ..... 52
21	Caja negra de separador por peso específico..... 53
22	Estructura funcional del secador ..... 54
23	Estructura funcional del descascarador ..... 55
24	Estructura funcional separador por peso ..... 56

25	Esquema ruta solución 1 del secador .....	59
26	Esquema ruta solución 2 del secador .....	60
27	Esquema ruta solución 3 del secador .....	61
28	Esquema ruta solución 1 del descascarador .....	63
29	Esquema ruta solución 2 del descascarador .....	64
30	Esquema ruta solución 3 del descascarador .....	64
31	Esquema ruta solución 1 del separador por peso .....	66
32	Esquema ruta solución 2 del separador por peso .....	66
33	Esquema ruta solución 3 del separador por peso .....	67
34	Gráfica de pérdida de peso de las semillas .....	85
35	Gráfica de pérdida de humedad de las semillas .....	85
36	Gráfica de pérdida de peso de las semillas de trébol.....	87
37	Gráfica de pérdida de humedad de las semillas de trébol.....	87
38	Esquema del secador .....	89
39	Carta psicométrica.....	91
40	Esquema de paredes del secador .....	93
41	Resistencia de las semillas al paso del aire.....	96
42	Partes del secador.....	99
43	Transmisión por banda motor-eje trilla.....	103
44	Transmisión por banda eje trilla-eje criba .....	107
45	Esquema del eje de trilla .....	108
46	Eje de la zaranda.....	110
47	Partes del descascarador .....	116
48	Dimensiones del separador neumático .....	120
49	Partes del separador neumático .....	122
50	Circuito de control de la temperatura .....	123
51	Circuito de potencia para el motor del ventilador del secador .....	123
52	Circuito de potencia para el motor del descascarador .....	124

53	Circuito de potencia para el motor del ventilador del separador neumático .....	124
54	Diagrama de evaluación financiera.....	148
55	Gráfica TIR-VAN.....	148
56	Partes del secador construido .....	154
57	Pérdida de humedad de la muestra de cabezuelas de trébol.....	158
58	Partes principales de la descascaradora construida .....	169
59	Partes principales del separador neumático .....	165

## LISTA DE ABREVIACIONES

BTU	British Thermal Unit (Unidad térmica británica)
CFM	Cubic foot for minute (pies cúbicos por minuto)
HB	Dureza Brinell
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
MCI	Motor de Combustión Interna
ME	Motor Eléctrico
PE	Punto de Equilibrio
STPH	Tonelada por hora (Short Ton Per Hour)
TIR	Tasa Interna de Retorno
TMAR	Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento
VAN	Valor Actual Neto

## SIMBOLOGÍA

$\bar{\rho}_{\text{aire}}$	Densidad del aire del sector
$T_{\text{bs}}$	Temperatura de bulbo seco del sector
$T_{\text{bh}}$	Temperatura de bulbo húmedo del sector
$W_{\text{aire}}$	Humedad relativa del aire en el lugar
$V_{\text{aire}}$	Velocidad del aire en el lugar
$P_{\text{bar}}$	Presión barométrica del lugar
$h_{\text{conv}}$	Coefficiente convectivo promedio del aire del sector
$A_{\text{prod}}$	Área productiva del sector
$P_{\text{max}}$	Cantidad promedio de semillas cosechadas por hectárea
Cosecha	Número de cosechas al año en el sector
$L$	Longitud promedio de la vaina
$e$	Espesor de la semilla
$E$	Espiras promedio de la vaina de alfalfa
$\bar{\rho}$	Densidad del alfalfa
$P_{\text{semilla}}$	Peso de una semilla de alfalfa
$P'_{\text{semilla}}$	Porcentaje en peso de la semilla sin poder germinativo
$W_i$	Humedad promedio de la semilla de alfalfa en cosecha
$Imp$	Porcentaje de impurezas presentes
$F$	Fuerza de descascarado
$h$	Alto de la capa de semillas. Inferior a 1.2 m
$h_p$	Alto del Plénum. Superior a 0.4 m
$h_{\text{libre}}$	Altura libre de semillas

## LISTA DE ANEXOS

- A Parámetros de rendimiento
- B Alfalfa y trébol
- C Tablas de selección de bandas

## RESUMEN

El diseño de la planta procesadora de semillas de leguminosas, surge como una necesidad imperiosa del agricultor ecuatoriano. El manejo de semillas pos cosecha, es una actividad muy desgastante físicamente y, sobre todo, representa altos costos, pues requiere de mucha mano de obra.

La planta procesadora que en este trabajo se expone, está integrada esencialmente por tres equipos. Estos son:

Un secador tipo silo estacionario compuesto de: un sistema de calentamiento de aire, en el que un quemador de gas de GLP con control automático de encendido y apagado calienta una masa de aire, la misma que es succionada e impulsada por un ventilador centrífugo hacia una cámara de distribución de aire. En la cámara de secado se acumula el material sostenido sobre un piso agujereado que permite el paso de aire caliente, secando el producto, el aire se disipa a la atmósfera a través del cumbretero. El material se descarga y carga de forma manual.

Una trilladora que consta de: un sistema de trilla, compuesto por el cilindro trillador de dientes cónicos y el cóncavo. El cilindro es accionado por un motor eléctrico trifásico, que fricciona el material contra el cóncavo, separándolo de su vaina. El material se descarga hacia un sistema de zarandas compuesta de dos cribas con perforaciones circulares de diferente diámetro que mediante vibración clasifica las semillas. El material se alimenta por una tolva de forma manual y se descarga acumulando las semillas en recipientes.

Un separador neumático, que consta de: un ventilador centrífugo que impulsa una corriente de aire a través de un ducto de sección cuadrada. El material se alimenta de forma manual en una tolva ubicada en un nivel superior a la descarga. Al caer el material, las semillas y polvos de menor peso son levantados y descargados por la parte superior; las semillas de mayor peso caen y se descargan por la parte inferior.

Los equipos diseñados tienen un rendimiento de 150 kg/h, esto es, 100 veces mayor que por el método artesanal (12 kg/día).

## ABSTRACT

The design of the processing plant seeds of legumes, emerges as an imperative of Ecuadorian farmer. The post-harvest handling of seeds, is a very exhausting physically and above all, represents high costs, as it requires a lot of manpower.

The processing plant that is exposed in this work, consists essentially of three teams. These are:

A stationary silo type dryer comprising: an air heating system, in which an LPG gas burner with automatic switching on and off a mass of heated air, which is sucked itself and driven by a centrifugal fan to a air distribution chamber. In the drying chamber the material accumulates supported on a perforated floor which permits passage of hot air, drying the product, the air is dissipated to the atmosphere through the summit. The material is downloaded and manually load.

A threshing machine comprising: a threshing, consisting of the threshing cylinder and concave conical teeth. The cylinder is driven by a three phase electric motor, which rub against the concave material, separating it from its sheath. The material is discharged into a system of sieves consists of two sieves with circular holes of different diameter seeds classified by vibration. The material is fed by a hopper and manually collecting seeds discharged into containers.

A pneumatic separator, comprising: a centrifugal fan which drives air flow through a duct of square section. The material is fed manually into a hopper located at a level above the discharge. When falling material, seed powders of lower weight and are lifted and discharged from the top; heavier seeds fall and are discharged at the bottom.

Equipment designed with a yield of 150 kg / h, ie, 100 times greater than for the traditional method (12 kg / day).

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

En el Ecuador, los productores ganaderos emplean semillas importadas para la producción de forraje, debido a la escasez de un producto de calidad y que además sea nacional. Sin embargo existen pequeños y medianos productores que cultivan alfalfa y trébol en parcelas familiares y que obtienen las semillas mediante métodos artesanales poco eficientes.

En la serranía ecuatoriana y especialmente en la provincia Chimborazo en el cantón Guano en los sectores de Púngales, Guanando, La Providencia, en una superficie aproximada de 450 hectáreas de terreno, habitadas por 325 familias; se producen semillas de alfalfa sin emplear técnicas adecuadas, mientras que en el cantón Riobamba en los sectores de San Luis, Tunshi, Guaslán se podría realizar el cultivo de trébol blanco debido a las condiciones del terreno y clima.

Por lo tanto es de gran importancia la capacitación en tecnología de semillas que deriven en un correcto empleo de los equipos que serán utilizados en el procesamiento de semillas de alfalfa y trébol, convirtiéndose en una fuente de trabajo para la familia campesina.

Cabe resaltar que el papel del Ingeniero Mecánico es aportar con el desarrollo de tecnologías que vayan en beneficio de la sociedad, con lo cual el tema propuesto encaja con el perfil profesional del Ingeniero Mecánico.

### 1.2 Justificación

En la Comunidad “Pungal Grande”, el empleo de los equipos de tratamiento de semillas alcanzará una disminución en el costo de mano de obra del 75%; además se obtendrá un producto de mayor calidad para su futura comercialización.

Con un adecuado manejo del cultivo y aplicación de esta tecnología se podrá obtener aproximadamente 300 kg de semilla de alfalfa y 140 fardos de forraje por año. Que representan un ingreso de 2000 USD por hectárea, al momento de su comercialización. Además se logrará elevar y sostener las actividades agrícolas y pecuarias de las 325 familias campesinas.

La tecnología aplicada no genera desechos indeseables ni productos que se puedan considerar como contaminantes del medio ambiente, al contrario al desarrollar e impulsar el cultivo de alfalfa y trébol, se favorece en la recuperación y mantenimiento del suelo.

### **1.3 Objetivos**

**1.3.1 Objetivo general.** Diseño, construcción, instalación y pruebas de equipos para procesamiento de semillas de alfalfa y trébol.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Diseñar los mecanismos y elementos mecánicos de los equipos utilizando los principios, leyes y herramientas computacionales para su comprobación.

Construir prototipos de secador, descascarador y separador por peso.

Realizar pruebas de funcionamiento.

Elaborar una guía de operación y mantenimiento.

### **1.4 Metodología [1]**

Para el desarrollo del proyecto “Diseño, construcción, instalación y pruebas de equipos para procesamiento de semillas de alfalfa y trébol”, se emplea la metodología basada en el modelo de Pahl y Beitz, la cual podrá ser modificada durante el proceso de diseño para adaptarla a una situación particular.

**1.4.1 Fase 1. Especificaciones.** En esta fase se recopila información acerca de las características de secado, descascarado y separado de semillas de leguminosas, así como de las condiciones climáticas del lugar para el diseño de los equipos.

**1.4.2 Fase 2. Diseño conceptual.** Se define como la fase del proceso de diseño que toma el planteamiento del problema (especificación de diseño) y genera soluciones amplias en forma de esquemas (conceptos).

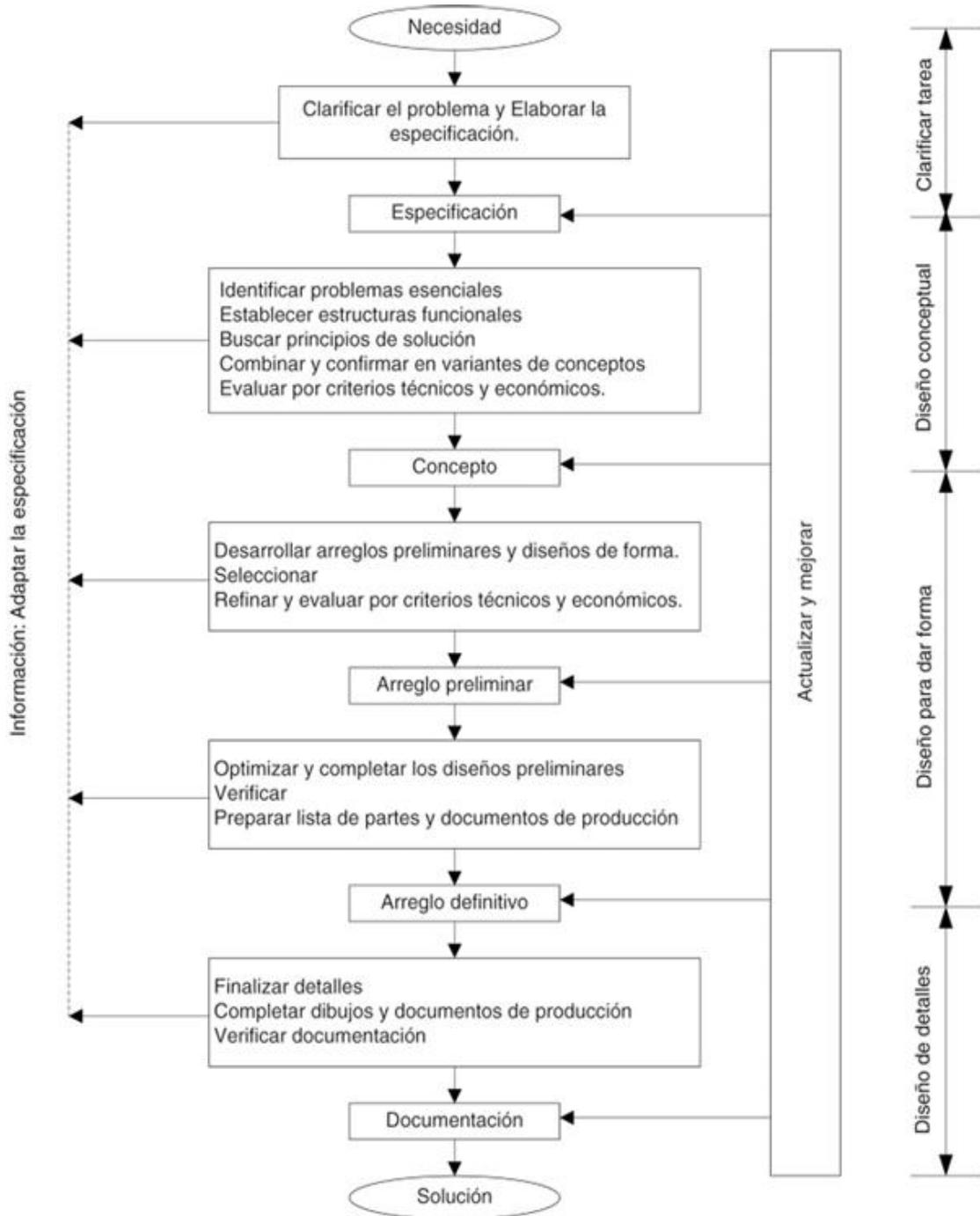
**1.4.3 Fase 3. Diseño de ingeniería.** Se parte del concepto, se desarrolla con mayor detalle y se hacen los cálculos básicos necesarios para asegurar la funcionalidad del sistema para así desarrollar un producto de acuerdo con las consideraciones técnicas, económicas y de producto. En esta etapa se genera un plano de conjunto que explique en su totalidad el funcionamiento del producto, sin hacer descripción de los detalles.

**1.4.4 Fase 4. Diseño de detalle.** En esta etapa del proceso de diseño se parte de una definición proporcionada por los planos de conjunto y la memoria anexa. El diseño de detalle se expresa a través de un plano, el cual tiene como objetivo precisar y plasmar toda la información necesaria sobre detalles de fabricación del producto.

Las fases principales definidas por esta metodología son:

En la figura 1, se aprecian los pasos principales de diseño que se implementarán para obtener el producto deseado.

Figura 1. Modelo de Pahl y Beitz



Fuente: Cross, Nigel. Métodos de diseño (1999, p.37)

## CAPÍTULO II

### 2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

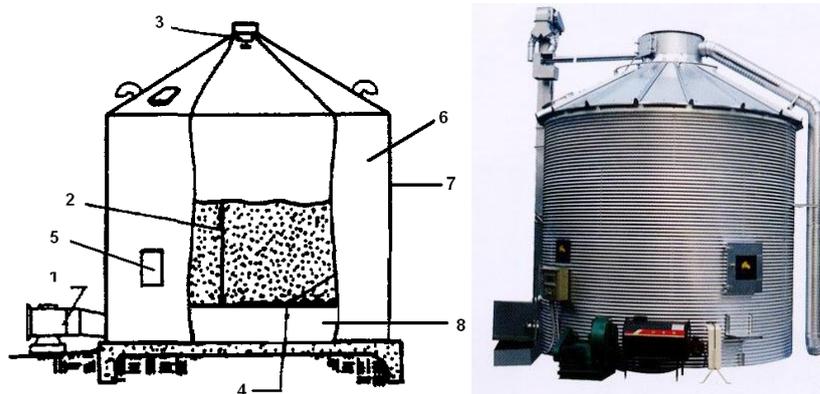
#### 2.1 Estado del arte

**2.1.1 Secador.** Alrededor del mundo se han desarrollado diseños de secadores para distintos productos y materiales. El funcionamiento se basa en principios y leyes de la Termodinámica y Transferencia de calor, en la que, una corriente de aire caliente evapora el agua en exceso contenida en el material.

Los tipos de secadores encontrados para este fin, se los describe a continuación:

**2.1.1.1 Silo secador de flujo contracorriente [2].** El silo-secador es un silo metálico construido sobre una base de hormigón armado, la cual tiene 30 cm. Arriba, un piso plano de acero totalmente perforado. Ese espacio entre la base y el silo permite la formación de una cámara de aire denominada "Plenum". Por esa cámara, mediante uno o más ventiladores y calentadores a gas; se inyecta aire caliente en el silo, el cual atravesará toda la masa de granos que se encuentra sobre el piso perforado.

Figura 2. Secador estacionario tipo silo



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

El secador tipo silo consta de los siguientes componentes: 1. Ventilador-quemador; 2. Altura óptima de secado; 3. Dispensador del material; 4. Piso de secado perforado; 5.

Descarga del material secado; 6. Paredes del secador (interior, aislante, exterior); 7. Estructura del secador; 8. Plenum.

El sistema de calentamiento puede ser de cualquier tipo, siempre que esté dimensionado para aumentar la temperatura del aire hasta los límites recomendados para cada producto. El ventilador, generalmente, es del tipo centrífugo, por la alta presión estática que se requiere para impulsar el aire a través de la capa de semillas.

Se dispone de un ducto de conexión (de sección circular o rectangular) entre la descarga del ventilador y la cámara de distribución de aire (Plenum). Este ducto se acopla al secador por medio de una transición con el fin de uniformar el flujo de aire en el secador. El ángulo de abertura del elemento de transición, en relación con el eje de simetría del secador, debe ser mayor que 15 grados para que la pérdida de carga sea despreciable. La velocidad del aire en el conducto debe ser inferior a 5 m/s.

La cámara de distribución del aire sirve para transformar la presión dinámica del aire en presión estática, uniformando la distribución del aire dentro del secador. Para facilitar la mantención del piso de la cámara de secado y del "plenum", y evitar elevadas pérdidas de carga, se puede utilizar una cámara de distribución de aire con una altura de 0,5 m.

La cámara de secado es un recipiente con fondo de metal perforado, capaz de soportar el peso del producto húmedo. El área perforada debe ser por lo menos el 10% del área total, para evitar que haya altos valores de pérdida de carga. Los agujeros de las planchas de metal perforadas deben ser tales que no permitan el paso del producto, teniendo en cuenta que interesa más una cantidad elevada de orificios pequeños que pocos orificios de mayor diámetro. La cámara de secado puede ser rectangular (cuya relación es de 1,5 entre lados) o circular.

Para evitarse un excesivo secado de las capas inferiores de granos y facilitar el flujo de aire entre ellos (disminuyendo la presión estática), el silo está equipado con un mezclador de roscas verticales, el cual hace que los granos circulen continuamente de abajo hacia arriba, incrementando la separación entre granos.

Además de ello, para optimizar la carga de granos en el silo, se coloca en el bocal de carga un esparcidor que hace que los granos se depositen en el silo de manera uniforme, formando una masa homogénea.

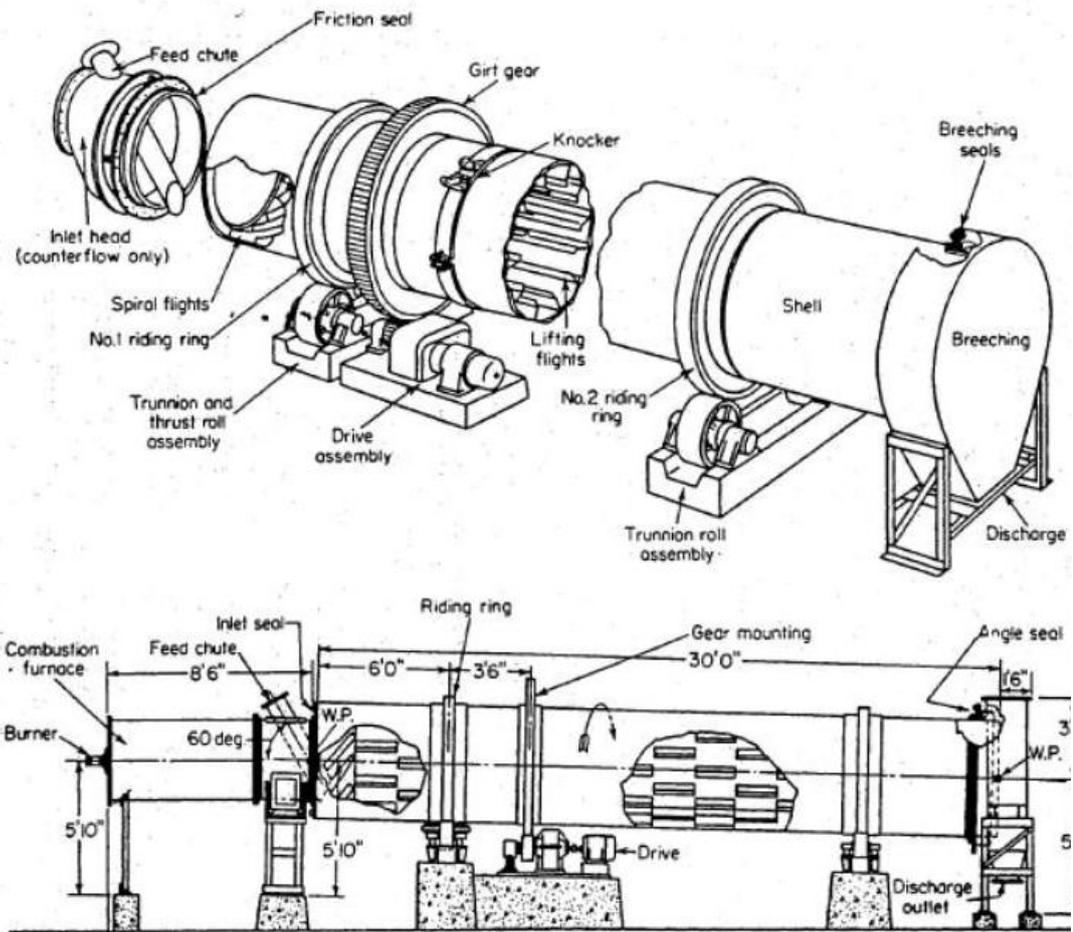
El silo cuenta con una capa aislante, para incrementar la eficiencia del secado, manteniendo la temperatura interna constante. Esta capa está ubicada entre dos paredes de acero para evitar el contacto con las semillas y el ambiente exterior.

**2.1.1.2 Secador rotatorio de flujo a contracorriente [3].** Son cilindros huecos que giran sobre su eje, por lo general con una ligera inclinación hacia la salida. Los sólidos granulares húmedos se alimentan por la parte superior y se mueven por el cilindro a medida que este gira. El calentamiento se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes con flujo de contracorriente. Las partículas granulares se mueven hacia delante con lentitud y a contracorriente con los gases calientes.

Los secadores rotatorios, son los secadores más utilizados en la industria, esto se debe principalmente a que muchos materiales pueden ser secados a través de ellos. Estos requieren de poca labor por parte de sus operadores y si se mantienen de manera apropiada, esencialmente con una buena lubricación, pueden operar continuamente bajo control automático por largos períodos de tiempo y con supervisión ocasional.

Un secador rotatorio operado bajo presión atmosférica consiste de una carcasa cilíndrica que gira sobre cojinetes apropiados y, por lo común tiene una leve inclinación hacia la salida en relación con la horizontal. La longitud de la carcasa cilíndrica varía entre cuatro y diez veces su diámetro. El diámetro se encuentra entre 30 cm hasta más de 3 m, dependiendo el flujo de material.

Figura 3. Secador rotatorio



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/hot-sale-rotary-drum-dryer-327444058.html>

El sistema de calentamiento puede ser de cualquier tipo, siempre que esté dimensionado para aumentar la temperatura del aire hasta los límites recomendados para cada producto. El ventilador, generalmente, de tipo centrífugo, impulsa el aire por el interior del cilindro.

La unidad generadora de movimiento, provee de rotación continua y constante al cilindro de secado. Consta de un sistema de transmisión (de engranes) que transmite el movimiento desde el motor al cilindro. Los elementos se diseñan o seleccionan de acuerdo a la potencia que se necesita.

Los sólidos húmedos que se introducen por un extremo del cilindro se desplazan a lo largo de él, debido a la rotación, el efecto de la carga y la pendiente del cilindro. Los

gases que circulan por el cilindro pueden reducir o aumentar la velocidad de movimiento de los sólidos, según que la circulación del gas sea en contracorriente o siga una corriente paralela con la circulación de los sólidos. En el interior del cilindro existen aspas que tienen la función de levantar y dejar caer los sólidos a través de la corriente de gas a su paso. Este contacto cerrado entre el aire seco y el sólido proporciona alta capacidad y desempeño térmico único. Sin embargo, el golpeteo de las semillas puede provocar la pérdida de vigorosidad.

El tiempo de secado varía de acuerdo a la humedad del material. La velocidad de giro, el caudal de aire caliente deben ser regulados por un sistema automático de control de varios parámetros para evitar el reproceso. Se debe tener en cuenta que este tipo de secador tiene aislante en las paredes para evitar una caída brusca de la temperatura, así como un variador de frecuencia en el motor del ventilador y de giro de la cámara de secado para controlar el flujo de aire y la velocidad de giro del tambor respectivamente.

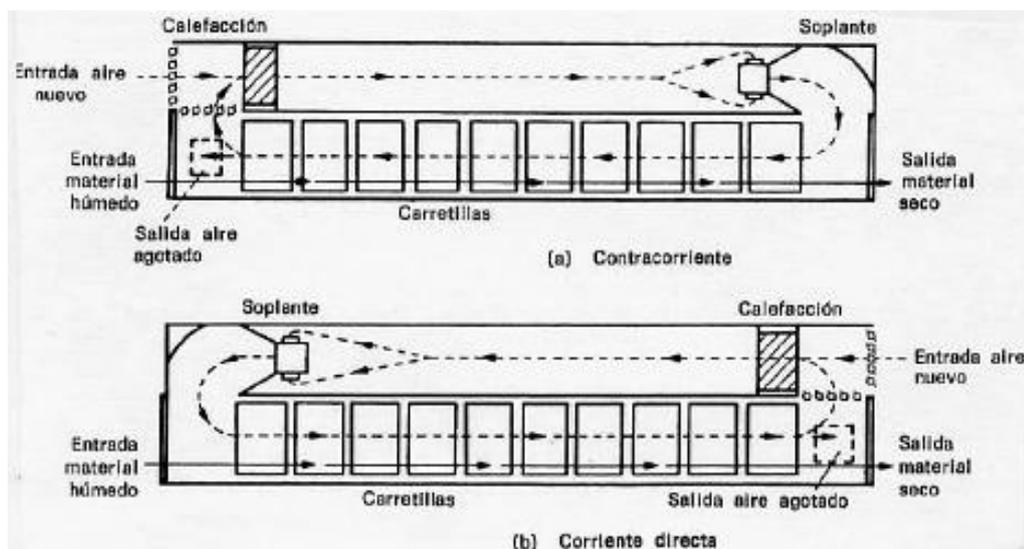
El secado en un secador rotatorio de flujo en contracorriente da un producto con humedad inferior a uno con flujo de corriente paralela para una determinada temperatura de entrada. Sin embargo, su uso con los materiales sensibles al calor se limita desde que el producto entra en contacto con el medio de calentamiento a su temperatura más alta. Es apropiado para aplicaciones donde un contenido de humedad extremadamente bajo se requiera o donde sea una ventaja una temperatura alta del producto.

**2.1.1.3 Secador continuo de túnel [4].** Los secadores continuos de túnel suelen ser compartimentos de bandejas o de carretillas que operan en serie. Los sólidos se colocan sobre bandejas o en carretillas que se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja. El flujo de aire caliente puede ser a contracorriente, en paralelo o una combinación de ambos. Muchos alimentos se secan por este procedimiento.

El aire es impulsado por un ventilador centrífugo. El aire es calentado por un quemador a gas. El ventilador cuenta con un variador de frecuencia para controlar el flujo de aire para el secado, dependiendo de la humedad de la semilla.

Cuando se desea secar partículas sólidas granulares, pueden utilizarse transportadores perforados o de fondo de tamiz. Los sólidos granulares húmedos se transportan en forma de una capa que tiene entre 25 y 150 mm de profundidad, sobre una superficie de tamiz o perforada a través de la cual se fuerza el paso de aire caliente, ya sea hacia arriba o hacia abajo. El secador consta de diversas secciones en serie, cada una con un ventilador y serpentines de calentamiento.

Figura 4. Secador continuo de túnel



Fuente: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/secaderos-industriales>.

El secador cuenta con un transportador de banda plana, en el cual se alojan bandejas llenas de semillas. El control de la velocidad de avance, se lo realiza por medio de un variador de frecuencia conectado al motor procurando variar la velocidad en función de la humedad del material.

**2.1.1.4 Estudios realizados [5].** En Quito-Ecuador, el INIAP, sugiere de acuerdo a sus investigaciones realizadas que:

- ❖ La humedad de la semilla debe alcanzar el 14% de humedad como mínimo, para evitar el crecimiento de hongos y bacterias que mermen la vigorosidad de la semilla.

- ❖ La temperatura de secado debe ser inferior a 40°C, para no evaporar aceites y proteínas esenciales para la preservación de las semillas.
- ❖ El secado se lo debe realizar inmediatamente luego hecha la cosecha.

La experiencia de los investigadores del INIAP, demuestra que el secado al sol es el más eficiente, y que, cualquier secado artificial debe simular al natural. Sin embargo, este tipo de secado depende de las condiciones climáticas del lugar.

El tiempo de secado en el silo-secador, depende de la humedad de la semilla; sin embargo, en el secador continuo de túnel y en el secador rotatorio a contracorriente, se debe realizar un reproceso del material hasta alcanzar la humedad requerida, o utilizar sistemas de control en las velocidades de avance del material, haciéndolos más costosos.

El secador rotatorio al contar con un sistema transmisión que gire el tambor, incrementa el costo del mismo. Las paletas internas al girar, provocan daño a la semilla debido al golpeteo entre ellas, lo cual disminuye la vigorosidad y poder de germinación.

Se utiliza quemadores a gas, puesto que su combustión es más eficiente, limpia, económica y simple con respecto a combustibles líquidos y sólidos.

Se asegura, que la forma cilíndrica del secador, es más eficiente ya que distribuye el calor de mejor manera que una forma cuadrada o rectangular.

**2.1.1.5 Aplicabilidad en Ecuador.** Las comunidades y pueblos de la sierra cosechan las semillas muy temprano en la mañana, para evitar las altas temperaturas del sol de la media mañana y tarde, desperdiciando gran parte del día en el secado de semillas.

De los tres equipos descritos anteriormente, todos pueden construirse en nuestro país utilizando la tecnología disponible. Sin embargo, el silo-secador, parece mostrar algunas ventajas aparentes en los costos de construcción.

Se debería realizar un prototipo del mecanismo de rotación del secador rotatorio a contracorriente, para descartar los posibles daños por el golpeteo entre semillas.

Se afirma que la utilización de quemadores eléctricos no es recomendable, puesto que muchas de las comunidades y pueblos no disponen de instalaciones eléctricas adecuadas para la instalación.

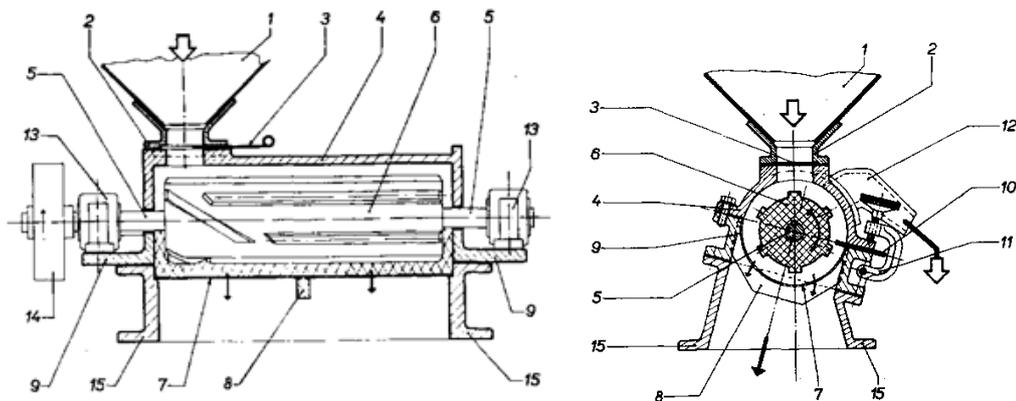
Se afirma, según investigaciones realizadas por el INIAP, que el silo-secador, luego del secado sirve como acumulador y viceversa, haciéndolo mucho más eficiente.

**2.1.2 Descascarador** [6]. En la industria nacional y el mercado internacional se han desarrollado máquinas e implementos para el descascarado y cribado de semillas, las cuales pueden separar y clasificar las semillas de su cáscara o cuscuta.

Los tipos de descascaradores encontrados para este fin, se los describe a continuación:

**2.1.2.1 Pulidora N-70.** La pulidora N-70 se basa en el diseño de la descascaradora engleberg, que es un antiguo modelo que todavía se utiliza ampliamente en los pueblos y comunidades en el procesamiento de arroz.

Figura 5. Descascaradora de rodillo de acero tipo engleberg



Fuente: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/trabajo/cupula1/cupula1.htm>

La descascaradora de rodillo tipo engleberg consta de las siguientes partes: 1. tolva de alimentación; 2. asiento de tolva; 3. compuerta para regular la alimentación; 4. cubierta;

5. eje; 6. rodillo/eje de acero; 7. criba; 8 soporte de la criba; 9. armazón; 10. cuchilla descascaradora; 11. perno de sujeción de la cubierta; 12. conducto de salida; 13 cojinetes; 14. polea motriz; 15. armazón.

Figura 6. Pulidora N-70



Fuente: [www.dinatek.com](http://www.dinatek.com). Buscar por: maquinaria para arroz

La tolva, donde se vierte el material seco, tiene dimensiones que garantizan un continuo flujo de material al rodillo de acero. Está hecha de latón para abaratar los costos de producción.

El motor eléctrico tiene una potencia de 21 HP, que gira a 850 rpm. El rodillo o eje de acero es movido por un sistema de transmisión de banda trapezoidal. Posee pequeñas protuberancias lineales inclinadas, dispuestos de tal manera que provocan que la vaina roce con la cuchilla descascaradora. La cuchilla es fijada mediante pernos, los mismos que son móviles para regular la abertura entre la protuberancia del rodillo y la cuchilla.

En la parte posterior de la cuchilla descascaradora se encuentra un tamiz móvil por el cual la semilla es separada de su cáscara. La cuscuta, es desalojada al final del rodillo. El tamiz debe ser seleccionado cuidadosamente de acuerdo a la semilla a procesar, ya que, un tamiz muy grande dejaría pasar semillas en vaina, o por el contrario, no las dejaría pasar.

El armazón de la pulidora cubre totalmente al rodillo para mejorar la eficiencia del descascarador. Es sujeta mediante bisagras en un extremo, con el fin de poder abrir

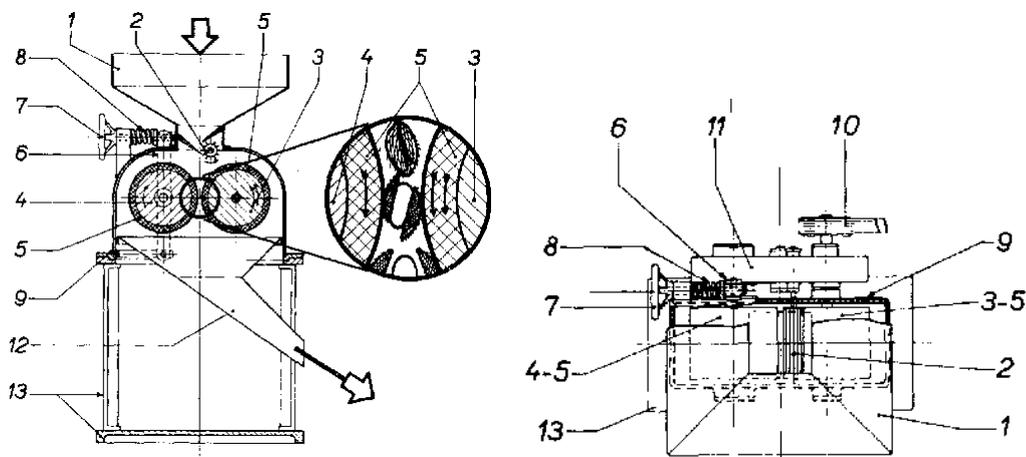
y regular la abertura de la cuchilla o solucionar cualquier atascamiento del material. En el otro extremo posee pernos de fácil remoción.

Este tipo de pulidoras tiene una capacidad de procesamiento de 700 a 800 kg por hora. El material que debe ser introducido debe estar exento de tallos u hojas. La pulidora N-70 no cuenta con un sistema de zarandas, entonces, este sistema debe ser construido. Los repuestos no están disponibles en el mercado local. Su estructura es de fundición, por lo que resulta ser muy frágil en su transporte y mantenimiento.

**2.1.2.2 Piladora SB-10.** La piladora SB-10 basa su diseño en la descascaradora de rodillos de caucho. El equipo es de origen chino. Consiste en hacer pasar al material en un solo estrato entre rodillos recubiertos de caucho que giran en direcciones opuestas y con diferentes velocidades en la superficie. A medida que pasa entre los rodillos el material es sometido a una acción de quebrantamiento que hace separar la cáscara. Esta acción es mucho más suave que en la descascaradora de eje de acero.

En la parte inferior, el descascarador posee un sistema de zarandas el cual, clasifica las semillas separándolas de la cuscuta o cáscara. Este sistema está conformado por dos tamices; el primero separa la cáscara y el segundo las semillas del polvillo formado en el descascarado. Esta separación se lo hace por medio de una corriente de aire impulsada por un ventilador. Investigaciones realizadas demuestran que el porcentaje de descascarado llega a ser superior a 90% en arroz.

Figura 7. Descascaradora de rodillos de caucho



Fuente: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/trabajo/cupula1/cupula1.htm>

La descascaradora de rodillos de caucho consta de las siguientes partes: 1. tolva de alimentación; 2. rodillo de alimentación; 3. rodillo de movimiento rápido; 4. rodillo de movimiento lento; 5. superficie de caucho; 6. brazo regulador de los rodillos; 7. manilla para regular la luz entre los rodillos; 8. muelle de compresión; 9. cubierta; 10. polea motriz; 11. cubierta del equipo de accionamiento; 12. conducto de salida; 13. base y armazón.

Los rodillos son de nitrilo de caucho con una dureza que oscila entre 95 y 98 HB, cuya deformación llega a 2.5% del espesor del rodillo. Dichos rodillos tiene la forma de anillo que se fija a un rodillo de acero (fundición). La apertura entre rodillos se controla mediante el brazo regulador de rodillos, el cual es movido al girar una manilla o volante.

Figura 8. Piladora SB-10

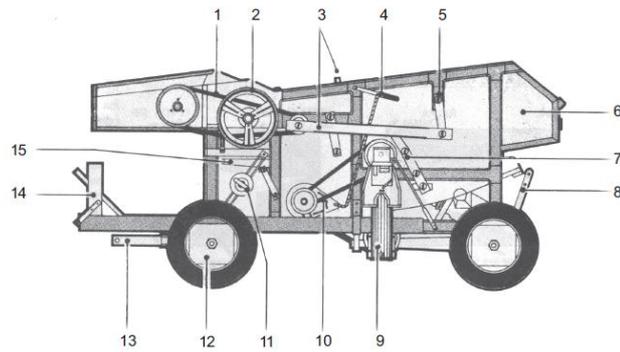


Fuente: [www.dinatek.com](http://www.dinatek.com). Buscar por: maquinaria para arroz

Para girar los rodillos se utiliza sistemas de transmisión de banda trapezoidal que reducen a la mitad la velocidad de un motor de 1800 rpm, de 16 HP de potencia nominal. La capacidad nominal del descascarador varía entre 700 y 1000 kg por hora para semillas de arroz.

**2.1.2.3 Trilladora B-150** [7]. MASCHINENFABRIK FAHR, A.G; empresa alemana que a finales de la década del 50 desarrolló un modelo de descascaradora para el procesamiento de semillas. Dispone de ruedas para su movilización por diferentes caminos, de sistema de cribado, y de un juego de poleas para diferentes clases de semillas. Este diseño original, fue mejorado por la empresa brasileña VENCEDORA MAQTRON, al abaratar costos de construcción.

Figura 9. Trilladora – Cribadora de cereales



Fuente: Manual de montaje MAQTRON

La trilladora MAQTRON B-150, consta de las siguientes partes: 1. correa de alimentación; 2. polea; 3. brazo de movimiento e inspección de la cubierta; 4. regulador de aire; 5. cambio simple; 6. monobloque; 7. cambio conjugado; 8. palanca de freno; 9. ensacador; 10. correa del ensacador; 11. brazo inmóvil ocioso; 12. disco de neumático; 13. cabezal de tracción; 14. cajón; 15. estructura o armazón.

En la trilladora – cribadora posee una tolva de alimentación, luego pasa a través de la unidad de trilla (movida por la polea; 2), donde se produce el descascarado del material. Este tipo de trilladoras posee una regulación la cual permite el descascarado de diferentes productos de varios calibres. La unidad de cribado es movida por un mecanismo desmodrómico de cuatro eslabones.

La unidad de trilla posee dientes dispuestos de tal manera que al girar sobre su eje descascararan el material procesado. Los dientes son hechos de fundición para evitar el rápido desgaste de los mismos. Los “peines”, denominados así porque aquí la semilla es frotada por la unidad de trilla son de fundición. La separación que existe entre los peines y la cabeza del diente, se le denomina calibre.

El calibre es regulado por una leva de accionamiento manual con seguro de trinquete en su lado opuesto.

El sistema de zarandas, posee una criba, para separar las semillas de la cáscara. Tiene una inclinación comprendida entre 10 y 15 grados para garantizar la descarga del material por un solo lado.

Dispone de un motor de combustión interna de 16 HP, cuyo eje gira a 1800 rpm, las cuales son transmitidas por bandas trapezoidales y poleas seleccionables de acuerdo a la semilla que se esté tratando. La capacidad de procesamiento puede llegar a ser 10 toneladas por día, con un 90% de descascarado en semillas forrajeras.

**2.1.2.4 Estudios realizados.** Investigaciones experimentales realizadas en la pulidora N-70, se asegura que al procesar la vaina de alfalfa, la semilla se rompe en el 40% de los casos, por lo que pierde la vigorosidad y poder de germinación. La cáscara de la vaina de alfalfa se convierte en polvo y no se descarga rápido ocasionando bloqueo y sobrecarga al motor.

El diseño y dimensiones de los dientes cónicos de la trilladora MAQTRON B-150 es exclusivo para soja, pero se lo puede ampliar para otros productos. El cóncavo tiene 4 barras con 12 dientes. el largo de los dientes cónicos del cilindro y del cóncavo es de 55 mm.

Se afirma que la descascaradora de rodillos de caucho no cumple el principio básico de rozamiento a la vaina, ya que, sólo ejerce fuerza de compresión, lo cual no libera la semilla del interior de la vaina.

El uso de la trilladora B-150, ha dado buenos resultados en el proceso, ya que llega hasta un 90% de descascarado, sin provocar daños mecánico a la semilla. Se puede alcanzar rendimientos de 95% o mayores con el reproceso del material, hasta tres veces. Más reprocesos no incrementa significativamente la eficiencia.

**2.1.2.5 Aplicabilidad en Ecuador.** De los equipos descritos anteriormente, la trilladora B-150 satisface los requerimientos; sin embargo, es de origen brasileño, por lo cual, se debe importar la máquina y su costo es relativamente alto. Pero, en nuestro país existe la tecnología para construirla.

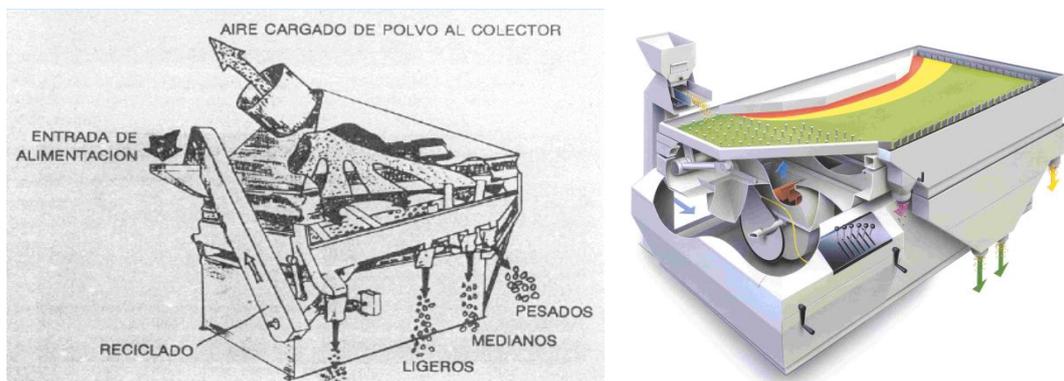
Los materiales para la construcción, la tecnología de construcción están disponibles en el mercado local. Además, existen empresas dedicadas a la construcción de esta clase de equipos.

**2.1.3 Separador por peso específico.** En algunos países del mundo se han desarrollado diseños para separar semillas por peso. El principio de funcionamiento es mecánico, en el cual, las semillas se clasifican por diferencia de peso.

Los tipos de separadores por peso específico encontrados para este fin, se los describe a continuación:

**2.1.3.1 Separador de mesa gravimétrica [8].** La mesa densimétrica es una máquina que es usada para separar aquellos granos que aún siendo iguales en longitud y en tamaño presentan una diferencia en su peso específico.

Figura 10. Mesa densimétrica



Fuente: <http://www.airep.com.co/airep/sp/preguntar/5323>

El separador funciona con una cama fluidizada. El aire es forzado a través de la cubierta que hace la fracción ligera flotar sobre la fracción pesada. La cubierta se hace vibrar y mueve la fracción pesada arriba, mientras que la fracción ligera flota abajo.

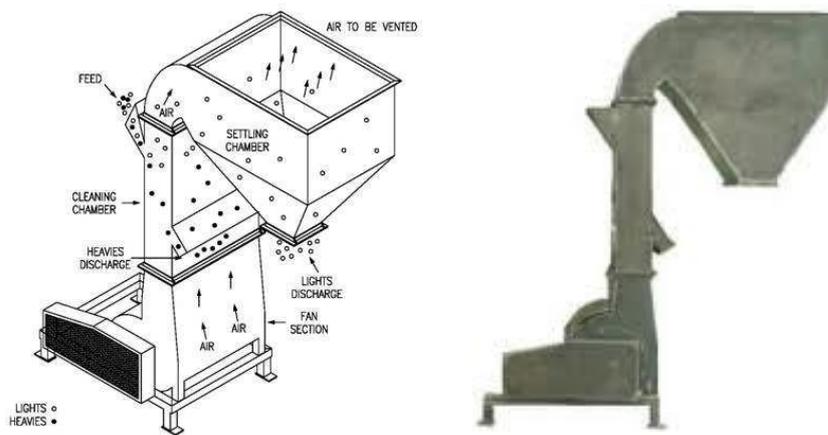
Las variaciones en la vibración de la cubierta, cantidad del aire, tipo de la cubierta, ángulo de la cubierta, la profundidad del producto y puntas del despegue permiten a la mesa hacer una separación alta y constante de calidad. Los separadores de la mesa son construcciones industriales, robustas de acero.

La mesa de gravedad es difícil de calibrar por la interacción de los diversos ajustes; sin embargo, el conocimiento de los principios de funcionamiento de la máquina y del material indeseable facilita el proceso.

La capacidad o producción de la mesa se puede estimar en  $\pm 700$  kg/h por cada metro cuadrado de plataforma. Para determinar la eficacia y eficiencia de la separación, se divide la parte final de la plataforma (no necesariamente iguales), una para cada una de las fracciones obtenidas: una fracción pesada que supuestamente contiene semillas de mayor peso volumétrico, así para las otras fracciones.

**2.1.3.2 Separador neumático [9].** El separador neumático limpia y clasifica productos en una amplia gama de tamaños y de pesos, separándolos en dos grupos en una columna uniforme de aire.

Figura 11. Separador neumático



Fuente: <http://taninos.tripod.com/SeparadorNeumatico.htm>

El separador neumático es simple y barata su instalación. Es eficaz, óptimo y productivo por la garantía de su diseño. La máquina se utiliza para clasificar productos con exactitud o hacer las operaciones prelimpieza y limpieza del alto volumen.

El separador neumático se utiliza para quitar, cáscaras, pedazos rotos, desperdicio, el polvo y la basura agrícola del alimento y de los productos industriales.

El equipo consta de tres secciones: La sección de ventilador, en la cual se crea y se controla el flujo de aire. El compartimiento medio de la limpieza, donde ocurren la alimentación, la separación y la descarga "pesada". El compartimiento superior, en el cual se recogen las partículas levantadas o ligeras.

La separación es lograda por la inyección de un flujo uniforme de aire. El material se alimenta en el compartimiento de la limpieza, donde las partículas ligeras son levantadas por el aire, mientras que el producto más pesado cae sobre la pantalla del compartimiento de la limpieza para su descarga.

**2.1.3.3 Estudios realizados.** La experiencia y la investigación realizada por investigadores del INIAP, demuestran que la separación por agua es la ideal; sin embargo, en este caso no es aplicable ya que esto implicaría dos fases de secado, incrementando los costos.

La mesa gravimétrica es el equipo más exacto en la clasificación de semillas por peso de acuerdo al INIAP, pero su costo es elevado, así como su calibración para cada uno de los tipos de semillas.

**2.1.3.4 Aplicabilidad en Ecuador.** Se asegura, que los agricultores no clasifican las semillas, puesto que eso disminuye la cantidad de semillas envasadas.

Los materiales y equipos para la construcción de las máquinas se pueden adquirir en el mercado local y aplicando tecnologías locales se los puede concebir.

El separador neumático parece mostrar algunas ventajas aparentes en costos de construcción, pero debería ser evaluado primero algún prototipo a fin de cerciorarse la eficiencia y capacidad real del equipo.

## **2.2 Marco teórico**

**2.2.1 Secador [10].** Los secadores son equipos destinados al secado de diferentes materiales sólidos. Estos dispositivos, cuya construcción es factible a partir de diferentes materiales de disponibilidad local, emplean principios básicos de geometría y física térmica, estableciéndose una temperatura máxima de 40 °C para el secado de semillas. Consta, generalmente de tres partes: Sistema de calentamiento de aire, sistema de distribución de aire y cámara de secado.

**2.2.1.1 Clasificación de los secadores.** Los secadores se pueden clasificar: según el flujo de aire, flujo del producto, disposición de la cámara de secado. De acuerdo a la disposición de la cámara de secado, se tiene:

➤ Estacionarios:

- ❖ Secador de lecho fijo o de capa estacionaria.
- ❖ Secador con aire movido por convección natural.

➤ Continuos:

- ❖ En cascada o de canaletas
- ❖ De flujos cruzados
- ❖ De flujos concurrentes
- ❖ De flujos contrarios

➤ Intermitentes.

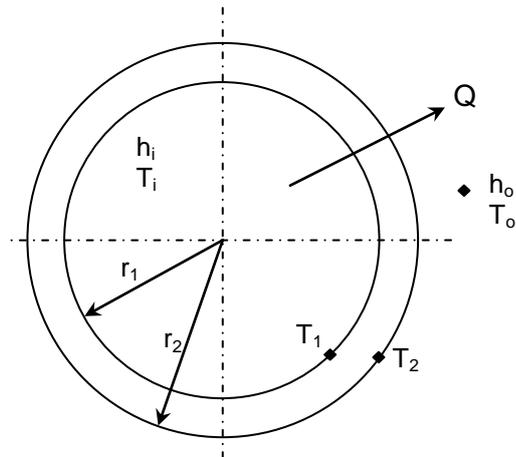
**2.2.1.2 Capacidad de secado del secador.** Para determinar la capacidad de almacenamiento de un secador para el proceso de secado se aplica la siguiente relación deducida empíricamente;

$$C_{secador} = \frac{P_{hora} * t_s}{\%_{imp}} \quad (1)$$

Donde;  $C_{secador}$ , capacidad nominal del secador;  $t_s$ , tiempo básico de secado;  $\%_{imp}$ , porcentaje de impurezas.

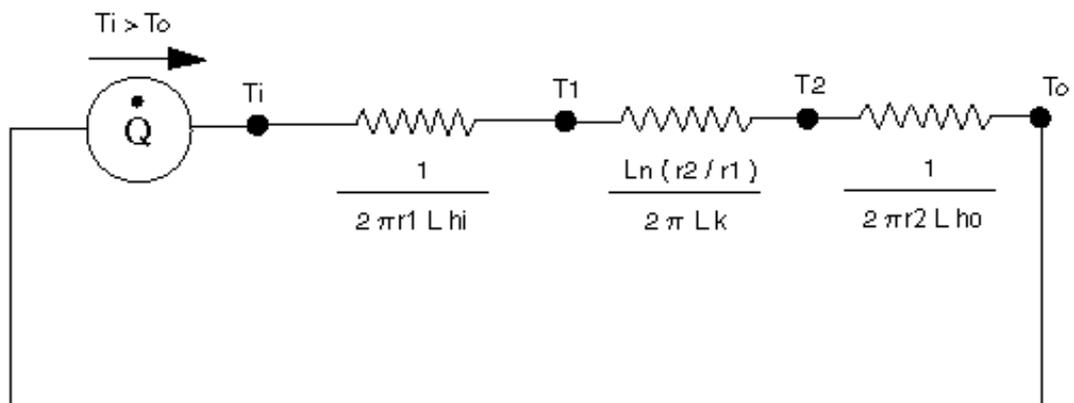
**2.2.1.3 Velocidad de transferencia de calor.** La velocidad de transferencia de calor se calcula siguiendo el modelo de enfriamiento de Newton, que está en función del área y de las temperaturas superior e inferior.

Figura 12. Representación de variables en superficies cilíndricas



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Figura 13. Flujo de calor en superficies cilíndricas



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

El flujo de calor es perpendicular a la disposición de la pared, sea recta o circular. La resistencia (comprendida entre  $T_1$  y  $T_2$ ) puede involucrar diversos espesores de diferentes materiales sólidos o sustancias fluidicas. Se expresa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{T_i - T_o}{\Sigma R_T} \quad (2)$$

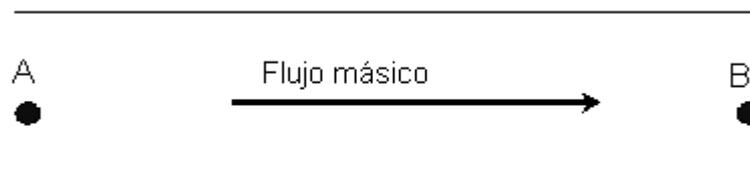
Donde;  $Q$ , Velocidad de transferencia de calor.  $T_i$ , Temperatura superior.  $T_o$ , Temperatura inferior.  $\Sigma R_T$ , Sumatoria de las resistencias térmicas.

**2.2.1.4 Carta psicrométrica.** La carta psicrométrica es un diagrama de doble entrada que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano. En este se relacionan múltiples parámetros referentes a una mezcla de aire húmedo, tales como: temperatura, humedad relativa y absoluta, punto de rocío, entalpía específica, calor sensible y latente y volumen específico del aire.

Para el diseño en secadores la carta sirve para determinar parámetros, tales como: entalpía específica, calor sensible y latente y volumen específico del aire. Por lo tanto, se debe conocer las condiciones iniciales (temperatura, humedad relativa) y finales (temperatura) del aire.

**2.2.1.5 Balance de masas en procesos psicrométricos.** El manual Ashrae, propone una relación para determinar la cantidad de aire necesario para el proceso de secado, de acuerdo a la carta psicrométrica.

Figura 14. Flujo másico en procesos psicrométricos



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

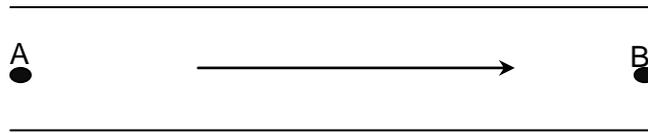
$$m_{\text{secado}}W_i - m_{\text{aire}}W_{\text{aire}} = m_{\text{secado}}W_f$$

$$m_{\text{aire}} = m_{\text{secado}} \frac{(W_i - W_f)}{W_{\text{aire}}} \quad (3)$$

Donde;  $m_{\text{aire}}$ , masa de aire a condiciones específicas;  $m_{\text{secado}}$ , masa a ser secada;  $W_i$ , humedad relativa de la masa de semillas antes del secado;  $W_f$ , humedad relativa de la masa de semillas luego del secado;  $W_{\text{aire}}$ , humedad relativa del aire “caliente”.

**2.2.1.6 Balance de energía en procesos psicrométricos.** El manual Ashrae, propone una relación para determinar la cantidad de calor necesario para el proceso de secado, de acuerdo a la carta psicrométrica.

Figura 15. Flujo de calor en procesos psicométricos



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

$$m_{aire}h_B - q = m_{aire}h_A$$

$$q = m_{aire}(h_B - h_A) \quad (4)$$

Donde;  $q$ , calor sensible por unidad de masa;  $m_{aire}$ , masa de aire caliente;  $h_A$ , entalpía específica del aire en el punto A;  $h_B$  entalpía específica del aire en el punto B.

**2.2.1.7 Selección del ventilador.** Para seleccionar un ventilador a utilizarse como parte de un secador es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- ❖ Determinar la presión estática
- ❖ Calcular el volumen total de aire
- ❖ Seleccionar un ventilador por catálogo.

Para determinar la presión estática se aplica el siguiente procedimiento de cálculo:

a. *Peso de la semilla por unidad de área* ( $P_{semilla}$ )

$$P_{semilla} = \delta_{semilla}h \quad (5)$$

Donde;  $h$ , altura de la capa de semillas;  $\delta_{semilla}$ , densidad de la semilla.

b. *Volumen de aire* ( $V_{aire}$ )

$$V_{aire} = P_{semilla} * Q_{aire} \quad (6)$$

Donde,  $Q_{aire}$ , flujo de aire

c. *Caída de presión* ( $\Delta P''$ ). En el diagrama de shedd, propuesto más adelante se calcula este parámetro.

d. *Caída de presión total* ( $\Delta P'$ )

$$\Delta P' = \Delta P'' * h \quad (7)$$

e. *Presión estática* ( $\Delta P$ )

$$\Delta P = \Delta P' * F \quad (8)$$

Donde;  $F$ , factor de seguridad por pérdida de presión por accesorios y otros factores.

Para determinar el volumen total de aire se procede con lo establecido en “Balance de masas en procesos psicométricos”.

Para seleccionar el ventilador mediante catálogo se deben conocer parámetros como:

- ❖ Presión estática
- ❖ Flujo de aire (volumen total de aire)
- ❖ Potencia (opcionalmente)

$$Pot = \frac{Q_{aire} * \Delta P * g}{\eta_{vent}} \quad (9)$$

Donde;  $g$ , gravedad;  $\eta_{vent}$ , eficiencia del ventilador

**2.2.1.8 Área perforada para el piso falso.** El cálculo del área perforada o abierta para el paso del aire caliente se utiliza dos expresiones tomadas del catálogo de planchas perforadas de REPERMETAL: para orificios redondos cruzados o para orificios redondos en línea.

Para orificios redondos cruzados, viene dado por:

$$A_{abierta} = \frac{90.7 * w^2}{t^2} \quad (10)$$

Donde;  $w$ , es el diámetro del orificio;  $t$ , separación entre centros de los orificios.

Para orificios redondos en línea, viene dado por:

$$A_{abierta} = \frac{78.5 * w^2}{t^2} \quad (11)$$

**2.2.1.9 Consumo de combustible.** Existen muchas fuentes de energía, cuyo precio varía entre países dependiendo de la disponibilidad del combustible, por ello, se utilizará el método planteado por Roberto Aguirre para determinar el consumo de energía.

$$E = \frac{Q * \Delta T}{\delta_{aire}} \quad [KW] \quad (12)$$

Donde,  $E$ , consumo de energía,  $\Delta T$ , incremento de temperatura.

Para determinar la cantidad de combustible consumido durante el proceso de secado,

$$\text{Consumo de combustible} = \frac{E}{P_{calorico}} \quad (12.1)$$

Donde;  $P_{calorico}$ , poder calórico del combustible.

El poder calorífico se lo establece de la siguiente tabla.

Tabla 1. Poder calorífico de algunos combustibles

Material	Contenido energético	
Alcohol etílico	29,800	kJ/kg
Alcohol metílico	22,300	kJ/kg
Aserrín	2,500,000	kJ/m <sup>3</sup>
Carbón antracita	28,000	kJ/kg
Carbón bituminoso	27,000	kJ/kg
Carbón lignito	16,000	kJ/kg
Cáscarilla de arroz	12,000	kJ/kg
Coke	32,000	kJ/kg
Combustible Diesel	39,000	kJ/litro
Gas butano	49,000	kJ/kg
Gas natural	35,700	kJ/m <sup>3</sup>
Gas propano	50,000	kJ/kg
Gasolina	31,000	kJ/litro
Madera seca	18,000	kJ/kg
Petróleo diáfano	36,000	kJ/litro

Fuente: Aguirre, Roberto. Manual para beneficio de semillas

$$Combustible = \frac{E * t_{secao} * Costo}{\eta} \quad (13)$$

Donde;  $t_{secao}$ , tiempo básico de secado;  $costo$ , costo del combustible por unidad;  $\eta$ , eficiencia del quemador.

**2.2.2 Descascarador.** Un descascarador es un equipo destinado a separar la semilla de la cáscara o envoltura. Estos dispositivos, cuya construcción es factible a partir de diferentes materiales de disponibilidad local, emplean principios básicos de física de la partícula. Consta, en su manera más elemental de: Unidad de generación de movimiento y transmisión, unidad descascaradora, unidad de tamizado o cribado, tolva y descargas de material procesado.

### 2.2.2.1 Clasificación de la descascaradora

A. *Clasificación de la descascaradora.* Las descascaradoras se pueden clasificar de acuerdo a la disposición de las superficies en contacto:

➤ Concéntricas

- ❖ Descascarador de muelas
- ❖ Descascarador Engleberg de rodillos de acero y jaula.

➤ Tangentes

- ❖ Descascarador engleberg de rodillos de caucho.
- ❖ Trilladoras

➤ Paralelas

- ❖ Descascarador de disco

B. *Clasificación de la cribadora.* La cribadora se clasifica de acuerdo al mecanismo que utiliza para generar el movimiento de las semillas. Según esto se clasifican en:

- Mecanismo de biela excéntrica.
- Mecanismo de leva-seguidor.
- Por la acción de la fuerza tangencial.

**2.2.2.2 Fuerza de descascarado de la semilla de alfalfa.** El cálculo de la fuerza necesaria para el proceso de descascarado, se lo determina experimentalmente para una semilla, por ende, para determinar la fuerza de descascarado se recurre a la siguiente expresión:

$$F_{des} = \#semillas * \#vainas * F_{semilla} \quad (14)$$

Donde;  $F_{des}$ , fuerza de descascarado;  $\#semillas$ , es la cantidad promedio de semillas por vaina;  $\#vainas$ , número teórico de vainas a lo largo de la trilla en un instante de tiempo;  $F_{semilla}$ , fuerza de descascarado para una semilla.

$$\#vainas = \frac{L}{L_{vainas}} \quad (14.1)$$

Donde;  $L$ , longitud arbitrario de la unidad trilladora;  $L_{vainas}$ , longitud promedio de la vaina de alfalfa

**2.2.2.3 Potencia del motor** [11]. Shigley, propone la siguiente relación para el torque y la potencia

$$T_{eje} = F_{des} * r_1 \quad (15)$$

Donde;  $T_{eje}$ , torque requerido en el eje;  $F_{des}$ , Fuerza tangencial de descascarado;  $r_1$ , radio arbitrario del tambor de descascarado.

$$P_{motor} = \frac{\pi * T_{eje} * N}{30 * \eta_{trans} * \eta_{seg}} \quad (16)$$

Donde;  $P_{motor}$ , potencia del motor, W;  $N$ , velocidad de giro del motor, rpm;  $\eta_{trans}$ , eficiencia de los sistemas de transmisión;  $\eta_{seg}$ , factor de seguridad por sobrecarga.

**2.2.2.4 Cilindro descascarador.** El cálculo de las dimensiones de la unidad de trilla, se lo realiza mediante la siguiente relación.

$$V_{lineal} = \frac{P_{motor}}{F_{des}} \quad (17)$$

Donde;  $V_{lineal}$ , velocidad tangencial o lineal.

Con la velocidad tangencial se determina el diámetro del cilindro trillador.

$$\emptyset_{cilindro} = \frac{V_{lineal}}{N} \quad (18)$$

Por medio de la ecuación de la densidad se determina el flujo volumétrico ( $V_{hora}$ ) de material a través de la abertura o calibre para cada tipo de semilla.

$$V_{hora} = \frac{P_{hora}}{\delta_{semilla}} \quad (19)$$

Mediante la ecuación del flujo volumétrico se determina el área transversal mínima para el paso de semilla, teniendo en cuenta el calibre de la misma. Posteriormente se calcula el ancho del cilindro trillador. A continuación se presenta la ecuación respectiva.

$$L' = \frac{V_{hora}}{e_{vaina} * V_{lineal}} \quad (20)$$

donde;  $e_{vaina}$ , calibre de la vaina;  $L'$ , longitud teórica del cilindro trillador

**2.2.2.5 Cilindro de dientes cónicos.** Mediante resultados expuestos, de un estudio realizado por la Coordinación Regional INTA PROPECO Est. Exp. Agrop. Rafaela (Sta. Fé) en 1991, demostró que el cilindro trillador de dientes cónicos tiene una mejor eficiencia que un cilindro trillador de barras y de dientes cortos e inclinados.

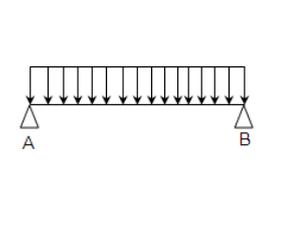
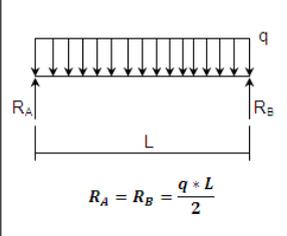
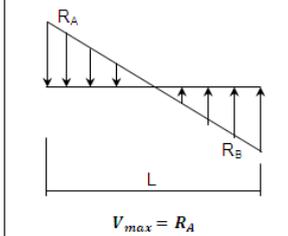
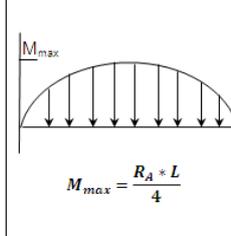
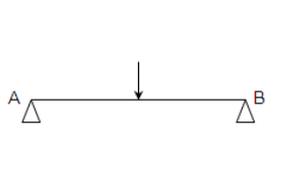
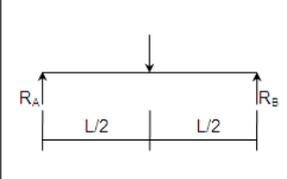
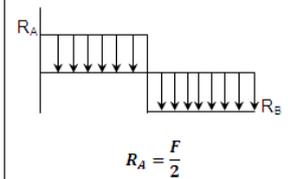
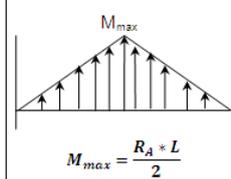
Tabla 2. Comparación entre cilindro de barras y cilindro con dientes cónicos

<b>Cilindros</b>	<b>Barras</b>	<b>Dientes cónicos</b>
<b>Estado físico del grano:</b>		
% sanos	81,87	93,12
% rajados	7,50	4,25
% rotos	10,62	2,62
<b>Poder germinativo:</b>		
%	91,00	93,00
<b>Vigor:</b>		
% Energía germinativa	79,50	85,00
Envejecimiento acelerado	67,25	77,25

Fuente: Casini, Bragachini y Mujica; Est. Exp. Agrop. INTA Manfredi (1984)

**2.2.2.6 Momento flector máximo sobre vigas mediante el método gráfico.** El método gráfico en la construcción de diagramas de cortante y momento flector es cuando sobre la viga actúa un sistema complejo de fuerzas exteriores.

Tabla 3. Diagrama de carga, cortante y momento flector en vigas

DIAGRAMA DE CARGAS	ESQUEMA DE FUERZAS	DIAGRAMA CORTANTE	DIAGRAMA MOMENTO FLECTOR
	 $R_A = R_B = \frac{q \cdot L}{2}$	 $V_{max} = R_A$	 $M_{max} = \frac{R_A \cdot L}{4}$
	 $R_A = \frac{F}{2}$	 $R_A = \frac{F}{2}$	 $M_{max} = \frac{R_A \cdot L}{2}$

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**2.2.2.7 Diámetro de ejes por resistencia a la fatiga según Von Mises [19].** Von Mises sugiere la siguiente relación:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_m}{S_u} + \frac{\sigma_a}{S_e}$$

$$\sigma_a = \frac{32M_{max}}{\pi d^3} \sigma_m = \frac{16T}{\pi d^3}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16T}{\pi d^3} + \frac{32M_{max}}{\pi d^3 S_e}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16n(T \cdot S_e + 2M_{max} \cdot S_u)}{\pi d^3 \cdot S_u \cdot S_e}$$

$$d^3 = \frac{16n(T \cdot S_e + 2M_{max} \cdot S_u)}{\pi \cdot S_u \cdot S_e}$$

$$\phi_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16n(T*S_e+2M_{max}*S_u)}{\pi*S_u*S_e}} \quad (21)$$

Donde;  $n$ , coeficiente de seguridad;  $T$ , torque;  $S_e$ , límite de fatiga corregido;  $M_{max}$ , Momento flector máximo;  $S_u$ , Resistencia última del material.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (22)$$

Donde;  $k_a$ , factor de superficie;  $k_b$ , factor de tamaño;  $k_c$ , factor de confiabilidad;  $k_d$ , factor de temperatura;  $k_e$ , factor por concentración del esfuerzo;  $k_f$ , factor de efectos diversos;  $S_e'$ , límite de fatiga.

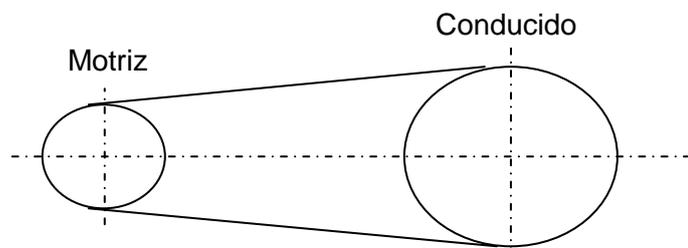
$$S_e' = 0.57S_u \quad (23)$$

En el diseño de ejes por lo general se afirma que:  $k_a = 1$  (pulido) ó 0.89 (esmerilado);  $k_b = 0.87$ ;  $k_c = 0.897$ ;  $k_d = k_e = k_f = 1$

**2.2.2.8 Elementos mecánicos flexibles.** Para dimensionar elementos mecánicos flexibles de banda trapecial se utilizará el método establecido por la marca PIRELLI. Éste proceso se detalla a continuación.

Los datos conocidos son: la potencia transmitida (CV), velocidad de giro del motriz (rpm) y la velocidad de giro del conducido (rpm). El siguiente esquema cinemático muestra la configuración.

Figura 16. Esquema cinemático de transmisión



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

a. *Relación de transmisión (i)*

$$i = \frac{n_c}{n_m} < 6 \quad (24)$$

Donde;  $n_c$ , velocidad de giro del conducido;  $n_m$ , velocidad de giro del motriz.

b. *Potencia de transmisión ( $P_d$ )*

$$P_d = F_s * P \quad (25)$$

Donde;  $F_s$ , factor de servicio;  $P$ , potencia transmitida.

El factor de servicio se determina de la siguiente tabla de acuerdo al tipo de servicio y relación de transmisión de la banda.

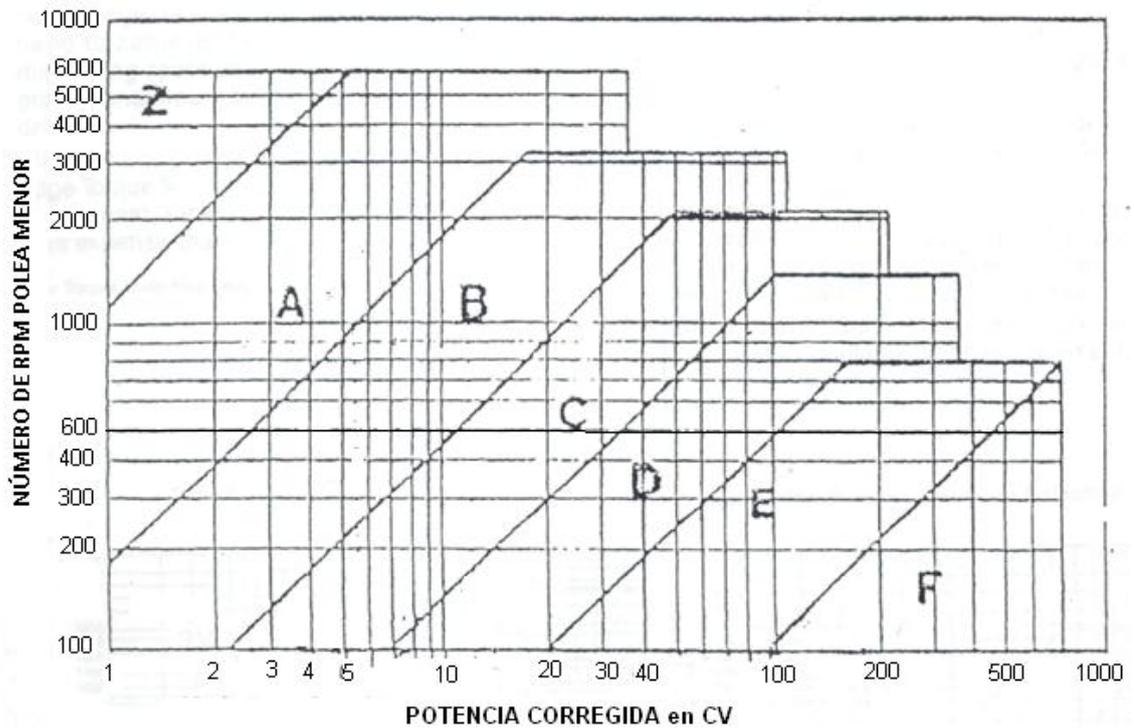
Tabla 4. Corrección de la potencia según condiciones de trabajo

SER.	CONDICIONES DE TRABAJO	M.E.	M.C.I.	
			n > 4	n < 4
Ligero	Servicio intermitente, funcionamiento menor a 8 horas diarias. Ninguna punta de carga.	1	1.1	1.2
Normal	Funcionamiento de 8 a 16 horas por día. Puntas de carga o puesta en marcha menor a 150% del trabajo a plena carga.	1.2	1.3	1.4
Pesado	Puntas de carga < a 150 % del trabajo a plena carga. Servicio continuo de 16 a 24 horas al día.	1.4	1.5	1.6
Muy pesado	Puntas de carga mayores a 250 % del trabajo a plena carga. Funcionamiento continuo.	1.3	1.3	2

Fuente: Catálogo de bandas trapecial PIRELLI

c. *Tipo de banda.* Según la gráfica propuesta por el manual de la marca PIRELLI, se determina el tipo de banda que se recomienda usar.

Figura 17. Elección de la sección de la banda



Fuente: Catálogo de bandas trapezoidal PIRELLI

- d. *Selección de diámetros de las poleas.* Se establece el diámetro de la polea motriz. El diámetro de la polea conducida será:

$$D = d * i \quad (26)$$

Donde;  $d$ , diámetro de la polea motriz;  $D$ , diámetro de la polea conducida.

Tabla 5. Diámetro primitivo mínimo en función del ángulo de la garganta

Z	A	B	C	D	E	F	Angulo Garganta
≥ 90	≥ 125	≥ 200	≥ 300	≥ 500	≥ 630	≥ 750	38
-	-	-	200 - 280	355 - 475	500 - 600	670 - 710	36
50 - 80	75 - 118	125 - 190	-	-	-	-	34

Fuente: Catálogo de bandas trapezoidal PIRELLI

- e. *Distancia entre centros (l)*

$$l \geq \frac{(i+1)d}{2} + d \quad \text{si } i \leq 3 \quad (27)$$

$$I \leq D \leq 900 \text{ mm} \quad \text{si } i > 3 \quad (28)$$

f. Longitud de la banda (L)

$$L = 2I + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4I} \quad (29)$$

g. Longitud nominal recomendada de la banda (L'). De acuerdo al tipo de banda se selecciona la del catálogo la que más se aproxime a la longitud determinada anteriormente.

h. Corrección de la distancia entre centros (I<sub>REAL</sub>)

$$I_{real} = I \pm \frac{L'-L}{2} \quad \text{si } L' > L, \text{ entonces } + \quad (30)$$

i. Ángulo de contacto (β)

$$\beta = 180^\circ - 2 * \arcsen\left(\frac{D-d}{2c}\right) \quad (31)$$

j. Potencia transmisible por banda (P<sub>a</sub>)

$$P_a = (P_b + P_d)C_j C_L \quad (32)$$

Donde; todos los parámetros mencionados se obtienen de tablas dadas en el manual de PIRELLI.

Tabla 6. Factor de corrección para arcos inferiores a 180° (D<sub>j</sub>)

Arco de contacto sobre la polea Motriz (°)	Transmisión Trapecial- Trapecial	Transmisión Trapecial- Plana
180	1	0.75
175	0.99	0.76
170	0.98	0.77
165	0.96	0.79
160	0.95	0.8
155	0.93	0.81
150	0.92	0.82

Tabla 6. (Continuación)

<b>Arco de contacto sobre la polea Motriz (°)</b>	<b>Transmisión Trapecial- Trapecial</b>	<b>Transmisión Trapecial- Plana</b>
145	0.9	0.83
140	0.89	0.84
135	0.87	0.85
130	0.88	0.86
125	0.84	0.84
120	0.82	0.82
115	0.8	0.8
110	0.78	0.78
105	0.76	0.76
100	0.74	0.74
90	0.69	0.69

Fuente: Catálogo de bandas trapecial PIRELLI

Tabla 7. Factor de corrección en función del tipo de correa ( $C_L$ )

	<b>Z</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>16</b>	0.8						
<b>24</b>	0.83						
<b>28</b>	0.88	0.82					
<b>35</b>	0.92	0.87	0.81				
<b>42</b>	0.95	0.9	0.85				
<b>48</b>	0.98	0.93	0.88				
<b>53</b>	1	0.95	0.9	0.8			
<b>66</b>		1	0.94	0.84			
<b>75</b>		1.02	0.97	0.87			
<b>81</b>		1.04	0.98	0.89			
<b>90</b>		1.06	1	0.91			
<b>105</b>		1.1	1.04	0.94			
<b>128</b>		1.14	1.08	0.98	0.87		
<b>144</b>		1.17	1.11	1	0.9		
<b>180</b>		1.23	1.16	1.05	0.94	0.91	
<b>240</b>			1.22	1.11	1	0.96	0.87
<b>330</b>			1.28	1.19	1.07	1.03	0.97
<b>420</b>				1.24	1.12	1.09	1.03
<b>540</b>					1.18	1.14	1.06
<b>720</b>					1.24	1.21	1.09

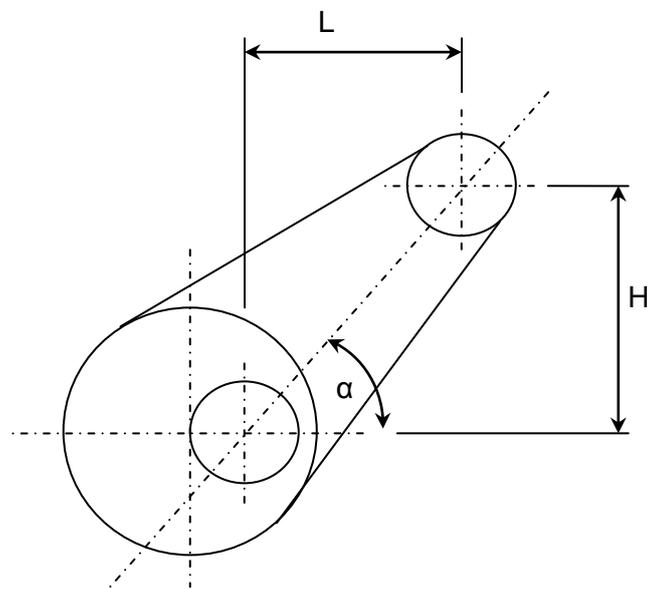
Fuente: Catálogo de bandas trapecial PIRELLI

k. Número de bandas ( $N$ )

$$N = \frac{P_c}{P_a} \quad (33)$$

**2.2.2.9 Mecanismo de vibración de la zaranda.** El mecanismo de biela excéntrica se utiliza ampliamente en la separación de las semillas de su cáscara.

Figura 18. Mecanismo de biela excéntrica



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz.

Para determinar la amplitud alcanzada por la semilla en un instante dado, a una velocidad de giro dadas.

$$A = L + \frac{r_{exc}}{4L} + r_{exc} \left( \cos wt + \frac{r_{exc}}{4L} \cos 2wt \right) \quad (34)$$

La velocidad;

$$V = -r_{exc} * w \left( \text{sen } wt + \frac{r_{exc}}{2L} \text{sen } 2wt \right) \quad (35)$$

La aceleración;

$$J = -r_{exc} * w^2 \left( \cos wt + \frac{r_{exc}}{L} \cos 2wt \right) \quad (36)$$

Considerando una semilla que cae a la zaranda, entonces el mecanismo provocará que la semilla ascienda y al momento de bajar tienda a separarse de la zaranda. Entonces la fuerza ejercida para el ascenso de la semilla viene dado por;

$$P_s = P_{sm} + \frac{P_{sm}}{g} (J * \text{sen } \alpha) \quad (37)$$

Donde;  $P_s$ , fuerza ascendente actuante en la semilla;  $P_{sm}$ , peso de la semilla de alfalfa;  $\alpha$ , ángulo.

Se afirma que la semilla no se separa de la zaranda, por ende;

$$F_1 = \mu P_s \quad (38)$$

La fuerza de avance de la semilla sobre la zaranda viene dado por:

$$F_2 = \frac{P_{sm}}{g} J * \cos \alpha \quad (39)$$

El equilibrio se da cuando las fuerzas tanto vertical como horizontal se igualan, por lo tanto;

$$\left[ P_{sm} + \frac{P_{sm}}{g} (J * \text{sen } \alpha) \right] * \mu = \frac{P_{sm}}{g} J * \cos \alpha \quad (40)$$

Despejando  $J$ , se tiene;

$$J = \frac{g}{\frac{\cos \alpha}{\mu} - \text{sen } \alpha} \quad (41)$$

Entonces; la aceleración de la semilla en cualquiera de sus direcciones no debe superar el valor determinado por ecuación anterior.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{H}{L}\right) \quad (42)$$

**2.2.2.10 Selección de chumaceras.** Las chumaceras se utilizan en los apoyos de los ejes permitiendo que los mismos giren manteniendo su posición. Para seleccionar el tipo de chumacera se utilizará el método establecido por la marca DODGE. Éste proceso se detalla a continuación.

Los datos conocidos son: la fuerza radial y axial en los apoyos, el diámetro del eje y la restricción de flexión a lo largo del eje.

Con los parámetros anteriores se selecciona una chumacera que cumpla con los requerimientos planteados. Posteriormente se determina la cantidad de horas de uso de la chumacera hasta que la misma deba ser reemplazada.

Para determinar la vida útil de una chumacera se utiliza la siguiente relación:

$$L_{vida} = \left(\frac{C}{P}\right) * \frac{1667}{N} \quad (43)$$

Donde;  $L_{vida}$ , vida útil (horas);  $C$ , capacidad dinámica;  $P$ , carga radial equivalente;  $N$ , velocidad de giro (rpm).

Por lo tanto, la carga radial equivalente viene dado por;

$$P = (X * F_n) + (Y * F_A) \quad (44)$$

Donde;  $X$ , factor de la carga radial;  $F_n$ , carga radial;  $F_A$ , carga radial perpendicular;  $Y$ , factor de carga radial perpendicular.

Los factores de carga radial se describen en la siguiente tabla.

Tabla 8. Factores de carga radial

$F_A C_e$	$e$	Radial/Thrust Factors			
		If $F_R/F_A$ is equal to or less than $e$		If $F_R/F_A$ is greater than $e$	
		$F_R/F_A \leq e$		$F_R/F_A > e$	
		X	Y	X	Y
.014	.19	1	0	0.56	2.30
.021	.21	1	0	0.56	2.15
.028	.22	1	0	0.56	1.99
.042	.24	1	0	0.56	1.85
.056	.26	1	0	0.56	1.71
.070	.27	1	0	0.56	1.63
.084	.28	1	0	0.56	1.55
.110	.30	1	0	0.56	1.45
.170	.34	1	0	0.56	1.31
.280	.38	1	0	0.56	1.15
.420	.42	1	0	0.56	1.04
.560	.44	1	0	0.56	1.00

Fuente: Catálogo de chumaceras DODGE

La capacidad dinámica de una chumacera se la puede estimar de la siguiente tabla.

Tabla 9. Capacidad de carga de chumaceras DODGE

RING SIZE	SHAFT SIZE	DYNAMIC CAPACITY C, N	STATIC CAPACITY CO, N	L10 LIFE HOURS	ALLOWABLE EQUIVALENT RADIAL LOAD RATINGS (N) AT VARIOUS RPM*																			
					50	150	250	500	750	1000	1500	1750	2000	2500	3000	3500	4500	5000	5500	7500	9500	11000	12000	
204	20mm	12895	6183	20000	3292	2291	1935	1535	1334	1223	1068	1001	956	890	845	801	734	712	689	623	574	547	529	
				30000	2869	2002	1690	1334	1156	1068	934	890	845	778	734	689	645	623	600	534	503	476	463	
				40000	2624	1824	1535	1223	1068	956	845	801	756	712	667	645	578	556	556	489	454	431	423	
				60000	2291	1579	1334	1068	934	845	734	689	667	623	578	556	512	489	467	423	396	378	369	
				100000	1935	1334	1134	890	778	712	623	578	556	512	489	467	400	423	400	356	334	320	311	
205	25mm	13993	6961	20000	3581	2491	2091	1688	1446	1312	1156	1090	1045	979	912	867	801	778	756	667	622	592	574	
				30000	3136	2157	1824	1446	1268	1156	1001	956	912	845	801	756	689	667	645	578	542	516	503	
				40000	2847	1979	1668	1312	1156	1045	912	867	823	778	734	689	623	600	600	534	494	472	458	
				60000	2491	1712	1446	1156	1001	912	801	756	734	667	623	600	556	534	512	467	431	409	400	
				100000	2091	1446	1223	979	845	778	667	645	600	556	534	512	467	445	445	400	365	347	338	
206	30mm	19429	10008	20000	4960	3447	2913	2313	2024	1824	1601	1512	1446	1357	1268	1201	1112	1068	1045	934	862	823		
				30000	4337	3002	2535	2024	1757	1601	1401	1334	1268	1179	1112	1045	979	934	912	814	756	716		
				40000	3936	2736	2313	1824	1601	1446	1268	1201	1156	1068	1001	956	890	845	823	743	685	654		
				60000	3447	2380	2024	1601	1401	1268	1112	1045	1001	934	890	845	778	734	712	649	600	569		
				100000	2913	2024	1690	1357	1179	1068	934	890	845	778	734	712	645	623	600	547	503	480		
207	35mm	25616	13633	20000	6561	4537	3825	3047	2647	2424	2113	2002	1913	1779	1668	1579	1468	1401	1357	1232	1139			
				30000	5716	3959	3358	2647	2313	2113	1846	1757	1668	1557	1468	1379	1268	1223	1201	1076	996			
				40000	5204	3603	3047	2424	2113	1913	1668	1579	1512	1401	1334	1268	1156	1112	1090	978	903			
				60000	4537	3158	2647	2113	1846	1668	1468	1379	1334	1223	1156	1112	1023	979	956	854	787			
				100000	3825	2647	2246	1779	1557	1401	1223	1179	1112	1045	979	934	845	823	801	720	667			
208	40mm	32613	17814	20000	8340	5782	4871	3870	3380	3069	2691	2558	2446	2268	2135	2024	1868	1801	1744	1565				
				30000	7295	5048	4270	3380	2958	2691	2335	2224	2135	1979	1868	1779	1624	1579	1521	1370				
				40000	6628	4581	3870	3069	2691	2446	2135	2024	1935	1801	1690	1601	1468	1423	1378	1245				
				60000	5782	4003	3380	2691	2335	2135	1868	1779	1690	1579	1468	1401	1290	1245	1201	1085				
				100000	4871	3380	2847	2268	1979	1801	1579	1490	1423	1334	1245	1179	1090	1045	1018	916				
209	45mm	35099	19794	20000	8985	6227	5249	4159	3647	3314	2891	2736	2624	2446	2291	2180	2002	1935	1868	1686				
				30000	7851	5449	4581	3647	3180	2891	2535	2402	2291	2135	2002	1913	1757	1690	1632	1472				
				40000	7117	4937	4159	3314	2891	2624	2291	2180	2091	1935	1824	1735	1601	1535	1486	1339				
				60000	6227	4315	3647	2891	2535	2291	2002	1913	1824	1690	1601	1512	1379	1334	1299	1170				
				100000	5249	3647	3169	2446	2135	1935	1690	1601	1535	1423	1334	1268	1179	1134	1099	988				
210	50mm	35099	19794	20000	8985	6227	5249	4159	3647	3314	2891	2736	2624	2446	2291	2180	2002	1931	1868					
				30000	7851	5449	4581	3647	3180	2891	2535	2402	2291	2135	2002	1913	1757	1686	1632					
				40000	7117	4937	4159	3314	2891	2624	2291	2180	2091	1935	1824	1735	1601	1535	1486					
				60000	6227	4315	3647	2891	2535	2291	2002	1913	1824	1690	1601	1512	1379	1339	1299					
				100000	5249	3647	3069	2446	2135	1935	1690	1601	1535	1423	1334	1268	1179	1130	1099					

Fuente: Catálogo de chumaceras DODGE

**2.2.2.11 Tamaño de la zaranda.** Para separar las semillas de los desperdicios se utilizan zarandas, las cuales se seleccionan de acuerdo a la anchura y espesor máximo de la semilla.

Se utilizan por lo general cuatro zarandas clasificadoras para asegurar una alta eficiencia. Sin embargo, se pueden utilizar dos zarandas.

La primera zaranda con perforaciones circulares debe ser entre uno y dos milímetros más grande que el largo máximo permitido.

Para determinar el tamaño de las cribas o zarandas se utiliza la siguiente expresión:

$$A_{zaranda} = \frac{U}{A*B*C*D*E*F*G*H*J} \quad (45)$$

Donde;  $A_{zaranda}$ , área de la zaranda (pie<sup>2</sup>),  $U$ , cantidad de alimento (STPH),  $A$ , capacidad básica;  $B$ , factor de gran tamaño;  $C$ , porcentaje de material muy grande para la apertura;  $D$ , ubicación de la pantalla;  $E$ , tamizado en húmedo;  $F$ , peso del material;  $G$ , zona de superficie de la zaranda abierta;  $H$ , forma de la apertura;  $J$ , eficiencia.

A continuación se establecen cada uno de los factores que intervienen en la expresión:

*A. Cantidad de alimento*

$$U = \frac{P_{hora}}{1000} * 1.10231 \quad [STPH] \quad (46)$$

*B. Capacidad básica.* Determina la cantidad de semillas limpias por cada unidad de superficie. De acuerdo con el tamaño máximo de la semilla, de la siguiente tabla se obtiene la capacidad básica.

Tabla 10. Factor de capacidad básica de la zaranda

Malla de apertura cuadrada	% de área abierta	STPH que pasa por pie cuadrado
4"	75%	7.69
3-1/2"	77%	7.03
3"	74%	6.17
2-3/4"	74%	5.85
2-1/2"	72%	5.52
2"	71%	4.9
1-3/4"	68%	4.51
1-1/2"	69%	4.2
1-1/4"	66%	3.89
1"	64%	3.56
7/8"	63%	3.38
3/4"	61%	3.08
5/8"	59%	2.82
1/2"	54%	2.47
3/8"	51%	2.08
1/4"	46%	1.6
3/16"	45%	1.27
1/8"	40%	0.95
3/32"	45%	0.76
1/16"	37%	0.58
1/32"	41%	0.39

Fuente: Dimensionamiento de zarandas

C. *Factor de gran tamaño.* Este factor permite determinar la cantidad de material que pasará a través de la zaranda. Se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 11. Factor de gran tamaño de la zaranda

% De tamaños retenidos	Factor "B"
5%	1.21
10%	1.13
15%	1.08
20%	1.02
25%	1
30%	0.96
35%	0.92
40%	0.88
45%	0.84

Tabla 11. (Continuación)

<b>% De tamaños retenidos</b>	<b>Factor "B"</b>
50%	0.79
55%	0.75
60%	0.70
65%	0.66
70%	0.62
75%	0.58
80%	0.53
85%	0.5
90%	0.46
95%	0.33

Fuente: Dimensionamiento de zarandas

D. *Porcentaje de material muy grande para la apertura.* Determina la cantidad de material muy grande que no pasará por la malla o plancha perforada. Se lo obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 12. Factor de porcentaje de material muy grande para la apertura

<b>% Halfsize</b>	<b>Factor "C"</b>
0%	0.40
5%	0.45
10%	0.50
15%	0.55
20%	0.60
25%	0.70
30%	0.80
35%	0.90
40%	1.00
45%	1.10
50%	1.20
55%	1.30
60%	1.40
65%	1.55
70%	1.70
75%	1.85
80%	2.00
85%	2.20
90%	2.40

Fuente: Dimensionamiento de zarandas

E. *Ubicación de la pantalla.* Con este parámetro se asegura dónde será ubicada la pantalla o malla.

Tabla 13. Factor de ubicación de la pantalla de la zaranda

Cubierta	Factor "D"
Superior	1.0
Segundo	0.9
Tercera	0.8

Fuente: Dimensionamiento de zarandas

F. *Tamizado húmedo.* Este factor se aplica cuando se pulveriza agua sobre el material que se mueve sobre la cubierta de detección. El factor se determina de la siguiente tabla.

Tabla 14. Factor de tamizado húmedo de la zaranda

Apertura	1/32"	1/16"	1/8"	3/16"	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Factor "E"	1	1.25	2	2.5	2	1.75	1.4	1.3	1.25

Fuente: Dimensionamiento de zarandas

G. *Peso del material.* Este factor se aplica cuando la densidad aparente del material es diferente a 100 lb/ft<sup>3</sup>. En la tabla se muestra el factor de corrección por peso.

Tabla 15. Factor por peso del material

Lbs / pie <sup>3</sup>	150	125	100	90	80	75	70	60	50	40	30
Factor "F"	1.50	1.25	1.00	0.90	0.80	0.75	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30

Fuente: Dimensionamiento de zarandas

H. *Zona de superficie de la zaranda abierta.* Se aplica cuando el área libre de la superficie de proyección es menor que el área abierta se muestra en el factor "A" tabla de capacidad. Se obtiene de catálogos o de la relación empírica:

$$G = \frac{\text{Área abierta de la malla}}{\text{Área total}} \quad (47)$$

- I. *Forma de la apertura.* Se aplica cuando se utilizan aberturas rectangulares. En ranuras o aberturas oblongas pasará más material por metro cuadrado que las mallas cuadradas.

Tabla 16. Factor de forma de la apertura de la zaranda

<b>Forma</b>	Agujeros cuadrados	Ranura de corto (3 a 4 x Ancho)	Ranura larga (más de 4 x Ancho)
<b>Factor "H"</b>	1.00	1.15	1.2

Fuente: Dimensionamiento de zarandas

- J. *Eficiencia.* Se aplica cuando la eficiencia de detección objetivo es inferior al 95%. El factor se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 17. Factor de eficiencia de la zaranda

<b>Objetivo</b>	95%	90%	85%	80%	75%	70%
<b>Factor "J"</b>	1	1.15	1.35	1.5	1.7	1.9

Fuente: Dimensionamiento de zarandas

**2.2.3 Separador por peso.** Los separadores por peso son equipos destinados a separar semillas por diferencia de peso específico. Estos aparatos, cuya construcción es factible a partir de diferentes materiales de disponibilidad local, emplean principios básicos de geometría e hidrodinámica; estableciéndose una diferencia en peso máximo de 10% para el proceso. Consta generalmente de: unidad generadora de viento, unidad de vibración, cámara de separación, carga y descarga de semillas.

**2.2.3.1 Clasificación de los separadores por peso.** Los separadores por peso se clasifican en:

- Mesa gravimétrica
- Separador neumático
- Separador de disco
- Cilindro separador
- Separador de espiral

**2.2.3.2 Separación por peso de semillas.** Para conseguir un producto de calidad con alto porcentaje de germinación se debe separar las semillas muertas del resto. La semilla muerta es más liviana debido a que perdido aceites esenciales. Por ello, para separarlas se utiliza una corriente de aire generada por un ventilador que las eleva y rechaza del resto de semillas.

Para determinar la cantidad de aire necesaria para elevar las semillas muertas se utiliza la siguiente expresión:

$$V_{semilla} = \frac{P_{hora}}{\delta_{semilla}} \quad (48)$$

Donde;  $P_{hora}$ , es la cantidad de semillas a procesar durante una hora;  $V_{semilla}$ , flujo de aire para rechazar las semillas muertas.

**2.2.3.3 Fuerza para elevar semillas [17].** La primera ley de Newton manifiesta que la suma de fuerzas actuantes sobre un cuerpo es igual a cero. En los separadores por peso, se utiliza para determinar qué cantidad de fuerza se requiere para elevar las semillas muertas.



Se deduce que;

$$\sum F_y = F - W = 0 \quad (49)$$

Donde;  $F$ , fuerza necesaria para elevar una semilla;  $W$ , peso de una semilla

$$F = P_{muerta} * g \quad (50)$$

Donde;  $P_{muerta}$ , masa de la semilla muerta;  $g$ , gravedad.

**2.2.3.4 Área transversal del ducto.** Para hallar las dimensiones de la sección transversal del ducto se aplica la ecuación de la continuidad;

$$Q = A_t * V \quad (51)$$

Donde; Q, caudal de aire;  $A_t$ , área transversal del ducto; V, velocidad de ascenso de la semilla.

**2.2.3.5 Peso de las semillas sin poder germinativo.** El INIAP, según investigaciones realizadas afirma que una semilla muerta posee un peso 10% inferior al de una semilla vigorosa.

$$P_{muerta} = \%_{muertas} * P_{hora} \quad (52)$$

Donde;  $P_{muerta}$ , cantidad de masa de semillas muertas;  $\%_{muertas}$ , porcentaje de semillas muertas del total procesado.

## CAPÍTULO III

### 3. PROCESO DE DISEÑO [12]

#### 3.1. Definición del problema

Las semillas procesadas en la comunidad de “Pungal Grande”, cantón Guano de la provincia de Chimborazo es de forma manual, lo cual ha originado que el producto obtenido no sea de la calidad que se requiere. El procedimiento utilizado actualmente por la comunidad para la obtención de la semilla es rudimentario y poco técnico ya que se provoca daño mecánico en el producto, disminuyendo así su poder de germinación.

#### 3.2. Declaración de la misión

**3.2.1 Descripción de los equipos.** Los equipos involucrados en el procesamiento de semillas son:

- a) *Secador*: Equipo destinado al secado de semillas bajo cualquier condición climática del lugar. El equipo debe garantizar el secado de la semilla hasta el rango recomendado.
- b) *Descascarador-criadora*: Equipo cuya finalidad es la separación de la semilla de la cuscuta (cáscara). Debe garantizar un porcentaje de descascarado superior al 90% para minimizar el desperdicio. Se debe clasificar las semillas las impurezas luego del descascarado. Se debe garantizar que la separación sea completa.
- c) *Separador por peso*: Equipo que separa semillas muertas de las semillas vivas.

Los equipos deben ser efectivos, eficientes, fáciles de usar y no destructivos.

**3.2.2 Mercado primario.** Sector artesanal del entorno rural a nivel local y nacional dedicado al procesamiento de semillas leguminosas.

**3.2.3 Postulados.** Efectivo, eficiente, fácil de usar y no destructivo

### 3.2.4 *Personas interesadas.* Comunidad "Pungal Grande"

## 3.3 Especificaciones del producto

**3.3.1 *Necesidades del operario.*** La encuesta realizada para obtener la siguiente información tiene como objetivo identificar las necesidades latentes y explícitas de los operarios y conseguir información que justifique los requerimientos de cada uno de los equipos (secador, descascarador, separador por peso).

Tabla 18. Necesidades de los operarios

MANIFESTACIÓN DE LOS OPERARIOS		
OPINIÓN OPERARIO		INTERPRETACIÓN DE LA NECESIDAD
DESEMPEÑO	Que el equipo se opere por una sola persona	El montaje es sencillo y se opera el equipo desde un tablero de mandos
	Que el equipo ocupe un espacio reducido	Para pequeñas producciones
	Que sea de fácil manejo	El mecanismo del equipo es sencillo
	Que la carga y descarga de material sea rápido	Tiene compuertas de carga y descarga
	Que el tiempo de secado sea corto	El tiempo de secado es de 2 horas aproximadamente
SEGURIDAD	Que no represente ningún riesgo al operario	Se opera solo cuando se encuentra todo cerrado
MANTENIMIENTO	Que se consiga fácilmente los repuestos	Fácil consecución y fabricación
	Que sea fácil de limpiar	Fácil limpieza
COSTOS	Que sea económico	Que las piezas se puedan conseguir en un taller mecánico

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

### 3.3.2 *Necesidades del cliente*

#### 3.3.2.1 *Secador*

- ❖ De una gran capacidad.
- ❖ Corto tiempo de secado.
- ❖ Fácil encendido y control de temperatura de secado.

- ❖ Fácil llenado y descargado.
- ❖ Fácil de limpiar.
- ❖ No sea muy costoso.
- ❖ No tenga demasiadas partes móviles.
- ❖ No haya filtración de aire al exterior.
- ❖ Consumo de poco combustible.

### **3.3.2.2** *Descascarador*

- ❖ Gran capacidad de procesamiento.
- ❖ Fácil de operar por una persona.
- ❖ Gran capacidad de almacenado de semillas (requieren un tolva).
- ❖ No provoque daño a la semilla.
- ❖ Altamente eficiente en el proceso de descascarado.
- ❖ Clasifique las semillas de las impurezas.
- ❖ Sea un proceso limpio (se requiere hermeticidad del proceso).
- ❖ Que se utilice electricidad para mover los componentes.
- ❖ No vibre (estructura robusta).
- ❖ Equipo durable y barato.
- ❖ Partes móviles necesarias.

### **3.3.2.3** *Separador por peso específico*

- ❖ Altamente eficiente.
- ❖ Fácil de operar.
- ❖ Equipo durable.
- ❖ No muy costoso.
- ❖ Atractivo para la vista
- ❖ No muy pesado.

## CAPÍTULO IV

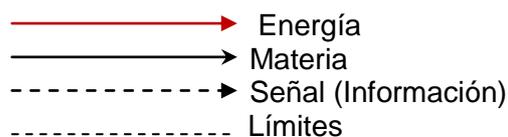
### 4. DISEÑO CONCEPTUAL [13]

#### 4.1 Caja negra

El análisis funcional de los sistemas (secador, descascarador-cribadora, separador por peso) se realizó de una forma deductiva, es decir, se partió de analizar lo general para llegar finalmente a lo particular. La caja negra se basa en el método de diseño propuesto por Nigel Cross.

Las convenciones determinadas que regirán la representación de los sistemas a través de sus estructuras funcionales son:

#### Flujos:



**4.1.1 Secador.** Los flujos que circulan por el sistema son:

**4.1.1.1 Flujos de entrada.** Fuerza humana, semillas húmedas en vaina, combustible, aire, señal ON/OFF.

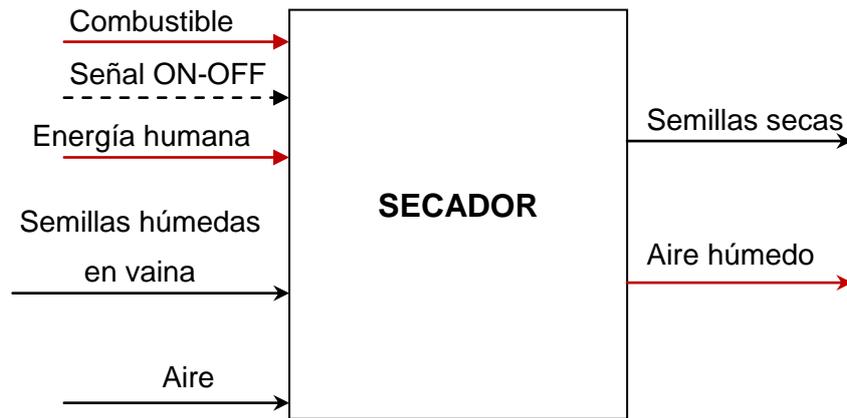
**4.1.1.2 Flujos de salida.** Aire húmedo, semillas secas en vaina.

**4.1.1.3 Función principal.** Secar

**4.1.1.4 Flujo principal.** Conductor

**4.1.1.5 Retroalimentación.** Sistema de control automático

Figura 19. Caja negra de secador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

4.1.2 *Descascarador*. Los flujos que circulan por el sistema son:

4.1.2.1 *Flujos de entrada*. Semillas secas en vaina, fuerza humana, energía eléctrica.

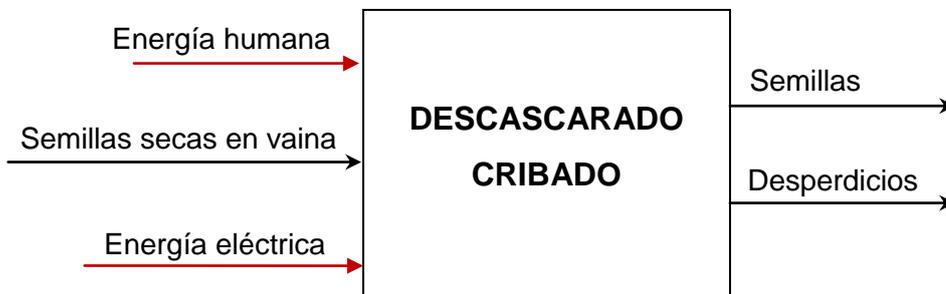
4.1.2.2 *Flujos de salida*. Desperdicios, semillas.

4.1.2.3 *Función principal*. Descascarado – cribado.

4.1.2.4 *Flujo principal*. Conductor

4.1.2.5 *Retroalimentación*. Manual

Figura 20. Caja negra para el descascarador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.1.3 Separador por peso específico.** Los flujos que circulan por el sistema son:

**4.1.3.1 Flujos de entrada.** Semillas, energía eléctrica, aire.

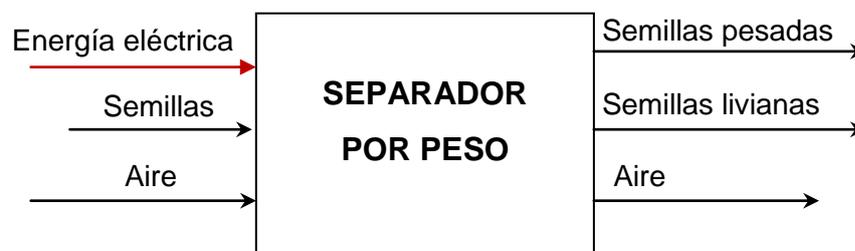
**4.1.3.2 Flujos de salida.** Semillas pesadas, semillas livianas, aire.

**4.1.3.3 Función principal.** Clasificar

**4.1.3.4 Flujo principal.** Conductor

**4.1.3.5 Retroalimentación.** No existe.

Figura 21. Caja negra del separador por peso específico



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

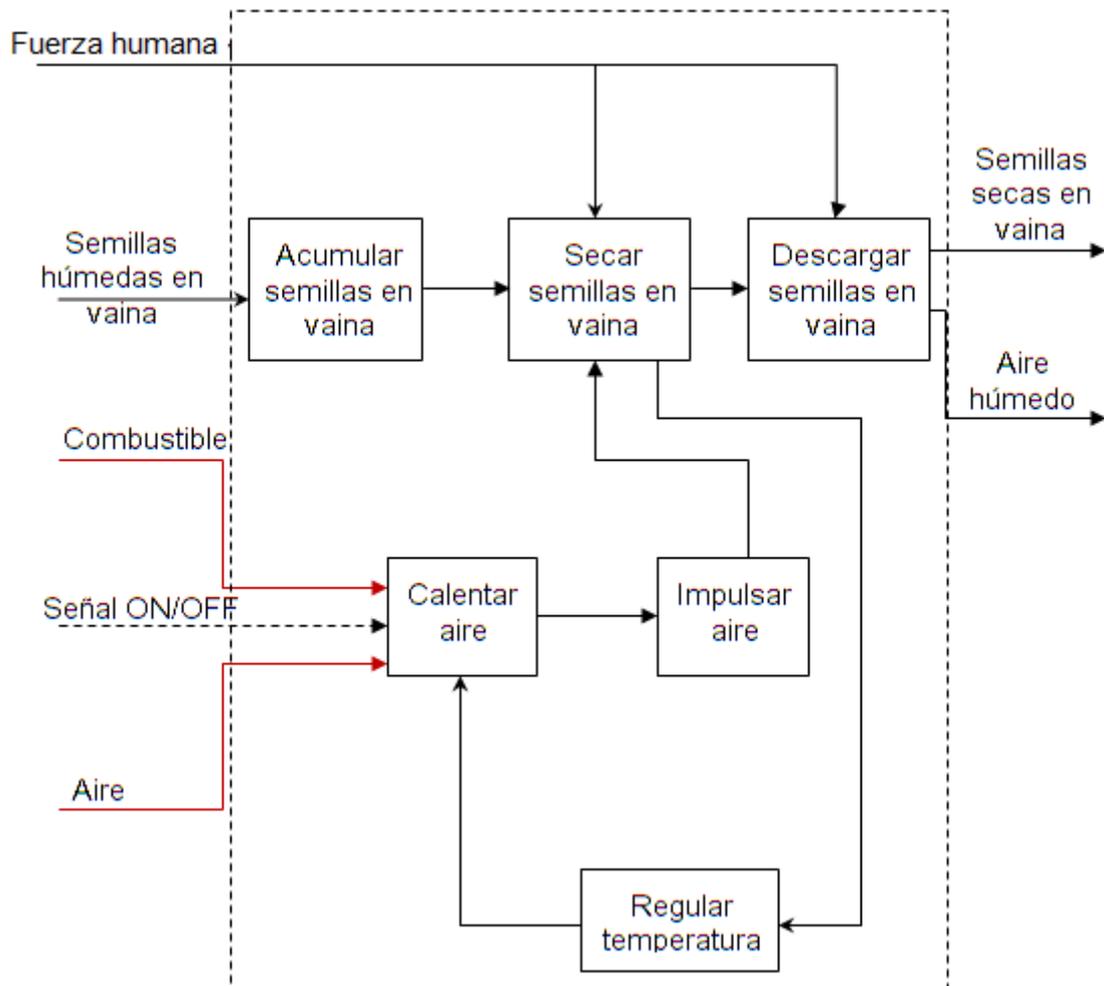
## 4.2 Estructura funcional

Para el desarrollo de este punto se analizó a profundidad el sistema (secador, descascarador-cribadora, separador por peso) por medio de la determinación de las secuencias y/o procesos. Esto a través del árbol de funciones, dónde se determinaron las funciones secundarias y los enlaces que hacen posible el desempeño de cada subsistema.

El árbol funcional permite clarificar de mejor manera a lo que se desea llegar y condicionar solo las posibles soluciones que realmente cumplen con el objetivo general.

#### 4.2.1 Secador

Figura 22. Estructura funcional del secador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

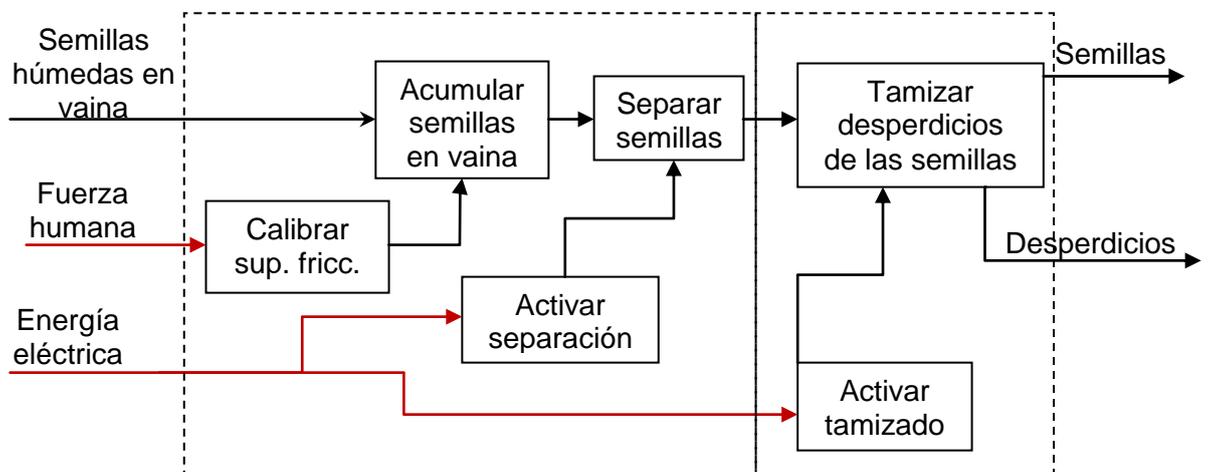
##### 4.2.1.1 Funciones de la estructura funcional del secador

- Acumular semillas en vaina.* Esta función le corresponde a la forma de proveer material al interior del secador.
- Secar semillas en vaina.* Esta función le corresponde al lugar dónde se realiza el secado (cámara de secado). Dicha cámara tiene dos entradas: de material y de aire seco.

- c. *Descargar semillas en vaina.* Esta función le corresponde al dispositivo o equipo en el que se va a recoger el material “seco”.
- d. *Calentar aire.* Esta función le corresponde a un dispositivo calentador de aire. Este dispositivo cuenta con un sistema de control de temperatura para evitar que éste parámetro sobrepase el valor deseado.
- e. *Impulsar aire.* Esta función le corresponde a un dispositivo capaz de generar una corriente de aire continua. El ventilador debe tener un control de caudal de aire para fijar valores para diferentes capacidades de carga.
- f. *Regular temperatura.* Esta función le corresponde a un controlador de temperatura que controla y regula este parámetro hasta el valor deseado.

#### 4.2.2 Descascarador

Figura 23. Estructura funcional del descascarador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

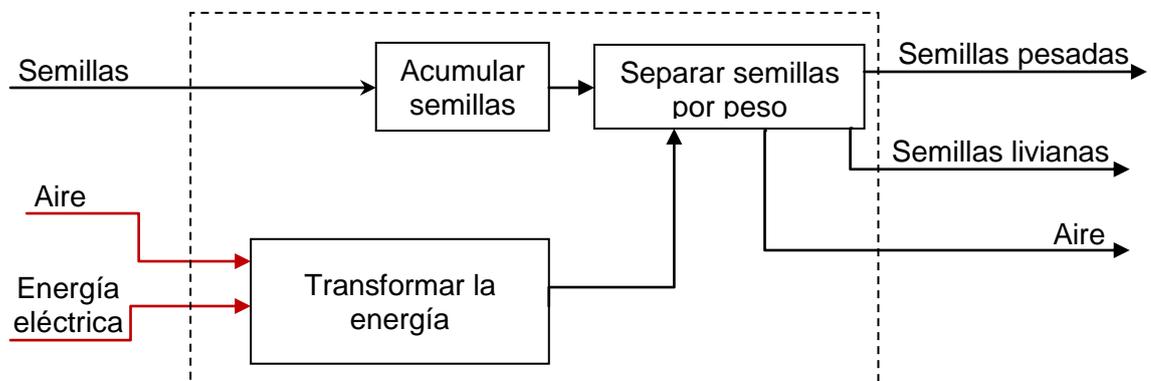
##### 4.2.2.1 Funciones de la estructura funcional del descascarador

- a. *Acumular semillas.* Esta función le corresponde a la forma de proveer material al interior a la unidad de trilla.

- b. *Separar semilla de la vaina.* Esta función le corresponde al proceso de descascarado del material de alfalfa.
- c. *Tamizar desperdicios de las semillas.* Esta función le corresponde al proceso de separación de las semillas de su cuscuta.
- d. *Descargar semillas.* Esta función le corresponde a la forma de descargar el material tanto desperdicios como las semillas.
- e. *Calibrar superficies friccionantes.* Esta función le corresponde a un dispositivo capaz de regular la abertura entre superficies, con el fin de ampliar el uso de la máquina a otros productos.
- f. *Activar separación.* Esta función le corresponde a un generador de movimiento (motor), el cual provee el torque necesario a un número determinado de revoluciones.
- g. *Activar tamizado.* Esta función le corresponde a un generador de movimiento (motor), el mismo que mediante un sistema de transmisión activa la rotación de un mecanismo de vibración.

#### 4.2.3 Separador por peso específico

Figura 24. Estructura funcional separador por peso



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 4.2.3.1 Funciones de la estructura funcional del separador por peso específico

- a. *Acumular semillas.* Esta función le corresponde a la forma de suministrar el material en la tolva del separador por peso específico.
- b. *Separar semillas por peso.* Esta función le corresponde al proceso de separado de semillas, aplicando un medio de separación.
- c. *Descargar semillas.* Esta función le corresponde a la forma en la que la semilla luego del proceso es almacenada.
- d. *Transformar energía.* Esta función le corresponde a un dispositivo capaz de generar una corriente de aire como medio de separación para las semillas.

### 4.3 Generación de alternativas

A partir de la estructura funcional explicada anteriormente, se asigna a cada función diferentes alternativas de solución, a esto se le denomina matriz morfológica.

### 4.4 Diagrama morfológico

El diagrama morfológico se elabora a partir de las funciones de la estructura funcional de cada uno de los equipos. Dicha lista no debe ser muy extensa y abarca las características más relevantes de los equipos establecidas al mismo nivel de generalidad.

Se diseñaran tres rutas de solución, denominadas de la siguiente manera:

- Ruta solución 1
- Ruta solución 2
- Ruta solución 3

Las rutas de solución representan una combinación de alternativas que generan un concepto solución coherente. Del mismo modo, ninguna de las rutas posee la mejor

alternativa parcial de cada función, sino diferentes alternativas que hacen al proceso funcional.

#### 4.4.1 Secador

Tabla 19. Matriz morfológica del secador

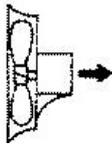
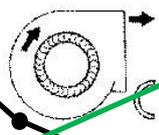
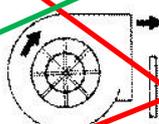
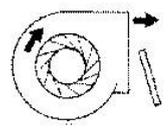
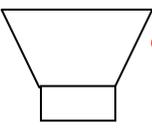
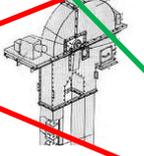
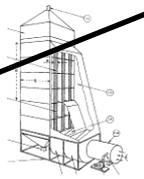
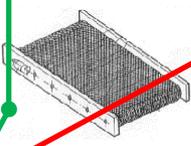
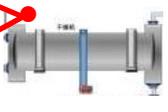
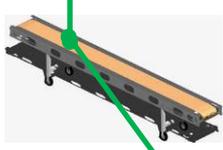
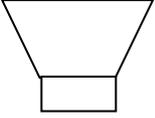
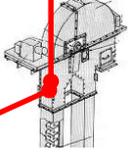
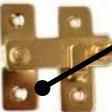
Funciones Parciales	Alternativas			
	1	2	3	4
1. Calentar aire	 Quemador a gas	 Quemador a diesel	 Resistencias eléctricas	 Panel solar
2. Impulsar aire	 Helicoidal	 Aspas hacia adelante	 Palas radiales	 Palas hacia atrás
3. Acumular semillas	 Tolva	 Torre de cangilones	 Banda transportadora	 Costal
4. Secar semillas	 Silo	 Torre de cabinas	 Banda perforada	 Cámara rotatoria
5. Controlar temperatura	 PLC	 Termocupla	 Termómetro	

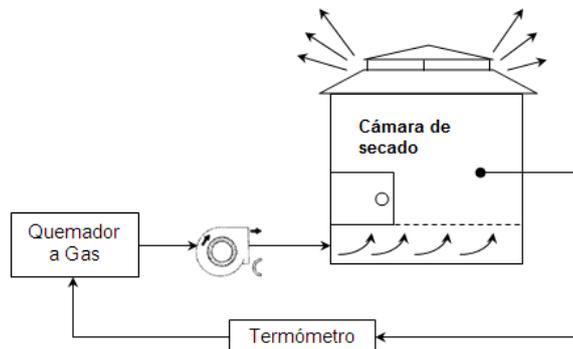
Tabla 19. (Continuación)

Funciones Parciales	Alternativas			
	1	2	3	4
6. Descargar semillas	 <p>Banda transportadora</p>	 <p>Tolva de descarga</p>	 <p>Costal</p>	 <p>Torre de cangilones</p>
6.1. Bloquear compuertas	 <p>Aldaba</p>	 <p>Manija con seguro</p>	 <p>Aldaba recta chica</p>	 <p>Aldaba con doble articulación</p>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.4.1.1 Descripción de la ruta solución 1.** El material es almacenado dentro de la cámara de secado (silo) por medio de costales. Previamente se enciende el quemador a gas, el mismo que calienta el aire. El aire es impulsado por un ventilador de aspas hacia adelante. La temperatura es medida por un termómetro; dicha señal permite la regulación de la temperatura de la llama durante el tiempo de secado. Luego del proceso de secado se abre la compuerta de descarga al desaldabarla permitiendo recoger el material en costales.

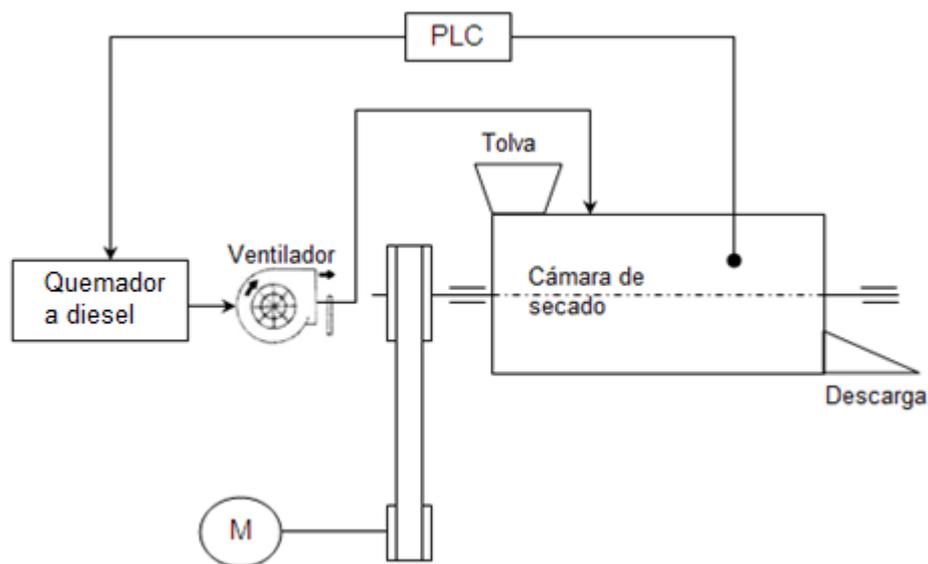
Figura 25. Esquema ruta solución 1 del secador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.4.1.2 Descripción de la ruta solución 2.** El material es almacenado dentro de la cámara de secado (cámara rotativa). Previamente se enciende el quemador a diesel, el mismo que calienta el aire. El aire es impulsado por un ventilador de aspas radiales hacia el interior de cámara rotativa. La temperatura es controlada por un PLC; dicho dispositivo permite la regulación de la temperatura de la llama durante el tiempo de secado. Luego del proceso de secado se abre la compuerta de descarga al desaldabarla (manija con seguro) permitiendo que el material vaya a la torre de canjilones.

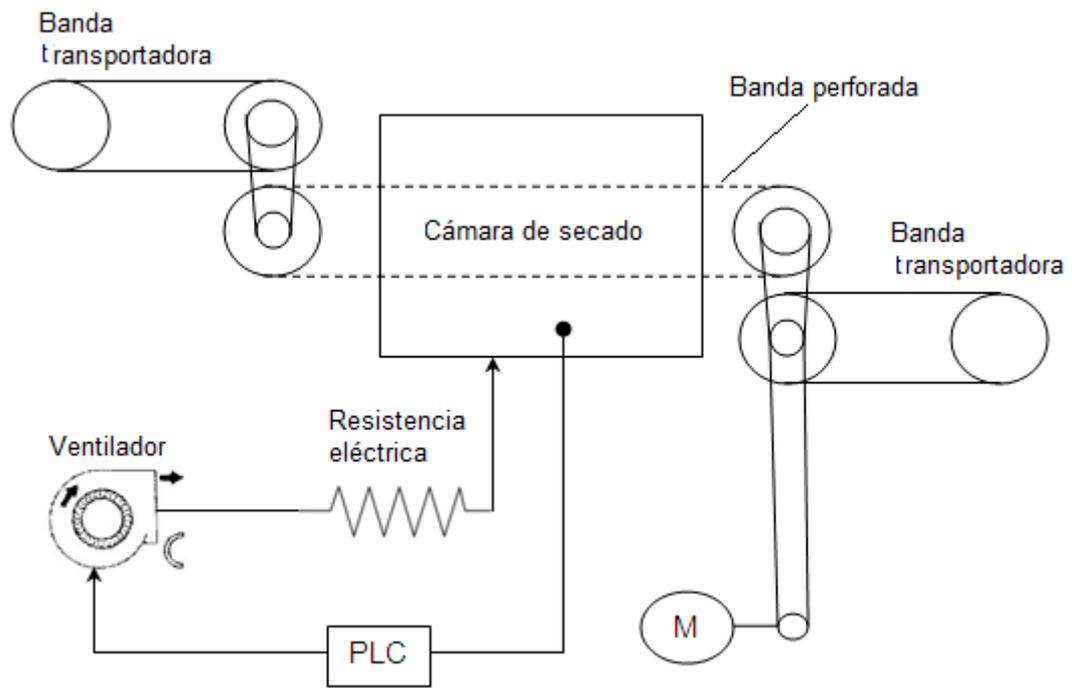
Figura 26. Esquema ruta solución 2 del secador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.4.1.3 Descripción de la ruta solución 3.** El material es transportado (banda transportadora) dentro de la cámara de secado (banda perforada). El aire es impulsado por un ventilador de aspas hacia adelante, dicha corriente de aire es calentada por resistencias eléctricas hacia el interior de cámara rotativa. La temperatura es medida por una termocupla; dicho señal permite la regulación de la temperatura de la llama durante el tiempo de secado. Luego del proceso de secado se abre la compuerta de descarga al desaldabarla (manija con seguro) permitiendo que el material vaya a la banda transportadora.

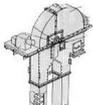
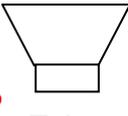
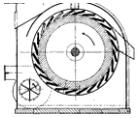
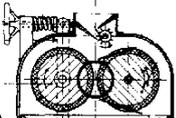
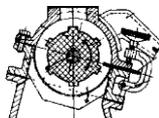
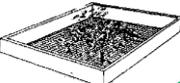
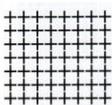
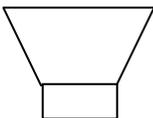
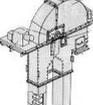
Figura 27. Esquema ruta solución 3 del secador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 4.4.2 Descascarador

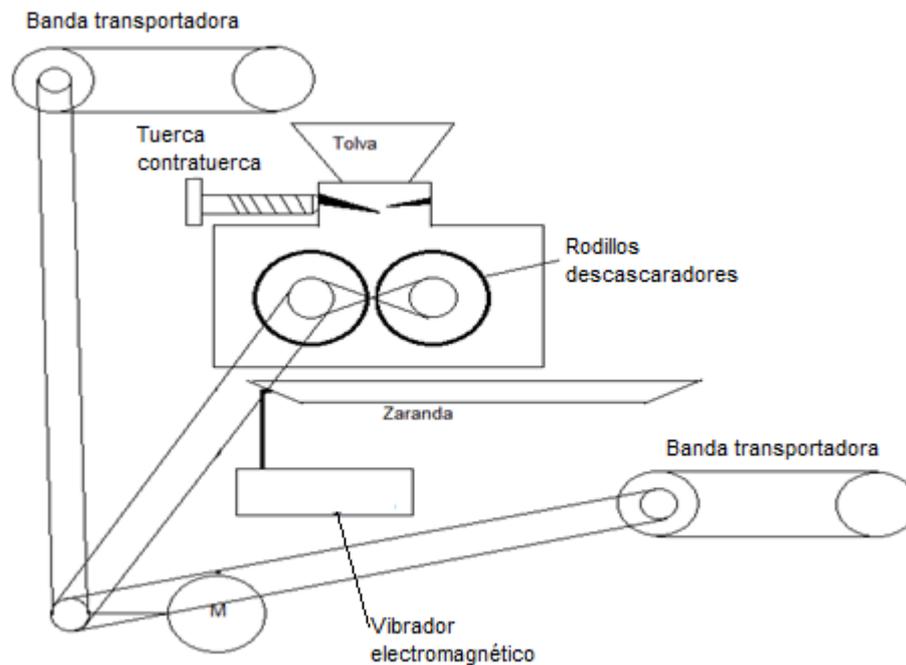
Tabla 20. Matriz morfológica del descascarador

Funciones Parciales	Alternativas			
	1	2	3	4
1. Cargar semillas	 Banda transportadora	 Torre de cangilones	 Costal	 Tolva
2. Descascarado de semillas	 Con rodillo de arre	 Rodillos de caucho	 Pulidora	 Trilladora
3. Tamizado	 Criba		 Tambor de cribado	 Rejilla
4. Calibrado y bloqueo de sup. friccionantes	 Pistón	 Tuerca y contratuerca	 leva	 Trinquete
5. Generar vibraciones	 Leva seguidor		 Vibrador electromagnético	 Biela excéntrica
6. Descarga material	 Tolva	 Torre de cangilones	 Banda transportadora	 Costal

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.4.2.1 Descripción de la ruta solución 1.** El material llega a la pulidora por medio de una banda transportadora, la regulación del calibre es por medio de tuerca y contratuerca. Luego del descascarado el material es direccionado hacia un sistema de cribas, las mismas que son vibradas por un “vibrador” electromagnético. Las semillas limpias caen sobre una banda transportadora, las impurezas son almacenadas como desecho.

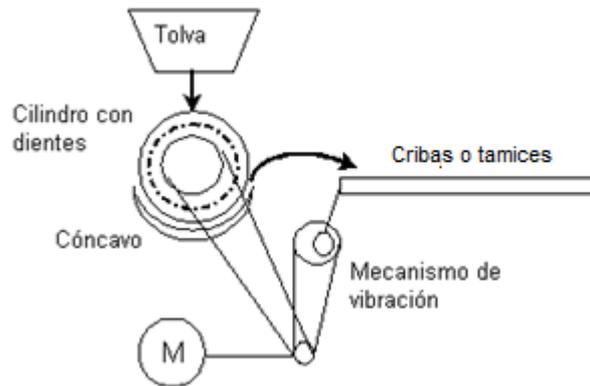
Figura 28. Esquema ruta solución 1 del descascarador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.4.2.2 Descripción de la ruta solución 2.** El material llega a la unidad de trilla por medio de una tolva, la regulación del calibre es por medio de un mecanismo de trinquete movido manualmente. Luego del descascarado el material es direccionado hacia un sistema de cribas, las mismas que son vibradas por un mecanismo de biela excéntrica. Las semillas limpias son almacenadas en sacos o costales.

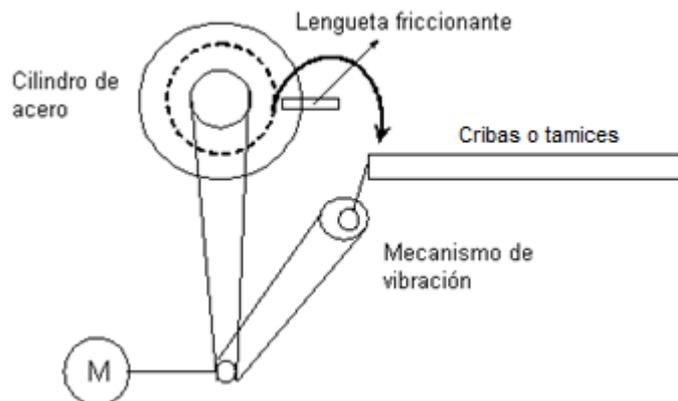
Figura 29. Esquema ruta solución 2 del descascarador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.4.2.3 Descripción de la ruta solución 3.** El material llega a la pulidora por medio de una torre de cangilones, la regulación del calibre es por medio de un tornillo con tuerca y contratuerca accionado manualmente. Luego del descascarado el material es direccionado hacia un sistema de cribas, las mismas que son vibradas por un mecanismo de biela excéntrica. Las semillas limpias son transportadas por una torre de cangilones.

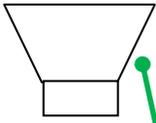
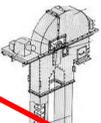
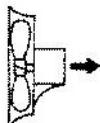
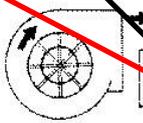
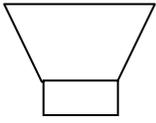
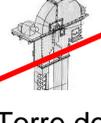
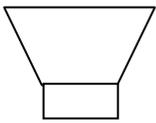
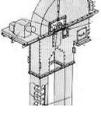
Figura 30. Esquema ruta solución 3 del descascarador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 4.4.3 Separador por peso específico

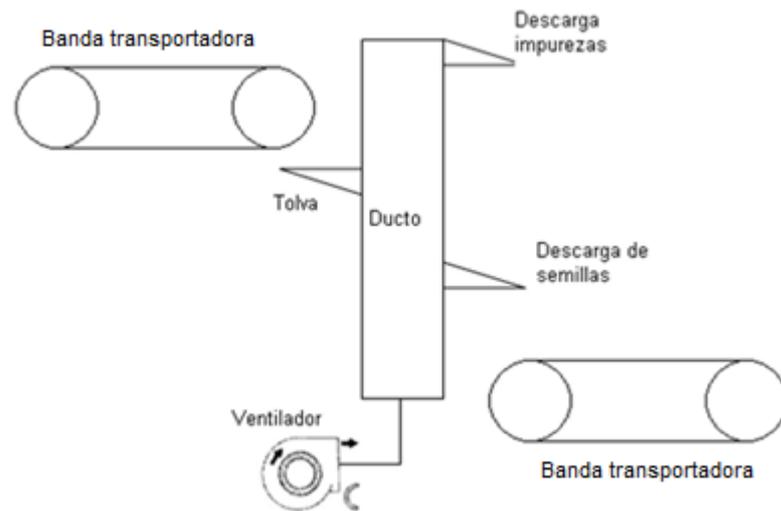
Tabla 21. Matriz morfológica separador por peso

Funciones parciales	Alternativas			
	1	2	3	4
1. Carga semillas	 Tolva	 T. cangilones	 Banda transportadora	 Costal
2. Clasificar semillas	 Helicoidal	 Aspas hacia adelante	 Palas radiales	 Mesa vibratoria
3. Descargar semillas	 Tolva	 Torre de cangilones	 Banda transportadora	 Costal
4. Descargar desechos	 Tolva	 Torre de cangilones	 Banda transportadora	 Costal
5. Transformar energía	 M. eléctrico	 M.C.I		

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.4.3.1 Descripción de la ruta solución 1.** El abastecimiento de material se lo realiza por medio de una banda transportadora. La clasificación de las semillas es por medio de un ventilador de aspas hacia atrás. Luego de la clasificación las semillas con poder de germinación son transportadas por una banda, lo mismo que las semillas muertas. El ventilador es movido por un motor eléctrico.

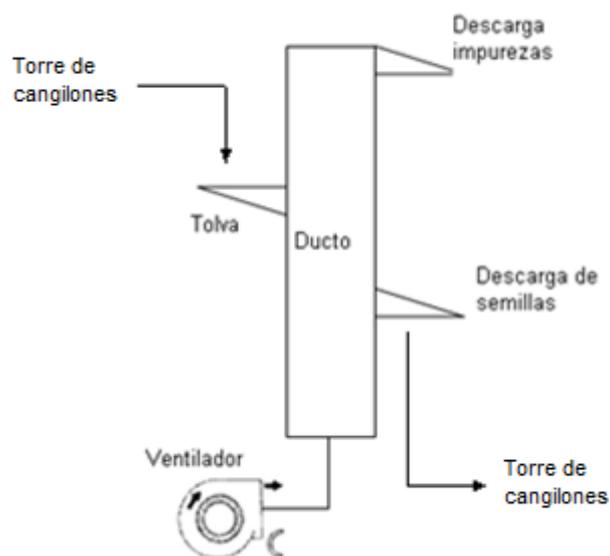
Figura 31. Esquema ruta solución 1 del separador por peso



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.4.3.2 Descripción de la ruta solución 2.** El abastecimiento de material se lo realiza por medio de una torre de cangilones. La clasificación de las semillas es por medio de un ventilador de aspas hacia atrás. Luego de la clasificación las semillas con poder de germinación son transportadas por una torre de cangilones, lo mismo que las semillas muertas. El ventilador es movido por un motor eléctrico.

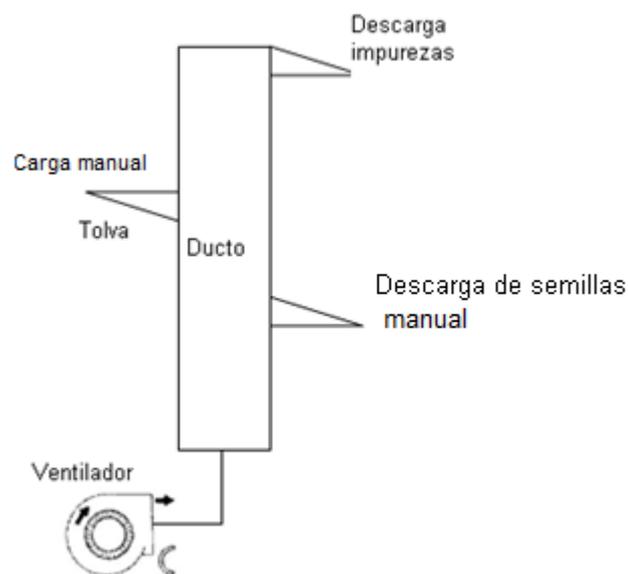
Figura 32. Esquema ruta solución 2 del separador por peso



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.4.3.3 Descripción de la ruta solución 3.** El abastecimiento de material se lo realiza por medio de una tolva. La clasificación de las semillas es por medio de un ventilador de aspas hacia adelante. Luego de la clasificación las semillas con poder de germinación son almacenadas en costales, lo mismo que las semillas muertas. El ventilador es movido por un motor eléctrico.

Figura 33. Esquema ruta solución 3 del separador por peso



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

## 4.5 Metodología de evaluación y resultados

Luego de haber generado la matriz morfológica, se procede a evaluar las alternativas de solución planteadas con el fin de reducir las opciones de solución a uno o dos conceptos más completos del producto, los cuales posteriormente se evaluarán para llegar al concepto solución.

### 4.5.1 Secador

**4.5.1.1 Lista de objetivos.** Teniendo claras las necesidades del cliente y del operario con respecto a las necesidades del secador, se procede a elaborar una lista de objetivos a cumplirse.

Tabla 22. Lista de objetivos secador

Objetivo	Asignación letra
Fácil operar	A
Riesgo al operario	B
Eficiencia	C
Tamaño	D
Durabilidad	E
Fácil limpieza	F
Económico	G
Capacidad	H

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.5.1.2 Ordenar y asignar ponderaciones relativas a los objetivos.** Una vez establecida la lista de objetivos, se procede a ordenarlos de acuerdo al grado de importancia mediante la comparación entre cada uno de los objetivos.

Tabla 23. Ordenado de la lista de objetivos secador

Objetivos	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
<b>A</b>	-	1	0	1	1	1	0	0	4
<b>B</b>	0	-	1	1	0	1	0	1	4
<b>C</b>	1	0	-	1	0	1	0	1	4
<b>D</b>	0	0	0	-	0	0	1	1	2
<b>E</b>	0	1	1	1	-	0	0	0	3
<b>F</b>	0	0	0	1	1	-	0	0	2
<b>G</b>	1	1	1	0	1	1	-	1	6
<b>H</b>	1	0	0	0	1	1	0	-	3

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

En la tabla anterior, se califica de acuerdo al grado de importancia, se compara el objetivo de cada fila con el de la columna guardando la relación, es decir, por ejemplo si **A** es más importante que **B**, ubico 1, en la casilla y en la casilla de **B** con respecto a **A** coloco 0, como se observa. Si los dos objetivos son igual de importantes se ubica ½. En la parte derecha se muestra el grado de importancia obtenido por cada objetivo. Con los datos se calcula el peso relativo de cada uno de los objetivos planteados.

Tabla 24. Cálculo del peso relativo de los objetivos del secador

Objetivos		Nivel	Peso
<b>A</b>	Fácil operar	4	0.14
<b>B</b>	Riesgo al operario	4	0.14
<b>C</b>	Eficiencia	4	0.14
<b>D</b>	Tamaño	2	0.07
<b>E</b>	Durabilidad	3	0.11
<b>F</b>	Fácil limpieza	2	0.07
<b>G</b>	Económico	6	0.21
<b>H</b>	Capacidad	3	0.11
<b>TOTAL:</b>		28	1.00

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Para simplificar el análisis de cada uno de los objetivos, se agrupan los que tienen cierto grado de afinidad o similitud en 5 grupos, y son: desempeño, tamaño, mantenibilidad, costos y seguridad. Por ende, los pesos relativos de estos objetivos se muestran a continuación.

Tabla 25. Peso relativo de objetivos principales

Objetivo principal	Objetivo	Peso	
Desempeño	Fácil operar	0.14	0.29
	Eficiencia	0.14	
Tamaño	Tamaño	0.07	0.18
	Capacidad	0.11	
Mantenibilidad	Durabilidad	0.11	0.18
	Fácil limpieza	0.07	
Costos	Económico	0.21	0.21
Seguridad	Riesgo al operario	0.14	0.14
<b>TOTAL:</b>		1.00	1.00

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**4.5.1.3 Parámetros de rendimiento.** El parámetro de rendimiento está dado en base a los cinco objetivos principales planteados anteriormente. Por ello, se especifica el rango de valores en qué se va a calificar cada uno de los objetivos. Entonces se tiene:

Tabla 26. Escala de rendimiento de tamaño

<b>Puntos</b>	<b>Calificación (lb)</b>	<b>Tamaño</b>
6	≤ 500	Muy liviano
5	750	Poco liviano
4	1000	Peso por debajo del promedio
3	1200	Peso promedio
2	1500	Peso por arriba del promedio
1	1800	Poco pesado
0	≥ 2000	Muy pesado

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 27. Escala de rendimiento económico

<b>Puntos</b>	<b>Calificación (\$)</b>	<b>Económico</b>
6	≤ 700	Muy barato
5	1200	Poco barato
4	1800	Ligeramente barato
3	2200	Precio adecuado
2	3000	Ligeramente costoso
1	4500	Costoso
0	≥ 5500	Muy costoso

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 4.5.1.4 Diagrama de evaluación de objetivos

Tabla 28. Diagrama de evaluación de objetivos del secador

Objetivo	Peso	Parámetro	Solución 1			Solución 2			Solución 3					
			Magnitud	Calif.	Valor	Magnitud	Calif.	Valor	Magnitud	Calif.	Valor			
Desempeño	0.29	Calificación	Buen desempeño	5.0	1.43	Normal desempeño	3.0	0.86	Poco desempeño	1.0	0.29			
Tamaño	0.18	Libras	500	6.0	1.07	600	5.0	0.89	800	4.0	0.71			
Mantenibilidad	0.18	Calificación	Mantenimiento normal	4.0	0.71	Buen mantenimiento	5.0	0.89	Mantenimiento normal	4.0	0.71			
Económico	0.21	Dólares	4500	1.0	0.21	5500	0.0	0.00	5000	0.0	0.00			
Seguridad	0.14	Calificación	Muy buena seguridad	6.0	0.86	Buena seguridad	5.0	0.71	Buena seguridad	5.0	0.71			
<b>TOTAL:</b>					4.29	<b>TOTAL:</b>					3.36	<b>TOTAL:</b>		2.43

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**NOTA:** Los parámetros de rendimiento de desempeño, mantenibilidad y seguridad son comunes para todos los equipos (véase anexo A).

La ruta solución 1, muestra ser la más adecuada por el mejor puntaje obtenido.

#### 4.5.2 Descascarador

4.5.2.1 *Lista de objetivos.* Teniendo claras las necesidades del cliente y del operario con respecto a las necesidades del descascarador, se procede a elaborar una lista de objetivos a cumplirse.

Tabla 29. Lista de objetivos descascarador

Objetivo	Asignación letra
Fácil de operar	A
Eficiencia	B
Peso	C
Tamaño	D
Capacidad	E
Durabilidad	F
Fácil consecución de repuestos	G
Fácil limpieza	H
Riesgo al operario	I
Económico	J

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

4.5.2.2 *Ordenar y asignar ponderaciones relativas a los objetivos.* Una vez establecida la lista de objetivos, se procede a ordenarlos de acuerdo al grado de importancia mediante la comparación entre cada uno de los objetivos.

Tabla 30. Ordenado de la lista de objetivos descascarador

Objetivos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Total
A	-	0	1	1	0	0	½	1	0	0	3,5
B	1	-	1	1	0	0	1	1	0	0	5,0
C	0	0	-	½	½	0	0	1	1	0	3,0
D	0	0	½	-	½	½	0	½	1	0	3,0
E	1	1	½	½	-	1	0	½	0	0	4,5
F	1	1	1	½	0	-	1	1	1	0	6,5
G	½	0	1	1	1	0	-	0	1	0	4,5
H	0	0	0	½	½	0	1	-	0	0	2,0
I	1	1	0	0	1	0	0	1	-	0	4,0
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	9,0

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

En la tabla anterior, se califica de acuerdo al grado de importancia, se compara el objetivo de cada fila con el de la columna guardando la relación, es decir, por ejemplo si **A** es más importante que **B**, ubico 0, en la casilla y en la casilla de **B** con respecto a **A** coloco 1, como se observa. Si los dos objetivos son igual de importantes se ubica ½. En la parte derecha se muestra el grado de importancia obtenido por cada objetivo. Con los datos se calcula el peso relativo de cada uno de los objetivos planteados.

Tabla 31. Cálculo del peso relativo de los objetivos del descascarador

Objetivos		Nivel	Peso
<b>A</b>	Fácil de operar	3.5	0.08
<b>B</b>	Eficiencia	5.0	0.11
<b>C</b>	Peso	3.0	0.07
<b>D</b>	Tamaño	3.0	0.07
<b>E</b>	Capacidad	4.5	0.10
<b>F</b>	Durabilidad	6.5	0.14
<b>G</b>	Fácil consecución de repuestos	4.5	0.10
<b>H</b>	Fácil limpieza	2.0	0.04
<b>I</b>	Riesgo al operario	4.0	0.09
<b>J</b>	Económico	9.0	0.20
<b>TOTAL:</b>		45.0	1.0

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Para simplificar el análisis de cada uno de los objetivos, se agrupan los que tienen cierto grado de afinidad o similitud en 5 grupos, y son: desempeño, tamaño, mantenibilidad, costos y seguridad. Por ende, los pesos relativos de estos objetivos se muestran a continuación.

Tabla 32. Pesos relativos de los objetivos principales del descascarador

Obj. Principal	Objetivo	Puntos	Peso relativo	
Desempeño	Fácil de operar	3.5	0.08	0.19
	Eficiencia	5.0	0.11	
Tamaño	Peso	3.0	0.07	0.23
	Tamaño	3.0	0.07	
	Capacidad	4.5	0.10	
Mantenibilidad	Durabilidad	6.5	0.14	0.29
	Fácil consecución de repuestos	4.5	0.10	
	Fácil limpieza	2.0	0.04	
Seguridad	Riesgo al operario	4.0	0.09	0.09
Costos	Económico	9.0	0.20	0.20
<b>TOTAL:</b>		45.0	1.00	1.00

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 4.5.2.3 Parámetros de rendimiento

Tabla 33. Escala de rendimiento de tamaño del descascarador

Puntos	Calificación (lb)	Tamaño
6	$\leq 600$	Muy liviano
5	1000	Poco liviano
4	1500	Peso por debajo del promedio
3	1750	Peso promedio
2	2000	Peso por arriba del promedio
1	2500	Poco pesado
0	$\geq 4500$	Muy pesado

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 34. Escala de rendimiento económico del descascarador

Puntos	Calificación (\$)	Económico
6	$\leq 5000$	Muy barato
5	5000	Poco barato
4	7000	Ligeramente barato
3	10000	Precio adecuado
2	15000	Ligeramente costoso
1	20000	Poco costoso
0	$\geq 25000$	Muy costoso

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 4.5.2.4 Diagrama de evaluación de objetivos

Tabla 35. Diagrama de evaluación de objetivos del descascarador

Objetivo	Peso	Parámetro	Solución 1			Solución 2			Solución 3						
			Magnitud	Calif.	Valor	Magnitud	Calif.	Valor	Magnitud	Calif.	Valor				
Desempeño	0.19	Calificación	Normal desempeño	3.0	0.57	Excelente desempeño	6.0	1.13	Poco desempeño	1.0	0.19				
Tamaño	0.23	Libras	700	5.0	1.17	600	6.0	1.40	1200	4.0	0.93				
Mantenibilidad	0.29	Calificación	Mantenimiento normal	4.0	1.16	Mantenimiento normal	4.0	1.16	Mantenimiento normal	4.0	1.16				
Económico	0.20	Dólares	12000	2.0	0.40	4500	6.0	1.20	14000	2.0	0.40				
Seguridad	0.09	Calificación	Buena seguridad	5.0	0.45	Ligeramente inseguro	2.0	0.18	Buena seguridad	5.0	0.45				
<b>TOTAL:</b>					3.75	<b>TOTAL:</b>					5.07	<b>TOTAL:</b>			3.13

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**NOTA:** Los parámetros de rendimiento de desempeño, mantenibilidad y seguridad son comunes para todos los equipos (véase anexo A).

La ruta solución 2, muestra ser la más adecuada por el mejor puntaje obtenido.

### 4.5.3 Separador por peso específico

4.5.3.1 *Lista de objetivos.* Teniendo claras las necesidades del cliente y del operario con respecto a las necesidades del separador por peso, se procede a elaborar una lista de objetivos a cumplirse.

Tabla 36. Lista de objetivos separador por peso específico

Objetivo	Asignación letra
Fácil de operar	A
Eficiencia	B
Peso	C
Tamaño	D
Capacidad	E
Durabilidad	F
Fácil consecución de repuestos	G
Riesgo al operario	H
Económico	I

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

4.5.3.2 *Ordenar y asignar ponderaciones relativas a los objetivos.* Una vez establecida la lista de objetivos, se procede a ordenarlos de acuerdo al grado de importancia mediante la comparación entre cada uno de los objetivos.

Tabla 37. Ordenado de la lista de objetivos del separador por peso específico

Objetivos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total
<b>A</b>	-	0	1	1	0	0	½	0	0	2,5
<b>B</b>	1	-	1	1	0	0	1	0	0	4,0
<b>C</b>	0	0	-	½	½	0	0	1	0	2,0
<b>D</b>	0	0	½	-	½	½	0	1	0	2,5
<b>E</b>	1	1	½	½	-	1	0	0	0	4,0
<b>F</b>	1	1	1	½	0	-	1	1	0	5,5
<b>G</b>	½	0	1	1	1	0	-	1	0	4,5
<b>H</b>	1	1	0	0	1	0	0	-	0	3,0
<b>I</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	-	8,0

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

En la tabla anterior, se califica de acuerdo al grado de importancia, se compara el objetivo de cada fila con el de la columna guardando la relación, es decir, por ejemplo

si **A** es más importante que **B**, ubico 0, en la casilla y en la casilla de **B** con respecto a **A** coloco 1, como se observa. Si los dos objetivos son igual de importantes se ubica ½. En la parte derecha el grado de importancia obtenido por cada objetivo. Con los datos se calcula el peso relativo de cada uno de los objetivos planteados.

Tabla 38. Cálculo del peso relativo de los objetivos del separador por peso específico

Objetivos		Nivel	Peso
<b>A</b>	Fácil de operar	2.50	0.07
<b>B</b>	Eficiencia	4.00	0.11
<b>C</b>	Peso	2.00	0.06
<b>D</b>	Tamaño	2.50	0.07
<b>E</b>	Capacidad	4.00	0.11
<b>F</b>	Durabilidad	5.50	0.15
<b>G</b>	Fácil consecución de repuestos	4.50	0.13
<b>H</b>	Riesgo al operario	3.00	0.08
<b>I</b>	Económico	8.00	0.22
<b>TOTAL:</b>		36.00	1.00

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Para simplificar el análisis de cada uno de los objetivos, se agrupan los que tienen cierto grado de afinidad o similitud en 5 grupos, y son: desempeño, tamaño, mantenibilidad, costos y seguridad. Por ende, los pesos relativos de estos objetivos se muestran a continuación.

Tabla 39. Asignación de pesos relativos a los objetivos separador por peso específico

Obj. Principal	Objetivo	Puntos	Peso relativo	
Desempeño	Fácil de operar	2.50	0.07	0.18
	Eficiencia	4.00	0.11	
Tamaño	Peso	2.00	0.06	0.24
	Tamaño	2.50	0.07	
	Capacidad	4.00	0.11	
Mantenibilidad	Durabilidad	5.50	0.15	0.28
	Fácil consecución de repuestos	4.50	0.13	
Seguridad	Riesgo al operario	3.00	0.08	0.08
Costos	Económico	8.00	0.22	0.22
<b>Total</b>		36.00	1.00	1.00

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 4.5.3.3 Parámetros de rendimiento

Tabla 40. Escala de rendimiento de tamaño separador por peso específico

<b>Puntos</b>	<b>Calificación (lb)</b>	<b>Tamaño</b>
6	≤ 45	Muy liviano
5	50	Poco liviano
4	90	Peso por debajo del promedio
3	125	Peso promedio
2	200	Peso por arriba del promedio
1	500	Poco pesado
0	≥ 750	Muy pesado

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz.

Tabla 41. Escala de rendimiento económico separador por peso específico

<b>Puntos</b>	<b>Calificación (\$)</b>	<b>Económico</b>
6	≤ 300	Muy barato
5	500	Poco barato
4	700	Ligeramente barato
3	1200	Precio adecuado
2	1500	Ligeramente costoso
1	2000	Poco costoso
0	≥ 3000	Muy costoso

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 4.5.3.4 Diagrama de evaluación de objetivos

Tabla 42. Diagrama de evaluación de objetivos del separador por peso específico

Objetivo	Peso	Parámetro	Solución 1			Solución 2			Solución 3				
			Magnitud	Calif.	Valor	Magnitud	Calif.	Valor	Magnitud	Calif.	Valor		
Desempeño	0.18	Calificación	Excelente desempeño	6.00	1.08	Excelente desempeño	6.00	1.08	Excelente desempeño	6.00	1.08		
Tamaño	0.24	Libras	400	1.00	0.24	400	1.00	0.24	20	6.00	1.44		
Mantenibilidad	0.28	Calificación	Mantenimiento normal	3.00	0.84	Mantenimiento normal	3.00	0.84	Mantenimiento normal	3.00	0.84		
Económico	0.22	Dólares	2500	0.00	0.00	5000	0.00	0.00	300	6.00	1.32		
Seguridad	0.08	Calificación	Buena seguridad	5.00	0.40	Buena seguridad	5.00	0.40	Muy buena seguridad	6.00	0.48		
<b>TOTAL:</b>					2.56	<b>TOTAL:</b>			2.56	<b>TOTAL:</b>			5.16

79

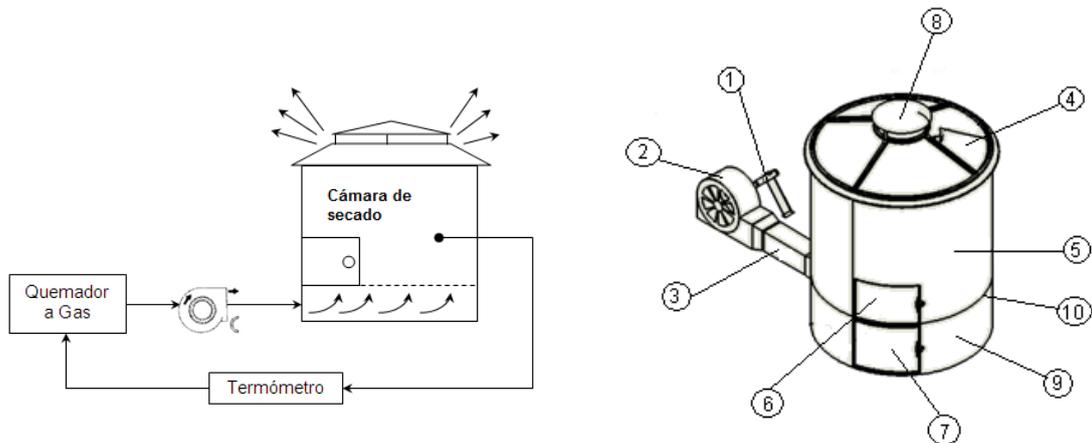
Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**NOTA:** Los parámetros de rendimiento de desempeño, mantenibilidad y seguridad son comunes para todos los equipos (véase anexo A).

La ruta solución 3, muestra ser la más adecuada por el mejor puntaje obtenido.

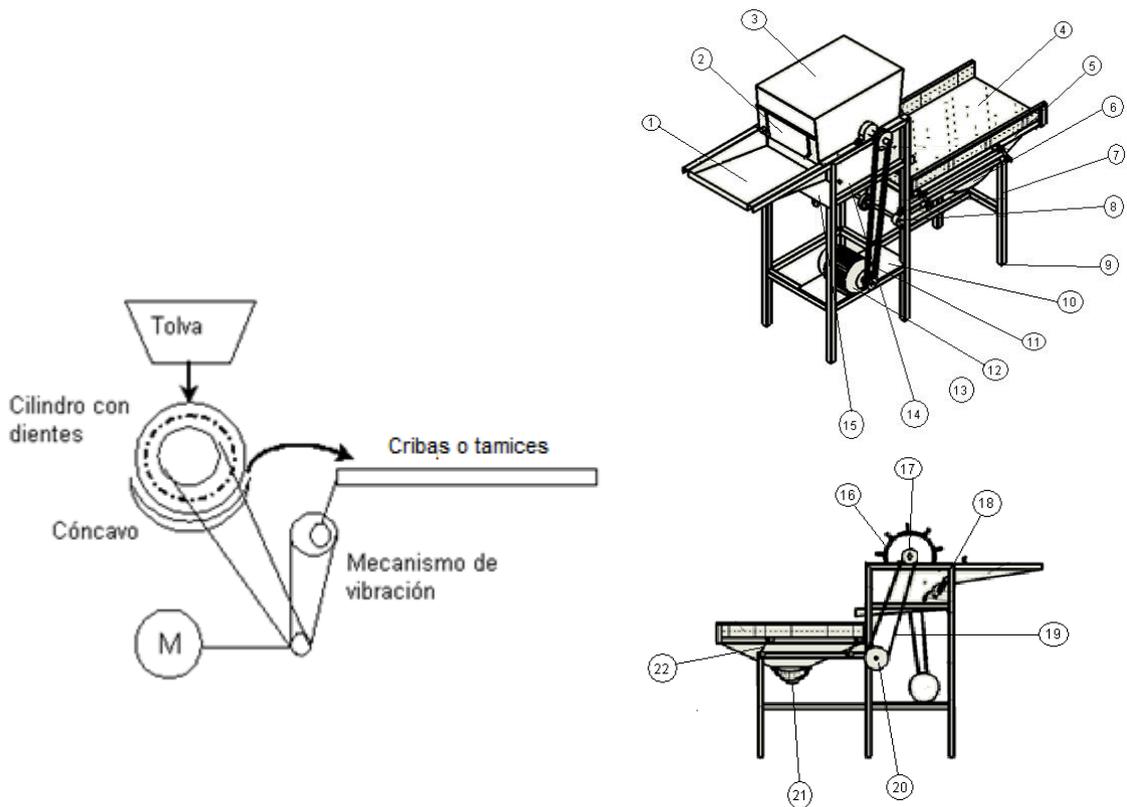
## 4.6 Alternativa seleccionada análisis sistémico

### 4.6.1 Secador estacionario tipo silo



Se enciende el quemador a gas (1), el aire caliente generado es succionado e impulsado por un ventilador centrífugo (2) hacia el plenum (9) a través de un ducto (3). El plenum y la cámara de secado (5) están divididos por una plancha perforada, denominado piso falso (10) para permitir el paso de aire "caliente", pero no de la semilla. El material es vertido a la cámara de secado, por medio de la compuerta de carga (4). Luego del proceso de secado, el material es descargado por la compuerta de descarga (6) y almacenado en sacos. La compuerta de mantenimiento (7) sirve para limpiar el plenum de pequeñas partículas de material. El aire caliente sale por el cumbreiro (8)

#### 4.6.2 Trilladora MAQTRON B-150



El material es vertido en la tolva (1), se regula su paso hacia la unidad de trilla (16), por medio de una compuerta (2). La unidad de trilla se encuentra cubierta por una carcasa (3), el material descascarado cae sobre la zaranda (4), la misma que está sujeta a una estructura (5). El material separado es dirigido a la tolva de descarga (21) a través de un colector de semillas (6) ubicado en la parte inferior de la zaranda.

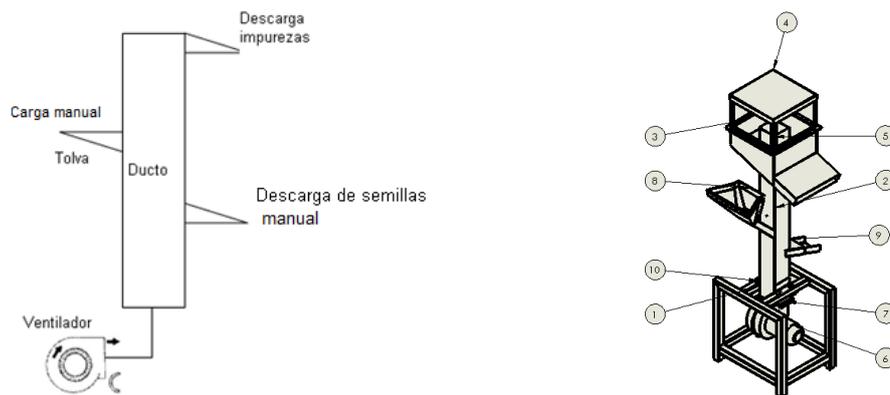
La unidad de trilla es un cilindro provisto de dientes, que gira a una alta velocidad, en la parte inferior de del cilindro se encuentra un cóncavo con dientes concéntrico al cilindro, cuya separación entre ambos se lo realiza por medio de un par de levas montadas en un eje pasante ubicadas al interior de la unidad de trilla y por debajo del cóncavo; éste par es accionado manualmente y fijado por un mecanismo de trinquete (18).

El movimiento es generado por un motor eléctrico (12), fijado sobre una placa base (10). Dicho movimiento es transmitido por un sistema de transmisión de banda trapecial (11) desde el eje del motor al eje del cilindro. Desde el otro extremo del eje

del cilindro se ubica una polea que transmite el movimiento hacia la polea del eje del sistema de cribas (20) por medio de una banda trapecial (19).

Los elementos tanto de cribado como de descascarado se encuentran instalados sobre una estructura (7). Además, posee regulaciones (9) en cada uno de sus apoyos, para superficies irregulares.

#### 4.6.3 Separador neumático



El material es alimentado por la tolva (8), ésta se ubica en un nivel mucho más alto que la tolva de descarga (9), la misma que sirve para descargar las semillas limpias.

El separado de las semillas vigorosas de las muertas se realiza con una corriente de aire generada por un ventilador centrífugo (6), ubicado en la parte inferior del ducto (2) que sirve para direccionar las semillas muertas hacia la descarga de impurezas (3). El aire que atraviesa el ducto es evacuado por la rejilla de ventilación (5) que no permite que las impurezas contaminen el ambiente.

La tapa superior (4), direcciona las impurezas hacia la descarga de impurezas. El caudal de la corriente de aire es regulado por un compuerta (10) o dámper para evitar que un posible exceso de caudal de aire elimine semillas con alto poder germinativo.

El ducto y el ventilador se encuentran anclados a una estructura (1) de tubo estructural cuadrado.

## CAPÍTULO V

### 5. DISEÑO DE INGENIERÍA

#### 5.1 Diseño de elementos mecánicos

##### 5.1.1 *Datos de campo*

La comunidad de Pungal Grande, está ubicada a 15 kilómetros en la vía Riobamba-Penipe-Baños, en el cantón Guano, provincia de Chimborazo a una altitud promedio de 2700 msnm.

En la zona se registra una presión atmosférica de 746 mb, una temperatura ambiente de 15.4 °C promedio, con una humedad relativa del aire de 50%. La densidad del aire es de 0.846 kg/m<sup>3</sup>. El coeficiente convectivo del lugar es de 81.7 W/m<sup>2</sup>.°C.

En el lugar, la gente ha destinado 462 hectáreas en la producción de semillas de alfalfa y 25 hectáreas en el cultivo de trébol con tres cosechas anuales. De cada hectárea cultivada se obtienen 150 kg de semilla.

La semilla de alfalfa está contenida en una vaina en espiral de 5 vueltas. Cada vaina contiene 5 semillas en promedio con una densidad de 770 kg/m<sup>3</sup>. Su forma es ovoide de 2.5 mm de largo, 1 mm de ancho y espesor.

La semilla de trébol está contenida en una vaina alargada, la misma que se encuentra sujeta con otras 20 en promedio a un tallo común. Cada vaina contiene 5 semillas con una densidad de 770 kg/m<sup>3</sup>. Tiene una forma casi circular de 1 mm de diámetro aproximadamente.

**5.1.2 *Necesidades de uso de los equipos.*** Se establece que todos los elementos de los equipos (secador, descascarador y separador por peso) tendrán un régimen de trabajo de 8 horas diarias por 20 días al mes. La eficiencia mínima deseada en los equipos se estima en 80%.

### 5.1.3 Secador

**5.1.3.1 Tiempo básico de secado de alfalfa.** Se tomaron dos muestras las mismas que se sometieron a un secado continuo a 40 °C. Cada treinta minutos se pesaron las muestras; la pérdida en peso demuestra la reducción en la humedad.

Tabla 43. Peso de las muestras de alfalfa antes del secado.

<b>CARACTERÍSTICAS INICIALES</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>
Peso de la funda (gr)	3,60	3,70
Peso de la muestra húmeda (gr)	48,00	48,00
Peso de la muestra húmeda con funda (gr)	51,60	51,70

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 44. Pérdida de peso de las muestras de alfalfa en el tiempo.

<b>TIEMPO</b>	<b>MUESTRA 1</b>		<b>MUESTRA 2</b>		<b>PROMEDIO</b>
	Peso (gr)	Humedad (%)	Peso (gr)	Humedad (%)	Humedad (%)
0:00:00	51,60	0,00	51,70	0,00	0,00
0:30:00	50,10	3,13	49,90	3,75	3,44
1:00:00	48,90	5,63	48,70	6,25	5,94
1:30:00	47,90	7,71	47,60	8,54	8,13
2:00:00	47,20	9,17	46,80	10,21	9,69
2:30:00	46,50	10,63	46,20	11,46	11,04
3:00:00	46,00	11,67	45,70	12,50	12,08
3:30:00	45,40	12,92	45,10	13,75	13,33
4:00:00	45,10	13,54	44,70	14,58	14,06
4:30:00	44,70	14,38	44,20	15,63	15,00
5:00:00	44,40	15,00	44,10	15,83	15,42
5:30:00	44,10	15,63	43,80	16,46	16,04
6:00:00	43,90	16,04	43,60	16,88	16,46
6:30:00	43,70	16,46	43,40	17,29	16,88
7:00:00	43,50	16,88	43,30	17,50	17,19
7:30:00	43,30	17,29	43,20	17,71	17,50
8:00:00	43,20	17,50	43,10	17,92	17,71

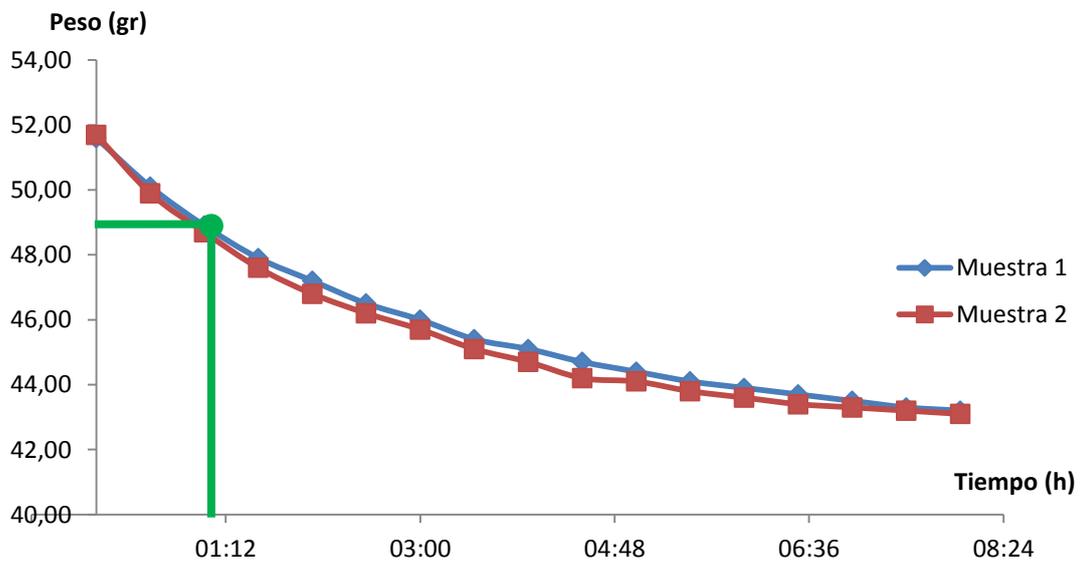
Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Para determinar la pérdida de humedad se utiliza la siguiente fórmula:

$$Humedad = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial} - P_{funda}} * 100\% \quad (49)$$

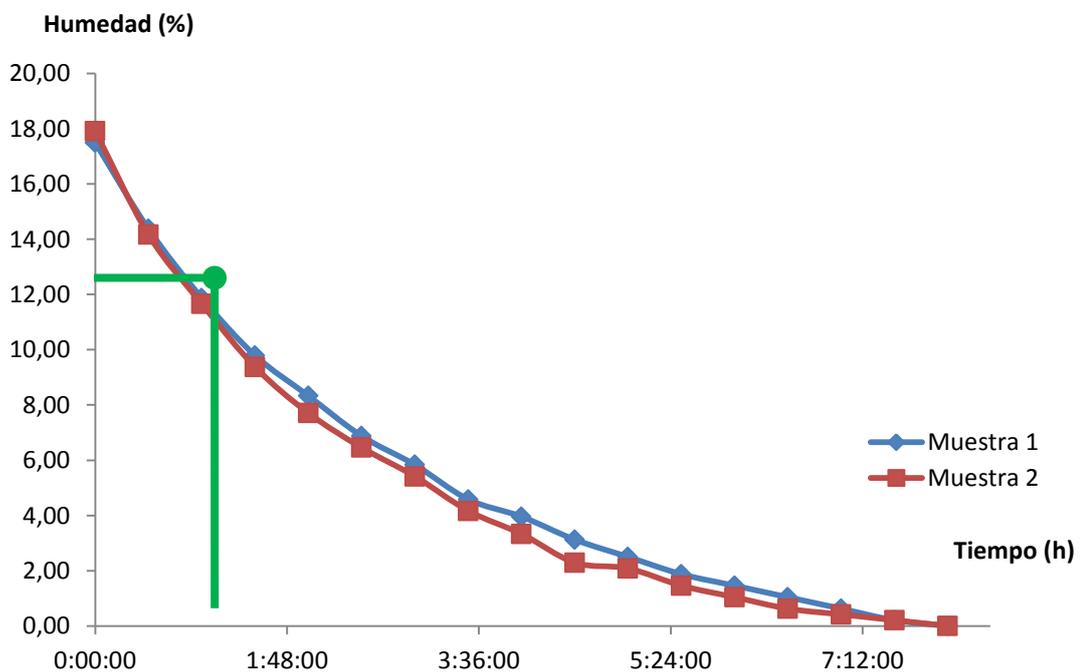
Graficando los datos procesados se tienen:

Figura 34. Gráfica de pérdida de peso de las semillas de alfalfa



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Figura 35. Gráfica de pérdida de humedad de las semillas de alfalfa



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

De acuerdo a las gráficas se tiene un tiempo básico de secado de una hora. Considerando una hora entre carga y descarga del producto el tiempo de secado se estima en 2 horas. La humedad promedio de las vainas de alfalfa según la gráfica se determina en 20%.

**5.1.3.2 Tiempo básico de secado del trébol.** Se tomaron dos muestras las mismas que se sometieron a un secado continuo a 40 °C. Cada treinta minutos se pesaron las muestras; la pérdida en peso demuestra la reducción en la humedad.

Tabla 45. Peso de las muestras de trébol antes del secado

<b>CARACTERÍSTICAS INICIALES</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>
Peso de la funda (gr)	1.00	1.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	18.00	16.00
Peso de la muestra húmeda con funda (gr)	19.00	17.00

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

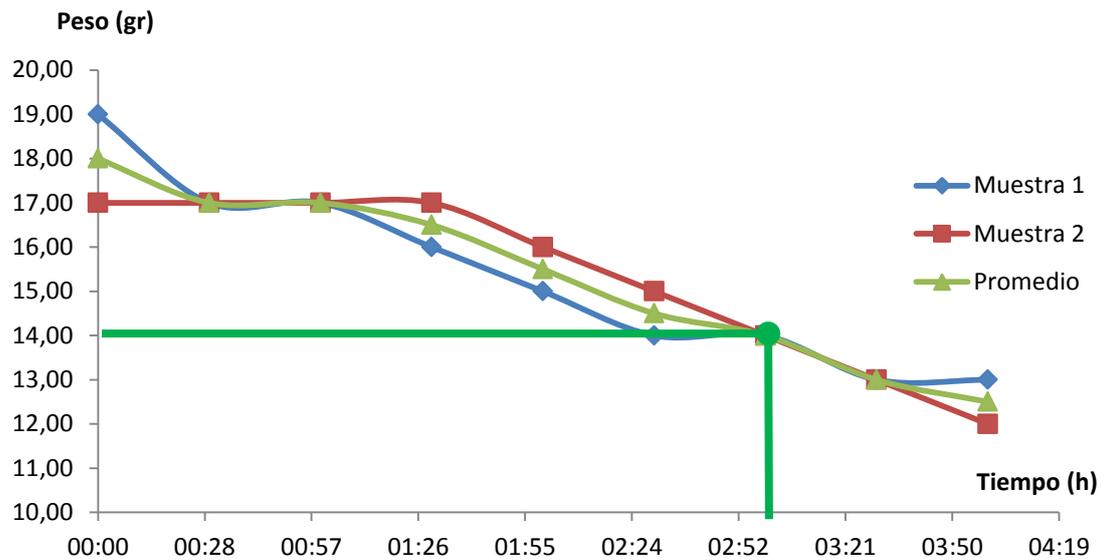
Tabla 46. Pérdida de peso de las muestras de trébol en el tiempo

<b>ÍTEM</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>MUESTRA 1</b>		<b>MUESTRA 2</b>		<b>PROMEDIO</b>	
		Peso (gr)	Humedad (%)	Peso (gr)	Humedad (%)	Humedad (%)	Peso (gr)
1	0:00	19.00	33.33	17.00	31.25	32.29	18.00
2	0:30	17.00	22.22	17.00	31.25	26.74	17.00
3	1:00	17.00	22.22	17.00	31.25	26.74	17.00
4	1:30	16.00	16.67	17.00	31.25	23.96	16.50
5	2:00	15.00	11.11	16.00	25.00	18.06	15.50
6	2:30	14.00	5.56	15.00	18.75	12.15	14.50
7	3:00	14.00	5.56	14.00	12.50	9.03	14.00
8	3:30	13.00	0.00	13.00	6.25	3.13	13.00
9	4:00	13.00	0.00	12.00	0.00	0.00	12.50

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

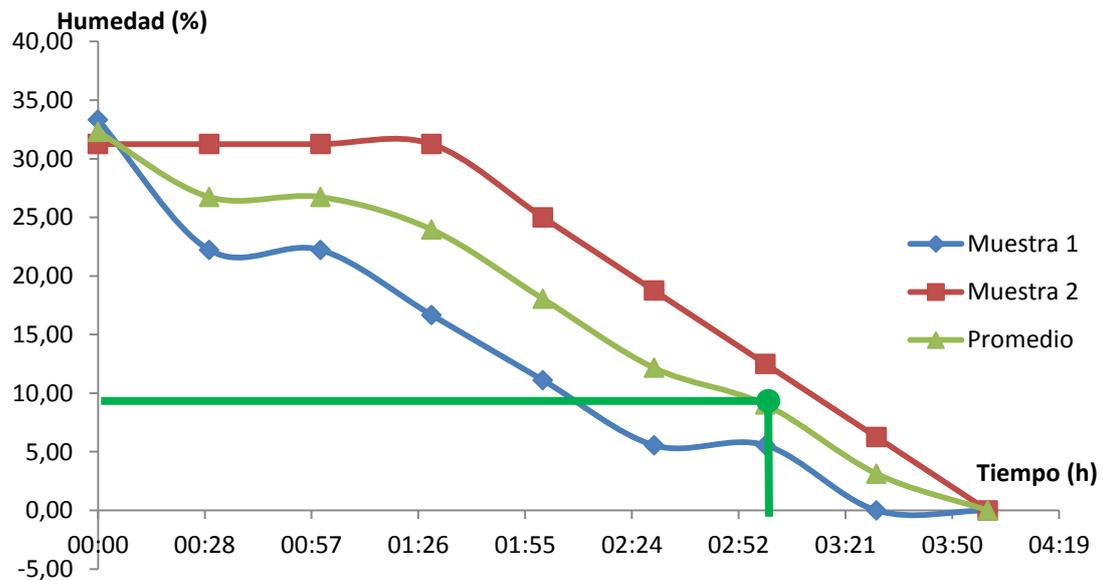
Graficando los datos obtenidos, se tienen las siguientes gráficas.

Figura 36. Gráfica de pérdida de peso de las semillas de trébol



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Figura 37. Gráfica de pérdida de humedad de las semillas de trébol



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

De acuerdo a las gráficas se tiene un tiempo básico de secado de una hora. Considerando una hora entre carga y descarga del producto el tiempo de secado se estima en 3 horas. La humedad promedio de las vainas de trébol según la gráfica 37 se determina en 32.3%

**5.1.3.3 Porcentaje de desperdicios de alfalfa.** Para determinar el porcentaje de impurezas de alfalfa se realizaron cinco muestras, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 47. Porcentaje de impurezas de alfalfa

Ítem	Muestra	Semillas	Impurezas	Semillas	Impurezas
	gr	gr	gr	%	%
1	5,01	1,57	3,44	31,34	68,66
2	5,01	1,29	3,72	25,75	74,25
3	5,01	1,27	3,74	25,35	74,65
4	5,00	1,42	3,58	28,40	71,60
5	3,56	1,32	2,24	37,08	62,92
<b>Prom.</b>	<b>4,72</b>	<b>1,37</b>	<b>3,34</b>	<b>29,58</b>	<b>70,42</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

El porcentaje de impurezas es 70%, es decir, que de 100 kilogramos de producto procesado 30 kilogramos son de semillas y el resto son desperdicios.

**5.1.3.4 Porcentaje de desperdicios del trébol.** Para determinar el porcentaje de impurezas del trébol se realizaron cinco muestras, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 48. Porcentaje de impurezas del trébol

Ítem	Muestra	Semillas	Impurezas	Semillas	impurezas
	gr	gr	gr	%	%
1	10.00	3.20	6.80	32.00	68.00
2	10.02	2.60	7.42	25.95	74.05
3	10.01	2.58	7.43	25.77	74.23
4	9.90	2.84	7.06	28.69	71.31
5	10.00	2.62	7.38	26.20	73.80
<b>Prom.</b>	<b>9.99</b>	<b>2.77</b>	<b>7.22</b>	<b>27.72</b>	<b>72.28</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

El porcentaje de impurezas es 72%, es decir, que de 100 kilogramos de producto procesado 28 kilogramos son de semillas y resto son desperdicios.

**5.1.3.5 Capacidad del secador.** El cálculo de la capacidad del secador, lo determina a través de la ec.(1);

$$C_{secador} = \frac{P_{hora} * t_s}{\%_{imp}} = \frac{(150.5)(2)}{70\%}$$

$$C_{secador} = 1003 \text{ kg}$$

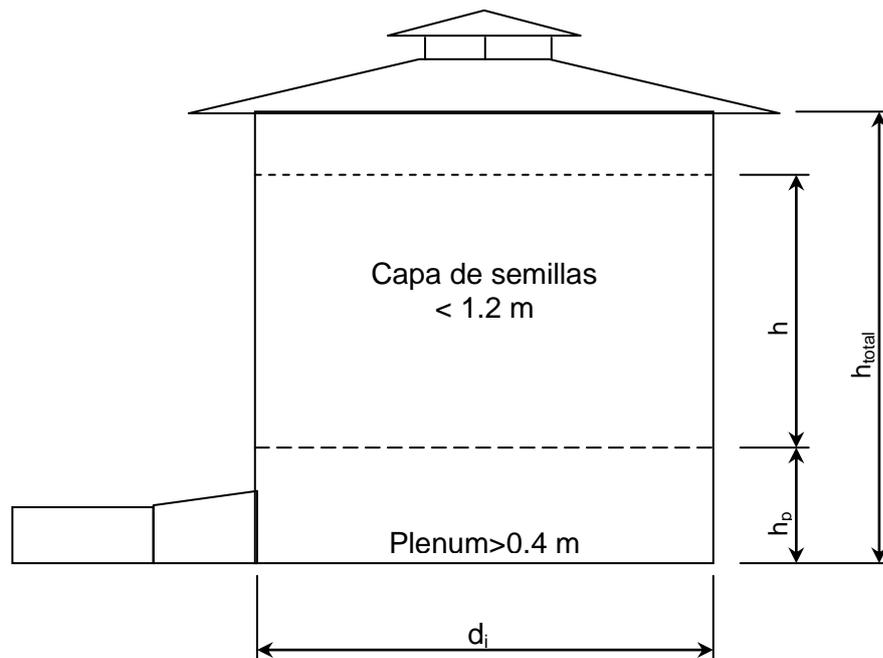
$$P_{hora} = \frac{A_{prod} * P_{max} * \#_{cos}}{1920} n = \frac{(462)(150)(3)}{1920} \quad (1.39)$$

$$P_{hora} = 150.5 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

La capacidad del secador debe ser de 1000 kg, para garantizar un flujo de 150 kg/h en los equipos subsecuentes.

**5.1.3.6 Dimensiones del secador.** Se propone el siguiente esquema de secador:

Figura 38. Esquema del secador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

La altura de la capa de semillas ( $h$ ) se establece en 0.8 m, la altura del plenum ( $h_p$ ) de 0.5 m y la altura total ( $h_{total}$ ) de 1.72 m. El diámetro interior mínimo para almacenar la semilla durante el proceso de secado viene dado por la siguiente expresión:

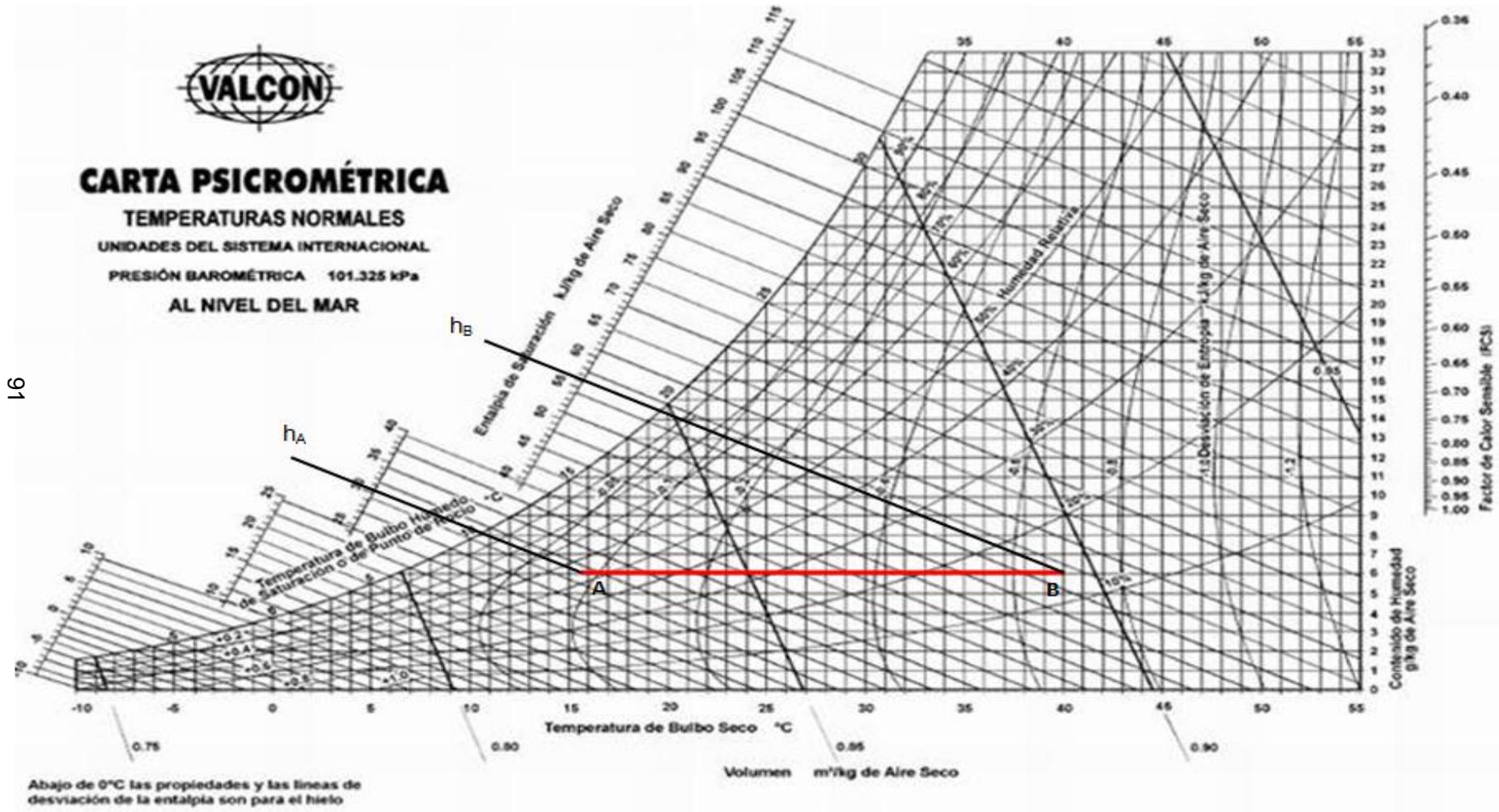
$$d_i = 2 \sqrt{\frac{C_{secador}}{\pi * h * \delta_{alfalfa}}} = 2 \sqrt{\frac{1000 \text{ kg}}{\pi(0.8 \text{ m})(770 \text{ kg/m}^3)}}$$

$$d_i = 1.44 \text{ m}$$

**Conclusión:** El diámetro interior del secador debe ser mayor o igual a 1.44 metros.

**5.1.3.7 Calor requerido para el secamiento de la semilla de alfalfa.** Para determinar el calor necesario para el procesamiento de secado de las semillas de alfalfa, es necesario utilizar la carta psicométrica para determinar de manera las variables desconocidas.

Figura 39. Carta psicrométrica



Fuente: Manual ASHRAE

De la figura anterior se determina que la entalpía en el punto A es 20.3 BTU/lb<sub>aire</sub>, la entalpía en el punto B es 31.4 BTU/lb<sub>aire</sub>. Además se tiene 0.0055 lb<sub>agua</sub>/lb<sub>aire</sub>. La humedad relativa del aire “caliente” entrante es de 11%

Para el cálculo de la cantidad de calor necesaria para el proceso de secado se aplica el concepto de balance de energía en procesos psicométricos, ec.(4).

$$q = m_{aire}(h_B - h_A) = 727.3 \text{ kg}(31.4 - 20.3) \frac{BTU}{lb}$$

$$q = 17800 \text{ BTU}$$

La cantidad de calor calculada debe consumirse en un tiempo de una hora y media (1.5h) como se manifestó anteriormente, por ende, el flujo de calor por hora es;

$$q' = \frac{q}{t} = \frac{17800 \text{ BTU}}{1.5 \text{ h}}$$

$$q' = 11870 \text{ BTU/h}$$

**Conclusión:** Se ha seleccionado un quemador a gas de alta presión EQA 93, que proporciona hasta 5000 kcal/h (20 000 BTU/h); del catalogo EQA 93 de la empresa SERPROGAS Ltda.

**5.1.3.8 Flujo y masa de aire caliente para el secado.** Para el cálculo se aplica el concepto balance de masas aplicado a procesos psicométricos, ec. (3).

$$m_{aire} = m_{secado} \frac{(W_i - W_f)}{W_{aire}} = 1000 \text{ kg} \frac{(20 - 12)\%}{11\%}$$

$$m_{aire} = 727.3 \text{ kg}$$

Con la masa de aire se calcula el volumen de aire para el secado, mediante la fórmula de la densidad;

$$V_{aire} = \frac{m_{aire}}{\delta_{aire}} = \frac{727.3 \text{ kg}}{0.846 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{aire} = 860 \text{ m}^3$$

Por ende, el caudal de aire requerido en una hora de trabajo viene dado por:

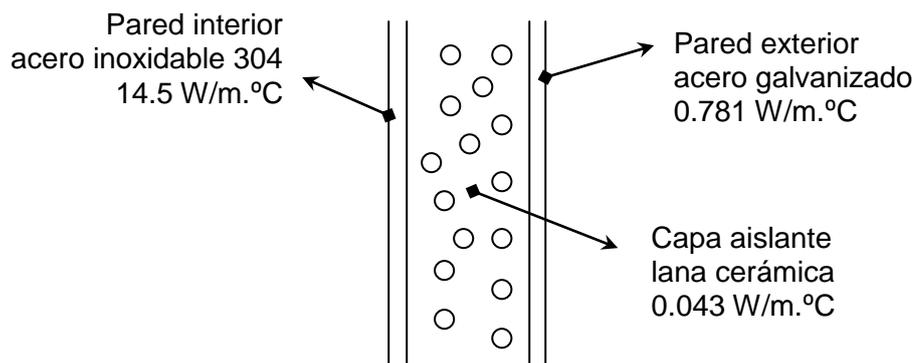
$$Q_{aire} = \frac{V_{aire}}{t} = \frac{860 \text{ m}^3}{60 \text{ min}}$$

$$Q_{aire} = 14.33 \text{ m}^3/\text{min}$$

**Conclusión:** Se ha seleccionado un ventilador centrífugo de alta presión BPAL de 500 CFM (14,17 m<sup>3</sup>/min) del catálogo BPAL.

**5.1.3.9 Pérdida de calor a través de paredes.** Para disminuir la pérdida de calor a través de las paredes se ubica una capa de aislante entre dos paredes de acero. La disposición de las paredes del secador está propuesta en la figura 11 y 12.

Figura 40. Esquema de paredes del secador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

$$Q = \frac{T_i - T_o}{\sum R_T}$$

De la figura 12, se obtiene las fórmulas para el cálculo de las resistencias térmicas para cada material.

Se calcula la resistencia al flujo de calor de la pared interior ( $R_{inox}$ ), capa aislante ( $R_{aislante}$ ), pared exterior ( $R_{galva}$ ) y ambiente exterior ( $R_{aire}$ ).

$$R_{inox} = \frac{\text{Ln}(r_0/r_1)}{2\pi Lk_1} = \frac{\text{Ln}\left(\frac{0.7507}{0.75}\right)}{2\pi(1.72)(14.5)}$$

$$R_{inox} = 5.5 * 10^{-6} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{aislante} = \frac{\text{Ln}\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{2\pi Lk_2} = \frac{\text{Ln}\left(\frac{0.776}{0.7507}\right)}{2\pi(1.72)(0.043)}$$

$$R_{aislante} = 6.84 * 10^{-2} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{galva} = \frac{\text{Ln}(r_2/r_3)}{2\pi Lk_3} = \frac{\text{Ln}(0.777/0.776)}{2\pi(1.72)(15)}$$

$$R_{galva} = 5.31 * 10^{-6} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{aire} = \frac{1}{2\pi r_2 h_{conv}} = \frac{1}{2\pi(0.777)(81.7)}$$

$$R_{aire} = 1.39 * 10^{-3} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Entonces,

$$\sum R_T = R_{inox} + R_{aislante} + R_{galva} + R_{aire}$$

$$\sum R_T = 5.5 * 10^{-6} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 6.84 * 10^{-2} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 5.31 * 10^{-6} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 1.39 * 10^{-3} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$\sum R_T = 0.07 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Finalmente, aplicando la ec.(2);

$$Q = \frac{T_i - T_o}{\sum R_T} = \frac{(40 - 15.4)^\circ C}{0.07 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$Q = 352.3 W$$

**5.1.3.10 Selección del ventilador** [1]. Según lo propuesto en el marco teórico, se calcula:

- ❖ Presión estática
- ❖ El volumen total de aire
- ❖ El tipo de ventilador

A. *Presión estática*. Se calcula el peso de la semilla por unidad de área mediante la ec.(5);

$$P_{semilla} = \delta_{semilla} h = \left( 770 \frac{kg}{m^3} \right) (0.8 m)$$

$$P_{semilla} = 0.616 \frac{T}{m^2}$$

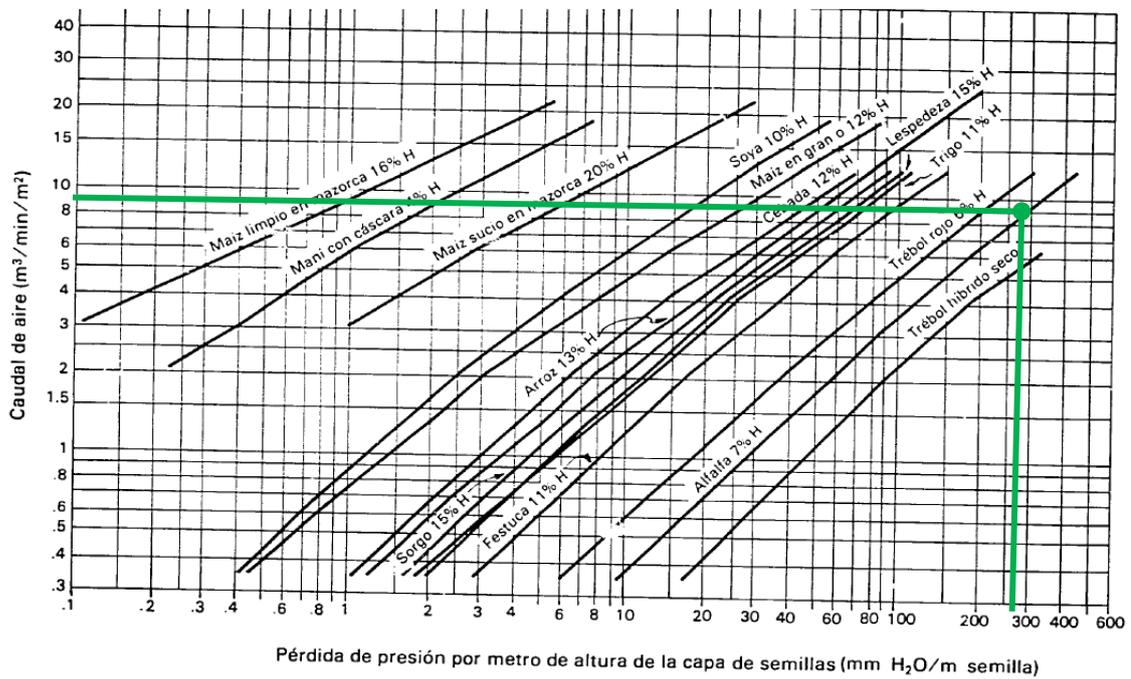
Por ende, el volumen de de aire según la ec.(6);

$$V'_{aire} = P_{semilla} * Q_{aire} = \left( 0.616 \frac{T}{m^2} \right) (14.33 m^3/min)$$

$$V'_{aire} = 8.77 \frac{m^3}{min * m^2}$$

En el diagrama Shedd se calcula la caída de presión por cada metro de capa de semillas.

Figura 41. Resistencia de las semillas al paso del aire



Fuente: Aguirre, Roberto. Manual para beneficio de semillas.

De la figura anterior se determina que la resistencia de una capa de alfalfa es aproximadamente de 200 mm H<sub>2</sub>O/m de semilla.

Mediante la ec.(7), se calcula la pérdida de presión al pasar por la capa de semillas;

$$\Delta P' = \Delta P'' * h = (280 \text{ mmH}_2\text{O})(0.8 \text{ m})$$

$$\Delta P' = 224 \text{ mmH}_2\text{O}$$

A través, de la ec.(8), se calcula la presión estática.

$$\Delta P = \Delta P' * F = (224 \text{ mmH}_2\text{O})(1.5)$$

$$\Delta P = 336 \text{ mmH}_2\text{O}$$

B. *Volumen total de aire.* Este parámetro se calculó anteriormente y es de 14.33 m<sup>3</sup>/min

C. *Tipo de ventilador.* Para seleccionar mediante catálogo es necesario conocer: el flujo de aire, la caída de presión y la potencia (opcionalmente), determinando factores secundarios como: el voltaje, amperaje.

La ecuación 9, permite determinar la potencia del ventilador, por ende;

$$Pot = \frac{Q_{aire} * \Delta P * g}{\eta_{vent}} = \frac{(0.24 \text{ m}^3/\text{s})(336 \text{ mmH}_2\text{O})(9.81 \text{ m/s}^2)}{0.8}$$

$$Pot = 791 \text{ W} = 1 \text{ HP}$$

**Conclusión:** Se ha seleccionado un ventilador BPAL de 500 CFM y 2 HP, con lo cual se satisface los requerimientos.

**5.1.3.11 Dimensionamiento del piso falso.** Se conoce que el diámetro interior del secador es 1.50 m, área de 1.76 m<sup>2</sup>. Se establece que los orificios del piso falso no deben exceder de 3 mm de diámetro. A su vez, se anticipa orificios redondos cruzados.

Aplicando la ec. (10), se tiene que;

$$A_{abierta} = \frac{90.7 * w^2}{t^2} = \frac{90.7(3)^2}{(6)^2}$$

$$A_{abierta} = 22.7\%$$

**Conclusión:** Se selecciona una plancha perforada de 100x200x0.2 cm (2.0 m<sup>2</sup>), con perforaciones cruzadas de 3 mm.

**5.1.3.12 Consumo de combustible.** Se establece que el aire tiene un calor específico de 1 kJ/kg °C, y un incremento de temperatura de 25°C para un peso específico del aire de 1.182 m<sup>3</sup>/kg. Por medio de la ec.(12), se determina el gasto de combustible.

$$E = \frac{Q * \Delta T}{\delta_{aire}} = \frac{(0.237 \text{ m}^3/\text{s})(25)^{\circ}\text{C}}{1.182 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

$$E = 5.01 \text{ kW}$$

Como el gas propano tiene un poder calórico de 50 000 kJ/kg, entonces;

$$\text{Consumo de combustible (E')} = \frac{E}{P_{calorico}} = \frac{5.01 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{50000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} * \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}}$$

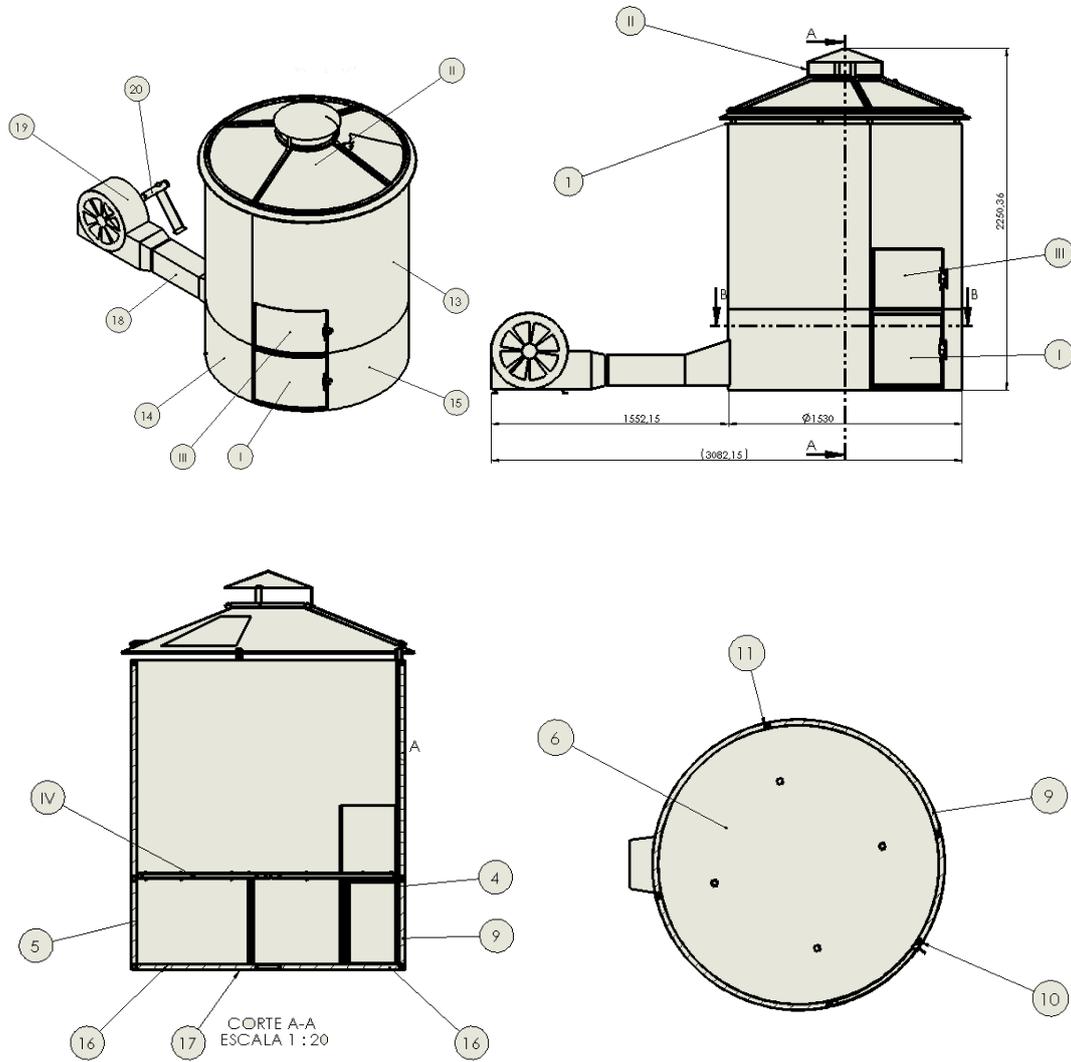
$$\text{Consumo de combustible (E')} = 0.361 \text{ kg/h}$$

Como se requiere de una hora para el secado, asumimos que el ventilador y el quemador funcionan durante todo ese tiempo, entonces; de la ec.(13), se tiene:

$$\text{Combustible} = \frac{E' * t_{secado} * \text{Costo}}{\eta} = \frac{\left(0.361 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) (1 \text{ h}) \left(2.60 \frac{\$}{\text{kg}}\right)}{0.8} = 1.17 \text{ dólares}$$

### 5.1.3.13 Lista estructurada del equipo

Figura 42. Partes del secador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 49. Lista estructurada del secador

No. de parte	Nombre de la parte	Cantidad / Unidad	Fabricar	Comprar
1	Estructura. □30 x 2 mm	1	X	
2	Pared interior 1. AISI 304	1	X	
3	Pared interior 2. AISI 304	1	X	
4	Pared interior 3. AISI 304	1	X	
5	Pared interior 4. AISI 304	1	X	
6	Piso interior. AISI 316	1	X	
7	Pared aislante 1. Lana cerámica	3	X	
8	Pared aislante 2. Lana cerámica	1	X	
9	Pared aislante 4. Lana cerámica	2	X	
10	Pared aislante 3. Lana cerámica	1	X	
11	Pared aislante 5. Lana cerámica	1	X	
12	Pared exterior 1. Ac. galvanizado	1	X	
13	Pared exterior 2. Ac. galvanizado	1	X	
14	Pared exterior 3. Ac. galvanizado	1	X	
15	Pared exterior 4. Ac. galvanizado	1	X	
16	Piso aislante. Lana cerámica	1	X	
17	Piso exterior. Ac. galvanizado	1	X	
18	Ducto. AISI 304	1	X	
19	Ventilador.	1		X
20	Quemador.	1		X
I	Compuerta mantenimiento.	1	X	
II	Cubierta.	1	X	
III	Compuerta descarga.	1	X	
IV	Piso falso.	1	X	

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 5.1.4 Descascarador

**5.1.4.1 Fuerza de descascarado.** Se conoce que la fuerza de descascarado de la semilla de alfalfa es de 0.1 N. De lo mencionado en el subtema “DATOS DE CAMPO”, se rescata que cada vaina de alfalfa tiene una longitud de 4 mm y contiene 5 semillas en promedio. La longitud de la unidad trilladora es de 45 cm.

A partir de los datos conocidos, se determina el número de vainas promedio, por medio de la ec.(14.1);

$$\#vainas = \frac{L}{L_{vaina}} = \frac{45 \text{ cm}}{0.4 \text{ cm}}$$

$$\#vainas = 112.5$$

Aplicando la ec.(14), se determina la fuerza de descascarado.

$$F_{des} = \#semillas * \#vainas * F_{semilla} = (5)(112.5)(0.1 N)$$

$$F_{des} = 56.4 N$$

Se calcula el torque necesario, por medio de la ec.(15);

$$T_{eje} = F_{des} * r_1 = (56.4 N)(0.2 m)$$

$$T_{eje} = 11.28 N - m$$

La potencia del motor se determina a través de la ec. (16), asegurando una eficiencia de transmisión por banda de 95%, velocidad de giro de 1080 rpm en el eje de la trilla, con un margen de seguridad de funcionamiento de 60%

$$P_{motor} = \frac{\pi * T_{eje} * N}{30 * \eta_{trans} * \eta_{seg}} = \frac{\pi(11.28 N - m)(1080 rpm)}{30(0.95)(0.6)}$$

$$P_{motor} = 2238 W = 3 HP$$

**Conclusión:** Se ha seleccionado un motor eléctrico WEG de 3 HP y 1725 rpm

**5.1.4.2 Dimensiones del cilindro trillador.** De acuerdo a la potencia seleccionada, se determina la velocidad tangencial utilizando la ec.(17)

$$V_{lineal} = \frac{P_{motor}}{F_{des}} = \frac{3 HP}{56.4 N} * \frac{746 N - m}{1 HP * s}$$

$$V_{lineal} = 39.7 m/s$$

Aplicando la ec.(18), se determina el diámetro del cilindro descascarador.

$$\Phi_{cilindro} = \frac{V_{lineal}}{N} = \frac{39.7 m/s}{1080 rpm} * \frac{1 rpm * s}{0.1047}$$

$$\Phi_{cilindro} = 0.35 \text{ m}$$

Una vez determinada el diámetro mínimo, se necesita determinar el ancho del cilindro descascarador, para ello, se calcula el flujo volumétrico con la ec.(19), conocida la producción por unidad de tiempo

$$V_{hora} = \frac{P_{hora}}{\delta_{semilla}} = \frac{150 \text{ kg/h}}{770 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{hora} = 0.195 \text{ m}^3/\text{h}$$

Conocido el flujo volumétrico, se halla la longitud mínima del cilindro trillador, aplicando ec.(20).

$$L' = \frac{V_{hora}}{e_{vainas} * V_{lineal}} = \frac{(50)(0.195 \text{ m}^3/\text{h})}{(0.0005 \text{ m})(39.7 \text{ m/s})(3600 \text{ s/h})}$$

$$L' = 0.32 \text{ m}$$

De acuerdo con la tabla 2, se determina que los cilindros trilladores con dientes cónicos ofrecen un mayor rendimiento que un cilindro de barras.

**CONCLUSIÓN:** Se ha seleccionado un cilindro trillador completo de 0.4 m diámetro y 0.44 m de ancho, con su respectivo cóncavo para una capacidad 50 veces deseada de la empresa VENCEDORA MAQTRON.

**5.1.4.3 Transmisión de potencia por banda trapecial motor-trilla.** El sistema de transmisión por banda trapecial se lo realiza desde el eje del motor al eje de la unidad de trilla. Se afirma que el motor gira a 1725 rpm a una potencia de uso de 1.8HP (1.8CV); reduciéndose a 1080 rpm en el eje de la trilla. La eficiencia de la transmisión es de 95%. Seleccionamos el tipo de banda y los diámetros de las poleas.

A. Datos

$$n_m = 1725 \text{ rpm}$$

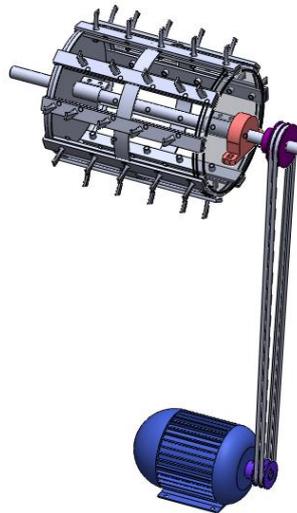
$$n_c = 1080 \text{ rpm}$$

$$P = 1.8 \text{ CV}$$

B. *Parámetros de cálculo.* Se calcula lo siguiente:  $i, P_d, T_{banda}, d, D, I, L, L', I_{real}, \beta, P_a, N$ .

C. *Diagrama cuerpo libre*

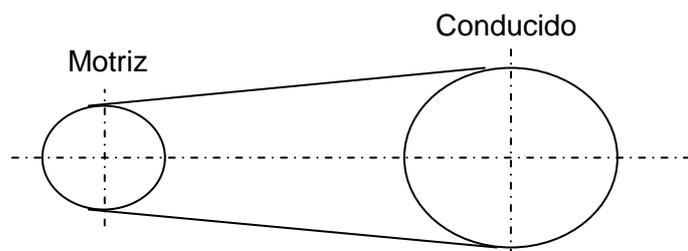
Figura 43. Transmisión por banda motor-eje trilla



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

D. *Marco teórico.* Para el cálculo de selección de bandas trapeciales de la trilladora, selecciono el procedimiento dado por PIRELLI, sustentado en el marco teórico de la tesis, ec.(24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33).

E. *Procedimiento de cálculo*



La relación de transmisión entre el eje del motor y el eje de la unidad de trilla, viene dado por:

$$i = \frac{n_c}{n_m} < 6$$

$$i = \frac{1725}{1080} = 1.597 < 6$$

La potencia de diseño depende del tipo de trabajo al que estará sometida la banda, por ello se ha seleccionado un factor de servicio ( $F_s$ ) de 1.2; el mismo que fue tomado de la tabla 4. Por ende;

$$P_d = F_s * P = (1.2)(1.8 \text{ CV})$$

$$\mathbf{P_d = 2.16 \text{ CV}}$$

De la figura 17, se determina que la banda a utilizar es del tipo A, según la intersección de la potencia de diseño ( $P_d$ ) y la velocidad de giro del eje del motor.

La guía de selección de bandas PIRELLI, recomienda diámetros primitivos mínimos para cada tipo de banda según el ángulo de garganta, la tabla 5 muestra los valores.

De la tabla 5, se recomienda utilizar un diámetro primitivo de la polea motriz ( $d$ ) de 125 mm. Entonces se afirma que;

$$\mathbf{d = 62.5 \text{ mm}}$$

De la ec.(20);

$$D = d * i = (1.597)(62.5) \text{ mm}$$

$$\mathbf{D = 100 \text{ mm}}$$

La distancia mínima entre centros, viene dada por la ec.(27);

$$I \geq \frac{(i + 1)d}{2} + d$$

Para relaciones inferiores a tres, por ende;

$$I \geq \frac{(1.597 + 1)62.5}{2} + 62.5 = 143.66 \text{ mm}$$

Aplicando la ec. (29), se obtiene la longitud primitiva de la banda.

$$L = 2I + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4I}$$

$$L = 2(143.66) + 1.57(100 + 62.5) + \frac{(100 - 62.5)^2}{4(143.66)} = 544.6 \text{ mm}$$

Del anexo C, se asegura que la longitud de la banda debe ser superior al valor determinado, por ende;

$$L' = 1938 \text{ mm}$$

Con la nueva longitud de la banda se debe calcular la nueva distancia entre centros, la misma que viene dada por la ec.(30):

$$I_{real} = I \pm \frac{L' - L}{2}$$

Se aplica el signo más (+) debido a que  $L' > L$ . por lo tanto;

$$I_{real} = 143.66 \pm \frac{1938 - 544.6}{2} = 840.36 \text{ mm}$$

El ángulo de contacto entre la polea y la banda viene dada por la ec.(31);

$$\beta = 180^\circ - 2 * \arcsen\left(\frac{D - d}{2c}\right)$$

$$\beta = 180^\circ - 2 * \arcsen\left(\frac{100 - 62.5}{2(840.3)}\right) = 177.47^\circ$$

Para determinar la potencia teórica transmitida por cada banda ( $P_a$ ), se aplica la ec.(32):

$$P_a = (P_b + P_d)C_j C_L$$

La prestación base ( $P_b$ ), su valor se estable en 0.62. La prestación adicional ( $P_d$ ), su valor se establece en 0.27. El factor de corrección ( $C_j$ ), su valor se establece en 1. El factor de corrección ( $C_L$ ), su valor se establece en 1.02. Los valores fueron obtenidos del anexo C

$$P_a = (0.62 + 0.27)(1)(1.02) = 0.91 \text{ HP}$$

El número de bandas se lo calcula mediante la ec.(33):

$$N = \frac{P_c}{P_a} = \frac{2.16}{0.91}$$

$$N = 2$$

**Conclusión:** Se ha seleccionado 2 bandas A-75, y con una velocidad de 1130 fpm, lo cual está dentro de las recomendaciones de PIRELLI. Además, dos poleas de 2 canales de 2 ½" y 4" para transmitir la potencia de uso de 1.8HP con una sobrecarga de 38% en plena carga.

**5.1.4.4 Transmisión de potencia por banda trapecial trilla-zaranda.** El eje de la trilla gira a 1080 rpm, a una potencia promedio de 1.71 HP (1.71 CV). El eje de la zaranda gira a 720 rpm. La eficiencia de la transmisión se estima en 95%.

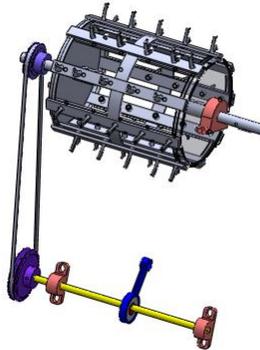
A. Datos

$$\begin{aligned} n_m &= 1080 \text{ rpm} \\ n_c &= 720 \text{ rpm} \\ P &= 1.71 \text{ CV} \end{aligned}$$

B. *Parámetros de cálculo.* Se calcula lo siguiente:  $i$ ,  $P_d$ ,  $T_{banda}$ ,  $d$ ,  $D$ ,  $I$ ,  $L$ ,  $L'$ ,  $I_{real}$ ,  $\beta$ ,  $P_a$ ,  $N$ .

C. *Diagrama cuerpo libre*

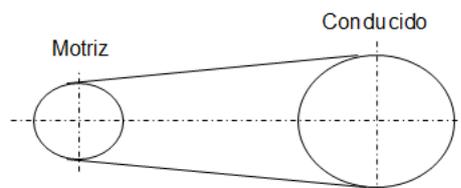
Figura 44. Transmisión por banda eje trilla-eje criba



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

D. *Marco teórico.* Para el cálculo de selección de bandas trapeziales de la trilladora, selecciono el procedimiento dado por PIRELLI, sustentado en el marco teórico de la tesis, ec.(24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33).

E. *Procedimiento de cálculo*



Parámetro	Resultado
$i$	1.5
$P_d$	2 CV
$T_{banda}$	Tipo A
$d$	$\geq 125 \text{ mm}$
$D$	150 mm
$I$	225 mm
$L$	845.28 mm
$L'$	1684 mm. A – 65
$I_{real}$	644.31 mm
$\beta$	$175.58^\circ = 3.064 \text{ rad}$
$P_a$	1.62 HP
$N$	$1.26 \approx 1$

**Conclusión:** Se ha seleccionado 1 banda A-65, y con una velocidad de 1130 fpm, lo cual está dentro del rango de velocidad de PIRELLI. Además, dos poleas de un canal de 4" y 6" para transmitir la potencia de uso de 1.71HP con una sobrecarga de 25% en plena carga.

**5.1.4.5 Cálculo del diámetro del eje de la unidad trilladora según el método gráfico.** La longitud del eje entre apoyos es de 0.45 m, la carga distribuida es 1.253 N/cm. El momento máximo flector del eje es 31.725 N-m y el torque en el eje es 11.28 N-m aplicando las relaciones de la tabla. El material del eje es acero AISI 4340 cuya resistencia última teórica es 765MPa y un límite de fluencia de 683 MPa. Se aplica un margen de seguridad de 4.

A. *Datos*

$$M_{max} = 31.725 \text{ N} - \text{m}$$

$$T_{max} = 11.28 \text{ N} - \text{m}$$

Se selecciona un acero AISI 4340, con las siguientes propiedades;

$$S_u = 765 \text{ MPa}$$

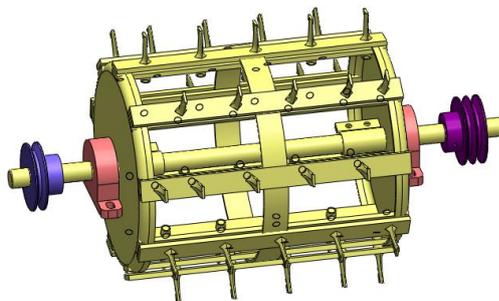
$$S_y = 683 \text{ MPa}$$

$$n = 4$$

B. *Parámetros de cálculo.* Se calcula el diámetro del eje ( $\emptyset$ )

C. *Diagrama cuerpo libre*

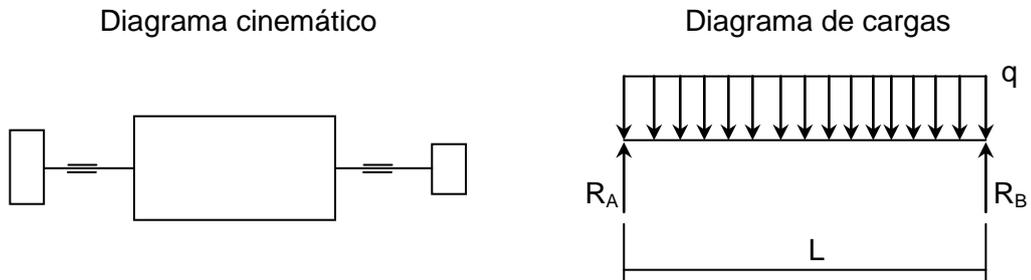
Figura 45. Esquema del eje de trilla



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

D. *Marco teórico.* Para el cálculo del diámetro del eje se aplica la ec. (21), (22), (23).

E. *Procedimiento de cálculo*



Para determinar el límite de fatiga teórico del material se plantea la ec.(23):

$$S'_e = 0.57S_u = (0.57)(765 \text{ MPa})$$

$$S'_e = 436 \text{ MPa}$$

El límite de fatiga corregido, se aplica la ec.(22), por ende;

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e = (1)(0.87)(0.897)(463 \text{ MPa})$$

$$S_e = 340 \text{ MPa}$$

Mediante la ec.(21) se determina el diámetro del eje.

$$\phi_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16n(T * S_e + 2M_{max} * S_u)}{\pi * S_u * S_e}} =$$

$$\phi_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16(4)((11.28)(340 * 10^6) + 2(31.725)(765 * 10^6))}{\pi(765 * 10^6)(340 * 10^6)}}$$

$$\phi_{eje} = 0.016 \text{ m}$$

**Conclusión:** Se ha seleccionado una barra redonda de acero AISI 4340 de 30 mm de diámetro, cumpliendo con el requerimiento de carga.

**5.1.4.6 Cálculo del diámetro del eje de la zaranda.** La longitud del eje entre apoyos es de 0.45 m, la carga puntual es 98 N. El momento flector máximo en el eje es de 11.025 N-m, el torque máximo en el eje es 16.12 N-m. El material es acero AISI 1018 cuya resistencia última teórica es 400MPa y un límite de fluencia de 220MPa. Se aplica un margen de seguridad de 4.

A. *Datos*

$$M_{max} = 11.025 \text{ N} - m$$

$$T_{max} = 16.12 \text{ N} - m$$

Se selecciona un acero AISI 1018, con las siguientes propiedades;

$$S_u = 400 \text{ MPa}$$

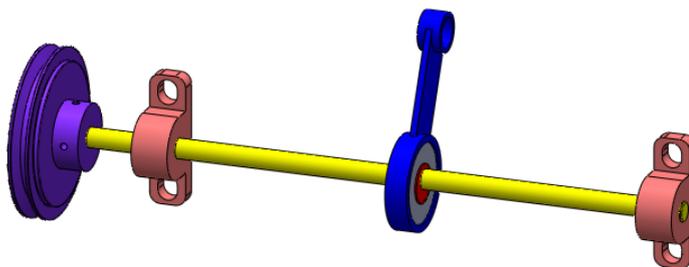
$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

$$n = 4$$

B. *Parámetros de cálculo.* Se calcula el diámetro del eje ( $\emptyset$ )

C. *Diagrama del cuerpo libre*

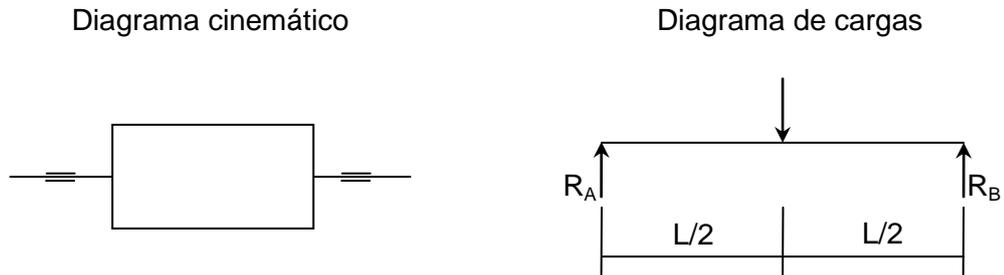
Figura 46. Eje de la zaranda



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

D. *Marco teórico.* Para el cálculo del diámetro del eje se aplica las ec.(21), (22), (23).

E. Procedimiento de cálculo



PARÁMETRO	RESULTADO
$S'_e$	228 MPa
$S_e$	178 MPa
$\phi_{eje}$	0.015 m

**Conclusión:** Se ha seleccionado una barra redonda de acero AISI 1018 de 19 mm (3/4") de diámetro, cumpliendo con el requerimiento de carga.

**5.1.4.7 Selección de chumaceras eje de la trilla.** La longitud del eje es de 0.45 m, que soporta una carga transformada puntual de 56.4 N. A través de la tabla, se determinó que la carga radial es 28.2 N en los apoyos de dicho eje. El diámetro de mismo es 30 mm.

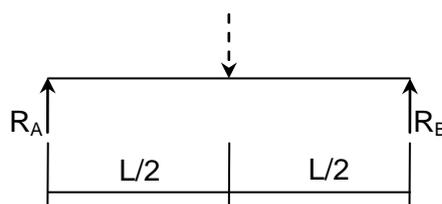
A. Datos

$$F_N = 28.2 \text{ N}$$

$$\phi_{eje} = 30 \text{ mm}$$

B. *Parámetros de cálculo.* Se calcula la vida útil de la chumacera;  $L_{vida}$

C. *Diagrama cinemático*



D. *Marco teórico.* Para el cálculo de la vida útil de chumacera se utilizan la ec.(43) y (44).

E. *Procedimiento de cálculo.* A través de la ecuación, se determina la carga radial equivalente.

$$P = (X * F_n) + (Y * F_A) = (1)(28.3 N)$$

$$P = 28.3 N$$

El valor de X, se obtuvo de la tabla 8. Y es igual a cero ya que no existe fuerza radial en el eje radial perpendicular.

Con el valor del diámetro del eje se selecciona una chumacera, de la tabla 9;

$$C = 19\ 429 N$$

Finalmente, la vida útil de una chumacera es:

$$L_{vida} = \left(\frac{C}{P}\right) * \frac{1667}{N} = \frac{(19429)(1667)}{(28.3)(1080)}$$

$$L_{vida} = 1060 \text{ horas}$$

**Conclusión:** Se ha seleccionado una chumacera de bolas D-LOK 126603, con una vida útil estimada de 1068 horas a 1000 rpm, lo cual cumple con los requerimientos.

**5.1.4.8 Selección de chumaceras eje de la zaranda.** La longitud del eje es de 0.45 m, que soporta una carga transformada puntual de 56.4 N. A través de la tabla, se determinó que la carga radial es 28.2 N en los apoyos de dicho eje. El diámetro de mismo es 19 mm (3/4”).

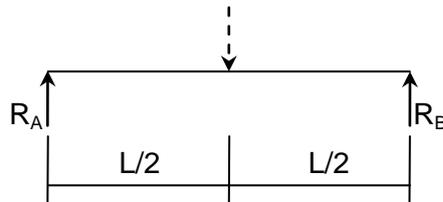
A. *Datos*

$$F_N = 28.2 N$$

$$\begin{aligned}\phi_{eje} &= 19 \text{ mm} = 3/4 \text{ in} \\ N &= 720 \text{ rpm}\end{aligned}$$

B. *Parámetros de cálculo.* Se calcula la vida útil de la chumacera;  $L_{vida}$

C. *Diagrama cinemático*



D. *Marco teórico.* Para el cálculo de la vida útil de chumacera se utiliza la ec. (43) y (44).

E. *Procedimiento de cálculo*

PARÁMETRO	RESULTADO
$P$	28.3 N
$L_{vida}$	1055 horas

**Conclusión:** Se ha seleccionado una chumacera de bolas DODGE D-LOK 128700, con una vida útil estimada de 1334 horas a 750 rpm, lo cual cumple los requerimientos.

**5.1.4.9 Dimensionamiento del sistema de zarandas.** La capacidad de procesamiento de los equipos es de 150 kg/h (0,15 T/h), manteniendo una jornada de trabajo de 8 horas diarias.

A. *Datos*

$$P_{hora} = 150 \frac{kg}{h}$$

B. *Parámetros de cálculo.* Se determina el área de cribado o de la zaranda.

C. *Marco teórico.* Para determinar el área de cribado se utiliza la ec.(45), (46) y (47).

D. *Procedimiento de cálculo.* A través de la ec.(46), se calcula la cantidad de material (semillas) a procesar, por ende;

$$U = \frac{P_{hora}}{1000} * 1.10231 = \frac{150}{1000} * 1,10231 \text{ STPH}$$

$$U = 0,165 \text{ STPH}$$

Mediante la ec.(45), se calcula el área mínima de cribado, por lo tanto;

$$A_{zaranda} = \frac{U}{A * B * C * D * E * F * G * H * J}$$

El factor “A” se lo obtiene de la tabla 10 en relación al tamaño de la semilla (2 mm), por lo tanto; A = 0,95.

El factor “B” se lo obtiene de la tabla 11, con relación al porcentaje tomado de la tabla 8, por ende; B = 0,52.

El factor “C” se obtiene de la tabla 12, considerando que se retiene el 15% de material, entonces, C = 0,55.

El factor “D” se obtiene de la tabla 13, afirmando que se utiliza una cubierta superior, entonces, D = 1.

El factor “E” se obtiene de la tabla 14, para el tipo de perforación seleccionada, se determina que E = 2.

El factor “F” se obtiene de la tabla 15, para la densidad de la semilla de alfalfa de 770 kg/m<sup>3</sup> (48,11 lb/pie<sup>3</sup>), entonces, F = 0,5.

El factor “G”, se determina de acuerdo al porcentaje de área abierta que se dispone. Por lo obtenido en cálculos anteriores se asegura que G = 0,22.

El factor "H" se lo obtiene de la tabla 16, dependiendo el tipo de abertura que se disponga. H = 1, afirmando que los agujeros cuadrados se relacionan mejor con los circulares.

El factor "J" se lo obtiene de la tabla 17, asegurando que se obtiene una eficiencia del 90% en el proceso de descascarado, entonces, J = 1,15.

Reemplazando los valores, se tiene;

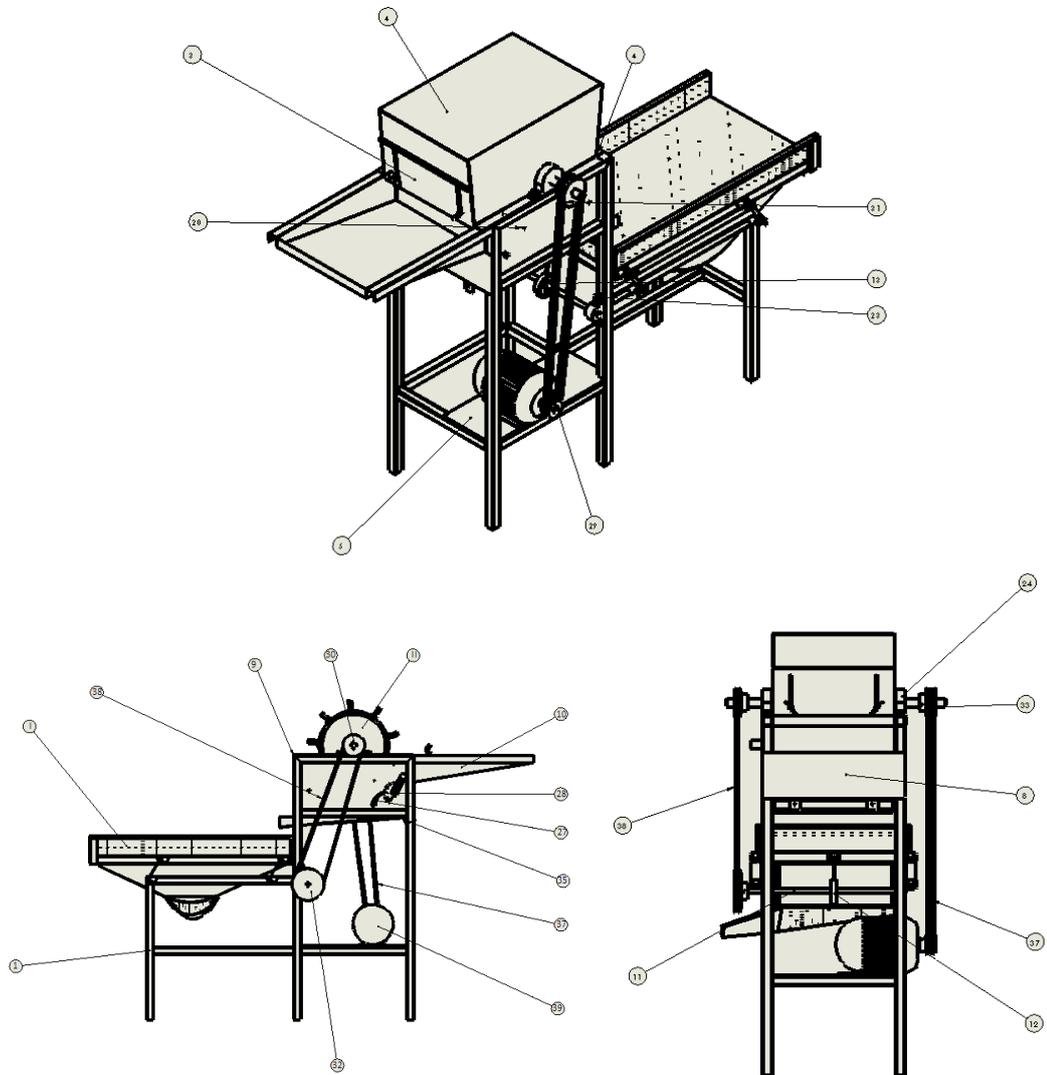
$$A_{zaranda} = \frac{0,165}{(0,95)(0,52)(0,55)(0,90)(2)(0,50)(0,22)(1)(1,15)}$$

$$A_{zaranda} = 2,7 \text{ pie}^2$$

**Conclusión:** Se ha seleccionado una plancha perforada de 0,45x1 m (4,84 pie<sup>2</sup>) con perforaciones circulares de 2 mm de diámetro, lo cual satisface el requerimiento.

5.1.4.10 *Equipo diseñado*

Figura 47. Partes del descascarador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 50. Lista estructurada del descascarador

No. de parte	Nombre de la parte	Cantidad / Unidad	Fabricar	Comprar
1	Estructura. □37x37x2 mm	1	X	
2	Colector semillas. AISI 304	1	X	
3	Compuerta de regulación. AISI 304	1	X	
4	Cubierta de trilla. AISI 304	1	X	
5	Placa base del motor. AISI 1020	1	X	
6	Placa lateral izquierda. AISI 1023	1	X	
7	Placa lateral derecha. AISI 1023	1	X	
8	Tapa 1 trilla. AISI 304	1	X	
9	Tapa 2 trilla. AISI 304	1	X	
10	Tolva de carga. AISI 304	1	X	
11	Eje de criba. AISI 1020	1	X	
12	Base excéntrica. AISI 4340	1	X	
13	Excéntrica. AISI 4340	1	X	
14	Eje leva. AISI 304	1	X	
I	Sistema de cribas.	1	X	
II	Unidad trilladora.	1		X
17	Guía peine izquierda.	1		X
18	Guía peine derecha.	1		X
19	Seguro guía izquierdo.	1		X
20	Seguro guía derecho.	1		X
21	Peine perforado.	1		X
22	Peine dentado.	3		X
23	Chumacera eje criba. UCP 204-12	2		X
24	Chumacera eje trilla. UCP 206-12	2		X
25	Leva derecha.	1		X
26	Leva izquierda.	1		X
27	Seguro de trinquete.	1		X
28	Trinquete.	1		X
29	Polea doble canal. Φ2,5"	1		X
30	Polea un canal. Φ 4"	1		X
31	Polea doble canal. Φ 4"	1		X
32	Polea un canal. Φ 6"	1		X
33	Chaveta. UNE 17012	3		X
34	Rodamiento excéntrica. 6207ZZ	1		X
35	Caucho. UNE 26074	2		X
36	Tuerca mariposa. UNE 18035	2		X
37	Banda trapecial. A 77	2		X
38	Banda trapecial. A 66	1		X
39	Motor eléctrico 3HP/trifásico	1		X

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

### 5.1.5 Separador por peso específico

**5.1.5.1 Peso de la semilla de alfalfa.** Se tomaron 5 muestras, cada una contenía 50 semillas separadas al azar. Se pesaron cada una de las muestras y se dividió el peso para el número de semillas, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 51. Peso de la semilla de alfalfa

Ítem	Muestra	Peso	Semilla
	Semillas	gr	gr
1	50	0,11	0,0022
2	50	0,13	0,0026
3	50	0,12	0,0024
4	50	0,11	0,0022
5	50	0,11	0,0022
<b>Promedio</b>	50	0,116	0,0023

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**Conclusión:** El peso promedio de una semilla de alfalfa es de 0.0023 gramos. Dicha semilla tiene un alto poder germinativo.

Según lo mencionado en el estado del arte, las semillas sin poder germinativo (muertas) poseen un peso 10% menor que una semilla viva. Entonces el peso de una semilla muerta es de 0.00207 gramos.

**5.1.5.2 Peso de la semilla de trébol.** Se tomaron 5 muestras, cada una contenía 50 semillas separadas al azar. Se pesaron cada una de las muestras y se dividió el peso para el número de semillas, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 52. Peso de la semilla de trébol

ITEM	MUESTRA	PESO	P. SEMILLA
	Semillas	gr	gr
1	50	0.055	0.0011
2	50	0.065	0.0013
3	50	0.06	0.0012
4	50	0.055	0.0011
5	50	0.055	0.0011
<b>PROMEDIO</b>	50	0.058	0.0012

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**Conclusión:** El peso promedio de una semilla de trébol es de 0.0012 gramos. Dicha semilla tiene un alto poder germinación.

Según lo mencionado se determina que la semilla de alfalfa tiene un peso mayor, por lo cual, el diseño del equipo y de sus elementos se lo realizará a partir de ésta semilla.

**5.1.5.3 Fuerza para elevar la semilla muerta de alfalfa.** Se calcula la fuerza necesaria para separar las semillas muertas de las vivas, a través de la ec.(50).

$$F = \frac{P_{muerta} * g}{1000} = \frac{(0.00207 \text{ gr}) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)}{1000}$$

$$F = 2 * 10^{-5} N$$

Luego,

$$F_{req} = \frac{F * (100 - \%_{imp}) * C_{secador}}{2 * 100 * t * P_{semilla}} = \frac{2 * 10^{-5} N (1 - 0,7) (1000 \text{ kg})}{2 * (3600 \text{ s}) (2,07 * 10^{-7} \text{ kg})}$$

$$F_{req} = 4 N$$

El tiempo de 3600 segundos significa que cada segundo las semillas son levantadas por la corriente de aire, puesto que, al no involucrar el tiempo el ventilador deberá levantar las semillas de golpe por lo que se necesitaría una fuerza muy elevada, lo cual resulta irreal.

**5.1.5.4 Selección del ventilador.** Para calcular la potencia del ventilador establece que la velocidad de ascenso de la semilla de alfalfa es de 50 cm/s, según experimentaciones realizadas. Por ende;

$$Pot = \frac{F_{req} * V}{\eta_{vent}} = \frac{(4 N) \left(0,5 \frac{m}{s}\right)}{0,8}$$

$$Pot = 2,5 W$$

Para determinar el volumen total de aire, se debe calcular la masa de semillas muertas rechazadas durante una hora, asumiendo que el porcentaje de semillas muertas rechazadas alcanza el 10% como máximo. De la ec.(52);

$$P_{muerta} = \%_{muertas} * P_{hora} = (0.1)(150 \text{ kg/h})$$

$$P_{muerta} = 15 \text{ kg/h}$$

Aplicando la ec.(48), se obtiene el volumen de aire para elevar la masa de semillas;

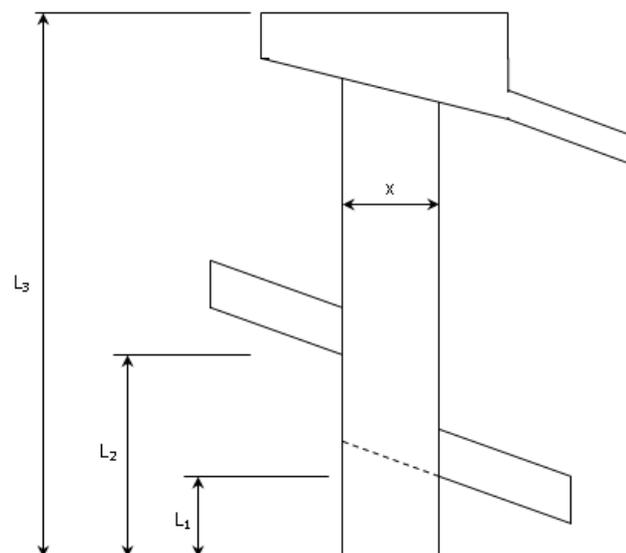
$$V_{semilla} = \frac{P_{muerta}}{\delta_{semilla}} = \frac{15 \text{ kg/h}}{770 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{semilla} = 17,73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

**Conclusión:** Se ha seleccionado un ventilador AEG AMEB 56 AX2 de 0,18 KW y 112 CFM (190 m<sup>3</sup>/h); lo cual cumple con los requerimientos.

**5.1.5.5 Dimensiones del separador neumático.** A continuación se presenta un esquema del separador neumático

Figura 48. Dimensiones del separador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Se afirma que la altura a la descarga de las semillas vigorosas ( $L_1$ ) es 24 cm; la altura de la entrada de las semillas ( $L_2$ ) es 40 cm y la descarga de los desperdicios y semillas muertas ( $L_3$ ) es 90 cm.

Para determinar las longitudes de los lados del ducto se aplica la ec.(51):

$$A_t = \frac{Q}{V} = \frac{17,73 \text{ m}^3/h}{1 \text{ m/s}}$$

$$A_t = 0,004925 \text{ m}^2$$

Para un ducto de sección transversal cuadrada, se tiene;

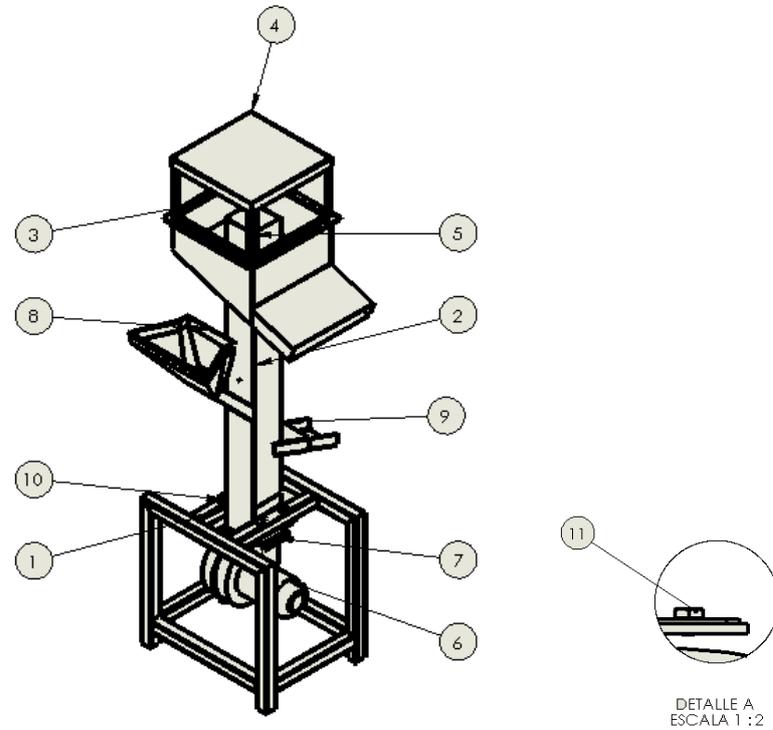
$$x = \sqrt{A_t} = \sqrt{0,004925 \text{ m}^2}$$

$$x = 0,07 \text{ m}$$

**Conclusión:** se requiere de un ducto con una sección transversal de 7 cm de lado como mínimo. Sin embargo, para efectos de construcción se tomará una longitud de 10 cm.

### 5.1.5.6 Lista estructurada del equipo

Figura 49. Partes del separador



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 53. Lista estructurada del separador neumático

No. de parte	Nombre de la parte	No. de dibujo	Cantidad / Unidad	Fabricar / Comprar	
1	Estructura. □37x37x2 mm		1	X	
2	Ducto. AISI 304		1	X	
3	Descarga impurezas. AISI 304		1	X	
4	Tapa superior. AISI 304		1	X	
5	Salida de aire. AISI 304		1	X	
6	Ventilador		1		X
7	Regulador de aire. AISI 304		1	X	
8	Tolva. AISI 304		1	X	
9	Tolva descarga. AISI 304		1	X	
10	Perno 1/4" x 2"		4		X
11	Perno 1/4" x 5/8"		3		X
12	Perno 1/4" x 5/8"		1		X
13	Compuerta de carga		1	X	
14	Tuerca mariposa		1		X

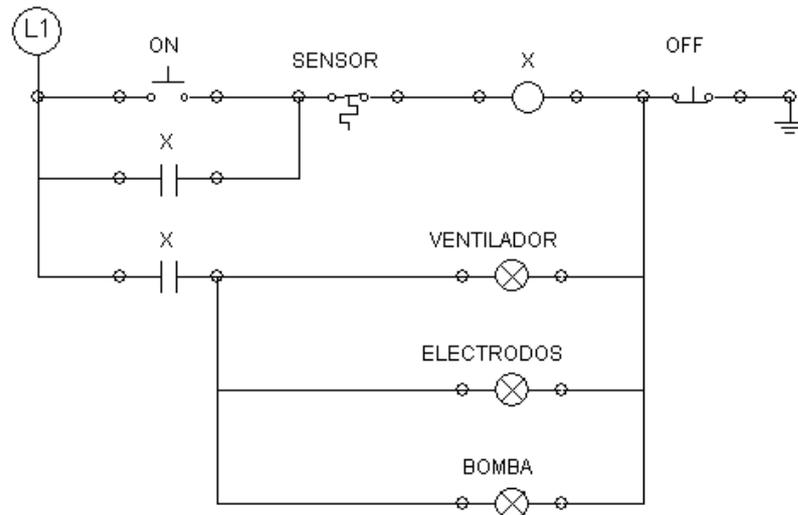
Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

## 5.2 Diseño de circuitos de control y potencia

### 5.2.1 Secador

#### 5.2.1.1 Circuito de control de la temperatura

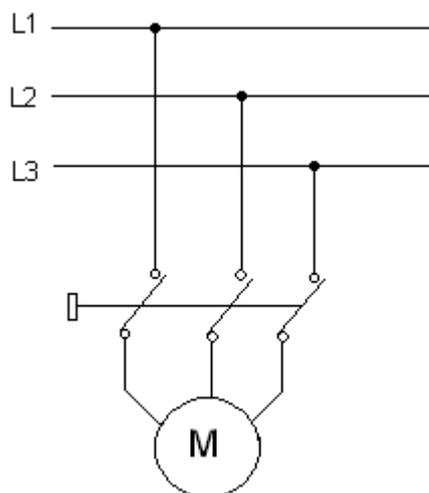
Figura 50. Circuito de control de la temperatura



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

#### 5.2.1.2 Circuito de potencia para el motor del ventilador y de la bomba del secador

Figura 51. Circuito de potencia para el motor del ventilador y de la bomba del secador

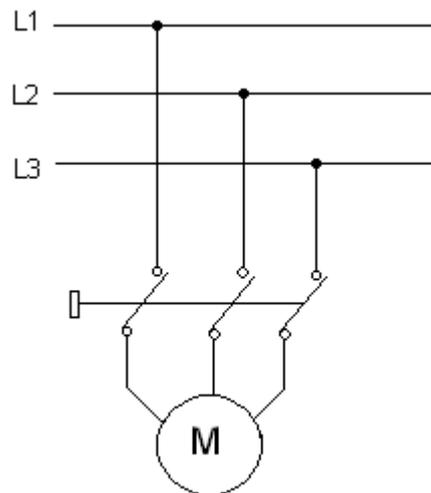


Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

## 5.2.2 Descascarador

### 5.2.2.1 Circuito de potencia para el motor

Figura 53. Circuito de potencia para el motor del descascarador

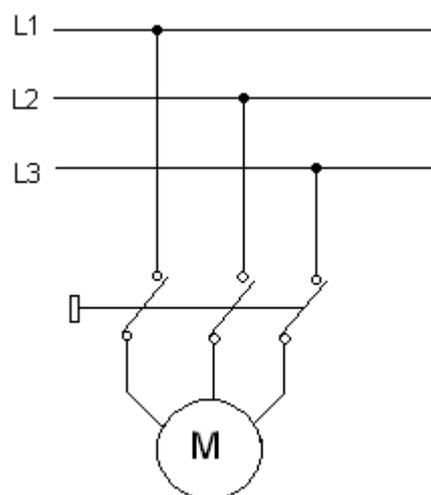


Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

## 5.2.3 Separador neumático

### 5.2.3.1 Circuito de potencia para el motor del ventilador

Figura 54. Circuito de potencia para el motor del ventilador del separador neumático



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

## CAPÍTULO VI

### 6. TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y COSTOS

#### 6.1 Tecnología de la construcción de los equipos

Una vez que se han diseñado y/o seleccionado los diferentes dispositivos y elementos de cada uno de los equipos (secador, descascarador y separador por peso), se procede al montaje de los mismos.

##### 6.1.1 *Fases del proceso de construcción*

**6.1.1.1 Secador.** Se han establecido las siguientes etapas y son:

- ❖ Construcción de la estructura.
- ❖ Construcción de pared interior, intermedia y exterior.
- ❖ Construcción de cubierta y compuerta de carga
- ❖ Construcción de compuerta de descarga, de mantenimiento.
- ❖ Construcción de piso falso.
- ❖ Construcción de ducto de aire.

**6.1.1.2 Descascarador.** Se han establecido las siguientes etapas y son:

- ❖ Construcción de la estructura.
- ❖ Construcción de tolvas.
- ❖ Construcción de unidad de trilla: piezas de hierro fundido.
- ❖ Construcción de tapas laterales: unidad de Trilla
- ❖ Construcción de la base del motor.
- ❖ Construcción de la zaranda.
- ❖ Construcción del sistema de vibración: biela excéntrica

**6.1.1.3 Separador neumático.** Se han establecido las siguientes etapas y son:

- ❖ Construcción de la estructura o bancada.

- ❖ Construcción de tolvas de entrada y descarga de semillas.
- ❖ Construcción de tolva de descarga de desperdicios.
- ❖ Construcción del escape de aire
- ❖ Construcción de base del ventilador.

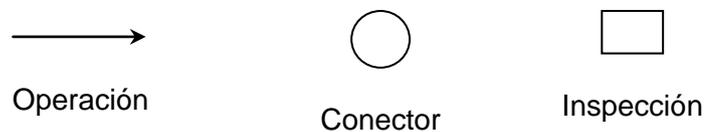
**6.1.2 Operaciones tecnológicas.** Las operaciones tecnológicas que se ejecutan para la construcción de los equipos se describen en la siguiente tabla.

Tabla 54. Operaciones tecnológicas

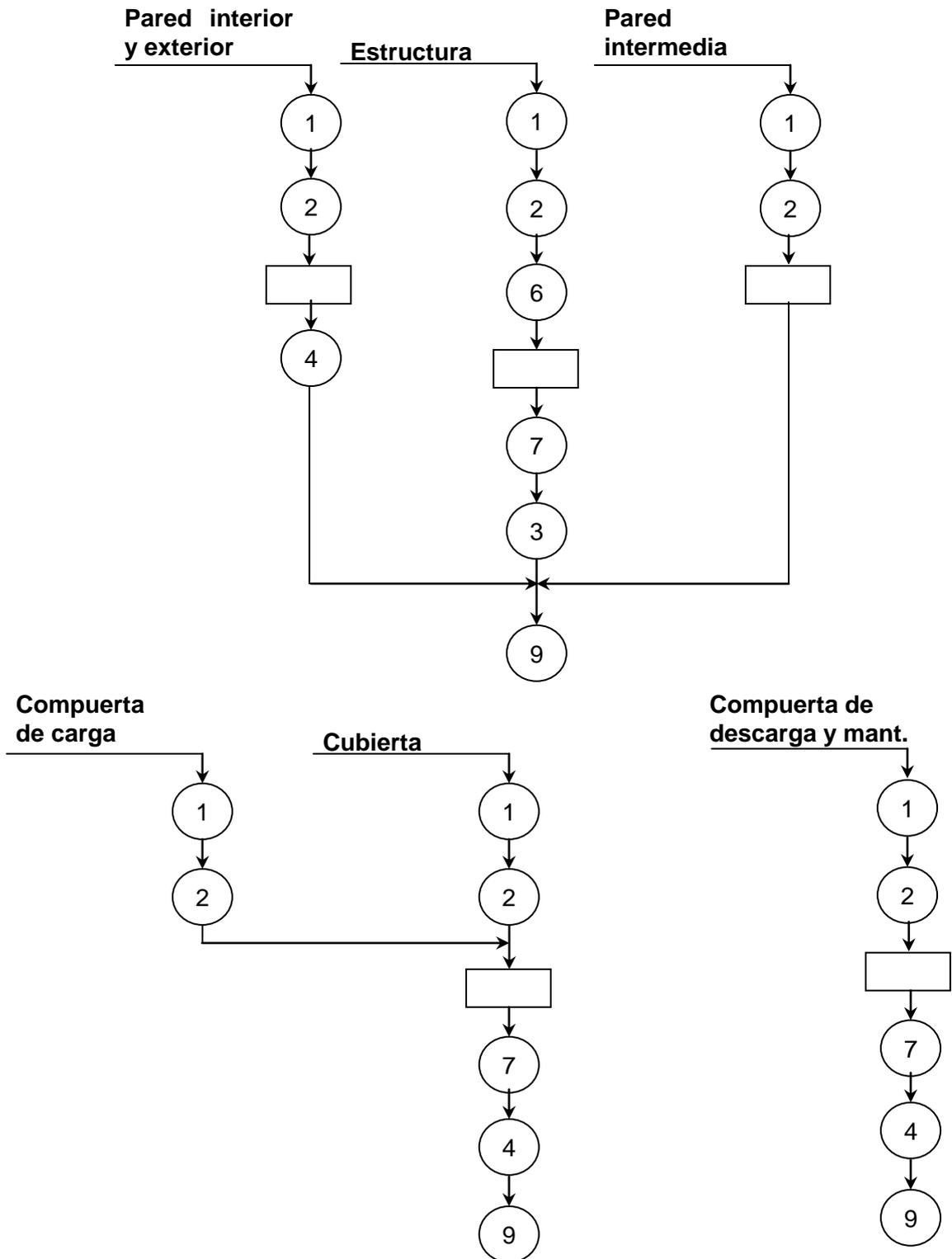
Orden	Operación
1	Medición y trazado
2	Corte
3	Pulido
4	Taladrado
5	Doblado
6	Rolado
7	Soldado
8	Empernado
9	Remachado
10	Refrendado y cilindrado
11	Fundido
12	Pintado
13	Montaje

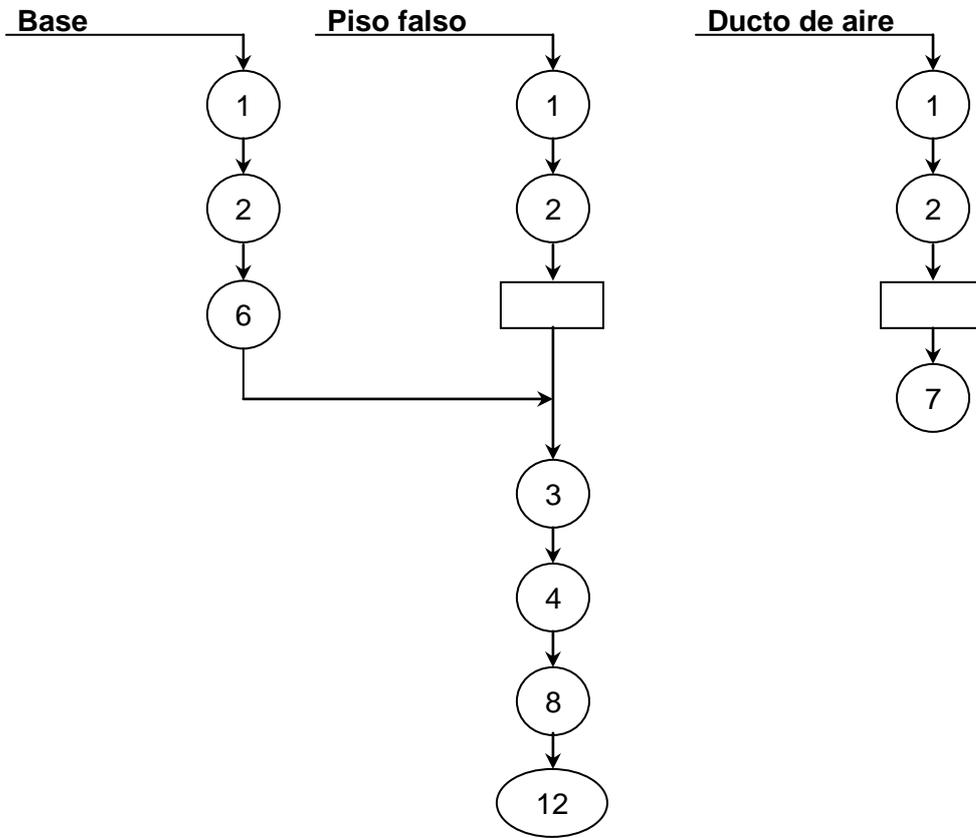
Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**6.1.3 Cursograma de construcción.** Las etapas de la construcción de cada uno de los equipos se detallan en los siguientes cursogramas. La simbología utilizada es la siguiente:

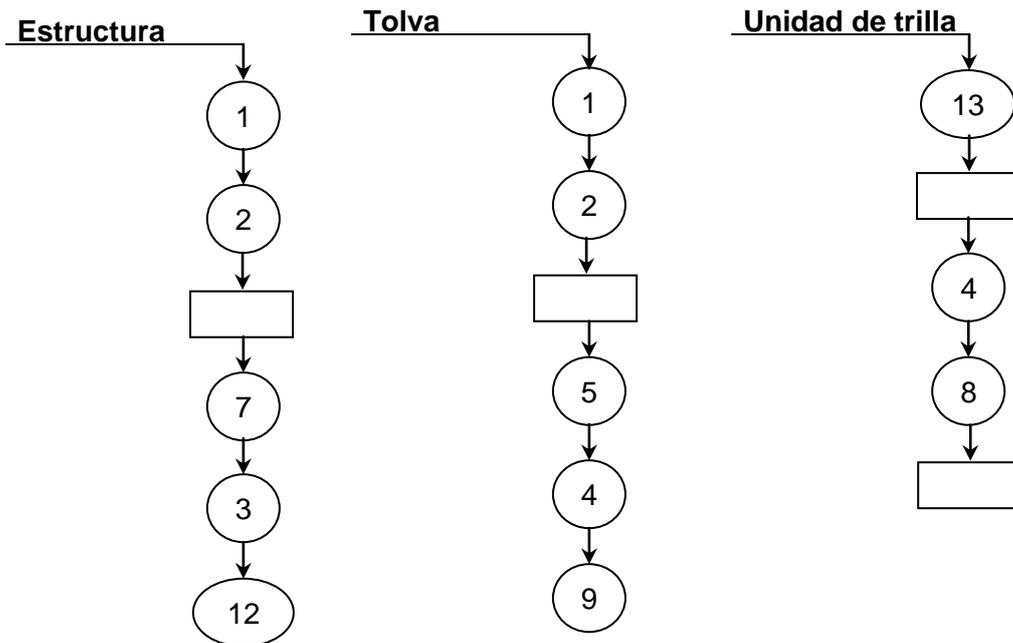


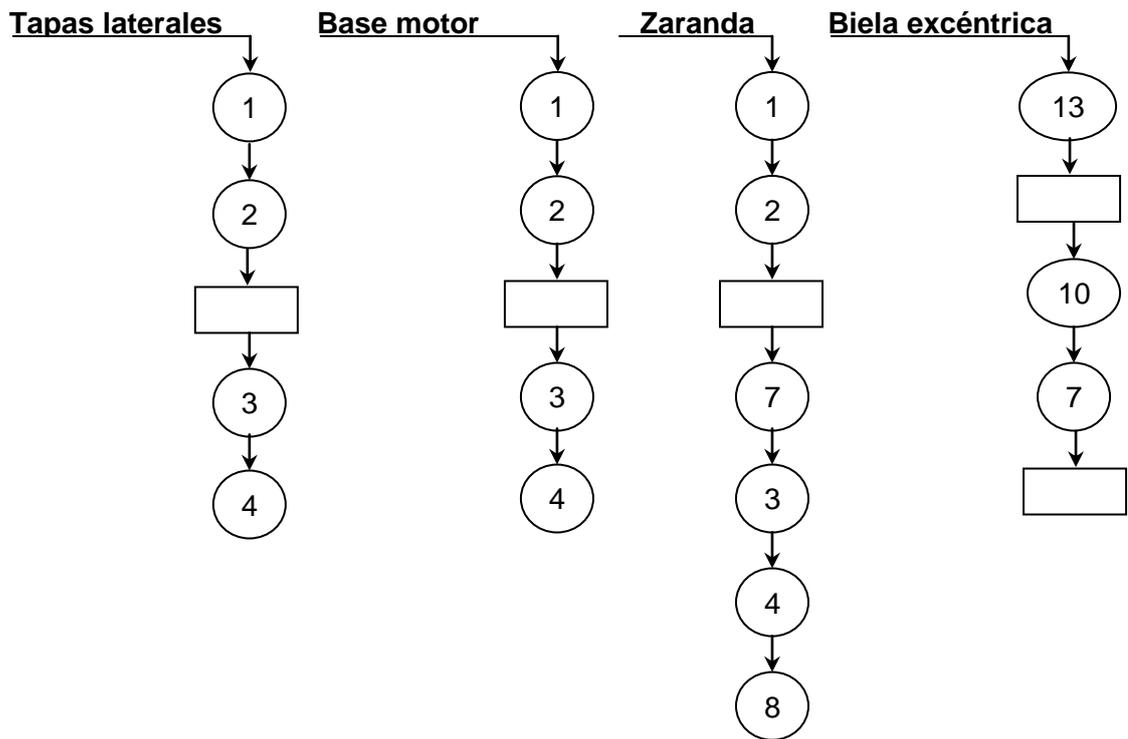
6.1.3.1 Secador



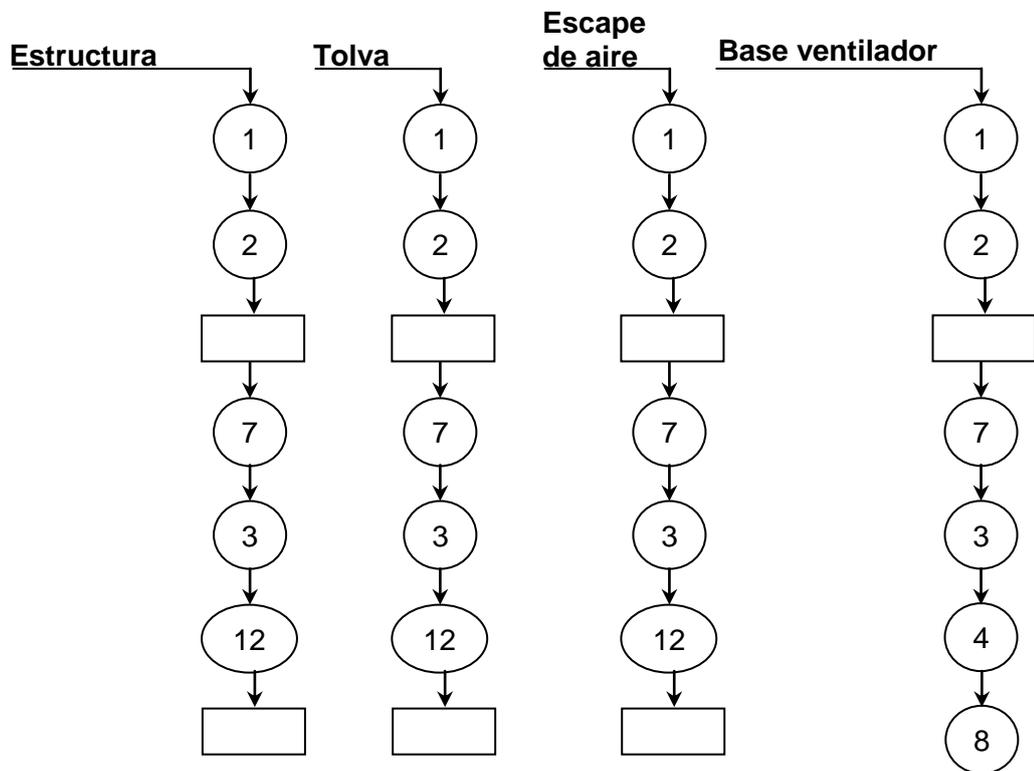


6.1.3.2 Descascarador





**6.1.3.3** *Separador neumático*



6.1.4 *Cronograma de actividades en la construcción.* Se establece el siguiente cronograma de actividades a realizarse en la construcción de los equipos.

6.1.4.1 *Secador*

Tabla 55. Cronograma de actividades del secador

<b>Día</b>	<b>Actividades</b>
1 – 2	Adquisición de materiales para la construcción del equipo.
3 – 4	Selección y adquisición de ventilador y quemador
5 – 7	Preparación de material para construcción de paredes, pisos y techo.
8 – 9	Construcción de estructura principal en acero tubular estructural.
10	Construcción de compuertas y ductos en acero.
11– 12	Ensamble de sistemas, colocación de aislante, detalles varios.
13– 14	Pruebas de funcionamiento y ajustes.

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

6.1.4.2 *Descascarador*

Tabla 56. Cronograma de actividades del descascarador

<b>Día</b>	<b>Actividades</b>
1 – 2	Adquisición de materiales y sistemas para la construcción del equipo.
3 – 4	Selección y adquisición de motor, ventilador y sistema de trillado.
15 - 17	Construcción de estructura principal en acero tubular estructural.
18 - 19	Preparación de material y construcción de sistema cribado.
20– 21	Preparación de material y construcción de sistema ventilador.
22– 24	Ensamble de partes en sistema de trillado una vez adquiridas.
25– 29	Montaje de motor, ventilador y sistemas de transmisión, trillado y cribado en la estructura principal del equipo.
30	Detalles varios.
31– 32	Pruebas de funcionamiento y ajustes.

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

6.1.4.3 *Separador neumático*

Tabla 57. Cronograma de actividades del separador neumático

<b>Día</b>	<b>Actividades</b>
1 – 2	Adquisición de materiales para la construcción del equipo.
3 – 4	Selección y adquisición de ventilador.
33	Construcción de estructura principal en acero tubular estructural.
34	Construcción de ducto de separación.
35	Construcción de tolvas y tapas del equipo.
36– 37	Ensamble de partes y sistemas del equipo.
38	Pruebas de funcionamiento, detalles varios y ajustes.

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

## **6.2 Mantenimiento [14]**

El mantenimiento de maquinaria debe considerarse como una tarea que, de forma periódica y metódica, consiga conservar seguros y en perfecto estado de funcionamiento los equipos de trabajo.

**6.2.1 Guía de montaje y operación.** El presente manual tiene la finalidad de auxiliarlo con la revisión física del equipo así como de tomar en cuenta los puntos básicos para la instalación y puesta en marcha del equipo, los cuales se definen en los siguientes puntos:

### **6.2.1.1 Características principales**

#### **A. SECADOR**

- ❖ Dimensiones generales: altura 0,80 m, altura libre de semillas 0,50 m
- ❖ Estructura tubular cuadrada acero laminado ASTM A36
- ❖ Piso exterior y paredes exteriores en acero galvanizado
- ❖ Piso interior y flotante en acero inoxidable
- ❖ Aislante de lana cerámica
- ❖ Cubierta en acero inoxidable
- ❖ Compuertas de carga y descarga en acero inoxidable
- ❖ Tiempo de secado 2 horas a una temperatura constante de secado a 40 °C
- ❖ Capacidad del secador 1.000 Kg
- ❖ Ventilador centrífugo BPAL 1.5 KW/500 CFM/2 HP
- ❖ Quemador a gas, encendido eléctrico y bloqueo de gas automático de 15000 BTU/h

#### **B. TRILLADORA**

- ❖ Dimensiones generales: largo 312 cm; ancho del cilindro 43,7 cm; alto 201 cm
- ❖ Capacidad nominal máxima 1500Kg/h
- ❖ Unidad de trilla: cilindro con dientes fundidos; cóncavo con dientes, con mecanismo de regulación.
- ❖ Estructura tubular cuadrada de acero.
- ❖ Motor eléctrico de 3 HP, 1725 rpm.

- ❖ Transmisión de potencia por banda trapecial tipo A.
- ❖ Sistema de zarandas compuesto de dos cribas con perforaciones circulares de 3 y 2 mm
- ❖ Tolva de alimentación de material y descarga de semillas y desperdicios en acero inoxidable.

### **C. SEPARADOR NEUMÁTICO**

- ❖ Dimensiones generales: ancho 0.6 m, largo 0.6 m, alto 1.6 m.
- ❖ Capacidad nominal: 150 kg/h
- ❖ Estructura tubular cuadrada acero laminado
- ❖ Ducto separador de acero inoxidable
- ❖ Rejilla de descarga en malla de acero
- ❖ Tolvas de carga y descarga en acero inoxidable.
- ❖ Ventilador BLOWER 2" de 0.18 kW, 112 CFM.
- ❖ Dámper.

#### **6.2.1.2 Montaje**

##### **A. SECADOR**

- ❖ Verifique que el voltaje y la frecuencia de su línea eléctrica corresponda a los datos de placa del equipo.
- ❖ Verifique que las características del suelo soporten el peso del secador.
- ❖ Manteniendo el equipo en posición ubicar el ventilador y quemador en las posiciones mostradas en los planos.
- ❖ Provea un metro de distancia en todas las direcciones desde el secador, para movilidad y operación del equipo.

##### **B. TRILLADORA**

- ❖ Verifique que el voltaje y la frecuencia de su línea eléctrica corresponda a los datos de placa del equipo.
- ❖ Verifique que las características del suelo soporten el peso y vibración de la trilladora.
- ❖ Nivele el equipo de la manera más horizontal posible.

- ❖ Provea de un metro y medio en la carga y descarga del producto, por efecto de operación y mantenimiento.
- ❖ Evite estar muy cerca del motor y del sistema de transmisión, en el arranque.
- ❖ Verifique que la cubierta esté cerrada.

### **C. SEPARADOR NEUMÁTICO**

- ❖ Verifique que el voltaje y la frecuencia de su línea eléctrica corresponda a los datos de placa del equipo.
- ❖ Ubique el equipo en lugar libre de corrientes de aire externas.

## **6.2.1.3 Operación**

### **A. SECADOR**

- ❖ Cerciórese que la compuerta de descarga y mantenimiento estén cerradas y bloqueadas,
- ❖ Abra la válvula del gas,
- ❖ Encienda el quemador y el ventilador, y espere hasta que se caliente la cámara de secado.
- ❖ Abra la compuerta de carga, y vierta el material hacia el interior del secador,
- ❖ Luego de vertido el material, cierre la compuerta de carga y espere un tiempo aproximado de 1.5 horas de secado para 1000 kilogramos de material o su equivalente,
- ❖ Transcurrido ese tiempo, apague el quemador y ventilador, posteriormente, desbloquee la compuerta de descarga, vertiendo el material secado en costales o sacos,
- ❖ Abra la compuerta de mantenimiento y limpie el plenum si han quedado residuos o desperdicios del proceso.

### **B. TRILLADORA**

- ❖ Cerciórese que en las descargas tanto de semillas como de desperdicios estén ubicados costales vacíos, y que no haya personas muy cerca de la máquina;
- ❖ Conecte el equipo a la línea de voltaje,
- ❖ Presione el botón "ON" de encendido,
- ❖ Vierta el material en la tolva, y desplácelo hacia el cilindro con dientes,

- ❖ Una vez que los costales se vayan llenando con desperdicios y semilla, retírelos y coloque otros,
- ❖ La calibración de la abertura del cóncavo se lo hace por medio de un mecanismo de trinquete, para lo cual, se afloja el seguro, se cambia la posición y se vuelve a asegurar.
- ❖ Terminado el producto, espere aproximadamente 4 minutos hasta que todo el material haya sido procesado y evacuado,
- ❖ Presione el botón “OFF” para apagar el equipo.

### **C. SEPARADOR NEUMÁTICO**

- ❖ Cerciórese que en las descargas de semillas “sanas” y desperdicios se encuentre lonas o costales para almacenar el producto.
- ❖ Conecte, el equipo a la red,
- ❖ Presione el botón “ON”, para el encendido del equipo,
- ❖ Vierta el material en la tolva.
- ❖ Si los costales se han llenados quítelos y coloque otros.
- ❖ Terminado el proceso, presione el botón “OFF”, para apagar el equipo.

**6.2.2 Guía de mantenimiento.** Entenderemos como operaciones de mantenimiento todas aquellas que se realicen con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos de trabajo. De acuerdo con ello, dentro de este grupo se engloban operaciones muy diversas y por tanto nos podemos encontrar con prácticamente la totalidad de los riesgos existentes. No obstante, nos referiremos a las medidas preventivas a emplear en cada caso.

**A. Secador.** Se pone a consideración la siguiente tabla en la que se muestra las partes del equipo a someterse a reparaciones:

Tabla 58. Frecuencia de revisiones de las partes del secador

Parte	D	S	M	3M	6M	A
Válvula de paso de gas	X	X				
Quemador de gas	X	X				
Ventilador				X		
Revisión de conexiones eléctricas			X			
Control de temperatura					X	
Limpieza del secador	X	X				X

D- diariamente; S- semanal; M- mensual; 3M- trimestral; 6M- semestral; A- anual

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**B. Trilladora.** Se pone a consideración la siguiente tabla en la que se muestra las partes del equipo a someterse a reparaciones:

Tabla 59. Frecuencia de revisiones de las partes del descascarador

Parte	D	S	M	3M	6M	A
Revisión de conexiones eléctricas				X		
Revisión del motor				X		
Revisión de poleas			X			
Revisión de correas			X			
Lubricación de chumaceras				X		
Interruptor ON/OFF				X		
Conexiones a tierra					X	
Limpieza de la unidad de trilla				X		X

D- diariamente; S- semanal; M- mensual; 3M- trimestral; 6M- semestral; A- anual

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**C. Separador neumático.** Se pone a consideración la siguiente tabla en la que se muestra las partes del equipo a someterse a reparaciones:

Tabla 60. Frecuencia de revisiones de las partes del separador neumático

Parte	D	S	M	3M	6M	A
Revisión de conexiones eléctricas				X		
Revisión del ventilador				X		
Interruptor ON/OFF				X		
Conexiones a tierra					X	
Limpieza total del equipo				X		X

D- diariamente; S- semanal; M- mensual; 3M- trimestral; 6M- semestral; A- anual

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**6.2.3 Riesgos y medidas preventivas.** En esta guía se pretende dar unas medidas preventivas genéricas tendentes a implementar procedimientos de trabajo que consideren la prevención de riesgos como algo inherente al trabajo diario, entendiendo las medidas preventivas particulares de cada equipo como algo a determinar en cada caso y que por su extensión no son objeto de esta guía.

### **A. SECADOR**

Se consideran los siguientes riesgos:



#### **Quemaduras**

- ❖ Tocar la superficie del quemador a gas.
- ❖ Al descargar el producto si esperar que se “enfríe” el secador.



#### **Aplastamiento**

- ❖ Aplastamiento de dedos al cerrar las compuertas de carga, descarga y mantenimiento.



#### **Lesiones músculo-esqueléticas**

- ❖ Alzar incorrectamente los costales llenos de producto al cargar y descargar el secador.

### **B. TRILLADORA**

Se consideran los siguientes riesgos:



#### **Atacamientos**

- ❖ Acercarse demasiado al sistema de transmisión
- ❖ Ingresar las manos al sistema de trilla.



#### **Fricción y abrasión**

- ❖ Los desperdicios producto del proceso de trillado.

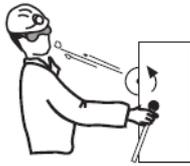


### **Lesiones músculo-esqueléticas**

- ❖ Alzar incorrectamente los costales llenos de producto al cargar y descargar la trilladora.

## **C. SEPARADOR NEUMÁTICO**

Se consideran los siguientes riesgos:



### **Fricción y abrasión**

- ❖ Los desperdicios producto del proceso de separación



### **Lesiones músculo-esqueléticas**

- ❖ Alzar incorrectamente los costales llenos de producto al cargar y descargar el separador neumático.



### **Proyección de fluidos y/o partículas**

- ❖ Los desperdicios y semillas rotas que ascienden con la corriente de aire.

## **6.3 Costos**

En el presente tema se realiza la revisión detallada de cada actividad relacionada con la construcción de los siguientes equipos:

- ❖ Un secador de semillas tipo silo de 1000 kg de capacidad.
- ❖ Un descascarador de semillas de 150 kg/h de procesamiento.
- ❖ Un separador neumático de semillas de 150 kg/h de procesamiento.

Del análisis del cronograma de actividades presentado en el tema anterior se obtienen los diferentes rubros, los cuales tienen relación directa con el costo total de cada uno de los equipos mencionados. Estas son:

**6.3.1 Costos directos.** Pertenecen los siguientes rubros:

- ❖ Materiales
- ❖ Mano de obra
- ❖ Equipos y herramientas

**6.3.2 Costos indirectos.** Consta de los siguientes rubros:

- ❖ Costo ingenieril
- ❖ Utilidad
- ❖ Imprevistos

A continuación se mostrarán los detalles de precios de los rubros ya mencionados para cada uno de los equipos a concebirse.

### 6.3.3 Secador

#### 6.3.3.1 Costos directos

##### A. Materiales

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	P.U.	P.T.
1	Spry aluminio	U	3.00	2.46	<b>7.37</b>
2	Pintura electrostática	U	1.00	30.00	<b>30.00</b>
3	Autoperforantes 8x1/2"	U	250.00	0.02	<b>3.93</b>
4	Remaches 3/16x3/8"	U	220.00	0.02	<b>4.18</b>
5	Broca 3/16"	U	2.00	1.25	<b>2.50</b>
6	Perno 3/4x2"	kg	0.80	4.00	<b>3.20</b>
7	Perno inox 1/4x2 1/2", tuerca, 2 rodela	U	16.00	0.42	<b>6.72</b>
8	Perno inox 5/16x2", 2 tuercas, 2 rodela	U	4.00	0.65	<b>2.60</b>
9	Perno inox 5/16x2", Tuerca, 2 rodela	U	6.00	0.63	<b>3.78</b>
10	Perno inox 1/2x2 1/2, Tuerca mariposa	U	3.00	1.40	<b>4.20</b>
11	Perno inox 7/16x1", tuerca mariposa	U	1.00	0.80	<b>0.80</b>
12	Perno acero G8 RG 1/2x2 1/2"	U	4.00	0.89	<b>3.57</b>
13	Tuerca acero RG 1/2 Hex 3/4	U	4.00	0.18	<b>0.71</b>
14	Par bisagra 5/8"x3	U	1.00	2.01	<b>2.01</b>
15	Par bisagra 1/2"x2	U	1.00	0.72	<b>0.72</b>
16	Caja fibra cerámica 25x2x1/12 ft, 8lb/ft <sup>3</sup>	U	2.00	117.50	<b>235.00</b>
17	Barra redonda inox AISI 304 3/8"	kg	3.50	8.60	<b>30.10</b>
18	Tubo estructural 30x1.5 mm	U	10.00	15.32	<b>153.20</b>

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	P.U.	P.T.
19	Plancha galvanizada 0,7 mm	U	3.00	28.43	<b>85.30</b>
20	Lámina perforada inox 2x3 mm, 1x2 m	U	1.00	475.00	<b>475.00</b>
21	Plancha inox 304-2B Mate 1 mm	U	2.00	164.00	<b>328.00</b>
22	Tanque CO <sub>2</sub>	U	1.00	40.00	<b>40.00</b>
23	Alambre SW E60	U	1.00	45.00	<b>45.00</b>
24	Disco de pulir grande	U	1.00	2.94	<b>2.94</b>
25	Disco de pulir de lija pequeño	U	1.00	1.42	<b>1.42</b>
26	Guantes para maniobra	Par	1.00	2.50	<b>2.50</b>
27	Disco de corte para perfiles	U	1.00	6.06	<b>6.06</b>
22	Plancha inox 304-2B Mate 0,7 mm	U	3.00	121.40	<b>364.20</b>
<b>Subtotal :</b>					<b>1845.00</b>

B. *Mano de obra*

Ítem	Descripción	Cant.	Tiempo (días)	Salario (diario)	Total
1	Ayudante de construcción	1.00	15.00	15.00	<b>225.00</b>
<b>Subtotal :</b>					<b>225.00</b>

C. *Equipos y herramientas*

Ítem	Descripción	Horas	Costo/hora	P. Total
1	Soldadora MIG	4.00	30.00	<b>120.00</b>
2	Soldadora TIG	1.00	30.00	<b>30.00</b>
3	Soldadora de punto	0.20	7.00	<b>1.40</b>
5	Dobladora manual	1.00	7.00	<b>7.00</b>
6	Dobladora semiautomática	0.20	20.00	<b>4.00</b>
7	Cizalla	1.00	4.00	<b>4.00</b>
8	Guillotina	2.00	18.00	<b>36.00</b>
9	Cortadora de tubos	1.00	5.00	<b>5.00</b>
10	Taladro de pedestal	5.00	3.00	<b>15.00</b>
<b>Subtotal :</b>				<b>222.40</b>

El costo de los materiales del secador, se estima;

Ítem	Descripción	Costo
1	Materiales	<b>1845.00</b>
2	Mano de obra	<b>225.00</b>
3	Equipos	<b>222.40</b>
4	Transporte	<b>0.00</b>
<b>Total :</b>		<b>2292.40</b>

### 6.3.3.2 Costos indirectos

Ítem	Descripción	Costo
1	Ingenieril	0.00
2	Utilidades	0.00
3	Imprevistos (15%)	343.86
<b>Total :</b>		<b>343.86</b>

Por ende, costo total de equipo, viene dado por la suma de los costos directos e indirectos.

Ítem	Descripción	Costo
1	Costo directo	2292.40
3	Costo indirecto	343.86
<b>Total :</b>		<b>2636.26</b>

### 6.3.4 Descascarador

#### 6.3.4.1 Costos directos

#### D. Materiales

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	P. U.	P. T.
1	Plancha inox 304-2B mate 1 mm	U	1,00	159,30	178,41
2	Unidad trilladora	U	1,00	2200,00	2200,0
3	Tubo estructural 37x2 mm	U	2,00	20,06	22,47
4	Perno hierro 1/4x1 1/4"	U	2,00	0,05	0,06
5	Tuerca hierro RG 1/4"	U	6,00	0,02	0,02
6	Arandela plana 1/4"	U	10,00	0,04	0,04
7	Arandela presión 1/4"	U	6,00	0,02	0,02
8	Perno hierro 1/2x1 1/4"	U	2,00	0,22	0,25
9	Arandela plana 1/2"	U	10,00	0,09	0,10
10	Arandela presión 1/2"	U	10,00	0,04	0,05
11	Tuerca hierro RG 1/2"	U	6,00	0,09	0,10
12	Perno hierro 1/2x3 1/2"	U	4,00	0,54	0,60
13	Perno hierro 5/16x3"	U	2,00	0,18	0,20
14	Arandela plana 5/16"	U	2,00	0,04	0,05
15	Tuerca hierro RG 5/16"	U	2,00	0,03	0,03
16	Arandela presión 5/16"	U	2,00	0,02	0,02
17	Perno hierro 1/4X3"	U	4,00	0,13	0,15
18	Perno acero G8 3/4x2"	U	8,00	2,41	2,70
19	Tuerca acero RG 3/4"	U	8,00	0,58	0,65

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	P. U.	P. T.
20	Perno hexagonal 1/4x1"	U	17,00	0,09	<b>0,10</b>
21	Rodela plana 1/4"	U	32,00	0,04	<b>0,04</b>
22	Chumacera UCP 205-100	U	2,00	10,95	<b>12,27</b>
23	Barra redonda acero transmisión 5/8"	m	1,00	4,46	<b>5,00</b>
24	Placa perforada circular 3x3 mm	U	1,00	42,00	<b>47,04</b>
25	Plancha inox 430 brillante 1 mm + PVC	U	1,00	87,43	<b>97,92</b>
26	Tubo estructural 37x2 mm	U	2,00	20,06	<b>22,47</b>
27	Tubo estructural 40x20x1,5 mm	U	1,00	12,76	<b>14,29</b>
28	Bases de caucho	U	2,00	3,13	<b>3,50</b>
29	Chumacera de piso 3/4" 204-12 TW NBR	U	2,00	5,40	<b>6,05</b>
30	Barra red. 3/4" transmisión SAE 1018	kg	1,50	2,80	<b>3,14</b>
31	Rodamiento rígido de bolas sello metal HCH (80)	U	1,00	2,95	<b>3,30</b>
32	Perno acero G8 RG 3/4"	U	8,00	2,41	<b>2,70</b>
33	Tuerca acero RG 3/4"	U	8,00	0,58	<b>0,65</b>
34	Motor WEG trifásico 3 HP/ 1725 rpm	U	1,00	213,62	<b>239,25</b>
35	Polea aluminio un canal 1/2x4"	U	1,00	3,26	<b>3,65</b>
36	Polea aluminio doble canal 1/2x2 1/2"	U	1,00	2,05	<b>2,30</b>
37	Banda trapezoidal A77	U	2,00	6,48	<b>7,26</b>
38	Polea de aluminio un canal 1/2x4"	U	1,00	3,26	<b>3,65</b>
39	Polea de aluminio un canal 1/2x6"	U	1,00	6,95	<b>7,78</b>
40	Banda trapezoidal A66	U	1,00	5,80	<b>6,50</b>
41	Plancha tool negro 4 mm	U	0,12	36,37	<b>40,73</b>
42	Malla de acero, perforación 1 mm	m <sup>2</sup>	1,00	30,00	<b>33,60</b>
43	Plancha inox brillante 0.7 mm	U	0,47	21,50	<b>24,08</b>
44	Plancha inox brillante 1.5 mm	U	0,04	43,00	<b>48,16</b>
45	Plancha tool negro 10 mm	U	0,05	104,02	<b>116,50</b>
46	Disco de corte pequeño	U	5	1.55	<b>7.75</b>
47	Tanque de argón	U	1.00	261.37	<b>261.37</b>
48	Disco de pulir de lija pequeño	U	3.00	1.42	<b>4.26</b>
<b>Subtotal :</b>					<b>3157,85</b>

E. *Mano de obra*

Ítem	Descripción	Cant.	Tiempo (días)	Salario (diario)	Total
1	Ayudante de construcción	1.00	15.00	10.00	150.00
<b>Subtotal :</b>					<b>150.00</b>

F. Equipos y herramientas

Ítem	Descripción	Horas	Costo/hora	P. Total
1	Soldadora MIG	0.50	30.00	<b>15.00</b>
2	Soldadora TIG	0.50	30.00	<b>15.00</b>
3	Soldadora de punto	0.40	7.00	<b>2.80</b>
4	Torno	2.00	18.00	<b>36.00</b>
5	Dobladora manual	1.00	7.00	<b>7.00</b>
6	Dobladora semiautomática	0.40	20.00	<b>8.00</b>
7	Cizalla	1.00	4.00	<b>4.00</b>
8	Guillotina	1.00	18.00	<b>18.00</b>
9	Cortadora de tubos	1.50	5.00	<b>7.50</b>
10	Taladro de pedestal	5.00	3.00	<b>15.00</b>
<b>Subtotal :</b>				<b>128.30</b>

El costo de los materiales del descascarador, se estima;

Ítem	Descripción	Costo
1	Materiales	<b>3157,85</b>
2	Mano de obra	<b>150.00</b>
3	Equipos	<b>128.30</b>
4	Transporte	<b>0.00</b>
<b>Total :</b>		<b>278.30</b>

6.3.4.2 Costos indirectos

Ítem	Descripción	Costo
1	Ingenieril	<b>0.00</b>
2	Utilidades	<b>0.00</b>
3	Imprevistos (15%)	<b>41.75</b>
<b>Total :</b>		<b>41.75</b>

Por ende, costo total de equipo, viene dado por la suma de los costos directos e indirectos.

Ítem	Descripción	Costo
1	Costo directo	<b>278.30</b>
3	Costo indirecto	<b>41.75</b>
<b>Total :</b>		<b>320.05</b>

### 6.3.5 Separador neumático

#### 6.3.5.1 Costos directos

##### A. Materiales

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Plancha inox 304 brillante 1mm	U	1.00	79.00	<b>79.00</b>
2	Ventilador AEG AMEB 56 AX2	U	1.00	30.00	<b>30.00</b>
3	Tubo estructural 37x2 mm	U	1.00	20.06	<b>20.06</b>
4	Pintura	U	1.00	69.00	<b>69.00</b>
5	Machuelo 5/16"	juego	1.00	7.40	<b>7.40</b>
6	Disco de pulir de lija pequeño	U	1.00	1.42	<b>1.42</b>
7	Disco de pulir grande	U	1.00	261.37	<b>261.37</b>
8	Disco de corte pequeño	U	10.00	1.55	<b>15.50</b>
<b>Subtotal :</b>					<b>483.75</b>

##### B. Mano de obra

Ítem	Descripción	Cant.	Tiempo (días)	Salario (diario)	Total
1	Ayudante de construcción	1.00	10.00	10.00	<b>100.00</b>
<b>Subtotal :</b>					<b>100.00</b>

##### C. Equipos y herramientas

Ítem	Descripción	Horas	Costo/hora	P. Total
1	Soldadora MIG	0.50	30.00	<b>15.00</b>
2	Soldadora TIG	1.50	30.00	<b>45.00</b>
3	Soldadora de punto	0.40	7.00	<b>2.80</b>
4	Dobladora manual	1.00	7.00	<b>7.00</b>
5	Dobladora semiautomática	0.40	20.00	<b>8.00</b>
6	Guillotina	2.00	18.00	<b>36.00</b>
7	Cortadora de tubos	0.50	5.00	<b>2.50</b>
8	Taladro de pedestal	5.00	3.00	<b>15.00</b>
<b>Subtotal :</b>				<b>131.30</b>

El costo de los materiales del separador neumático, se estima;

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Materiales	<b>483.75</b>
2	Mano de obra	<b>100.00</b>
3	Equipos	<b>131.30</b>
4	Transporte	<b>0.00</b>
<b>Total :</b>		<b>715.05</b>

#### 6.3.5.2 Costos indirectos

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Ingenieril	<b>0.00</b>
2	Utilidades	<b>0.00</b>
3	Imprevistos (15%)	<b>107.26</b>
<b>Total :</b>		<b>107.26</b>

Por ende, costo total de equipo, viene dado por la suma de los costos directos e indirectos.

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Costo directo	<b>715.05</b>
3	Costo indirecto	<b>107.26</b>
<b>Total :</b>		<b>822.31</b>

## 6.4 Viabilidad del proyecto

**6.4.1 Inversión inicial del proyecto.** Se estiman todos los rubros concernientes a maquinaria, capital de operación, equipo de seguridad y otros. Los rubros de maquinaria, capital de operación y otros fueron calculado anteriormente, por ende, se estima el costo en equipo de seguridad obteniéndose la siguiente tabla.

Tabla 61. Costo total de la inversión

<b>Inversión</b>	<b>Costo</b>
Equipos (secador, descascarador, separador neumático)	9114.96
Equipo de seguridad	100.00
Otros	150.00
<b>Total :</b>	<b>9364.96</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**6.4.2 Costos por operación y mantenimiento.** Se estima que los equipos trabajen 8 horas diarias como máximo, durante 20 días por mes. Por ende, el consumo eléctrico mensual es:

Tabla 62. Consumo eléctrico anual de los equipos

<b>Detalle</b>	<b>Consumo (kW)</b>	<b>Uso (h)</b>	<b>Energía (kWh)</b>
Motor del ventilador del secador	1.50	1920.00	2880
Motor de la Trilladora-criadora	2.24	1920.00	4300.8
Motor del ventilador del separador por peso	0.18	1920.00	345.6
<b>Total :</b>			<b>7526.4</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Los costos de operación y mantenimiento mensuales se denotan en la siguiente tabla.

Tabla 63. Costos anuales de operación y mantenimiento de los equipos

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Total</b>
Electricidad (kW)	7526.40	0.08	602.11
Mano de obra (U)	3.00	3600.00	10800.00
Combustible GLP (U)	200.00	40.00	8000.00
Grasa (lb)	2.00	3.00	6.00
<b>Total :</b>			<b>19408.11</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**6.4.3 Salvamento de los equipos.** Para efectos de cálculos de rentabilidad, se hace necesaria la estimación de un valor de salvamento ( $S$ ) de los equipos para el procesamiento de semillas de alfalfa y trébol. Se estima un valor de salvamento de 20% del costo de inversión ( $I$ ). Por lo tanto se tiene:

$$S = 20\% * I \quad (52)$$

$$S = (0.2)(9364.96 \text{ USD})$$

$$S = 1873 \text{ USD}$$

**6.4.4 Depreciación de los equipos.** Es la pérdida del valor contable de los activos fijos debido al uso al que están sometidos y con el paso del tiempo el rendimiento del los equipo decae.

Las leyes tributarias de nuestro país determinan que la vida útil de un equipo es de diez años.

A continuación se determina la depreciación anual ( $D_a$ ) de los equipos para un tiempo estimado de cinco años.

$$D_a = \frac{I-S}{n} \quad (53)$$

Donde;  $n$ , número de años.

$$D_a = \frac{I - S}{n} = \frac{9364.96 - 1873}{5}$$

$$D_a = 1498.40 \text{ USD}$$

**6.4.5 Ingresos anuales.** Se calcula los ingresos obtenidos por el procesamiento de semillas de alfalfa y trébol, estimado un costo de producción de \$0.10 por cada de semillas obtenida.

$$I_a = P_{hora} * t * C_{kilo} \quad (54)$$

Donde;  $t$ , tiempo anual de producción,  $C_{kilo}$ , costo por kilo de semilla obtenida.

$$I_a = (150 \text{ kg/h})(1920 \text{ h})(0.10 \text{ \$/kg})$$

$$I_a = 28800 \text{ USD}$$

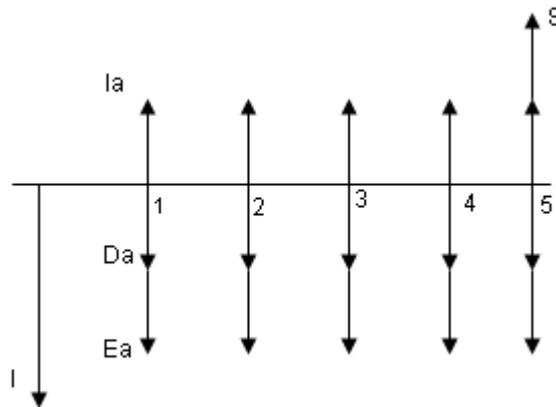
6.4.6 *Análisis del VAN y TIR.* Se tiene el siguiente flujo de caja para cada año.

Tabla 64. Flujo anual de caja

Detalle	Símbolo	Valor (\$)
Inversión inicial	I	9364.96
Ingreso de producción	Ia	28800.00
Operación y mantenimiento	Ea	19408.11
Salvamento	S	1873.00
Depreciación	Da	1498.40

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Figura 54. Diagrama de evaluación financiera



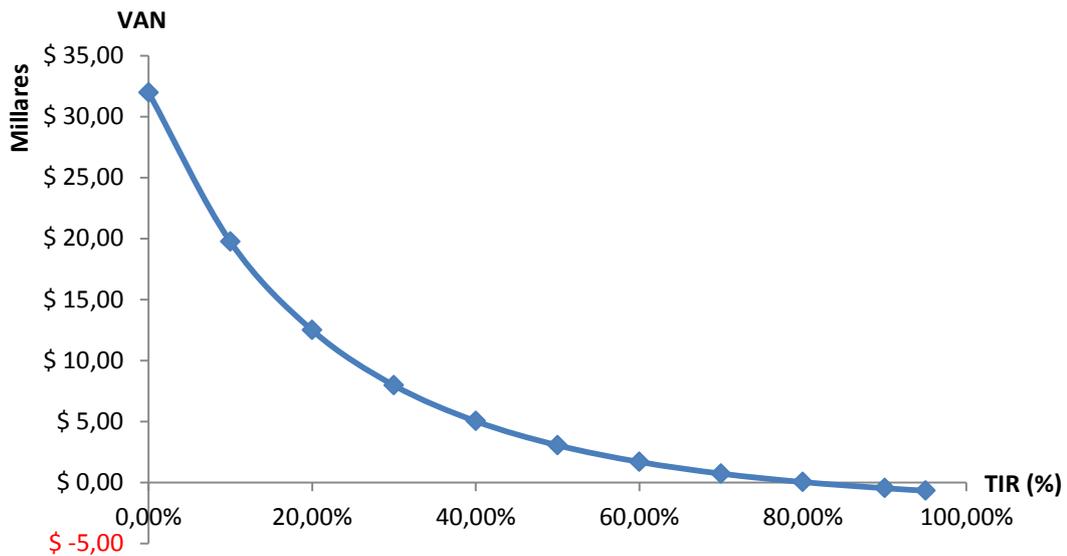
Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

En base a la figura anterior se determina el VAN.

$$VAN = (I_a - D_a - E_a)(P/A, i\%, n) + S(P/A, i\%, n) - I \quad (55)$$

De la expresión anterior, se grafica el VAN a distintos intereses, de lo cual se halla la TIR.

Figura 55. Gráfica TIR-VAN



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

De la figura anterior se determina que la TIR tiene un valor de 80.75%

**6.4.7 Análisis de punto de equilibrio.** Se aplica para determinar qué cantidad de material se necesita procesar para comenzar a obtener beneficios económicos. Por ello, de los costos de operación... ver numeral 6.4.2... se determina lo siguiente.

Tabla 65. Costos fijos y variables de operación y mantenimiento

Detalle	Costo fijo (\$)	Costo variable (\$)
Electricidad (kW)		19408.11
Mano de obra (U)	10800.00	
Combustible GLP (U)		8000.00
Grasa (lb)		6.00
<b>Total :</b>	<b>10800.00</b>	<b>27414.11</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Los ingresos anuales por producción se obtuvieron en el... numeral 6.4.5...

El punto de equilibrio se calcula por la siguiente relación:

$$PE = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{PV}} \quad (56)$$

Donde; *CV*, costos variables; *CF*, costos fijos; *PV*, costo de producción por unidad de masa; *PE*, punto de equilibrio.

$$PE = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{PV}} = \frac{10800}{1 - \frac{27414.11}{0.10}}$$

$$PE = 0.04$$

**CONCLUSION:** Se requiere procesar 4% de la producción anual de semillas, para empezar a obtener ganancias, es decir, se requiere obtener 11520 kilogramos (48 kg/día) de semilla.

## CAPÍTULO VII

### 7. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El procedimiento empleado para las pruebas de funcionalidad de los equipos (secador, descascarador y separador neumático) contempla las siguientes fases:

#### 7.1 Condiciones de cosecha

Dentro de este aspecto se provee cantidad suficiente de producto en vaina del cual se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- ❖ Nombre del producto
- ❖ Contenido de humedad
- ❖ Relación de semilla/vaina
- ❖ Tamaño de semilla

#### 7.2 Equipo para mediciones

##### 7.2.1 Secador

**7.2.1.1 Medición de temperaturas y humedad.** Se utiliza un higrómetro para la medición de la temperatura y humedad del aire impulsado por el ventilador y a la salida del silo-secador.

**7.2.1.2 Medición de la velocidad.** Se utiliza un anemómetro para la medición de la velocidad del aire impulsado hacia el silo-secador.

**7.2.1.3 Medición del consumo de combustible.** Se utiliza una balanza en la medición de la pérdida de peso del cilindro de GLP, durante el proceso de secado.

## **7.2.2 Trilladora y separador neumático**

**7.2.2.1 Medición de potencia.** Se utiliza equipo para medición de voltaje y amperaje en funcionamiento del motor eléctrico.

**7.2.2.2 Pesaje.** Se provee de balanzas para el pesaje respectivo del producto antes del proceso de descascarado, así como también de la semilla y vaina obtenidos en lo posterior al mismo.

## **7.3 Pruebas preliminares**

Se regula el equipo (secador, trilladora y separador neumático) de acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de diseño. Además se realiza pruebas con algunos índices de alimentación, de modo que son establecidos con el objetivo de familiarizarse con el equipo en funcionamiento.

## **7.4 Pruebas de rendimiento**

En esta fase de pruebas se realiza lo siguiente:

- ❖ En intervalos de 30 minutos se toman muestras para determinar la reducción de la humedad de la semilla, durante el proceso de secado. Durante este proceso se debe medir la caída de la temperatura y el incremento de la humedad del aire desde la entrada a la salida de la cámara de secado.
- ❖ Se toman tres índices de alimentación para diferentes aperturas del cóncavo en el sistema de trilla y del regulador de aire del descascarador y separador neumático respectivamente. Además durante este proceso se deben coleccionar la semilla extraída y residuos (vainas, polvo, materiales extraños) que fueron ingresados en la tolva. Se toma el tiempo total que se tarda en procesar toda la muestra.
- ❖ Se anotan los tiempos de para en caso de existirlos así como el motivo por el cual se produjeron. Al final de la prueba el equipo funciona en vacío 3-4 minutos para extraer por completo la semilla y los residuos producidos en el proceso de descascarado y de separado.

**7.4.1 Secador.** Se realizarán las siguientes mediciones cada treinta minutos.

Tabla 66. Parámetros de medición del secador

Parámetros	Unidad	Símbolo
Duración de cada prueba	min	T
Temperatura y humedad a la entrada del secador	°C	T <sub>1</sub>
Temperatura y humedad a la salida del secador	°C	T <sub>2</sub>
Velocidad del aire impulsado a la entrada del secador	m/s	V <sub>1</sub>
Velocidad del aire impulsado en el cumbrero del secador	m/s	V <sub>4</sub>
Masa del cilindro de gas antes de la prueba	lb	m <sub>1</sub>
Masa del cilindro de gas luego de la prueba	lb	m <sub>2</sub>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**7.4.2 Trilladora y separador neumático.** En resumen se hacen las mediciones siguientes:

Tabla 67. Parámetros de medición de la trilladora y separador neumático

Parámetros	Unidad	Símbolo
Duración de cada prueba	min	T
Semillas procesadas a la salida por unidad de tiempo	kg	B
Semillas procesadas por segunda ocasión a la salida por unidad de tiempo	kg	C
Producto en todas las salidas por unidad de tiempo	Kg	D
Semillas dañadas en todas las salidas por unidad de tiempo	kg	E
Semillas colectadas exteriores a la tolva de descarga por unidad de tiempo	Kg	H

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Se determina la media de los tres índices de alimentación realizados, y se procede a calcular los siguientes parámetros.

Tabla 68. Parámetros a calcular de la trilladora y separador neumático

Parámetros	Unidad	Símbolo	Cálculo
Producto total en vaina usado en la prueba	kg	A	B+C+D
Porcentaje de semillas procesadas en la primera pasada	%	M	(B/A)*100
Porcentaje de semillas no procesadas en primera pasada	%	N	(C/(A-B))*100
Eficiencia del equipo	%		100 - N
Porcentaje de semillas dañadas	%		Muestreo
Porcentaje de semillas perdidas	%		(H/A)*100
Capacidad del equipo	Kg/h	W	(B/T)*60

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

## **7.5 Pruebas de durabilidad**

El equipo se opera por un tiempo de 20 horas bajo carga con períodos continuos de 5 horas, el objetivo de estas pruebas es considerar los ajustes, reparaciones, facilidad de operación y el mantenimiento del equipo.

## **7.6 Secador**

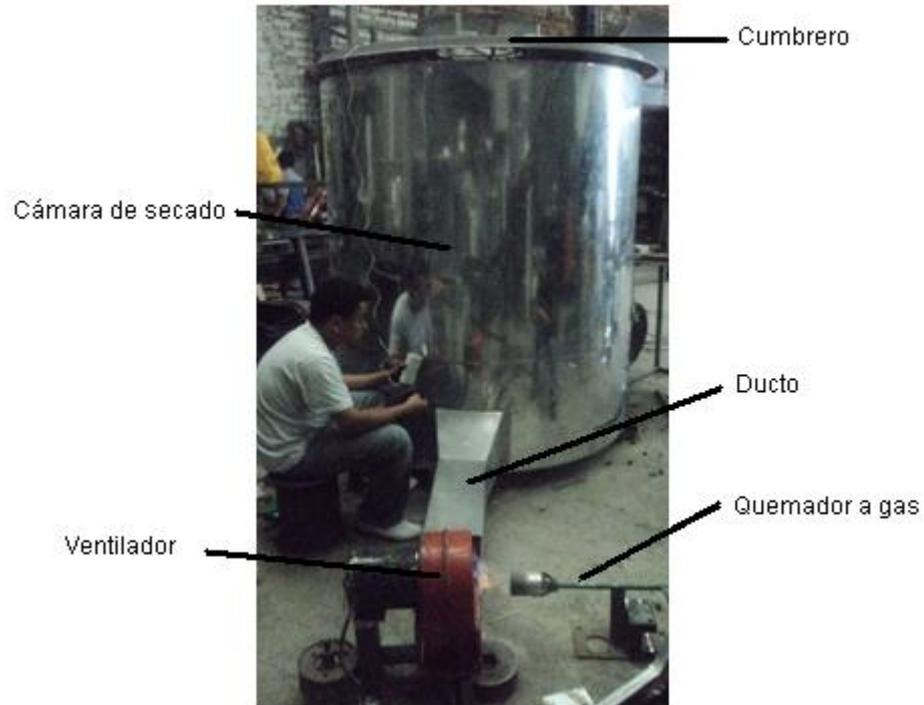
**7.6.1** *La máquina a probar.* Antes de llevar a cabo las pruebas se establece un informe con las especificaciones de construcción, ajustes y rendimiento del equipo en su totalidad, se enlistan los siguientes detalles que formarán parte del informe en mención.

- ❖ Dimensiones generales y pesos.
- ❖ Fuente de aire y calor.

A continuación se presenta el informe acerca de los datos obtenidos y tabulados para el equipo.

### 7.6.2 Informe de resultados

Figura 56. Partes del secador construido



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**7.6.2.1 Breve descripción.** El silo-secador está constituido por un quemador a gas, el mismo que calienta el aire a una temperatura aproximada de 40°C. Un ventilador centrífugo de 1.5 HP impulsa el aire por un ducto hacia la cámara de secado de área transversal circular. En dicha cámara el material es secado por un periodo de 2 horas para la alfalfa y 3 horas para el trébol. El aire que atraviesa el equipo escapa al exterior por la parte superior denominada “cumbrero”. La pared interior del equipo se halla recubierta por una capa de aislante de 3 cm de espesor protegida por una pared en acero.

### 7.6.2.2 Especificaciones

#### A. Dimensiones generales

❖ Largo	2.5	m
❖ Ancho	1.63	m
❖ Alto	2	m

B. *Peso.* El equipo tiene un peso aproximado de 350 kilogramos

C. *Fuente de aire*

❖ Tipo:	Ventilador centrífugo		
❖ Marca:	BLOWER		
❖ Potencia nominal:	1.50	HP	
❖ Velocidad nominal:	1725	rpm	

D. *Fuente de calor*

❖ Tipo:	Quemador a gas		
❖ Capacidad:	65 000	BTU/h	

E. *Sistema de alimentación*

❖ Tipo:	Manual		
❖ Altura y ancho de la tolva de alimentación	0.30 – 0.40	m-/m	
❖ Altura de la alimentación sobre el suelo:	1.80	m	
❖ Tasa de alimentación:	500	kg/h	

F. *Sistema de descarga*

❖ Tipo:	Manual		
❖ Altura y ancho de la tolva de alimentación	0.40 – 0.47	m-/m	
❖ Altura de la tolva de alimentación sobre el suelo:	0.40	m	
❖ Tasa de alimentación:	500	kg/h	

**7.6.2.3 Aspectos de seguridad**

- ❖ Guantes
- ❖ Mascarilla
- ❖ Tapones auditivos.

**7.6.2.4 Capacidad de trabajo.** La capacidad de procesamiento es de 500 kg/h estimado

**7.6.2.5 Resultados de las pruebas de rendimiento**

**A. Cultivo**

- ❖ Nombre del producto: Cabezuelas de trébol
- ❖ Contenido de humedad: 38 %
- ❖ Relación de semilla/vaina: 28/72
- ❖ Tamaño de semilla: 1 mm

**B. Resultados de las pruebas.** Se tomó una muestra de cabezuelas de trébol la misma que se vertió dentro del secador luego del calentamiento del mismo, obteniéndose datos para los siguientes parámetros cada treinta minutos:

- ❖ Duración de cada prueba.
- ❖ Temperatura y humedad a la entrada del secador
- ❖ Temperatura y humedad a la salida del secador.
- ❖ Velocidad del aire impulsado a la entrada del secador.
- ❖ Velocidad del aire impulsado en el cumbrero del secador
- ❖ Masa del cilindro de gas antes de la prueba
- ❖ Masa del cilindro de gas luego de la prueba

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos y la tabulación de los mismos.

Tabla 69. Datos obtenidos durante el secado.

<b>Parámetros</b>	<b>Unid.</b>	<b>Símb.</b>	<b>Dato</b>
Duración de cada prueba	min	T	90
Temperatura y humedad a la entrada del secador	°C	T <sub>1</sub>	60
Temperatura y humedad a la salida del secador	°C	T <sub>2</sub>	40
Velocidad del aire impulsado a la entrada del secador	m/s	V <sub>1</sub>	7.51
Velocidad del aire impulsado en el cumbrero del secador	m/s	V <sub>4</sub>	0.18
Masa del cilindro de gas antes de la prueba	lb	m <sub>1</sub>	52
Masa del cilindro de gas luego de la prueba	lb	m <sub>2</sub>	47.5

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Para los valores mostrados se determinó la pérdida de humedad de muestras de producto tomadas cada treinta minutos, los datos tabulados se presentan a continuación:

Tabla 70. Datos obtenidos de la muestra húmeda

Muestra	P. funda (gr)	P. semilla (gr)	P. muestra (gr)	P. final (gr)	Humedad (%)
1	7.63	302.23	309.86	210.82	32.77
2	7.58	238.93	246.51	141.23	44.06
3	7.42	255.02	262.44	161.52	39.57
<b>Promedio</b>	<b>7.54</b>	<b>265.39</b>	<b>272.94</b>	<b>171.19</b>	<b>38.34</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 71. Datos obtenidos de la muestra después de treinta minutos de secado

Muestra	P. funda (gr)	P. semilla (gr)	P. muestra (gr)	P. final (gr)	Humedad (%)
1	7.44	174.61	182.05	134.38	27.30
2	5.45	181.56	187.01	141.08	25.30
<b>Promedio</b>	<b>6.45</b>	<b>178.09</b>	<b>184.53</b>	<b>137.73</b>	<b>26.28</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 72. Datos obtenidos de la muestra después de una hora de secado

Muestra	P. funda (gr)	P. semilla (gr)	P. muestra (gr)	P. final (gr)	Humedad (%)
1	7.73	130.30	138.03	109.22	22.11
2	7.40	213.33	220.73	175.70	21.11
<b>Promedio</b>	<b>7.57</b>	<b>171.82</b>	<b>179.38</b>	<b>142.46</b>	<b>21.49</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

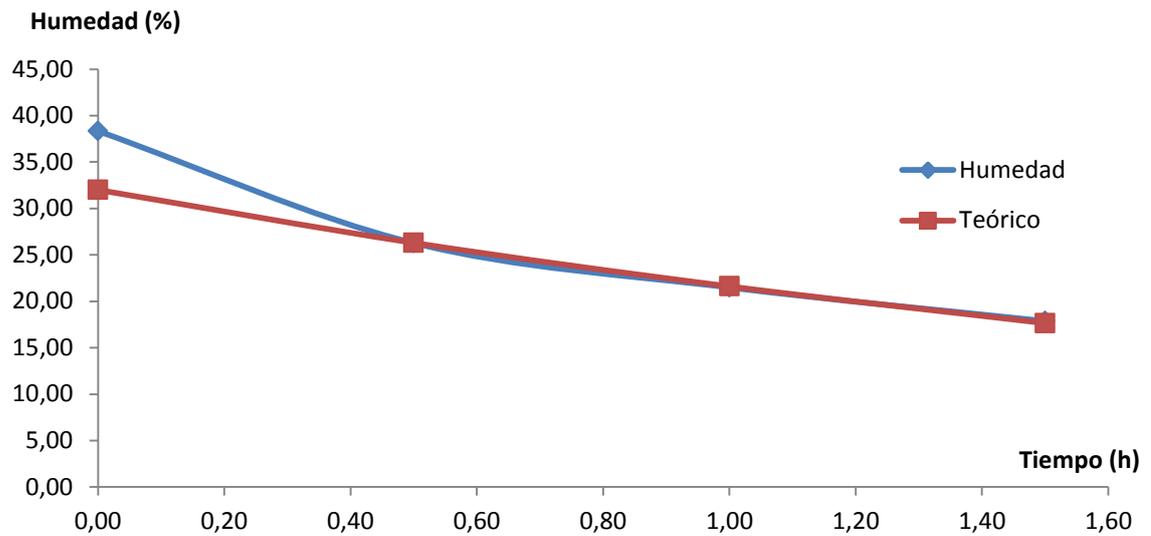
Tabla 73. Datos obtenidos de la muestra después de hora y media de secado

Muestra	P. funda (gr)	P. semilla (gr)	P. muestra (gr)	P. final (gr)	Humedad (%)
1	7.56	135.48	143.04	118.03	18.46
2	7.52	97.90	105.42	88.72	17.06
<b>Promedio</b>	<b>7.54</b>	<b>116.69</b>	<b>124.23</b>	<b>103.37</b>	<b>17.87</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Agrupando dichos valores en una gráfica, se obtiene lo siguiente:

Figura 57. Pérdida de humedad de la muestra de cabezuelas de trébol



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

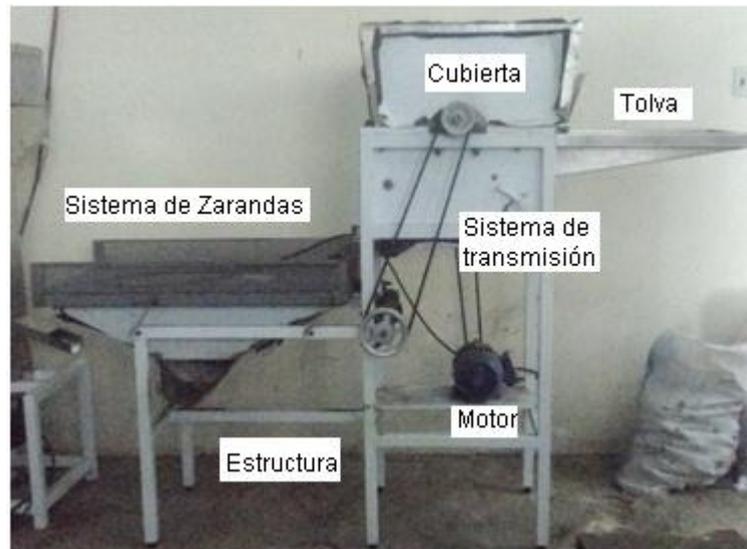
De la figura anterior, se deduce que la curva real de pérdida de humedad de la muestra se asemeja a la curva teórica obtenida de datos experimentales. Por ende, el tiempo básico de secado para el trébol es de 3 horas.

El tiempo de calentamiento del secador se establece en cuatro minutos aproximadamente, ya que de acuerdo con mediciones realizadas se determinó que cada 20 segundos la temperatura al interior del secador se incrementa en 1.2 °C.

Para conseguir elevar la temperatura en el interior del secador, se utilizó 4.5 lb de gas en una hora y media, por ende, se consumió 65 000 BTU/h.

## 7.7 Descascarador

Figura 58. Partes principales de la descascaradora construida



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**7.7.1 La máquina a probar.** Antes de llevar a cabo las pruebas se establece un informe con las especificaciones de construcción, ajustes y rendimiento del equipo en su totalidad, se enlistan los siguientes detalles que formarán parte del informe en mención.

- ❖ Dimensiones generales y pesos.
- ❖ Fuente de potencia y sistema de transmisión.
- ❖ Detalles del sistema de transmisión.
- ❖ Detalles del sistema de trilla.
- ❖ Detalles del sistema de criba.
- ❖ Aspectos de seguridad

A continuación se presenta el informe acerca de los datos obtenidos y tabulados para el equipo.

**7.7.2 Resultados.** Se presenta una fotografía en la que se muestra los detalles principales de la distribución del equipo.

**7.7.2.1 Breve descripción.** El descascarador está constituido por un sistema de transmisión de potencia por medio de bandas y poleas con una fuente de potencia generada por un motor eléctrico trifásico de 3HP; el sistema de trilla consta a su vez de un cilindro en el cual se encuentran los dientes que permiten el descascarado en fricción con los peines que se alojan en el cóncavo, por su parte el sistema de cribas tiene un juego de zarandas que presentan un movimiento vibratorio generado por la excéntrica y sus cuatro fibras permitiendo así la clasificación del producto y enviándolo a sus diferentes descargas.

### 7.7.2.2 Especificaciones

#### A. Dimensiones generales

❖ Largo:	2.10	m
❖ Ancho:	0.55	m
❖ Alto:	1.40	m

B. *Peso.* El peso total de la máquina es de 750 kilogramos.

#### C. Fuente de potencia

❖ Tipo:	Motor eléctrico trifásico	
❖ Potencia nominal:	3	HP
❖ Velocidad nominal:	1725	rpm

#### D. Sistema de transmisión de potencia

❖ Transmisión por banda tipo A.

#### E. Sistema de alimentación

❖ Tipo:	Manual	
❖ Altura y ancho de la tolva de alimentación	0.13 – 0.525	m-/m
❖ Altura de la tolva de alimentación sobre el suelo:	1300	mm
❖ Tasa de alimentación:	450	kg/h

#### *F. Tambor o cilindro del sistema de trilla*

❖ Tipo:	Cilindro con dientes
❖ Diámetro:	340 mm
❖ Largo:	437 mm
❖ Velocidad:	1078 rpm
❖ Número y tamaño de dientes: 45 dientes,	60 mm

#### *G. Cóncavo*

❖ Tipo:	Peines con dientes
❖ Tamaño apertura:	10x50 mm
❖ Método de regulación:	Mecanismo de leva

#### *H. Sistema de criba*

❖ Largo:	1 m
❖ Ancho:	0.50 m
❖ Mecanismo de vibración:	Biela-excéntrica 4 barras
❖ Descarga de impurezas y descarga de semillas.	

#### **7.7.2.3 Aspectos de seguridad**

- ❖ Guantes
- ❖ Mascarilla
- ❖ Tapones auditivos.

**7.7.2.4 Capacidad de trabajo.** La capacidad de procesamiento es de 2000 kg/h estimado.

#### **7.7.2.5 Resultados de las pruebas de rendimiento de alfalfa**

##### *A. Cultivo*

❖ Nombre del producto:	Alfalfa
❖ Contenido de humedad:	12 %
❖ Relación de semilla/vaina:	30/70
❖ Tamaño de semilla:	2 mm

B. *Resultados de pruebas.* Se tomaron tres muestras, para tres regulaciones o aberturas del cóncavo; siendo la muestra 1, 2 y 3 para una abertura mínima, media y máxima respectivamente. Las muestras fueron sometidas a dos pasadas por la unidad de trilla y el sistema de cribas, obteniéndose datos para los siguientes parámetros:

- ❖ Duración de cada prueba.
- ❖ Semillas descascaradas a la salida por unidad de tiempo
- ❖ Semillas descascaradas por segunda ocasión a la salida por unidad de tiempo.
- ❖ Producto en todas las salidas por unidad de tiempo.
- ❖ Semillas colectadas exteriores a la tolva de descarga por unidad de tiempo

En las dos siguientes tablas se muestran los datos obtenidos y la tabulación de los mismos.

Tabla 74. Datos de pruebas del descascarador de semillas de alfalfa

Parámetros	Unidad	Símbolo	Apertura de cóncavo		
			Mínima	Media	Máxima
Duración de cada prueba	min	T	2	2.4	2.5
Semillas descascaradas a la salida por unidad de tiempo	g	B	220	390	314
Semillas descascaradas por segunda ocasión a la salida por unidad de tiempo	g	C	245	210	204
Producto en todas las salidas por unidad de tiempo	g	D	552	776	735
Semillas colectadas exteriores a la tolva de descarga por unidad de tiempo	g	H	15	17	13

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 75. Tabulación de resultados de pruebas del descascarador de semillas de alfalfa

Parámetros	Unidad	Símbolo	Cálculo	Apertura de cóncavo		
				Mínima	Media	Máxima
Producto total en vaina usado en la prueba	g	A	B+C+D+H	1032	1393	1266
Semillas descascaradas en primera pasada (recuperación de la descascarador)	%	M	$(B/A)*100$	21.32	28.00	24.80
Porcentaje de semillas no descascaradas en primera pasada	%	N	$(C/(A-B))*100$	30.17	20.94	21.43
Eficiencia del descascarador	%		100 - N	69.83	79.06	78.57
Semillas dañadas	%		Tabla 67	17.95	20.65	7.94
Semillas perdidas	%		$(H/A)*100$	1.45	1.22	1.03
Capacidad del descascarador	g/h	W	$(B/T)*60$	6600.00	9750.00	7536.00

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Para determinar el porcentaje de semillas dañadas o fracturadas en cada una de las posiciones, se tomaron tres muestras del producto procesado para cada abertura, los datos y su tabulación se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 76. Porcentaje de semillas dañadas de alfalfa

Variable		Muestra (gr)	Semillas no dañadas (gr)	Semillas dañadas (gr)	Semillas dañadas (%)	
ABERTURA	Mínima	Muestra 1	0.9018	0.7236	0.1782	19.76
		Muestra 2	1.2271	0.9922	0.2349	19.14
		Muestra 3	0.6742	0.5734	0.1008	14.95
					<b>Promedio:</b>	<b>17.95</b>
	Media	Muestra 1	0.7359	0.5359	0.2	27.18
		Muestra 2	0.5825	0.4653	0.1172	20.12
		Muestra 3	0.64	0.5463	0.0937	14.64
					<b>Promedio:</b>	<b>20.65</b>
	Máxima	Muestra 1	0.5788	0.5284	0.0504	8.71
		Muestra 2	0.5668	0.5155	0.0513	9.05
Muestra 3		0.4356	0.4092	0.0264	6.06	
				<b>Promedio:</b>	<b>7.94%</b>	

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**7.7.2.6 Reparaciones y ajustes durante las pruebas.** No se realizaron reparaciones y/o ajustes del equipo.

**7.7.2.7 Resultados de las pruebas de rendimiento de trébol**

**A. Cultivo**

- ❖ Nombre del producto: trébol
- ❖ Contenido de humedad: 12 %
- ❖ Relación de semilla/vaina: 38/72
- ❖ Tamaño de semilla: 1 mm

**B. Resultados de pruebas.** Se tomaron tres muestras, para tres regulaciones o aberturas del cóncavo; siendo la muestra 1, 2 y 3 para una abertura mínima, media y máxima respectivamente. Las muestras fueron sometidas a dos pasadas por la unidad de trilla y el sistema de cribas, obteniéndose datos para los siguientes parámetros:

- ❖ Duración de cada prueba.
- ❖ Semillas descascaradas a la salida por unidad de tiempo
- ❖ Semillas descascaradas por segunda ocasión a la salida por unidad de tiempo.
- ❖ Producto en todas las salidas por unidad de tiempo.
- ❖ Semillas colectadas exteriores a la tolva de descarga por unidad de tiempo

En las dos siguientes tablas se muestran los datos obtenidos y la tabulación de los mismos.

Tabla 77. Datos de pruebas del descascarador de semillas de trébol

Parámetros	Un.	Símbolo	Posición de cóncavo		
			Máxima	Media	Mínima
Duración de cada prueba	min	T	2	2	2
Semillas descascaradas a la salida por unidad de tiempo	g	B	74	74	106
Semillas descascaradas por segunda ocasión a la salida por unidad de tiempo	g	C	60	60	80
Producto en todas las salidas por unidad de tiempo	g	D	860	640	810

Tabla 77. (Continuación)

Parámetros	Un.	Símbolo	Posición de cóncavo		
			Máxima	Media	Mínima
Semillas colectadas exteriores a la tolva de descarga por unidad de tiempo	g	H	7	2	3

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 78. Tabulación de resultados de pruebas del descascarador para trébol

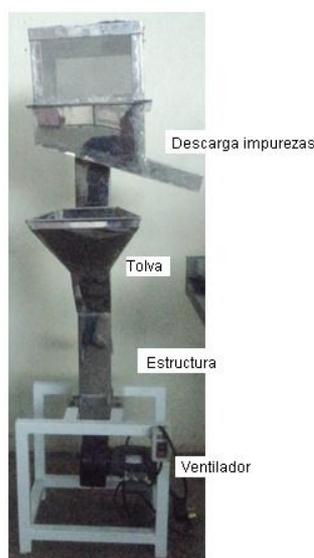
Parámetros	Un.	Símbolo	Calculo	Posición del cóncavo		
				Mínima	Media	Máxima
Producto total en vaina usado en la prueba	g	A	B+C+D+H	1001	776	999
Semillas descascaradas en primera pasada (recuperación de la descascarador)	%	M	$(B/A)*100$	7.39	9.54	10.61
Porcentaje de semillas no descascaradas en primera pasada	%	N	$(C/(A-B))*100$	6.47	8.55	8.96
Eficiencia del descascarador	%		100 - N	93.53	91.45	91.04
Semillas perdidas	%		$(H/A)*100$	0.70	0.26	0.30
Capacidad del descascarador	g/h	W	$(B/T)*60$	6600.00	6601.00	6602.00

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

## 7.8 Separador neumático

### 7.8.1 Informe

Figura 59. Partes principales del separador neumático



Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**7.8.1.1 Breve descripción.** El separador neumático se encuentra constituido por una estructura, sistema de ventilación, ducto, tolva de carga y descarga de material, además de reguladores de flujo de aire así como también de carga.

El sistema de ventilación por su parte constituye un ventilador centrífugo con motor monofásico de uso 220 V / 1.4 A; la estructura es en acero tubular cuadrado de 37 x 1.5 mm; el ducto y los demás elementos son en acero inoxidable.

### **7.8.1.2 Especificaciones**

#### **A. Dimensiones generales**

❖ Largo:	47.5	cm
❖ Ancho:	37.5	cm
❖ Alto:	163.5	cm

B. *Peso.* Tiene un peso aproximado de 10 kilogramos.

#### **C. Fuente de ventilación**

❖ Tipo:	Ventilador centrífugo	
❖ Marca:	AEG	
❖ Modelo:	Ameb 56 AX2	
❖ Potencia nominal:	0.18	KW
❖ Velocidad nominal:	3400	rpm

#### **D. Sistema de alimentación**

❖ Tipo:	Manual	
❖ Altura y ancho de la tolva de alimentación:	36 / 23.5	cm
❖ Altura de la tolva de alimentación sobre el suelo:	113	cm
❖ Tasa de alimentación:	155	kg/h

### **7.8.1.3 Aspectos de seguridad**

- ❖ Guantes
- ❖ Mascarilla

- ❖ Tapones auditivos

**7.8.1.4** *Capacidad de trabajo.* Capacidad de diseño: 150 kg/h

**7.8.1.5** *Resultados de las pruebas de rendimiento con alfalfa.* Las tomaron dos muestras del material procesado por la trilladora en cada una de las posiciones (mínima, media, máxima); se obtuvo los datos para los siguientes parámetros:

- ❖ Duración de la prueba.
- ❖ Semillas separadas a la salida por unidad de tiempo.
- ❖ Producto en todas las demás salidas por unidad de tiempo.
- ❖ Semillas colectadas exteriores a la tolva de descarga por unidad de tiempo.
- ❖ Semillas colectas en la descarga de impurezas.
- ❖ Impurezas a la salida de la semilla separada por unidad de tiempo.

En las dos siguientes tablas se muestran los datos obtenidos y la tabulación de los mismos.

Tabla 79. Datos de pruebas de separador neumático para alfalfa.

Parámetros	Unidad	Símbolo	Regulación de entrada								
			Mínima			Media			Máxima		
			M1	M2	Prom.	M1	M2	Prom.	M1	M2	Prom.
Duración de la prueba	min	T	2.5	2.5	<b>2.5</b>	2.5	2.5	<b>2.5</b>	2.5	2.5	<b>2.5</b>
Semillas separadas a la salida por unidad de tiempo	gr	B	200.0	162.0	<b>181.0</b>	280.0	184.0	<b>232.0</b>	320.0	210.0	<b>265.0</b>
Producto en todas las demás salidas por unidad de tiempo	gr	D	0.0	0.0	<b>0.0</b>	0.0	0.0	<b>0.0</b>	0.0	0.0	<b>0.0</b>
Semillas colectadas exteriores a la tolva de descarga por unidad de tiempo	gr	H	0.0	0.0	<b>0.0</b>	0.0	0.0	<b>0.0</b>	0.0	0.0	<b>0.0</b>
Semillas colectas en la descarga de impurezas	gr	I	20.0	42.0	<b>31.0</b>	34.0	26.0	<b>30.0</b>	70.0	35.0	<b>52.5</b>
Impurezas a la salida de la semilla separada por unidad de tiempo	gr	J	1.5	2.0	<b>1.8</b>	1.5	1.8	<b>1.7</b>	1.5	2.0	<b>1.8</b>

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 80. Tabulación de resultados de pruebas del separador neumático para alfalfa.

Parámetros	Unidad	Símbolo	Relación	Regulación de entrada		
				Mínima	Media	Máxima
Semilla separada usada en la prueba	gr	A	B+D+H	181.0	232.0	265.0
Semillas separadas	%	M	$(B/A)*100$	100.0	100	100
Eficiencia del separador neumático	%		$100 - ((I+J)/A)*100$	81.91	86.36	79.53
Semillas perdidas	%		$(H/A)*100$	0.0	0.0	0.0
Capacidad del separador	gr/h	W	$(B/T)*60$	4344	5568	6360

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

**7.8.1.6 Reparaciones y ajustes durante las pruebas.** No se realizó ninguna reparación durante la prueba, la regulación no involucra tiempos considerables, por lo que no se han tomado en cuenta.

**7.8.1.7 Resultados de las pruebas de rendimiento con trébol.** Las tomaron dos muestras del material procesado por la trilladora en cada una de las posiciones (mínima, media, máxima); se obtuvo los datos para los siguientes parámetros:

- ❖ Duración de la prueba.
- ❖ Semillas separadas a la salida por unidad de tiempo.
- ❖ Producto en todas las demás salidas por unidad de tiempo.
- ❖ Semillas colectadas exteriores a la tolva de descarga por unidad de tiempo.
- ❖ Semillas colectas en la descarga de impurezas.
- ❖ Impurezas a la salida de la semilla separada por unidad de tiempo.

En las dos siguientes tablas se muestran los datos obtenidos y la tabulación de los mismos.

Tabla 81. Datos de pruebas de separador neumático para trébol

Parámetros	Unidad	Símbolo	Muestra		
			1	2	3
Duración de la prueba	min	T	1.5	1.5	1.5
Semillas separadas a la salida por unidad de tiempo	gr	B	141	105	110
Producto en todas las demás salidas por unidad de tiempo	gr	D	42	27	30
Semillas colectadas exteriores a la tolva de descarga por unidad de tiempo	gr	H	0	0	0
Semillas colectas en la descarga de impurezas	gr	I	0	0	0
Impurezas a la salida de la semilla separada por unidad de tiempo	gr	J	2	2	1.8

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

Tabla 82. Tabulación de resultados de pruebas del separador neumático para trébol

Parámetros	Unidad	Símbolo	Relación	Regulación de entrada		
				Mínima	Media	Máxima
Semilla separada usada en la prueba	gr	A	B+D+H	183	132	140
Semillas separadas	%	M	$(B/A)*100$	77.049	79.545	78.571
Eficiencia del separador neumático	%		$100 - ((I+J)/A)*100$	98.907	98.485	98.714
Semillas perdidas	%		$(H/A)*100$	0	0	0
Capacidad del separador	gr/h	W	$(B/T)*60$	5640	4200	4400

Fuente: Carlos Ayabaca, Luis Díaz

## **CAPÍTULO VIII**

### **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con los resultados obtenidos en el diseño de un secador tipo silo, descascaradora y separador neumático de semillas de alfalfa, se ha llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

#### **8.1 Conclusiones**

Los equipos construidos son prototipos, por ende, el margen de seguridad tomado para el diseño de cada uno de los elementos de las máquinas es conservador, pues se desconocen algunos efectos secundarios actuantes sobre dichos elementos.

La investigación de las propiedades físicas y mecánicas de las semillas de alfalfa y trébol contribuyeron en la determinación del diseño más efectivo para cada uno de los equipos (secador, descascarador, separador neumático).

El diseño de los equipos se realizó en base a las necesidades y requerimientos del usuario y operador, dando como resultado equipos confiables y con facilidad de operación.

Los materiales empleados, elementos diseñados y seleccionados se los encuentra en el mercado nacional favoreciendo la adquisición de repuestos, en caso de ser necesario.

Los equipos son económicamente rentables, además tecnológicamente fueron construidos en el país, prestando así la facilidad en la consecución de los mismos, es decir que con la tecnología que cuenta el país se pueden producir cada uno de los equipos, resultando de esta forma factible la construcción de los mismos.

Los equipos construidos muestran considerables ventajas en tamaño, peso, costo; frente a los que existen en el mercado, pues estos equipos fueron construidos para pequeños y medianos productores.

La metodología del Pahl y Beitz empleada en el desarrollo de esta tesis es una innovación a la tradicional empleada en la escuela, determinando mejoras en el estudio e investigación para la consecución de las mismas.

Los costos determinados para estos equipos están dentro del rango económico aceptable - moderado, considerando que estos son prototipos.

Mediante una evaluación de costos se determina que se requiere procesar 4% de la producción anual de semillas, para empezar a obtener utilidades, es decir, se requiere obtener 11520 kilogramos (48 kg/día) de semilla procesada.

## **SECADOR**

El secador tiene una capacidad de 1000 kg, la cuál es la principal ventaja pues en el mercado nacional difícilmente se encuentran equipos de bajas capacidades, de forma que su función es justificada para las bajas producciones existentes en el sector demandante.

Para el secador, analizando los resultados tenemos que el tiempo de calentamiento del mismo se establece en cuatro minutos aproximadamente, es decir, cada 20 segundos la temperatura al interior del secador se incrementa en 1.2 °C.

Para conseguir elevar la temperatura en el interior del secador, se utilizó 4.5 lb de gas en una hora y media, por ende, el consumo energético del mismo es de 65 000 BTU/h.

Tiene un costo USD. 4 308, relativamente bajo debido a su diseño considerando su capacidad (1000 kg).

## **DESCASCARADOR**

El decascarador se ajusta perfectamente a los requerimientos, de modo que la sustitución por la máquina MAQTRON B-150 es justificada debido a diversos factores tales como el tamaño, peso, fácil operación, económico, etc.

Para el descascarador, analizando los resultados de cada una de las muestras se determina que la apertura entre el cilindro y el cóncavo con la mejor eficiencia y que presenta menor porcentaje de semillas dañadas debe estar entre (2 - 5) mm; presentado 78.57% en descascarado y un 8.10% de impurezas y semilla dañada.

Tiene un costo USD. 3 985 que pese a sus limitaciones para trillado de diferentes productos, su costo es la tercera parte en comparación al de un equipo importado (MAQTRON B-150).

## **SEPARADOR NEUMÁTICO**

La capacidad de este equipo sustituye perfectamente al separado manual (aventando la semilla) que realizan los productores del sector, reduciendo así gran parte de la contaminación que produce esta labor, tornando esta actividad limpia y confortable.

Para el separador neumático, analizando los resultados de cada una de las muestras se determina que para la apertura de regulación de aire en la posición mínima nos determina una eficiencia del equipo de un 82.36% siempre y cuando se tenga la compuerta de regulación de carga en la posición debida para cada tipo de semilla.

Presenta un diseño simple, sencillo pero eficiente y de fácil operación, además presta la posibilidad de regulación para el uso con otros productos.

Su costo de USD. 822 es bajo respecto a equipos como la mesa densimétrica que cumplen la misma función, pero que no existen en el mercado nacional (obligando a importaciones).

## **8.2 Recomendaciones**

Se recomienda un rediseño de los equipos con el objetivo principal de automatizarlos y afinar ciertos detalles que puedan presentar los mismos.

Implementar un sistema de transporte para evitar realizar la carga manual del producto hacia cada uno de los equipos (secador, descascarador, separador neumático).

## **SECADOR**

El secador puede constituirse en un silo, en cual se almacena el producto “seco”, cumpliendo así funciones secundarias y complementarias.

Se recomienda que en lo posible, el secado se lo realice a la capacidad nominal, para evitar desperdicio de recursos, tales como: combustible, mano de obra, tiempo, otros.

Para el secado del producto de diferentes usuarios se recomendaría la construcción de niveles en el mismo, para realizar un secado personalizado.

Revisar que las compuertas de descarga y mantenimiento se encuentren completamente cerradas al cargar el producto.

Se debe repartir el producto a ser procesado uniformemente sobre el piso falso, para lograr un mejor secado en menor tiempo.

## **DESCASCARADOR**

En el descascarador es necesario revisar periódicamente la unidad de trilla, en especial, las chumaceras, ya que el producto puede averiar el normal funcionamiento de las mismas.

Se recomienda la utilización del equipo por largas jornadas de trabajo (máximo 8 horas), puesto que al no contar con un arranque suave, el sistema de transmisión y motor disminuyen su vida útil.

Se recomienda no mojar zarandas al utilizar el equipo, puesto que las semillas y los desperdicios se adhieren fácilmente a superficies húmedas o mojadas.

Si se desea descascarar otro tipo de semilla, es necesario realizar la calibración de velocidad de giro del tambor, la disposición de los peines y la holgura entre el cilindro y su cóncavo.

## **SEPARADOR NEUMÁTICO**

Se debe tener cuidado con la apertura de la compuerta de alimentación de material, puesto que una mayor abertura disminuye la eficiencia del proceso, del mismo modo, una menor abertura disminuye el flujo de material ocasionando un decremento en la producción.

Se debe revisar antes del encendido de la maquina el ajuste del regulador de aire, la apertura de la compuerta de alimentación de material, asimismo los elementos involucrados directamente al proceso de separación durante la operación del equipo.

Se recomienda que en el futuro se realice la implementación de un sistema de transporte de producto entre equipos y empaquetado de semillas, y mediante un sistema SCADA se monitoree el proceso, para así reducir al máximo las pérdidas de material

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IZASA, S. Diseño de una máquina para detectar porosidad en fundas corrugadas. Medellín: Tesis Universidad Nacional de Colombia, 2009. Pág. 13-32
- [2] [http://www.cd3wd.com/cd3wd\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S02.HTM](http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S02.HTM)
- [3] <http://spanish.alibaba.com/product-gs/hot-sale-rotary-drum-dryer-327444058.html>
- [4] <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/secaderos-industriales>
- [5] AGUIRRE, R. Manual para el beneficio de semillas. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1988. Pág. 1-32. Pág. 110-150.
- [6] [http://www.fastonline.org/CD3WD\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0037S/ES/X0037S08.HTM](http://www.fastonline.org/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/X0037S/ES/X0037S08.HTM)
- [7] [www.vencedoramaqtron.com.br](http://www.vencedoramaqtron.com.br)
- [8] <http://www.airep.com.co/airep/sp/preguntar/5323>
- [9] <http://taninos.tripod.com/SeparadorNeumatico.htm>
- [10] HOLMAN, J. Transferencia de Calor. 8va ed. Madrid: McGRAW-HILL, 1999. Pág. 51-81.
- [11] SHIGLEY, Joseph. MITCHELL, Larry. Diseño en Ingeniería Mecánica. 3ra ed. México: MaGRAW-HILL, 1985. Pág. 728-755.
- [12] CROSS, N. Métodos de diseño. 3ra.Ed. México: LIMUSA, 2003. Pág. 50-113.
- [13] CUADRADO, Edwin. Mantenimiento Industrial. Riobamba, 2003. Pág. 60-84.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, R. Manual para el beneficio de semillas. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1988.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING. Manual Ashrae. Atlanta, 1985.
- AURIA, José. IBAÑEZ, Pedro. UBIETO, Pedro. Dibujo Industrial Conjuntos y Despieces. Madrid: Thomson Editores Spain, 2000.
- CROSS, Nigel. Métodos de diseño. 3ra. Ed. México: LIMUSA, 2003.
- CUADRADO, Edwin. Mantenimiento Industrial. Riobamba, 2003.
- HAM, C. CRANE, E. ROGERS, W. Mecánica de Máquinas. 4ta ed. New York: McGRAW-HILL, 1961.
- HOLMAN, J. Transferencia de Calor. 8va ed. Madrid: McGRAW-HILL, 1999
- INEN. Código de dibujo Técnico-Mecánico. Quito, 1981.
- IZASA, S. Diseño de una máquina para detectar porosidad en fundas corrugadas. Medellín: Tesis Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- JIMENEZ, J. ROBINSON, G. Diseño de una planta piloto para procesamiento de semillas de alfalfa y trébol. Riobamba: Tesis Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2008.
- LOZANO, F. Nuevos conceptos y estrategias para la renovación de praderas degradadas en el trópico alto colombiano. Colombia, 2010
- MAUTINO, José M. Didáctica de la educación tecnológica. 2da. Ed. Buenos Aires: Bonum, 2009
- NORTON, R. Diseño de máquinas. 4ta. Ed. México: McGRAW-HILL, 1999
- REYES, Carlos. Aprenda rápidamente a programar microcontroladores PIC. Quito: Gráficas Ayerve C.A., 2004.
- SHIGLEY, Joseph. MITCHELL, Larry. Diseño en Ingeniería Mecánica. 3ra ed. México: McGRAW-HILL, 1985.

## LINKOGRAFÍA

### **COEFICIENTE DE FRICCIÓN**

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/trabajo/cupula1/cupula1.htm>  
2012-06-21

### **COSTO BENEFICIO**

<http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=costo%20beneficio&source=web&cad=13&cad=rja&sqi=2&ved=0CG4QFjAM&url=http%3A%2F%2Fingenieriasimple.com%2Fproblemas%2FCostoBeneficio.ppt&ei=WHO7UIraMYX29gTRyoCYCw&usg=AFQjCNE2LMXI6Acbe4I3Z8pKfpjWASHVCA>  
2012-11-11

<http://www.educarchile.cl/Userfiles/P0001%5CFile%5C002-AF-An%C3%A1lisis%20Costo%20beneficio.pdf>  
2012-11-11

### **DESCASCARADORES**

[http://www.fastonline.org/CD3WD\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0037S/ES/X0037S08.HTM](http://www.fastonline.org/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/X0037S/ES/X0037S08.HTM)  
2011-12-10

### **GUÍA DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS**

<http://www.emesa-perk.com.mx/manuales/h.pdf>  
2012-11-10

<http://www.mantenimientogeneral.com/Manual/Manual.htm>  
2012-11-10

### **GUÍA DE MANTENIMIENTO DE UNA TRILLADORA**

<http://sicbol.com/manuales/ManualTG-1.pdf>  
2012-11-11

### **MÁQUINA CRIBADORA**

<http://patentados.com/invento/maquina-criadora-para-aridos.html>  
2012-01-25

### **MÁQUINA CRIBADORA CIRCULAR**

[http://www.maseto.com/es/nuestra\\_gama/maquinas/maquina.asp?id=15](http://www.maseto.com/es/nuestra_gama/maquinas/maquina.asp?id=15)  
2012-01-25

### **MÁQUINA PARA LIMPIAR CEREALES**

<http://patentados.com/invento/una-maquina-para-limpiar-cereales-o-cualquier-clase-de-granos-clasifi.html>  
2012-01-25

### **MESA GRAVIMÉTRICA**

<http://www.airep.com.co/airep/sp/preguntar/5323>  
2012-01-27

### **SEPARADOR NEUMÁTICO**

<http://taninos.tripod.com/SeparadorNeumatico.htm>  
2012-01-27

### **SECADO DE SEMILLAS**

<http://www.monografias.com/trabajos17/produccion-semillas/produccion-semillas.shtml#secado>  
2012-04-15

[http://api.ning.com/files/yO6HvHfv9PLAdnAlm-jfDLZr0ibh6n510\\*0buu4COdkBS3v1noleHy-CVg\\*Z5brGrclr1c-Jm8iKge-3lwZgldJONxtmgn6W/Secadodegranosysecadoras.pdf](http://api.ning.com/files/yO6HvHfv9PLAdnAlm-jfDLZr0ibh6n510*0buu4COdkBS3v1noleHy-CVg*Z5brGrclr1c-Jm8iKge-3lwZgldJONxtmgn6W/Secadodegranosysecadoras.pdf)  
2012-04-15

[http://www.granfinale.com.br/espanhol/index\\_esp.html](http://www.granfinale.com.br/espanhol/index_esp.html)  
2012-04-15

<http://html.rincondelvago.com/secadoras-de-granos.html>  
2012-04-15

### **SECADOR**

<http://html.rincondelvago.com/secadoras-de-granos.html>  
2012-04-15

### **SECADOR CONTINUO**

<http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/secaderos-industriales>  
2012-04-16

### **SECADOR ESTACIONARIO**

[http://www.cd3wd.com/cd3wd\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S02.H TM](http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S02.H TM)  
2012-04-16

[http://www.cd3wd.com/cd3wd\\_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S05.H TM#CAPITULO IV \\_ CAPACIDAD DE SECADOYENFRIAMIENTO](http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/INPHO/VLIBRARY/X0028S/ES/X0028S05.H TM#CAPITULO IV _ CAPACIDAD DE SECADOYENFRIAMIENTO)  
2012-04-16

[http://www.granfinale.com.br/espanhol/artigo\\_sistemasilo\\_secador\\_esp.html](http://www.granfinale.com.br/espanhol/artigo_sistemasilo_secador_esp.html)  
2012-04-16

### **SECADOR ROTATORIO**

<http://spanish.alibaba.com/product-gs/hot-sale-rotary-drum-dryer-327444058.html>  
2012-04-16