



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELADORA DE SOYA PARA LA PANIFICADORA SAL Y DULCE”**

**CAÍN CURICAMA HUMBERTO**

## **TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

## **INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2016**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DE LA TESIS DE GRADO**

---

2013-07-22

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

CAÍN CURICAMA HUMBERTO

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELADORA DE SOYA  
PARA LA PANIFICADORA SAL Y DULCE”**

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

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo Andrade  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Miguel Aquino Arroba  
**DIRECTOR**

---

Ing. Geovanny Novillo Andrade  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CAÍN CURICAMA HUMBERTO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELADORA DE SOYA PARA LA PANIFICADORA SAL Y DULCE”

**Fecha de Examinación:** 2015-08-20

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Miguel Aquino Arroba <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Geovanny Novillo Andrade <b>ASESOR</b>			

\* 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.

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, 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.

---

**Caín Curicama Humberto**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Caín Curicama Humberto, declaro que el presente trabajo de grado es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que previenen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de grado.

---

**Caín Curicama Humberto**  
Cedula de Identidad: 150082500-3

## **DEDICATORIA**

En memoria de mi padre José, este proyecto está dedicado a mi madre María Dolores, a mis seis hermanos, quienes con su ejemplo de lucha y perseverancia fueron el pilar fundamental para culminar esta carrea.

A mi abuelita Francisca, que cariñosamente le digo “Mama pachi”, mujer bondadosa, luchadora, quién me ha demostrado que en la vida hay que estar en constante perseverancia por las dificultades que presenta y a pesar de ello siempre me mostró todo el amor y aprecio que debemos dar a los demás.

A mi amigo Byron, con quién compartimos experiencias, dudas, alegrías, dificultades en nuestra más fraternal amistad de estudiantes.

**Humberto Caín Curicama**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por brindarme la capacidad, paciencia para cumplir la meta trazada. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería de Mecánica por ofrecer la oportunidad de cumplir un objetivo como profesional y como persona. A los catedráticos de la Escuela de Ingeniería de Mecánica, que siempre me guiaron con sus experiencias y sabiduría.

Además, agradecer a todos los amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera motivándome siempre para seguir adelante en mí transitar cotidiano.

**Humberto Caín Curicama**

## CONTENIDO

Pág.

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación .....	2
1.2.1	<i>Justificación técnica.</i> .....	3
1.2.2	<i>Justificación económica.</i> .....	3
1.2.3	<i>Justificación social.</i> .....	3
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	<i>Objetivo general.</i> .....	3
1.3.2	<i>Objetivos específicos.</i> .....	3
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Características de la semilla de soya.....	4
2.2	Parámetros de corte de la cáscara de soya seca .....	4
2.2.1	<i>Tamaño promedio del producto.</i> .....	4
2.2.2	<i>Dureza de la semilla.</i> .....	5
2.2.3	<i>Descascarado.</i> .....	5
2.2.4	<i>Volumen de la tolva en forma de un tronco de pirámide.</i> .....	5
2.2.5	<i>Volumen considerando la granulometría y la humedad de la soya</i> .....	5
2.2.6	<i>Numero de semillas de soya.</i> .....	6
2.2.7	<i>Diámetro nominal de la piedra.</i> .....	6
2.2.8	<i>Velocidad de rotación.</i> .....	7
2.2.9	<i>Área del desplazamiento de una semilla.</i> .....	7
2.2.10	<i>Fuerzas radiales y tangenciales.</i> .....	8
2.2.11	<i>Torque.</i> .....	9
2.2.12	<i>Potencia.</i> .....	9
2.2.13	<i>Motores eléctricos.</i> .....	10
2.2.14	<i>Pandeo de columna.</i> .....	10
2.2.15	<i>Razón de esbeltez.</i> .....	11
2.2.16	<i>Teoría de fatiga.</i> .....	12
2.2.17	<i>Líneas de falla.</i> .....	12
2.2.18	<i>Sistema de extracción de la cáscara de soya.</i> .....	13
<b>3.</b>	<b>SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS</b>	
3.1	Definición del problema .....	15
3.2	Declaración de la misión.....	15
3.2.1	<i>Descripción del equipo.</i> .....	15
3.2.2	<i>Mercado.</i> .....	16
3.3	Necesidades y especificaciones del producto .....	16
3.3.1	<i>Objetivos de la investigación</i> .....	16
3.3.2	<i>Necesidades del operario</i> .....	16
3.3.3	<i>Necesidades del cliente</i> .....	17
3.3.4	<i>Matriz de necesidades-Medidas</i> .....	17
3.4	Diseño conceptual.....	19
3.4.1	<i>Establecimiento de funciones.</i> .....	19
3.4.2	<i>Estructura funcional</i> .....	20

3.4.3	<i>Funciones de la estructura de la máquina</i> .....	21
3.5	Generación de alternativa .....	22
3.5.1	<i>Diagrama de la matriz morfológica</i> .....	22
3.5.2	<i>Matriz morfológica</i> .....	23
3.5.2.1	<i>Descripción de la solución 1</i> .....	24
3.5.2.2	<i>Descripción de la solución 2</i> .....	24
3.5.2.3	<i>Descripción de la solución 3</i> .....	25
3.6	Metodología de evaluación y resultados.....	26
3.6.1	<i>Puntaje y criterios de evaluación para la matriz de proyección</i> .....	26
3.6.2	<i>Lista de objetivos..</i> .....	27
3.7	Ordenar y asignar ponderaciones relativas a los objetivos.....	27
3.8	Calculo de peso relativo de los objetivos.....	28
3.9	Parámetros de rendimiento .....	29
3.10	Diagrama de evaluación de objetivos .....	31
<b>4.</b>	<b>DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DE LA MÁQUINA PELADORA DE SOYA</b>	
4.1	Diseño de forma.....	32
4.2	Metodología para el diseño de la máquina peladora de soya .....	33
4.3	Volumen de la tolva de entrada .....	34
4.3.1	<i>Análisis de esfuerzos de la tolva</i> .....	36
4.3.1.1	<i>Definición del material.</i> .....	37
4.3.1.2	<i>Definir el mallado</i> .....	37
4.3.1.3	<i>Condiciones de soporte y estado de cargas</i> .....	38
4.3.1.4	<i>Resultados</i> .....	38
4.4	Determinación estadística del tamaño de la soya .....	39
4.5	Determinación de la cantidad de soya en 1 kg.....	40
4.6	Determinación del diámetro del disco .....	42
4.6.1	<i>Selección de la piedra abrasiva</i> .....	43
4.7	Carga necesaria para el pelado de la soya.....	44
4.8	Velocidad de rotación .....	47
4.9	Cálculo de las fuerzas radiales y tangenciales .....	48
4.10	<i>Calculo del torque</i> .....	51
4.11	<i>Cálculo de la potencia</i> .....	51
4.12	<i>Selección de los elementos para realizar el movimiento</i> .....	52
4.12.1	<i>Cálculo de la velocidad angular del motor requeridor</i> .....	52
4.13	Selección de los elementos de transmisión.....	53
4.13.1	<i>Potencia de diseño corregida.</i> .....	54
4.13.2	<i>Selección de la correa adecuada.</i> .....	54
4.13.3	<i>Diámetro de la polea</i> .....	55
4.13.4	<i>Distancia entre ejes provisional.</i> .....	56
4.13.5	<i>Longitud primitiva de la banda</i> .....	57
4.13.6	<i>Distancia entre ejes real</i> .....	57
4.13.7	<i>Cálculo de la velocidad de la banda</i> .....	58
4.13.8	<i>Ángulo de contacto y factor de ángulo de contacto</i> .....	58
4.13.9	<i>Factor de desarrollo</i> .....	59
4.13.10	<i>Cálculo de la cantidad de correa necesaria.</i> .....	60
4.13.11	<i>Cálculo de la tensión en la correa</i> .....	60
4.13.12	<i>Torque del eje de transmisión</i> .....	62
4.14	Diseño del eje de transmisión .....	62

4.14.1	<i>Cálculo del esfuerzo de la semilla de soya.</i>	62
4.14.2	<i>Cálculo del esfuerzo a compresión del eje.</i>	64
4.14.3	<i>Análisis de fatiga del eje mediante FEA.</i>	67
4.14.3.1	<i>Definición del material.</i>	67
4.14.3.2	<i>Definir el mallado.</i>	67
4.14.3.3	<i>Condiciones de soporte y estado de cargas.</i>	68
4.14.3.4	<i>Resultados.</i>	69
4.15	<i>Velocidad crítica del eje.</i>	71
4.16	<i>Análisis de esfuerzos en la placa superior.</i>	74
4.16.1	<i>Definición del material.</i>	75
4.16.2	<i>Definir el mallado.</i>	75
4.16.3	<i>Condiciones de soporte y estado de cargas.</i>	76
4.16.4	<i>Resultados.</i>	77
4.17	<i>Selección de rodamiento.</i>	78
4.17.1	<i>Cálculo de las reacciones del eje.</i>	79
4.17.1.1	<i>Análisis de la carga en el plano ZY.</i>	81
4.17.1.2	<i>Selección del rodamiento.</i>	83
4.18	<i>Diseño del sistema de extracción de la cáscara.</i>	87
4.18.1	<i>Cálculo de la velocidad de salida desde la piedra.</i>	87
4.18.2	<i>Cálculo del caudal en el ducto principal.</i>	88
4.18.3	<i>Diferencia de presión a la entrada del ventilador.</i>	89
4.18.4	<i>Cálculo de la velocidad de succión del ventilador.</i>	90
4.18.5	<i>Cálculo del caudal de entrada al ventilador.</i>	90
4.18.6	<i>Velocidad tangencial.</i>	92
4.18.7	<i>Velocidad radial.</i>	93
4.18.8	<i>Velocidad radial al borde de entrada del alabe.</i>	93
4.18.9	<i>Velocidad absoluta.</i>	94
4.18.10	<i>Altura en metros por columna de aire del ventilador.</i>	94
4.18.11	<i>Potencia del motor.</i>	94
4.18.12	<i>Diseño del tamaño de la voluta y aspas del ventilador.</i>	95
4.18.13	<i>Selección del motor eléctrico para el ventilador.</i>	96
4.19	<i>Análisis de cargas en la estructura principal.</i>	98
<b>5.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA MÁQUINA</b>	
5.1	<i>Equipos y máquinas utilizados en la construcción.</i>	101
5.2	<i>Procedimiento de la construcción.</i>	101
5.3	<i>Flujograma de construcción de la máquina peladora de soya.</i>	103
5.3.1	<i>Flujograma del sistema estructural.</i>	103
5.3.2	<i>Flujograma del sistema de molienda.</i>	103
5.3.3	<i>Flujograma del sistema de regulación.</i>	104
5.3.4	<i>Flujograma del sistema de descarga.</i>	104
5.3.5	<i>Flujograma del sistema de transmisión.</i>	105
5.3.6	<i>Flujograma del sistema de extracción de la cáscara.</i>	105
5.3.7	<i>Flujograma del sistema eléctrico.</i>	106
5.4	<i>Tiempo de operaciones en la construcción y montaje de la máquina.</i>	107
5.5	<i>Montaje de la máquina peladora de soya.</i>	110
5.5.1	<i>Montaje del sistema estructural.</i>	111
5.5.2	<i>Montaje del sistema de molienda.</i>	111
5.5.3	<i>Montaje del sistema de regulación.</i>	111
5.5.4	<i>Montaje del sistema de descarga.</i>	112

5.5.5	<i>Montaje del sistema de transmisión.....</i>	112
5.5.6	<i>Montaje del sistema de extracción de la cáscara.....</i>	112
5.5.7	<i>Montaje del sistema eléctrico .....</i>	113
5.6	Flujograma del montaje de la máquina peladora de soya .....	114
5.7	Flujograma del sistema eléctrico. ....	114
<b>6.</b>	<b>MANUAL DE MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
6.1	Mantenimiento de la máquina peladora de soya.....	116
6.2	Análisis de costos.....	117
6.2.1	<i>Costos directos.....</i>	117
6.2.2	<i>Costo de materiales .....</i>	117
6.2.3	<i>Costos de mano de obra.....</i>	119
6.2.4	<i>Costos de equipos y herramientas .....</i>	119
6.2.5	<i>Costo por transporte de materiales .....</i>	120
6.2.6	<i>Costo total directo .....</i>	120
6.2.7	<i>Costos indirectos.....</i>	120
6.3	Costos totales de producción. ....	120
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1	Conclusiones .....	121
7.2	Recomendaciones .....	121

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Propiedades físicas de la soya ..... 4
2	Manifestación del cliente ..... 16
3	Matriz de medidas vs necesidad ..... 18
4	Criterios de evaluación ..... 26
5	Lista de objetivos y asignaciones ..... 27
6	Ponderación relativa a objetivos ..... 28
7	Ponderación de objetivos y asignaciones ..... 28
8	Ponderaciones de objetivos y asignaciones ..... 29
9	Escala de rendimiento del mercado ..... 30
10	Escala de rendimiento económico ..... 30
11	Diagrama de evaluación de objetivos ..... 31
12	Propiedad de la soya ..... 34
13	Volumen de la tolva ..... 35
14	Propiedades del acero inoxidable 304 L ..... 37
15	Resultados del esfuerzo a fatiga de la tolva ..... 39
16	Propiedades de la soya ..... 40
17	Selección de la piedra ..... 43
18	Fuerza promedio aplicado a la soya ..... 46
19	Datos de la placa del motor ..... 53
20	Diámetro primitivo de secciones de la correa ..... 55
21	Factor del ángulo de contacto ..... 59
22	Propiedades del acero de transmisión ASTM 1045 ..... 67
23	Número de nodos vs esfuerzo de Von Mises ..... 70
24	Resultados del esfuerzo a fatiga del eje ..... 71
25	Propiedades del acero inoxidable AISI 304 ..... 75
26	Resultados del esfuerzo a fatiga del eje ..... 78
27	Datos generales del rodamiento ..... 84
28	Condiciones de trabajo del rodamiento ..... 85
29	Vida nominal del rodamiento ..... 86
30	Relación de viscosidad ..... 86
31	Vida ajustada ..... 87
32	Datos de entrada del ventilador ..... 92
33	Selección de motores WEG ..... 97
34	Cargas aplicadas a la estructura principal ..... 98
35	Partes constructivas de la máquina ..... 102
36	Tiempo de construcción de la máquina ..... 107
37	Tiempos de construcción de la máquina (continuación) ..... 108
38	Tiempos de construcción de la máquina (continuación) ..... 109
39	Tiempos de construcción de la máquina (continuación) ..... 110

40	Montaje del sistema estructural .....	111
41	Montaje del sistema de molienda .....	111
42	Montaje del sistema de regulación .....	111
43	Montaje del sistema de descarga .....	112
44	Montaje del sistema de transmisión.....	112
45	Montaje del sistema de extracción de la cáscara .....	113
46	Montaje del sistema eléctrico .....	113
47	Tiempo total de construcción .....	113
48	Pruebas en el sistema de recuperación de energía .....	116
49	Costo de materiales.....	117
50	Costo de mano de obra .....	119
51	Pruebas en el sistema de recuperación de energía .....	119
52	Costos directos.....	120
53	Costos indirectos.....	120
54	Costo total indirecto.....	120
55	Costos totales de producción .....	120

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1 Pelado manual.....	1
2 Peladora de soya hidratada de rodillos vulcanizados .....	2
3 Cargas en la pared de la tolva .....	6
4 Área de una región en coordenadas polares .....	8
5 Pandeo de una columna .....	11
6 Condiciones de extremo de Columnas .....	11
7 Esfuerzos variables con el tiempo .....	12
8 Esfuerzo medio vs esfuerzo alternativo.....	13
9 Tipos de álabes .....	14
10 Ventilador centrífugo.....	14
11 Señales y flujos de las funciones. ....	20
12 Representación de la caja negra.....	20
13 Estructura funcional de la máquina peladora de soya .....	21
14 Designación de flujos .....	22
15 Matriz morfológica .....	23
16 Diseño del equipo ruta 1 .....	24
17 Diseño del equipo ruta 2 .....	25
18 Diseño del equipo ruta 3 .....	25
19 Diagrama de flujo de la metodología de diseño .....	33
20 Arquitectura de la máquina.....	34
21 Geometría de la tolva.....	35
22 Tolva de ingreso del grano .....	36
23 Mallado de la tolva .....	37
24 Cargas y reacciones en la tolva.....	38
25 Esfuerzo de Von-Mises .....	38
26 Esfuerzo máximo en la pared de la tolva.....	39
27 Medidas de la semilla de soya .....	40
28 Peso de la soya en la balanza de brazo .....	41
29 Extrapolación para el número de semillas en 1000 gr .....	42
30 Piedra abrasiva.....	44
31 Carga en una semilla de soya .....	45
32 Medición de la carga en una semilla de soya .....	45
33 Medición de la carga en las semillas de soya .....	46
34 Cantidad de semillas en la piedra .....	47
35 Trayectoria de la soya .....	49
36 Selección de la correa trapecial estrechas, según DIN 7753 .....	55
37 Diagrama de fuerzas en las correas trapecoidales .....	61
38 Fuerzas y reacciones en el eje principal .....	65
39 Mallado del eje .....	68

40	Cargas y reacciones en el eje de transmisión .....	68
41	Esfuerzo de Von-Mises en el eje de transmisión.....	69
42	Esfuerzo máximo en el punto crítico del eje .....	70
43	Curva esfuerzo vs número de nodos.....	71
44	Deformación del eje debido al peso de la piedra.....	72
45	Deformación del eje debido al peso de la polea .....	73
46	Placa superior .....	75
47	Mallado de la placa.....	76
48	Cargas y reacciones de la placa .....	77
49	Esfuerzo máximo en la placa.....	77
50	Fuerzas aplicadas en el eje.....	79
51	Cargas y reacciones en el plano XY .....	79
52	Cargas y reacciones en el plano ZY .....	81
53	Rodamiento 7206B.TVP .....	84
54	Análisis de la velocidad de salida del grano en Working Model .....	88
55	Trayectoria del flujo de la soya por el ducto principal .....	89
56	Ducto de descarga indicando el punto para la toma de presiones .....	89
57	Ducto de descarga indicando el punto para la toma de presiones .....	91
58	Representación de las aspas axiales del ventilador .....	92
59	Triángulo de velocidades del ventilador axial.....	93
60	Involuta del ventilador.....	95
61	Aspas axiales del ventilador .....	95
62	Trayectoria del flujo de la cáscara.....	96
63	Motor eléctrico .....	98
64	Base estructural de la máquina peladora de soya .....	99
65	Cargas aplicadas en la estructura principal.....	100
66	Razones de esfuerzo en la estructura principal.....	100
67	Flujograma del sistema estructural .....	103
68	Flujograma del sistema de molienda .....	104
69	Flujograma del sistema de regulación .....	104
70	Flujograma del sistema de descarga .....	105
71	Flujograma del sistema de transmisión .....	105
72	Flujograma del sistema de extracción de la cáscara .....	106
73	Flujograma del sistema eléctrico .....	106
74	Flujograma del montaje de la máquina.....	114
75	Circuito de potencia.....	115
76	Circuito de mando .....	115

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

FAO	Organización de las Naciones unidas para la alimentación
FOB	Free on Board (Libre a bordo)
MAGAP	Ministerio de Agricultura, ganadería, acuacultura y pesca
DIN	Instituto Alemán de Normalización
FEA	Finite Elements Analisis
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Medidas del grano de soya
- B** Selección de elementos de sistema de transmisión por correa
- C** Selección de características de rodamientos de bolas
- D** Tabla de selección de datos para el ventilador centrífugo

## RESUMEN

El presente trabajo surge de una necesidad de la panificadora Sal & Dulce, consiste en el diseño y construcción de una máquina peladora de soya seca ubicado en la ciudad de Riobamba. Para ello se toma en consideración el método de Pahl y Beitz, para plantear el diseño conceptual de la máquina a construir analizando criterios de las principales funciones que pueda tener a la entrada y salida del producto a pelarse. Posteriormente utilizando un diagrama morfológico se selecciona a priori los elementos que contenga el equipo.

Con el propósito de mejorar la matriz productiva del país se plantea una perspectiva general de los equipos que existen en el mercado dando así una idea clara de los objetivos que se debe alcanzar y mejorar.

Luego de determinar la constitución de la máquina, y la capacidad de pelar, se procede a medir las propiedades de la soya, para un total de 200 granos tomamos en consideración las dimensiones de longitud, ancho y espesor de las mismas.

Con los datos asimilados se calcula la potencia necesaria capaz de girar la piedra inferior que descascara las semillas considerando la trayectoria cicloidal generada desde el momento que cae en el centro hasta su salida por los bordes externos efectuado por las fuerzas tangenciales y radiales.

Con la velocidad de salida de la semilla por el borde externo, se analiza el caudal que genera el ventilador centrífugo para expulsar los residuos hacia el exterior.

Finalmente, se procede a construir las partes del equipo con sus respectivas dimensiones y tolerancias mecánicas, dando así una diferencia en el precio respecto a los equipos importados del 30%.

## **ABSTRACT**

This research work has been motivated from the need of a soybean peeling machine that Bakery “Sal & Dulce” has. This work is, therefore, the design and construction of a peeling machine for dry soybeans. The bakery is located in the city of Riobamba. The method Pahl and Beitz has been considered to make the machine design and build it after analyzing the criteria of the main functions it can have at the entrance and exit of the peeled product. Afterwards, the elements that the equipment has are selected by using a morphological diagram.

With the purpose of improving the productive matrix of this country, a general perspective of the equipment that is in the market is presented. This way, a clear idea of the main objective could be reached and even improved

After determining the construction of the machine and its capacity to peel, the properties of the soybeans are measured. For a total of 200 beans, the bean length, width and thickness should be considered.

With the data ready, the necessary potency is calculated. It should be able to turn the lower stone which husks the seeds considering the cycloidal path generated from the moment the beans hit the center until their exit through the external borders. This is done by the tangential and radial forces.

Considering the speed of the seeds exit through the external borders, the air flow rate that the centrifugal fan emits is analyzed to expel the waste outside

Finally, the different parts of the equipment are built with its respective measures and mechanical tolerances. The price difference is about 30 % less than the imported machines.

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

A lo largo de la historia del Ecuador, ha existido ciertas dificultades para poder elaborar productos que tengan valor agregado debido a la falta de iniciativa tecnológica, personal especializado o de políticas económicas por parte de gobiernos de turno, promoviendo parcialmente la elaboración de manufactura de máquinas rudimentarios, en talleres poco desarrollados con el fin de facilitar el trabajo, disminuyendo la fuerza empleada para llevar a cabo alguna acción y así mejorar los resultados deseados.

Figura 1. Pelado manual



Fuente: Autor

Cada año las el sector industrial está en un constante cambio, hemos pasado de la fuerza bruta y herramientas manuales por máquinas automatizadas, así también el reemplazo del taller artesanal por fábricas bien equipadas bajo normas de calidad para productos que finalmente cubre una necesidad, para abrir un camino al desarrollo tecnológico.

Actualmente en la provincia de Chimborazo, la soya se consume en menor cantidad debido al desconocimiento de la población sobre los beneficios que estas aportan al cuerpo humano.

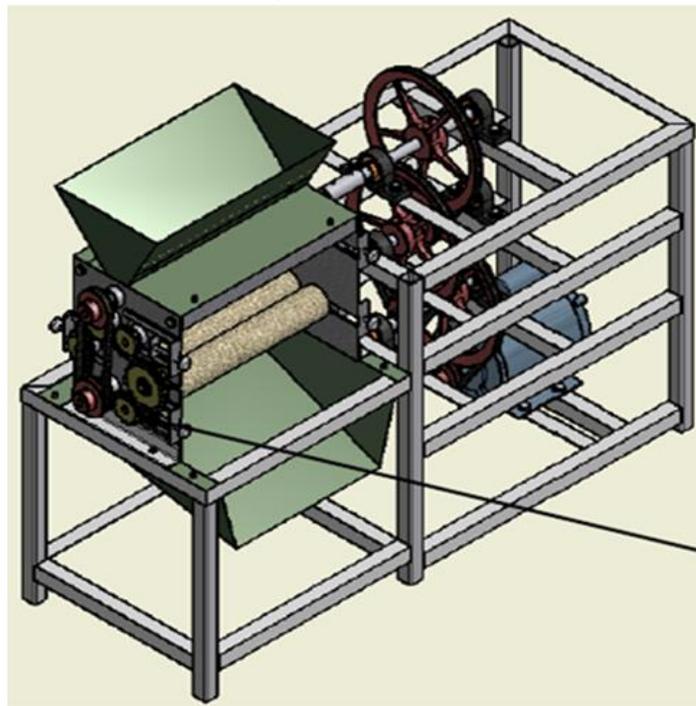
Existen escasos fabricantes de estas máquinas agrícolas en la provincia debido a que no existe información técnica del pelado y posterior consumo de las semillas de soya.

Las cadenas de producción de alimentos, como cereales La Pradera, son las que han incursionado en el mercado ofertando varios tipos de alimentos en los supermercados.

Con estas iniciativas, se ayuda al emprendimiento de la microempresa, y genera nuevas fuentes de ingreso, en este caso una panadería que puede pelar la soya y producir diferentes tipos de productos hechos de harina, como también la obtención de la leche, entre otros, contribuyendo al mercado con productos a base de la soya.

Los modelos comerciales, importados de países como China o Alemania que realizan el pelado de la soya, pero el coste son elevados para su adquisición, el cual genera costos de aduanas y transporte de la maquinaria, por ello se desarrolla un equipo equivalente a las características técnicas eficiente, ajustado a las necesidades del usuario.

Figura 2. Peladora de soya hidratada de rodillos vulcanizados



Fuente: (RAMOS, 2012)

## 1.2 Justificación

El Ecuador está desarrollando una nueva forma de política económica denominada la matriz productiva, basado en el impulso a los procesos de educación e innovación, ciencia y tecnología, esto conlleva al desarrollo de industrias estratégicas, sustituyendo las importaciones que podemos crear en el país, entre estos están la metalmecánica.

**1.2.1** *Justificación técnica.* Crear un diseño de la máquina rentable, para esto se modela en paquetes de software las partes mecánicas de la máquina, y luego realizar las pruebas necesarias antes de que entre en funcionamiento dentro de la industria, para dar las garantías necesarias. Se realiza los cálculos correspondientes de los elementos más sensibles que pueda existir, además de comprobar la vida útil de la máquina.

**1.2.2** *Justificación económica.* La construcción de la máquina peladora de soya, debe basarse en el ahorro de la selección, de materiales y su construcción. En el país existen muy pocas posibilidades de adquirir estos equipos para ello se necesita importar de otros países más cercanos como Colombia o Perú, pagando aranceles aduaneros lo cual es un gasto mayor en la adquisición del equipo.

**1.2.3** *Justificación social.* Las universidades y politécnicas, deben estar al servicio de la comunidad, en este caso se está aportando al sector agroindustrial y alimenticio dedicado al cultivo de la soya y el pelado respectivamente, para su posterior uso en la panificación.

### **1.3** **Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Diseñar y construir un equipo de pelado de soya para la panificadora sal y dulce.

**1.3.2** *Objetivos específicos:*

- Diseñar un equipo mediante el Método de Pahl y Beitz para pelar la soya, para una capacidad de 50 kg por hora aproximadamente.
- Realizar los cálculos necesarios de los elementos utilizados, bajo el criterio de las fuerzas y esfuerzos que soporta la estructura, para la construcción del equipo.
- Seleccionar los materiales utilizados en la construcción de la máquina, considerando las buenas prácticas de manufactura aptos para el consumo humano sin riesgos de salud.
- Ejecutar las pruebas para garantizar el funcionamiento del equipo.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Características de la semilla de soya

De acuerdo a investigaciones anteriores en artículos relacionados respecto a este tema se encontró las siguientes propiedades, que luego serán comparados con los datos que se obtenga en el laboratorio. Las propiedades físicas y mecánicas de la soya fueron determinadas para un contenido de humedad de 8 a 16%.

Tabla 1. Propiedades físicas de la soya

Longitud del grano (aumenta con la humedad)	7,24-8,19	mm
Ancho	6,79-7,12	mm
Espesor	5,78-6,23	mm
Diámetro aritmético promedio	6,60-7,18	mm
Diámetro geométrico medio	6,57-7,14	mm
Volumen de grano	130,97-160,32	mm <sup>3</sup>
Área de la superficie del grano	125,46-144,39	mm <sup>2</sup>
Esfericidad(disminuye con la humedad)	0,91-0,89	kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente	766,12-719,00	kg/m <sup>3</sup>
Densidad real	983-905,67	kg/m <sup>3</sup>
Porosidad	22,37-20,61	%
Angulo de fricción interna	27,37-31,81	°
Coefficiente de fricción en el concreto	0,385-0,571	
Coefficiente de fricción en la madera	0,304-0,441	
Coefficiente de fricción en acero galvanizado	0,174-0,286	

Fuente: (OZTURK, H. y KIBAR T., 2008)

#### 2.2 Parámetros de corte de la cáscara de soya seca

Es necesario definir algunos parámetros de las cuales se obtienen datos que sirven de información para el desarrollo de cálculos en una forma objetiva del sistema de pelado.

**2.2.1** *Tamaño promedio del producto.* Determinar una población y medir el tamaño promedio de la soya con un adecuado secado y granos limpios en el almacenamiento, comprueba una idea general de la dimensión aproximada de los actuadores de corte durante la función de pelado fundamentada en el mejoramiento de la operación de descascarado para luego sugerir una simple aspiración y zarandeo de los granos.

**2.2.2** *Dureza de la semilla.* Con esta variable definimos la fuerza necesaria para poder rasgar o penetrar en el fruto, delimitando el rango de fuerza y potencia necesaria de trabajo.

**2.2.3** *Descascarado.* El sistema de descascarado es por la fricción de dos piedras, una de ellas es fija y la otra gira entorno a un eje principal de transmisión conectado a un motor eléctrico.

**2.2.4** *Volumen de la tolva en forma de un tronco de pirámide* (CALCACHE, 2013) La forma de la tolva es similar a un cono geométrico truncado, razón por la cual se utiliza la fórmula de dicho cuerpo geométrico.

$$V = \frac{h}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) \quad (1)$$

Donde:

V=Volumen de la tolva

A<sub>1</sub>=Área de la sección grande

A<sub>2</sub>=Área de la sección pequeña

h=Altura

**2.2.5** *Volumen considerando la granulometría y la humedad de la soya* (UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, 2015). Con el volumen ya determinado, es útil encontrar el volumen útil de la tolva, tomando en consideración la capacidad necesaria que debe pelar la máquina, densidad aparente de la soya cuando está en la tolva, humedad porcentual y los espacios libres (granulometría) entre los granos de soya con la siguiente expresión:

$$V = \frac{C}{\rho(1-\%H) \cdot (1-\%esl)} \quad (2)$$

Donde:

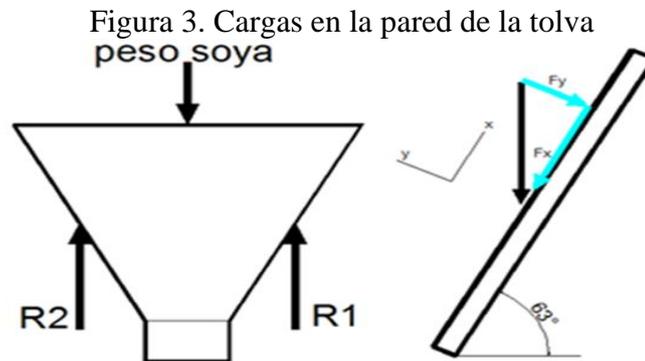
$\rho$  = Densidad aparente de la soya [kg/m<sup>3</sup>]

%H = Porcentaje de humedad de la soya

%<sub>esl</sub> = Porcentaje de espacios libres

C = Flujo de soya a pelarse [m<sup>3</sup>/h]

Se toma en consideración las cargas y las reacciones, para determinar su esfuerzo o resistencia a volúmenes máximos, asumiendo que se llena completamente a la tolva. Esta operación se puede facilitar con el Análisis de Elementos Finitos (FEA) mediante un software.



Fuente: Autor

**2.2.6** *Numero de semillas de soya.* Para encontrar cuantas semillas hay en un kilogramo, es necesario tomar mediciones para pequeñas cantidades de peso en gramos, posterior a esto se procede a extrapolar para cantidades mayores ya que a mayor peso mayor será el número de semillas a determinar, por ello al graficar estas condiciones será una función lineal que contenga una pendiente y los puntos de intersección con los ejes de coordenadas. Para ello se aplica la siguiente ecuación de la pendiente.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3)$$

$$y = mx + b \quad (4)$$

**2.2.7** *Diámetro nominal de la piedra.* Para determinar el diámetro adecuado de la piedra, es útil determinar el número de semillas que exista en un kilogramo y el área nominal de unas semillas de soya.

$$A_{\text{piedra}} = \eta_{\text{semilla}} \cdot A_{\text{soya}} \quad (5)$$

Donde:

$A_{\text{piedra}}$  = Área de la piedra

$\eta_{\text{semilla}}$  = Número de semillas en un kilogramo

$A_{\text{soya}}$  = Área de una semilla de soya

**2.2.8** *Velocidad de rotación.* Para determinar la velocidad angular de la piedra, se necesita tomar en cuenta cuantas semillas pueden caber en la piedra de forma continua al dar una revolución.

Los datos se consiguen con la ayuda del paquete AutoCAD, o también por el método experimental, contando cuantos granos puede existir en un kilogramo.

Según la recomendación de la tesis titulada “Diseño y simulación por computador de una máquina peladora de soya hidratada, con una capacidad de 50 kilogramos por hora (RAMOS, 2012)” tenemos la ecuación para determinar el número de granos de soya distribuidos por minuto.

$$N_T = 1881 \frac{u}{\text{rev}} \quad (6)$$

$$G = \frac{1}{60} * C_a * C_b \quad (7)$$

$$\omega = \frac{G}{N_T} \quad (8)$$

Donde:

$N_T$  = Granos de soya por revolución

$C_a$  = Capacidad de la máquina

$C_b$  = Granos de soya por kilogramo

$G$  = Granos de soya distribuidos por minuto

$\omega$  = Velocidad angular

**2.2.9** *Área del desplazamiento de una semilla* (ESPINOZA, 2000). La piedra del molino donde la semilla es arrastrada en forma circular con talladuras desde el centro hacia el borde formando así el desplazamiento de la semilla con una curva de forma cicloidal, para ello se utiliza una herramienta matemática definida como la integral matemática. La integral doble es una función  $f(x,y)$  definida sobre una región  $R$ , el cual se denota por la ecuación  $\iint f(x,y) dx dy$ , seguidamente se realiza un cambio de variable de las coordenadas  $f(x,y)$  a las coordenadas polares  $(r, \theta)$ , considerando una región  $D \subset R^2$  acotada por los límites  $\alpha \leq \theta \leq \beta$  y  $a \leq r \leq b$

La curva está gobernada por la ecuación cicloidal

$$r = a \pm b \cos \theta \quad (9)$$

Donde:

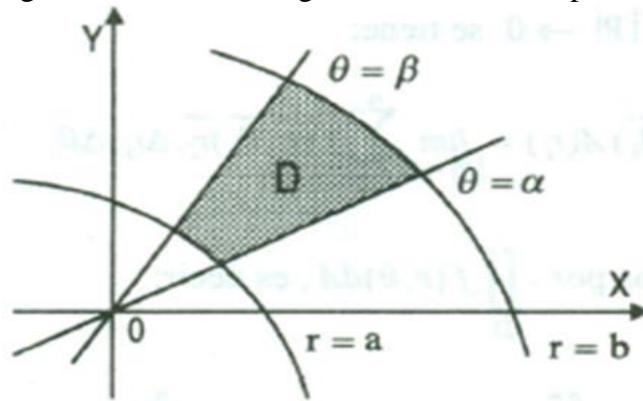
$r$  = Radio de la ecuación cicloidal

$a$  = Radio en el eje positivo

$b$  = Radio en el eje negativo

$\theta$  = Ángulo exterior de desplazamiento

Figura 4. Área de una región en coordenadas polares



Fuente: (ESPINOZA, 2000)

Respecto a nuestro análisis realizamos una analogía al área generada por la trayectoria de una semilla de soya.

$$A = \iint r dr d\theta \quad (10)$$

Es necesario determinar el área por dónde se desplaza las semillas desde la entrada a la piedra hasta su salida. El área de una cicloide es una integral doble.

**2.2.10** *Fuerzas radiales y tangenciales* (SALINAS, 2012). La piedra superior está fija a la plancha superior y tiene un agujero por dónde se desplaza las semillas hasta deslizarse entre ambas piedras, dando lugar a la fricción entre ellas, luego las semillas tienen una trayectoria hasta la periferia de la piedra para desplazarse con una velocidad tangencial, esto hace que la semilla siga una trayectoria curvilínea.

La fuerza radial es:

$$\int_0^{Fr} dF = \sigma \int_0^A dA \quad (11)$$

Fr= Fuerza radial

dF= Diferencial de fuerza

$\sigma$ = Esfuerzo axial de la soya

dA= Diferencial de área

Se considera el esfuerzo normal que soporta la soya, con la carga aplicada a compresión.

La fuerza tangencial es (SERWAY, 2008):

$$F_t = \mu * F_r \quad (12)$$

Donde:

$F_t$  =Fuerza tangencial

$\mu$ =Coeficiente de rozamiento

**2.2.11 Torque.** (SERWAY, 2008) Con los datos calculados en los ítems anteriores, determinamos el torque que necesita la piedra inferior para pelar las semillas.

$$T = F_t * R_{piedra} \quad (13)$$

Donde:

T= Torque

$F_t$ = Fuerza tangencial en la semilla

$R_{piedra}$ = Radio de la piedra

**2.2.12 Potencia** (SERWAY, 2008) Dado el torque se determina la potencia generada en una piedra.

$$P = T\omega \quad (14)$$

Dónde:

P =Potencia

T =Torque

$\omega$ =velocidad angular

**2.2.13** *Motores eléctricos.* Para que genere el movimiento del eje es necesario una energía que mueva todos los componentes diseñados de la máquina, para esto es útil un motor eléctrico que es la encargada de transformar la energía eléctrica en mecánica.

Los motores trifásicos son la unión de tres sistemas monofásicos con su voltaje desfasados a 120° uno de otro y se conecta en triangulo o en estrella. Este tipo de motores se utiliza en el ámbito industrial y es necesario tener un transformador independiente para su funcionamiento.

**2.2.14** *Pandeo de columna.* (NORTON, 2011). Dado que la carga aplicada en el eje principal de transmisión es a compresión, y el eje tiene una longitud considerablemente larga se analiza el modo de falla por condición de pandeo de columna para materiales dúctiles.

Para determinar el esfuerzo axial que soporta, se aplica la siguiente expresión

$$\sigma_{\text{eje}} = -\frac{P}{A} \quad (15)$$

Donde:

$\sigma_{\text{eje}}$ =Esfuerzo a carga axial

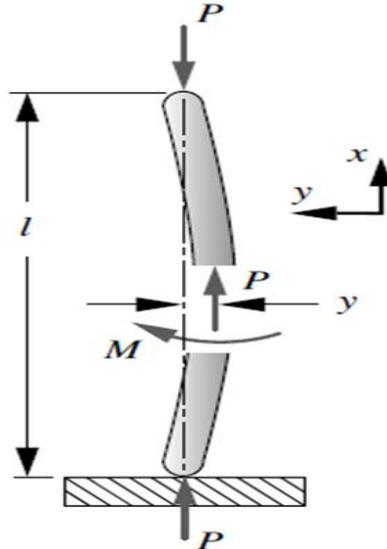
P=Carga total a compresión

A=Área de la sección transversal

Para la selección de un diámetro adecuado del eje de transmisión, y la longitud de la misma. Se toma el criterio de esbeltez, considerando el tipo de conexión en los extremos del eje, como se muestra en siguiente la figura 5.

Hay que evitar que el eje con la carga asignada pueda pandearse, por ello tanto Euler como Johnson, dan un criterio acerca de estos casos, tomando en consideración las condiciones que dan cada teoría. Otro de los factores del comportamiento de un eje o columna son las condiciones de apoyo en sus extremos (factor de longitud efectiva,  $\lambda$ ).

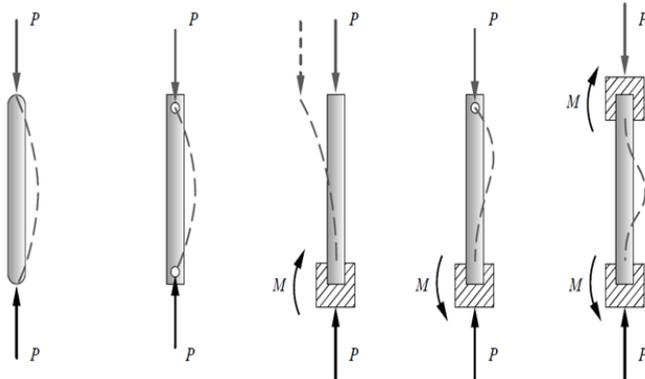
Figura 5. Pandeo de una columna



Fuente: (NORTON, 2011)

**2.2.15 Razón de esbeltez.** Existen diversos tipos de columna, estas pueden ser: columna corta, media y larga. Las columnas media y larga son las que más tienden a sufrir un pandeo por aplicar cargas axiales a compresión.

Figura 6. Condiciones de extremo de Columnas



(a) Redondeada-redondeada (b) Articulada-articulada (c) Empotrada-libre (d) Empotrada-articulada (e) Empotrada-empotrada

Fuente: (NORTON, 2011)

Hay que tener en cuenta que el esfuerzo a compresión puede estar muy por debajo de la resistencia de fluencia del material y sin embargo la columna ya estará sufriendo un pandeo.

La columna actúa en la zona de Johnson, razón por la cual debe cumplir la siguiente condición.

$$\lambda < \lambda_0 \quad (16)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad (17)$$

$$\lambda = \frac{L_p}{K}. \quad (18)$$

La ecuación de Johnson facilita el cálculo de la carga crítica que soporta el eje

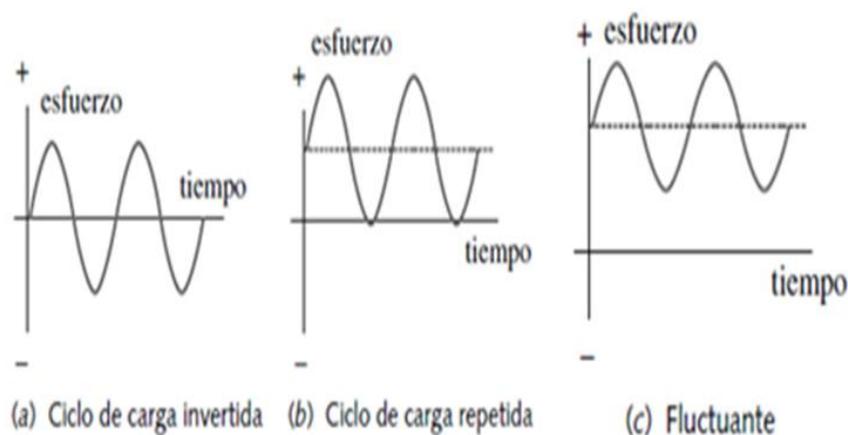
$$\frac{P_c}{A} = S_y - b\lambda^2. \quad (19)$$

Se calcula el coeficiente de seguridad

$$\eta = \frac{P_c}{P_T}. \quad (20)$$

**2.2.16** *Teoría de fatiga.* La teoría de falla por fatiga ocurre cuando los elementos están sometidos a cargas variables diferente a las cargas estáticas (aquellas que se aplican gradualmente una sola vez) produciendo grietas que crecen a medida que estos se repiten en los puntos críticos del elemento. Es necesario considerar casos de variación de esfuerzos máximos y mínimos del diagrama esfuerzo-vida sin que falle el elemento sometido a estas cargas.

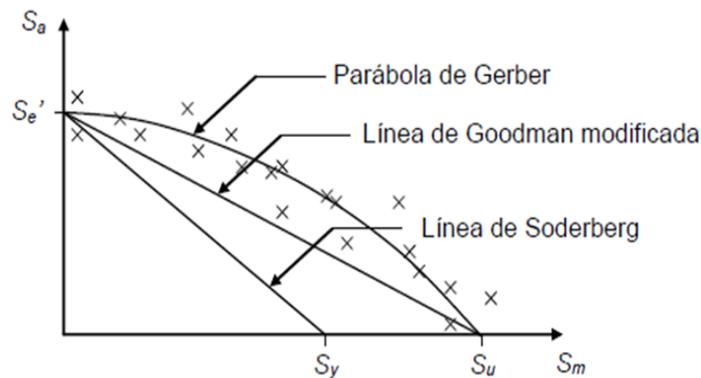
Figura 7. Esfuerzos variables con el tiempo



Fuente: (NORTON, 2011)

**2.2.17** *Líneas de falla.* Particularmente una carga viva produce una variación sinusoidal del esfuerzo, en este caso se toma en cuenta el límite de fatiga y la resistencia a la fatiga para interpretar los diagramas del diseño.

Figura 8. Esfuerzo medio vs esfuerzo alternativo



Fuente: (NORTON, 2011)

Dónde:

$S_a$ =Esfuerzo alternativo

$S'_e$ =Límite de fatiga

$S_y$ =Resistencia de fluencia

$S_u$ =Esfuerzo último

$S_m$ =Esfuerzo medio

Para analizar los resultados de un elemento ya sea en un software o en un laboratorio es necesario comparar con las líneas de Gerber, Goodman modificada o Soderberg, mostrado en la figura 8.

Para  $S_m \geq 0$ , la línea de Goodman:

$$\frac{1}{n} = \frac{S_m}{S_u} + \frac{S_a}{S'_e} \quad (21)$$

Donde:

$S_e$ = Límite de resistencia a la fatiga corregida

$n$ = Coeficiente de seguridad

**2.2.18** *Sistema de extracción de la cáscara de soya.* Para separar la cáscara del grano, se utiliza un ventilador que genere vacío (absorber). Los álabes se clasifican según la curvatura, estas son: álabes inclinados hacia adelante, radiales e inclinados hacia atrás. Estas últimas son de mayor eficiencia estática (60% - 80%). La involuta cumple la función de transformar toda esa energía cinética en presión estática. En la figura (a), se observa un ventilador centrífugo con álabes inclinados hacia adelante, (b) con álabes radiales y



## CAPÍTULO III

### 3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

#### 3.1 Definición del problema

La panadería y pastelería *Sal & Dulce*, ubicado en la ciudad de Riobamba, requiere un equipo que tenga la capacidad de pelar soya seca, para aprovechar los derivados, sin embargo el sistema de pelado es de forma manual, resultando tedioso y pérdida de tiempo. La población están poniendo mayor interés en el consumo de la soya ya sea para elaborar harina o leche de soya, gracias a sus beneficios en la nutrición, por ello es una necesidad encontrar un equipo capaz de pelar la soya directamente.

En este capítulo se realiza un estudio de las alternativas más favorables para diseñar la máquina posterior a la selección de la mejor opción que garantice el buen funcionamiento y una construcción económica. Lo principal de este proyecto es construir el equipo y ver que nuestro producto salga en las mejores condiciones para el consumo humano.

#### 3.2 Declaración de la misión

Determinar los parámetros que lleven a una buena elaboración de la máquina y aseguren un buen procesamiento del producto final, haciéndolo competitivo.

**3.2.1 Descripción del equipo.** La máquina de pelar soya debe ser capaz de eliminar un 90% de la cáscara, para ello se utiliza un par de piedras abrasivos que sean capaces de separar la semilla de la cáscara por fricción, la misma que es generado por el torque que produce por transmisión de las poleas. Seguidamente la cáscara pelado desciende por un ducto inclinado que debe ser desechado la cáscara y otras partículas adjuntas en el flujo por succión del ventilador centrífugo al exterior mediante un ducto de salida, el grano pelado es expulsado por otro sector del ducto principal hasta recoger de forma limpia. Además dando una confiabilidad al operario para manejar con facilidad. La máquina debe ser efectivo, eficiente, fácil de usar y no destructivo por elementos que estén expuestos al aire libre, como aspas del ventilador o ejes que roten libremente.

**3.2.2 Mercado.** Disponibilidad para el sector agroindustrial, correspondiente a fabricas dedicadas a elaborar productos de cereales, además para empresas en la línea de confiterías, panaderías.

### 3.3 Necesidades y especificaciones del producto

**3.3.1 Objetivos de la investigación.** Determinar parámetros que lleven a una buena elaboración de la máquina y aseguren un buen procesamiento del producto final, haciéndolo competitivo.

**3.3.2 Necesidades del operario.** Dada a la necesidad latente del operario para poder manipular este tipo de máquina se da a conocer la siguiente información definiendo los criterios que justifique los requerimientos del producto. Estas son: Desempeño, seguridad, mantenimiento, costos.

Tabla 2. Manifestación del cliente

MANIFESTACIONES DEL OPERARIO		
OPINIÓN OPERARIO		INTERPRETACIÓN DE LAS NECESIDADES
DESEMPEÑO	Que tenga una vida útil	El equipo presenta partes que durarán aproximadamente cinco años de vida útil
	Que la semilla no sufra daños	Fácil pelado y transporte del producto con el menor daño posible
	Que el equipo se opere por una persona y sea de fácil manejo	El montaje es sencillo y se opera desde un tablero de control semiautomático
	Que la semilla no sea calentada	El equipo tiene que desarrollar una forma rápida de pelado de la semilla cruda sin interferencia del fuego
	Que el ingreso y salida de la semilla sea rápido	El sistema cuenta con mecanismos sencillos
	Cantidad de semillas que se pela	El sistema está diseñado para 50kg/hora
SEGURIDAD	Que no presente ningún riesgo al operario	El sistema es completamente cerrado, además cuenta con un ventilador para el desalojo de residuos
MANTENIMIENTO	Que se limpie fácil	No es muy complicada su limpieza
	Que se consiga fácilmente los repuestos	Son de fácil adquisición y fabricación
COSTO	Que sea económico	Casi todas las piezas se pueden fabricar en un taller mecánico, mientras otras se seleccionaron y se adquirieron según los cálculos de diseño

Fuente: Autor

**3.3.3** *Necesidades del cliente.* El cliente necesita un equipo que sea capaz de separar la cáscara del fruto de la semilla de la soya con una máxima efectividad, sin que esto sea humedecido para su posterior uso en diferentes tipos de alimentación. Luego de pelar el grano, pueden hacer un sinnúmero de productos de la soya.

**3.3.4** *Matriz de necesidades-Medidas.* Una vez definido las necesidades del operario y del cliente, establecemos una tabla dónde correspondan a las aspiraciones iniciales que se esperan obtener del producto. De acuerdo a que en la ciudad de Riobamba no existen empresas que fabriquen este tipo de maquinaria en acero inoxidable, bajo los parámetros de calidad es considerado como una alternativa a tomar en cuenta en la elaboración de esta investigación.

Así mismo las condiciones y requerimientos más comunes de la población agroindustrial del país son:

- Un equipo capaz de pelar en un corto tiempo.
- Bajo precio de producción.
- Fácil mantenimiento del equipo.
- Obtener la calidad en el pelado.
- Salubridad.

A esto se debe también que dada las circunstancias del entorno del país, se define las siguientes restricciones, por la cual la población no consume lo suficientemente este tipo de leguminosas en el Ecuador:

- Escases del producto pelado en los mercados.
- No existe un conocimiento de la población acerca del producto y sus beneficios.
- Falta de elaboración de máquinas para el pelado de este tipo de leguminosas.
- Calidad del producto.

Se debe considerar el tipo de motor ya sea eléctrica que genera energía mecánica a partir de la energía eléctrica, o un motor estacionario el cual genera la energía mecánica a partir de la energía química por medio de hidrocarburos como son el diésel o la gasolina, teniendo como desventaja que no existe para potencias pequeñas, razón por la cual se debe tomar en cuenta la eficiencia y la limpieza sobre todo. Los costos de los motores

estacionarios están entre 540 a 1000 dólares americanos. Se debe utilizar un sistema de poleas ya sea de reducción o de ampliación para aprovechar la potencia indicada.

Tabla 3 Matriz de medidas vs necesidad

MEDIDAS // NECESIDAD	Años	Sí/No	Sí/No	%	Kg/h	Sí/No	Sí/No	Sí/No	\$
	Durabilidad	Daños a la semilla	Fácil manejo	Eficiencia	Capacidad	Riesgos al operario	Fácil limpieza	Fácil adquisición de repuestos	Económico
El equipo presenta partes que durarán aproximadamente 5 años de vida útil	0								
Fácil mezcla y transporte del producto con el menor daño posible		0							
El montaje es sencillo y se opera desde un tablero de control semiautomático			0						
El sistema cuenta con mecanismos sencillos y automatizados.				0					
El sistema está diseñado para 50 kg/hora					0				
El sistema es completamente cerrado que no permite contaminar el lugar						0			
No es muy complicada su limpieza							0		
Son de fácil consecución y fácil fabricación								0	
Casi todas las piezas se pueden fabricar en un taller mecánico, mientras otras se seleccionaron y se adquirieron según los cálculos de diseño									0

Fuente: Autor

### 3.4 Diseño conceptual

Al determinar algunos factores en la selección de alternativas y luego de aplicar ciertas técnicas para el diseño de nuestro equipo, en este capítulo se determina las alternativas de las máquinas para un pelado efectivo y económico, dando un concepto aproximado del producto bajo principios de funcionamiento, forma y tamaño para satisfacer las necesidades del cliente, expresado en un bosquejo o un modelo, así describiendo textualmente su funcionamiento. Aunque son propuestas preliminares, hay que tener en cuenta la efectividad para pelar la soya, el costo de los materiales con que se construye, el tamaño de la máquina, y la capacidad del pelado.

#### 3.4.1 Establecimiento de funciones

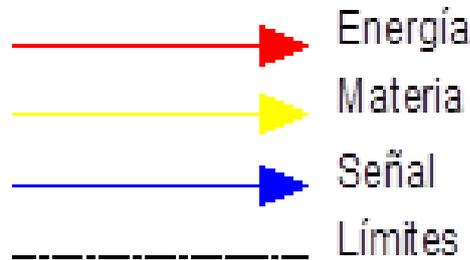
Analizamos con un diagrama de lazo la entrada, proceso y la salida de un proceso, tales como la caja negra, la entrada y salida de las distintas formas de energía y señales del funcionamiento de cualquier tipo de máquina.

- *Caja negra.* La caja negra, es el método de diseño propuesto por Nigel Cross, para pasar de una forma deductiva general a lo particular, es el modelo o representación de un objeto o artefacto a desarrollarse en el cual es posible distinguir.
- *Entrada:* Flujos de materia, energía o señal que entran al objeto y que constituyen los recursos necesarios para el funcionamiento de él.
- *Salidas:* Flujos de materia, energía o señales que salen del objeto y que constituyen los producidos objeto de él.
- *Función principal:* La relación general de acción, descrita en abstracto, entre las magnitudes de entrada, de salida y de estado de un objeto, necesaria para realizar una tarea. Se enuncia empleando un verbo de acción más un sustantivo que representa el flujo.

El análisis funcional del sistema (pelado de la semilla de soya) 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.

Los tipos de señales asignadas que regirán la representación de los diferentes sistemas en la elaboración de la estructura funcional del equipo son como se muestra en la figura. 11.

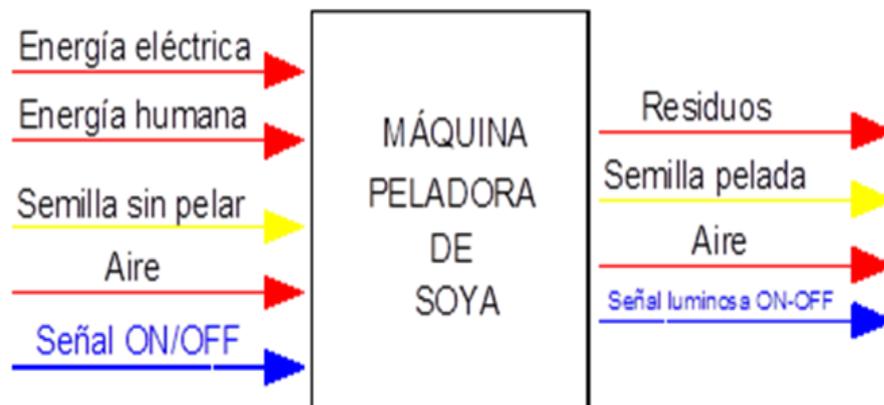
Figura 11. Señales y flujos de las funciones.



Fuente: Autor

- Flujos de entrada: Energía, fuerza humana, semillas de soya, aire, señal ON/OFF.
- Flujos de salida: Energía, Semillas de soya pelada, aire, residuos.
- Función principal: Descascarado.
- Flujo principal: Continuo.
- Retroalimentación: Manual.

Figura 12. Representación de la caja negra

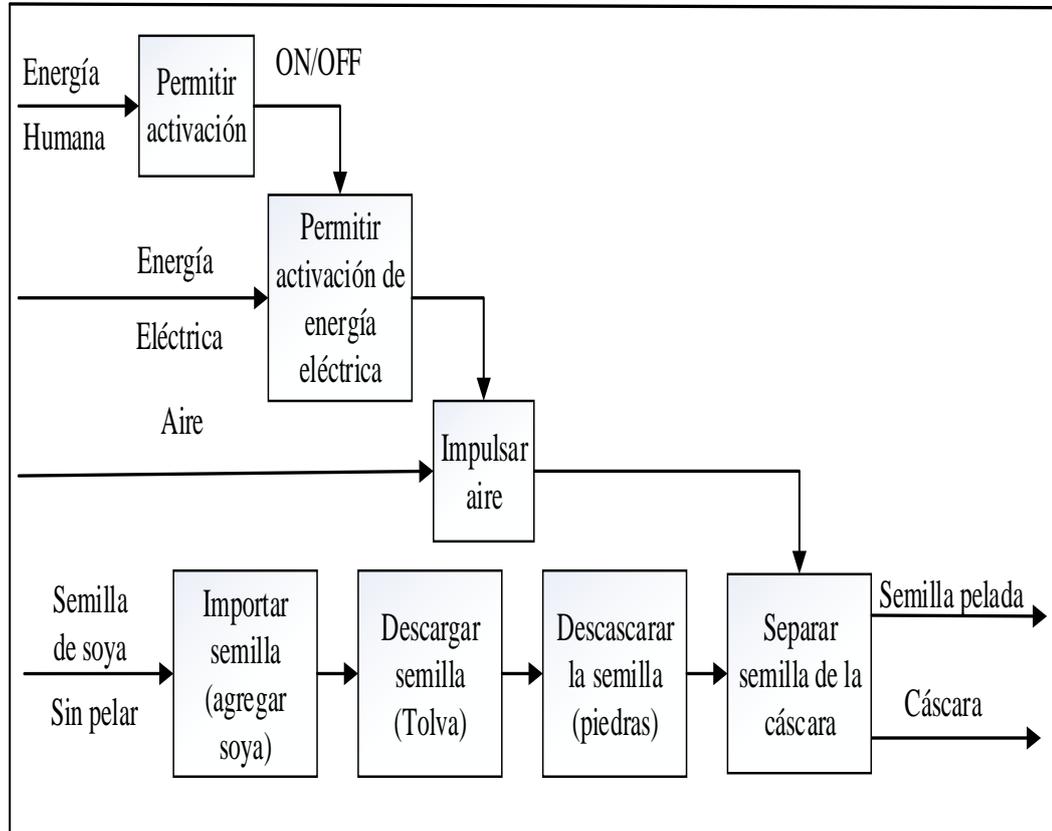


Fuente: Autor

**3.4.2 Estructura funcional.** Para la elaboración de la estructura funcional se investigó y analizó detenidamente el sistema por medio de la determinación de las secuencias y/o procesos. Esto a través de un diagrama de bloques que muestre las interacciones entre las funciones secundarias. La caja negra se hace transparente, de tal manera que se clarifiquen las funciones secundarias y sus interacciones.

El árbol funcional nos muestra de una mejor manera a lo que se desea llegar y condicionar todas las posibles soluciones que realmente cumplen con el objetivo general.

Figura 13. Estructura funcional de la máquina peladora de soya



Fuente: Autor

### 3.4.3 Funciones de la estructura de la máquina

- *Permitir activación de energía humana.* Se considera como energía humana a la función correspondiente de la colocación de una cantidad de granos de soya en la tolva de entrada, además de detectar y pulsar el botón de encendido.
- *Permitir activación de energía eléctrica.* Esta función corresponde a la acción de activar el sistema eléctrico una vez que se ha pulsado el botón on /off para el funcionamiento de la máquina.
- *Impulsar aire.* Esta función corresponde a un dispositivo capaz de transformar la energía eléctrica en energía eólica, El ventilador debe tener un control de caudal de aire para fijar valores para diferentes capacidades de carga.

- *Importar semilla (agregar soya).* Esta función le corresponde a la forma de proveer la materia principal al interior de la tolva de la máquina peladora de soya.
- *Descascarillar semilla.* Esta función le corresponde al dispositivo o elementos mecánicos en el cual realiza el proceso de separar la fruta de la soya y el residuo.
- *Separar semilla de la cáscara.* Esta función le corresponde al lugar dónde se realiza la interacción de las semillas y el viento. El viento fluctúa llevando los residuos livianos (cáscara).

Tamizar desperdicios de la semilla: Esta función le corresponde a un filtro tamiz. En ella debe cumplir la función de separar todos los residuos y sacar el grano final limpiamente.

### 3.5 Generación de alternativa

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

**3.5.1 Diagrama de la matriz morfológica.** El diagrama morfológico se elabora a partir de las situaciones de la estructura funcional de cada uno de los elementos. 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, designadas de la siguiente manera:

Figura 14. Designación de flujos



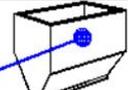
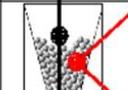
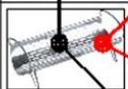
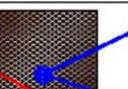
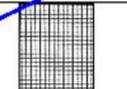
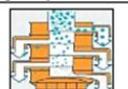
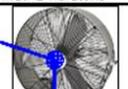
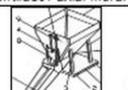
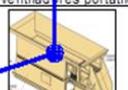
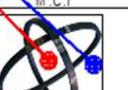
Fuente: Autor

Las rutas de solución representan una combinación de alternativas que generan un concepto de 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. Se considera como primer punto los elementos de entrada como las tolvas, formas de transportar, el tipo de molienda, refrigeración, motores, y el sistema de potencia, como las bandas trapezoidales o cadenas de transmisión.

### 3.5.2 Matriz morfológica.

Figura 15. Matriz morfológica

FUNCIONES PARCIALES	ALTERNATIVAS				
	1	2	3	4	5
1. cargar semilla	 tolva trapezoidal	 tolva cono cilíndrico	 tolva cono truncado rectangular	 tolva cono truncado	 tolva asimétrica
2. transporte semilla	 por gravedad	 sin fin	 banda		
3. descascado de semilla	 tambor batiz	 disco abrasivo	 por doble rodillo	 rodillos de goma y sin fin	 masa rotor para molino
4. separación de la cáscara	 tambor de cribado	 rejilla metálica	 rejilla con varilla	 matriz vibratorio	
5. impulsar aire	 ventilador portátil	 ventilador axial mural	 ventilador centrífugo	 ventiladores portátiles	 turbo ventilador
6. desacarga material	 tolva circular corto alcance	 tolva trapezoidal	 tolva circular largo alcance	 rampa metálica	 canaleta rectangular
7. transformar energía	 motor eléctrico	 M.C.I.			
8. transmisión de potencia	 cadena de rodillos	 banda trapezoidal	 engranajes		

Fuente: Autor

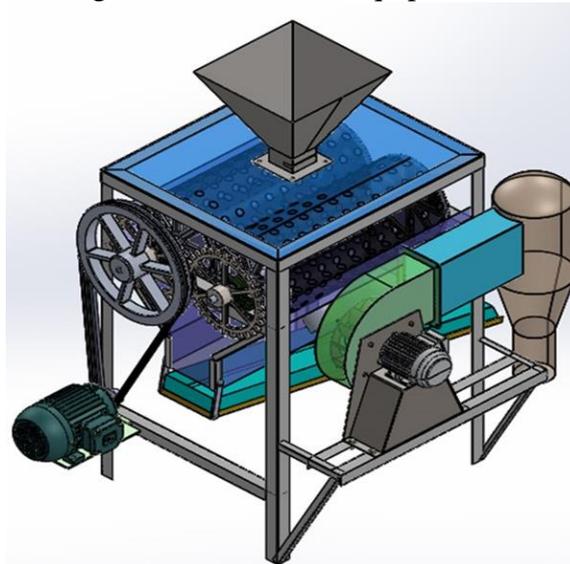
Hay cinco alternativas que son consideradas a partir del ingreso de la semilla hasta su salida, entre ellas son las tolvas de ingreso de forma geométrica truncada o en forma cónica que debe basarse en la capacidad de almacenar al momento de ingresar, la forma de transportar debe ser de forma directa o por transporte por tornillo sinfín. La forma de moler debe ser seleccionada con mucho cuidado debido a que es la parte principal del

funcionamiento de la máquina, posterior a ello el tamiz. El ventilador también es una forma esencial de la máquina.

Las propuestas al proceso de pelado del grano de la soya, teniendo en cuenta los parámetros funcionales anteriormente mencionados son las siguientes:

**3.5.2.1** *Descripción de la solución 1.* La soya es almacenada en la tolva de ingreso manualmente, enseguida el grano se desliza por medio de la fuerza gravitatoria, verticalmente hasta la cámara de pelado, el cual consiste en dos tambores matiz que pela el grano presionando una contra la otra. La cáscara se separa del grano, depositándose sobre un tambor de cribado que hace la función de tamiz. Luego un ventilador expulsa los residuos livianos hacia la parte externa. Los granos pelados salen por un ducto rectangular para ser recogidos en un ciclón.

Figura 16. Diseño del equipo ruta 1

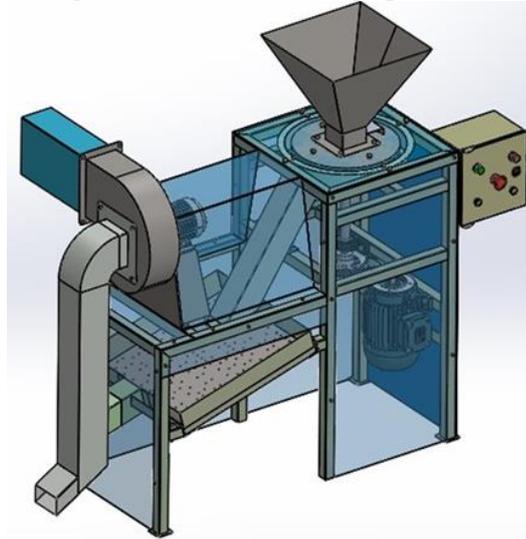


Fuente: Autor

**3.5.2.2** *Descripción de la solución 2.* La soya inicia su ingreso por la tolva cónica truncada, seguidamente cae por gravedad sobre la cámara de pelado que tiene dos discos abrasivos donde el disco superior está fijo a una plancha y el disco inferior está sujeta al eje de transmisión quedando de esa manera el grano intermedio entre ambos discos triturando el material. La descascaración deseada de la soya se produce por efectos de cargas a compresión y fricción de las piedras con el grano. Por fuerzas de arrastre el grano se desplaza hacia un tamiz. La cáscara es absorbida por un ventilador centrífugo y expulsado hacia el exterior. El grano pelado sale por un ducto de largo alcance para ser

recogido. Se utiliza un motor eléctrico y la potencia es transmitida por medio de bandas.

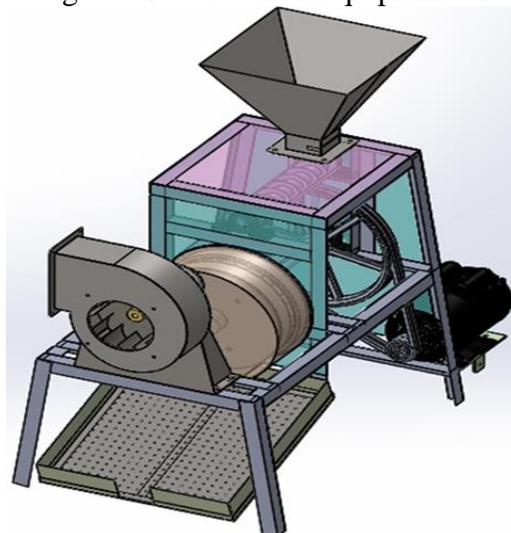
Figura 17. Diseño del equipo ruta 2



Fuente: Autor

**3.5.2.3 Descripción de la solución 3.** La soja inicia su ingreso por la tolva de cono truncado rectangular, seguidamente es transportado por medio de un tornillo sin fin hacia la cámara de pelado que contiene dos piedras abrasivos colocados de forma vertical, quedando así el grano intermedio entre las piedras para su pelado. Por gravedad el grano se desplaza hacia un tamiz, La cáscara es absorbida verticalmente por un ventilador centrífugo y expulsado hacia el exterior. Se utiliza un motor eléctrico y la potencia es transmitida por medio de bandas.

Figura 18. Diseño del equipo ruta 3



Fuente: Autor

### 3.6 Metodología de evaluación y resultados

Para la evaluación de resultados se toma en consideración una forma de concebir la ingeniería de diseño y desarrollo de productos desde diferentes puntos de vista del producto, recursos humanos, recursos materiales, profesionales de una forma colectiva o individual basada en tecnologías de la información sobre una base de datos adquiridos.

Una vez que se realiza la matriz morfológica se procede a evaluar las alternativas de solución planteadas de cada una de las funciones con el propósito de reducir el grupo y generar uno o más conceptos del sistema, para su ulterior investigación, prueba, desarrollo y evaluación de los conceptos obtenidos.

Se presenta una metodología de selección de dos conceptos (ULRICH, y otros, 2014), para evaluar conceptos con respecto a las necesidades del cliente y demás criterios. La primera etapa se denomina proyección o filtrado de conceptos, esto significa hacia dónde debemos proyectarnos en nuestro diseño de la máquina y la segunda etapa evaluación o puntuación del concepto, lo que significa que debo dar un valor determinado a las características recomendadas según los criterios técnicos. Cada una se apoya en la matriz de decisiones para ordenar y seleccionar los mejores conceptos.

La proyección es una evaluación aproximada y rápida, dirigida a producir algunas alternativas viables. Cuando damos una puntuación se hace un análisis más cuidadoso de estos conceptos para elegir el que conduce a una mayor probabilidad al éxito del producto.

**3.6.1** *Puntaje y criterios de evaluación para la matriz de proyección.* Una evaluación relativa de “más importante que” (1), “Igual que” (-), “menos importante que” (0), se pone en cada celda de la matriz para representar la evaluación de cada concepto en comparación con el concepto de referencia al criterio particular.

Tabla 4 Criterios de evaluación

Más importante que	+
Igual que	0
Menos importante que	-

Fuente: Autor

Dependiendo de las necesidades del operador se considera los objetivos elementales:

**3.6.2** *Lista de objetivos.* De acuerdo a las necesidades del cliente y del operario, con respecto a la máquina peladora de soya, se procede a elaborar una lista de objetivos que debe tener la máquina, a esto le asignamos letras del alfabeto para dar una valoración acorde al grado de importancia.

Tabla 5. Lista de objetivos y asignaciones

OBJETIVOS	ASIGNACIÓN
Fácil de operar	A
Riesgo al operario	B
Eficiencia	C
Peso	D
Tamaño	E
Durabilidad	F
Fácil limpieza	G
Económico	I
Capacidad	H
Fácil adquisición de repuestos	J

Fuente: Autor

### **3.7 Ordenar y asignar ponderaciones relativas a los objetivos.**

Establecida la lista de objetivos, se procede a ordenar de acuerdo al grado de importancia mediante la comparación entre cada uno de los objetivos. Para la selección de la mejor alternativa de diseño de la máquina peladora de soya se evalúa por medio del método ordinal corregido de criterios ponderados, identificando el grado de importancia entre ceros y unos para finalmente sumar las puntuaciones para cada factor según su importancia relativa.

En la siguiente tabla, se determina el grado de importancia de criterios de cada fila con el de la columna. Si la casilla A es más importante que B, esto equivale a 1 y en la casilla de B con respecto de A equivale 0, como se observa. Si los dos parámetros son de igual de importantes se ubica  $\frac{1}{2}$ . En la parte derecha se muestra la suma del número de grado de importancia total obtenido por cada objetivo. Con estos datos se calcula el peso relativo de cada uno de los objetivos planteados. Los valores que se suman están en un rango de dos a cinco unidades, para sacar posteriormente la importancia relativa.

Tabla 6. Ponderación relativa a objetivos

OBJETIVOS	A	B	C	D	E	F	G	I	H	J	TOTAL
A	-	1	0	0	1	0	0	1	1	1	5
B	0	-	1	0	1	0	1	1	0	0	4
C	1	0	-	1	1	1	0	0	0	1	5
D	1	1	0	-	0	0	1	1	1	0	5
E	0	0	0	1	-	0	0	1	1	1	4
F	1	1	0	1	1	-	0	0	0	1	5
G	1	0	1	0	1	1	-	0	1	0	5
I	0	0	1	0	0	0	1	-	1	1	4
H	0	1	1	0	0	1	0	0	-	1	4
J	0	1	0	1	0	0	1	0	0	-	3

Fuente: Autor

### 3.8 Cálculo de peso relativo de los objetivos.

Cada uno de los objetivos planteados tiene cierto valor porcentual o tienen un mayor interés para el diseño dependiendo de cuál será el funcionamiento de la máquina. En este caso la limpieza viene a ser nuestro objetivo principal lo que significa que tendrá un peso mayor al momento de designar los porcentajes de calificación.

Para establecer el peso relativo de cada objetivo, se divide cada nivel por el total. Con esto se determina el grado de importancia de un criterio sobre el global de los objetivos planteados.

Tabla 7. Ponderación de objetivos y asignaciones

ASIGNACIÓN LETRA	OBJETIVOS	NIVEL	PESO
A	Fácil de operar	5	0,11
B	Riesgo al operario	4	0,09
C	Eficiencia	5	0,11
D	Peso	5	0,11
E	Tamaño	4	0,09
F	Durabilidad	5	0,11
G	Fácil limpieza	5	0,11
H	Económico	4	0,09
I	Capacidad	4	0,09
J	Fácil consecución de repuestos	3	0,07
	TOTAL:	44	1,00

Fuente: Autor

Similar a la tabla anterior existe otra etapa de filtrado de conceptos para simplificar aún más el análisis de los objetivos, se agrupan dependiendo del grado de afinidad o similitud en 5 grupos como se muestra a continuación.

Tabla 8. Ponderaciones de objetivos y asignaciones

OBJETIVO PRINCIPAL	OBJETIVOS	NIVEL	PESO	
DESEMPEÑO	Fácil de operar	5	0,11	0,23
	Eficiencia	5	0,11	
SEGURIDAD	Riesgo al operario	4	0,09	0,09
TAMAÑO	Capacidad	4	0,09	0,30
	Peso	5	0,11	
	Tamaño	4	0,09	
MANTENIBILIDAD	Durabilidad	5	0,11	0,30
	Fácil consecución de repuestos	3	0,07	
	Fácil limpieza	5	0,11	
COSTOS	Económico	4	0,09	0,09
	TOTAL:	44	1,0	1,00

Fuente: Autor

### 3.9 Parámetros de rendimiento

Todas las máquinas en funcionamiento están ejercen fuerzas de acción-reacción, tangencial, normal en los enlaces o eslabones, dando a ello a una disipación de energía en forma de calor que se traduce en una disminución del rendimiento mecánico. Con el uso progresivo de las máquinas, pueden generar impactos ambientales sean estas directas sean estas por contacto con el entorno debido a los recubrimientos como pinturas, lubricantes y otros fluidos, o contaminación fortuita debido a la mala combustión de polímeros.

Una vez determinada los objetivos planteados, estas se someten a una evaluación desde el punto de vista técnico y económico. El parámetro de rendimiento está dado en base a los cinco objetivos planteados anteriormente. Por ello, se especifica el rango de valores entre [0 a 6], dependiendo de cómo satisfaga la propuesta al punto mencionado y siendo 0 el punto más bajo, y 6 el más alto de la calificación de los objetivos, Existe otro punto

denominado factor de influencia, donde se da una calificación de acuerdo a los cinco objetivos principales, así por ejemplo al Tamaño se le da una calificación desde muy pesado hasta liviano, en el caso económico será desde muy barato hasta muy costoso.

Tabla 9. Escala de rendimiento del mercado

PUNTOS	CALIFICACIÓN(Lb)	TAMAÑO
0	$\geq 750$	muy pesado
1	500	poco pesado
2	200	peso por arriba del promedio
3	125	peso promedio
4	90	peso por debajo del promedio
5	50	poco liviano
6	$\leq 45$	muy liviano

Fuente: Autor

Para analizar cuan económico es la construcción de la máquina se analizó la interacción con el entorno en mayor o menor grado debido al clima y el impacto ambiental que estos conllevan. Los materiales férricos son los más baratos (35÷40 dólares/qq) y los más utilizados en el diseño de máquinas. El coste de los materiales está en un proceso continuo de incremento entre un 10 y un 30% relativamente.

La evaluación económica de la máquina, desde muy barato a muy costoso de acuerdo a las puntuaciones definidas.

Tabla 10. Escala de rendimiento económico

PUNTOS	CALIFICACIÓN(\$)	ECONÓMICO
0	$\geq 5500$	muy costoso
1	4500	costoso
2	3000	ligeramente costoso
3	2200	precio adecuado
4	1800	ligeramente barato
5	1200	poco barato
6	$\leq 700$	muy barato

Fuente: Autor

### 3.10 Diagrama de evaluación de objetivos

Tabla 11. Diagrama de evaluación de objetivos

OBJETIVOS	PESO	PARÁMETRO	solución 1			solución 2			solución 3		
			Magnitud	Calif.	Valor	Magnitud	Calif.	Valor	Magnitud	Calif.	Valor
DESEMPEÑO	0,23	Calificación	Normal desempeño	2,0	0,455	Normal desempeño	4,0	0,909	Buen desempeño	5,0	1,136
SEGURIDAD	0,09	Calificación	Muy buena seguridad	5,0	0,455	Normal seguridad	6,0	0,545	Bena seguridad	5,0	0,455
TAMAÑO	0,30	Libras	500	1,0	0,295	200	1,0	0,295	750	0,0	0
MANTENIBILIDAD	0,30	Calificación	Buen Mantenimiento	4,0	1,182	Mantenimiento normal	3,0	0,886	Mantenimiento Normal	3,0	0,886
COSTOS	0,091	Dólares	2000	5,0	0,455	2500	3,0	0,273	4000	1,0	0,091
				TOTAL	2,841		TOTAL	2,909		TOTAL	2,568

Fuente: Autor

Finalmente, los objetivos planteados tales como: El desempeño, la seguridad, el tamaño del equipo, el mantenimiento de sus partes mecánicas fijas y móviles y el coste de la construcción, llevan a tomar la decisión de optar por el mayor puntaje adquirido en los análisis de las tablas anteriormente estudiadas.

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

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DE LA MÁQUINA PELADORA DE SOYA

#### 4.1 Diseño de forma

Este proyecto se realiza en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, tiene un clima frío seco, llegando a registrar una temperatura media de 14°C, bordea una presión atmosférica de 0,73 atm (74 KPa), humedad relativa 87% y velocidad del viento 1,8 m/s.

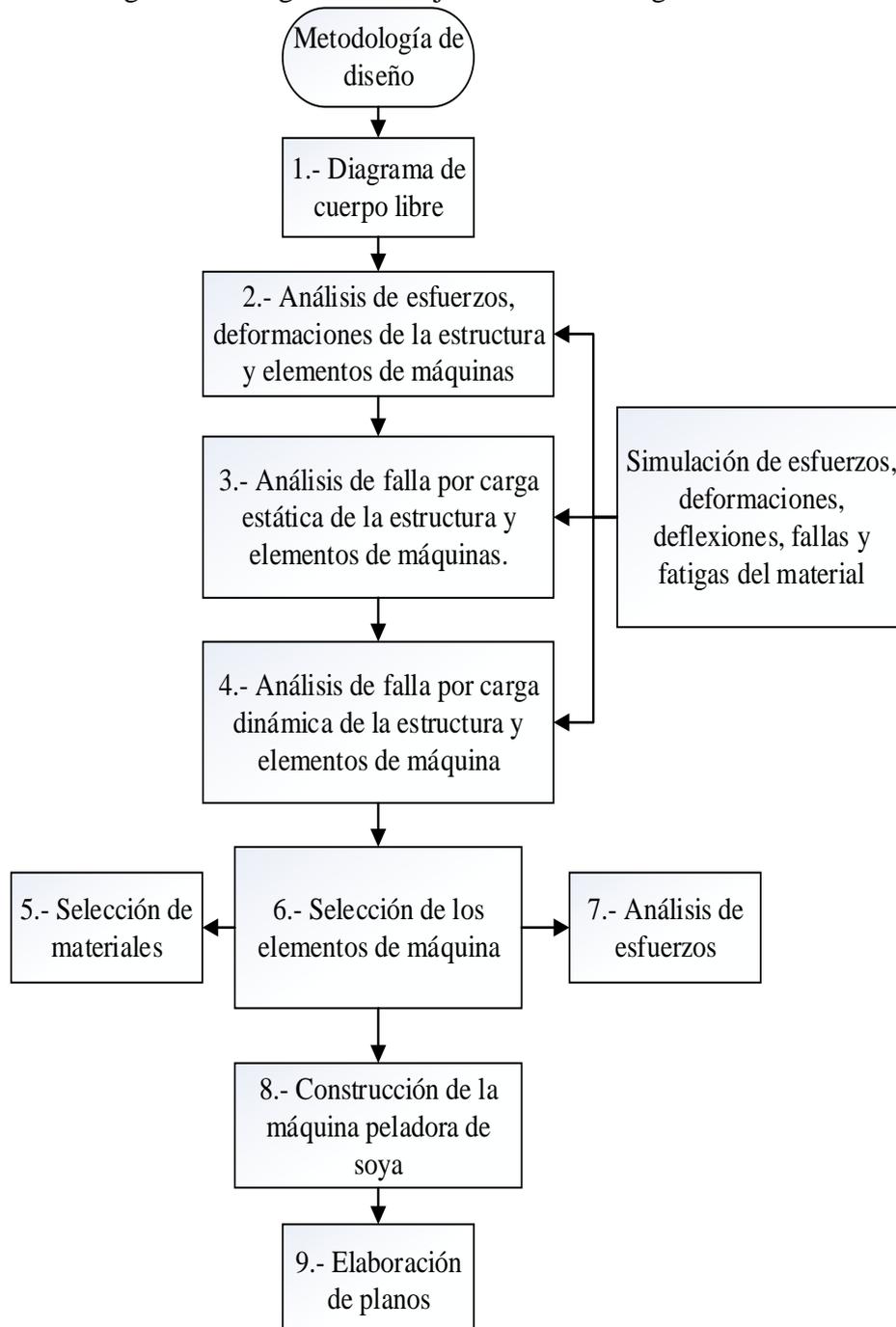
La semilla de soya es de la familia leguminosa. El grano de soya tiene una forma ovoide. La cáscara (tegumento) es la envoltura del grano, aquello le da un sabor amargo cuando a éste se lo quiere consumir, razón por la cual se los desecha o se utiliza para transformar en balanceado. Para separar la cáscara del fruto se procede a diseñar una máquina capaz de realizar este proceso, tratando en lo posible evitar la fractura total o que se haga harina si se muele con las piedras muy cerradas del fruto.

La máquina peladora de soya en seco tiene los siguientes principales elementos mecánicos: Una tolva fabricada en chapa metálica por dónde ingresa el grano según la dosis que lo requiera, dos piedras abrasivos que tienen la función de friccionar la semilla, el ventilador centrífugo que crea un vacío para succionar los desechos o la cáscara, expulsando al exterior por un ducto, motor eléctrico con sus respectivos elementos de protección eléctrica, el cual está conectado a un eje por medio de poleas y bandas trapezoidales, una estructura de la bancada el cual soporta todos los elementos mecánicos y mecanismos que forman la máquina. Se determina el diseño de forma correspondiente de todo el equipo de la maquinaria, así como también los cálculos necesarios para el diseño y selección de cada uno de los componentes a utilizar, tomando en cuenta todos los parámetros, teoremas o teorías que exige las condiciones del acero según normas existentes sobre el diseño de elementos de máquinas en cada uno de los componentes como son ejes, poleas, correas, selección del motor, ventilador. Además se presenta el análisis de la estructura que soportará los diferentes componentes

## 4.2 Metodología para el diseño de la máquina peladora de soya

A continuación se da a conocer un flujo grama de los pasos a seguir cuando se diseña una maquinaria.

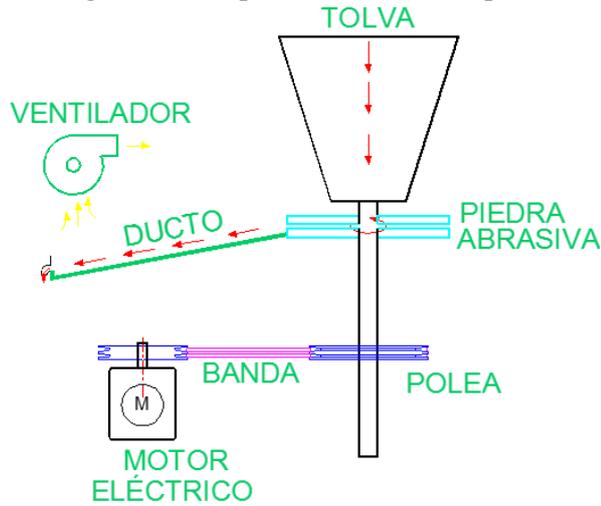
Figura 19. Diagrama de flujo de la metodología de diseño



Fuente: Autor

A continuación se muestra los elementos funcionales de la máquina peladora de soya para la construcción física.

Figura 20. Arquitectura de la máquina



Fuente: Autor

### 4.3 Volumen de la tolva de entrada

La capacidad de una tolva se determina tomando en cuenta la forma geométrica, granulometría y densidad aparente del grano. Hay que tener presente que el grano almacenado en tolvas, no está del todo compacto ya que existe espacios libre entre los trozos del grano. Además, las tolvas nunca se llenan completamente, quedando un espacio libre en la parte superior, por ello se debe estimar en cada caso específico la proporción de espacios libres que debe restarse del volumen total de la tolva para su resultado más real.

Se realiza el cálculo para un volumen que suministre una capacidad aproximada de 50 kg/h. Los datos a utilizar para estos cálculos son los siguientes.

Tabla 12. Propiedad de la soya

Densidad $\delta$ (Kg/m <sup>3</sup> )	800
Capacidad (Kg/h)	50
Espacio libre (%)	14
Humedad (%)	12

Fuente: Autor

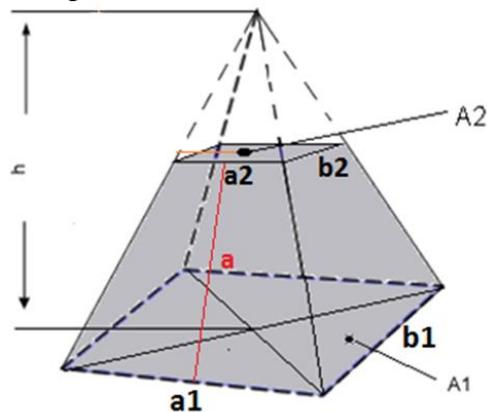
Para determinar el volumen útil, se considera varias propiedades de la soya tales como la densidad, la humedad, y los espacios libres entre las semillas en porcentajes normales al medio ambiente, para ello nos basamos de la ecuación (2)

$$V = \frac{50 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * (100\% - 30\%)}{800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (1 - 12\%) * (1 - 14\%)} \quad (23)$$

$$V = 0,0589 [\text{m}^3] \quad (24)$$

La tolva tiene la forma de una pirámide truncada elaborado con chapa metálica de acero inoxidable de 1 mm de espesor, para esto con la capacidad necesaria a obtener de define las medidas a obtener. Se utiliza la ecuación (1)

Figura 21. Geometría de la tolva



Fuente: Autor

Tabulando los datos en Excel hasta encontrar valores que arrojen el volumen adecuado como se muestra a continuación en la tabla 13

$$V = \frac{h}{3} (A1 + A2 + \sqrt{A1 \cdot A2})$$

Tabla 13. Volumen de la tolva

VOLUMEN PIRÁMIDE TRUNCADA		
a <sub>1</sub>	45	cm
b <sub>1</sub>	45	cm
a <sub>2</sub>	15	cm
b <sub>2</sub>	15	cm
h	55	cm
A <sub>1</sub> =a <sub>1</sub> x b <sub>1</sub>	2025	cm <sup>2</sup>
A <sub>2</sub> =a <sub>2</sub> x b <sub>2</sub>	225	cm <sup>2</sup>
V	0,054	m <sup>3</sup>

Fuente: Autor

Dónde:

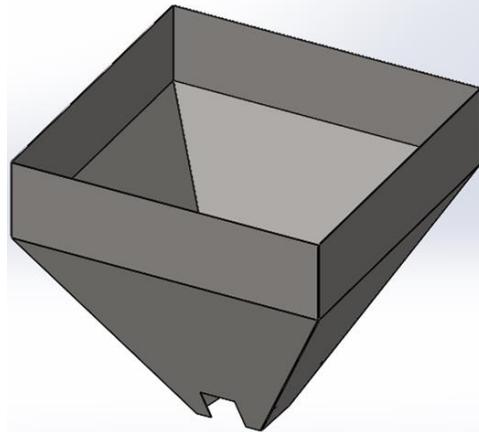
A<sub>1</sub>=Área de la sección grande

A<sub>2</sub>=Área de la sección pequeña

$h$ =Altura de la tolva

Utilizando la herramienta de chapa metálica en SolidWorks 2014 se modela la forma definida de la tolva la cual permite determinar el volumen y por medio de la herramienta del análisis de elementos finitos (FEA) se compara el esfuerzo máximo vs esfuerzo nominal del material, para la cual fue diseñada, tomando en cuenta las especificaciones del acero AISI 304L con lo cual se analiza el coeficiente de seguridad.

Figura 22. Tolva de ingreso del grano



Fuente: Autor

El volumen calculado en el software es: 0,053 [m<sup>3</sup>], que es un valor muy cercano al calculado en Excel.

Su área es: 0,902 [m<sup>2</sup>]

**4.3.1** *Análisis de esfuerzos de la tolva.* Para realizar el análisis de esfuerzos por el método de análisis finito se utiliza paquetes de software como SolidWorks y ANSYS, para lo cual se procede a evaluar de la siguiente manera:

- Definir el tipo de material de la pieza
- Definir el mallado del material
- Definir las condiciones de soporte y el estado de carga.
- Resultados

**4.3.1.1 Definición del material.** El material para elaborar las tolvas para alimentación es el acero inoxidable AISI 304 L, ideal para la manipulación de alimentos, libre de corrosión y de fácil limpieza y desinfección según las buenas prácticas de manufactura (BPM).

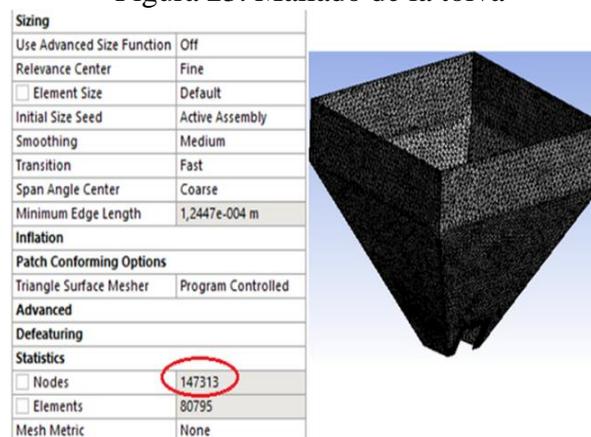
Tabla 14. Propiedades del acero inoxidable 304 L

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$1,9 \times 10^{11}$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0,29	N/D
Módulo cortante	$7,5 \times 10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	8000	Kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	517017000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	206807000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	$1,8 \times 10^5$	/k
Conductividad térmica	16	W/(m.k)
Calor específico	500	J/(kg.k)
Coefficiente de amortiguamiento del material		N/D

Fuente: SolidWorks

**4.3.1.2 Definir el mallado.** Una vez modelado la tolva en SolidWorks, se procede a exportar la pieza al software ANSYS 14.0 versión académica que tiene la desventaja de contar con una cantidad de nodos delimitada, lo que disminuye la capacidad de análisis para realizar el mallado, es importante la creación de un mallado muy fina para obtener un resultado homogénea en toda la pieza, en este caso se refino en los agujeros dónde están los pernos de sujeción contra la base de la estructura para que puedan presentarse los máximos esfuerzos. Se utilizaron 80 795 elementos lo que representa 147 313 nodos como se muestra en la figura 23.

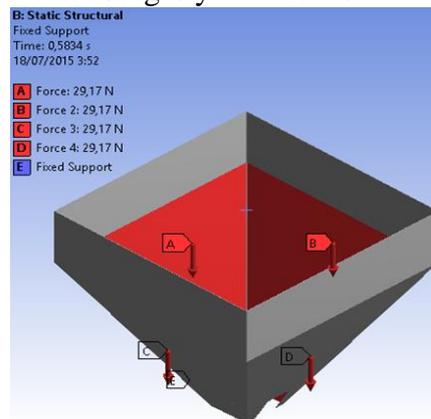
Figura 23. Mallado de la tolva



Fuente: Autor

**4.3.1.3 Condiciones de soporte y estado de cargas.** El siguiente paso es asignar las reacciones y cargas presentes en la tolva. Las reacciones estarán en los agujeros dónde se insertan tornillos que sujeten la base estructural con la tolva. La carga será los 50 kg (500 N) que es la capacidad de la máquina peladora de soya seca propuesto como objetivo el cual se divide para las cuatro caras internas de la tolva. Al dividir la carga de 50 kg y tomando en cuenta que la soya se descarga en un minuto (60 s), obtenemos una fuerza promedio de 29,17 [N] en sentido vertical en el centro geométrico de cada cara.

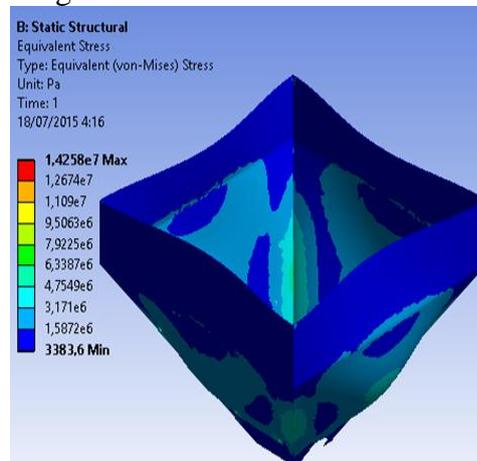
Figura 24. Cargas y reacciones en la tolva



Fuente: Autor

**4.3.1.4 Resultados.** Para obtener los resultados mediante el uso de software se busca determinar los valores del esfuerzo que están considerando a cada elemento mecánico, las deformaciones que presentan y el factor de seguridad que puedan tener. Los resultados adquiridos de la simulación muestran que el esfuerzo equivalente de Von Mises máximo de la tolva es de 14,3 [MPa], como se muestra en la figura 25.

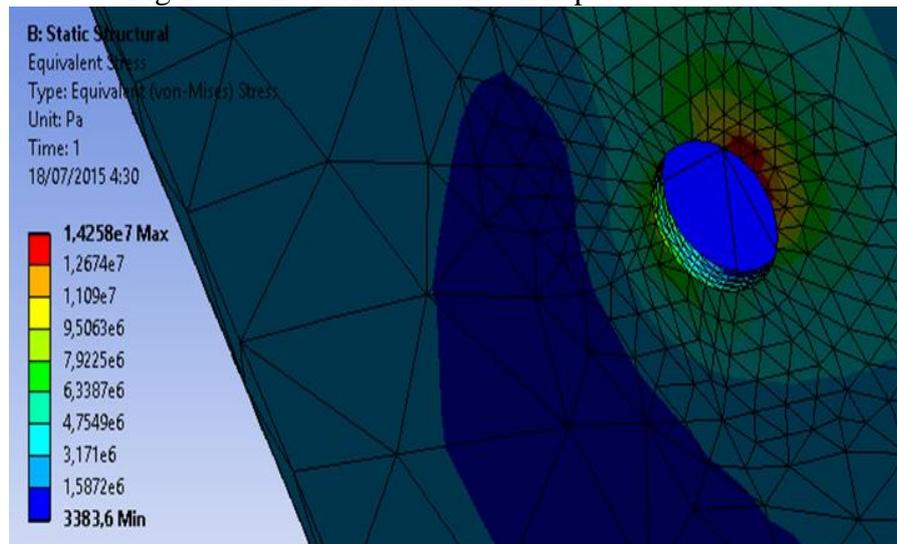
Figura 25. Esfuerzo de Von-Mises



Fuente: Autor

Acercándose aún más se puede apreciar el punto crítico del esfuerzo máximo que es en el borde en los agujeros, dándose a conocer la ventaja que tiene el Método de elementos finitos frente a los cálculos teóricos de los esfuerzos que usan como criterio condiciones de cargas estáticas y/o cíclicas cuando se trata de elementos geométrico irregulares como es el caso de la tolva.

Figura 26. Esfuerzo máximo en la pared de la tolva



Fuente: Autor

La deformación máxima que sufre el elemento es de  $1,09 \times 10^{-4}$  [m] (0,109 [mm]), lo cual puede resumirse que no es tan considerable para que haya una fractura breve. El factor de seguridad es de 6,0458, dando así una seguridad adecuada.

Tabla 15. Resultados del esfuerzo a fatiga de la tolva

Esfuerzo equivalente		Deformación Total		Factor de seguridad
Max [Pa]	Min [Pa]	Max [m]	Min [m]	[Goodman]
$1,43 \times 10^7$	3383,6	$1,09 \times 10^{-4}$	0	6,0458

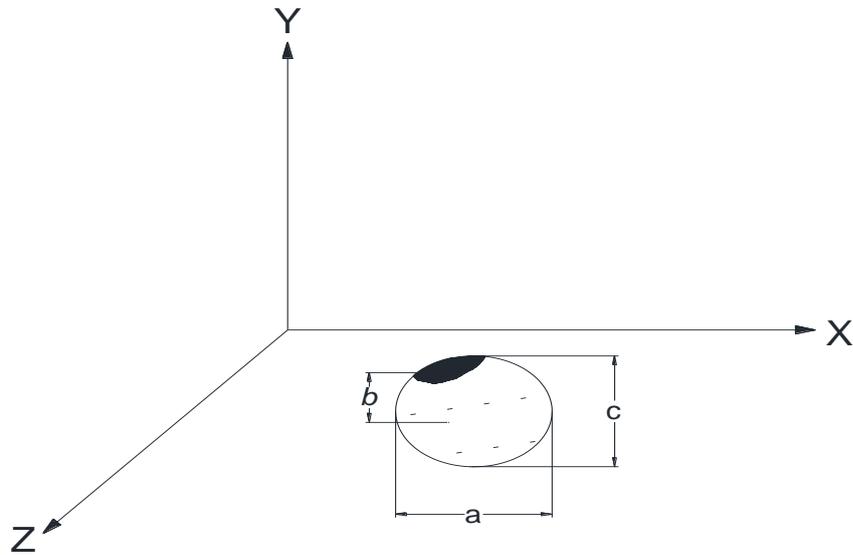
Fuente: Autor

#### 4.4 Determinación estadística del tamaño de la soya

Es necesario determinar el tamaño de la soya para regular la abertura entre las piedras superior e inferior dando como resultado un buen aplastamiento del grano para la remoción de la cáscara que es el objetivo final.

Las medidas se tomaron para unos doscientos granos tanto el ancho, el largo y el espesor, de la misma, como se muestra en la figura, sacando un promedio total de ellas.

Figura 27. Medidas de la semilla de soya



Fuente: Autor

Donde:

a=Longitud [mm]

b=Ancho [mm]

c=Espesor [mm]

Las semillas serán los que se encuentren normalmente en el mercado de diferentes diámetros y diferente grado de humedad para proseguir a sacar un promedio total de ellos. De acuerdo a la medición de 200 granos de soya ha arrojado los siguientes datos dimensionales promedio para las partes definidas el esquema de dimensionamiento. Ver Anexo A (Medidas de granos de soya)

Tabla 16. Propiedades de la soya

<b>a (longitud, mm)</b>	<b>b (ancho, mm)</b>	<b>c (espesor, mm)</b>
7,405	6,1805	5,6265

Fuente: Autor

#### 4.5 Determinación de la cantidad de soya en 1 kg

Al momento de moler las semillas se asume que en las piedras pelan una cantidad de 1 kilogramo por minuto. Para determinar la cantidad de granos de soya por kilogramo, se

determina pesando 20 unidades varias veces, con ello se tabula aquellos datos y se determina un promedio.

Figura 28. Peso de la soya en la balanza de brazo



Fuente: Autor

Para encontrar cuantas semillas existe en un kilogramo, se procede a extrapolar con la ecuación (3).

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{954 - 60}{142 - 9,4} = 6,76 \quad (25)$$

La pendiente de la recta es igual ha  $m = 6,76$ ; con este valor procedemos a encontrar la intersección en el eje Y del plano cartesiano y lo denominamos con la letra b:

$$b = 60 - (6,76 * 9,4) = -3,51 \quad (26)$$

Aplicamos la ecuación (4) para encontrar el número de semillas

$$y = mx + b$$

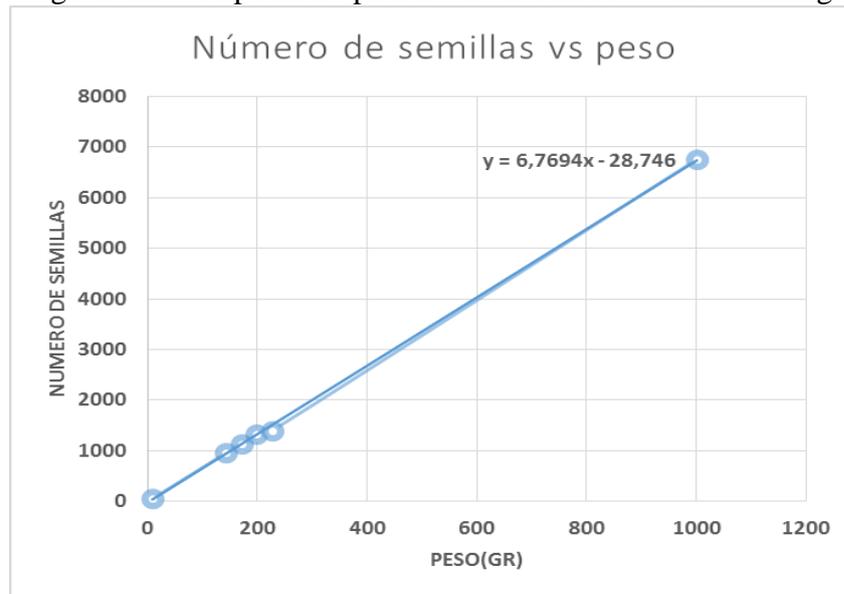
Para 1000 g (1 kg) se tiene:

$$y = (6,76 * 1000) - 3,51 \quad (27)$$

$$y = 6753 \text{ unidades} \quad (28)$$

Al graficar en Excel, se proyecta la cantidad de semillas para 1000 gramos de peso, esto es de 6753 unidades aproximadamente.

Figura 29. Extrapolación para el número de semillas en 1000 gr



Fuente: Autor

#### 4.6 Determinación del diámetro del disco

Como el diámetro de la semilla de soya es 6,78 mm aproximadamente se define el área de una semilla de soya con la ecuación del área de una circunferencia dando un valor de 36,058 mm<sup>2</sup>. Para determinar el área del disco aplicamos la ecuación (5).

$$A_{\text{piedra}} = \eta_{\text{semilla}} * A_{\text{soya}}$$

$$A_{\text{piedra}} = 6753 * 36,058 \text{ mm}^2 \quad (29)$$

$$A_{\text{piedra}} = 0,243 \text{ m}^2 \quad (30)$$

A esto hay que multiplicar la porosidad inter granular entre las semillas de soya al momento de colocar en la tolva o en el depósito que tiene un valor de 22,58 - 20,61 %, a

una humedad de rango entre 8 a 16 % según los estudios de “Agricultural Structures and Irrigation”, de la facultad de Agricultura de la universidad de Ondokuz Mayis de Turquía, adjuntado a en la tabla 3 de las propiedades físicas de la soya.

$$A_{\text{piedra}} = 0,243 \text{ m}^2 * 22\% \quad (31)$$

$$A_{\text{piedra}} = 0,0534 \text{ [m}^2] \quad (32)$$

$$A_{\text{piedra}} = \frac{\pi(D_{\text{piedra}})^2}{4} \quad (33)$$

$$D_{\text{piedra}} = 261,17 \text{ [mm]} \quad (34)$$

**4.6.1 Selección de la piedra abrasiva.** En el mercado existen piedras de moler de fabricación nacional e importada de acuerdo a las necesidades que se los vaya a considerar. Cabe destacar que las piedras de fabricación nacional son de origen de roca volcánica entre otros y no se han realizado ningún estudio para determinar si no causan algún daño a la salud del consumidos Por ello se considera piedras que tengan garantía de una empresa con años de experiencia. Se toma las dimensiones del catálogo ENGSKO, esto es de 300 mm de diámetro para una potencia de 2 a 3 HP de potencia.

Tabla 17. Selección de la piedra

Diameter of millstone “/mm	Diamètre de meules “/mm	12/300	16/400	20/500
Standard flat pulley “/mm	Poulie plate “/mm	10x3 <sub>1/2</sub> /250x90	12x4/300x105	16x4/400x105
Horse power	CV	2-3	3-5	7,5-10
Rev. Per minute	Tours par minute	700	600	525
Output kg/h	Capacité kg/h	100-200	250-350	500-650
Horse power	CV	3-5	5-7,5	10-15
Rev. Per minute	Tours par minute	750	650	550
Output kg/h	Capacité kg/h	250-300	300-500	500-700

Fuente: (ENGSKO, 2012)

La pareja de piedra debe estar con tornillos de fijación, tanto para la parte superior fijada a una placa en el centro de la estructura como para la piedra inferior que debe estar fija al eje de rotación principal. Las superficies de las piedras deben estar estriadas o acanaladas

para un mejor agarre de las semillas en sentidos opuestos del otro para que exista un arrastre adecuado.

Figura 30. Piedra abrasiva



Fuente: (MILLSTONES & STONE GRINDING MILLS PAGE, 2015)

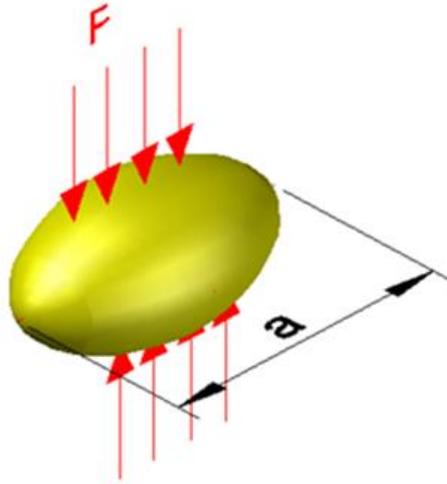
#### **4.7 Carga necesaria para el pelado de la soya**

El principio de funcionamiento del equipo consiste en someter los granos de soya a fuerzas de compresión graduada, por ello se forma la fricción entre las dos piedras y la semilla cuando se desplaza por la superficie marcada y áspera. Un parámetro importante a tomar en consideración es la fuerza de rozamiento necesaria para romper la cáscara de la semilla. Esta fuerza de rozamiento y la velocidad tangencial de trabajo son las que determinan la entrada de potencia en el eje de rotación principal para finalmente determinar la potencia de motor eléctrico requerido en el funcionamiento correcto de la máquina.

En el laboratorio de resistencia de materiales se aplica la medición experimental en cada semilla aplicando cargas a compresión hasta que se debilite cada uno de las partes llegándose a fracturar, de esa manera se puede visualizar hasta cuanto de carga puede soportar una semilla.

En la figura 31, se ilustra la forma como se aplica una fuerza a compresión distribuida aplicadas en cada uno de las semillas.

Figura 31. Carga en una semilla de soya



Fuente: Autor

Las mediciones de la carga aplicada se realiza empleando una precarga en la máquina universal, luego paulatinamente se superpone la carga hasta ver que en la semilla se abra una pequeña hendidura lo cual se va prolongando conforme se agrega más carga paulatinamente. En último lugar la semilla queda destrozada completamente, procediendo a tomar la medición de cuanta carga en kilogramos fuerza se ha marcado en el panel de control de la máquina universal.

Figura 32. Medición de la carga en una semilla de soya



Fuente: Autor

Se realiza las mediciones para un total de 10 semillas (n) una a una, para encontrar la carga promedio a compresión P. Además se aplica cargas para un total de 10 semillas en

conjunto para sacar el promedio y comparar con las cargas de las semillas aplicadas unitariamente.

Figura 33. Medición de la carga en las semillas de soya



Fuente: Autor

Los datos de las mediciones de la carga aplicada se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18. Fuerza promedio aplicado a la soya

n	Carga
	kg
1	24
2	26,6
3	23,4
4	19,5
5	23,5
6	24,3
7	25,5
8	27,7
9	26,3
10	25,4
<b>total</b>	<b>246,2</b>
<b>promedio</b>	<b>24,62</b>

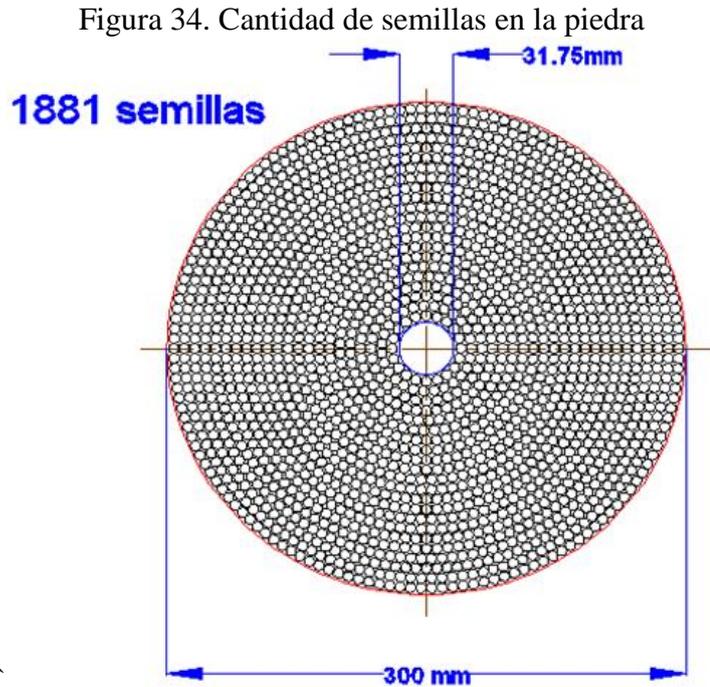
Fuente: Autor

La fuerza promedio que se obtiene es de 24,62 [kgf].

Con este dato se determina el esfuerzo neto para deformar la semilla.

#### 4.8 Velocidad de rotación

Si modelamos en Auto CAD para un diámetro de 300 [mm] de la piedra, además de saber que el diámetro de la soya está entre 6 a 7 [mm], tomando en cuenta la inter granulidad entre las semillas se puede hallar la cantidad de semillas existentes por cada revolución.



Fuente: Autor

$$N_T = 1881 \left[ \frac{u}{\text{rev}} \right] \quad (35)$$

Para determinar la velocidad angular debemos tomar en cuenta otras cantidades, tales como la capacidad de la máquina, la cantidad de soya en un kilogramo.

$$C_a = 50 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \quad (36)$$

$$C_b = 6751 \left[ \frac{u}{\text{kg}} \right] \quad (37)$$

Para poder encontrar la velocidad de rotación es necesario determinar el torque máximo de la piedra que se genera por la acción de las fuerzas tangenciales en la periferia externa de la piedra. Por tanto se determinó que existen 120 semillas aproximadamente en la

periferia de la piedra, por ello aplicando la ecuaciones (7) procedemos a calcular cuántos granos hay en una revolución de la piedra.

$$G = \frac{1}{60} * C_a * C_b$$

Reemplazando los valores de las ecuaciones (38) y (39) en la ecuación (7)

$$G = \frac{1}{60} * 50 * 6751 \quad (38)$$

$$G = 5626 \left[ \frac{u}{min} \right] \quad (39)$$

La velocidad angular de la piedra es igual al número de semillas existentes en la piedra por minuto por la cantidad de semillas que hay en una revolución de la piedra.

$$\omega = \frac{G}{N_T} = \frac{5626 \frac{u}{min}}{1881 \frac{u}{rev}} \quad (40)$$

$$\omega = 3 \left[ \frac{rev}{min} \right] = 0,313 \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad (41)$$

La velocidad angular existente para una cantidad de un kilogramos de semillas de soya seca es de  $\omega = 3rev / min$ .

#### 4.9 Cálculo de las fuerzas radiales y tangenciales

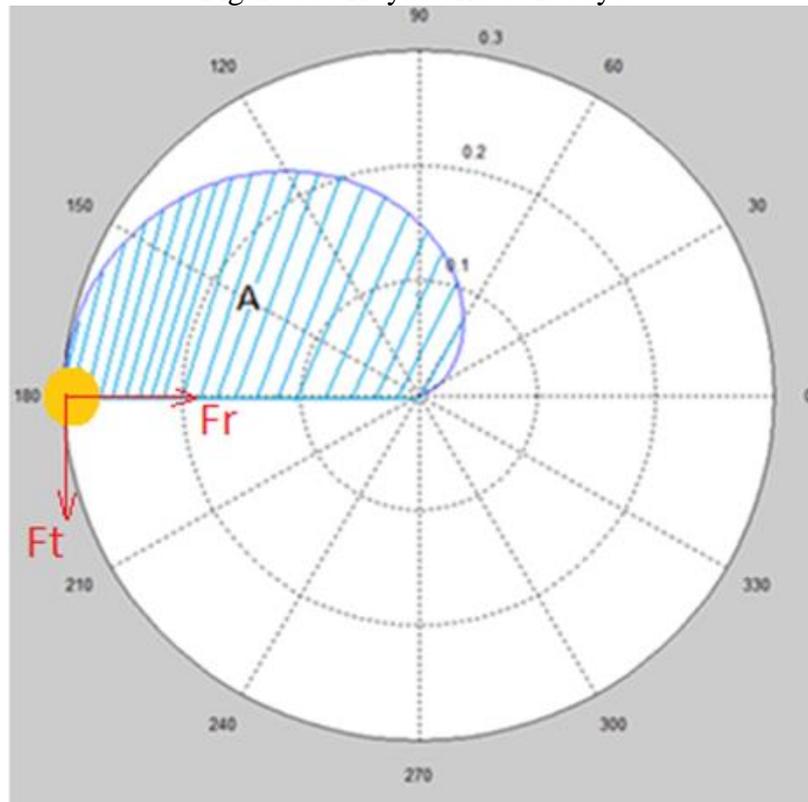
Se necesita encontrar las fuerzas tangenciales y radiales con la cual sale expulsado la semilla de soya, si la piedra inferior rota a 3 [rpm], y la semilla tiene que desplazarse hasta el borde de la piedra, entonces se genera una curva cicloidal de forma matemática, habiendo así generado un área de desplazamiento. Para que las semillas se desplacen, tienen que estar sometidos a alguna fuerza interna movidos por las aceleraciones radiales y tangenciales, éstas a su vez provocadas por las fuerzas respectivamente.

Con la ayuda del software Matlab se traza la trayectoria de la semilla, tomando en cuenta un eje de coordenadas en el centro de la piedra y los límites en el eje positivo de 15 cm y en el eje negativo de - 15 cm. La piedra rota en sentido anti horario, de esa forma se

localiza el área que genera una semilla de soya hasta cuando es expulsado de la piedra y cae por el ducto principal, hasta su salida.

Para esto se debe calcular varias magnitudes importantes que deben ingresarse al programa como requisitos para la simulación.

Figura 35. Trayectoria de la soya



Fuente: Autor

Utilizando la ecuación (9) definida en los capítulos anteriores se procede a encontrar los valores que gobiernan la trayectoria:

$$r = a \pm b \cos \theta$$

Por tanto reemplazando los valores tenemos:

$$r = 15 - 15 \cos \theta \tag{42}$$

Dónde:

a=15cm

b=15cm

Aplicando las teorías del cálculo diferencial e integral (ESPINOZA, 2000) del método Jacobiano para una función de n variable en coordenadas polares, se utiliza la ecuación (10) que gobierna aquella área:

$$A = \iint r dr d\theta$$

Si una semilla se desplaza 180°, tenemos por tanto los límites para resolver nuestra integral.

$$0 \leq \theta \leq \pi$$

$$0 \leq r \leq 15 - 15\cos\theta$$

$$A = \iint_0^{15-15\cos\theta} r dr d\theta \quad (43)$$

Integrando estos datos se obtiene los valores de:

$$A = 0,0178[m^2]$$

La fuerza radial de todas las semillas está gobernada por la siguiente ecuación (11):

$$\int_0^{F_r} dF = \sigma \int_0^A dA$$

Resolviendo tenemos:

$$(F_r - 0) = \sigma * (0,0178 - 0) \quad (44)$$

$$F_r = 3,35 \times 10^4 \text{ [N]} \quad (45)$$

La fuerza tangencial, aplicando la ecuación (12) es:

$$F_t = \mu * F_r$$

$$F_t = 0,6 * 3,35 \times 10^4 \text{ [N]} \quad (46)$$

$$F_t = 2,01 \times 10^4 \text{ [N]} \quad (47)$$

Dónde:

$\mu$ =Coeficiente de rugosidad entre la soya y la piedra (ver tabla 3)

$F_t$ =Fuerza tangencial en la semilla

#### 4.10 Cálculo del torque

$$T = F_t * R_{\text{piedra}}$$

$$T = (2,01 \times 10^4 \text{ [N]}) * (0,15 \text{ m}) \quad (48)$$

$$T = 3011,650 \text{ [Nm]} \quad (49)$$

Dónde:

T=Torque

$F_t$ =Fuerza tangencial en la semilla

$R_{\text{piedra}}$ =Radio de la piedra

#### 4.11 Cálculo de la potencia

$$P = T\omega \quad (50)$$

$$P = 3011,650 \text{ [Nm]} * 0,313 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (51)$$

$$P = 943,259 \text{ [watts]} \quad (52)$$

$$P = 1,264 \text{ [Hp]} \quad (53)$$

Como la semilla atraviesa entre las dos piedras, una superior y otra inferior se multiplican por dos.

$$P = (1,264 * 2) \text{ Hp} \quad (54)$$

$$P = 2,528 \text{ [Hp]} \quad (55)$$

Dónde:

P=Potencia

T=Torque

$\omega$ =Velocidad angular

#### 4.12 Selección de los elementos para realizar el movimiento

Para el pelado de la soya seca se va a utilizar la transmisión por poleas y bandas, esto nos da la ventaja de patinaje de las bandas de caucho cuando se atasque la piedra, la cual protege al motor de futuros anomalías.

Entonces los elementos principales para el funcionamiento serán un motor eléctrico, poleas, correas.

**4.12.1** *Cálculo de la velocidad angular del motor requeridor.* La velocidad angular obtenido en la ecuación (41) es el análisis para una semilla de soya, en la periferia de la piedra caben 120 semillas aproximadamente. Razón por la cual se realiza la siguiente relación:

$$\omega = 3 \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$$

$$\omega_{\text{conducida}} = N_s * \omega \quad (56)$$

$$\omega_{\text{conducida}} = 120 * 3 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \quad (57)$$

$$\omega_{\text{conducida}} = 360 \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] \quad (58)$$

Dónde:

$\omega$ =Velocidad angular para una semilla

$N_s$ =Número de granos en la periferia de la piedra

$\omega_{\text{conducida}}$ =Velocidad angular de salida

En el mercado se encuentra dos tipos de motores, el de alta revolución por minuto (3600 rpm) y el de baja revolución por minuto (1750 rpm). Ahora, depende del criterio del

diseñador cuál de estos es preferible utilizar. Si se desea mover potencias elevadas, por ejemplo una trituradora de piedra o una mezcladora de arena, es necesario determinar motores que tengan una alta potencia pero bajo revolución y viceversa.

Debido a la potencia adquirida para rotar las piedras, es recomendable seleccionar un motor con baja revolución que genere una potencia considerable para nuestro propósito.

$$\omega_{\text{conductor}} = 1750 \text{ [rpm]} \quad (59)$$

La relación de transmisión es igual a la velocidad de la patea motriz versus la velocidad de patea conducida:

$$i = \frac{\omega_{\text{conductor}}}{\omega_{\text{conducido}}} = \frac{1750 \text{ rpm}}{360 \text{ rpm}} \quad (60)$$

$$i \approx 5$$

Dónde:

$\omega_{\text{conductor}}$  = Velocidad angular de entrada

$i$  = Relación de transmisión

En base al cálculo realizado se selecciona un motor eléctrico con las especificaciones mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 19. Datos de la placa del motor

Potencia	3 HP
Modelo	WEG
Frecuencia	60 Hz
RPM	1750
Voltaje	110/220
Amperaje	36/18
Polos	6

Fuente: Autor

#### 4.13 Selección de los elementos de transmisión

En la selección de elementos que transmitan el movimiento de los mecanismos tales como rodamientos, acoples, poleas entre otros componentes se determina el desempeño

confiable con el mínimo mantenimiento que brinde una mayor vida útil además de ser fáciles de instalar y desmontar, sin dañar los ejes.

El motor tendrá que ir en la parte inferior de la base estructural verticalmente, anclado a una base con pernos y arandelas, con espacios libres para la ventilación de la misma.

**4.13.1** *Potencia de diseño corregida.* Para encontrar la potencia corregida es necesario determinar el factor de diseño, estos valores van de acuerdo al tipo de máquina como se muestra el Anexo B (Coeficiente de corrección de potencia para correas trapezoidales)

$$F_s = 1,1 \quad (61)$$

$$P = 3 \text{ [Hp]} \quad (62)$$

La potencia corregida está gobernada por la siguiente expresión

$$PD = P * F_s \quad (63)$$

$$PD = 3 * 1,1 \text{ Hp} \quad (64)$$

$$PD = 3,3 \text{ Hp} \cong 2,46 \text{ [kW]} \quad (65)$$

Dónde:

$F_s$ =Factor de seguridad

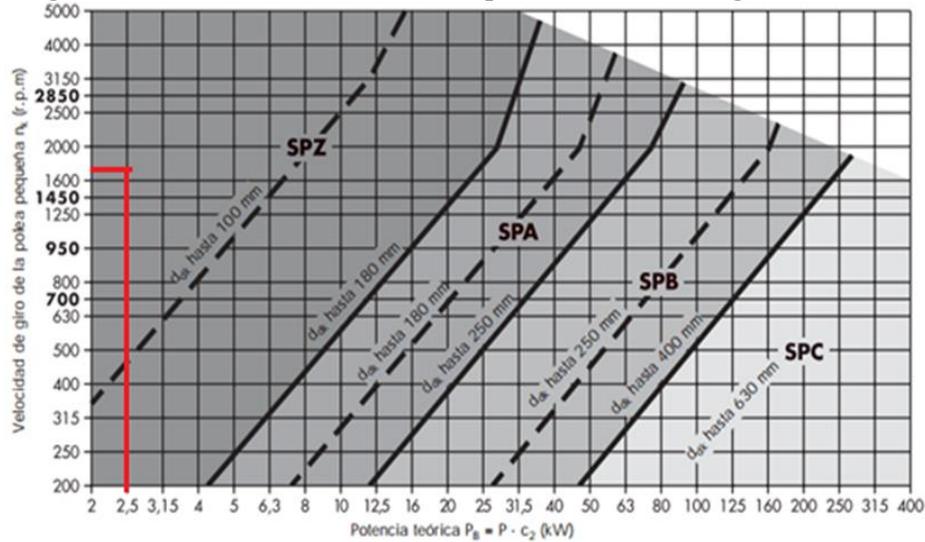
$P$ =Potencia requerida

$PD$ =Potencia de diseño

**4.13.2** *Selección de la correa adecuada.* Hay que tener en cuenta la potencia de diseño recomendada por las casas comerciales de correas trapezoidales, el cual depende de las normas aplicadas en la construcción de estas.

Con la potencia de diseño ( $PD = 2,46 \text{ kW}$ ), y la velocidad del eje más rápido ( $\omega_{conductor} = 1750 \text{ rpm}$ ), se escoge el tipo de correa adecuada en el siguiente cuadro.

Figura 36. Selección de la correa trapecial estrechas, según DIN 7753



Fuente: (OPTIBELT, 2014)

Con ello tenemos una correa de sección tipo SPZ

**4.13.3 Diámetro de la polea.** Según la norma DIN 2211 recomienda un diámetro de la polea motriz de 63 mm como mínimo como nos indica la tabla en el Anexo B (Diámetro nominal de las poleas)

Tabla 20. Diámetro primitivo de secciones de la correa

Perfil	SPZ	SPA	SPB	SPC
Ancho superior de la banda $b_o$	9,7	12,7	16,3	22
Ancho estándar $b_d$	8,5	11	14	19
Altura de la correa $h$	8	10	13	18
Distancia $h_d$	2	2,8	3,5	4,8
Diámetro de polea min. Recomendado $d_{d \min}$	63	90	140	224
Peso por metro (kg/m)	0,074	0,123	0,195	0,377
Frecuencia de flexión (s-1) $f_B \text{ máx.}$	100			
Velocidad máx. De la correa $v_{\max}$	42			

Fuente: (OPTIBELT, 2014)

En este caso, no existe una polea en el mercado con el diámetro de 63 mm, en este caso se toma un diámetro de 64 mm de diámetro; Además de que la polea sea maciza según la norma DIN 1691.

$$d_{d1} = 64 \text{ mm} = 2,519 \text{ [in]} \quad (66)$$

Aplicando la relación de transmisión determinamos el diámetro mayor de la polea.

$$i = \frac{d_{d2}}{d_{d1}} \quad (67)$$

$$d_{d2} = i * d_{d1} \quad (68)$$

$$d_{d2} = 4,86 * (64 \text{ mm}) \quad (69)$$

$$d_{d2} = 311 \text{ [mm]} = 12,2 \text{ [in]} \quad (70)$$

En las tiendas comerciales se encuentran poleas de las siguientes dimensiones.

$$d_{d2} = 14 \text{ [in]}$$

$$d_{d1} = 2,5 \text{ [in]}$$

**4.13.4** *Distancia entre ejes provisional.* Se determina la distancia teórica entre los centros de los ejes que contienen las poleas, para este caso de se debe asumir el diámetro nominal de las poleas.

$d_{dg}$ : 14 [in] = 355,6 [mm] Diámetro de referencia de la polea mayor (Selección según DIN 2211) (OPTIBELT, 2014)

$d_{dk}$ : 2,5 [in] = 63,5 [mm] Diámetro de referencia de la polea menor (Selección según DIN 2211) (OPTIBELT, 2014)

$$a > 0.7 * (d_{dg} + d_{dk}) \quad (71)$$

$$a > 0,7 * (355,6 + 63,5)$$

$$a > 293,37$$

$$a < 2 * (d_{dg} + d_{dk}) \quad (72)$$

$$a < 2 * (355,6 + 63,5)$$

$$a < 838,2$$

$$293,37 < a \leq 838,2$$

Luego de calcular  $a_{min} = 293,37 [mm]$  y  $a_{max} = 838,2 [mm]$  se elige una distancia inicial entre estos dos valores.

$$a = 340 [mm] \quad (73)$$

#### 4.13.5 Longitud primitiva de la banda

$$L = 2a + 1,57(d_{dg} + d_{dk}) + \frac{(d_{dg} - d_{dk})^2}{4a} \quad (74)$$

$$L = 2 * 340 + 1.57(355,6 + 63,5) + \frac{(355,6 - 63,5)^2}{4 * 340} \quad (75)$$

$$L = 1400,72 [mm]$$

Al comparar con el catálogo mostrado tenemos un valor cercano, como se muestra en el Anexo B (Longitud de la correa trapezoidal).

$$L' = 1400 [mm]$$

Dónde:

L=Longitud de la banda (correa)

a=Distancia entre centros de los ejes

$d_{dg}$ = Diámetro de la polea conducida

$d_{dk}$ = Diámetro de la polea conductora

#### 4.13.6 Distancia entre ejes real

$$a_{nom} \cong a \pm \frac{L' - L}{2} \quad (76)$$

Si  $L' > L (+)$

Sí  $L' < L$  (-)

En nuestro caso tenemos  $L' < L$  (-)

$$a_{\text{nom}} \cong 340 - \frac{1400 - 1400,72}{2} \quad (77)$$

$$a_{\text{nom}} \cong 340,36 \text{ [mm]}$$

Dónde:

$a_{\text{nom}}$  = Distancia nominal

**4.13.7** *Cálculo de la velocidad de la banda:* Es necesario encontrar una velocidad adecuada de las bandas, para disminuir la cantidad de correas, pero no debe superar la velocidad máxima para que el efecto de la fuerza centrífuga no disminuya la capacidad de tensión de las correas.

$$v = \frac{n1 \cdot d_{dk}}{19100} \leq v_{\text{max}} \quad (78)$$

Finalmente al resolver estas ecuaciones se adquiere una velocidad de la correa

$$v = \frac{1750 \text{rpm} \cdot 64 \text{mm}}{19100} \quad (79)$$

$$v = 5,9 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (80)$$

Se cumple con la condición de:

$$v \leq v_{\text{max}} \quad (81)$$

Dónde:

$v_{\text{máx}}$  = 20-30m/s Para correa de perfil normal

$v_{\text{máx}}$  = 35-45m/s Para correa de perfil estrecho

**4.13.8** *Ángulo de contacto y factor de ángulo de contacto  $C_2$ .* Es necesario determinar los ángulos de contacto entre cada uno de las poleas y las correas esto admite cuanta

fricción se genera.

$$\left( \frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}} \right) \quad (82)$$

$$\left( \frac{(355,6 - 63,5) \text{ mm}}{340,36 \text{ mm}} \right) \quad (83)$$

0,858

Tabla 21. Factor del ángulo de contacto

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta$	$C_1$
0	180°	1,00
0,05	177°	1,00
0,10	174°	1,00
0,15	171°	1,00
0,20	168°	0,99
0,25	165°	0,99
0,30	162°	0,99
0,35	160°	0,99
0,40	156°	0,99
0,45	153°	0,98
0,50	150°	0,98
0,55	147°	0,98
0,60	144°	0,98
0,65	141°	0,97
0,70	139°	0,97
0,75	136°	0,97
0,80	133°	0,96
0,85	130°	0,96
0,90	126°	0,96
0,95	123°	0,95
1,00	119°	0,94
1,05	115°	0,94
1,10	112°	0,93
1,15	109°	0,93
1,20	106°	0,92
1,25	103°	0,91
1,30	100°	0,91
1,35	96°	0,90
1,40	92°	0,88
1,45	88°	0,87
1,50	84°	0,86
1,55	80°	0,84
1,60	77°	0,83

Fuente: (OPTIBELT, 2014)

Tenemos un factor de ángulo de contacto  $C_1=0,96$  y el ángulo de  $\beta=130^\circ(2,27 \text{ rad})$

**4.13.9** *Factor de desarrollo  $C_3$ .* Es para considerar la flexión que existe en las correas;

lo determinamos con la longitud de la correa determinada en el ítem 4.13.5. Utilizamos la tabla del Anexo B (Factor de desarrollo  $C_3$ ), el factor  $C_3=0,98$

**4.13.10** *Cálculo de la cantidad de correa necesaria.* Con los valores de los factores de corrección  $C_2$ ,  $C_3$  y la potencia de diseño, se determina la cantidad necesaria de correas útiles.

Es necesario encontrar la potencia nominal de la correa, tales valores se tabulan en la tabla del Anexo B (OPTIBELT, 2014) con los valores del diámetro nominal de la polea inferior  $d_{dk}$  y la velocidad angular  $\eta_1$  de la polea motriz.

$$d_{dk} = 2,5[\text{in}] = 63,5[\text{mm}]$$

$$\eta_1 = 1750[\text{rpm}]$$

$$P_N = (1,031 + 0,28) [\text{kW}] = 1,76[\text{Hp}]$$

$$z = \frac{P \cdot F_s}{P_N \cdot C_1 \cdot C_3} = \frac{3 \text{ Hp} \cdot 1,1}{1,76 \cdot 0,96 \cdot 0,98} \quad (84)$$

$$z = 1,99 \cong 2$$

Dónde:

$P_N$  = Potencia nominal

$P$  = Potencia transmitida por la correa

$F_s$  = Factor de carga

$C_1$  = Factor de ángulo de contacto

$C_3$  = Factor de corrección de longitud de correa

Como podemos apreciar se necesitan 2 correas trapezoidales de perfil estrecho para la transmisión del sistema.

**4.13.11** *Cálculo de la tensión en la correa.* (UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID) se aplica la siguiente ecuación de Euler para el cálculo de la tensión en las correas

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{f\alpha} \quad (85)$$

Dónde:

$T_1$ =Tensión en la parte tensa

$T_2$ =Tensión en la parte floja

$\alpha$ =Ángulo abrazado entre la correa y la polea (en radianes)

$f$ =Coeficiente de rozamiento entre la polea y la correa, 0,4

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{(2,27 \text{ rad}) \cdot (0,4)} = 2,48 \quad (86)$$

Con la ecuación de la potencia en función de las tensiones y la velocidad.

$$P = (T_1 - T_2) \cdot v \quad (87)$$

Transformando las unidades y despejando se tiene:

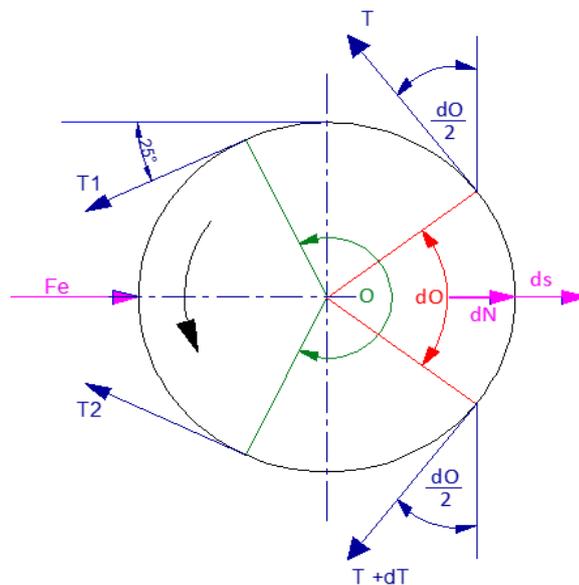
$$T_1 - T_2 = 379 \text{ [N]} \quad (88)$$

Al igualar y reemplazar en la ecuación 88 con 86 tenemos:

$$T_1 = 635,08 \text{ [N]} \quad (89)$$

$$T_2 = 256,08 \text{ [N]} \quad (90)$$

Figura 37. Diagrama de fuerzas en las correas trapezoidales



Fuente: Autor

Si  $F_e$  es la fuerza debido a la tensión de la correa que une a las poleas debido al giro, en un ramal de la correa habrá una fuerza  $T_1$  mayor que la fuerza resultante en el otro ramal  $T_2$

$$\Sigma F_x = F_e - (T_2 + T_1)\cos 25^\circ = 0 \quad (91)$$

$$F_e = (635,08 + 256,08)\cos 25 \quad (92)$$

$$F_e = 807,67 \text{ [N]}$$

**4.13.12** *Torque del eje de transmisión.* Con la fuerza de las correas trapezoidales, se calcula el torque o momento generado en el eje.

$$\tau_{\text{eje}} = (T_1 - T_2) * \frac{d_{dg}}{2} \quad (93)$$

$$\tau_{\text{eje}} = 379 \text{ [N]} * \frac{0,3556\text{[m]}}{2} \quad (94)$$

$$\tau_{\text{eje}} = 67,38 \text{ [Nm]}$$

#### **4.14** **Diseño del eje de transmisión**

Para calcular el diseño de del eje de transmisión se debe considerar ciertas fuerzas externas de involucran para el pelado adecuado. Estas son la fuerza con que se comprime a la semilla (P), la fuerza de fricción, las fuerzas tensores de la banda de la polea, las reacciones en los apoyos de los cojinetes.

**4.14.1** *Cálculo del esfuerzo de la semilla de soya.* Para el cálculo experimental del esfuerzo de la soya se toma en cuenta la fuerza de compresión sobre el área de la soya.

$$\sigma_{\text{soya}} = \frac{P}{A_{\text{soya}}} \quad (95)$$

$$A_{\text{soya}} = 1,29 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]} \quad (96)$$

$$\sigma_{soya} = \frac{242,0127 \text{ [N]}}{1,29 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}} \quad (97)$$

$$\sigma_{soya} = 1,88 \times 10^6 \text{ [Pa]} \quad (98)$$

Dónde:

P=Carga de compresión aplicada en cada semilla

A<sub>soya</sub>=Área de la semilla de soya

σ<sub>soya</sub>=Factor de cara

El eje principal de transmisión está colocada en forma vertical en el equipo, por ello se considera en diseño como una columna, verificando si existe un pandeo de la misma.

Las cargas que afectan al eje son las siguientes:

$$p = 242,0127 \text{ [N]} \quad (99)$$

Esta fuerza se multiplica por las 120 semillas localizadas en la periferia de la piedra

$$p = 29042 \text{ [N]} \quad (100)$$

$$P_{eje} = 6,20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 30,41 \text{ [N]} \quad (101)$$

$$W_{piedra} = 79,83 \text{ [N]} \quad (102)$$

La suma total de estas fuerzas es:

$$P = p + P_{eje} + W_{piedra} \quad (103)$$

$$P = 29145 \text{ [N]} \quad (104)$$

Para un diámetro del eje de:

$$d = 1\frac{1}{4} \text{ [in]} = 31,75 \text{ [mm]} \quad (105)$$

Área de una sección circular es:

$$A = \frac{1}{4}\pi r^2 \quad (106)$$

$$A = 7,917 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]} \quad (107)$$

$$I = \frac{1}{4}\pi r^4 \quad (108)$$

El momento de inercia de una sección circular:

$$I = 4,98821 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]} \quad (109)$$

Radio de giro:

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (110)$$

$$K = 7,9375 \times 10^{-3} \text{ [m]} \quad (111)$$

**4.14.2** *Cálculo del esfuerzo a compresión del eje.* Si toda la carga aplicada en la piedra será transmitida al eje principal de transmisión.

Propiedades del material del eje: Acero de transmisión

E= 205 GPa Modulo elástico

Sy=310 MPa Límite de fluencia

Para determinar le esfuerzo axial que soporta, aplicamos la ecuación (15)

$$\sigma_{\text{eje}} = -\frac{P}{A} \quad (112)$$

$$\sigma_{\text{eje}} = -\frac{29\,145 \text{ [N]}}{7,917 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \quad (113)$$

$$\sigma_{\text{eje}} = -3,68 \times 10^7 \text{ [Pa]} \quad (114)$$

Dónde:

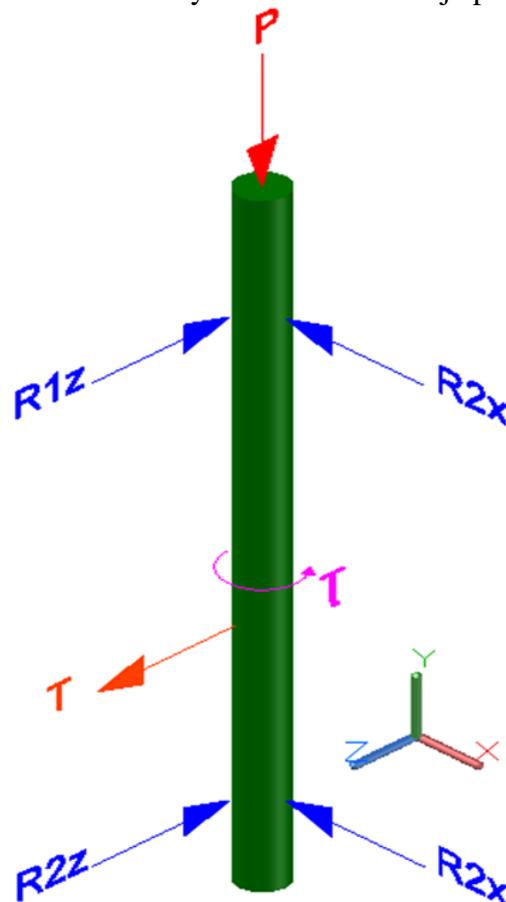
$\sigma_{eje}$ =Esfuerzo por carga axial a compresión

$P_T$ =Carga axial de compresión

$A$ =Área de la sección transversal

Como  $S_y \geq \sigma_{eje}$  se determina el eje como una columna, analizando este por el método de Johnson.

Figura 38. Fuerzas y reacciones en el eje principal



Fuente: Autor

Tanto Euler como Johnson, dan un criterio acerca del pandeo de una columna, por tanto se tomara en consideración los siguientes datos.

$$L = 500 \text{ mm} \quad (115)$$

De acuerdo a la figura (6) la longitud efectiva de la columna es de tipo empotrado-empotrado por tanto se utiliza la siguiente expresión.

$$L_p = 0,5 * L \quad (116)$$

$$L_p = 0,5 * 0,5 \text{ m} \quad (117)$$

$$L_p = 0,250 \text{ [m]} \quad (118)$$

La columna actúa en la zona de Johnson, razón por la cual debe cumplir la siguiente condición. Aplicamos la ecuación (16)

$$\lambda < \lambda_0$$

La ecuación de Johnson de acuerdo a la ecuación (19) es:

$$\frac{P_c}{A} = S_y - b\lambda^2$$

$$b = \frac{S_y^2}{4\pi^2 E} \quad (119)$$

$$b = \frac{(310 \text{ MPa})^2}{4 * \pi^2 (205 \text{ GPa})} \quad (120)$$

$$b = 48 \ 266,57 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad (121)$$

$$\lambda = \frac{L_p}{K} \quad (122)$$

$$\lambda = 31,49$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad (123)$$

$$\lambda_0 = 48,46$$

Entonces se cumple que  $\lambda < \lambda_0$

Al reemplazar los valores en la ecuación de Johnson

$$P_c = 577\,119\,467 \text{ [N]} \quad (124)$$

Para encontrar el coeficiente de seguridad, se aplica la ecuación (20):

$$\eta = \frac{P_c}{P_T} \quad (125)$$

$$\eta = 16 \quad (126)$$

**4.14.3** *Análisis de fatiga del eje mediante FEA.* Vamos a comprobar los resultados expuestos anteriormente con el software ANSYS 14.0 versión académica estimando resultados cercanos a la realidad.

**4.14.3.1** *Definición del material.* El material usado para la elaboración del eje de transmisión es el ASTM 1045, ideal para ejes de transmisión.

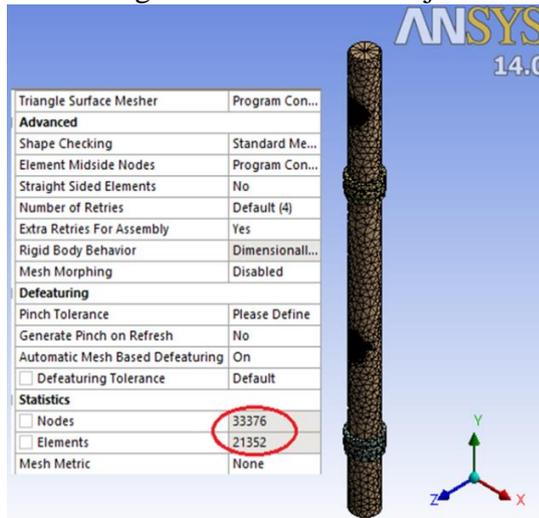
Tabla 22. Propiedades del acero de transmisión ASTM 1045

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$2,5 \times 10^{11}$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0,29	N/D
Módulo cortante	$8 \times 10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	7850	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	625000000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	530000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	$1,15 \times 10^{-5}$	/K
Conductividad térmica	49,8	W/(m.K)
Calor específico	486	J/(Kg.K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Fuente: SolidWorks

**4.14.3.2** *Definir el mallado.* A continuación se hace un mallado del eje en el software ANSYS 14.0 versión académica. Se utilizaron 21 352 elementos lo que representa 33 376 nodos como se muestra en la figura. Para simular el comportamiento de la chumacera y el rodamiento inferior se utilizó soportes cilíndricos, los cuales restringen los desplazamientos horizontales. El eje tiende a desplazarse verticalmente por medio de los rodamientos cuando es regulado para abrir o cerrar la piedra sujeto al eje, para simular este desplazamiento se utiliza un coeficiente de fricción de 0,2.

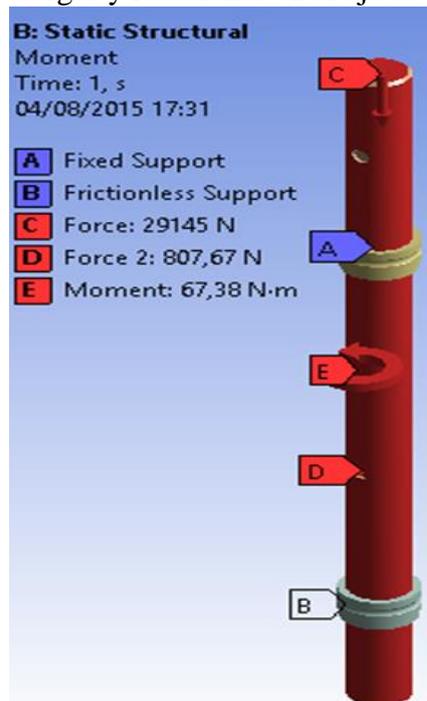
Figura 39. Mallado del eje



Fuente: Autor

**4.14.3.3 Condiciones de soporte y estado de cargas.** El siguiente paso es asignar las reacciones y cargas presentes al eje. Las reacciones estarán en los rodamientos sujetos a la estructura principal. La carga aplicada será de 29 145 [N] en sentido vertical hacia abajo, esta carga es la suma de la fuerza a compresión que se tomó en el laboratorio como se muestra en la tabla (20), el peso de la piedra inferior sujeto al eje, el torque generado por la rotación de la polea conducida. La fuerza en el eje por efecto de la polea mayor es de  $F_e=807,67$  [N], y el torque de  $67,38$  [N.m]

Figura 40. Cargas y reacciones en el eje de transmisión



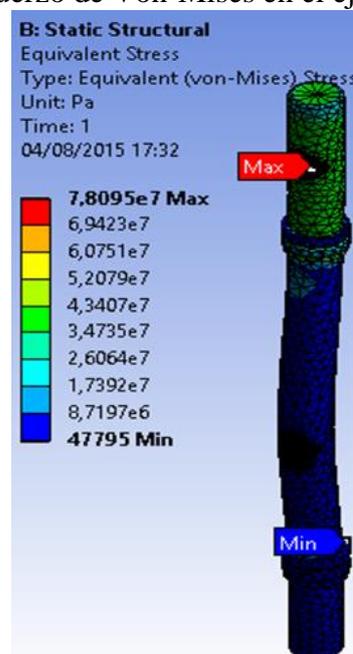
Fuente: Autor

Al importar el ensamblaje del SolidWorks al ANSYS 14,0 el software detecta las zonas de contacto entre cada uno de los cuerpos en las proximidades de las superficies. Sin embargo es recomendable modificar para asegurar que los elementos del diseño actúen de manera adecuada.; Ansys permite establecer los tipos de contacto entre cada uno de las piezas, ellos son:

- Bonded: Los elementos permanecen juntos entre sí
- No separation: Los elementos permanecen juntos y se deslizan sin fricción
- Frictionless: Los elementos no tienen fricción entre si
- Frictional: Los elementos tienen fricción
- Rough: No se permiten los desplazamientos entre contactos

**4.14.3.4 Resultados.** Los resultados adquiridos de la simulación muestran que el esfuerzo equivalente de Von Mises máximo del eje es 78 [MPa], y el mínimo es de 47,80 [KPa] como se muestra en la figura 41.

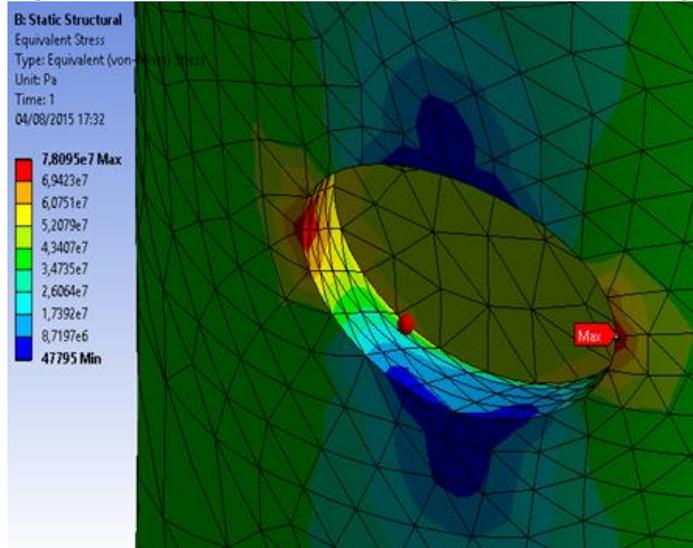
Figura 41. Esfuerzo de Von-Mises en el eje de transmisión



Fuente: Autor

Acercándose aún más se puede apreciar que el esfuerzo máximo es en el borde en los agujeros, que fija el disco que contiene a la piedra inferior, lo cual está establecido con dos pernos de 0,38 in de diámetro. Para solucionar estos defectos se debe crear un biselado en los bordes de los agujeros, suavizando así la propagación de las grietas.

Figura 42. Esfuerzo máximo en el punto crítico del eje



Fuente: Autor

Para acercarse a un valor exacto, es recomendable refinar el número de nodos del elemento del eje.

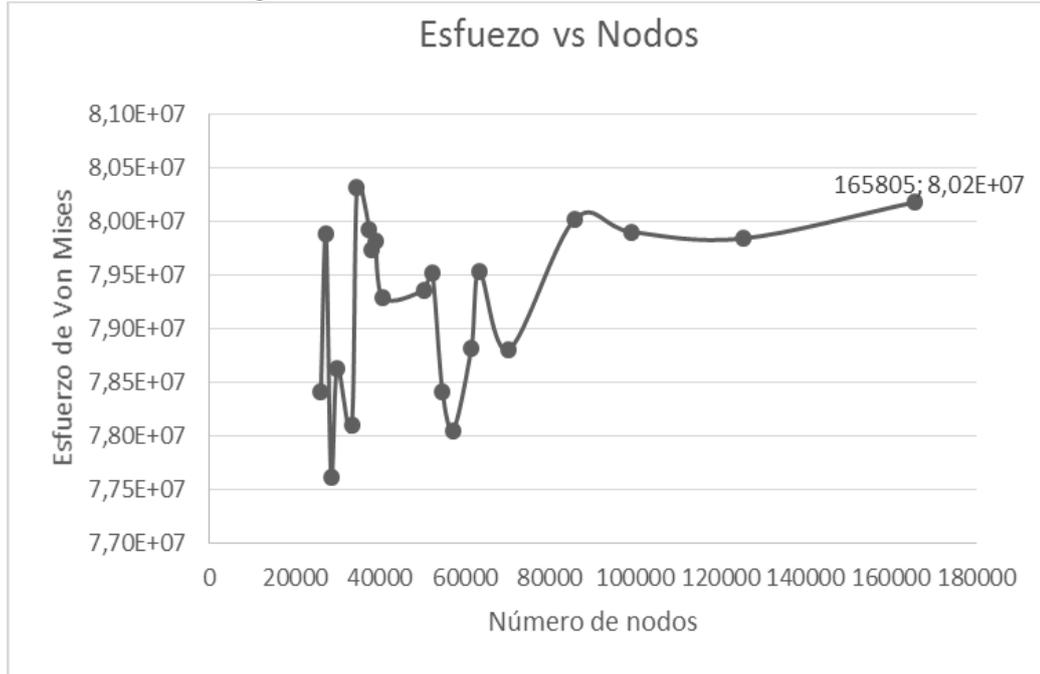
Tabla 23. Número de nodos vs esfuerzo de Von Mises

Nodos	Esfuerzo
26157	7,84E+07
27331	7,99E+07
28549	7,76E+07
29987	7,86E+07
33376	7,81E+07
34641	8,03E+07
37558	7,99E+07
38207	7,97E+07
38968	7,98E+07
40798	7,93E+07
50271	7,94E+07
52294	7,95E+07
54685	7,84E+07
57186	7,80E+07
61478	7,88E+07
63399	7,95E+07
70267	7,88E+07
85831	8,00E+07
99015	7,99E+07
125283	7,98E+07
165805	8,02E+07

Fuente: Autor

El diagrama de nodos vs esfuerzo Von Mises.

Figura 43. Curva esfuerzo vs número de nodos



Fuente: Autor

La deformación máxima que sufre el elemento es de  $3,35 \times 10^{-5}$  [m] (0,0335 [mm]), lo cual puede resumirse que no es tan considerable para que haya una fractura breve. El factor de seguridad mínima es de 4,0652 y el máximo es de 15, dando así un resultado muy próximo al calculado en forma teórica mostrado en la ecuación (124).

Tabla 24. Resultados del esfuerzo a fatiga del eje

Esfuerzo equivalente		Deformación total		Factor de seguridad	
Max [Pa]e	Min [Pa]	Max [m]	Min [m]	Max	Min
$7,81 \times 10^{+07}$	23262	$3,35 \times 10^{-05}$	0	15	4,0652

Fuente: Autor

Como la carga crítica es mayor que la carga aplicada entonces es adecuado el diámetro del eje.

#### 4.15 Velocidad crítica del eje

La máquina de pelar soya seca en el instante que entra en funcionamiento está dispuesto a un sin número de vibraciones debido a las fuerzas que en ella producen, en caso de que sea un eje sin consideraciones de rigidez puede fallar y no cumplir el tiempo de vida útil diseñada. Para ello se considera el cálculo de la velocidad crítica del eje el cual determina la deformación del eje sin las cargas externas, tomando en cuenta la rigidez de la masa

total del eje. Para un eje con varias masas concentradas se aplica la ecuación de Rayleigh Ritz (HALL, y otros)

$$w_c = \sqrt{\frac{g \cdot \sum_1^j W_n \cdot \delta_n}{\sum_1^j W_n \cdot \delta_n^2}} \quad (127)$$

Dónde:

$W_n$ =Peso de la masa n-ésima

$\delta_n$ =Deformación estática en la masa n-ésima

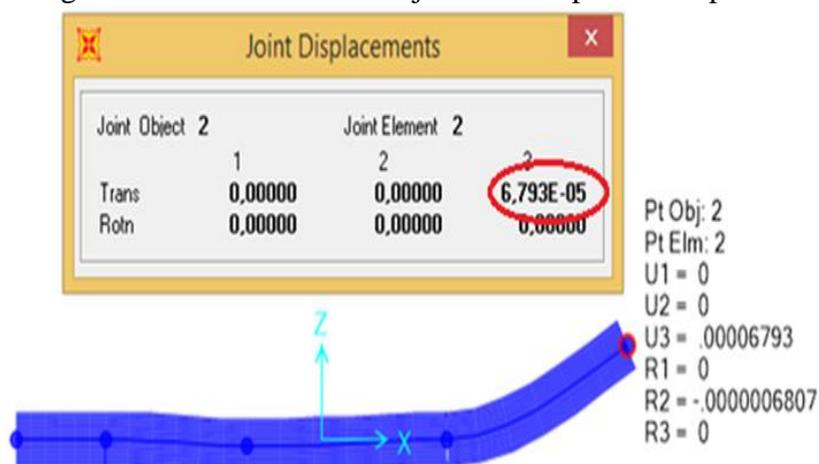
$j$ =Número total de masa

Para mayor comodidad se analiza el eje en forma horizontal y que las cargas descansen sobre los rodamientos en sus respectivos puntos de aplicación. Llamamos  $W_1$  al peso de la piedra inferior, y  $W_2$  al peso de la polea de 14 in de diámetro.

Con la ayuda del software SAP 2000 V17, se procede a calcular las deformaciones en los puntos donde se encuentra la polea y la piedra.

La deformación máxima del eje de transmisión debido al peso de la piedra inferior es de  $\delta_1 = 6,793 \times 10^{-5}$  mm, como se muestra en la figura 44 y 45.

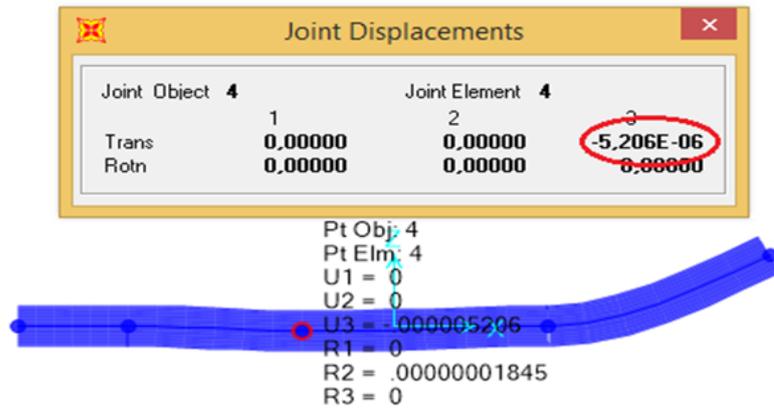
Figura 44. Deformación del eje debido al peso de la piedra



Fuente: Autor

A continuación se determina la deformación debido al peso de la polea:

Figura 45. Deformación del eje debido al peso de la polea



Fuente: Autor

La deformación máxima debido al peso de la polea es de  $\delta_1 = 5,206 \times 10^{-5}$  [mm]

Al multiplicar el peso de cada polea con la deformación respectiva, se tiene los siguientes valores.

$$W1 * \delta_1 = 6,63 \text{ [Kgf]} * 6,793 \times 10^{-5} \text{ [mm]} = 4,5 \times 10^{-4} \text{ [Kgf. mm]} \quad (128)$$

De igual manera para el peso de la polea y la deformación:

$$W2 * \delta_2 = 3,59 \text{ [Kgf]} * 5,206 \times 10^{-6} \text{ [mm]} = 1,87 \times 10^{-5} \text{ [Kgf. mm]} \quad (129)$$

La sumatoria de ambos valores se tiene:

$$\Sigma(4,5 \times 10^{-4} + 1,87 \times 10^{-5}) \text{ [Kgfmm]} = 4,687 \times 10^{-4} \text{ [Kgfmm]} \quad (130)$$

De la misma forma se realiza las siguientes operaciones pero elevando al cuadrado la deformación en los puntos ya mencionados.

$$W1 * \delta_1^2 = 6,63 \text{ Kgf} * (6,793 \times 10^{-5} \text{ mm})^2 \quad (131)$$

$$W1 * \delta_1^2 = 3,06 \times 10^{-8} \text{ [Kgfmm}^2]$$

A continuación se determina los valores para la deformación por la polea.

$$W1 * \delta_2^2 = 3,59 \text{ Kgf} * (5,206 \times 10^{-6} \text{ mm})^2 \quad (132)$$

$$C_r1 * \delta_2^2 = 9,7297 \times 10^{-11} \text{ [Kgfmm}^2\text{]}$$

La sumatoria de los valores anteriores es:

$$\Sigma(3,06 \times 10^{-8} + 9,7297 \times 10^{-11}) = 3,07 \times 10^{-8} \text{ [Kgfmm}^2\text{]} \quad (133)$$

Seguidamente se reemplaza en la ecuación general de Rayleigh Ritz (136)

$$w_c = \sqrt{\frac{g * \Sigma_1^j W_n * \delta_n}{\Sigma_1^j W_n * \delta_n^2}}$$

$$w_c = \sqrt{\frac{(9,81 \text{ m/s}^2 * 4,687 \times 10^{-4} \text{ Kgf.mm})}{3,07 \times 10^{-8} \text{ Kgf.mm}^2}} \quad (134)$$

$$w_c = 12238 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] = 116864 \text{ [rpm]} \quad (135)$$

$$\omega \leq w_c$$

Al concluir se obtiene que la velocidad normal de trabajo es 360 [rpm], lo que deduce que es muy inferior a la velocidad crítica, dando así una seguridad en la vida del eje.

#### 4.16 Análisis de esfuerzos en la placa superior

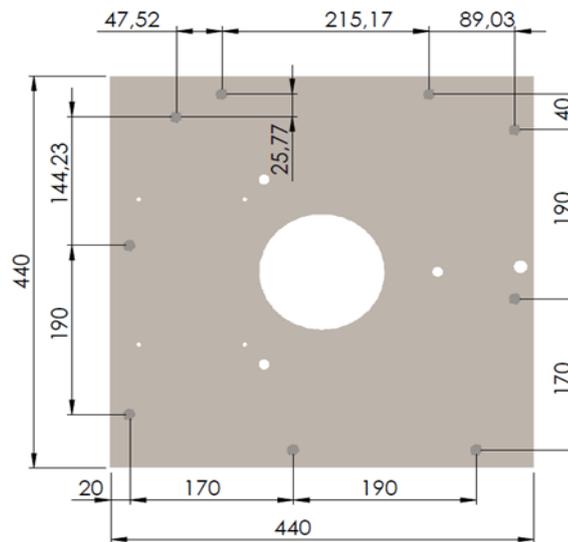
La placa superior tiene agrupadas algunos elementos tales como la tolva, la piedra superior, que están fijadas con tornillos y tuercas a la estructura principal de la máquina. La carga aplicada en estos materiales generan cierta incertidumbre en los pernos de sujeción, razón por lo cual es útil seleccionar los tornillos de fijación adecuado.

Los pasos para modelar son los siguientes:

- Se modela la plancha en SolidWorks, con sus respectivas dimensiones
- Se edita el tipo de material del que está construido
- SolidWorks debe estar enlazado con ANSYS Workbench, 14.0 para insertar la pieza en ANSYS

- Una vez la placa esté en ANSYS, se debe analizar el tipo de mallado fino
- Se define las cargas aplicadas y los puntos de soporte en los bases de aplicación y dirección.
- Se ejecuta el programa, y se analiza los resultados obtenidos.

Figura 46. Placa superior



Fuente: Autor

**4.16.1 Definición del material.** El material usado para la placa superior es el acero inoxidable AISI 304, ideal para la manipulación de alimentos, libre de corrosión y de fácil limpieza y desinfección según las buenas prácticas de manufactura (BPM).

Tabla 25. Propiedades del acero inoxidable AISI 304

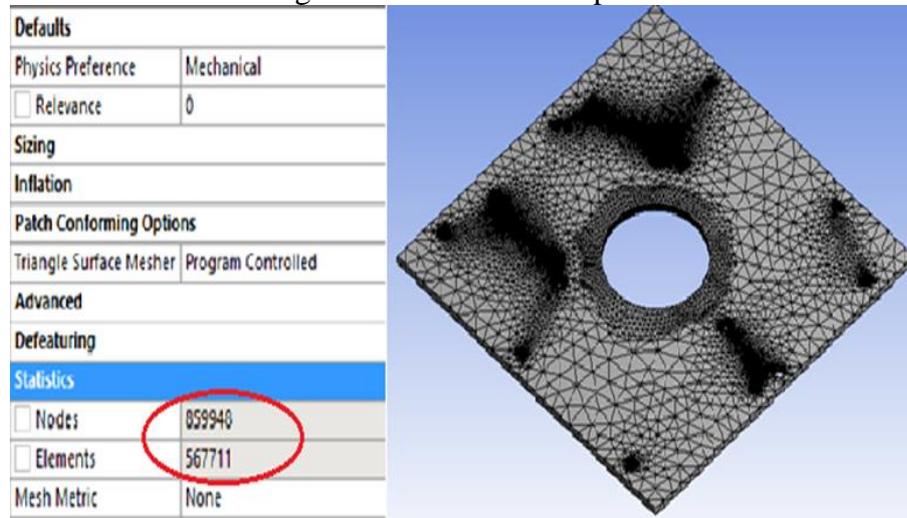
Propiedades	Valor	Unidades
Módulo elástico	$1,9 \times 10^{11}$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0,29	N/D
Módulo cortante	$7,5 \times 10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	8000	Kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	517017000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	206807000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	$1,8 \times 10^{-5}$	/k
Conductividad térmica	16	W/(m.k)
Calor específico	500	J/(kg.k)
Coefficiente de amortiguamiento del material		N/D

Fuente: SolidWorks

**4.16.2 Definir el mallado.** A continuación se hace un mallado del eje en el software ANSYS 14.0 versión académica. Se utilizaron 56 7711 elementos lo que representa 859

940 nodos como se muestra en la figura. Se realiza un refinado en los puntos dónde está colocado la base de la tolva y la sujeción de la piedra.

Figura 47. Mallado de la placa



Fuente: Autor

**4.16.3** *Condiciones de soporte y estado de cargas.* La base de la tolva está fija en los cuatro agujeros de 3,56 [mm] y la carga de la piedra en los tres agujeros de 11,176 [mm] de diámetro, razón por la cual se refina en estos puntos. La suma del peso para los cuatro agujeros de 3,56 [mm] será:

Peso máximo de la soya: 50 [kg]

Tolva: 2,96 [kg]

Soporte estructural de la tolva: 1,04 [kg]

Plato de descarga desde la tolva: 0,253 [kg]

Al sumar todos estas cargas para aplicar sobre la placa, tenemos 54,253 [kg] (532,22 [N]); Se tiene que dividir esta fuerza para cuatro dando así un valor de 133,055 [N] en cada agujero.

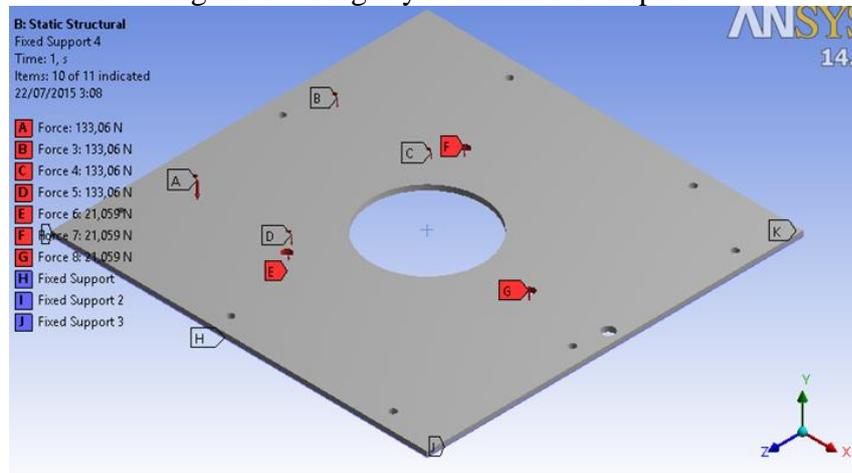
El peso para los agujeros de 11.176 [mm] que soporten la piedra será:

Piedra superior: 6,44 [kg] (63,176 [N])

Esta carga se divide para tres, dando así un valor de 21,058 [N]

La reacción será en sentido vertical positivo

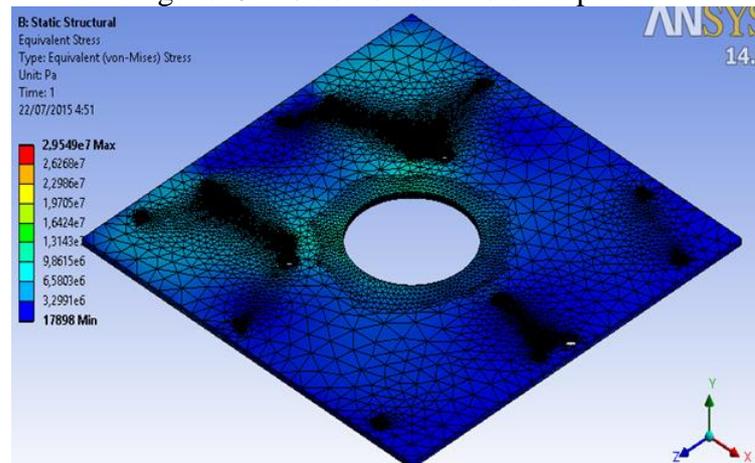
Figura 48. Cargas y reacciones de la placa



Fuente: Autor

**4.16.4 Resultados.** Para obtener los resultados mediante el uso de software se busca determinar los valores del esfuerzo que está sintiendo la placa, las deformaciones que presenta y el factor de seguridad que pueda tener. Los resultados adquiridos de la simulación muestran que el esfuerzo equivalente de Von Mises máximo de la tolva es de 29,55 [MPa], como se muestra en la figura 49.

Figura 49. Esfuerzo máximo en la placa



Fuente: Autor

La deformación máxima que sufre el elemento es de  $1,07 \times 10^{-4}$  [m] (0,107 [mm]), lo cual puede resumirse que no es tan considerable para que haya una fractura breve. El factor de seguridad mínima es de 2,9172 y el máximo es de 10

Tabla 26. Resultados del esfuerzo a fatiga del eje

Esfuerzo equivalente		Deformación total		Factor de seguridad	
Max [Pa]	Min [Pa]	Max [m]	Min [m]	Max	Min
$2,95 \times 10^{+07}$	17898	$1,07 \times 10^{-04}$	0	10	2,9172

Fuente: Autor

Realizando un análisis de la deformación el cual tiene que cumplir con la limitación proporcional establecida para las cargas vivas según algunas normas y paquetes de software son:

- AISC: L/360
- SAP 2000: L/240
- Otros: L/300

Al observar el desplazamiento de la plancha superior cuya longitud es de 440 mm, y tomando en consideración la flecha permisible L/300 se tiene entonces:

$$\text{deformación permisible} = \frac{440}{300} = 1,46 \text{ [mm]} \quad (136)$$

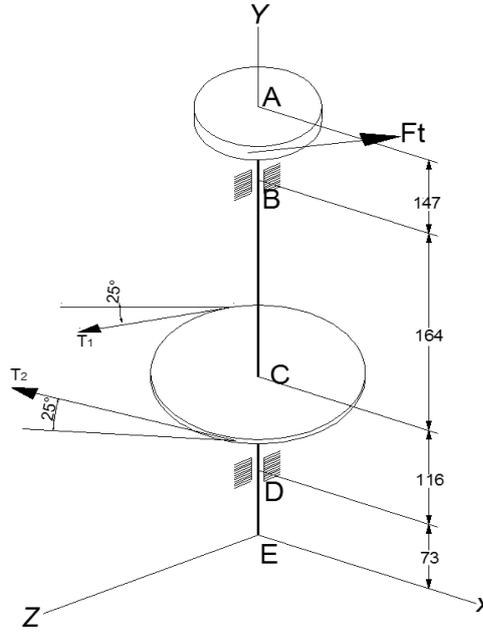
La deformación de la placa superior es de 0,107 [mm], lo cual es inferior a la deformación permisible considerando así que tiene la rigidez apropiada para soportar las cargas impuestas.

En la placa superior está fijada con 8 pernos de 3/10[in] de diámetro en la base de la estructura principal con sus respectivas arandelas y tuercas.

#### 4.17 Selección de rodamiento

En el punto C se localiza la polea conducida de 14 [in] de diámetro sujeto al eje el cual gira a 360 [rpm] y transfiere potencia con impacto ligero a la piedra inferior de 300 [mm] de diámetro. Se debe seleccionar los rodamientos adecuados para los puntos B y D, tomando en consideración las cargas que lo afectan, la vida de los rodamientos, la lubricación y la temperatura de trabajo. Además se debe poner en consideración las tensiones T1 y T2 de la correa (tensa y floja), la fuerza tangencial de la piedra y el torque producidos en ellas. Para ello se determina las reacciones en el eje de transmisión considerando los planos que lo contiene XY y YZ.

Figura 50. Fuerzas aplicadas en el eje

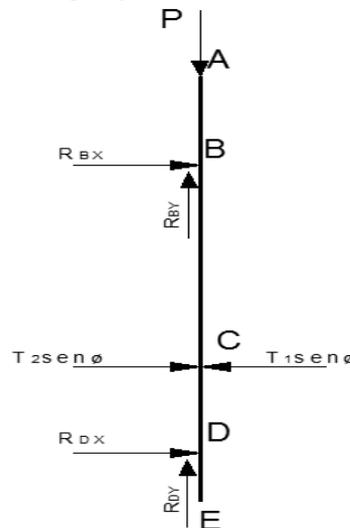


Fuente: Autor

Se considera las fuerzas de las correas, las cuales no deben estar excesivamente tensas ya que si lo están pueden afectar la vida de los rodamientos aun cuando estén correctamente lubricados; pero tampoco deben estar flojos ya que pueden deslizarse fácilmente cuando se aumente la carga, dándose chirridos por deslizamiento entre los flancos de las correas y los canales de las poleas, dando así una alteración temprana de la tela de recubrimiento de las correas.

#### 4.17.1 Cálculo de las reacciones del eje.

Figura 51. Cargas y reacciones en el plano XY



Fuente: Autor

La tensión en el punto C está dividido por la parte floja y tensa como se muestra en las ecuaciones (89) y (90).

Con:  $T_1 = 635,08$  [N] y  $T_2 = 256,08$  [N]

Sumatoria de fuerzas en el eje x y sumatoria de momento en el punto D:

$$\Sigma F_x = 0 \quad (137)$$

$$R_{BX} + R_{DX} - T_1 \text{sen}25^\circ + T_2 \text{sen}25^\circ = 0 \quad (138)$$

Sumatoria de momentos en el punto D

$$\Sigma M_D = 0 \quad (139)$$

$$(R_{BX} * 280) - (T_1 \text{sen}25^\circ * 116) + (T_2 \text{sen}25^\circ * 116) = 0 \quad (140)$$

Resolviendo las ecuaciones (140) y reemplazando en la ecuación (143) se tiene las reacciones en el punto B y D

$$R_{BX} = 66,36$$
 [N]

$$R_{DX} = 93,81$$
 [N]

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (141)$$

$$R_{BY} + R_{DY} - P = 0 \quad (142)$$

La carga  $P = 242,0127$  [N] de la ecuación (99) se subdivide para ambas reacciones en los puntos B y D.

$$R_{BY} = \frac{P}{2} \quad (143)$$

Reemplazando:

$$R_{BY} = \frac{245.127 \text{ [N]}}{2} \quad (144)$$

$$R_{BY} = 122,6 \text{ [N]}$$

$$R_{DY} = 122,6 \text{ [N]}$$

Las fuerzas resultantes son en el plano XY:

$$R_{Bxy} = \sqrt{(66,36)^2 + (122,6)^2} \quad (145)$$

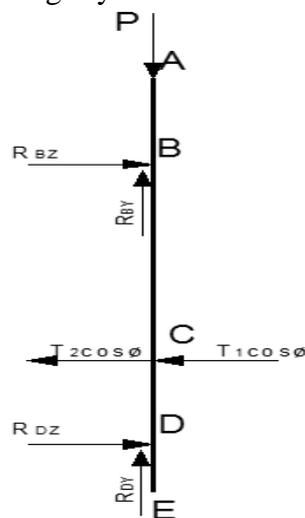
$$R_{Bxy} = 139,4 \text{ [N]} \quad (146)$$

$$R_{Dxy} = \sqrt{(93,81)^2 + (122,6)^2} \text{ [N]} \quad (147)$$

$$R_{Dxy} = 154,4 \text{ [N]} \quad (148)$$

**4.17.1.1** *Análisis de la carga en el plano ZY.* Tomando en cuenta las reacciones anteriormente calculadas, se debe tener presente las componentes de las reacciones en diferentes planos para determinar un promedio de estas mediante el teorema de Pitágoras; en este caso se considera el plano YZ.

Figura 52. Cargas y reacciones en el plano ZY



Fuente: Autor

Sumatoria de fuerzas en el eje Z

$$\Sigma F_z = 0 \quad (149)$$

$$R_{BZ} + R_{DZ} - T_1 \cos\theta - T_2 \cos\theta = 0 \quad (150)$$

Sumatoria de momentos en el punto D:

$$\Sigma M_D = 0 \quad (151)$$

$$R_{BZ} * 280 - T_2 \cos\theta * 116 - T_1 \cos\theta * 116 = 0 \quad (152)$$

Reemplazando los valores:

$$R_{BZ} * 280 - 116 * \cos 25^\circ (635,08 + 256,08) = 0 \quad (153)$$

$$R_{BZ} = 334,6 \text{ [N]}$$

Reemplazando en la ecuación (150), tenemos:

$$R_{DZ} = 473,1 \text{ [N]} \quad (154)$$

Sumatoria en el eje Y:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (155)$$

$$R_{BY} + R_{DY} - P = 0 \quad (156)$$

La carga P se subdivide para ambas reacciones del punto B y D:

$$R_{BY} = \frac{P}{2} \quad (157)$$

$$R_{BY} = \frac{242,127 \text{ [N]}}{2} \quad (158)$$

$$R_{BY} = 122,6 \text{ [N]} \quad (159)$$

$$R_{DY} = 122,6 \text{ [N]} \quad (160)$$

Las fuerzas resultantes en el plano ZY.

$$R_{Bzy} = \sqrt{(334,6)^2 + (122,6)^2} \quad (161)$$

$$R_{Bxy} = 356,4 \text{ [N]} \quad (162)$$

$$R_{Dzy} = 488,7 \text{ [N]} \quad (163)$$

$$R_{Dzy} = \sqrt{(473,1)^2 + (122,6)^2} \quad (164)$$

Las fuerzas resultantes en los puntos B y en D son:

$$R_B = \sqrt{(139,4)^2 + (356,4)^2} \quad (165)$$

$$R_B = 382,7 \text{ [N]} \quad (166)$$

$$R_D = \sqrt{(154,4)^2 + (488,7)^2} \quad (167)$$

$$R_D = 512,5 \text{ [N]} \quad (168)$$

En definitiva, con estas magnitudes de reacciones se procede a seleccionar los rodamientos adecuados, en cada uno de los puntos asignados, teniendo en consideración las condiciones de trabajo y la dirección de la carga crítica que afecte a eje.

**4.17.1.2 Selección del rodamiento.** Para seleccionar un rodamiento, es necesario tomar en cuenta la dirección y el sentido de las cargas dinámicas y estáticas que se aplican en ella, además del diámetro del eje, donde será colocado con una tolerancia de ajuste apretado. La siguiente tabla muestra los datos para un rodamiento de bolas obtenido de los catálogos. La velocidad de rotación máxima que soporta el rodamiento es de 13000 [rpm] que es muy superior a la velocidad de rotación a la que gira el eje. La selección del rodamiento se toma de los catálogos de FAG ajustado al diámetro del eje, en caso de que no exista el diámetro adecuado se toma un rodamiento con un diámetro menor al eje,

debido a que es más accesible dar un maquinado a las condiciones requeridas. Ver Anexo C

Tabla 27. Datos generales del rodamiento

DATOS DEL RODAMIENTO		
Denominación 7206 B.TVP		
d=	31,75	mm
D=	57,15	mm
B=	12,7	mm
C=	13,26	KN
Co	8,275	KN
v(límite)	13000	rpm
v(refer.)	13000	rpm
Pu	950	N

Fuente: Autor

Los rodamientos de bolas de contacto angular cubierto de chapa de acero o de latón, con pistas de rodadura en los anillos interiores y exteriores están diseñados para soportar límites de carga considerables. Los rodamientos skf deben tener lubricación estándar desde la fábrica para mayor fiabilidad que ahorren el mantenimiento y la vida útil de los componentes. Una de las leyes de la física que gobiernan en este tipo de materiales es las fuerzas de fricción, que técnicamente para industrias grandes se considera el estudio de la tribología el cual estudia la interacción de las superficies en movimientos relativos.

Figura 53. Rodamiento 7206B.TVP



Fuente: (FAG, 2015)

Las condiciones a las que debe trabajar el rodamiento a plena carga son el número de revolución a la que gira el eje, la temperatura, la fuerza o carga aplicada en el punto D, las condiciones de limpieza del rodamiento, y el tipo de lubricante que se aplica para su óptimo trabajo, como se muestra en la siguiente tabla 28:

Tabla 28. Condiciones de trabajo del rodamiento

<b>CONDICIONES DE TRABAJO</b>		
n=	360	rpm
T=	50	°C
F <sub>D</sub>	512,5	N
n <sub>c</sub> =		Normal limpieza
Lubricante=		ISO VG32

Fuente: Autor

Es necesario encontrar la vida nominal del rodamiento por la combinación de las cargas axiales y radiales, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \quad (169)$$

$$\frac{F_a}{C_0} \quad (170)$$

$$P = XF_r + YF_a \quad (171)$$

Donde:

X=Factor de carga radial

F<sub>r</sub>=Carga radial

Y=Factor de carga axial

F<sub>a</sub>=Carga axial

La carga aplicada en el punto D es  $F_D = 512,5 [N]$  con ello se determina los valores de Fr y Fa. Los valores de X Y, se determinan de la tabla que se muestra en el Anexo C (Factores axiales y radiales para rodamientos rígidos de bola)

Finalmente se determina la ecuación de la vida útil del rodamiento considerando la carga dinámica equivalente (P) y la capacidad de carga dinámica (C) elevando al exponente de vida útil (p) para rodamientos de bola:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (172)$$

Donde:

C=Capacidad dinámica

$L_{10}$ =Vida útil nominal

P=Carga equivalente

p=Exponente de vida útil

Para el exponente de vida útil se escoge dependiendo que tipo de rodamiento es, ya sea de bolas o de rodillos.

Tabla 29. Vida nominal del rodamiento

VIDA NOMINAL		
$L_{10}$ =	5289	[ $10^6$ rev]
C=	13,26	KN
P=	0,761	KN
p(bolas)=	3	
p(rodill)=	3,33	
Fr=	0,444	KN
Fa=	0,256	KN
X=	0,56	
Y=	2	

Fuente: Autor

La vida útil del rodamiento es de 5289 millones de revoluciones.

Para determinar el factor de viscosidad se utiliza el valor de la viscosidad real en función del tipo de la temperatura del lubricante ( $v$ ) sobre el valor de la viscosidad nominal ( $v_1$ ) en función del diámetro medio del rodamiento; Estos valores se tabulan de la tablas de los Anexo C (Viscosidad del rodamiento en función del diámetro).

La viscosidad en función de la temperatura depende del tipo de lubricante, en este caso es ISO VG 32, y la viscosidad nominal se escoge en función del número de revoluciones, en este caso  $n=360$  rpm.

$$K = \frac{v}{v_1} \quad (173)$$

Tabla 30. Relación de viscosidad

RELACIÓN DE VISCOSIDAD		
K=	0,494	
V=	23,905	$\text{mm}^2/\text{s}$
$V_1$	48,399	$\text{mm}^2/\text{s}$

Fuente: Autor

Para encontrar el valor de la vida ajustada del rodamiento, se aplica la siguiente ecuación.

$$L_{nna} = a_1 * a_{skf} * L_{10} \quad (174)$$

Donde:

$a_{skf}$ = Factor skf

$a_1$ =Factor de fiabilidad

Tabla 31. Vida ajustada

<b>VIDA AJUSTADA:</b>		
$L_{nna} =$	28145,633	[10 <sup>6</sup> rev]
$a_{skf} =$	8,604	
$a_1 =$	0,62	
$R =$	95	%
$L_{10} =$	5289	
$n_c =$	0,5	Normal limpieza
$P_u =$	0,95	KN
$P =$	0,761	KN
$n_c = \frac{P_u}{P}$	0,624	

Fuente: Autor

#### 4.18 Diseño del sistema de extracción de la cáscara

Muchas de las veces es recomendable diseñar un ventilador para el lugar donde va a funcionar la máquina, ya que si se selecciona el ventilador de un catálogo las condiciones vienen dadas con las características funcionales a nivel del mar. Para este cálculo se toma en cuenta las siguientes condiciones de trabajo en la ciudad de Riobamba:

Temperatura promedio anual,  $T = 14^\circ\text{C}$

Altitud,  $m_{snm} = 2754$

Densidad del aire,  $\rho_{aire} = 0,734 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

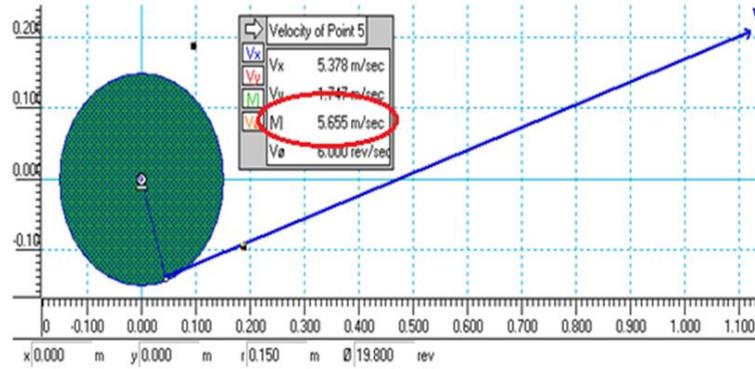
Presión atmosférica,  $P = 74 \text{ [KPa]}$

La velocidad promedio del viento,  $v_{viento} = 1,8 \text{ [m/s]}$

La viscosidad del aire,  $\rho = 1,84 \times 10^{-5} \text{ [Pa} \cdot \text{s]}$

**4.18.1** *Cálculo de la velocidad de salida desde la piedra.* Una vez que las semillas se desprenden de la cáscara, proceden a desalojarse desde las piedras que lo molieron, por un ducto de salida, es útil entonces determinar con que velocidad se desprende. La velocidad se determina a partir de la velocidad tangencial y la velocidad centrífuga.

Figura 54. Análisis de la velocidad de salida del grano en Working Model



Fuente: Autor

La velocidad con que se desprende las semillas y cáscaras ya peladas desde la piedra por el ducto de descarga principal es de  $v_s = 5,66$  [m/s],  $v_{sx} = 5,378$  [m/s],  $v_{sy} = 1,747$  [m/s]

**4.18.2** *Cálculo del caudal en el ducto principal.* El área de la sección transversal del ductos es el ancho por el largo de la sección transversal:

$$A = bh \quad (175)$$

$$A = 143 \times 90 \text{ (mm)} \quad (176)$$

$$A = 0,01287 \text{ m}^2 \quad (177)$$

El caudal de entrada en el ducto que le designaré punto A es igual a la velocidad con que se desprende desde las piedras y se desliza hasta llegar a la salida del ducto:

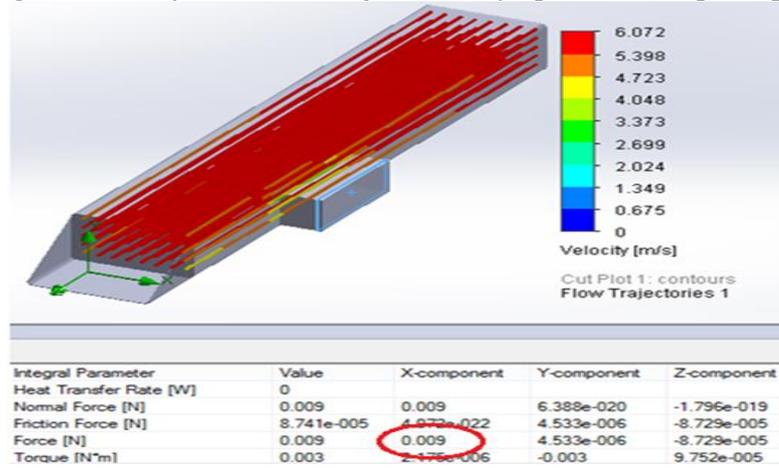
$$Q_A = v_{sx} * A \quad (178)$$

$$Q_A = 5.66 \text{ m/s} * 0.01287 \text{ m}^2 \quad (179)$$

$$Q_A = 0,0728 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con la ayuda de SolidWorks se determina la fuerza de corriente de aire en el componente “x”, que es la dirección que toma la cáscara por la absorción del ventilador.

Figura 55. Trayectoria del flujo de la soya por el ducto principal



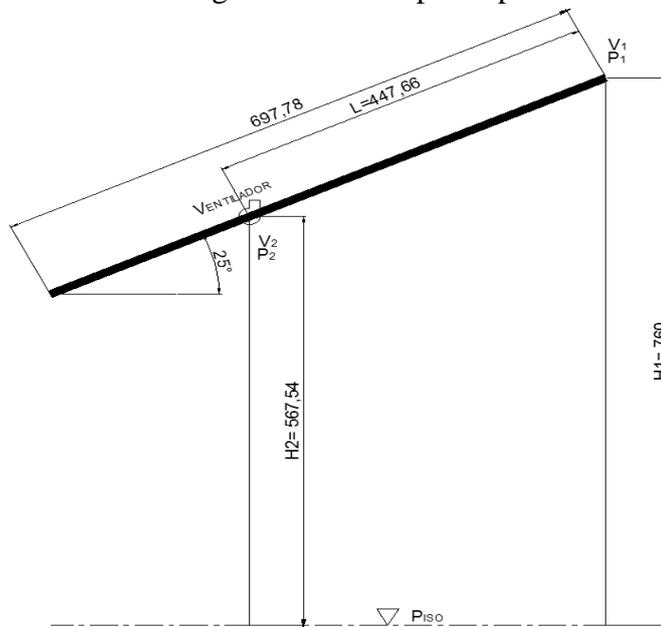
Fuente: Autor

La fuerza de absorción es por el ramal del ventilador es:

$$F_a = 0,009 [N] \quad (180)$$

**4.18.3** *Diferencia de presión a la entrada del ventilador.* A continuación se determina la diferencia de presión que existe a la entrada del ventilador por medio del teorema de Bernoulli:

Figura 56. Ducto de descarga indicando el punto para la toma de presiones



Fuente: Autor

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g H_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g H_2 \quad (183)$$

$$\Delta P = \frac{1}{2}\rho \Delta v^2 + \rho g \Delta H \quad (184)$$

$$\Delta P = \frac{1}{2}(0,734)(5,378)^2 + (0,734)(9,81)(0,192) \quad (185)$$

$$P_T = 11,997 \text{ [Pa]} \quad (186)$$

$$P_T = 1,22 \text{ [mm. c. d. a]} \quad (187)$$

**4.18.4** *Cálculo de la velocidad de succión del ventilador.* (SODECA, 2014). A la entrada del ventilador la velocidad de succión del aire que absorbe está en función de los parámetros como la densidad del material y el diámetro de la soya como nos indica la Tabla 3:

$$V_s = 8,4 * \frac{s}{s+1} * d^{0,40} \quad (188)$$

$$V_s = 8,4 * \frac{800 \text{ kg/m}^3}{800 \text{ kg/m}^3+1} * 7,18^{0,40} \quad (189)$$

$$V_s = 18,45 \text{ m/s} \quad (190)$$

Donde:

$V_s$ =Velocidad de succión, m/s

$s$ =Densidad del material

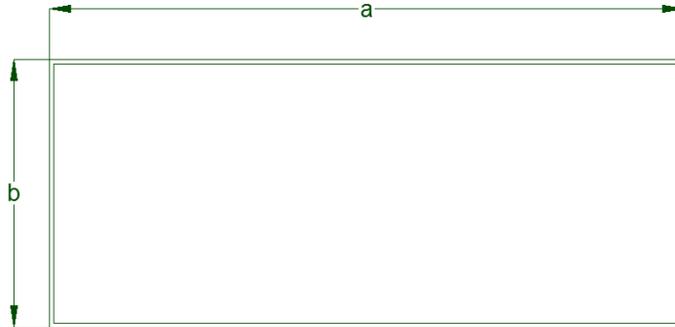
$d$ =Diámetro promedio de la partícula mayor, mm

**4.18.5** *Cálculo del caudal de entrada al ventilador.* El caudal de un ventilador, es la masa de aire que este puede desplazar a través de un conducto en una unidad de tiempo, se expresa en unidades de m<sup>3</sup>/h o en CFM (pies cúbico por minuto). El efecto del caudal del aire varía según la velocidad y la forma de los álabes de un ventilador. A continuación se determina el caudal que absorbe el ventilador.

$$Q_1 = A_1 * V_s \quad (191)$$

Se debe encontrar el área de la sección del ventilador de sección rectangular.

Figura 57. Ducto de descarga indicando el punto para la toma de presiones



Fuente: Autor

$$A_1 = a * b \quad (192)$$

$$A_1 = (150 * 60) \text{mm}^2 \quad (193)$$

$$A_1 = 0,009 \text{ m}^2 \quad (194)$$

Además de esto se determina el diámetro nominal para un tubo rectangular con la siguiente expresión matemática.

$$d_1 = \frac{4A}{P} \quad (195)$$

$$d_1 = \frac{4 * 0,009 \text{ m}^2}{0,42 \text{ m}} \quad (196)$$

$$d_1 = 0,086 \text{ m} \quad (197)$$

El caudal a la entrada es:

$$Q_1 = 0,009 \text{ m}^2 * 18,45 \text{ m/s} \quad (198)$$

$$Q_1 = 0,17 \text{ m}^3/\text{s} \quad (199)$$

Resumiendo, tenemos a la entrada del ventilador los siguientes datos:

Tabla 32. Datos de entrada del ventilador

<b>DATOS DE ENTRADA DEL VENTILADOR</b>	
Caudal ( $Q_1$ ), m <sup>3</sup> /s	0,17
Presión total ( $P_T$ ), mm.c.d.a	1,22
Velocidad entrada ( $V_s$ ), m/s	18,45
Diámetro a la entrada ( $d_1$ ), m	0,086

Fuente: Autor

Donde:

$Q_1$ =Área de la semilla de soya

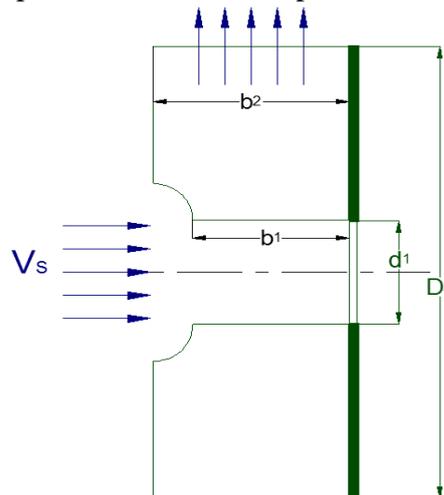
$d_1$ =Diámetro a la entrada del ventilador

$A_1$ =Área a la entrada del ventilador

$P_T$ =Presión total

Los ventiladores de álabes rectos se emplean para impulsar aire o gases sucios a temperaturas elevadas debido a que tienen una facilidad para eliminar debido a la fuerza centrífuga que generan. Generalmente se utilizan para transportar materiales granulares. Además su diseño es muy sencillo con una potencia capaz de aumentar de forma continua al aumentar su caudal y son resistentes mecánicamente, el rodete puede ser reparado con facilidad para su limpieza. Para ventiladores con álabes rectos se tiene  $\beta = 90^\circ$  donde el aire ingresa de forma horizontal y se desplaza verticalmente por medio del rodete.

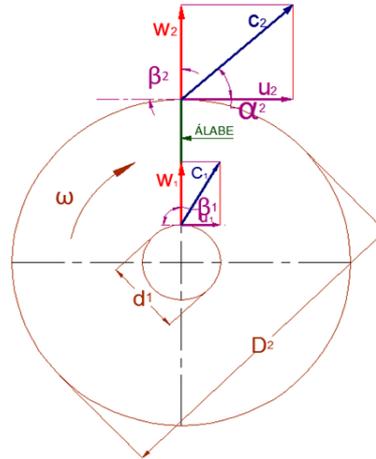
Figura 58. Representación de las aspas axiales del ventilador



Fuente: Autor

**4.18.6** *Velocidad tangencial ( $u_2$ )* .El ventilador centrífugo axial tiene el siguiente esquema del triángulo de velocidad, tanto a la entrada como a la salida de los álabes.

Figura 59. Triángulo de velocidades del ventilador axial



Fuente: Autor

La velocidad  $C_2$  representa la sumatoria vectorial de las velocidades  $u_2$ , y  $w_2$ , teniendo en cuenta que la velocidad  $u_2$  es tangente al giro del rodete y  $w_2$  es la velocidad de traslación del fluido tangente al álabe.

$$u_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} \quad (200)$$

$$u_2 = \frac{\pi \cdot 0,086 \cdot 3600}{60} \quad (201)$$

$$u_2 = 16,2 \text{ m/s}$$

**4.18.7** *Velocidad radial ( $C_{2u}$ ).* La velocidad  $C_{2u}$  es una componente de la velocidad relativa  $C_2$  sobre la velocidad  $u_2$ .

$$C_{u2} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_2^2} \quad (202)$$

$$C_{u2} = \frac{4 \cdot 0,17 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 0,086^2} \quad (203)$$

$$C_{u2} = 29,27 \text{ m/s}$$

**4.18.8** *Velocidad radial al borde de entrada del álabe ( $w_2$ ).* Debido a que tenemos álabes rectos  $w_2$  y  $C_{u2}$  son iguales.

$$w_2 = 29,27 \text{ m/s}$$

**4.18.9** *Velocidad absoluta, ( $C_2$ ).* Se procede a calcular la velocidad absoluta con los datos adquiridos. de  $w_2$  y  $C_{u2}$ .

$$C_2^2 = u_2^2 + w_2^2 - 2u_2w_2\cos\beta_2 \quad (204)$$

$$C_2^2 = (16,2)^2 + (29,27)^2 - 2(16,2)(29,27)\cos 90^\circ$$

$$C_2 = 33,45 \text{ m/s}$$

**4.18.10** *Altura en metros por columna de aire del ventilador.* Considerando los términos anteriores.

$$H_u = \frac{u_2 C_{u2}}{g} \quad (205)$$

$$H_u = \frac{16,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 29,23 \text{ m/s}}{9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_u = 48,3 \text{ m de aire}$$

A esta altura hay que sumar una altura de elevación del fluido de  $H_{\text{elevación}} = 250 \text{ m}$

$$h = (48,3 + 250) \text{ m} = 298,3 \text{ m de aire} \quad (206)$$

**4.18.11** *Potencia del motor.* Con la altura encontrada se procede a determinar la potencia útil que genera el ventilador.

$$P_{\text{útil}} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \quad (207)$$

$$P_{\text{útil}} = \left(0,734 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(0,17 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) * (9,81 \text{ m/s}^2)(298,3 \text{ m}) \quad (208)$$

$$P_{\text{útil}} = 365,15 \text{ w} \quad (209)$$

La potencia del motor viene acorde a la presión dinámica, estática del ventilador.

Donde:

$P_{\text{útil}}$ =Potencia útil

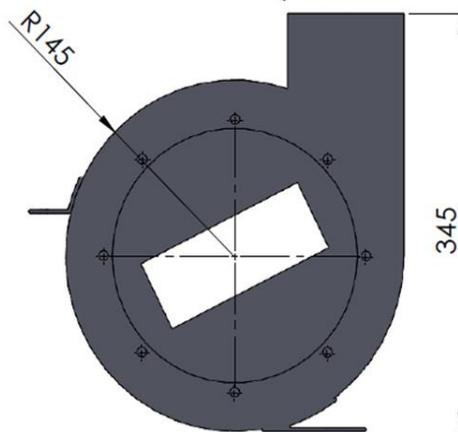
$\rho$ =Densidad del aire

$Q$ =Caudal

$g$ =Gravedad

**4.18.12** *Diseño del tamaño de la voluta y aspas del ventilador.* Con el diámetro de la voluta por el espacio disponible de la estructura de la máquina es de  $D_{vo} = 290 \text{ mm}$

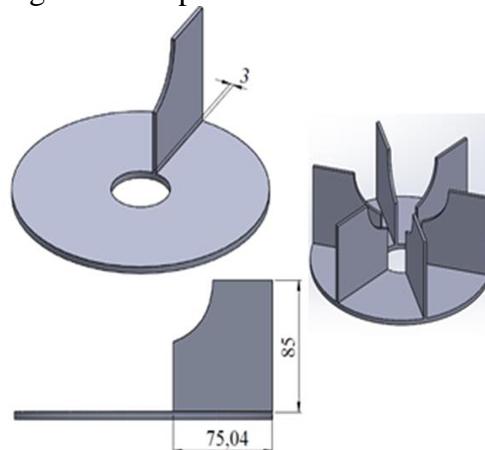
Figura 60. Involuta del ventilador



Fuente: Autor

Se asume el número de aspas o paletas en  $n_a = 6$ . Aquellas están constituidas de acero galvanizado de 3 mm de espesor con dimensiones de 75x85 mm. El eje en donde descansa las aletas es de diámetro  $d=45 \text{ mm}$ , a su vez conectado al eje principal de 1 pulgada.

Figura 61. Aspas axiales del ventilador



Fuente: Autor

El ancho de las aspas  $b_2 = 75 \text{ mm}$

Se considera una eficiencia del ventilador entre 60% a 75%

$$\eta = 0,65$$

**4.18.13 Selección del motor eléctrico para el ventilador.** La potencia suministrada en el eje del ventilador  $P_{eje}$  se determina a través del rendimiento que genere.

$$P_{eje} = \frac{365,15 \text{ w}}{0,65} \quad (210)$$

$$P_{eje} = 1 \text{ HP} \quad (211)$$

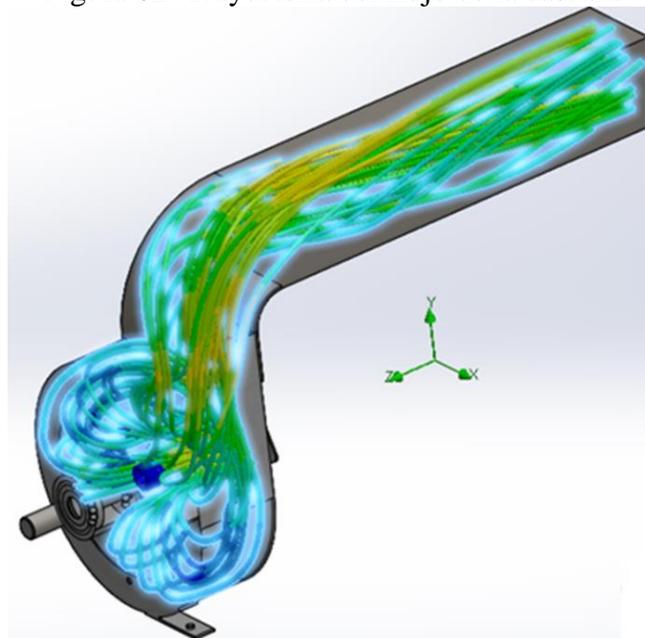
Donde:

$P_{eje}$ =Potencia requerida en el ventilador

$\eta$ =Rendimiento

En la siguiente figura se demuestra cómo se traslada el flujo del aire llevando consigo las impurezas que produjo al pelar la cáscara de soya.

Figura 62. Trayectoria del flujo de la cáscara



Fuente: Autor

Tabla 33. Selección de motores WEG

Frecuencia	Voltaje	Polos	Potencia	Momento de inercia	Tiempo de rotor bloqueado	Factor de servicio	Rotación nominal	Eficiencia (%)			Factor de potencia			Corriente nominal
			HP(cv)					50 %	75%	100%	50%	75%	100%	
60Hz	220/440 V	2	100	0,00217 kgm <sup>2</sup>	6s	1,15	3500 rpm	55,0	63,0	67,0	0,56	0,67	0,75	6,69/3,35 A
60Hz	230 V	2	100	0,00217 kgm <sup>2</sup>	6s	1,15	3500 rpm	55,0	63,0	67,0	0,56	0,67	0,75	6,40 A
60Hz	230/460V	2	100	0,00217 kgm <sup>2</sup>	6s	1,15	3500 rpm	55,0	63,0	67,0	0,56	0,67	0,75	6,40/3,20 A
60Hz	240/480V	2	100	0,00217 kgm <sup>2</sup>	6s	1,15	3500 rpm	55,0	63,0	67,0	0,56	0,67	0,75	6,13/3,07 A
60Hz	500V	2	100	0,00217 kgm <sup>2</sup>	6s	1,15	3500 rpm	55,0	63,0	67,0	0,56	0,67	0,75	2,94 A
60Hz	525V	2	100	0,00217 kgm <sup>2</sup>	6s	1,15	3500 rpm	55,0	63,0	67,0	0,56	0,67	0,75	2,80 A
60Hz	575V	2	100	0,00217 kgm <sup>2</sup>	6s	1,15	3500 rpm	55,0	63,0	67,0	0,56	0,67	0,75	2,56 A
60Hz	220/440V	4	100	0,00564 kgm <sup>2</sup>	6s	1,15	1750 rpm	57,0	64,0	69,0	0,44	0,54	0,63	7,50/3,75 A
60Hz	230V	4	100	0,00564 kgm <sup>2</sup>	6s	1,15	1750 rpm	57,0	64,0	69,0	0,44	0,54	0,63	7,18 A

Fuente: (WEG, 2014)

Los motores WEG de fabricación brasileña, están diseñados para funcionar con dos voltajes, el primero de 110 [V] y el segundo a 220 [V], equivalente a fase simple que posee dos líneas L1 y L2. La corriente del primer voltaje es de 14,20, con el segundo voltaje es de 7,10 amperios. Hay que tener en cuenta que el motor trabaja a temperatura ambiental de 40 [°C] con una frecuencia de 60[Hz].

Figura 63. Motor eléctrico



Fuente: (WEG, 2014)

#### 4.19 Análisis de cargas en la estructura principal

La bancada es la parte principal de la máquina, donde descansa todas las cargas aplicadas en el diseño. Debe cumplir un soporte suficiente, que tenga una resistencia adecuada para los elementos de la máquina peladora de soya, además de cumplir el parámetro de la estética.

La máquina de pelar soya está compuesto por siete sistemas, cada uno cumple una función específica, y dentro de estos sistemas están cada uno de los elementos y piezas mecánicas con sus respectivos pesos y cargas:

Tabla 34. Cargas aplicadas a la estructura principal

SISTEMA	PESO DEL SISTEMA(Kg)
Sistema estructural	42,453
Sistema de molienda	22,71
Sistema de regulación	4,955
Sistema de descarga	11,003
Sistema de transmisión	5,76
Sistema de extracción de la cáscara	14,112
Sistema eléctrico	41,88
PESO TOTAL	142,873

Fuente: Autor

El análisis de elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés) es una técnica que brinda los software del dibujo CAD, dando un análisis del comportamiento del elemento

mecánico en la vida real, considerando los parámetros y propiedades técnicas y mecánicas de las mismas.

Hay que tomar en cuenta un factor de incremento de los pesos de algunos elementos que se nos haya olvidado por ejemplo una turca, perno, remache, con la siguiente expresión.

$$\frac{P_{\text{estr}}}{P_{\text{estr}}+P_{\text{tot}}} = \frac{1}{f} \quad (213)$$

$$\frac{28 \text{ kg}}{28 \text{ kg}+142.873} = \frac{1}{f} \quad (214)$$

$$f = 6,102$$

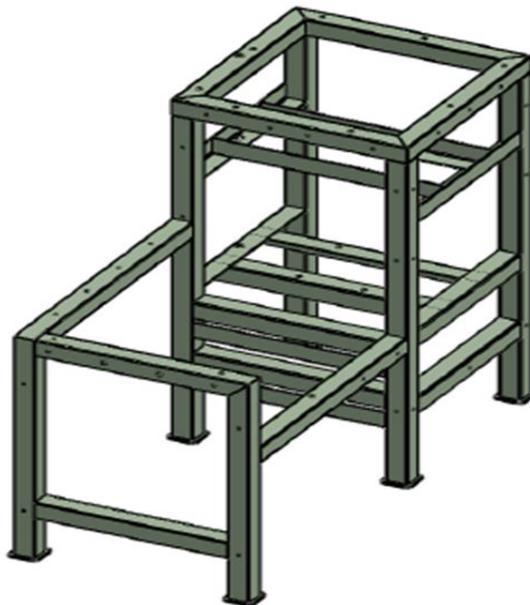
Donde:

$P_{\text{estr}}$ =Peso de la estructura

$P_{\text{tot}}$ =Peso total de elementos

$f$ =Factor de seguridad

Figura 64. Base estructural de la máquina peladora de soya

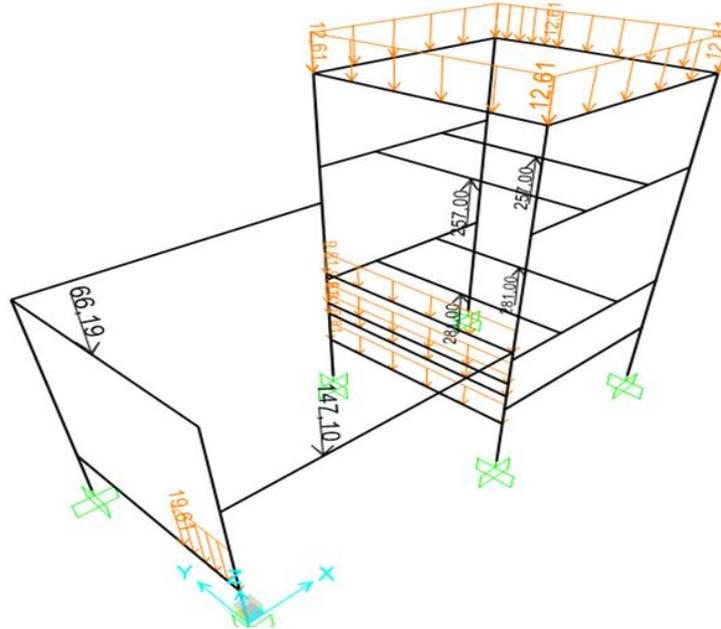


Fuente: Autor

La estructura está construida con tubo cuadrado de acero estructural ASTM A-500, de igual modo para la base del motor de 3 [HP], está construida con ángulos en L de las siguientes medidas L40x40x3, de acero ASTM A-36. La base para el motor de 1 HP es una placa de acero laminado al frío SAE 1010.

Con la ayuda del software SAP 2000 v17, se procede a analizar las cargas que se aplican en la estructura.

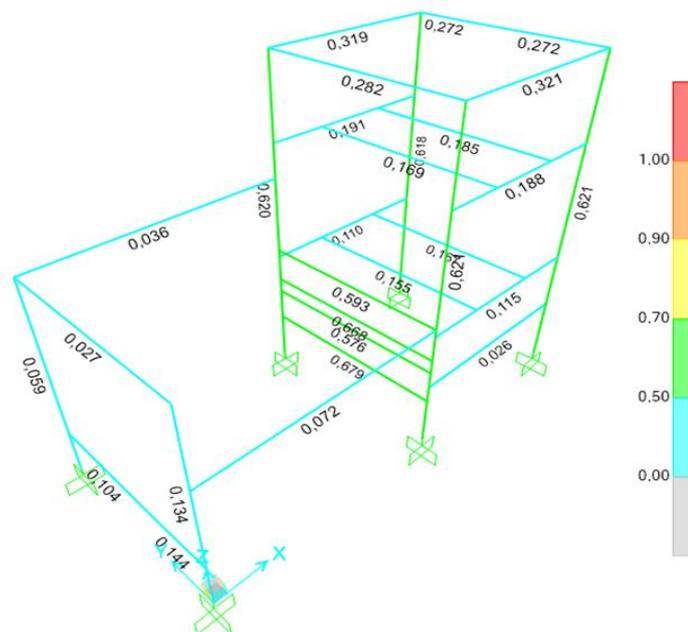
Figura 65. Cargas aplicadas en la estructura principal



Fuente: Autor

Como resultado del análisis de esfuerzos, se puede concluir que la estructura soporta adecuadamente las cargas aplicadas en ellas, dando valores del razón de esfuerzo entre 0,5 a 0,7%.

Figura 66. Razones de esfuerzo en la estructura principal



Fuente: Autor

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA MÁQUINA.**

#### **5.1 Equipos y máquinas utilizados en la construcción.**

Para el proceso de construcción, montaje e instalación de la máquina peladora de soya, es necesario utilizar ciertos materiales, equipos y herramientas que estén al alcance en nuestro medio. La lista de equipos que se utilizará para la construcción es la siguiente:

- Torno
- Soldadora eléctrica
- Taladro de mano
- Moladora
- Prensa de banco
- Cuchillas para tornear
- Dobladora de tol
- Suelda oxiacetilénica
- Entenalla
- Flexo metro
- Limas
- Brocas
- Calibrador pie de rey
- Llaves
- Destornilladores
- Arco de sierra
- Escuadra
- Machuelos

#### **5.2 Procedimiento de la construcción.**

En la tabla 37 se muestra las partes constitutivas de la máquina peladora de soya, sus elementos y el material del cual se constituye cada uno de ellos.

Tabla 35. Partes constructivas de la máquina

SISTEMA	ELEMENTO	CANT	MATERIAL	PESO(kg)
<b>Sistema Estructural</b>	Estructura	1	Acero estructural ASTM A36	
	Placa superior	1	Acero inoxidable AISI 304L	8,61
	Chapa frontal	2	Acero inoxidable AISI 304L	6,76
	Chapa lateral derecho	1	Acero inoxidable AISI 304L	5,2
	Chapa lateral izquierdo	1	Acero inoxidable AISI 304L	6,364
	Chapa posterior	2	Acero inoxidable AISI 304L	8,675
	Plancha de base para motor	1	Acero estructural ASTM A36	6,844
<b>Sistema de Molienda</b>	Plato de soporte para caída de granos con d=320 mm	1	Acero inoxidable AISI 304L	2,72
	Soporte con buje para la piedra inferior	1	Acero estructural ASTM A36	3,82
	Perno 7/16 in	3	Rc 7/16 INEN 509	
	Piedra superior de molienda	1	Piedras de pedernal con cerámica	6,44
	Piedra inferior de molienda	1	Piedras de pedernal con cerámica	6,63
	Eje de transmisión	1	Acero AISI 4140	3,1
<b>Sistema de regulación</b>	Buje interior de regulación del eje	1	Acero AISI 1018	0,386
	Buje para soporte del rodamiento	1	Acero AISI 1018	2,87
	Varilla de ½ in roscada en un extremo	1	Acero AISI 1018	0,69
	Volante con rosca de ½ in	1	Acero AISI 1018	0,22
	Barra rectangular de 440x36x7mm	1	Acero estructural ASTM A36	0,789
	Perno con arandela M10x1,25	2	DIN 965	
<b>Sistema de descarga</b>	Pernos 3/16in	4	Rc 3/16 INEN 509	
	Tolva	1	Acero AISI 1018	2,96
	Plato de descarga desde la tolva	1	Acero inoxidable AISI 304L	0,253
	Soporte estructural de la tolva	1	Acero estructural ASTM A36	1,04
	Ducto de descarga principal	1	Acero inoxidable AISI 304L	6,75
<b>Sistema de transmisión</b>	Polea conducida de 14 in de diámetro	1	Aluminio A329	3,59
	Polea conducida de 4 in de diámetro	1	Aluminio A329	0,215
	Polea motriz de 2 ½ in de diámetro	1	Aluminio A329	0,415
	Polea motriz de 2 in de diámetro	1	Aluminio A329	0,138
	Banda trapezoidal A-53	2	Normalizado	0,453
	Banda trapezoidal A-28	1	Normalizado	0,453
	Rodamiento de bolas	3	Normalizado	0,196
	Chumacera	1	Normalizado	0,3
<b>Sistema de extracción de la cáscara</b>	Ducto de salida de la cáscara	1	Acero inoxidable AISI 304L	4,59
	Álabes	1	Acero galvanizado	1,89
	Plato del soporte de los álabes	1	Planchas de acero inoxidable	1,59
	Buje de los álabes	1	Acero AISI 4140	0,417
	Buje para soportes de los rodamientos	1	Acero AISI 4140	0,604
	Rodamientos	1	Normalizado	0,726
	Envolvente del rotor	1	Acero A36	3,58
	Eje del rotor	1	Acero AISI 4140	0,715
<b>Sistema eléctrico</b>	Motor eléctrico monofásico 3 Hp	1	Normalizado	20
	Motor eléctrico monofásico 1Hp	1	Normalizado	10
	Gabinete 30x30x20cm	1	Tol galvanizado	7,35
	Cable concéntrico 3x8 CL	6	Normalizado	
	Cable concéntrico 3x10 CL	4	Normalizado	
	Relé térmico diferencial	2	Normalizado	
	Contactador serie 110 V	2	Normalizado	
	Luz piloto LED	6	Normalizado	

Pulsadores 22mm	4	Normalizado	
Breaker 32 A	2	Normalizado	
Cable flexible Automotriz	10	Normalizado	
Contacaux AU-100	1	Normalizado	4,53

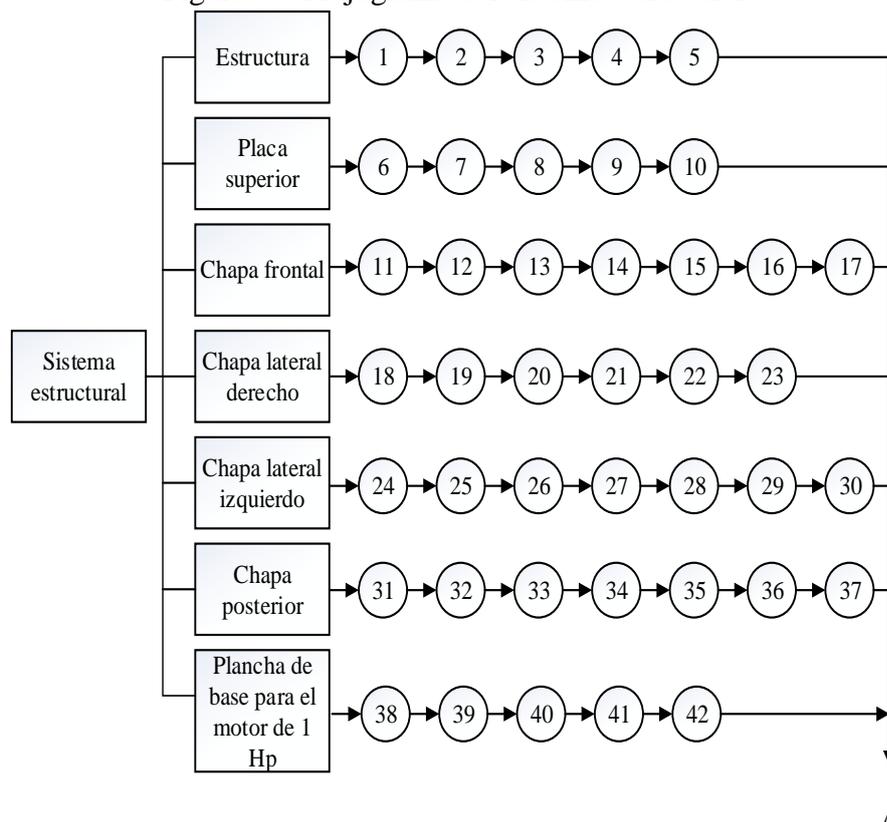
Fuente: Autor

### 5.3 Flujograma de construcción de la máquina peladora de soya.

A continuación se representa los pasos a seguir para la construcción de las partes de la máquina mediante un flujo grama tomando en cuenta los tiempos.

**5.3.1** *Flujograma del sistema estructural.* Consta la construcción de base estructural, la placa superior donde descansa la tolva, el doblado de las chapas frontal, lateral y la base para el motor de 1 Hp.

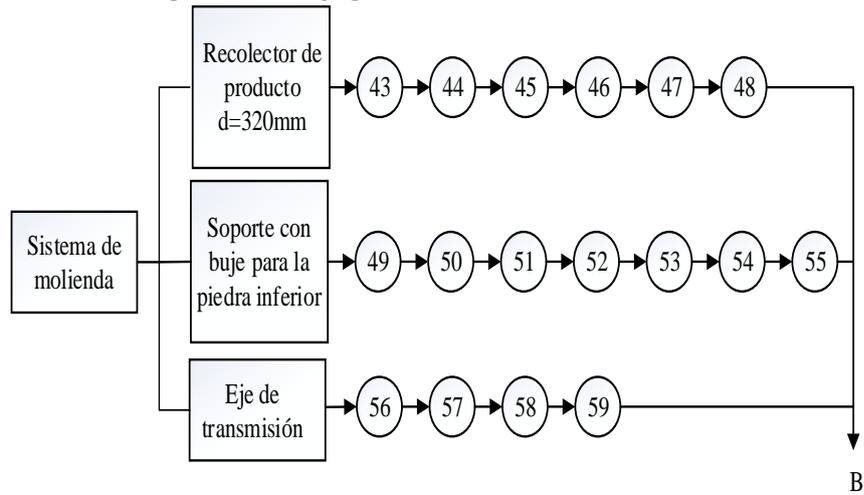
Figura 67. Flujograma del sistema estructural



Fuente: Autor

**5.3.2** *Flujograma del sistema de molienda.* Es la parte medular de la máquina, donde se deposita los granos que caen al no poder ser expulsado por el ducto principal; consta en la construcción del recolector del producto que soporta la piedra inferior.

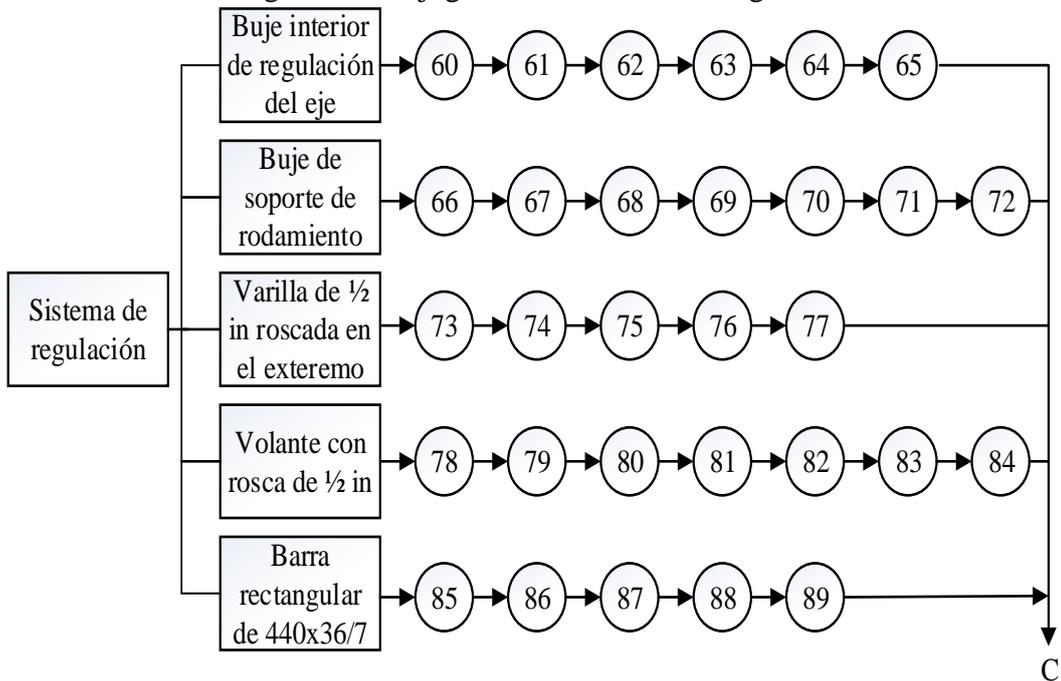
Figura 68. Flujograma del sistema de molienda



Fuente: Autor

**5.3.3** *Flujograma del sistema de regulación.* Es el sistema que regula la abertura de la piedra, realizando un movimiento vertical del eje de transmisión.

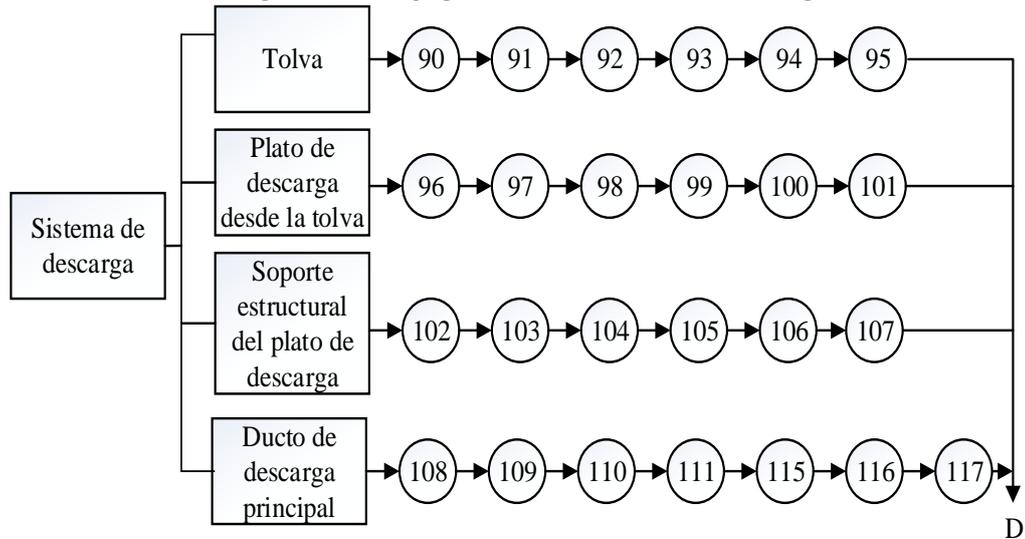
Figura 69. Flujograma del sistema de regulación



Fuente: Autor

**5.3.4** *Flujograma del sistema de descarga.* Consta de la tolva principal, la base estructural de la tolva, el plato de descarga desde la tolva y el ducto principal por dónde se desplaza la soya hasta ser absorbido por el ventilador.

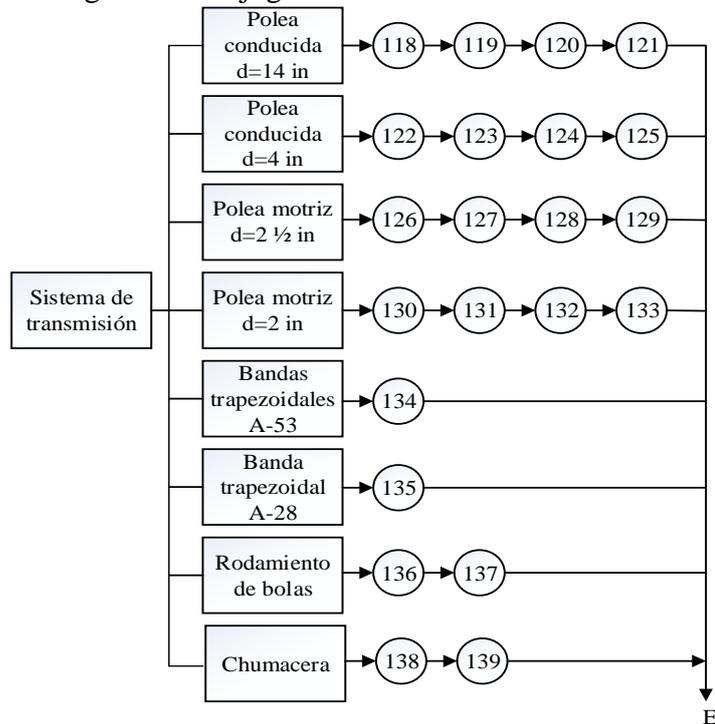
Figura 70. Flujograma del sistema de descarga



Fuente: Autor

**5.3.5** *Flujograma del sistema de transmisión.* Consta de los elementos que generan los movimientos de rotación; muchas de estos elementos se selecciona de catálogos.

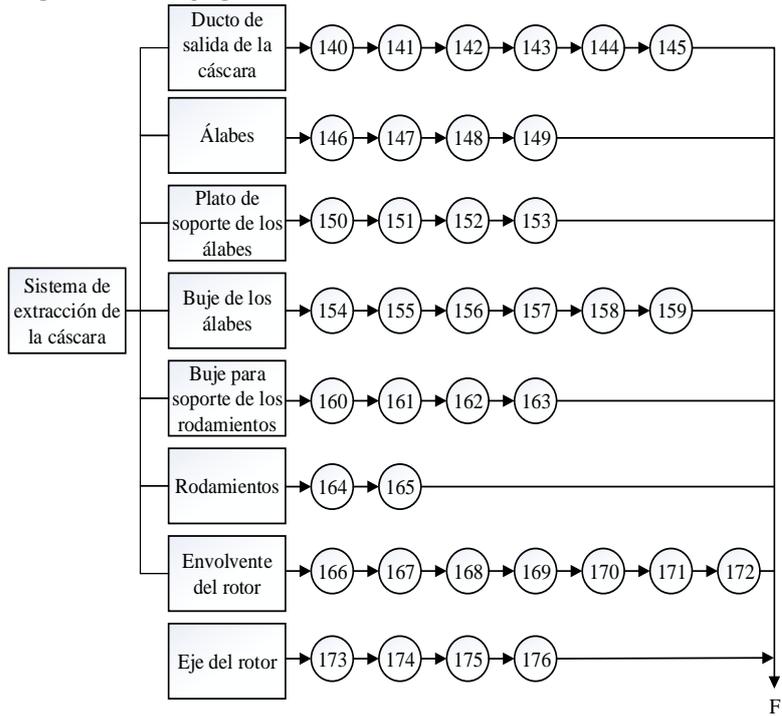
Figura 71. Flujograma del sistema de transmisión



Fuente: Autor

**5.3.6** *Flujograma del sistema de extracción de la cáscara.* Se refiere a todo el sistema de ventilación que facilita la extracción de la cáscara y otros sedimentos.

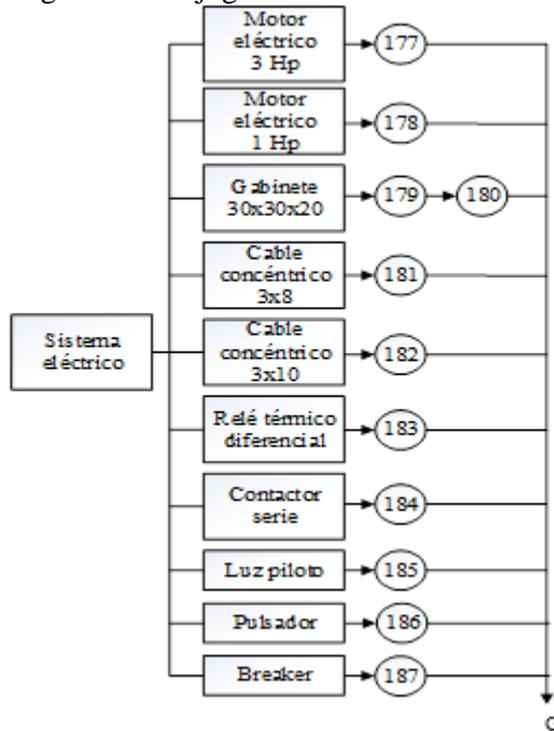
Figura 72. Flujograma del sistema de extracción de la cáscara



Fuente: Autor

**5.3.7** *Flujograma del sistema eléctrico.* Se selecciona tanto los motores, así como los elementos que protegen.

Figura 73. Flujograma del sistema eléctrico



Fuente: Autor

#### 5.4 Tiempo de operaciones en la construcción y montaje de la máquina.

En la siguiente tabla se muestra las partes constitutivas de la máquina peladora de soya, sus elementos, material del cual se constituye con los tiempos que toma la adquisición de la misma.

Tabla 36. Tiempo de construcción de la máquina

		ELEMENTOS	N°	OPERACIONES	TIEMPO (h)
SISTEMA ESTRUCTURAL	Estructura		1	Toma de medidas	1
			2	Corte	3
			3	Pre soldado	2
			4	Escuadrado	1
			5	Soldado	3
	Placa Superior		6	Trazado	0,5
			7	Corte	0,5
			8	Pulido	0,1
			9	Taladrado	0,5
			10	Montaje	1
	Chapa frontal		11	Trazado	0,75
			12	Cizallado	0,5
			13	Doblado	0,5
			14	Rebordeado	0,5
			15	Pulido	0,1
			16	Taladrado	0,5
			17	Montaje	1
	Chapa lateral derecho		18	Trazado	0,75
			19	Cizallado	0,5
			20	Doblado	0,5
			21	Rebordeado	0,5
			22	Pulido	0,1
			23	Taladrado	0,5
	Chapa lateral izquierdo		24	Trazado	0,75
			25	Cizallado	0,5
			26	Doblado	0,5
			27	Rebordeado	0,5
			28	Pulido	0,1
			29	Taladrado	0,5
			30	Montaje	1
	Chapa posterior		31	Trazado	0,75
			32	Cizallado	0,5
			33	Doblado	0,5
			34	Rebordeado	
			35	Pulido	0,1
			36	Taladrado	0,5
			37	Montaje	1
	Plancha de base para motor de 1 Hp		38	Trazado	0,5
			39	Corte	0,5
			40	Pulido	0,1
			41	Taladrado	1
			42	Montaje	1

Fuente: Autor

Tabla 37. Tiempos de construcción de la máquina (continuación)

	ELEMENTOS	Nº	OPERACIONES	TIEMPO (h)
SISTEMA DE MOLIENDA	Plato de soporte para la caída de granos con d=320mm	43	Trazado	1
		44	Corte 1	0,5
		45	Corte 2	0,5
		46	Taladrado	0,5
		47	Pulido	0,5
		48	Montaje	1
	Soporte con buje para la piedra inferior	49	Trazado	0,5
		50	Corte	0,5
		51	Soldado	0,5
		52	Torneado	1
		53	Pulido	0,1
		54	Taladrado	0,5
		55	Montaje	0,5
	Eje de transmisión	56	Refrentado	1
		57	Cilindrado	1
58		Tolerancia	0,75	
59		Montaje (Rodamientos)	0,5	
SISTEMA DE REGULACIÓN	Buje interior de regulación del eje	60	Trazado	0,1
		61	Corte de un tubo	0,1
		62	Torneado de extremos	0,5
		63	Soldado	0,25
		64	Pulido	0,1
		65	Montaje	0,25
	Buje para soporte del rodamiento	66	Refrentado	0,5
		67	Cilindrado externo	1
		68	Cilindrado interno	1
		69	Soldado	0,5
		70	Tolerancia	0,75
		71	Pulido	0,5
		72	Montaje	0,5
	Varilla de 1/2in roscada en un extremo	73	Trazado	0,1
		74	Corte	0,1
		75	Roscado (Terraaja)	1
		76	Tolerancia	0,75
		77	Montaje	0,25
	Volante con rosca de 1/2 in	78	Trazado	0,5
		79	Cilindrado	1,5
		80	Desbastado	1
		81	Perforado	0,25
82		Roscado	2	
83		Pulido	0,1	
84		Montaje	0,1	
Barra rectangular de 440x36x7mm	85	Trazado	0,25	
	86	Corte	0,25	
	87	Perforado	0,5	
	88	Pulido	0,1	
	89	Montaje	0,1	

Fuente: Autor

Tabla 38. Tiempos de construcción de la máquina (continuación)

	ELEMENTOS	N°	OPERACIONES	TIEMPO (h)
<b>SISTEMA DE DESCARGA</b>	Tolva	90	Trazado	1
		91	Corte	0,5
		92	Doblado	1
		93	Soldado	1
		94	Pulido	0,5
		95	Montaje	0,5
	Plato de descarga desde la tolva	96	Trazado	0,75
		97	Corte	0,5
		98	Doblado	0,5
		99	Soldado	0,5
		100	Pulido	0,1
		101	Montaje	0,1
	Soporte estructural del plato de descarga	102	Trazado	0,5
		103	Corte	0,5
		104	Soldado	0,5
		105	Perforado	0,25
		106	Pulido	0,1
107		Montaje	0,1	
Ducto de descarga principal	108	Trazado chapa 1	1	
	109	Trazado chapa 2	1	
	110	Corte chapa 1	0,5	
	111	Corte chapa 2	0,5	
	112	Doblado chapa 1	0,5	
	113	Doblado chapa 2	0,5	
	114	Perforado	0,5	
	115	Remachado (chapa 1 y 2 )	0,5	
	116	Pulido	0,2	
	117	Montaje	0,2	
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>	Polea conducida de 14 in de diámetro	118	Perforado central (Torno)	1
		119	Perforado para el perno de	0,25
		120	Machuelado del agujero d= 3/8in	0,5
		121	Montaje	0,1
	Polea conducida de 4 in de diámetro	122	Perforado central (Torno)	1
		123	Perforado para el perno de	0,25
		124	Machuelado del agujero d= 8mm	0,5
	Polea motriz de 2 1/2 in de diámetro	125	Montaje	0,1
		126	Perforado central (Torno)	1
		127	Perforado para el perno de	0,25
		128	Machuelado del agujero d= 3/8in	0,5
	Polea motriz de 2 in de diámetro	129	Montaje	0,1
130		Perforado central (Torno)	1	
131		Perforado para el perno de	0,25	
Banda trapezoidal A-53	132	Machuelado del agujero d= 8mm	0,5	
	133	Montaje	0,1	
Banda trapezoidal A-28	134	Montaje	0,1	
Rodamiento de bolas	135	Montaje	0,1	
	136	Montaje del rodamiento	0,25	
Chumacera	137	Lubricación	0,1	
	138	Montaje de la chumacera	0,25	
	139	Lubricación	0,1	

Fuente: Autor

Tabla 39. Tiempos de construcción de la máquina (continuación)

	ELEMENTOS	N°	OPERACIONES	TIEMPO (h)
<b>SISTEMA DE LA EXTRACCIÓN DE LA CÁSCARA</b>	Ducto de salida de la cáscara	140	Trazado (chapa metálica)	0,5
		141	Corte	0,5
		142	Doblado	0,5
		143	Soldado	0,5
		144	Pulido	0,1
		145	Montaje	0,1
	Álabes	146	Trazado	1
		147	Corte	1
		148	Pulido	1,5
		149	Montaje	0,5
	Plato de soporte de los álabes	150	Trazado	0,5
		151	Torneado	0,5
		152	Perforado	0,25
		153	Pulido	0,1
	Buje de los álabes	154	Refrentado	0,2
		155	Cilindrado (externo)	0,5
		156	Cilindrado (interno)	0,5
		157	Soldado	0,1
		158	Pulido	0,1
		159	Montaje	0,25
Buje para soportes de los rodamientos	160	Refrentado	0,2	
	161	Cilindrado externo	0,5	
	162	Cilindrado interno	0,5	
	163	Montaje	0,1	
Rodamiento	164	Montaje de dos rodamientos	0,25	
	165	Lubricación	0,1	
Envolvente del rotor	166	Trazado	0,5	
	167	Cilindrado (diámetro interior)	0,5	
	168	Soldado	0,5	
	169	Taladrado	0,25	
	170	Machuelado	0,25	
	171	Pulido	0,1	
	172	Montaje	0,1	
Eje del rotor	173	Refrentado	1	
	174	Cilindrado	1	
	175	Tolerancia	0,75	
	176	Montaje (Rodamientos)	0,5	
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>	Motor electrico 3 Hp	177	Montaje	0,5
	Motor electrico 1 Hp	178	Montaje	0,5
	Gabinete 30x30x20	179	Taladrado	0,25
		180	Montaje	0,1
	Cable concéntrico 3x8	181	Montaje	0,5
	Cable concéntrico 3x10	182	Montaje	0,5
	Relé termico diferencial	183	Montaje	1,5
	Contactor serie	184	Montaje	0,25
	Luz piloto	185	Montaje	0,25
	Pulsador	186	Montaje	0,1
	Breaker	187	Montaje	0,1

Fuente: Autor

## 5.5 Montaje de la máquina peladora de soya.

El montaje para cada uno de los sistemas del equipo durante la construcción es llevado de acuerdo a una tabla de tiempos, como se muestra a continuación:

**5.5.1** *Montaje del sistema estructural* Se refiere al montaje de cada uno de las piezas del sistema estructural.

Tabla 40. Montaje del sistema estructural

<b>MONTAJE DEL SISTEMA ESTRUCTURAL</b>		
<b>OPERACIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>TIEMPO(horas)</b>
Adquisición y traslado de elemento al lugar de trabajo	M1	2
Montaje de la estructura	M2	8
Montaje de la placa superior	M3	0,5
Montaje de la chapa frontal	M4	0,5
Montaje de la chapa lateral derecho	M5	0,5
Montaje de la chapa lateral izquierdo	M6	0,5
Montaje de la chapa posterior	M7	0,5
Montaje de la base para el motor 1 Hp	M8	0,5
<b>SUBTOTAL</b>		<b>13</b>

Fuente: Autor

**5.5.2** *Montaje del sistema de molienda.* Es el montaje de cada uno de las partes de tiene la máquina para descascarar la soya.

Tabla 41. Montaje del sistema de molienda

<b>MONTAJE DEL SISTEMA DE MOLIENDA</b>		
<b>OPERACIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>TIEMPO(horas)</b>
Montaje del plato de soporte para la caída de granos con d=320mm	M9	1
Montaje del soporte con buje para la piedra inferior	M10	0,5
Montaje del eje de transmisión	M11	0,5
<b>SUBTOTAL</b>		<b>2</b>

Fuente: Autor

**5.5.3** *Montaje del sistema de regulación.* Una vez construido los elementos del sistema de regulación por medio de operaciones de maquinado en el torno, taladradora y demás, se procede a colocarlos en los sitios correspondiente.

Tabla 42. Montaje del sistema de regulación

<b>MONTAJE DEL SISTEMA DE REGULACIÓN</b>		
<b>OPERACIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>TIEMPO(horas)</b>
Montaje del buje interior de regulación del eje	M12	0,25
Montaje del buje para el soporte del rodamiento	M13	0,5
Ajuste de la varilla de ½ in roscada en un extremo	M14	0,25

Ajuste del volante con rosca de ½ in	M15	0,1
Montaje de la barra rectangular de 440x36x7mm	M16	0,1
<b>SUBTOTAL:</b>		1,2

Fuente: Autor

**5.5.4** *Montaje del sistema de descarga.* Se refiere al montaje de la tolva, platos de descarga por medio de pernos y otros elementos de sujeción.

Tabla 43. Montaje del sistema de descarga

<b>MONTAJE DEL SISTEMA DE DESCARGA</b>		
<b>OPERACIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>TIEMPO(hora)</b>
Montaje de la tolva	M17	0,5
Montaje del plato de descarga desde la tolva	M18	0,1
Montaje del soporte estructural del plato de descarga	M19	0,1
Montaje del ducto de descarga principal	M20	0,2
<b>SUBTOTAL.</b>		0,9

Fuente: Autor

**5.5.5** *Montaje del sistema de transmisión.* Estos sistemas consta en la colocación de las poleas con ajuste apretado en los respectivos ejes.

Tabla 44. Montaje del sistema de transmisión

<b>MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>		
<b>OPERACIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>TIEMPO(hora)</b>
Montaje de la polea conducida de 14 in de diámetro	M21	0,1
Montaje de la polea conducida de 4 in de diámetro	M22	0,1
Montaje de la polea motriz de 2 ½ in de diámetro	M23	0,1
Montaje de la polea motriz de 2 in de diámetro	M24	0,1
Montaje de la banda trapezoidal A-53	M25	0,1
Montaje de la banda trapezoidal A-28	M26	0,1
Montaje del rodamiento de bolas	M27	0,25
Montaje de la chumacera	M28	0,25
<b>SUBTOTAL:</b>		1,1

Fuente: Autor

**5.5.6** *Montaje del sistema de extracción de la cáscara.* Toma en cuenta el desarrollo del montaje de los ductos y el ventilador con sus componentes.

Tabla 45. Montaje del sistema de extracción de la cáscara

<b>MONTAJE DEL SISTEMA DE LA EXTRACCIÓN DE LA CÁSCARA</b>		
<b>OPERACIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>TIEMPO(hora)</b>
Montaje del ducto de salida de la cáscara	M29	0,1
Montaje de álabes	M30	0,5
Montaje del plato de soporte de los álabes	M31	0,2
Montaje del buje de los álabes	M32	0,25
Montaje del buje para soportes de los rodamientos	M33	0,1
Montaje del rodamiento	M34	0,25
Montaje del envolvente del rotor	M35	0,1
Montaje del eje del rotor	M36	0,5
SUBTOTAL:		2

Fuente: Autor

**5.5.7** *Montaje del sistema eléctrico.* Colocar los motores en los sitios que le corresponde para su funcionamiento y su colocación del tablero de mando.

Tabla 46. Montaje del sistema eléctrico

<b>MONTAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO</b>		
<b>OPERACIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>TIEMPO(horas)</b>
Montaje del motor eléctrico 3 Hp	M37	0,5
Montaje del motor eléctrico 1 Hp	M38	0,5
Montaje del gabinete 30x30x20	M39	0,1
Montaje del cable concéntrico 3x8	M40	0,5
Montaje del cable concéntrico 3x10	M41	0,5
Montaje del relé térmico diferencial	M42	1,5
Montaje del contactor serie	M43	0,25
Montaje de las luces piloto	M44	0,25
Montaje del pulsador	M45	0,1
Montaje del breaker	M46	0,1
SUBTOTAL:		4,3

Fuente: Autor

Al sumar todo estos tiempos que ha llevado el montaje de equipo, se estima un tiempo de 24,5 horas.

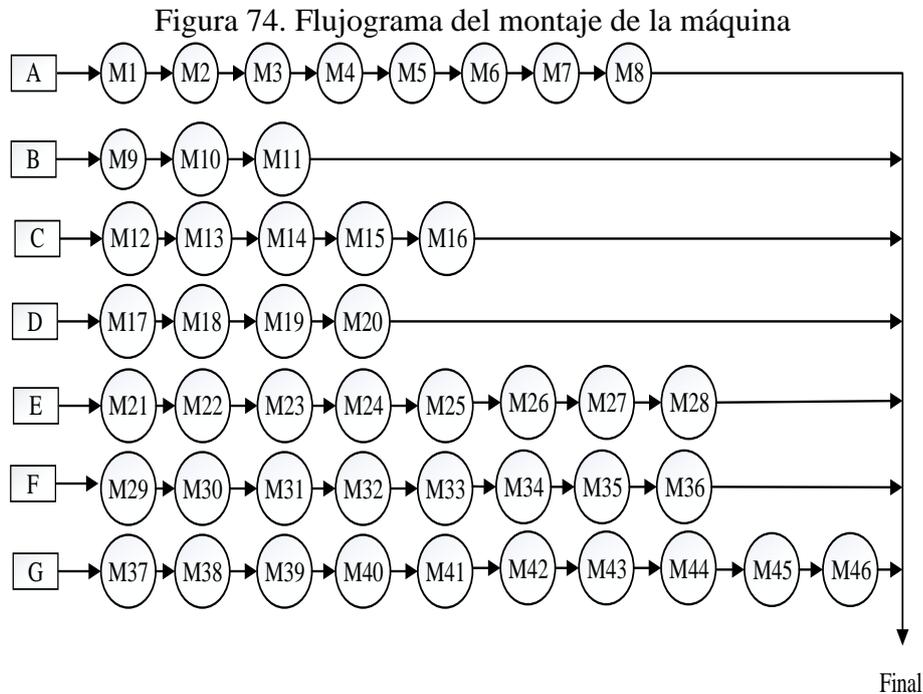
Tabla 47. Tiempo total de construcción

<b>PROCESO</b>	<b>TIEMPO(horas)</b>	<b>TIEMPO (días lab.)</b>
Tiempo de construcción	98,8	12,35
Tiempo de montaje	24,5	3,0625
Tiempo total de construcción	123,3	15,4125

Fuente: Autor

## 5.6 Flujograma del montaje de la máquina peladora de soya.

Se toma en cuenta el armado de toda la máquina desglosado anteriormente para estimar el total del tiempo que llevo sin tomar en cuenta el pintado final del equipo.



Fuente: Autor

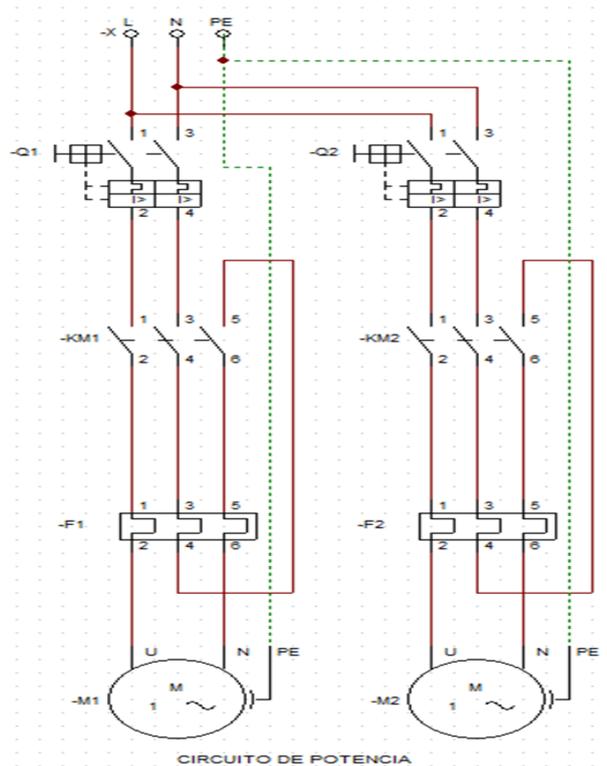
El flujo grama de la figura 75 muestra las operaciones de montaje paso a paso, además de la secuencia, se toma en cuenta el tiempo de montaje que es de 24,5 horas, añadiendo a esto el tiempo utilizado en la fabricación de distintos elementos que es de 98.8 horas. Si sumamos, se obtiene un total de 123.3 horas, equivalente a 15 días de jornada laborable.

## 5.7 Flujograma del sistema eléctrico.

El sistema eléctrico consta de dos motores eléctricos, tanto para el sistema de molienda como para el sistema de extracción de la cáscara de 3 HP y 1 HP respectivamente. Cada uno de los motores están conectados independientemente, evitando así cuando se deteriore unos de estos motores el otro seguirá funcionando normalmente. Además cuenta con tres luces piloto, dando a conocer cuando está en funcionamiento (verde), cuando está cargado eléctricamente (rojo) y cuando está en una emergencia (amarillo).

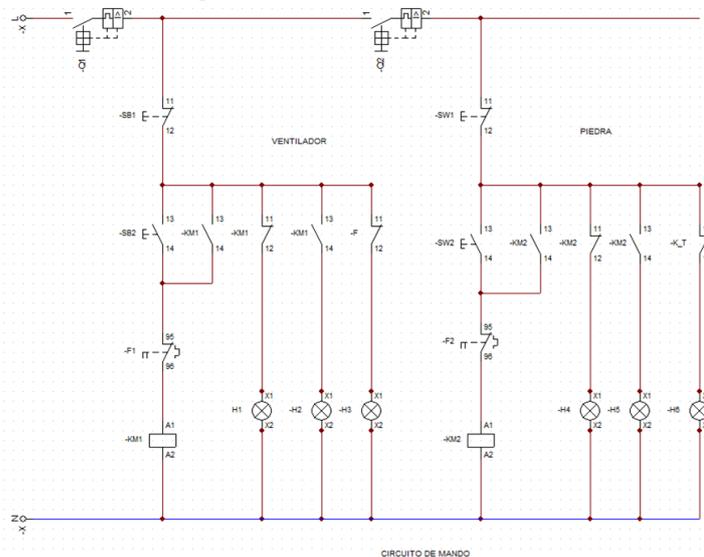
La simbología está basada según la norma IEC 1082-1 (IEC 1082-1 , 2014) que define los símbolos y reglas para el sistema eléctrico evitando así la confusión en la instalación y mantenimiento de la máquina. El sistema del circuito de potencia consta eventualmente de un disyuntor o Breaker (Q1 y Q2), de dos contactores (KM1 y KM2) conectado a un relé térmico (F1 y F2) con sus respectivos motores.

Figura 75. Circuito de potencia



Fuente: Autor

Figura 76. Circuito de mando



Fuente: Autor

## CAPÍTULO VI

### 6. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS

#### 6.1 Mantenimiento de la máquina peladora de soya

Realizar de forma periódica el mantenimiento de una máquina, hay que tener un plan de mantenimiento antes de que sea necesaria una reparación para prever los problemas y corregir en el momento oportuno.

En la siguiente tabla se muestra los tiempos en las cuales deben ser revisados por el operador para realizar cualquier mantenimiento a las partes de la máquina. Todo equipo o máquina nueva fabricada se va deteriorándose con el tiempo debido al uso prolongado para cualquier proceso de elaboración de productos, razón por la cual el fabricante debe dar algunas recomendaciones para el correcto mantenimiento que el operador vaya a realizar.

Tabla 48. Pruebas en el sistema de recuperación de energía

HORAS DE TRABAJO	SIST. ESTRUCTUR	SIST. DE MOLIENDA	SIST. DE REGULACIÓ	SIST. DE DESCARGA	SIST DE TRANSMISIÓ	SIST. DE EXTRACCIÓ N DE LA	SIST. ELÉCTRICO	OBSERVACIONES
6(D)		X						Limpieza del ducto principal de descarga
		X						Limpieza de las piedras superior e inferior de los sedimentos
162 (M)					X	X		Cambiar las bandas trapezoidal A-53
							X	Revisar el correcto funcionamiento del contactor
					X	X		Chequeo de alineamiento del eje de transmisión principal
	X		X					Revisar el ajuste de pernos y tornillos
486(T)					X	X		Revisión de anomalías en los rodamientos
			X					Revisar el correcto funcionamiento del relé térmico diferencial
		X						Aplicar lubricante TRINCO 100 en los rodamientos
2184 (A)					X			Picar las caras de las piedras para que exista mayor fuerza de fricción
								Cambiar rodamientos
						X		Revisar el funcionamiento del ventilador centrífugo
	X							Chequeo de las bisagras de la placa base porta motor de 1 Hp
	X							Revisión de las partes soldadas de la estructura metálica

Fuente: Autor

## 6.2 Análisis de costos.

El punto de vista que más se utiliza hoy día es el concepto del valor en tiempo del dinero neto a cualquiera de alguna inversión propuesta llámese a esto la fabricación de un producto como lo es la máquina peladora de soya.

Para el análisis de costos de la maquina peladora de soya primero se dividió en los diferentes sistemas de construcción y con la ayuda del software excel se procede a desplegar detalladamente. En caso de tener una línea de producción de estos equipos, los costos se analizan tales como de producción, comercialización, de administración y los de financiación; para nuestro caso es importante determinar los costos según su asignación tales como costos directos e indirectos.

**6.2.1 Costos directos.** Los costos directos son aquellos que intervienen directamente en la construcción de la maquina peladora de soya como son materiales, mano de obra, equipos, herramientas y transporte.

**6.2.2 Costo de materiales.** Los materiales utilizados en se adquieren en los almacenes dedicados a ofrecer productos de construcción tomando en cuenta los costos económicos y calidad del producto de acuerdo a las especificaciones de las normas para los aceros.

Tabla 49.Costo de materiales

ELEMENTOS	UNID	PRECIO UNITARIO	CANT.	SUBTOTAL
Tubo cuadrado 1 ½ “x2mm (Estructura)	U	20,62	2	41,24
Plancha de acero inoxidable 440 (2mm, placa superior)	U	212,75	1	212,75
Chapa de acero inox AISI 304 (0,7mm)	m <sup>2</sup>	17,83	1,677	29,90
Plancha ASTM A36, 110x230x3mm (Base para motor)	m <sup>2</sup>	35	0,0242	0,85
Acero inox AISI 304 (1,5 mm) Soporte caída de grano	m <sup>2</sup>	19,75	0,115	2,27
Plancha ASTM A36 200x200x3mm (soporte piedra)	m <sup>2</sup>	36	0,0676	2,43
Perno 7/16 in	U	0,6	3	1,8
Piedra superior de molienda	U	175	1	175
Piedra inferior de molienda	U	175	1	175
Eje de transmisión AISI 1018 1 ¼”x50	Kg	5,1	3,5	17,85
Tubo ASTM A53 2 ½ in (Buje interior regulación del eje)	U	3,54	1	3,54

Tubo ASTM A53 3in (Buje soporte rodamiento)	U	3,96	1	3,96
Varilla de ½ in roscada en un extremo	U	5,5	1	5,5
Volante con rosca de ½ in	U	20	1	20
Barra rectangular de 440x36x7mm	U	5	1	5
Perno con arandela M10x1,25	U	0,8	2	1,6
Pernos 3/16in	U	0,3	4	1,2
Acero inox AISI 304 (Tolva)	m <sup>2</sup>	19,75	0,37	7,31
Acero inox AISI 304 (Plato descarga tolva)	m <sup>2</sup>	19,75	0,031	0,61
Angulo ASTM A36 L 20x20x3mm (Estructura plato descarga)	Kg	1,15	0,133	0,15
Acero inox AISI 304 (1,5mm) Ducto de descarga principal	m <sup>2</sup>	19,75	0,404	7,98
Polea conducida de 14 in de diámetro	U	10,5	1	10,5
Polea conducida de 4 in de diámetro	U	3,75	1	3,75
Polea motriz de 2 ½ in de diámetro	U	2	1	2
Polea motriz de 2 in de diámetro	U	1,75	1	1,75
Banda trapezoidal A-53	U	17,25	2	24,5
Banda trapezoidal A-28	U	9	1	9
Rodamiento de bolas SKF	U	15,75	3	47,25
Chumacera FAG	U	5,5	1	5,5
Acero inox AISI 304 (Ducto salida cáscara)	m <sup>2</sup>	19,75	0,293	5,79
Plancha galvanizada (Álabes)	U	72	1	72
Plato del soporte de los álabes	U		1	0
Buje de los álabes	U	25	1	25
Buje para soportes de los rodamientos	U	25	1	25
Rodamientos de bolas SKF	U	15,75	1	15,75
Plancha ASTM A36 (Envolvente rotor)	m <sup>2</sup>	35	0,178	6,23
Eje de transmisión AISI 1018 1" x 80 de rotor	Kg	5,1	0,091	0,464
Motor eléctrico monofásico 3 Hp	U	294,64	1	294,64
Motor eléctrico monofásico 1 Hp	U	125	1	125
Gabinete 30x30x20cm	U	24,62	1	24,62
Cable concéntrico 3x8 CL	U	3,54	6	21,24
Cable concéntrico 3x10 CL	U	2,89	6	17,34
Relé térmico diferencial	U	27,18	2	54,36
Contactador serie 110 V	U	40,09	2	80,18
Luz piloto LED	U	1,35	6	8,1
Pulsadores 22 mm	U	1,87	4	7,48
Breaker 32 A	U	7,76	2	15,52
Cable flexible Automotriz	U	0,23	10	2,3
Contacaux AU-100	U	4,4	1	4,4
Electrodos AGA E6011	lb	1,82	2	3,64
Pliego de lija gruesa N° 36	U	1	1	1
Pintura anticorrosivo	U	2,3	1	2,3
<b>SUBTOTAL:</b>				<b>1642,55</b>

Fuente: Autor

Ahora se debe considerar si es necesario establecer con respecto a variables dependiendo de la actividad, productividad, o el nivel de producción en un periodo de tiempo definido, ya que a largo plazo no hay costes fijos. Una vez analizado estos tópicos, el resultado de la ganancia o pérdida en la venta de la máquina se considera.

**6.2.3** *Costos de mano de obra.* Se refiere al costo que produce el personal que construye el equipo, tomando en cuenta el tiempo y el salario de cada uno de las personas de acuerdo la ley laboral.

Tabla 50. Costo de mano de obra

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>SALAR. REAL/HORA</b>	<b>HORAS</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Ayudante	II	2,10	4,00	8,40
Ayudante mecánico	II	2,10	3,55	7,46
Hojalatero	III	2,25	11,82	26,60
Tornero	IV	3,30	22,80	75,24
Soldador	IV	3,30	9,36	30,89
Maestro electricista	IV	3,50	1,47	5,15
<b>SUBTOTAL:</b>				<b>153,72</b>

Fuente: Autor

**6.2.4** *Costos de equipos y herramientas.* Todo equipo tiene su vida útil desde su fabricación, razón por la cual genera un costo adicional directo durante la construcción de la máquina.

Tabla 51. Pruebas en el sistema de recuperación de energía

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO/HORA</b>	<b>HORAS DE EQUIPO</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Soldadora eléctrica	2,94	2,85	8,38
Taladro manual	0,84	5,3	4,45
Taladro pedestal	1,68	1,3	2,18
Torno	10,50	21,6	226,80
Aceitera	0,80	0,25	0,20
Broca	0,80	0,5	0,40
Cizalladora	1,31	2,5	3,28
Cizalladora para acero inox	1,31	3,5	4,59
Dobladora de tol	1,26	1,87	2,36
Escuadra	0,80	1,5	1,20
Esmeril	1,16	1,5	1,74
Flexómetro	0,80	0,66	0,53
Herramientas para electricistas	1,31	0,40	0,52
Machuelo	0,80	1,40	1,12
Moladora	1,16	0,40	0,46
Pulidora	1,31	0,95	1,24
Sierra manual	0,84	2,55	2,14
Compresor	1,50	1,5	2,25
Otros	1,31	2,1	2,75
<b>SUBTOTAL:</b>			<b>266,59</b>

Fuente: Autor

**6.2.5** *Costo por transporte de materiales.* El costo por transporte es de 100 dólares debido a que los materiales para la construcción de la maquina peladora de soya no fueron tan fáciles de encontrar.

**6.2.6** *Costo total directo.* Finalmente se obtiene la suma total de los gastos que generan directamente en la construcción del equipo.

Tabla 52. Costos directos

<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>COSTOS TOTALES</b>
MATERIALES	\$1642,55
MANO DE OBRA	\$153,72
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	\$266,59
TRANSPORTE	\$100,00
<b>TOTAL:</b>	<b>\$2162,86</b>

Fuente: Autor

**6.2.7** *Costos indirectos.* Los costos indirectos son aquellos que intervienen los costos ingenieriles, el cual tiene un agregado del 25% que está involucrado con la supervisión y diseño de la maquina peladora de soya.

Tabla 53. Costos indirectos

<b>COSTOS INGENIERILES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO(\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
Supervisión	40	HORAS	5,096	203,84
Diseño	30	HORAS	5,096	152,88
<b>TOTAL:</b>				<b>356,72</b>

Fuente: Autor

Una vez analizado los costos de supervisión con el asesor de mi tesis

Tabla 54. Costo total indirecto

<b>COSTOS</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
INGENIERILES	356,72
UTILIDAD	0
<b>SUBTOTAL:</b>	<b>356,72</b>

Fuente: Autor

### **6.3 Costos totales de producción.**

Tabla 55. Costos totales de producción

COSTOS DIRECTOS	2162,86
COSTOS INDIRECTOS	356,72
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>2519,58</b>

Fuente: Autor

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

El mantenimiento de la máquina debe aplicarse a todas las partes móviles de los elementos de la máquina, siguiendo los tiempos de duración mostrados en la tabla de manual de mantenimiento.

El peso de máquina es aproximadamente de unos 135.5 kg (3 qq), lo cual es fácil para el traslado del lugar entre cuatro.

Al comparar los costos entre la máquina peladora de soya construida, con los existentes en el mercado, hay una diferencia de 30% de ahorro. Lo que justifica la producción más económica en el país sin necesidad de importar de otros países.

Con la ayuda de software CAD (SolidWorks y ANSYS) se modelan los elementos mecánicos en 3D y se analizan las deformaciones y esfuerzos de ruptura que puedan causar si se aplica sobrecargas, de esta forma se disminuye los costos al momento de construir dando una idea más clara al proyecto en construcción.

Se utilizó el software MATLAB para el análisis de la trayectoria de la soya sobre la piedra.

El programa Working Model ayudó al cálculo de la velocidad de genera la piedra inferior al momento de girar

#### 7.2 Recomendaciones

La máquina debe estar instalado en un lugar seco, libre de polvos, abierto al medio ambiente para evitar el ruido.

Las instalaciones eléctricas del lugar deben estas correctamente instaladas a 110 V, para evitar cortocircuitos u otras anomalías.

Se recomienda utilizar lubricante TRICO 100 existentes en el mercado de grado 35.

Luego del uso la máquina limpiar adecuadamente todas las partes externas con una brocha, para evitar oxidación de los mecanismos.

Colocar una protección que abarque toda la transmisión por correas del motor de 1 Hp.

Generalmente se recomienda calentar la soya para poder.

Colocar un ciclón en el ducto de salida para poder recoger la cáscara y el polvo.

## BIBLIOGRAFÍA

- CENICAFÉ. 2012.** Ventiladores para secadores de café. *Ventiladores para secadores de café*. Febrero de 2012. <http://www.cenicafe.org/es/publications/lib37751.pdf>. ISBN: 978-958-8490-11-3.
- ENGSKO.2012.**[http://abulkhase.com/images/stories/Agricultural\\_Equipments/Farm\\_tols/Mills\\_Mill\\_Stones/mills\\_mill\\_stones.pdf](http://abulkhase.com/images/stories/Agricultural_Equipments/Farm_tols/Mills_Mill_Stones/mills_mill_stones.pdf).
- FAG. 2015.** [http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br.pr/72..-B\\*7206-B-TVP](http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br.pr/72..-B*7206-B-TVP).
- HALL, Allen, HOLOWENCO, Alfred y LAUGHLIN, Hernán.** Diseño de máquinas. Colombia : McGraw-Hill.
- IEC2014.**[http://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/sist\\_Log/MEC%20&%20ELEC%202013/APUNTES%20COMUNES/simbolos\\_electrotecnia1082.pdf](http://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/sist_Log/MEC%20&%20ELEC%202013/APUNTES%20COMUNES/simbolos_electrotecnia1082.pdf).
- MILLSTONES & STONE GRINDING MILLS PAGE. 2015.** [Citado el: 21 de junio de 2015.] <http://www.danagri-3s.com/stonesandmills.html>.
- NORTON, Robert. 2011.** *Diseño de máquinas*. [ed.] Luis Miguel Cruz Castillo. [trad.] Antonio ENRIQUEZ. Cuarta. México D.F : Prentice Hall, 2011. pág. 126. Vol. 1. 978-607-32-0589-4.
- OZTURK, H. y KIBAR T. 2008.** Physical and mechanical properties of soybean. *Physical and mechanical properties of soybean*. 2008.[http://www.old.international-agrophysics.org/artykuly/international\\_agrophysics/IntAgr\\_2008\\_22\\_3\\_239.pdf](http://www.old.international-agrophysics.org/artykuly/international_agrophysics/IntAgr_2008_22_3_239.pdf).
- RAMOS, Darwin. 2012.** *Diseño y simulación por computador de una máquina peladora de soya hidratada, con una capacidad de 50 kilogramos por hora*. Escuela Politécnica nacional. Quito : s.n., 2012. pág. 42.
- SALINAS, Galecio. 2012.** *Analisis matemático I*. Riobamba : s.n., 2012.
- SERWAY, R. y JEWETT, J. 2008.** *Física para ciencias e ingeniería*. México : ISBN-13: 978-607-481-357-9, 2008.
- SODECA. 2014.** Cálculo y diseño de sistemas de ventilación. [http://www.sodeca.com/img/es/InformacioTecnica\\_02.pdf](http://www.sodeca.com/img/es/InformacioTecnica_02.pdf).
- ULRICH, Karl y EPPINGER, Steven. 2014.** *Diseño y desarrollo de productos*. Cuarta. México D.F : Mc Graw Hill, 2014. pág. 147.
- UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.** Transmisión por correo.[http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material\\_clase/ocw\\_correas2](http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/ocw_correas2).
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN. 2015.** Chutes o tolvas. *Chutes o tolvas*. 2015. [http://es.slideshare.net/mauricioantonio1291/tolvas?from\\_action=save](http://es.slideshare.net/mauricioantonio1291/tolvas?from_action=save).
- WEG. 2014.** [http://ecatalog.weg.net/tec\\_cat/tech\\_motor\\_sel\\_web.asp#](http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp#).

