



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS PARA EL SECTOR AGRICULTOR”

**ALTAMIRANO FREIRE JORGE ANÍBAL
PILCO NÚÑEZ MARCO VINICIO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-05-11

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ALTAMIRANO FREIRE JORGE ANÍBAL

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE
TUNAS PARA EL SECTOR AGRICULTOR”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Sócrates Miguel Aquino
DIRECTOR

Ing. Edwin Fernando Viteri
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-05-11

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

PILCO NÚÑEZ MARCO VINICIO

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE
TUNAS PARA EL SECTOR AGRICULTOR”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Sócrates Miguel Aquino
DIRECTOR

Ing. Edwin Fernando Viteri
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ALTAMIRANO FREIRE JORGE ANÍBAL

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS PARA EL SECTOR AGRICULTOR”

Fecha de Examinación: 2017-03-31

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Sócrates Miguel Aquino DIRECTOR			
Ing. Edwin Fernando Viteri ASESOR			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Geovanny Novillo Andrade
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PILCO NÚÑEZ MARCO VINICIO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS PARA EL SECTOR AGRICULTOR”

Fecha de Examinación: 2017-03-31

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Sócrates Miguel Aquino DIRECTOR			
Ing. Edwin Fernando Viteri ASESOR			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Geovanny Novillo Andrade
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.

Altamirano Freire Jorge Aníbal

Pilco Núñez Marco Vinicio

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Altamirano Freire Jorge Aníbal y Pilco Núñez Marco Vinicio, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Altamirano Freire Jorge Aníbal

Cédula de Identidad: 180467718-3

Pilco Núñez Marco Vinicio

Cédula de Identidad: 180382466-1

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios, por ser la guía de mi vida, a mis padres Luis Aníbal y María Elena por haber depositado toda la confianza para culminar esta etapa de mi vida, siendo un apoyo importante en todas las circunstancias de ella, a mis hermanos Ángel Eduardo y Daniela Lizbeth por ser la motivación para seguir adelante día a día.

Jorge Aníbal Altamirano Freire

A Dios por la sabiduría y perseverancia, a mi padre Luis Alfredo Pilco por enseñarme a vencer los obstáculos y guiarme en el mundo de la mecánica, a mi madre Luz Salome Núñez por el amor, comprensión y paciencia entregado.

A mi hermano Fernando por su apoyo, a mi hermanita Anahí por su cariño y a mis amigos quienes supieron aconsejarme.

“Desgraciado el pueblo donde los jóvenes son humildes con el tirano, donde los estudiantes no hacen temblar al mundo”. **Juan Montalvo.**

Marco Vinicio Pilco Núñez

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a Dios por permitirnos culminar este trabajo con salud, a nuestros padres, hermanos, familiares, amigos por brindarnos un apoyo incondicional.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica , a su personal docente y administrativo quienes contribuyeron de alguna manera para poder culminar nuestra meta, siendo un pilar fundamental del avance de nuestro país.

A los Ingenieros Miguel Aquino y Edwin Viteri por compartir sus conocimientos y ser un aporte importante para la culminación del trabajo.

Jorge Aníbal Altamirano Freire

Marco Vinicio Pilco Núñez

CONTENIDO

	Pág.
1	INTRODUCCIÓN..... 1
1.1	Antecedentes. 1
1.2	Formulación del problema. 2
1.3	Justificación..... 2
1.4	Objetivos. 3
1.4.1	<i>Objetivo General.</i> 3
1.4.2	<i>Objetivos Específico.</i> 3
2	ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS. 4
2.1	La tuna. 4
2.2	Tipos de tunas..... 4
2.2.1	<i>Amarilla con espinas:</i> 4
2.2.2	<i>Tuna blanca.</i> 5
2.2.3	<i>Tuna silvestre.</i> 5
2.3	Morfología de la tuna. 6
2.3.1	<i>Índices de madurez.</i> 6
2.3.2	<i>Consistencia de la pelusa.</i> 7
2.3.3	<i>Grosor de la cáscara.</i> 7
2.3.4	<i>Inclinación de las espinas según su naturaleza.</i> 7
2.3.5	<i>Dimensiones de los frutos.</i> 8
2.4	Tipos de limpieza para la tuna..... 12
2.4.1	<i>Remoción de espinas con escobas.</i> 12
2.4.2	<i>Remoción de espinas sobre malla.</i> 13
2.4.3	<i>Máquina desespinaadora con banda transportadora y agua.</i> 14
2.4.4	<i>Máquina desespinaadora por aspiración con aire</i> 14
2.4.5	<i>Máquina desespinaadora por cepillo rotatorio.</i> 15
2.5	Metodología de diseño mecánico. 16
2.5.1	<i>Diseño Mecánico.</i> 16
2.5.2	<i>Fases de diseño.</i> 17

2.5.3	<i>Etapas de proceso de diseño.</i>	18
2.6	Software a utilizar en el diseño de la máquina limpiadora de tunas.	20
3	PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS	20
3.1	Fases de diseño.	20
3.1.1	<i>Análisis.</i>	20
3.1.2	<i>Síntesis.</i>	20
3.1.3	<i>Simulación.</i>	21
3.1.4	<i>Evaluación.</i>	21
3.2	Análisis de alternativas.	22
3.2.1	<i>Definición del producto.</i>	22
3.2.2	<i>Definición del problema.</i>	22
3.2.3	<i>Necesidades del cliente.</i>	23
3.3	Desarrollo de la función de la calidad (QFD).	24
3.3.1	<i>La casa de la calidad.</i>	24
3.3.2	<i>Especificaciones del producto.</i>	29
3.3.3	<i>Diseño conceptual.</i>	29
3.3.4	<i>Estructura funcional.</i>	29
3.4	Definición de módulos.	31
3.4.1	<i>Soluciones para cada módulo.</i>	31
3.5	Alternativas de módulos.	36
3.5.1	<i>Evaluación y selección para el módulo.</i>	37
3.6	Características de la máquina limpiadora de tunas seleccionada.	40
3.6.1	<i>Elementos de la máquina limpiadora de tunas.</i>	41
4	DISEÑO DE LA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS.	43
4.1	Requerimientos para la máquina.	43
4.1.1	<i>Sistema de limpieza de la fruta (tunas).</i>	43
4.1.2	<i>Sistema de transmisión.</i>	48
4.1.3	<i>Cálculo de velocidades.</i>	49
4.1.4	<i>Selección del motor.</i>	51
4.1.5	<i>Selección de la cadena del sistema de transmisión.</i>	55
4.1.6	<i>Selección de la cadena para la transmisión del reductor al eje del cepillo.</i> ..	55

4.1.7	<i>Selección de la cadena del sistema de transmisión de eje a eje.</i>	58
4.1.8	<i>Cálculo de cargas del eje del cepillo.</i>	61
4.1.9	<i>Resistencia a la fatiga.</i>	70
4.1.10	<i>Acople del cuerpo del cepillo con el eje</i>	71
4.1.11	<i>Cálculo de la velocidad crítica del eje</i>	71
4.1.12	<i>Selección de rodamientos.</i>	73
4.2	<i>Sistema de ventilación de las espinas.</i>	75
4.2.1	<i>Selección del ventilador</i>	76
4.3	<i>Sistema de alimentación, desfogue de la fruta y espinas.</i>	77
4.3.1	<i>Sistema de alimentación.</i>	77
4.3.2	<i>Sistema desfogue de las tunas.</i>	78
4.3.3	<i>Sistema de desfogue de las espinas.</i>	78
4.3.4	<i>Selección de las ruedas domésticas.</i>	80
4.3.5	<i>Diseño de la estructura metálica de soporte</i>	81
4.3.6	<i>Sistema eléctrico</i>	86
5	CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS	93
5.1	<i>Construcción.</i>	93
5.1.1	<i>Componentes de la máquina y la tecnología de construcción</i>	94
5.1.2	<i>Procedimiento de construcción.</i>	95
5.1.3	<i>Tiempos de construcción de la máquina limpiadora de tuna.</i>	96
5.1.4	<i>Flujograma de construcción.</i>	100
5.2	<i>Montaje de la máquina limpiadora de tunas.</i>	106
5.2.1	<i>Montaje del sistema estructural.</i>	106
5.2.2	<i>Montaje Sistema motriz.</i>	107
5.2.3	<i>Montaje Sistema Eléctrico.</i>	108
5.3	<i>Pruebas de la máquina limpiadora de tunas</i>	109
5.3.1	<i>Plan de pruebas de funcionamiento.</i>	109
5.3.2	<i>Pruebas mecánicas de la máquina limpiadora de tuna.</i>	111
5.3.3	<i>Verificación de la capacidad de producción.</i>	113
5.4	<i>Verificación de los requerimientos.</i>	115
5.4.1	<i>Verificación de los requerimientos del usuario (voz del usuario).</i>	115
5.4.2	<i>Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero).</i>	116

6	MANUAL DE OPERACIONES, MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS DE LA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS.....	117
6.1	Manual de operaciones.....	117
6.1.1	<i>Vista general de la máquina.....</i>	117
6.2	Características de la máquina limpiadora de tunas.	120
6.3	Instalación del equipo.....	121
6.3.1	<i>Requisitos necesarios</i>	121
6.4	Instrucciones de operación.....	121
6.4.1	<i>Inicio del proceso.</i>	122
6.4.2	<i>Limpieza del equipo.</i>	123
6.5	Manual de mantenimiento.....	124
6.6	Riesgos y medidas preventivas.	125
6.6.1	<i>Riesgos ergonómicos.....</i>	125
6.6.2	<i>Riesgos de atrapamiento.</i>	125
6.6.3	<i>Riesgos de corte.</i>	126
6.6.4	<i>Riesgos eléctricos.....</i>	127
6.7	Análisis de costos de la máquina limpiadora de tunas.	127
6.7.1	<i>Costos directos.</i>	127
6.7.2	<i>Costos de materiales.</i>	128
6.7.3	<i>Costos de mano de obra.</i>	129
6.7.4	<i>Costos de equipos y herramientas.....</i>	130
6.7.5	<i>Costos de transporte.....</i>	131
6.7.6	<i>Costos totales.</i>	131
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
7.1	Conclusiones.....	133
7.2	Recomendaciones.....	134

BILBIOGRAFIA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1: Datos de las tunas grandes	9
Tabla 2: Datos de la tuna mediana.....	10
Tabla 3: Datos de la tuna pequeña	11
Tabla 4: Datos máximos de las tunas.....	12
Tabla 5: Necesidades de los clientes.....	23
Tabla 6: Especificaciones técnicas de la máquina	29
Tabla 7: Evaluación del peso específico de cada criterio del módulo.	38
Tabla 8: Evaluación del peso específico de producción.	38
Tabla 9: Evaluación del peso específico de la confiabilidad	39
Tabla 10: Evaluación del peso específico del trato con la fruta.	39
Tabla 11: Evaluación del peso específico de la limpieza.	39
Tabla 12: Solución del módulo.	40
Tabla 13: Pre diseño de la alternativa seleccionada.	41
Tabla 14: Datos de la experimentación de limpieza de la tuna.	49
Tabla 15: Fuerzas que intervienen en el cálculo de la potencia del motor.	53
Tabla 16: Reacciones y momentos máximos del eje del cepillo.	65
Tabla 17: Peso de los componentes de la máquina.....	80
Tabla 18: Cargas de la máquina limpiadora de tuna.....	82
Tabla 19: Perfiles de la estructura.....	83
Tabla 20: Requerimientos del motor	86
Tabla 21: Requerimientos del ventilador.....	86
Tabla 22: Elementos eléctricos	86
Tabla 23: Sistemas de la máquina limpiadora de tunas	94
Tabla 24: Elementos de máquina limpiadora de tunas	95
Tabla 25: Tiempos de construcción de la máquina limpiadora de tunas.	96
Tabla 26: Sub ensamble de la máquina	100
Tabla 27: Montaje del sistema estructural.	106
Tabla 28: Montaje sistema de entrada, salida de las tunas y expulsión de las espinas.	107
Tabla 29: Montaje sistema motriz.	107

Tabla 30: Montaje sistema eléctrico.	108
Tabla 31: Tiempos de construcción y montaje	109
Tabla 32: Datos obtenido en el arranque sin carga.	109
Tabla 33: Prueba a carga parcial.	110
Tabla 34: Prueba a carga total.	111
Tabla 35: Pruebas mecánicas de la máquina limpiadora de tuna.	112
Tabla 36: Verificación de la capacidad de producción.	113
Tabla 37: Resultado de potencias consumida por la máquina limpiadora de tunas.	114
Tabla 38: Tiempo de salida de las tunas.	114
Tabla 39: Porcentaje de limpieza de la tuna.	115
Tabla 40: Verificación de los requerimientos de usuario.	115
Tabla 41: Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero).	116
Tabla 42: Características de la máquina limpiadora de tunas.	120
Tabla 43: Inicio de proceso de limpieza.	122
Tabla 44: Limpieza del equipo	123
Tabla 45: Cronograma de mantenimiento.	124
Tabla 46: Costo de materiales.	128
Tabla 47: Costo de mano de obra.	129
Tabla 48: Costo de equipos y herramientas	130
Tabla 49: Costo total directo.	131
Tabla 50: Costos indirectos.	131
Tabla 51: Costo total.	132

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1: Tuna amarilla.....	5
Figura 2: Tuna blanca	5
Figura 3: Tuna silvestre	6
Figura 4: Morfología de la tuna	6
Figura 5: Inclinación de las espinas de la tuna	7
Figura 6: Remoción de espinas con escoba	13
Figura 7: Remoción de espinas sobre malla.	13
Figura 8: Máquina desespinadora con agua.....	14
Figura 9: Máquina por aspiración con aire	15
Figura 10: Máquina de cepillo rotatorio	15
Figura 11: Ciclos básicos de los modelos de resolución de problemas	17
Figura 12: Fases del proceso de diseño	18
Figura 13: Esquema de la casa de calidad	19
Figura 14: Casa de la calidad aplica al desarrollo de la máquina limpiadora de tunas... 28	28
Figura 15: Análisis funcional – Nivel 1.....	30
Figura 16: Análisis funcional – Nivel 2.....	30
Figura 17: Adecuación estructura de anclaje	32
Figura 18: Sistema multi rotativo (rodillos con cerdas poliméricas).....	33
Figura 19: Sistema transportable (banda transportadora)	34
Figura 20: Sistema Rotativo (máquina de cilindro con tornillo sin fin).	35
Figura 21: Alternativa de los módulos.....	36
Figura 22: Partes del cepillo circular.	45
Figura 23: Partes del cepillo rectangular.	45
Figura 24: Área de anclaje de la grapa y la fibra.	46
Figura 25: Distribución de agujeros de los cepillos.....	47
Figura 26: Dimensiones cepillo circular.	48
Figura 27: Dimensiones cepillo rectangular.	48
Figura 28: Experimentación de limpieza de la tuna.	49
Figura 29: Representación de velocidades.....	50

Figura 30: Caso crítico del cepillo con las tunas.	51
Figura 31: Fuerza de fricción entre la tuna y cepillo de fibra de nylon.	52
Figura 32: Potencia eléctrica.	54
Figura 33: Esquema piñón y cadena.	55
Figura 34: Esquema piñón y cadena del reductor al eje del cepillo.	56
Figura 35: Transmisión de potencia de eje a eje.	59
Figura 36: Cargas aplicadas al eje.	61
Figura 37: Diagrama de cuerpo libre del eje XY.	62
Figura 38: Reacciones del eje en XY(N).	62
Figura 39: Diagrama de cortantes del eje en XY(N).	62
Figura 40 : Diagrama de momentos flectores del eje en XY (Nmm).....	62
Figura 41 : Reacciones, cortantes, momentos flectores máximos del eje en XY (Nmm).	63
Figura 42: Diagrama de cuerpo libre del eje XZ.	63
Figura 43: Reacciones del eje en XZ (N).	64
Figura 44: Diagrama de cortantes del eje en XZ (N).	64
Figura 45: Diagrama de momentos flectores del eje en XZ (Nmm).	64
Figura 46: Reacciones, cortantes, momentos flectores máximos del eje en XZ (Nmm).	64
Figura 47: Acople de eje analizado en Ansys.	70
Figura 48: Acople de eje.	71
Figura 49: Cargas aplicadas en el eje (N).	72
Figura 50: Diámetro del eje.	72
Figura 51: Deformación del eje (mm).	72
Figura 52: Deformación del eje (mm).	72
Figura 53: Ventilador.	76
Figura 54: Tolva de alimentación.	77
Figura 55: Tolva de salida.	78
Figura 56: Tolva de desfogue de espinas.	78
Figura 57: Tapa.	79
Figura 58: Tapa lateral.	79
Figura 59: Soporte del equipo.	80
Figura 60: Estructura de la máquina limpiadora de tunas.	83

Figura 61: Perfiles de la estructura.	84
Figura 62: Cargas muertas de la máquina limpiadora de tunas	84
Figura 63: Cargas vivas de la máquina limpiadora de tunas	85
Figura 64: Análisis en SAP 2000.....	85
Figura 65: Circuito de potencia.	87
Figura 66: Circuito de mando.	88
Figura 67: Circuito energizado, apagado.	89
Figura 68: Circuito encendido.	90
Figura 69: Circuito de mando.	91
Figura 70: Seguridad del circuito.....	92
Figura 71: Flujograma de construcción del sistema estructural.	101
Figura 72: Estructura de la máquina limpiadora de tunas.	101
Figura 73: Construcción de la estructura.	102
Figura 74: Estructura de la máquina limpiadora de tunas.	102
Figura 75: Parte estructural de la máquina.	103
Figura 76: Construcción de la parte estructural.	103
Figura 77: Flujograma del sistema motriz.	104
Figura 78: Estructura del sistema de limpieza de la máquina.....	105
Figura 79: Construcción de rodillos.....	105
Figura 80: Flujograma del sistema Eléctrico.	106
Figura 81: Flujograma del montaje de la máquina limpiadora de tuna.	108
Figura 82: Máquina limpiadora de tunas.	117
Figura 83: Caja de control.	118
Figura 84: Temporizador.	119
Figura 85: Contactor.	119
Figura 86: Fuente de poder.	120
Figura 87: Interruptor trifásico.	121
Figura 88: Riesgo ergonómico.....	125
Figura 89: Riesgo de atrapamiento.	126
Figura 90: Riesgo de corte	126
Figura 91: Riesgo eléctrico.....	127

LISTA DE ABREVIACIONES

AISI	American Iron and Steel Institute
QFD	Quality Function Deployment
PVC	Policloro de Vinilo
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ASME	American Society of Mechanical Engineers
TIG	Tungsten Inert Gas

LISTA DE ANEXOS.

- ANEXO A. Fibra de nylon para cepillos.
- ANEXO B. Grapas galvanizadas
- ANEXO C. Selección del motor.
- ANEXO D. Selección del reductor.
- ANEXO E. Factor de servicio.
- ANEXO F. Selección del número de cadena.
- ANEXO G. Factor de la condición superficial.
- ANEXO H. Factor de tamaño.
- ANEXO I. Factor de confiabilidad
- ANEXO J. Factor de temperatura.
- ANEXO K. Sensibilidad a la muesca
- ANEXO L. Factor de concentración de esfuerzos por fatiga a flexión y torsión.
- ANEXO M. Par de torsión del eje.
- ANEXO N. Selección de rodamientos
- ANEXO O. Selección de la chumacera.
- ANEXO P. Sistema de ventilación.
- ANEXO Q. Propiedades acero inoxidable.
- ANEXO R. Sistema de transporte (ruedas).
- ANEXO S. Perfil T.
- ANEXO T. Perfiles L.
- ANEXO U. Perfiles tubo rectangular.
- ANEXO V. Salario de trabajadores.

RESUMEN

En la presente propuesta tecnológica, se realizó el diseño y construcción de una máquina limpiadora de tunas para el sector agricultor, la cual tiene como objetivo desprender las espinas de la tuna de una forma eficiente y segura, la máquina tiene la capacidad de limpiar 2000 tunas/h. En el estudio bibliográfico realizado de la limpieza de la tuna, se encontró que lo efectúan manualmente en la parroquia Totoras de la provincia de Tungurahua, debido a esto, se realizó una investigación de la morfología de la tuna para poder implementar un tipo de limpieza mecánica. Para un diseño mecánico óptimo se tomó la metodología expuesta por Carlos Riba; en la cual menciona fases de diseño que son: análisis, síntesis, simulación, evaluación y decisión, donde son aplicadas el diseño concurrente con la función de calidad (QFD), se seleccionó la mejor alternativa para su construcción. Se diseñaron los elementos mecánicos y eléctricos de la máquina con principios básicos de ingeniería, para luego ser validados con software de simulación como ANSYS y SAP2000. Se elaboró flujogramas de procesos para la construcción y montaje. Se realizó pruebas de la calidad superficial de la tuna, verificando que no ocurre ningún cambio morfológico en sus propiedades físicas, el rendimiento de la máquina es de más de 2000 tunas/h dependiendo del tamaño de la tuna cumpliendo con los objetivos planteados. Se sugiere seguir las recomendaciones de funcionalidad y mantenimiento de la máquina para prolongar el tiempo de vida útil.

PALABRAS CLAVES:<TUNAS HORA (TUNAS/H.)>, < TOTORAS (PARROQUIA)>, <FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)>, < METODOLOGÍA>, < DISEÑO >, <MÁQUINAS HERRAMIENTAS>, < CONSTRUCCIÓN >, < FUNCIONALIDAD>

SUMMARY

This technological proposal for the farming area is based on the design and the construction¹ of a cleaner machine of prickly pears, which detaches the thorns of the prickly pear in an efficient and safe way with a capacity to clean 2000 prickly pears/h. The bibliographical study about the cleaning process for the prickly pear; revealed that this procedure is carried out manually in Totoras, belonging to Tungurahua province. For this reason, it was conducted a research on the morphology of the prickly pear in order to be able to implement a type of mechanical cleaning. In order to accomplish an optimum mechanical design, the methodology presented by Carlos Riba; was taken as a starting point. In this methodology; the author emphasizes design phases such as: analysis, synthesis, simulation, evaluation, and decision, where the concurrent design with the quality function QFD (Quality Function Deployment) is applied, so, it was selected the best alternative for its construction. The mechanical and electrical elements of the machine were designed according to basic engineering principles to be subsequently validated by using simulation software such as ANSYS (Swanson Analysis Systems) and SAP (Solution for Structural Analysis) 2000.

Process flowcharts for the construction and assembly were created. Also; the surface quality of the prickly pear was tested, ensuring that there is not any morphological change in its physical properties. The capacity of the machine is more than 2000 prickly pears/h depending on the size of the prickly pear, this, accomplishes the stated objectives. It is suggested to follow the recommendations of functionality and maintenance of the machine to extent its lifetime.

KEYWORDS :< NOPAL/TUNA (PRICKLY PEAR)>, <TOTORAS (TUNGURAHUA PROVINCE)>, <QUALITY FUNCTION (QFD)>, <CLEANING (PRICKLY PEARS)>, <MECHANICAL DESIGN>, <TOOL MACHINES>, <ANSYS (SOFTWARE)>,<SAP2000(SOFTWARE)>.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.

En el estudio realizado por la revista “Claridades Agropecuarias” menciona que en México existen 60 plantas desespadoras, que de acuerdo con el Ingeniero Vicente Calva, Presidente del Consejo Mexicano del nopal y la tuna, solo una es eficiente. Estas plantas para la limpieza de las espinas utilizan una limpieza con cepillos y agua, produciendo daños en la tuna. (IBARRARÁN, 2000)

Según el boletín de servicios agrícolas de la FAO 162 muestra que el desespado mecánico de la tuna se lo realiza por medio de rodillos cubiertos de telas firmes pero muy ásperas, haciendo rodar a la tuna a una velocidad que no sufra daños. También se realiza con un equipo succionador de aire, que absorben las espinas. (SÁENZ, 2006)

En la revista Industrial del Campo menciona que especialistas de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) rediseñaron un equipo dirigido a optimizar los procesos de limpieza de la tuna. Coordinado por el maestro en ciencias Martín Hidalgo Reyes, académico del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UACH, el ingeniero Miguel Moya Uribe trabajó en el mejoramiento de una máquina desespadora existente, la cual provocaba daño excesivo en la tuna debido al continuo golpeteo de rodillos cubiertos por cerda (que formaban parte del diseño original) que giran a altas velocidades, afectando su calidad.

El sistema principal del equipo rediseñado por los especialistas de la UACH cuenta con tres sistemas secundarios que trabajan de manera independiente, los cuales son: traslado y limpieza, para remover las espinas, o ahuates, y transportar las tunas a una velocidad de rotación de 278.57 rpm, a través de rodillos cubiertos de cerdas girando a 60.23 rpm, con una potencia de 0.13 hp.

También, cepillos giratorios, cuyo objetivo es garantizar la limpieza del ahuate y pulir la tuna para un mejor atractivo visual, a través de cepillos con cerdas suaves y flexibles que giran a 250 rpm con una potencia de 0.19 hp; posteriormente, mediante extracto se asegura la succión de “ahuates”, evitando que se sedimenten y obstruyan la circulación del flujo de aire, sin embargo no se obtuvieron los resultados esperados. (REYES, 2009)

En la investigación realizada en Mayo de 2014, por el Departamento de Maquinaria Agrícola en la Universidad Autónoma Agraria Narro como tesis de grado, Diseño conceptual de una máquina desespinaadora de tunas como requisito para obtener Ingeniero Mecánico Agrícola (FUENTES, 2014), orienta su diseño de rodillos giratorios y a la distancia entre arreglos tomando en cuenta los diámetros de la tuna, siendo un cepillo fijo y otro móvil. Esto ayuda al conocimiento de funcionalidad de la máquina limpiadora de tunas para su construcción.

1.2 Formulación del problema.

En la parroquia Totoras de la provincia de Tungurahua, se cultiva la tuna y su limpieza de las espinas es de forma manual, ya que no existe en el mercado una máquina para la limpieza de las tunas, esto produce una inconformidad en el agricultor, ya que aumenta el tiempo y costo de producción. La limpieza de la tuna manual genera afectación en la salud de los agricultores, debido a que están expuestos al contacto con las espinas.

1.3 Justificación.

La utilización de la máquina limpiadora de tunas brindará una rápida y eficiente limpieza de la tuna, optimizando tiempo y personas para la realización del trabajo.

Con la aplicación de los procesos de desespinado, con la máquina limpiadora de tunas permitirá precautelar la salud y seguridad del agricultor y así el trabajador se sienta más seguro.

La máquina limpiadora de tunas brindará seguridad y ergonomía para el usuario mediante una fácil carga de la tuna, además los elementos que conforman dicha máquina deben tener un diseño adecuado, tanto para su operación y mantenimiento.

Se mejorará la calidad del producto terminado, ya que dará una mejor presentación en la comercialización de la tuna, manteniendo las propiedades morfológicas y químicas de la fruta.

La comercialización de la tuna será más beneficiosa para el agricultor, debido que adquiere un aspecto atractivo para el consumidor.

1.4 Objetivos.

1.4.1 *Objetivo General.*

- Diseñar y construir una máquina para la limpieza de la tuna.

1.4.2 *Objetivos Específico.*

- Realizar un estudio bibliográfico de las características de la tuna, así como los métodos de diseño mecánico.
- Analizar las propiedades másicas, geométricas, físicas y mecánicas de la tuna que intervienen en el proceso de limpieza para el diseño mecánico de la máquina.
- Analizar el diseño más adecuado para el proceso de limpieza de la tuna.
- Fabricar y evaluar la máquina limpiadora de tunas.

CAPÍTULO II

2 ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS.

2.1 La tuna.

Según la revista Claridades Agropecuarias plantea que la tuna es originaria de Mesoamérica (México), esta cactácea es nativa de América y se encuentra desde las praderas canadienses hasta el estrecho de Magallanes, pero ha sido naturalizada y cultivada en el mundo entero. (IBARRARÁN, 2000).

Según la revista Americana de Botánica, plantea que la “tuna es una planta de la familia de las cactáceas”, la mayoría de plantas de este género tiene tallos capaces de ramificarse formando hojas similares a una raqueta de tenis, cubiertas por diminutas espinas, emitiendo flores y frutos. En esta misma obra se indica que el fruto tiene una cáscara gruesa, espinosa, y con una pulpa abundante en pepas o semillas. El fruto maduro es una bolita en forma ovalada con diámetros de entre 5,5 y 7 cm, una longitud de 5 cm a 11 cm y un peso variable entre 43 y 220 g. La tuna es una planta originaria de América. México con más de 20 especies es el país que tiene más variedades. De ellas 12 son comestibles y comerciales. La tuna posee calcio, hierro y mucha vitamina C. (GRIFFITH, 2004)

2.2 Tipos de tunas.

En el mundo existen varios tipos de tunas, las más conocidas tenemos amarilla con espinas, blanca, silvestre, amarilla sin espinas, forrajera, verde, purpura.

En la provincia de Tungurahua existen tres tipos de tunas con espinos, cada una con diferentes propiedades físicas, místicas, geométricas.

2.2.1 *Amarilla con espinas:*

Esta es una variedad, producto del cruce entre la tuna silvestre y la tuna amarilla sin espinas, provocada por la polinización de los insectos. Su fruto es grande y redondo.

Es muy apreciada por su comida amarillenta que la vuelve atractiva (EL COMERCIO, 2011).

Figura 1: Tuna amarilla

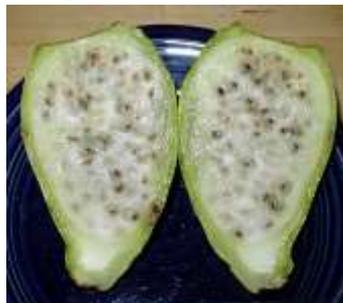


Fuente: Autores

2.2.2 *Tuna blanca.*

Esta variedad tiene el fruto alargado. La pulpa tiene un sabor más dulce que el resto de tunas. Entre las ventajas está que es la planta más resistente al ataque de las enfermedades. También es de fácil manejo, pues casi no posee espinas (EL COMERCIO, 2011)

Figura 2: Tuna blanca



Fuente: Autores

2.2.3 *Tuna silvestre.*

Esta planta crece libremente en el campo. Se caracteriza por tener hojas y fruto más pequeño que el resto de variedades. La mayoría de plantas está plagada por la cochinilla, un parásito del que se extrae un colorante natural de uso industrial (EL COMERCIO, 2011).

Figura 3: Tuna silvestre

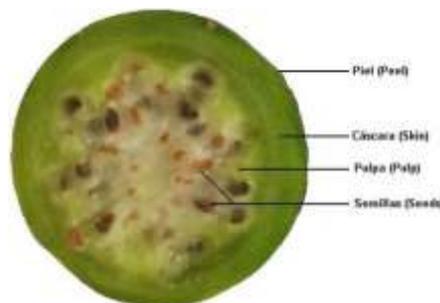


Fuente: (FAO, 2006)

2.3 Morfología de la tuna.

La tuna es un fruto verrugoso periforme, comestible de pulpa carnosa y dulce, sus flores en forma de corona nacen de las areolas en los bordes de los segmentos, sus frutos y flores pueden ser de diversos colores desde el amarillo al rojo. (EL COMERCIO, 2011).

Figura 4: Morfología de la tuna



Fuente: Autores

2.3.1 Índices de madurez.

El grado de madurez en que se coseche depende del mercado al que va destinada la tuna. El grado de madurez es importante para mantener el producto en buenas condiciones durante el tiempo necesario hasta el consumidor final. Entre los índices visuales para determinar el grado de madurez están:

Color: el color de la tuna pasa de un matiz verde oscuro a verde claro; luego se torna amarillento y termina en un color rojizo cuando alcanza su plena madurez.

Brillo: según los productores, cuando la tuna está madura cambia su aspecto de opaco a brillante, lo que indica que ya está lista para la cosecha.

Fruto: la forma ovalada y uniforme del fruto es uno de los signos de que éste se encuentra en condiciones para la cosecha.

2.3.2 *Consistencia de la pelusa.*

El fruto posee en la superficie una especie de espinas muy finas conocidas como pelusas, o ahuates, las cuales son fuertes cuando el fruto está verde, pero se vuelven frágiles y fáciles de desprender a medida que avanza su grado de madurez.

2.3.3 *Grosor de la cáscara.*

Existen diferencias notorias del grosor de la cáscara entre un fruto verde y uno que inicia su maduración, así como entre los de distintos grados de madurez.

2.3.4 *Inclinación de las espinas según su naturaleza.*

La tuna en el proceso de maduración los diámetros de los espinos van disminuyendo, teniendo 0.9 a 10 mm, siendo su forma polar, teniendo varias inclinaciones de 0° a 180° desde su base. (CASTRO, 2009).

Figura 5: Inclinación de las espinas de la tuna



Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 5, las espinas en el fruto tienen varias direcciones y el ángulo va cambiando según la forma de la tuna, la inclinación y su distribución de

los espinos en la tuna (fruto) es muy importante para poder seleccionar la forma de limpieza mecánica.

2.3.5 Dimensiones de los frutos.

Existen diferencias evidentes en las dimensiones de las tunas, para esto se ha tomado tres clases de tunas, en forma experimental para determinar su peso, ancho y longitud, la cual se muestra en las siguientes tablas. La experimentación se realiza con las tres diferentes variedades de tunas, cultivadas en la zona interandina como es la amarilla con espinas, blanca y silvestre. Para ello se realiza el cálculo del tamaño de la muestra donde:

$$n = \frac{K^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + (K^2 * p * q)} \quad (1)$$

Donde:

N: es el tamaño de la población o universo (100 tunas).

K: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos (1.44 con 85% de confianza).

e: es el error de la muestra deseada (5.9%).

p: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que $p=q=0.5$ que es la opción más segura.

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.

n: es el tamaño de la muestra

$$n = \frac{(1.44)^2 * 0.5 * 0.5 * 100}{(5.9)^2 * (100 - 1) + ((1.44)^2 * 0.5 * 0.5)}$$

Donde:

n = 60 muestras

La muestra para nuestra experimentaciones de 60 tunas, con un nivel de confianza del 85%

Tabla 1: Datos de las tunas grandes

GRANDE		
Peso (gr)	Ancho(mm)	Largo(mm)
176,6	61	85
185,1	64	98
145,2	54	100
172,3	57	90
156,2	58	86
145,2	58	86
150,6	58	86
134,9	50	100
135,7	57	89
145,1	57	76
137,4	53	81
154,4	59	90
131,4	59	77
131,9	57	80
129,9	52	84
137	59	70
168,7	68	90
129,2	55	77
155,9	54	95
134,9	58	70

Fuente: Autores

En los resultados obtenidos de la tabulación en la tabla 1, el mayor porcentaje de tunas grandes se consiguió con las amarillas con espinas el 60%, un 30% de tunas blancas, y un 10% de tunas silvestres.

Tabla 2: Datos de la tuna mediana

MEDIANA		
peso (gr)	Ancho(mm)	Largo(mm)
100,9	49	66
107	52	59
106,9	45	90
113	54	78
109	49	74
104,8	51	68
107,9	52	70
117,3	51	74
121,9	51	86
111,1	51	83
104,5	54	67
103,6	50	80
108,8	50	79
99,3	49	76
100,6	48	75
110,7	53	78
107	52	74
106,4	52	75
105,9	51	80
114,3	52	72

Fuente: Autores

En los resultados obtenidos de la tabulación en la tabla 2, el mayor porcentaje de tunas medianas se consiguió con amarillas con espinas el 40%, un 35% de tunas blancas, y un 25% de tunas silvestres.

Tabla 3: Datos de la tuna pequeña

PEQUEÑA		
Peso (gr)	Ancho(mm)	Largo(mm)
78,2	45	70
93,6	50	72
91,8	48	80
82,9	45	68
82	44	75
78,2	42	78
92,5	47	75
95,5	51	66
84,4	48	66
102,2	50	70
77,2	42	84
96,7	51	71
93,4	50	64
77,8	45	68
85,5	45	80
90,8	47	76
87,4	49	73
102,1	51	74
96,7	51	69
91,2	50	71

Fuente: Autores

En los resultados obtenidos de la tabulación en la tabla 3, el mayor porcentaje de tunas pequeñas se consiguió con las silvestres con 70%, tunas blancas 20% y 10% de amarillas con espinas.

En la tabla 4 esta tabulado las características físicas máximas de las diferentes clases de tunas que se encuentran en la Parroquia de Totoras de la provincia de Tungurahua.

Tabla 4: Datos máximos de las tunas

	Peso(gr)	Ancho (mm)	Longitud(mm)
Grande	185	68	100
Mediana	121	54	86
Pequeña	102	51	84

Fuente: Autores

2.4 Tipos de limpieza para la tuna.

Para la solución de nuestro problema existe principios básicos utilizados por las personas, que están realizando la limpieza de las tunas, ya sea manual, o con distinto tipo de tecnología.

Por medio de la observación en campo y bibliografía se caracteriza las siguientes formas de limpieza de las tunas.

- Remoción de espinas con escoba.
- Remoción de espinas sobre malla.
- Máquina desespinadora de tunas con banda transportadora y agua.
- Máquina desespinadora por aspiración con aire
- Máquina desespinadora por cepillo rotatorio.

2.4.1 *Remoción de espinas con escobas*

En este proceso las tunas se colocan en el suelo sobre un plástico, posteriormente se realiza un barrido con la escoba separando de esta forma espinas de la tuna. Al momento de retirar las tunas para el empaquetamiento los espinos quedan en contacto con el suelo.

Figura 6: Remoción de espinas con escoba



Fuente: Autores

Este proceso de limpieza es fácil, pero su calidad de limpieza es mínima, debido que el contacto de las cerdas de la escoba con tuna no es en su totalidad.

2.4.2 *Remoción de espinas sobre malla.*

Los frutos se colocan en el interior de una bolsa de plástico, tipo mallado, adecuado, para ser removido las tunas, para que las espinas se desprendan y caigan por medio de la fuerza de la gravedad.

Figura 7: Remoción de espinas sobre malla.



Fuente: Autores

La calidad de limpieza es mínima, ya que la fruta sufre raspaduras en su superficie, perjudicando la comercialización.

2.4.3 *Máquina desespinaadora con banda transportadora y agua.*

En este tipo de limpieza ingresa las tunas por medio de una tolva, a una tina de agua con una banda transportadora, la cual los chorros de agua desprenden a las espinas.

Figura 8: Máquina desespinaadora con agua



Fuente: sc01.alicdn.com/w/peach-lemon-orange-apple-cleaning-machine-date.jpg

La máquina desespinaadora con agua tiene los siguientes componentes:

- Tolva de alimentación.
- Banda transportadora.
- Recipiente de acero inoxidable con agua.
- Chorros de agua.

Siendo estos elementos mecánicos que brindan facilidad en la limpieza, dando ventajas al operador de seguridad laboral y de salud, teniendo un limpiado con una buena aceptación. La tuna sufre una humedad demasiado alta, y tiene el riesgo de pudrirse.

2.4.4 *Máquina desespinaadora por aspiración con aire*

Consiste en aspirar las espinas de la tuna cuando pasan por la banda transportadora.

Realizando una limpieza aceptable, pero causando riesgos laborales, ya que este método utilizado por los agricultores es peligroso porque la tuna puede salir volando centrífugamente, dado a la velocidad del cepillo. Este proceso aumenta el tiempo en la limpieza en cantidades considerables.

2.5 Metodología de diseño mecánico.

La metodología de diseño se lo efectúa en base al análisis del conjunto de herramientas, técnicas, métodos, y procedimientos, para alcanzar un objetivo. Existen varios métodos y por lo tanto va existir varias metodologías, pues dependerá de los autores y la manera de llevar acabo.

La metodología de diseño es el estudio de los métodos que tienen aplicación a las actividades de diseño y que responden a dos cuestiones principales: a) ¿Qué hacer? Son las metodologías descriptivas de diseño que intentan poner de manifiesto los métodos utilizados en el diseño a través de observar lo que hacen los diseñadores; b) ¿Cómo hacer? Son las metodologías prescriptivas de diseño que, a partir de opiniones basadas en un análisis descriptivo, recomiendan la aplicación de ciertos métodos para determinados problemas, así como también construye nuevos métodos cuando los que se dispone no son satisfactorios. (RIBA, 2002)

2.5.1 *Diseño Mecánico.*

La palabra diseño tiene diferentes significados para distintas personas, según el enfoque que se le esté proyectando.

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse. El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. (SHIGLEY, 2008)

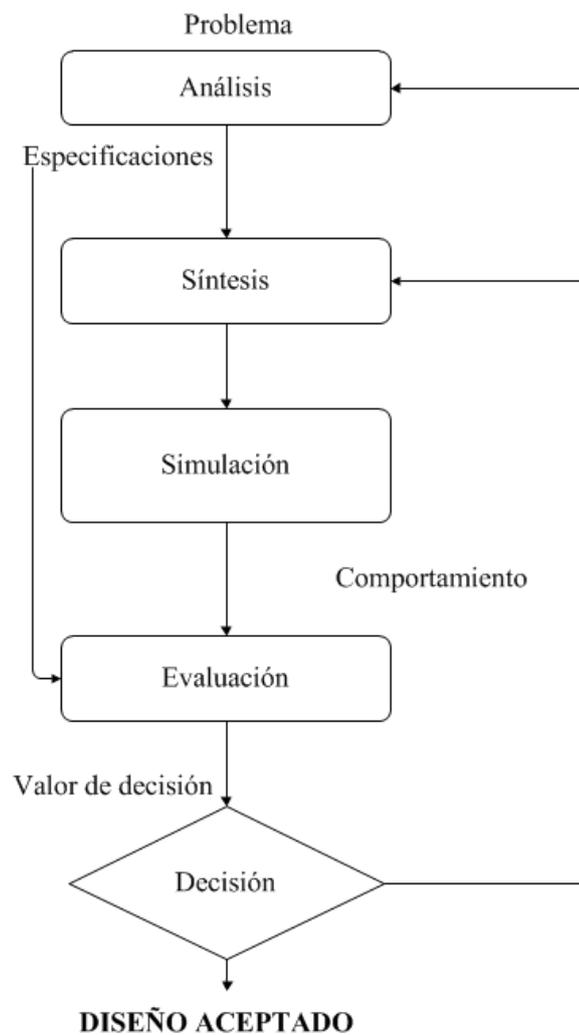
El diseño es un conjunto de actividades destinadas a concebir y definir un producto en todas las determinaciones necesarias para su posterior realización y utilización. El

resultado final se expresa por medio de documentos, entre los cuales hay dibujos técnicos. (RIBA, 2002)

2.5.2 Fases de diseño.

El ciclo básico de diseño es una forma particular del método de resolución de problemas cuyas actividades se dirigen desde los objetivos (las funciones) hacia los medios (el diseño). El ciclo básico de diseño utiliza una terminología propia con contenidos específicos en varios de sus pasos: análisis, síntesis, simulación, evaluación y decisión. (RIBA, 2002)

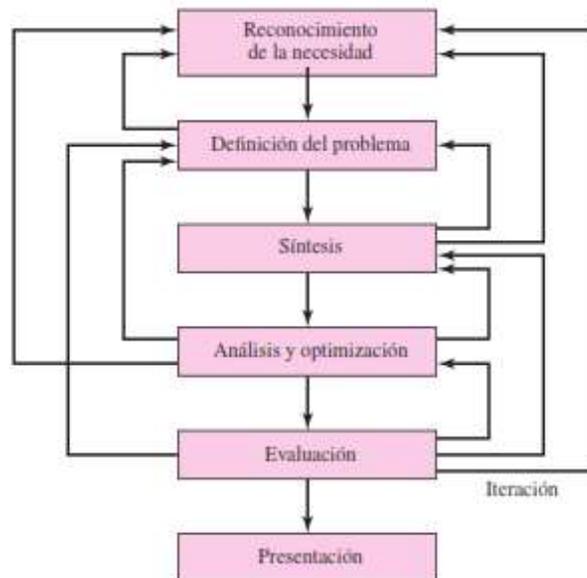
Figura 11: Ciclos básicos de los modelos de resolución de problemas



Fuente: (RIBA, 2002)

Un método de diseño con una retroalimentación, adaptando unas múltiples iteraciones hasta resolver nuestra necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de este pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación. (SHIGLEY, 2008)

Figura 12: Fases del proceso de diseño



Fuente: (SHIGLEY, 2008)

Los autores anteriormente expuestos dan a conocer cada uno de sus procesos para obtener un diseño óptimo, teniendo en cuenta toda una similitud, cambiando en algunos de procesos consecutivos a procesos iterativos.

2.5.3 Etapas de proceso de diseño.

El ciclo básico de diseño es una unidad fundamental que se aplica de forma iterativa a lo largo de todo el proceso de diseño en una secuencia en forma de espiral convergente donde cada vez las soluciones obtenidas se aproximan más a los objetivos y requerimientos del enunciado del problema. Sin embargo, debido a su carácter general y abstracto, no ofrece el suficiente alcance para establecer una metodología de diseño, por lo que conviene estructurar el proceso de diseño en grupos de actividades relacionadas que conduzcan a ciertos estados de desarrollo.

El modelo de etapas del proceso de diseño se basa en la idea que el diseño puede expresarse en cuatro niveles de definición que determinan los resultados de cada una de las etapas sucesivas:

- | | |
|---|---|
| Etapa 1: Definición del producto | Resultados: Especificación. |
| Etapa 2: Diseño conceptual | Resultados: Principios de solución, estructura funcional, estructura modular. |
| Etapa 3: Diseño de materialización | Resultados: Planos de conjunto. |
| Etapa 4: Diseño de detalle | Resultados: Planos de pieza, documentos de fabricación. |

2.5.3.1 Definición del producto.

Esta es una etapa fundamental del proceso de diseño que parte del enunciado inicial del producto y establece aquellas acciones destinadas a definirlo de forma completa y precisa. La definición del producto se establece a través de la especificación que constituye la guía y referencia para el su diseño y desarrollo. Uno de los métodos que han demostrado mayor eficacia en esta actividad es el desarrollo de la función de calidad, QFD.

Figura 13: Esquema de la casa de calidad



Fuente: (RIBA, 2002)

2.5.3.2 *Diseño conceptual.*

Esta etapa del proceso de diseño parte de la especificación del producto, origina diversas alternativas de principio de solución y, después de evaluarlas, elige la más conveniente.

2.5.3.3 *Diseño de materialización.*

Una vez elegido un principio de solución, debe materializarse el producto por medio de un conjunto organizado de piezas, componentes, enlaces, uniones y otros elementos que se harán realidad a través de los materiales, las formas, las dimensiones, los acabados superficiales y otras determinaciones.

2.5.3.4 *Diseño de detalle.*

Última etapa del proceso de diseño que, partiendo de la definición proporcionada por los planos de conjunto y la memoria anexa, tiene por objeto el despliegue de todos los documentos necesarios para la fabricación del producto. (RIBA, 2002)

2.6 Software a utilizar en el diseño de la máquina limpiadora de tunas.

En el diseño de la máquina utilizaremos software que nos permitan plasmar nuestras ideas en un gráfico en tres dimensiones, y poder afirmar los cálculos realizados en el diseño mecánico.

Los principales software a utilizar son: Solidwoks, SAP2000 V18 y ANSYS 17 que en sus módulos de entorno gráfico y análisis por elemento finito que permiten realizar un estudio de elementos mecánicos como estructurales. Que nos permiten validar los resultados obtenidos por diferentes teorías de diseño mecánico.

CAPÍTULO III

3 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS

En el desarrollo del diseño mecánico de la máquina limpiadora de tunas, realizando un análisis crítico se elige como metodología de diseño el modelo expuesto por (RIBA, 2002) el cual permite solucionar el problema desde los objetivos (las funciones) hacia los medios (el diseño) que se adapta a nuestra necesidad.

3.1 Fases de diseño.

Un ciclo básico para el diseño la cual consta de cuatro pasos los cuales son: análisis, simulación, evaluación y decisión.

3.1.1 *Análisis.*

El primer paso, parte del enunciado del problema, en base al análisis de las funciones técnicas, sociales, económicas, psicológicas o ambientales del producto o servicio, las fórmulas en especificaciones que deben guiar los pasos siguientes constituirán los criterios para evaluar las soluciones futuras.

Las actividades que lleva a término el diseñador (o equipo de diseño) para formarse una idea del problema (el análisis) son esenciales en el proceso de diseño. Deben orientarse a determinar sus posibilidades, límites y depurar las especificaciones para que en lo posible, formen un sistema suficiente.

3.1.2 *Síntesis.*

El segundo paso consiste en la generación de una o más propuestas de solución a partir de la combinación de distintos elementos, ideas y filosofías de diseño para formar conjuntos que funcionen como un todo y responder adecuadamente a las especificaciones.

Aunque la síntesis abre las posibilidades de generación de alternativas y aumenta las perspectivas de solución, el ciclo básico de diseño constituye una unidad que tan sólo ofrece todos sus frutos si las actividades creativas están bien articuladas y apoyadas en el resto de actividades del ciclo (análisis, simulación, evaluación y decisión).

3.1.3 *Simulación.*

El tercer paso consiste en obtener los comportamientos de los diseños iniciales. Dado que estos diseños iniciales suelen estar definidos por unos modelos no siempre adecuados para estudiar sus comportamientos, la simulación se convierte en una actividad compleja que comprende dos semipisos diferenciados y varios caminos posibles a recorrer:

El primer semipiso consiste en establecer modelos adecuados de los diseños iniciales (prototipos virtuales o físicos) representativos de uno o más de sus aspectos mientras que el segundo semi-paso consiste en obtener el comportamiento de estos prototipos por medio de la deducción o del ensayo.

3.1.4 *Evaluación.*

Consiste en establecer la utilidad, la eficacia, la calidad y la aceptación de las soluciones candidatas (valor de los diseños) en base a contrastar los comportamientos de los prototipos de los diseños iniciales obtenidos por simulación, ensayo u opinión, con las especificaciones establecidas anteriormente.

En el ciclo básico de diseño, más allá de contrastar el comportamiento real con el deseado, la evaluación debe ponderar el comportamiento global de distintos aspectos de los diseños candidatos a efectos de su comparación y posterior selección.

Por medio de esta metodología de diseño, permitirá analizar las necesidades del cliente basados en la calidad del producto, el cual es un método iterativo que permitirá alcanzar nuestro objetivo. (RIBA, 2002).

3.2 Análisis de alternativas.

El análisis de alternativas está sustentado al estudio de metodología que se basan para el diseño, analizadas como el diseño conceptual y el análisis que intervienen en la construcción de la máquina limpiadora de tunas.

Para el desarrollo de la máquina limpiadora de tunas se utilizó las siguientes etapas según (RIBA, 2002).

Etapa 1. Definición del producto

Etapa 2. Diseño conceptual

Etapa 3. Diseño de materialización

Etapa 4. Diseño de detalle

3.2.1 *Definición del producto.*

Aquí se analiza las necesidades que presenta el agricultor con respecto a la limpieza de las espinas de la tuna, la cual dará solución a la misma, tomando como objetivo principal los requerimientos que debe cumplir el diseño y construcción de la máquina con el agricultor. Por tal motivo, el resultado de este análisis dará a conocer las especificaciones del producto, tomando en cuenta la identificación del problema a resolver, así como las necesidades que el cliente requiere por medio de la función de la calidad, QFD. (Quality Function Deployment).

3.2.2 *Definición del problema.*

Al realizar este proyecto se pretende dar respuestas a las necesidades que el agricultor tiene al momento de realizar la limpieza de los espinos de la tuna, así como mejorar la calidad del trabajo y promover la explotación de la tuna con herramientas tecnológicas.

3.2.3 Necesidades del cliente.

En la tabla 5 se menciona los requerimientos que debe cumplir la máquina limpiadora de tunas.

Tabla 5: Necesidades de los clientes.

Concepto	Requerimientos
Función	<p>La máquina deberá limpiar la tuna hasta desprender sus espinos en su totalidad.</p> <p>Tiempo de limpieza debe ser menor al que realiza el agricultor manualmente.</p> <p>La cantidad de tunas limpias debe ser mayor al que realiza el agricultor manualmente.</p>
Dimensiones	<p>Debe ser de un tamaño, que permita trasportar de un lugar a otro con gran facilidad.</p> <p>Su ancho y longitud debe estar en función de la calidad y cantidad de limpieza de las tunas.</p>
Movimientos	<p>Debe constar de un movimiento adecuado que permita generar un rozamiento con la fruta.</p> <p>Al momento del trabajo de la máquina, la estructura debe estar estática, libre de movimiento.</p>
Fuerza	Al generar el rozamiento con la fruta, no debe lastimar a la tuna.
Energía	La máquina debe ser apta para trabajar en los campos donde exista energía capas de propulsar un motor (eléctrico).
Materiales	<p>Se debe utilizar materiales livianos y resistentes ya que la máquina es trasportable.</p> <p>El material que estará en contacto con la fruta no debe ser contaminante.</p>
Fabricación y Montaje	<p>Las partes estructurales se fabricará con tecnología que esté al alcance del diseñador, así como de la quien lo construya.</p> <p>El montaje debe ser fácil, así como el desmontaje, ya que la máquina contara con elementos desgastables.</p>
Transporte	Debe ser de fácil trasportación
Vida útil y	Debe ser de fácil mantenimiento por sus elementos des- gastables

mantenimiento	
Costos	Debe estar al alcance de la economía del agricultor.
Seguridad y ergonomía	La máquina debe ser segura para la persona que la esté operando. No debe existir algún riesgo que atente con la vida de quienes lo rodearan (niños). El operario debe sentirse cómodo durante todo el tiempo que demore la limpieza.
Impacto ambiental	El funcionamiento debe ser amigable con el ambiente. Los espinos de la tuna deberán ser almacenadas durante el proceso, para luego desecharlas.

Fuente: Autores.

3.3 Desarrollo de la función de la calidad (QFD).

Según (RIBA, 2002) manifiesta que, para el desarrollo de la función de la calidad, tiene como objetivo considerar los siguientes requerimientos del cliente en la definición del producto. Su desarrollo consta de 4 frases:

- Planificación del producto.
- Despliegue de componentes.
- Planificación de procesos.
- Planificación de la producción.

Ya que la máquina limpiadora de tuna será construida para el agricultor, se analizará la planificación del producto o casa de la calidad.

3.3.1 *La casa de la calidad.*

Al realizar la casa de la calidad las demandas o requerimientos propuesta por el agricultor pasan a ser especificaciones técnicas del producto. El análisis consta de 6 pasos:

- Voz del usuario.
- Análisis de competitividad.

- Voz del ingeniero.
- Correlaciones.
- Comparación técnica.
- Compromisos técnicos.

3.3.1.1 *Voz del usuario.*

Aquí se tomará en cuenta los requerimientos que tiene el cliente (agricultor), para esto se debe agrupar por categorías (casa de la calidad), e identificar 3 tipos de demandas:

Demandas básicas. Cuando el cliente no las exija, ya que al ser obvias a simple vista el cliente en su ausencia debe estar satisfecho.

Demandas unidimensionales. Al mejorar estas demandas aumenta la satisfacción del cliente.

Demandas estimulantes. Esta demanda es la que se diferencia de la competencia con el producto y en su ausencia no produce insatisfacción al cliente.

3.3.1.2 *Análisis de competitividad.*

Aquí se determinó la satisfacción de la demanda del producto con la competencia por parte del cliente, se requiere determinar.

- La importancia que tiene el cumplimiento de la demanda.
- El grado de cumplimiento de las demandas en los productos de la competencia
- El grado de cumplimiento de las demandas que se espera en el producto.
- Estos factores por lo general son evaluados en un rango del 1 al 5 dependiendo su importancia, los resultados obtenidos se observan en la casa de la calidad.

3.3.1.3 *Voz del ingeniero.*

Aquí se traduce las demandas del cliente en especificaciones técnicas, generando así por cada demanda en una característica técnica.

3.3.1.4 Correlaciones.

Aquí se relaciona los requerimientos del cliente con las especificaciones técnicas, estableciendo 3 niveles de relación: fuerte, liviano y débil en caso de no haber relación entre la demanda y la especificación técnica tal espacio se deja en blanco.

3.3.1.5 Evaluación técnica.

Este consiste en evaluar la incidencia que tiene cada una de las características técnicas, determinando la importancia de cada una, esta se calcula mediante la expresión.

$$Imp = \sum I_d * S_{dt} \quad (2)$$

Donde:

Imp: Importancia del criterio evaluado.

I_d : incidencias de las características técnicas.

S_{dt} : Valor de ponderación.

Compromisos técnicos.

Esto se encuentra en el techo de la casa de la calidad, la cual determina la correlación entre las especificaciones técnicas, aquí se dan tres casos de interacción:

- Correlación Positiva.
- Correlación Negativa.
- Sin Correlación.

A continuación, en la figura 14 se muestra el desarrollo de la casa de la calidad, el análisis de importancia que tiene sobre el producto cada uno de los requerimientos del cliente las cuales son:

- De fácil operación.
- Bajo ruido.
- Bajo costo de operación.
- Mantenimiento fácil y barato.
- Mayor fiabilidad.

- Recolección de los residuos.
- Pocos operarios.
- Capacidad de la máquina.
- Buena limpieza de la tuna.
- Económico.

3.3.2 Especificaciones del producto

Por medio del análisis anterior se determinó los requerimientos que cumple la máquina a construir, se analizó los requerimientos del cliente y comparo con máquinas similares a este proceso. Por medio de este análisis se definió el producto, y establecer las especificaciones y características técnicas de la máquina.

En la tabla 6 se muestra los requerimientos técnicos que se requieren cumplir la máquina limpiadora de tunas.

Tabla 6: Especificaciones técnicas de la máquina

Autonomía	4 horas de trabajo
Dimensiones	2,9m L.; 1.16m H; 0,6m A.
Peso	130 Kg.
Entrada de voltaje	220 V.
Material	Acero Inoxidable
Capacidad	2000Tunas/hora

Fuente: Autores.

3.3.3 Diseño conceptual.

Al haber definido las características técnicas de la máquina, se realizará el análisis conceptual basándonos en la estructura funcional del equipo, y posteriormente definir los módulos y así encontrar posibles soluciones para cada módulo. Y finalmente evaluar y seleccionar las mejores alternativas.

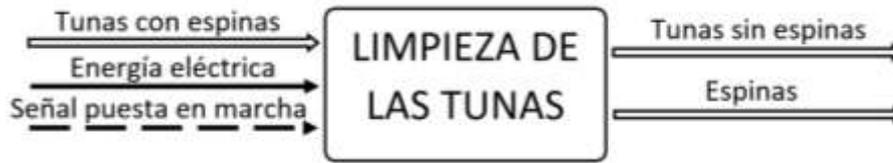
3.3.4 Estructura funcional.

Se utilizó el concepto de función para describir la transformación entre flujos de entrada y salida. Según (RIBA, 2002) dice que es la formulación abstracta de una tarea, independientemente de la solución particular que la materializa.

Para el primer nivel se presenta una función global, eso quiere decir la tarea principal que pretende resolver la máquina que se está diseñando. Una vez que ya se haya

definido la función global y los flujos de entrada y de salida se deberá en el siguiente paso generar sub-funciones que tendrán relaciones entre sí.

Figura 15: Análisis funcional – Nivel 1

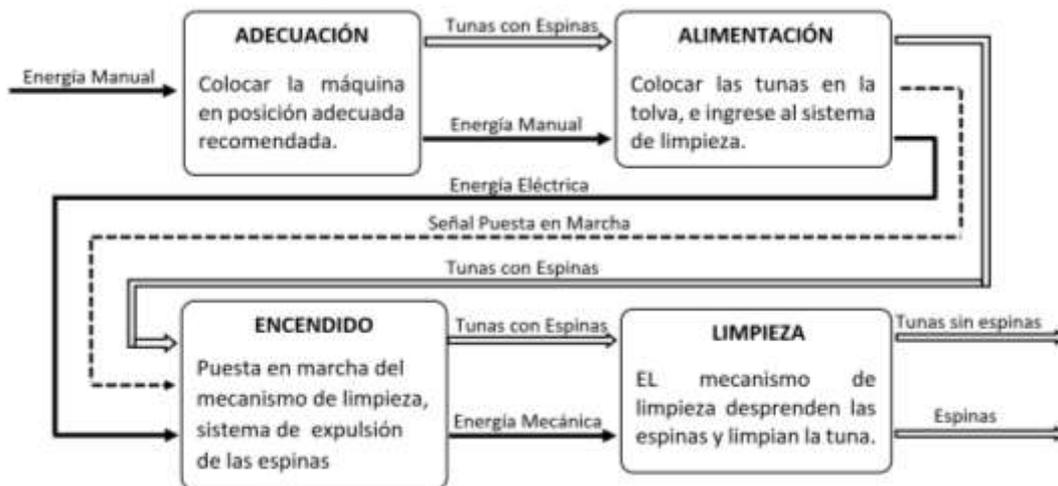


Fuente: Autores.

Para un nivel inicial el análisis funcional de las señales que ingresan son: tunas con espinas, energía eléctrica, señal puesta en marcha.

Al continuar con el análisis se identificó las funciones principales y así conseguir la función global. A continuación, se muestra el siguiente nivel de la estructura funcional.

Figura 16: Análisis funcional – Nivel 2



Fuente: Autores.

El análisis funcional de este proyecto se ha desarrollado en dos niveles, debido al sistema de limpieza, la tuna no debe maltratarse y por ello su limpieza debe ser simple y con buena calidad.

Para un nivel inicial 1 se desarrolló el análisis funcional global el cual es la limpieza de la tuna, para efectuar esta función se requiere de: tunas con espinas, energía eléctrica, señal puesta en marcha.

Ya en el nivel 2 se desglosa de forma general los procesos que va a realizar la máquina para obtener la función global que se especifica en el nivel 1, en ciertas funciones existe procesos que realiza el operador, por lo que se toma como señal de ingreso la energía manual. De la misma forma, está presente la transformación de energía como es el caso de la energía eléctrica que pasa a ser mecánica en el motor-reductor.

3.4 Definición de módulos.

Los módulos están orientados fundamentalmente a realizar una o más funciones del producto tomado en cuenta la asignación del mismo, contribuyendo a la reducción de costos, a un fácil mantenimiento debido que facilitará la producción.

En el diseño de la máquina limpiadora de tunas las funciones que permiten este proceso se da en un solo módulo, desde la adecuación hasta la limpieza obteniendo así el resultado esperado la cual es una tuna limpia y sin espinas.

3.4.1 Soluciones para cada módulo.

Aquí se genera las soluciones para nuestro módulo y posteriormente se evaluará las alternativas generadas para proceder con el diseño. El módulo cumple con las siguientes funciones:

- Adecuación.
- Encendido.
- Limpieza
- Alimentación.

A continuación, se detalla cada función del módulo y se propone posibles soluciones y así encontrar la mejor alternativa.

3.4.1.1 Adecuación.

Colocar la máquina en posición adecuada recomendada. En esta función el operario debe colocar la máquina en una superficie plana evitando que tenga cualquier desnivel,

además debe estar sujeta al piso para evitar cualquier deslizamiento a pleno funcionamiento.

Figura 17: Adecuación estructura de anclaje.



Fuente: Autores.

3.4.1.2 *Encendido.*

Puesta en marcha el mecanismo de limpieza, y el sistema de expulsión de las espinas. En este paso el operario dará inicio al sistema o mecanismo que dará limpieza a la tuna presentada las siguientes opciones.

3.4.1.3 *Limpieza.*

Sistema multi rotativo (rodillos con cerdas poliméricas).

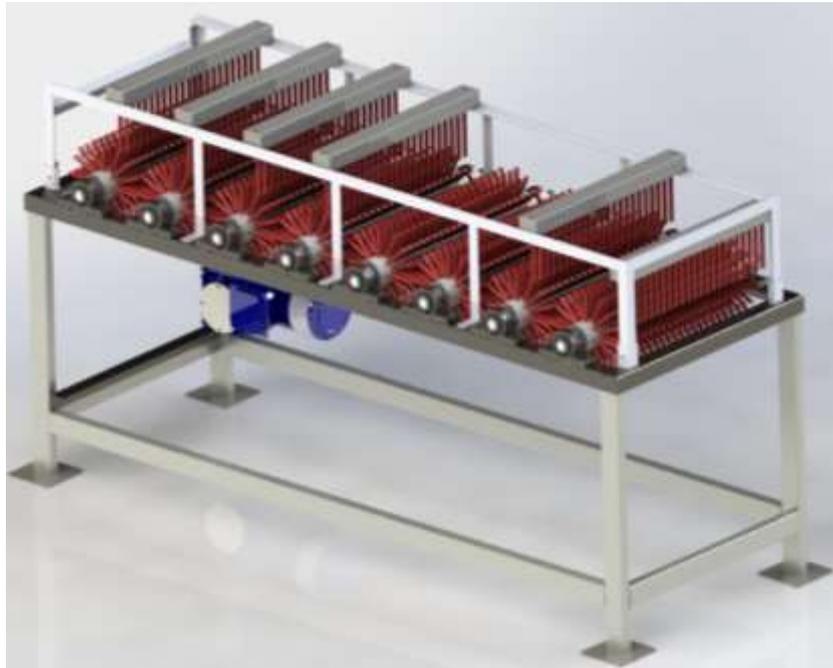
Ventajas.

- Movimiento constante.
- Mayor recorrido de limpieza.
- Rotación de la tuna
- Fácil construcción de los rodillos.

Desventajas.

Riesgos de atascamientos.

Figura 18: Sistema multi rotativo (rodillos con cerdas poliméricas).



Fuente: Autores.

Sistema transportable (banda transportadora).

El siguiente sistema consta de una banda transportadora lisa, en la cual la tuna ingresa a un sistema tipo túnel la cual se encuentran las cerdas poliméricas.

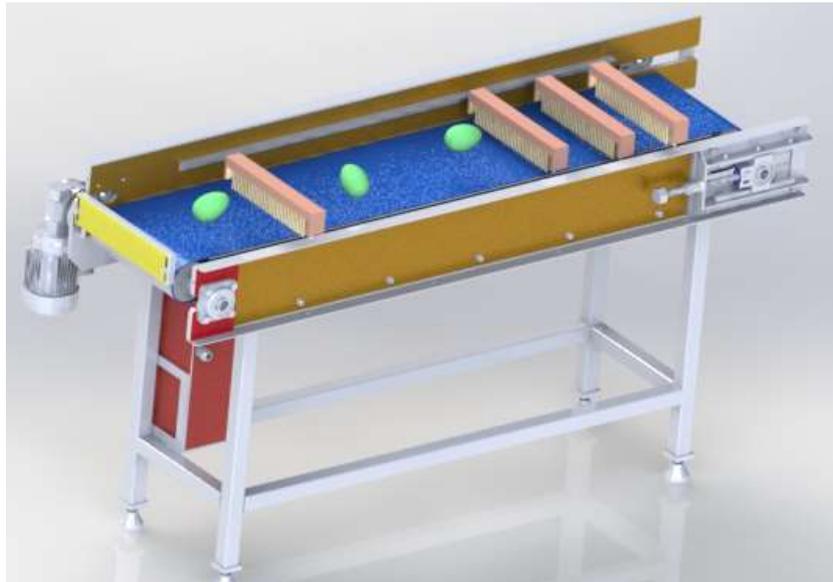
Ventajas.

- No hay riesgo de aplastamiento de la tuna.
- Movimiento continuo sin obstrucciones.
- Costos de fabricación bajos.

Desventajas.

La limpieza de la tuna solo sería en las superficies en contacto.

Figura 19: Sistema transportable (banda transportadora)



Fuente: Autores Sistema Rotativo (máquina de cilindro con tornillo sin fin).

Sistema Rotativo (máquina de cilindro con tornillo sin fin).

El sistema a continuación está compuesto por un cilindro en su interior lleva un tornillo sin fin, en el cual se han acoplado cerdas poliméricas para que al momento de girar se traslade retirando las espinas de la tuna a la vez que la lleva hacia un agujero para caer en un depósito.

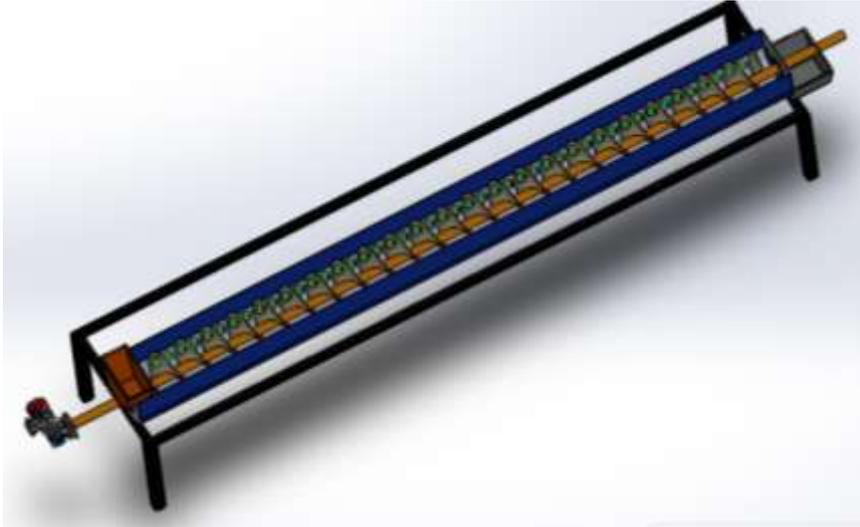
Ventajas.

- El tornillo sin fin limpia la tuna y a la misma vez permite el avance de la misma.
- La fuerza que provoca el tornillo sin fin es el necesario para retirar las espinas.
- El constante movimiento del tornillo con las cerdas hace que la tuna gire constantemente lo que hace que se retiren las espinas en su totalidad.

Desventajas.

- Altos costos de fabricación del tornillo sin fin.
- Maltrato de la fruta.

Figura 20: Sistema Rotativo (máquina de cilindro con tornillo sin fin).



Fuente: Autores.

3.4.1.4 Alimentación.

Colocar las tunas en la tolva, e ingrese al sistema de limpieza.

La tuna puede ingresar a la máquina de las siguientes formas: Manual y Automática.

Alimentación Automática. La ventaja de este proceso, es la continuidad y rapidez que la tuna ingresa a la máquina, este sistema puede ser mediante una banda transportadora en dirección a la tolva.

Una de las desventajas de este sistema es el costo de fabricación ya que involucra un nuevo mecanismo de movimiento elevando así el costo de producción de la tuna.

Alimentación Manual. Consiste en colocar de manera manual las tunas en las tolvas por el operario o persona encargada de la máquina.

Limpieza. El mecanismo de limpieza desprenden las espinas y limpian la tuna, mediante la fricción que este realiza al estar en constante movimiento y contacto el polímero (fibra sintética) con la fruta.

Ventajas.

Mayor involucimiento de la tuna con el polímero, permitiendo así una mayor área de contacto entre ambos.

Es flexible por lo que se dobla al estar en contacto, permitiendo que la tuna no se maltrate.

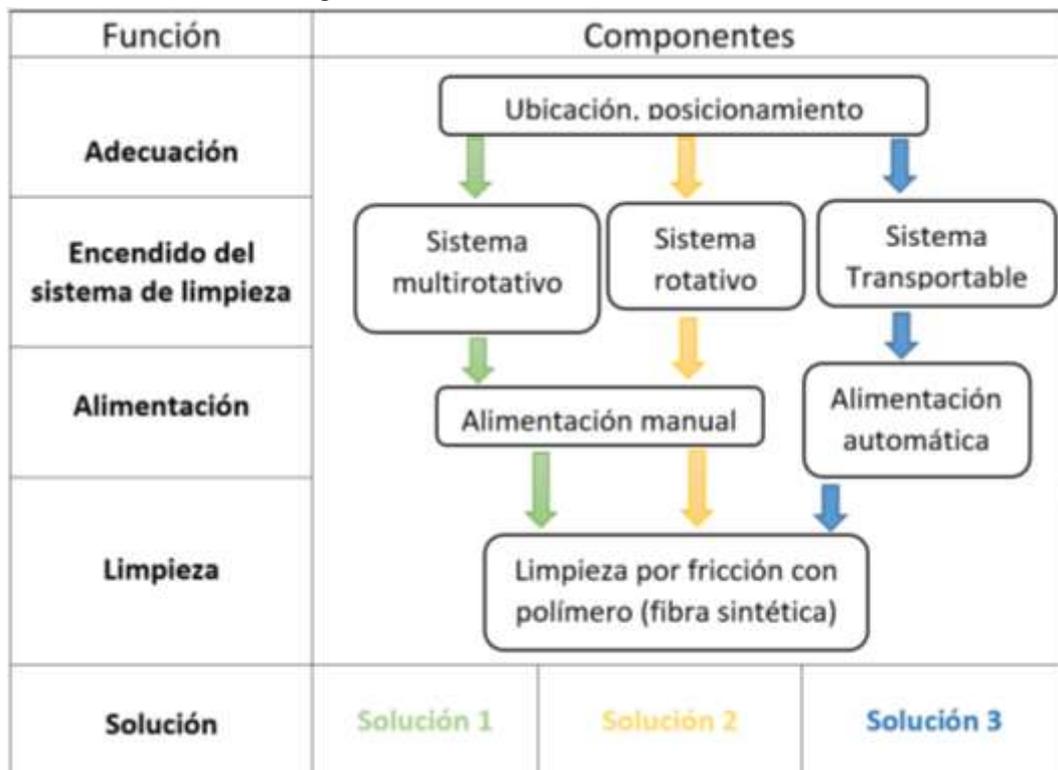
Desventaja.

Dificultad para sujetar en la base, elevando así el costo de fabricación de un cepillo.

3.5 Alternativas de módulos.

En este paso se generó soluciones del módulo y se evaluó las alternativas generadas y así proceder con el diseño, el resultado de las alternativas se muestra a continuación en la figura 21, se indica las 3 alternativas de solución empezando por el sistema de limpieza.

Figura 21: Alternativa de los módulos.



Fuente: Autores.

3.5.1 *Evaluación y selección para el módulo.*

Para decidir las soluciones que se propuso anteriormente, se aplicó el método ordinal corregido de criterios ponderados ya que este permite predecir una solución por medio de resultados globales significativos. Además, se establecieron criterios de nuestro módulo, basadas en una tabla donde cada criterio se confronta con el restante criterio asignado los siguientes valores.

Se asigna 1, si el criterio o solución de las filas es superior que el de las columnas.

Se asigna 0.5, si el criterio o solución de las filas es equivalente al de las columnas.

Se asigna 0, si el criterio o solución de las filas es inferior al de las columnas.

Selección de la solución del módulo.

En el módulo se obtuvo tres soluciones, seleccionando la más idónea de forma adecuada estableciendo criterios de evaluación que se consideraron la más ponderante.

Criterios de evaluación.

Producción Kg/h. Este criterio es considerado ya que el dimensionamiento en el diseño se define de acuerdo a la producción.

Confiabilidad.

Es de importancia debido a que garantiza la vida útil de los elementos que la conforman aumentando la seguridad de la máquina.

Trato con la fruta

En este apartado se tiene en cuenta, que la fruta no sufra ningún cambio morfológico (daño) al momento del proceso de limpieza.

Limpieza.

Aquí se toma en cuenta el grado de limpieza que realiza el sistema después de haber pasado por el mismo.

Con los criterios de evaluación establecidos se procedió a evaluar cada criterio. Los resultados de esta evaluación se muestran a continuación en la tabla 7.

Tabla 7: Evaluación del peso específico de cada criterio del módulo.

Criterio	Producción Kg/h	Confiabilidad.	Trato con la fruta.	Limpieza.	$\Sigma+1$	Pond.
Producción Kg/h	0	0,5	1	0,5	3	0,26
Confiabilidad.	0	0	1	1	3	0,26
Trato con la fruta.	0	0	0	1	2	0,17
Limpieza.	0,5	1	1	0	3,5	0,30
					11,5	1

Fuente: Autores.

A continuación, se evalúan las soluciones con respecto a los criterios.

Solución 1: Sistema multi-rotativo (rodillos con fibra sintética).

Solución 2: Sistema transportable (banda transportadora).

Solución 3: Sistema Rotativo (Máquina de cilindro con tornillo sin fin).

Tabla 8: Evaluación del peso específico de producción.

Producción Kg/h	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Pond.
Solución 1	0	0,5	1	2,5	0,36
Solución 2	0	0	1	2	0,29
Solución 3	0,5	1	0	2,5	0,36
				7	1

Fuente: Autores.

Tabla 9: Evaluación del peso específico de la confiabilidad

Confiabilidad.	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Pond.
Solución 1	0	0,5	1	2,5	0,36
Solución 2	0	0	1	2	0,29
Solución 3	0,5	1	0	2,5	0,36
				7	1

Fuente: Autores.

Tabla 10: Evaluación del peso específico del trato con la fruta.

Trato con la fruta.	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Pond.
Solución 1	0	0,5	1	2,5	0,36
Solución 2	0	0	1	2	0,29
Solución 3	0,5	1	0	2,5	0,36
				7	1

Fuente: Autores.

Tabla 11: Evaluación del peso específico de la limpieza.

Limpieza.	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Pond.
Solución 1	0	0,5	1	2,5	0,38
Solución 2	0	0	1	2	0,31
Solución 3	0,5	0,5	0	2	0,31
				6,5	1

Fuente: Autores.

Tabla 12: Solución del módulo.

Limpieza.	Producción Kg/h	Confiabilidad	Trato con la fruta.	Limpieza.	Σ	Pond.
Solución 1	0,10	0,10	0,06	0,10	0,36	1
Solución 2	0,08	0,08	0,05	0,08	0,29	3
Solución 3	0,10	0,10	0,06	0,08	0,34	2

Fuente: Autores.

En el análisis realizado indica a la solución 1 como la que más pondera en este análisis, la cual es un sistema multi rotativo (rodillos con fibra sintética).

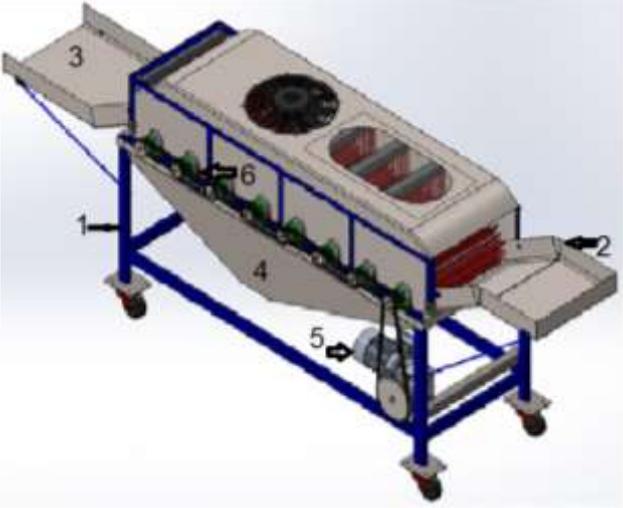
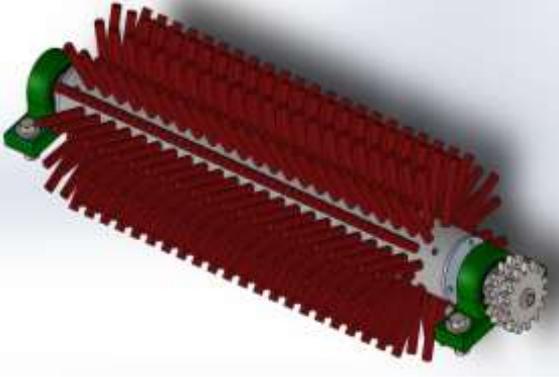
3.6 Características de la máquina limpiadora de tunas seleccionada.

Una vez que se realizó las alternativas en función del requerimiento del cliente, estos fueron evaluados para así llegar a una alternativa más idónea.

La máquina limpiadora de tunas cumple con todos los requerimientos del cliente, es la que posee un sistema multi rotativo (rodillos con fibra sintética).

Los requerimientos seleccionados paso a ser parte del criterio técnico por parte nuestra, resultando así un pre diseño más cercano a la realidad, en la tabla 13 se detallan cuáles serían los elementos que conformaría la máquina.

Tabla 13: Pre diseño de la alternativa seleccionada.

Esquema	Nombre
	Estructura.
	Tolva de alimentación.
	Tolva de salida.
	Tolva recolectora de espinas.
	Motor eléctrico.
	Sistema de transmisión.
	Los Cepillos.
	Ejes.
	Chumaceras.
	Bocines.
	Pernos de ajuste.
	Soporte de los cepillos.

Fuente: Autores.

En el diseño preliminar se tomó en cuenta la facilidad con la que se puede transportar, así como su mantenimiento, ya que deberá ser desmontable.

3.6.1 Elementos de la máquina limpiadora de tunas.

Estructura. Este soportara los distintos esfuerzos que estará sometida la máquina, permitirá que los elementos que la conforman estén bien sujetos.

Tolva de alimentación. Este será diseñando acorde a la capacidad de la máquina, esto quiere decir a la producción por minuto.

Tolva de salida. Estará en función a la tolva de entrada.

Tolva recolectora de espinas. Este se encargará de recolectar las espinas, será diseñada acorde al área por donde pasaran las tunas.

Motor eléctrico. Se seleccionará acorde a la potencia emitida por el sistema de transmisión, y las revoluciones por minuto que se requiere para una mejor limpieza, y el voltaje que se tiene en el lugar de trabajo.

Sistema de transmisión. Se seleccionará acorde a las necesidades de los cepillos, tomando en cuenta que exista un sincronismo entre ellos.

Cepillos. Se diseñará acorde a los materiales que permitan una limpieza sin dañar la fruta.

Ejes. Este será diseñado acorde a los esfuerzos que estará sometido, debido que los ejes estarán presentes en todos los cepillos ya que estos permitirán el movimiento.

Chumaceras. Se seleccionará acorde a las necesidades para acoplar los cepillos.

Bocines. Estos servirán para unir el eje con los cepillos.

Pernos de ajuste. Se seleccionará acorde a las necesidades de los elemento de sujeción.

SopORTE de cepillos. Este elemento estará acorde a las dimensiones que tome los cepillos.

CAPÍTULO IV

4 DISEÑO DE LA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS.

En este capítulo se detalla el diseño mecánico de todos los elementos de la máquina limpiadora de tunas, sustentados en principios de ingeniería. Los elementos se asegurarán que sea fácil para la manufactura, y funcionalidad.

4.1 Requerimientos para la máquina.

Limpiar los espinos de las tunas sin influir en un cambio morfológico de la fruta.

La máquina debe limpiar 2000 tunas/h.

Fácil de operación.

Adecuada para una persona de promedio normal. Según la revista el metro dice que en el Ecuador un promedio de estatura es (1.67m).

Para el dimensionamiento de la máquina debe constar de los siguientes sistemas:

- Sistema de limpieza de las tunas.
- Sistema de transmisión.
- Sistema de ventilación de las espinas.
- Sistema de alimentación, desfogue de la fruta y espinas.
- Sistema eléctrico.

4.1.1 *Sistema de limpieza de la fruta (tunas).*

Después del estudio realizado en el capítulo anterior, se llega a la concluir que debemos utilizar el sistema de limpieza con cepillos de fibra de nylon. Cepillos circulares con movimiento mecánico y cepillos rectangulares en posición estática. La limpieza se realizara con ocho cepillos rotativos, con una misma velocidad angular, y seis cepillos rectangulares estáticos, para poder tener una mayor área de contacto de la fibra con las frutas.

Las fibras son flexibles que ayudan al desprendimiento de los espinos en una forma óptima para alcanzar que la fruta no sufra ningún daño en su parte superficial.

El desprendimiento de las espinas se lo realiza por la fricción ocasionada entre el cepillo circular en rotación, la tuna y el cepillo rectangular en posición estática.

4.1.1.1 *Longitud del rodillo.*

Para determinar la longitud del rodillo se toma en cuenta los valores obtenidos en la tabla 4, de ancho, largo, peso.

El requerimiento de la máquina es limpiar 800kg/h, se tendrá 232g/s y se tomara la fruta de mayor peso que es de 185 g. Se relacionó el peso por segundo que debe limpiar con la tuna de mayor peso.

$$\begin{aligned} \#de\ frutos\ por\ segundo &= \frac{232g/s}{185g} \\ \#de\ frutos\ por\ segundo &= 1,25\ tunas/s \end{aligned}$$

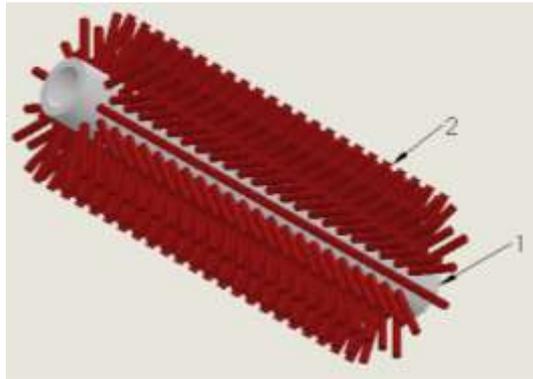
Debido que la máquina expulsará cada 4 segundos se tendrá 5 frutos en la salida.

Basándonos en la mayor longitud de la tuna (fruta), en la tabla 1 tenemos que es de 100mm. Entonces la longitud de limpieza del rodillo será de 500 mm.

4.1.1.2 *Partes del cepillo circular y rectangular.*

El cuerpo del cepillo tiene forma cilíndrica que permite controlar la velocidad angular necesaria para la limpieza de la fruta. Todos los cepillos tendrán un mismo sentido de giro. Teniendo a las fibras muy flexibles por la longitud de estas. El cuerpo es de PVC extruido, teniendo la resistencia mecánica necesaria para soportar las cargas utilizadas, teniendo facilidad en la manipulación con el agua, para no tener problemas con la corrosión, y una posible contaminación de la fruta.

Figura 22: Partes del cepillo circular.



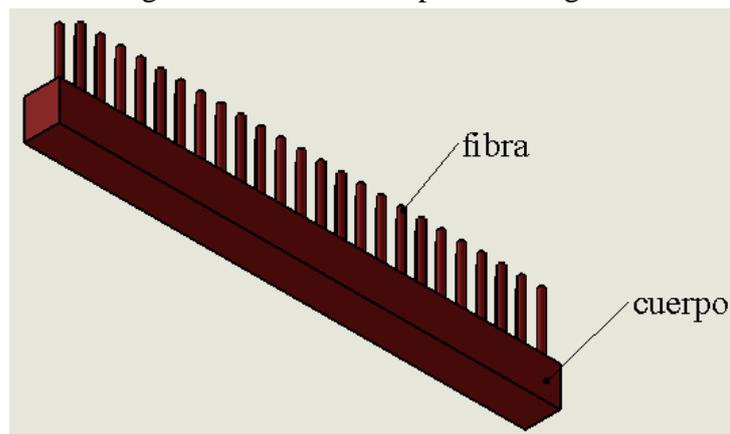
Fuente: Autores.

1. Cuerpo.
2. Fibras.

El cuerpo como las fibras es de material de polímeros, ya que el eje es de acero de transmisión, acoplado con el cuerpo del cepillo, para poder tener mayor resistencia mecánica.

Los cepillos rectangulares fijos son utilizados para tener mayor área de fricción con la fruta, y se desprendan los espinos de zonas críticas de la tuna.

Figura 23: Partes del cepillo rectangular.



Fuente: Autores.

4.1.1.3 Dimensionamiento de la fibra.

Para alcanzar un desprendimiento efectivo de las espinas de la fruta, el cepillo circular tiene que estar en forma perpendicular en cada fila de fibra, y mientras va girando alcanza diferentes grados en su posición para que se desprenda las espinas.

El cepillo rectangular es fijo, y tiene cerdas perpendiculares.

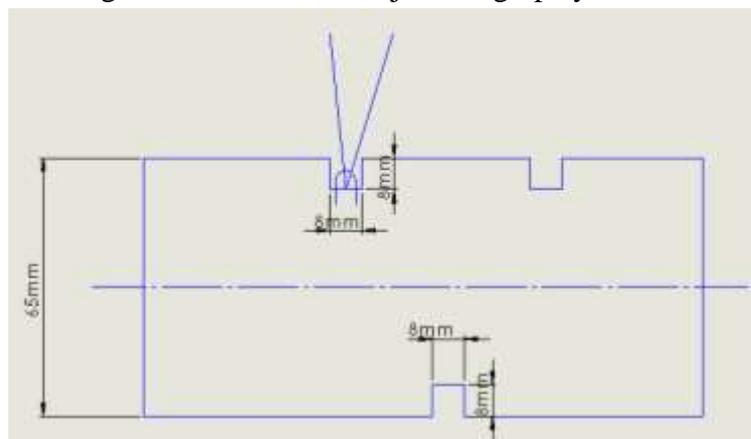
Las dimensiones de la fibra de los tipos de cepillos son de 65mm, con desgaste en las puntas para tener flexibilidad y suavidad de las fibras, para una excelente limpieza. Para la dimensión de la fibra es necesario tomar en cuenta las dimensiones de los frutos.

Las fibras no deben ser contaminantes, con recuperación elástica. Las fibras de nylon cumplen con las características necesarias para el cepillo, ya que este material es una fibra textil elástica y resistente, su diámetro escogido para en cepillo es de 0,45 mm y es de marca fibraplas. (Ver en anexo A).

4.1.1.4 Dimensionamiento de canales de sujeción.

En la sujeción de la fibra es necesario realizar agujeros en el cepillo, los agujeros tienen 8mm de diámetro y profundidad, que esto es necesario para poder anclar la fibra al cuerpo del cepillo con la grapa.

Figura 24: Área de anclaje de la grapa y la fibra.



Fuente: Autores.

Para la sujeción se realiza con grapas de 24mm de largo y 3,8mm de diámetro (Ver en anexo B), para poder ser insertadas con la fibra. Se inserta 7 onzas de fibra en cada agujero para que no queden muy rígidas las fibras. Las fibras deben ser insertadas con una considerable presión, para que en el momento de fricción con la fruta, y rotación del cepillo no se desprendan.

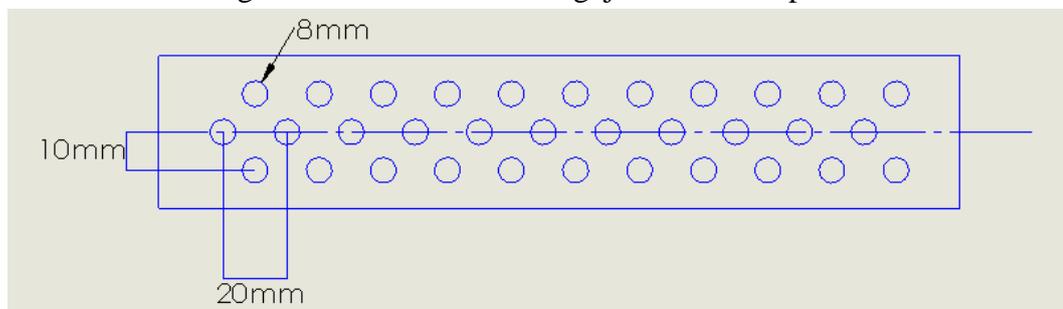
Los agujeros tienen que ser taladrados y luego fresados, para tener una base estable, y la grapa no se desprenda con facilidad.

Las grapas tienen que incrustarse con la fibra en el cepillo, con mucho cuidado debido que estas sufren una rotura por corte, y disminuye la cantidad de fibra necesaria para el cepillo.

4.1.1.5 Distribución de canales de sujeción.

Las distribuciones de los canales de sujeción son diseñadas acorde de la necesidad de poder limpiar con eficiencia los espinos de la tuna, y estos no se queden en la superficie de las fibras, ya que podrían contaminar al resto de frutas.

Figura 25: Distribución de agujeros de los cepillos.



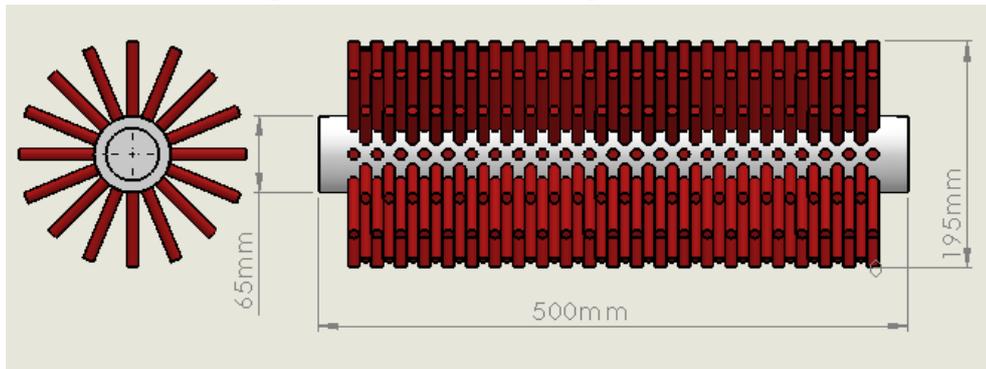
Fuente: Autores.

Los espacios son escalonados para tener una limpieza óptima. El cepillo tiene 44 filas y 16 columnas.

4.1.1.6 Dimensionamiento del cuerpo del cepillo.

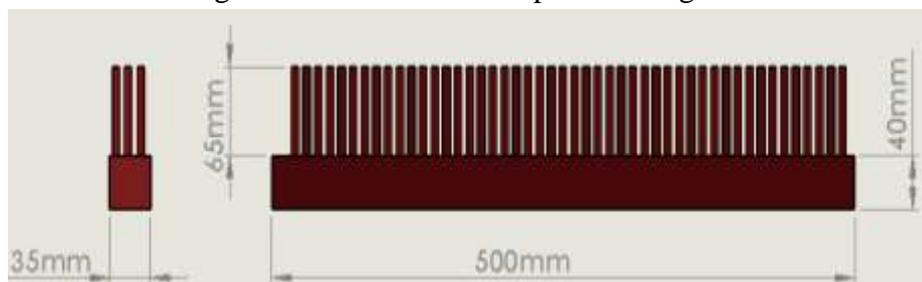
El cepillo tiene las longitudes del rodillo, que son de 500mm de largo y 195mm de diámetro. El cepillo rectangular es de 460mm de largo, 35mm de ancho y 40mm de espesor, que nos permitirá incluir las fibras adecuadamente.

Figura 26: Dimensiones cepillo circular.



Fuente: Autores.

Figura 27: Dimensiones cepillo rectangular.



Fuente: Autores.

4.1.2 Sistema de transmisión.

El sistema de transmisión es por medio del mecanismo de dos piñones enlazados por una cadena. Los rodillos tienen la misma velocidad angular, en el mismo sentido para tener una uniformidad en el instante de la limpieza.

Es impulsada por un motor de corriente alterna y con un reductor de velocidades para alcanzar la limpieza óptima de la fruta.

4.1.3 Cálculo de velocidades.

Basándose en los métodos empleados por los agricultores de la limpieza manual, con cepillos de fibras, se realizó una experimentación para determinar la velocidad lineal tentativa para el diseño.

Figura 28: Experimentación de limpieza de la tuna.



Fuente: Autores.

Basándose en este método se obtuvo los siguientes resultados que se indica en la tabla 14.

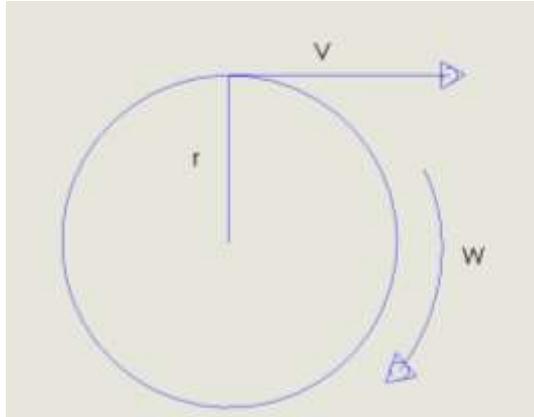
Tabla 14: Datos de la experimentación de limpieza de la tuna.

espacio(m)	velocidad(m/s)	tiempo
1	0,6	1,7
1	0,61	1,6
1	0,58	1,7
1	0,59	1,7
1	0,62	1,6
1	0,61	1,6
1	0,6	1,7
Promedio	0,6	1,7

Fuente: Autores.

Donde se obtiene la velocidad lineal promedio de 0,6m/s para el cálculo de la velocidad angular.

Figura 29: Representación de velocidades.



Fuente: Autores.

La velocidad lineal está relacionada entre la velocidad angular y su radio.

Diámetro del cepillo: 195mm

Velocidad lineal: 0,6m/s

$$w = \frac{v}{r} \quad (3)$$

$$w = \frac{(600\text{mm/s})}{97,5\text{mm}}$$
$$w = 6,3 \text{ rad/seg}$$

La aceleración angular está en relación de la velocidad angular y el tiempo de limpieza de cada rodillo.

Velocidad angular: 6,3 rad/seg

Tiempo: 2 segundos

$$\alpha = \frac{w}{t} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{6,3\text{rad/s}}{2\text{s}}$$

$$\alpha = 3,15\text{rad/seg}^2$$

La aceleración se relaciona con la velocidad y el tiempo de estabilización, donde:

$$a = \frac{v}{t} \quad (5)$$

$$a = \frac{600\text{mm/s}}{2\text{s}}$$

$$a = 300\text{mm/seg}^2$$

4.1.4 Selección del motor.

El motor tendrá las características necesarias para satisfacer la necesidad planteada.

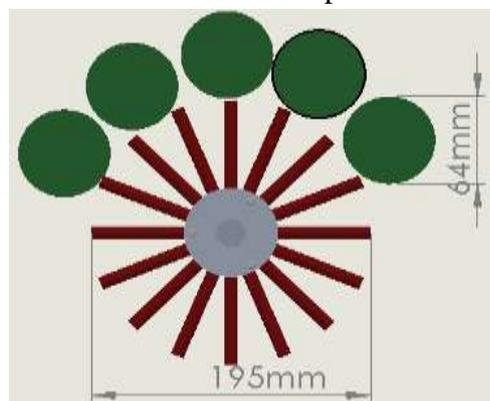
Según plantea el libro Mechanical Design for the STAGE para seleccionar el motor menciona que se debe considerar las siguientes variantes:

$$P_{max} = (F_{aceleracion} + F_{friccion} + F_{levantamiento})V_{max} + (T_{aceleracion} + T_{friccion} + T_{levantamiento})W_{max} \quad (6)$$

Por medio de la observación y experimentación se determinó que:

La fuerza de aceleración se proporciona en un caso crítico que las tunas alcancen un estado máximo como se indica en a figura 30.

Figura 30: Caso crítico del cepillo con las tunas.



Fuente: Autores.

Donde el cepillo alcanza a tener 25 tunas sobre él, y con ello se calcula la fuerza de aceleración que es:

$$F_{aceleracion} = m_{total} * a \quad (7)$$

$$F_{aceleracion} = 185g \times 25 \times 0,3m/s^2$$

$$F_{aceleracion} = 1,38N$$

$$F_{aceleracion} = 0,14Kgf$$

Para determinar la fuerza de fricción se realiza una experimentación por medio de un dinamómetro y un cepillo con cerdas de nailon para determinar la fricción entre los dos, y la velocidad recomendada para que no exista un daño en la morfología de la fruta.

Figura 31: Fuerza de fricción entre la tuna y cepillo de fibra de nylon.



Fuente: Autores.

En la experimentación realizada, se tomó un valor promedio de la fuerza de fricción entre la tuna y el cepillo de fibra de nylon de 0.075 Kgf y cómo influyen 25 tunas por cepillo la fuerza de fricción total es de 3.75 kgf tomando en cuenta que la fricción que tiene la fruta es en la parte superior e inferior.

Para calcular el torque de aceleración tomamos en cuenta la inercia del cepillo y la aceleración angular, donde:

$$T_{aceleracion} = I\alpha \quad (8)$$

$$I_{eje} = \frac{ml^2}{12} \quad (9)$$

$$I_{eje} = \frac{4.5kg(0,637m)^2}{12}$$

$$I_{eje} = 0.152kgm^2$$

$$\alpha = 3,15 \frac{rad}{seg^2}$$

$$T_{aceleracion} = I\alpha$$

$$T_{aceleracion} = (0.152kgm^2)(3,15 \frac{rad}{seg^2})$$

$$T_{aceleracion} = 0.48Nm$$

El cálculo de la potencia es determinado por los siguientes parámetros.

Tabla 15: Fuerzas que intervienen en el cálculo de la potencia del motor.

Cálculo de la potencia del motor	
Descripción	Kg.f.
Fuerza de aceleración	0,14
Fuerza de fricción	3,75
Total	3,9

Fuente: Autores.

$$P_{max} = (F_{aceleracion} + F_{friccion})V_{max} + (T_{acelelacion})W_{max}$$

$$P_{max1} = \left[(38,12N) \left(\frac{0,61m}{s} \right) \right] + [(0,48Nm) \left(6,3 \frac{rad}{s} \right)]$$

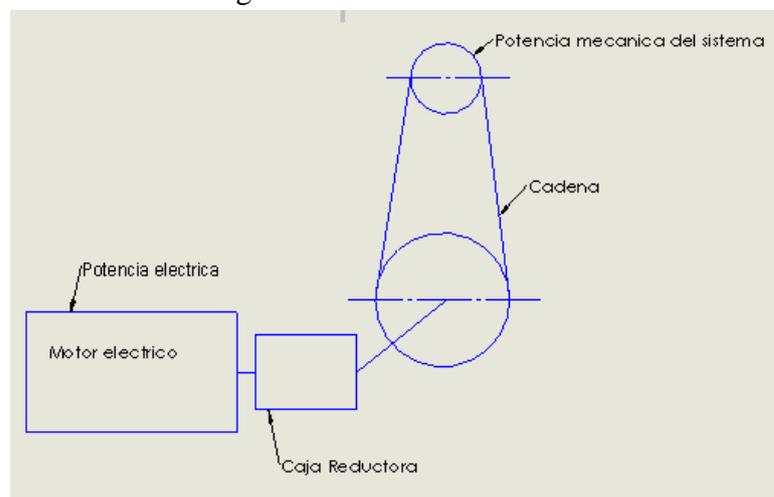
$$P_{max1} = 27W$$

$$P_{max8} = 0,3Hp$$

La potencia mecánica requerida para el sistema de transmisión para la limpieza de las tunas es de 0,3 Hp y con una velocidad de 60 rpm. Se utiliza un reductor de corona y tornillo sin fin de 0,4 Hp con una relación de reducción de 60 a 1. (Ver en anexo D)

Debido que con este sistema no cumple la velocidad angular requerida se optó por aumentar la velocidad utilizando dos piñones por medio de una cadena, en la transmisión de potencia. La transmisión es por cadenas de rodillos, y con estos datos encontramos la potencia eléctrica requerida para la máquina como muestra la figura 32.

Figura 32: Potencia eléctrica.



Fuente: Autores.

$$P_{transmisión} * Eficiencia_{cadena} = P_{sistema} \quad (10)$$

$$P_{transmisión} * 0,97 = 0,3Hp$$

$$P_{transmisión} = 0,31Hp$$

$$P_{motor} * Eficiencia_{caja reductora} = P_{transmisión}$$

$$P_{motor} * 0,59 = 0,31Hp$$

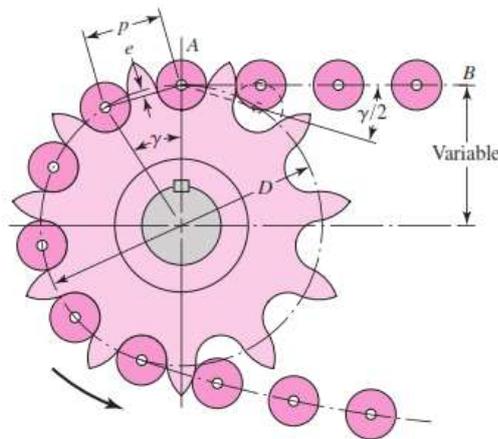
$$P_{motor} = 0,53Hp$$

La potencia eléctrica necesaria para la máquina es de 0,53 Hp. Se escoge un motor trifásico de 1 Hp con 1500 rpm, de 6 polos marca Weg, por facilidad de adquisición. (Ver en anexo C).

4.1.5 Selección de la cadena del sistema de transmisión.

Las características básicas de las transmisiones de cadena incluyen una relación constante puesto que no se involucra al deslizamiento ni el arrastre, vida larga y capacidad para impulsar varios ejes a partir de una sola fuente de potencia.

Figura 33: Esquema piñón y cadena.



Fuente: (SHIGLEY, 2008).

La rotación del eslabón a través del ángulo $\gamma/2$ provoca impacto entre los rodillos y los dientes de la catalina, así como desgaste en la junta de la cadena. Como la vida de la transmisión seleccionada en forma apropiada es una función del desgaste y de la resistencia a fatiga superficial de los rodillos, resulta importante reducir el ángulo de la articulación tanto como sea posible. (SHIGLEY, 2008)

Para el cálculo de la transmisión por cadenas se utilizó la teoría presentada en el libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, catálogos de cadenas de NPC.

4.1.6 Selección de la cadena para la transmisión del reductor al eje del cepillo.

La transmisión del eje del reductor al eje del cepillo tenemos que aumentar la velocidad angular de 25 a 60 rpm que es necesario para la limpieza de la tuna, para ello optamos

en poner un piñón de 150mm en el eje del reductor y de 70 mm en el eje del cepillo para tener una relación de velocidades de 1:2,14 para alcanzar la velocidad deseada, en la figura 34 se detalla esquemáticamente el sistema de transmisión.

Figura 34: Esquema piñón y cadena del reductor al eje del cepillo.



Fuente: <http://indaber.16mb.com/pinones-de-cadena/>.

Con los siguientes datos escogemos la cadena necesaria para nuestra transmisión de potencia.

P_d : Potencia de diseño.

K_s : Factor de servicio dimensional (ver en anexo E).

P : Potencia del motor reductor.

$$P_d = P \cdot \text{motoreductor} * k_s$$

$$k_s = 1,3(\text{motor electrico})$$

$$P_d = (0,3hp)(1,3)$$

$$P_d = 0,4hp$$

Escogemos la cadena número 40 para poder realizar el análisis (ver anexo F)

a =Espacio entre centros.

i = Relación de velocidades.

z_1 = Número de dientes del piñón pequeño.

z_2 = Número de dientes del piñón grande.

p =Paso.

n_1 =Velocidad angular de entrada.

n_2 =Velocidad angular de salida.

Con estos datos calculamos el número de pasos, la longitud de la cadena.

Datos	
A	400mm
I	2,14
z_1	17
z_2	37
P	12,7
n_1	60
n_2	26

$$\text{Número de pasos} = \frac{2a}{p} + \frac{z_1+z_2}{2} + \frac{(z_2-z_1)^2 p}{4a\pi^2} \quad (11)$$

Número de pasos = 90,28

Longitud de la cadena = (#pasos)(paso)

Longitud de la cadena = 115cm

Diámetro del piñón.

$$D = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180}{z_2}\right)} \quad (12)$$

$$D = \frac{12,7}{\text{sen}\left(\frac{180}{37}\right)}$$

$$D = 150\text{mm}$$

$$d = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180}{z_1}\right)} \quad (13)$$

$$D = \frac{12,7}{\text{sen}\left(\frac{180}{17}\right)}$$

$$D = 70\text{mm}$$

Ángulo de garganta.

$$\alpha_1 = 180 - 37 \frac{(D-d)}{E} \geq 120^\circ \quad (14)$$

$$\alpha_1 = 173^\circ$$

Velocidad máxima.

$$V_{max} = \frac{z_1 * p * n_1}{60000} \quad (15)$$

$$V_{max} = \frac{17 * 12,7 * 60}{60000}$$

$$V_{max} = 0,21\text{m/s}$$

Fuerza.

$$F = \frac{Pot}{v} \quad (16)$$

$$F = \frac{27\text{w}}{0,21\text{m/s}}$$

$$F = 129\text{N}$$

4.1.7 Selección de la cadena del sistema de transmisión de eje a eje.

Para la selección de la cadena en la transmisión de potencia de un eje al otro de los cepillos tomamos en cuenta que estos van a trabajar con una misma velocidad angular, por ello la relación de transmisión es de 1.

Figura 35: Transmisión de potencia de eje a eje.



Fuente: http://www.tecnerife.com/mecanismos/pinon_cadena_02.jpg

Escogemos la cadena número 40 para poder realizar el análisis (ver en anexo F)

P_d =Potencia de diseño.

a =Espacio entre centros.

i = Relación de velocidades.

z_1 = número de dientes del piñón pequeño.

z_2 = número de dientes del piñón grande.

p =Paso.

n_1 =Velocidad angular de entrada.

n_2 =Velocidad angular de salida.

Con estos datos calculamos el número de pasos, la longitud de la cadena.

Datos	
P_d	0,4hp
i	1
z_1	15
z_2	15
p	12,7
n_1	60
n_2	60
a	200mm

$$\text{Número de pasos} = \frac{2a}{p} + \frac{z1+z2}{2} + \frac{(z2-z1)^2 p}{4a\pi^2} \quad (17)$$

$$\text{Número de pasos} = 46$$

$$\text{Longitud de la cadena} = (\#\text{pasos})(\text{paso})$$

$$\text{Longitud de la cadena} = 59\text{cm}$$

Diámetro del piñón

$$D = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180}{z2}\right)} \quad (18)$$

$$D = \frac{12,7}{\text{sen}\left(\frac{180}{15}\right)}$$

$$D = 61\text{mm}$$

$$d = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180}{15}\right)} \quad (19)$$

$$D = \frac{12,7}{\text{sen}\left(\frac{180}{15}\right)}$$

$$D = 61\text{mm}$$

Ángulo de garganta

$$\alpha1 = 180 - 15 \frac{(D-d)}{E} \geq 120^\circ \quad (20)$$

$$\alpha1 = 180^\circ$$

Velocidad máxima

$$Vmax = \frac{z1 * p * n1}{60000} \quad (21)$$

$$Vmax = 0,21\text{m/s}$$

Fuerza.

$$F = \frac{Pot}{v} \quad (22)$$

$$F = \frac{27w}{0,21m/s}$$

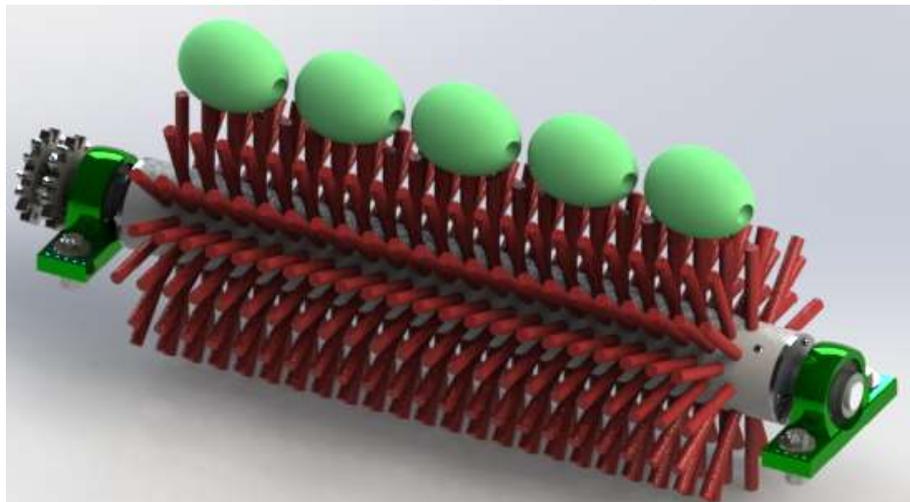
$$F = 129N$$

La lubricación para esta transmisión con cadena es de tipo A. Este tipo de lubricación se lo realiza por medio de un cepillo o aceitera, el volumen y la frecuencia debe ser suficiente para mantener la cadena húmeda de aceite y permitir la penetración de lubricante limpio entre los elementos de la cadena.

4.1.8 Cálculo de cargas del eje del cepillo.

Para el cálculo del eje de los cepillos tomamos en cuenta las fuerzas que va estar ejerciendo, la cadena, y las tunas. El eje esta soportado por dos rodamientos.

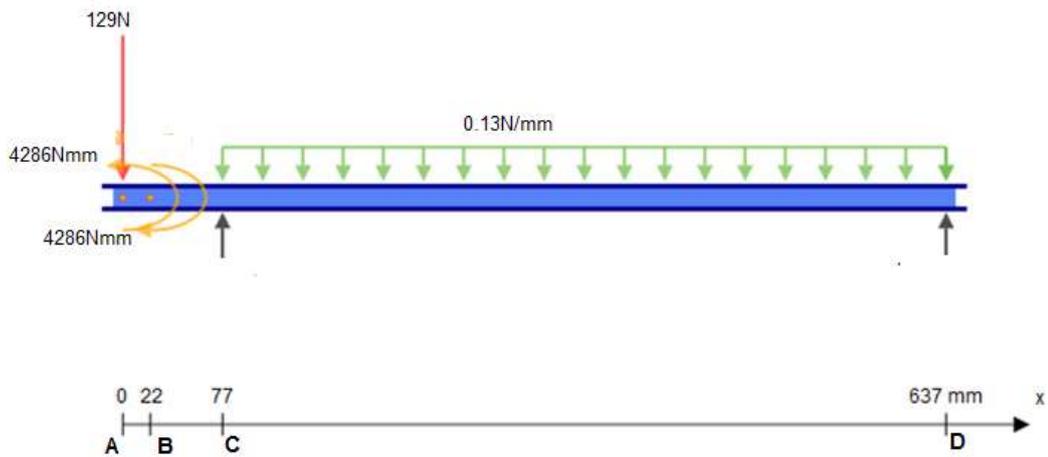
Figura 36: Cargas aplicadas al eje.



Fuente: Autores.

Las cargas aplicadas en el eje son producidas por la fuerza ejercida de la cadena en los piñones y la de las tunas.

Figura 37: Diagrama de cuerpo libre del eje XY.



Fuente: Autores.

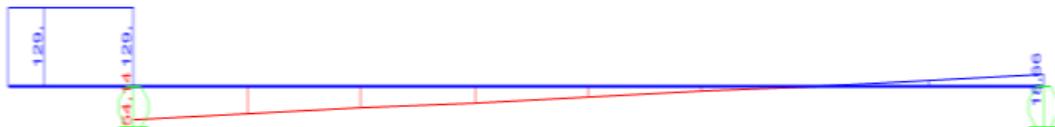
En el programa SAP2000 se analizó el eje obteniendo los diagramas de cortantes y momentos flectores en el eje xy e xz los resultados están en Newton y milímetros.

Figura 38: Reacciones del eje en XY(N).



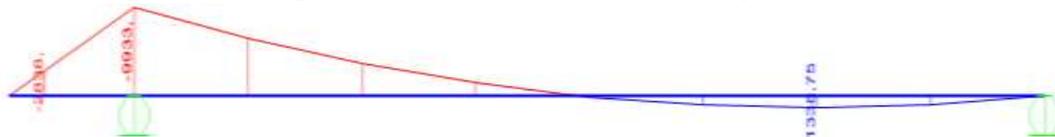
Fuente: Autores.

Figura 39: Diagrama de cortantes del eje en XY(N).



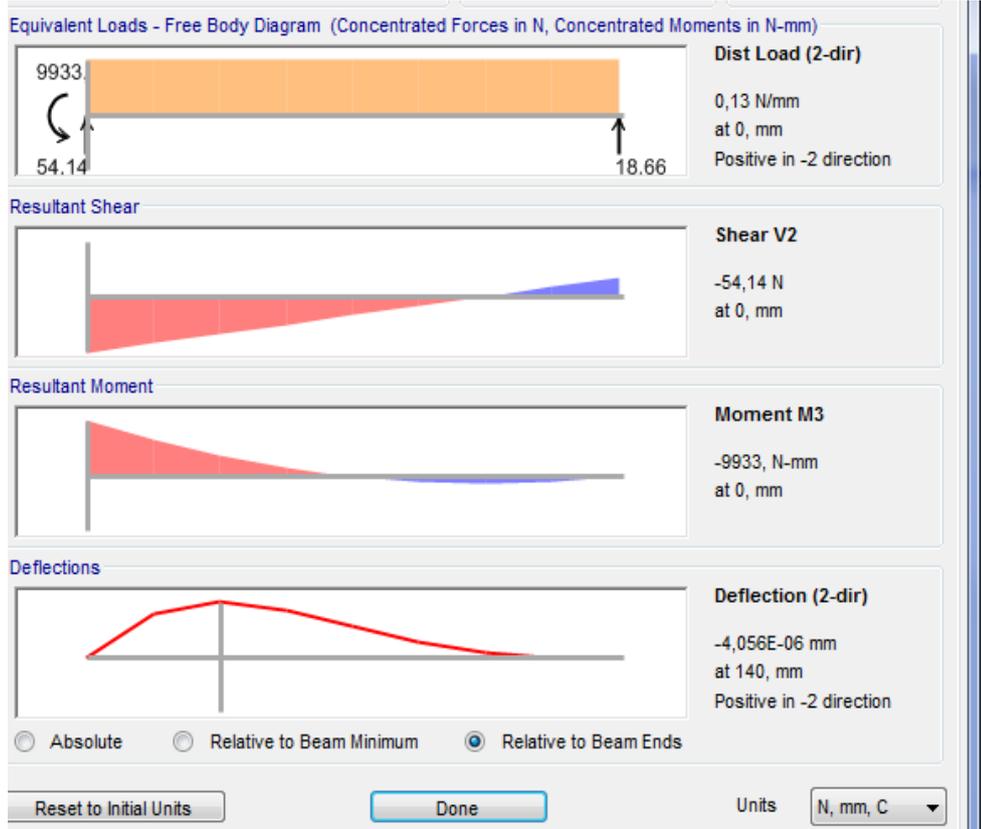
Fuente: Autores.

Figura 40 : Diagrama de momentos flectores del eje en XY (Nmm)



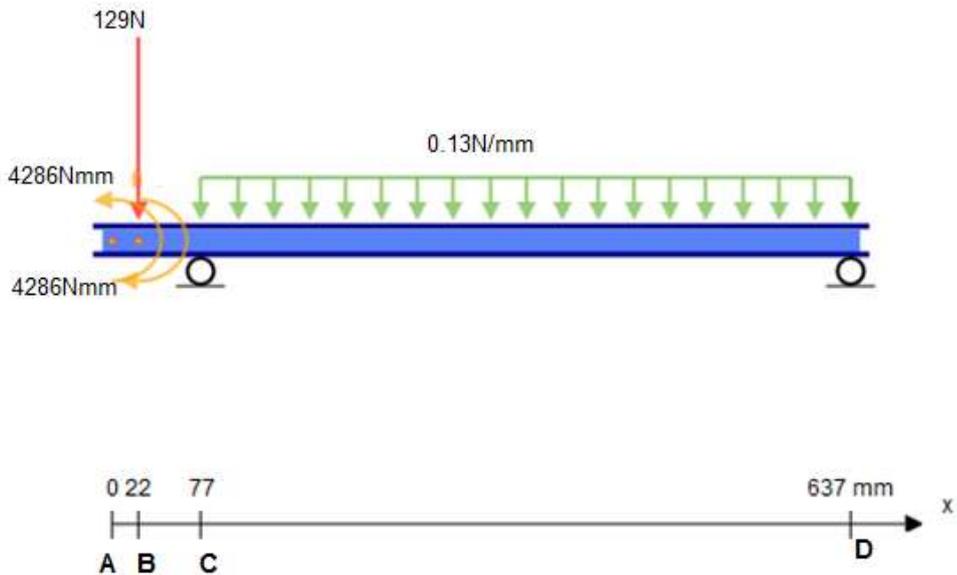
Fuente: Autores.

Figura 41 : Reacciones, cortantes, momentos flectores máximos del eje en XY (Nmm).



Fuente: Autores.

Figura 42: Diagrama de cuerpo libre del eje XZ.



Fuente: Autores.

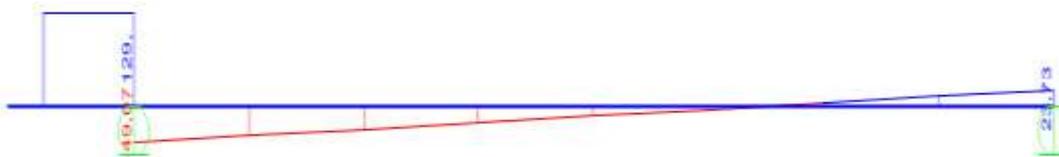
En el eje XZ tenemos los siguientes resultados.

Figura 43: Reacciones del eje en XZ (N).



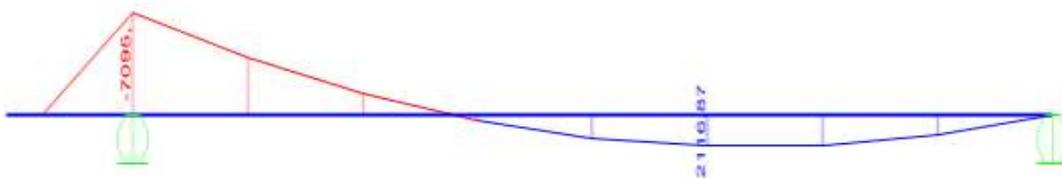
Fuente: Autores.

Figura 44: Diagrama de cortantes del eje en XZ (N).



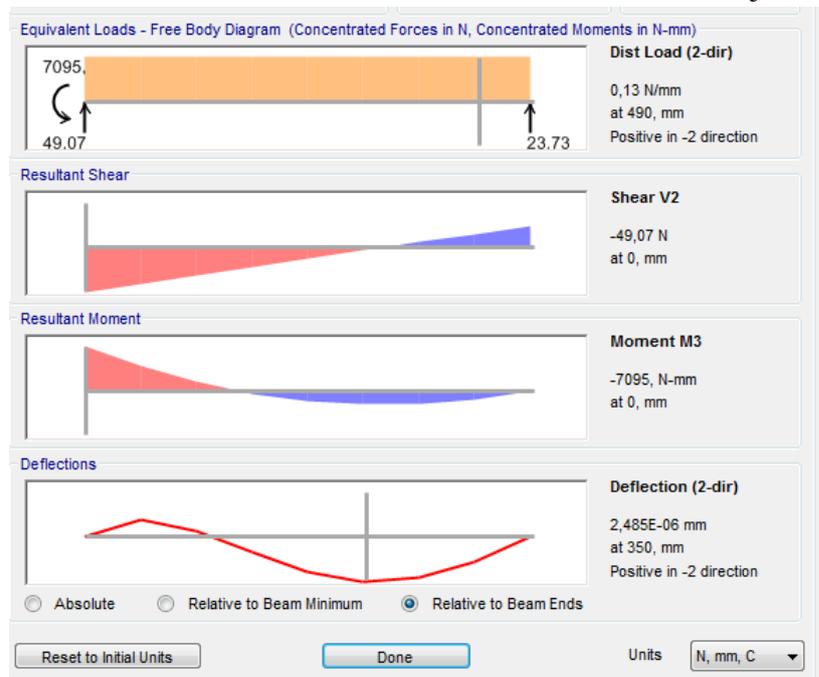
Fuente: Autores.

Figura 45: Diagrama de momentos flectores del eje en XZ (Nmm).



Fuente: Autores.

Figura 46: Reacciones, cortantes, momentos flectores máximos del eje en XZ (Nmm).



Fuente: Autores.

En el programa SAP2000 se determinó los siguientes datos del análisis del eje.

Tabla 16: Reacciones y momentos máximos del eje del cepillo.

Reacciones y momentos máximos en el eje			
	N		Nmm
Cxy	183	Mmax(Cxy)	9933
Dxy	19	Mmax(Cxz)	7095
Cxz	178		
Dxz	24		

Fuente: Autores.

El momento flexionante máximo en el punto C es el resultado de las componentes xy, xz.

$$M_c = \sqrt{M_{cy}^2 + M_{cz}^2} \quad (23)$$

$$M_c = \sqrt{(9933)^2 + (7095)^2}$$

$$M_c = 12207 \text{ Nmm}$$

El material seleccionado para el eje es un acero AISI 1018 estirado en frío, el mismo que tiene aplicaciones en tuercas, pernos, piezas de máquinas pequeñas, eje para motores y transmisión de potencia, etc. Además por sus propiedades mecánicas y bajo costo es el más adecuado.

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1018 estirado en frío son las siguientes:

Su = 440 MPa.

Sy = 370 MPa.

Dureza = 126 HB

Diseño en la zona crítica.

Según (SHIGLEY, 2008) menciona las siguientes teorías para el diseño de ejes.

Para un análisis estático indica la teoría Von Misses:

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (24)$$

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\left(\frac{32M}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\frac{370 \times 10^6}{2.5} = \sqrt{\left(\frac{32(12207)}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16(4286)}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

Verificación a fatiga mediante el método de ASME

Para determinar la resistencia a fatiga del eje se obtiene coeficientes que son determinados según su material, manufactura, entorno y diseño, que nos permite encontrar un factor k, para poder ajustar un límite de resistencia mecánica, en el libro de (SHIGLEY, 2008) menciona la ecuación de Martin que dice:

ka = factor de modificación de la condición superficial.

kb = factor de modificación del tamaño.

kc = factor de confiabilidad.

kd = factor de modificación de la temperatura.

ke = factor de modificación de efectos varios.

S'e = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Se = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica..

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'_e \quad (25)$$

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \text{ (para flexión pura)} \quad (26)$$

$$S'_e = 0.5 (440 \times 10^6)$$

$$S'_e = 220 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$k_a = 0.89$ Árbol mecanizado (ver en anexo G).

$k_b = 0.96$ de la ecuación para flexión, para $d = 12$ mm (ver en anexo H).

$k_c = 0.753$ con una confiabilidad de 99.9% (ver en anexo I).

$k_d = 1$ la temperatura en el árbol es menor de 450 °C (ver en anexo J).

$k_e = 1$ no se prevé corrosión ni otros factores que reduzcan la resistencia.

$$k = K_a K_b K_c K_d K_e \quad (27)$$

$$k = (0.76)(0.91)(0.753)(1)(1)$$

$$k = 0.64$$

$$S_e = k S'_e$$

$$S_e = 0.64 (220 \times 10^6)$$

$$S_e = 142 \times 10^6 Pa$$

Para el análisis de fatiga se tomó la ecuación del libro de Shigley del ASME elíptica.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right] \right\}^{1/3} \quad (28)$$

Según (SHIGLEY, 2008) dice que en el caso de un eje giratorio, el momento flexionante constante creará un esfuerzo flexionante completamente reversible donde:

$$M_m = T_a = 0$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right] \right\}^{1/3}$$

Dónde:

$n = 1,5$ (factor de seguridad).

K_f = factor de concentración de esfuerzos por fatiga a flexión.

K_{fs} = factor de concentración de esfuerzos por fatiga a torsión.

El punto crítico pertenece a una sección con un hombro. Estos coeficientes se calculan asumiendo el radio de redondeo y el diámetro mayor del escalón, a partir de tablas y figuras anexas con $r/d = (0,34\text{mm}) / (12 \text{ mm}) = 0.02$ y $D/d = (12 \text{ mm}) / (17 \text{ mm}) = 0,7$ (Ver en anexo K).

$$\sqrt{a}_{flexión} = 0.515$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad (29)$$

$$q_{flexión} = \frac{1}{1 + \frac{0.515}{\sqrt{0,34}}} = 0.53$$

$$\sqrt{a}_{torsión} = 0.382$$

$$q_{torsión} = \frac{1}{1 + \frac{0.382}{\sqrt{0,34}}} = 0.60$$

$$kt_{flexión} = 1.2 \text{ (ver en anexo L)}$$

$$kt_{torsión} = 1.3 \text{ (ver en anexo L)}$$

$$kf = 1 + q(Kt - 1)$$

$$kf_{flexión} = 1 + 0.53(1.2 - 1)$$

$$kf_{flexión} = 1.11$$

$$kf_{torsión} = 1 + 0,60(1.3 - 1)$$

$$kf_{torsión} = 1.18$$

$$d = 16\text{mm}$$

Por facilidad construcción se utiliza 20mm de diámetro.

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(kf_{ax}\sigma_{ax})^2 + 3(kf_t\tau_m)^2} \quad (30)$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{kf_f(\sigma_{fa})^2} = 1.11 \left(\frac{32M}{\pi d^3} \right)$$

$$\sigma_{eqa} = 1.11 \left(\frac{32(12207)}{\pi(20)^3} \right)$$

$$\sigma_{eqa} = 17,25 \times 10^6 Pa$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3(kf_t\tau_m)^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3 \left(1.18 * \frac{16(4286)}{\pi(20)^3} \right)^2}$$

$$\sigma_{eqm} = 5,57 \times 10^6 Pa$$

Según ecuación de Soderberg.

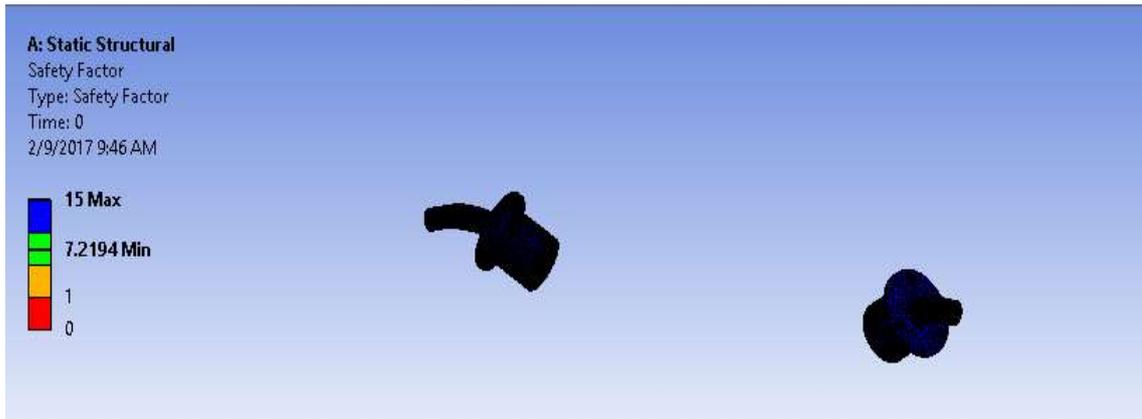
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_y} = \frac{1}{n} \quad (31)$$

$$\frac{17,25}{142} + \frac{5,57}{370} = \frac{1}{n}$$

$$n = 7$$

Para validar los resultados del eje se analizó por el método de elementos finitos en el software ANSYS que nos permite realizar una simulación de elementos mecánicos. El eje es analizado por tener tres diferentes materiales, PVC, aluminio, acero estructural, donde se verificó el factor de seguridad a fatiga siendo lo más crítico en el funcionamiento del eje.

Figura 47: Acople de eje analizado en ANSYS.



Fuente: Autores.

En el análisis realizado en ANSYS se verificó que el factor de seguridad de 7.2 es casi similar al calculado por el método de Soderberg que es 7, y nos da la seguridad que está realizado correctamente el cálculo.

4.1.9 Resistencia a la fatiga.

Se estima un número de ciclos de 1000.

$$Sf = aN^b \quad (32)$$

$$a = \frac{(fSut)^2}{Se} \quad (33)$$

$$a = -1/3 \log\left(\frac{fSut}{Se}\right)$$

$$Sf = 1104(1000)^{-0,14}$$

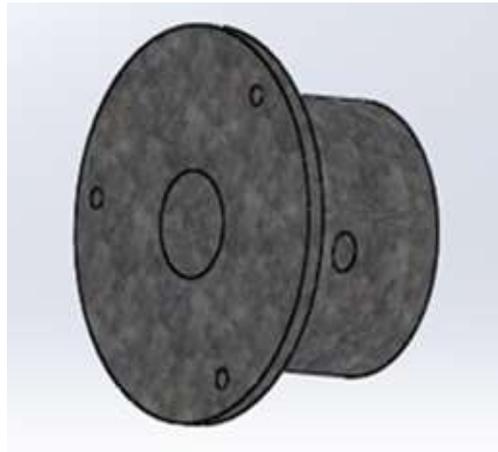
$$Sf = 419,85 \text{ MPa}$$

El eje resiste a un análisis estático y fatiga en los requerimientos de nuestra máquina.

4.1.10 *Acople del cuerpo del cepillo con el eje*

El cepillo tiene un acople de aluminio que se encuentra insertado al cuerpo de PVC, sujetado por pernos axial y radialmente. Con un agujero para insertar el eje de los cepillos.

Figura 48: Acople de eje.



Fuente: Autores.

Se utilizará un tornillo de $\frac{1}{4}$ de pulgada de cabeza hueca para sujeción con el eje de PVC, es necesario 1,8 lbf .pulg de par de torsión del asentamiento y 65 lbf de potencia de sujeción (ver en anexo M).

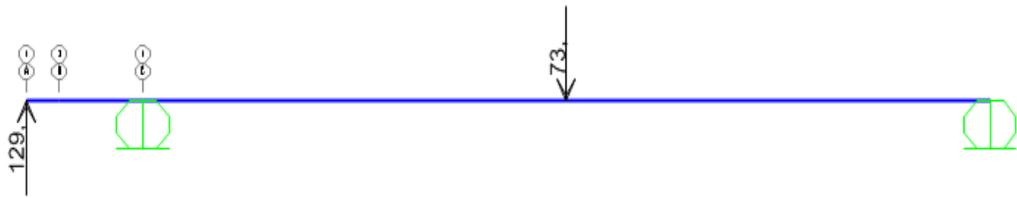
Con un ajuste en el agujero H7 y en el eje un apriete s6. Se tendrá tornillos auto roscantes axiales de $\frac{1}{8}$ de pulgada para tener mayor sujeción.

4.1.11 *Cálculo de la velocidad crítica del eje*

Cuando un eje gira, la excentricidad ocasiona una deflexión debido a la fuerza centrífuga que se resiste por la rigidez a flexión del eje, siempre y cuando las deflexiones sean pequeñas, no se ocasiona ningún daño. Sin embargo, otro problema potencial se llama velocidades críticas: a ciertas velocidades el eje es inestable, y las deflexiones se incrementa sin un límite superior. (SHIGLEY, 2008)

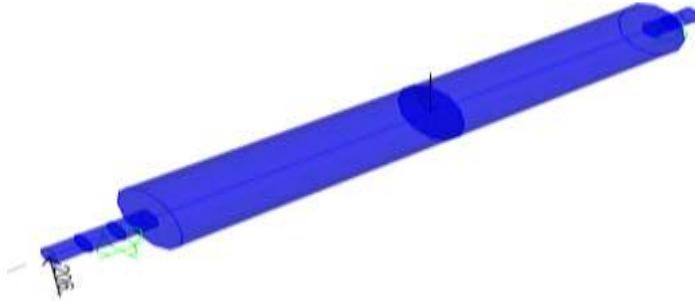
El análisis se realiza en SAP2000, para poder encontrar las deflexiones del eje, con sus respectivos materiales y pesos.

Figura 49: Cargas aplicadas en el eje (N).



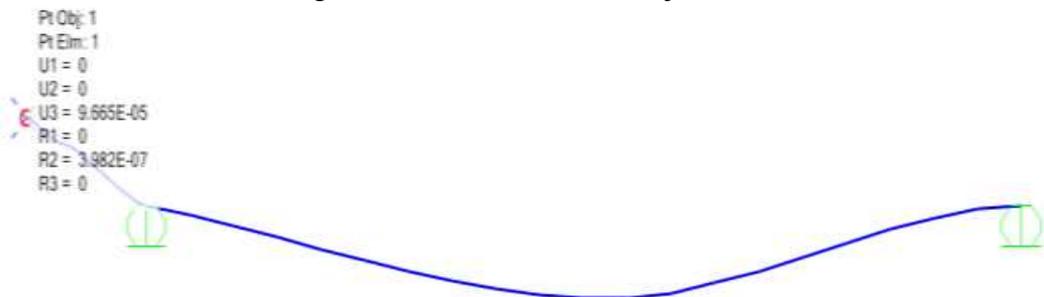
Fuente: Autores.

Figura 50: Diámetro del eje.



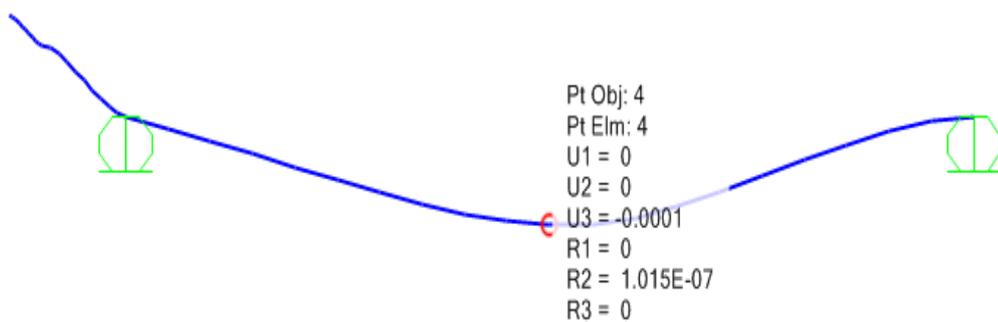
Fuente: Autores.

Figura 51: Deformación del eje (mm).



Fuente: Autores.

Figura 52: Deformación del eje (mm).



Fuente: Autores.

Para calcular la velocidad crítica del eje Shigley menciona que:

$$W1 = \sqrt{\frac{g \sum wiyi}{\sum wiyi^2}} \quad (34)$$

Dónde:

wi = peso de la i – esima ubicacion[N].

yi = deflexión de en la ubicacion del i – esimo cuerpo[mm].

g = gravedad $\left[\frac{mm}{seg^2}\right]$.

$$W1 = \sqrt{\frac{9800((129 * 9,665e - 5) + (73 * 0,001))}{((46 * (9,665e - 5)^2) + (16 * 0,001^2))}}$$

$$W1 = 106,23rad/s$$

$$W1 = 1015 rev/min$$

La velocidad que va a trabajar cumple con los requerimientos de diseño del eje.

4.1.12 Selección de rodamientos.

La selección de los rodamientos se toma en cuenta las cargas necesarias, el diámetro del eje y la vida nominal deseada.

Se escoge rodamientos de bolas, ya que no existe carga axial.

Requerimientos de diseño son vida nominal, factor de vida, factor de velocidad.

Dónde:

L_{10} = vida nominal basica 10^6 revoluciones.

Cr = capacidad basica de carga dinamica, N(Kgf)rodamientos radiales.

Pr = carga dinamica equivalente.

n = velocidad de rotacion [rpm].

$fn =$ factor de velocidad.

$fh =$ factor de vida.

$$N = 60 \text{ [rpm]}$$

$$Cr = 1,04 \text{ KN}$$

$$Cor = 0,731$$

Valor de la carga P

$$R_{cxy} = 183 \text{ N}$$

$$R_{cxz} = 178 \text{ N}$$

$$\phi_1 = 20 \text{ mm}$$

$$R_{dxy} = 19 \text{ N}$$

$$R_{dxz} = 24 \text{ N}$$

$$\phi_2 = 20 \text{ mm}$$

$$Fr_1 = \sqrt{183^2 + 178^2} = 256 \text{ N}$$

$$Fa_1 = 0$$

$$Pr_1 = 0,256 \text{ KN}$$

$$Fr_2 = \sqrt{19^2 + 24^2} = 31 \text{ N} = 0,031 \text{ KN}$$

$$Fa_2 = 0$$

$$Pr_2 = 0,031 \text{ KN}$$

$$f_n = \left(\frac{33,3}{N}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,821 \quad (35)$$

$$f_h = \frac{Cr}{Pr} f_n = 3,33 \quad (36)$$

Como ambos rodamientos tienen el mismo diámetro del eje se selecciona el que posee mayor carga, ya que no varía considerablemente

Cálculo de carga dinámica equivalente.

$$Pr_1 = 0,256 \text{ KN}$$

$$Por_1 = 0,256 \text{ KN}$$

Cálculo de carga estática.

$$Cor = fs * Por = 0,21 \text{ KN}$$

Cálculo de la vida nominal básica.

$$L_{10} = 500fh^3$$

$$L_{10} = 5800 \text{ horas}$$

En el catálogo de NTC se escogió el rodamiento 6704, ya que cumple las condiciones necesarias de diseño para el eje (ver en anexo M).

Selección de la chumacera.

La chumacera es una UCP2, con soportes tipo silleta de hierro fundido que garantizara una estabilidad y durabilidad.

La chumacera UCP204D1 brindara una estabilidad de la máquina, para poder girar el eje a 60 r.p.m. (ver en anexo O)

4.2 Sistema de ventilación de las espinas.

Los cepillos se pueden acumular de espinas, y las frutas no deben tener ningún contacto con el agua, se eligió el mecanismo de tener un flujo de aire con ventilación para que las espinas sean expulsadas a la tolva de extracción de espinas y luego esta expulse a un recipiente de espinas .Se opta la elección de un ventilador de altas revoluciones para tener el flujo necesario que expulse las espinas.

Figura 53: Ventilador.



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/g/radiator-fan-motor.html>

4.2.1 Selección del ventilador

Para la selección del ventilador necesitamos el caudal necesario para limpiar al cepillo, y la fruta.

$$Q = \frac{V * w}{3600} \quad (37)$$

$Q =$ caudal de aire requerido [$\frac{m^3}{s}$].

$V =$ volumen de la cámara [m^3].

$w =$ velocidad angular [rpm].

Las espigas son expulsadas del cepillo a 3000 revoluciones por minuto, para poder dejar limpia las tunas y el cepillo.

El volumen de la cámara es calculada por el diámetro de los álabes y la altura de la cámara.

$$d = 0,357m$$

$$h = 2,5m$$

$$V = \frac{\pi d^2}{4} * h \quad (38)$$

$$V = \frac{\pi(0,357)^2}{4} * 2,5$$

$$V = 0,28m^3$$

$$Q = \frac{(0,28m^3 * 3000r.p.m)}{3600}$$

$$Q = 0,22m^3/s$$

Con el caudal obtenido escogemos el ventilador AXP 357 6 BK 0,25 3000 (ver en anexo P).

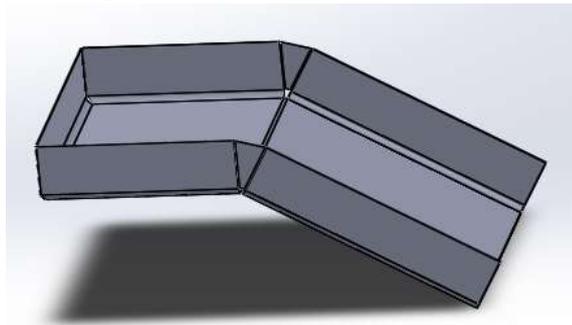
4.3 Sistema de alimentación, desfogue de la fruta y espinas.

Para este sistema optamos por un material que no tenga ningún problema con la corrosión, ya que estará en contacto con la tuna, y para esto se escogido láminas dobladas de acero inoxidable 304 .Su forma se determinó por medio de la experimentación.

4.3.1 Sistema de alimentación.

La tolva de alimentación está diseñada para poder controlar el ingreso de las tunas, ya que esto se lo realiza manualmente, se compone de dos formas, la una en superficie plana, para poder ubicar las tunas, y la segunda parte con una pendiente de 30° que permita deslizarse las tunas hacia los rodillos. Su material es de acero inoxidable de 1mm de espesor.

Figura 54: Tolva de alimentación.

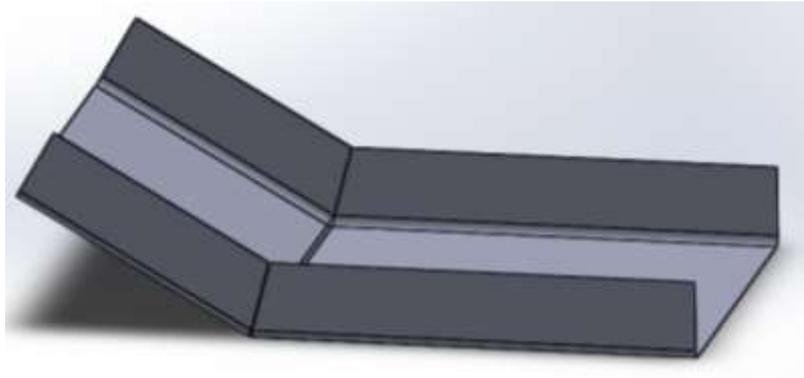


Fuente: Autores.

4.3.2 *Sistema desfogue de las tunas.*

Tiene el objetivo de receptor las tunas que salen del sistema de avance, para que no exista ningún daño en la fruta, el depósito se debe ubicar bajo el nivel del último cepillo rotativo, el ancho del depósito es considera por la cantidad de frutas que van a ser limpiadas. Su material es de acero inoxidable de 1mm de espesor. (Ver en anexo Q).

Figura 55: Tolva de salida.

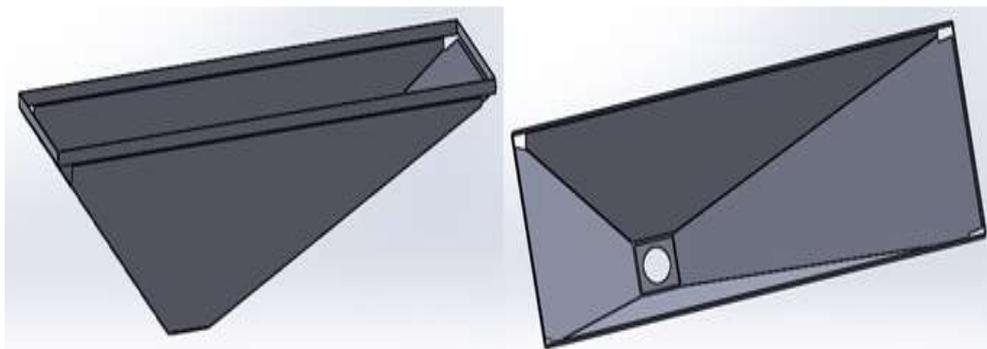


Fuente: Autores.

4.3.3 *Sistema de desfogue de las espinas.*

El sistema de recepción de espinas tiene la finalidad de receptor todas las espinas de la tuna, tiene forma de una tolva para poder deslizarse hacia la parte inferior, para ser expulsado mediante un tubo plástico a un recipiente, y no afecte las espinas en el ambiente de trabajo. El material es de acero inoxidable de 0,7mm de espesor.

Figura 56: Tolva de desfogue de espinas.

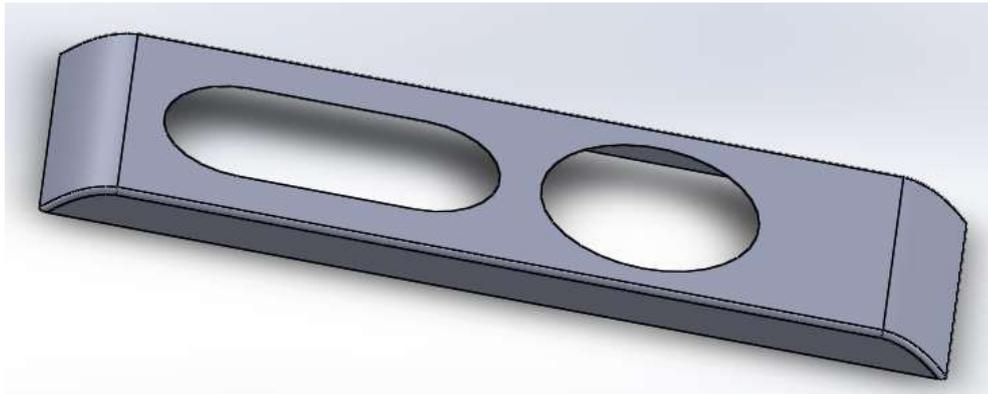


Fuente: Autores.

Tapa.

Tiene como objetivo de cerrar la parte superior en la estructura de la máquina y que no sufra ningún desprendimiento de espinos. Tiene forma rectangular con orificios en la parte superior para que se pueda ser anclada el plancha de acrílico y el ventilador.

Figura 57: Tapa.

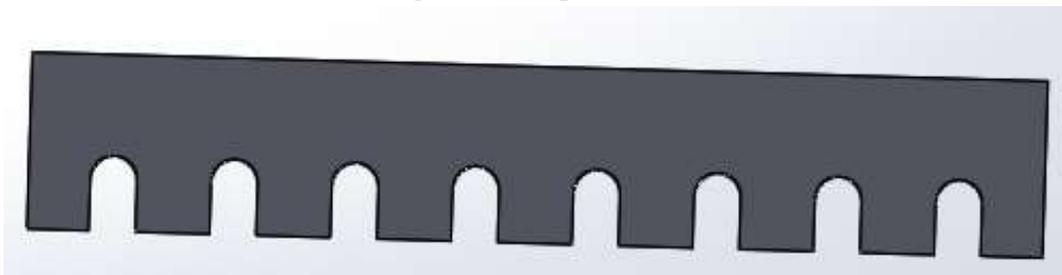


Fuente: Autores.

Tapa lateral.

Tiene el objetivo de ser utilizado como pared, para que la tuna se salga del sistema de avance, su material es de acero inoxidable de 1mm, con forma rectangular, realizado formas de los cepillos en la parte inferior.

Figura 58: Tapa lateral.

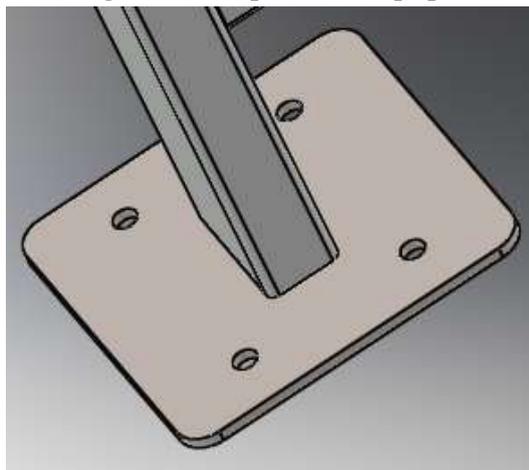


Fuente: Autores.

Soporte de la máquina limpiadora de tunas.

Tiene una forma cuadrada con cuatro agujeros que esta soldada con el perfil de tubo rectangular, el material es de acero A36, sirve como soporte.

Figura 59: Soporte del equipo.



Fuente: Autores.

4.3.4 Selección de las ruedas domésticas.

La máquina está diseñada para tener la facilidad de moverse, y para ello necesitamos el mecanismo más fácil y adecuado. Las ruedas domésticas cumplen con nuestras necesidades.

Para determinar la capacidad de carga necesaria en las ruedas se debe establecer los siguientes datos: el peso propio de la máquina de transporte, la carga máxima, así como el número de ruedas que soporta la carga.

Tabla 17: Peso de los componentes de la máquina.

		Cantidad	Peso unitario(kg)	Total(kg)
Cepillos	Circulares	8	4,7	37,6
Tapa		1	14	14
Estructura		1	25	25
Motor		1	20	20
Tolvas(1mm)	Entrada y salida	2	8	16
Tolvas(0,7mm)	Espinas	1	14	14
Cepillos	Rectangular	6	0,6	3,6
Cadena		1	4	4
	Total			134,2

Fuente: Autores.

En el catálogo de Blickle menciona la siguiente ecuación para determinar la carga requerida para las ruedas.

$$T = \frac{E+Z}{n} * S \quad (39)$$

Donde

T = capacidad de carga requerida.

E = peso propio del aparato de transporte.

Z = carga maxima.

n = número de ruedas aplicadas.

f = factor de seguridad.

Según el catálogo de Blickle el factor de seguridad S expresa la variación de las condiciones estándares de la aplicación (piso liso, velocidad lenta, la carga aplicada debe actuar homogéneamente sobre las ruedas, desplazamiento recto, temperatura de 15° C hasta 28°C. Como estas condiciones estándar de aplicación solo se dan en muy raros casos, se debe utilizar el factor de seguridad S para establecer la capacidad de carga requerida. Según el grado de dificultad de las condiciones de aplicación, S deberá tener un valor entre 1,3 y 2,0.

$$T = \frac{134 + 38}{4} * 1,6$$

$$T = 69Kg$$

Según el catálogo de Blickle se escogió para las ruedas delanteras LPA-VPA -100K ya que son ruedas giratorias, y para la parte posterior LPA-VPA -100K FI, que tienen frenos, para poder inmovilizar a la máquina. (ver en anexo R)

4.3.5 *Diseño de la estructura metálica de soporte*

La estructura está diseñada para soportar todos los elementos mecánicos y sus cargas. Las cargas que influyen son muertas y vivas.

Según el libro de estructuras metálicas de (MACCORMAC , 2000)menciona que:
 Cargas muertas: Son de magnitud constante que permanecen fijas en un mismo lugar.
 Estas son el peso propio de las estructuras de acero.

Cargas vivas: Son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud.

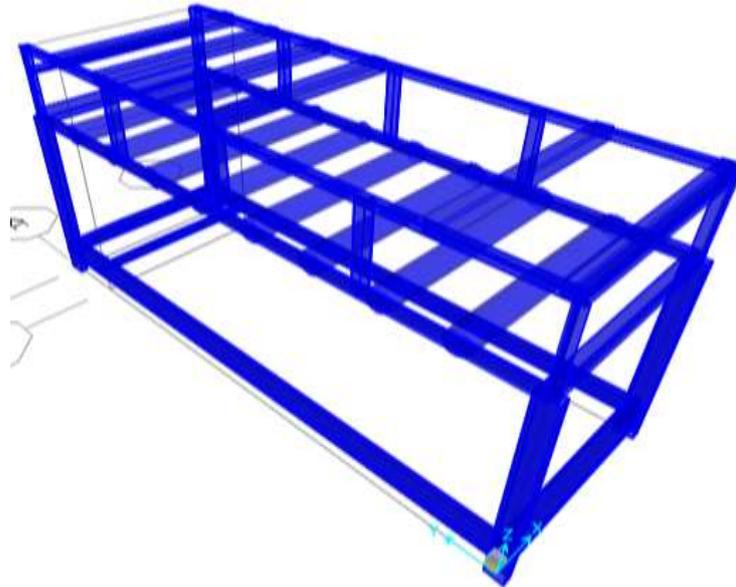
Tabla 18: Cargas de la máquina limpiadora de tuna.

CARGAS	ELEMENTOS	Peso(Kg)	Peso(N)
	Cepillos circulares	38	372,4
	Cepillos rectangulares	4	39,2
	Tolva de entrada de frutos	7	68,6
	Tolva de salida de frutos	9	88,2
MUERTAS	Tolva de salida de espinas	14	137,2
	Motor	20	196
	Cadena	4	39,2
	Tapa	14	137,2
EJE			
	Rcy		183
VIVAS	Rdy		19
	Rcz		178
	Rcz		24

Fuente: Autores.

Con las cargas expuestas en la tabla 17, analizamos en el software SAP2000.

Figura 60: Estructura de la máquina limpiadora de tunas.



Fuente: Autores.

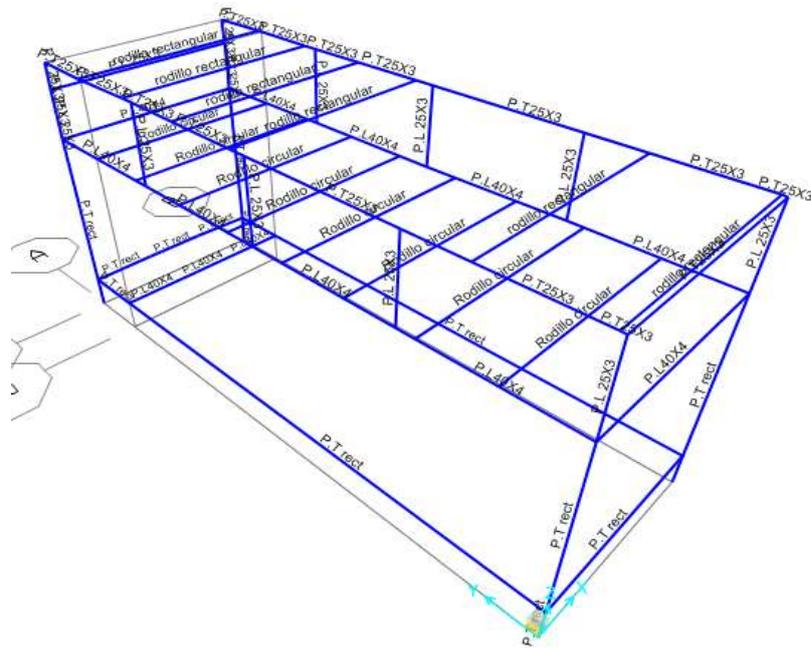
La estructura de la máquina limpiadora de tunas tiene diferentes perfiles, en la tabla 19 mencionamos sus componentes:

Tabla 19: Perfiles de la estructura.

	Elemento	
	Estructura base	ASTM A-500 Galvanizado/Perfil rectangular 25x50x1.5
Sistema Estructural	Estructura superior	ASTM A-36 /Perfil angular AL 25X3
	Base del motor	ASTM A-36 /Perfil angular AL 40X4
	Soporte de cepillos rectangulares	ASTM A-36 /Perfil TEE 25X3

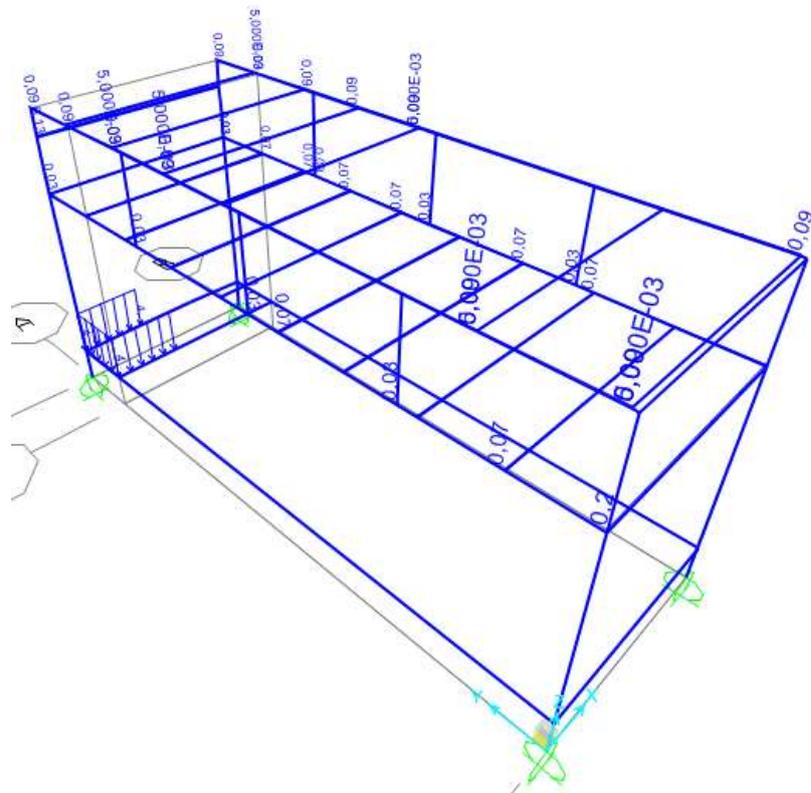
Fuente: Autores.

Figura 61: Perfiles de la estructura.



Fuente: Autores.

Figura 62: Cargas muertas de la máquina limpiadora de tunas



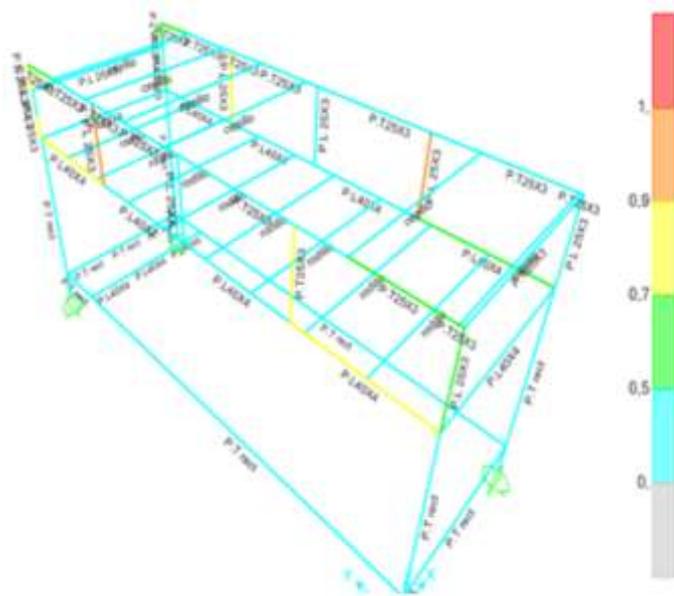
Fuente: Autores.

Figura 63: Cargas vivas de la máquina limpiadora de tunas



Fuente: Autores

Figura 64: Análisis en SAP 2000.



Fuente: Autores.

En el análisis de la estructura de la máquina limpiadora de tunas se determina que ningún elemento llega a fallar, con las cargas que se aplica en la estructura. Las características de los perfiles utilizados en la máquina limpiadora de tunas son adecuadas para el requerimiento. (Ver anexo S)

4.3.6 Sistema eléctrico

La máquina limpiadora de tunas, para su funcionamiento necesita un circuito de potencia y control que nos permite manipular con seguridad la máquina, el suministro de energía eléctrica es de 220V. Los elementos que constituyen el circuito deben ser escogidos para cumplir las especificaciones del motor y ventilador.

Tabla 20: Requerimientos del motor

Motor eléctrico WEG trifásico de 1Hp	Voltaje=220V
	Frecuencia=60Hz
	Corriente =1,95 ^a

Fuente: Placa del motor

Tabla 21: Requerimientos del ventilador

Ventilador eléctrico	Voltaje=12V
	Frecuencia=60Hz
	Corriente =0,4 ^a

Fuente: Placa del ventilador

De acuerdo con lo requerido se selecciona los siguientes elementos para el circuito de control y potencia como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22: Elementos eléctricos

Cantidad	Código	Descripción
1	NSB6-G5	Fuente de voltaje
1	DaeSan	Temporizador
1	ABBAC31	Contactora fuerza 2,2 ^a /1Hp 220V
1	SKU1	Pulsador 22mm monobloq Verde
1	SKU1	Pulsador 22mm monobloq Rojo
1	SKU1	Luz piloto 22mm Verde
5		Conductor Cu solido 3x8 rojo
5		Conductor Cu solido 3x8 negro
2	B-20300	Térmico 16-22 ^a MT 32

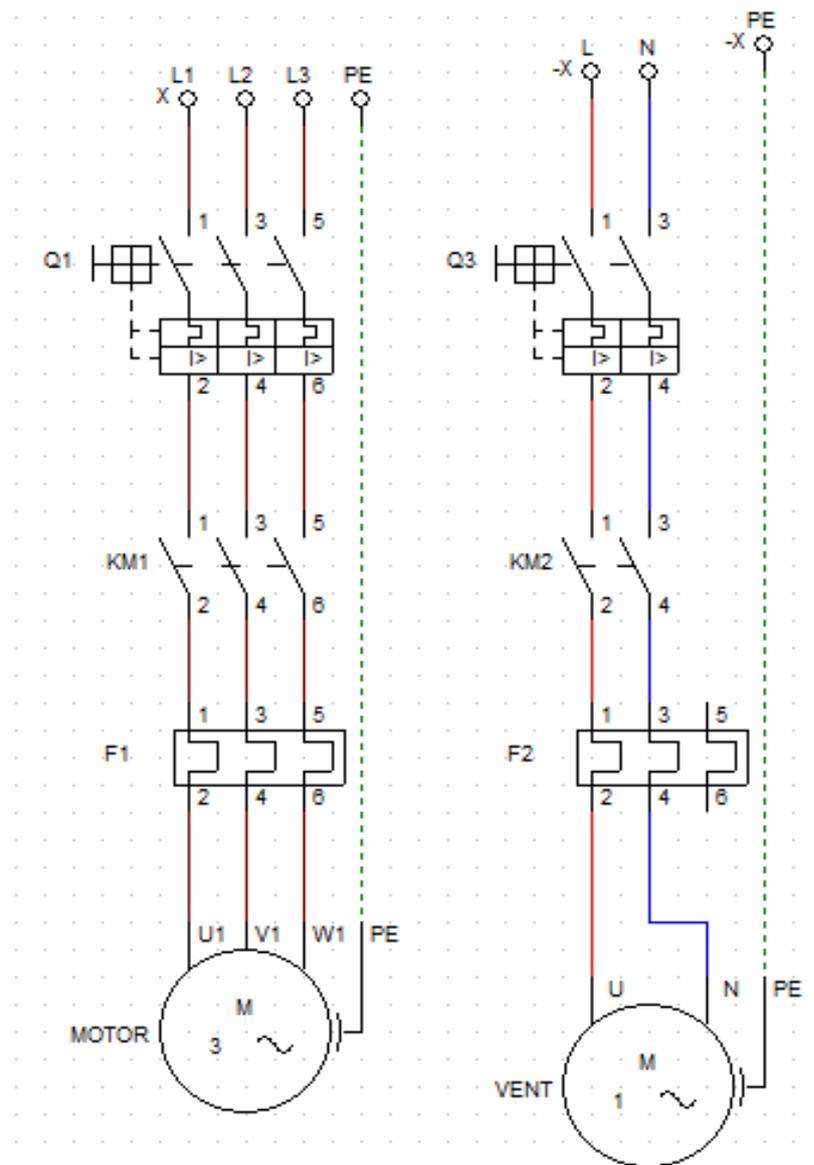
Fuente: Autores

Teniendo los elementos del circuito de control y potencia utilizamos el software CADe-SIMU, para diseñar nuestro circuito eléctrico.

4.3.6.1 Circuito de potencia

Los circuitos de potencia son aquellos elementos que son los encargados de ejecutar las órdenes dictaminadas por el circuito de mando.

Figura 65: Circuito de potencia.

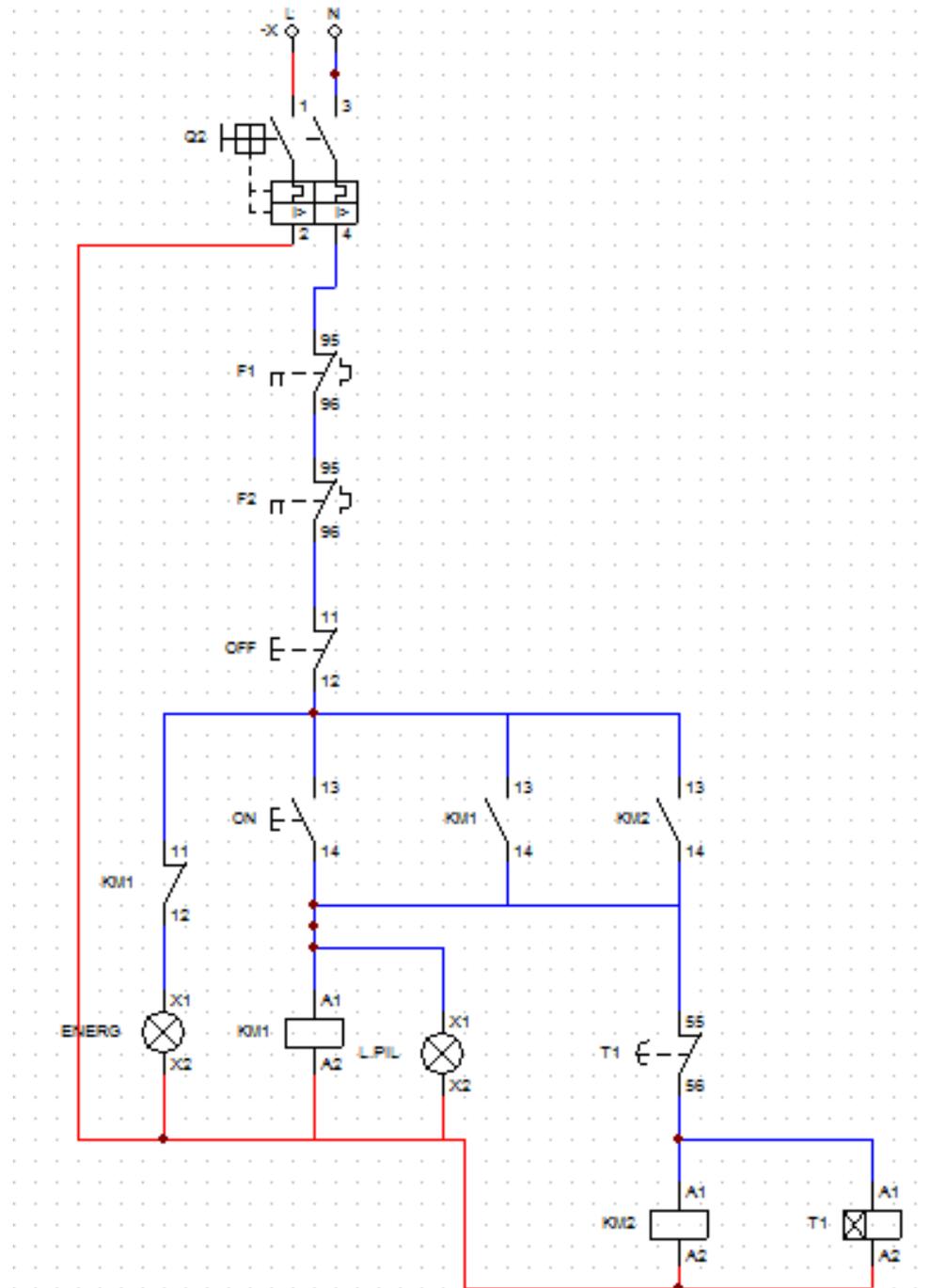


Fuente: Autores.

4.3.6.2 Circuito de mando

En el circuito de mando se representa la lógica cableada del automatismo y en él se incluirán los equipos que por un lado reciben la información de los distintos elementos de captación.

Figura 66: Circuito de mando.

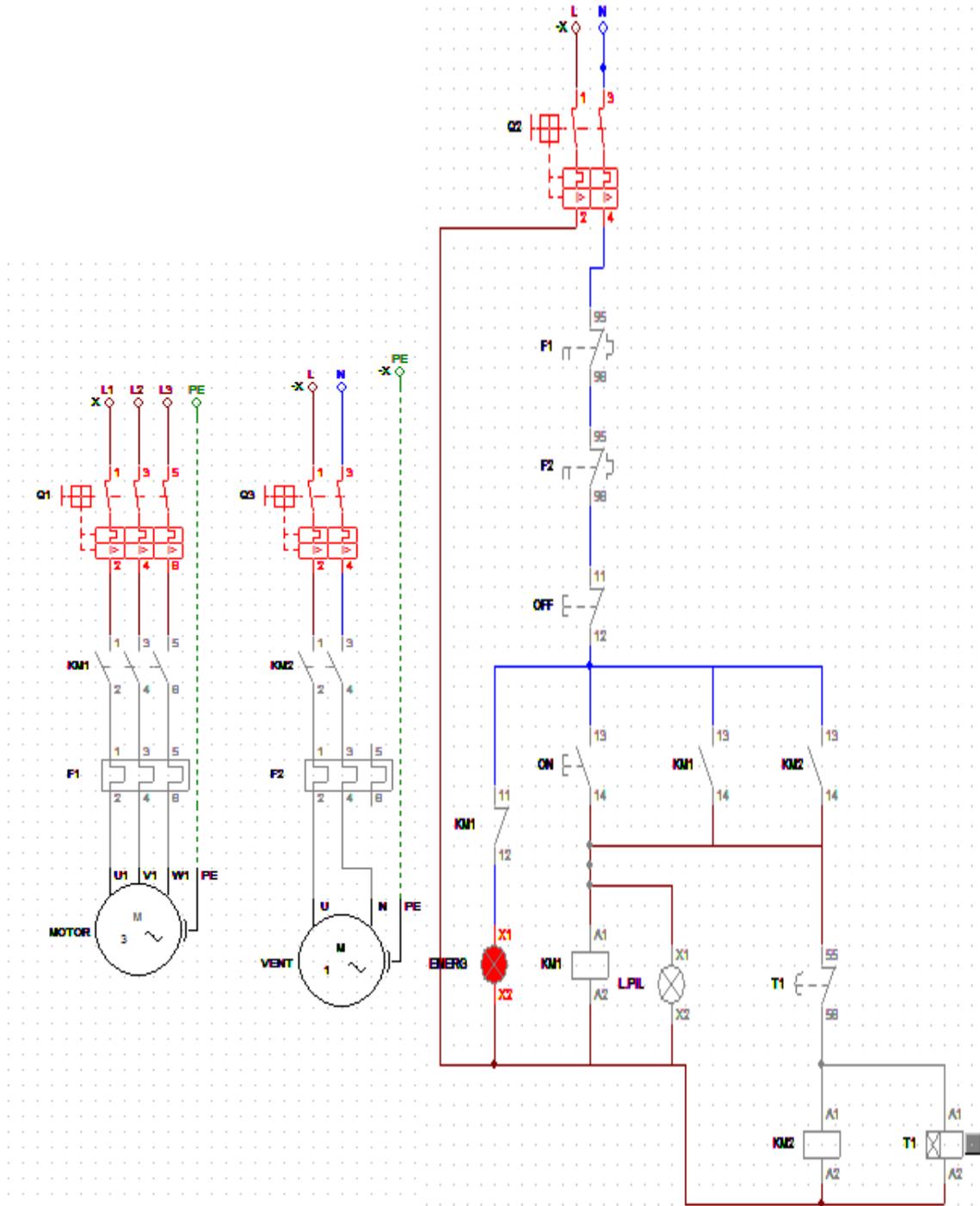


Fuente: Autores.

4.3.6.3 Funcionamiento del circuito de potencia y control

Para poder activar al circuito de potencia y control, debemos activar los disyuntores (interruptores), verificando si esta energizado el sistema, visualizando el led rojo.

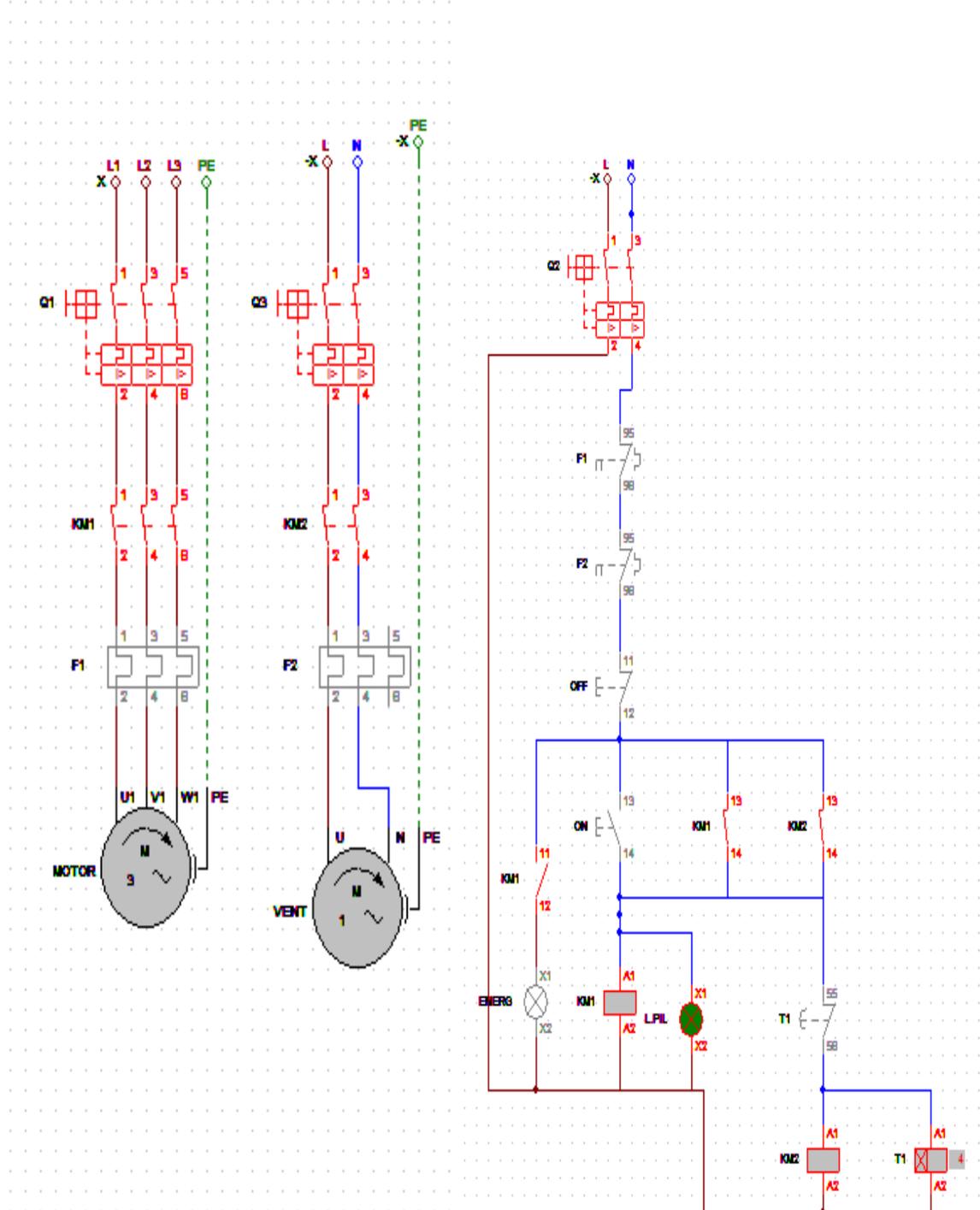
Figura 67: Circuito energizado, apagado.



Fuente: Autores.

Luego de verificar que esta con corriente el circuito, activamos ON para activar al sistema y las bobinas KM1 Y KM2 se energicen y sus respectivos contactores abiertos se cierran permitiendo el funcionamiento del motor y ventilador con su temporizador.

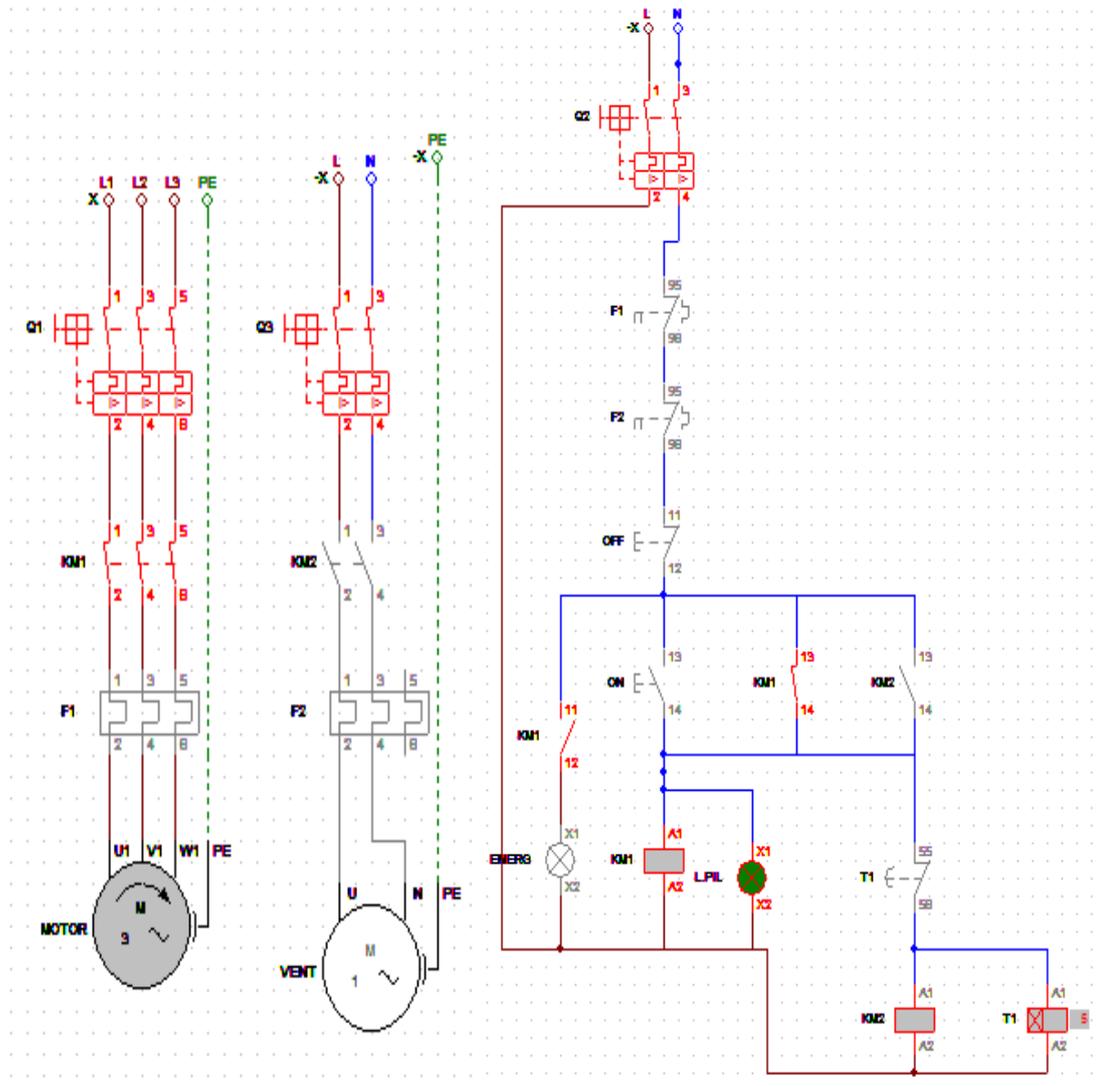
Figura 68: Circuito encendido.



Fuente: Autores.

El temporizador del ventilador tiene 600 segundos encendidos y 300 segundos apagados, mientras que el motor se permanece todo el momento encendido

Figura 69: Circuito de mando.



Fuente: Autores.

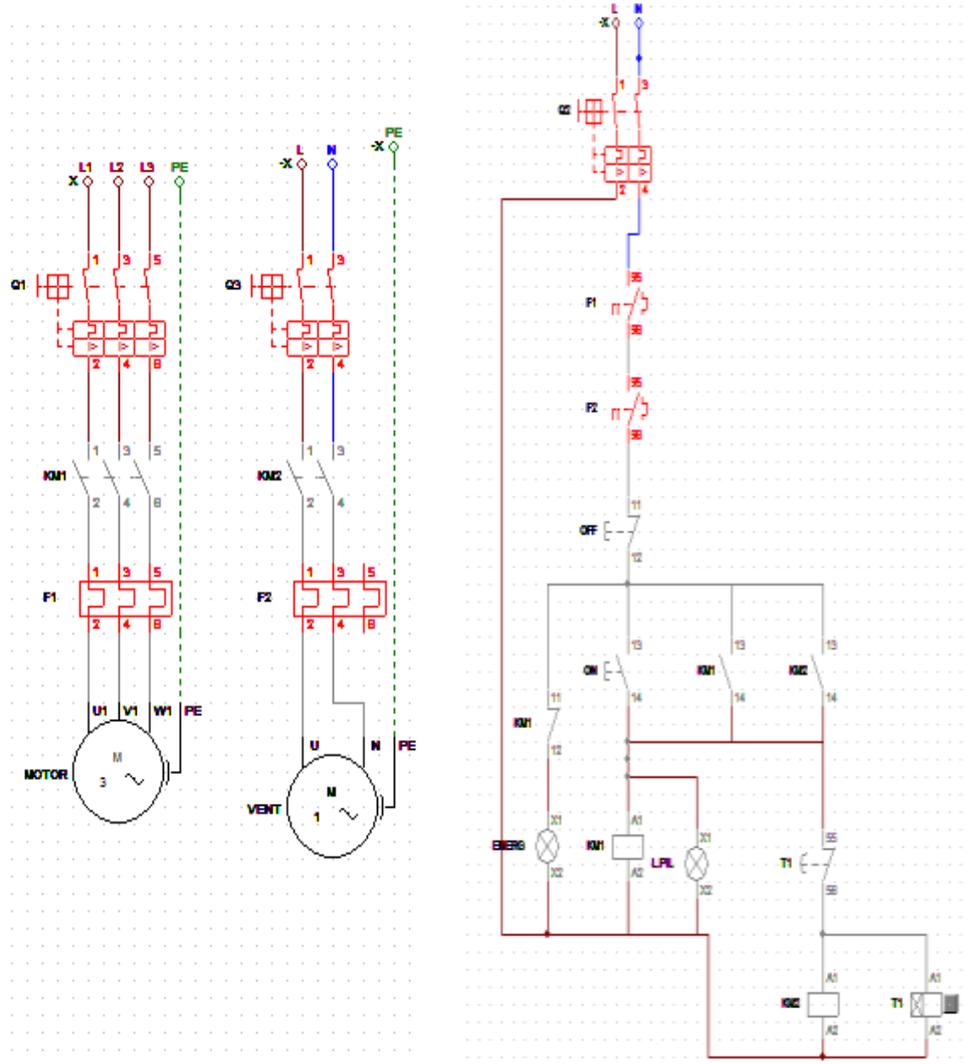
El ventilador tiene un temporizador para poder limpiar las espigas de los cepillos, y no se acumulen, manchando a las tunas.

4.3.6.4 Seguridad del circuito

El circuito de mando y potencia tiene elementos que sirven de seguridad, como es el relé térmico, que permite regular el amperaje a un rango adecuado como protección del

circuito, permitiendo que se abra el sistema en caso de un sobre calentamiento, sin causar daños.

Figura 70: Seguridad del circuito.



Fuente: Autores.

CAPÍTULO 5

5 CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS

5.1 Construcción

En el proceso de construcción, montaje y pruebas de la máquina limpiadora de tuna se utilizó las siguientes máquinas herramientas:

Máquinas

- Torno horizontal
- Soldadora de arco
- Cortadora plasma
- Soldadora de alta frecuencia TIG.
- Compresor

Herramientas

- Cortadora de sierra
- Flexómetro
- Calibrador pie de rey
- Brocas
- Taladro de mano
- Amoladora
- Escuadras
- Martillo
- Prensa manual
- Llaves
- Remaches
- Machuelos
- Limatón

5.1.1 Componentes de la máquina y la tecnología de construcción

Para la etapa de construcción hay que seguir los siguientes procesos, para así optimizar el tiempo y el uso de los recursos, dividiéndole en sistemas aumentado así la eficiencia en el tiempo de construcción.

La máquina limpiadora de tunas se compone de 4 sistemas, mostradas a continuación en la tabla 23.

Tabla 23: Sistemas de la máquina limpiadora de tunas

Sistemas	Esquema
Sistema estructural	
Sistema de entrada, salida de las tunas y expulsión de las espinas.	
Sistema motriz	
Sistema eléctrico	

Fuente: Autores

5.1.2 Procedimiento de construcción.

A continuación, en la tabla 24 se detalla las partes y elementos que conforman la máquina limpiadora de tunas, así como el tipo de material.

Tabla 24: Elementos de máquina limpiadora de tunas

Sistema	Elemento	Cantidad	Material/Modelo
Sistema estructural	Estructura base	1	ASTM A-500 Galvanizado/Perfil rectangular 25x50x1.5
	Estructura superior	1	ASTM A-36 /Perfil angular AL 25x3
	Base del motor	1	ASTM A-36 /Perfil angular AL 40x4
	Placa base para las ruedas	4	ASTM A-36 /Plancha de 4mm
Sistema de alimentación, limpieza, salida de las tunas y expulsión de las espinas.	Tolva de entrada	1	Acero inoxidable AISI 304/ plancha de 1mm
	Tolva de salida	1	Acero inoxidable AISI 304/ plancha de 1mm
	Paredes laterales	2	Acero inoxidable AISI 304/ plancha de 1mm
	Tapa superior	1	Acero inoxidable AISI 304/ plancha de 1mm
	Tolva recolectora y salida de espinas.	1	Acero inoxidable AISI 304/ plancha de 1mm
	Ventilador	1	Plástico / S 1800rpms 12v,20mA
	Tubería desfogue	1	Plástico PVC/ tubería de 3 pulgadas
Sistema motriz	Cepillos	8	Polímero / cepillo circular de 20 mm diámetro y 50 cm largo
	Bocín	16	Aluminio /
	Ejes	16	ASTM A-36 / Eje de ¾ de pulgada
	Piñón	16	Acero de bajo carbono/ Piñón 428-15D
	Anillo separador piñón	8	Aluminio /

	Chumaceras de piso	16	Normalizado/ UCP 204
	Cadenas	5	Normalizados/
	Motor reductor	1	Arcada/ 2HP 220v
Sistema eléctrico	Circuito de potencia	1	Diseño y selección
	Circuito de control	1	Diseño y selección
	Caja de control	1	Normalizado
	Motor	1	Normalizado

Fuente: Autores

5.1.3 *Tiempos de construcción de la máquina limpiadora de tuna.*

A continuación, en la tabla 25 se detalla el tiempo en construir cada elemento que forman parte de la máquina.

Tabla 25: Tiempos de construcción de la máquina limpiadora de tunas.

Sistemas	Elementos	Nº	Operaciones	Tiempo(h:m:s)	total (h:m:s)
Sistema estructural	Estructura base	1	Toma de medidas	0:10:00	
		2	Corte	0:20:00	
		3	Pre soldado	0:30:00	
		4	Escuadrado	0:20:00	
		5	soldado	0:30:00	
		6	Pulido	0:10:00	
	Estructura superior	7	Toma de medidas	0:40:00	
		8	Corte	0:15:00	
		9	Pre soldado	0:20:00	
		10	Escuadrado	0:20:00	
		11	Soldado	0:10:00	
		12	Pulido	0:10:00	
	Base motor	13	Toma de medidas	0:02:00	
		14	Corte	0:05:00	

		15	Pre soldado	0:04:00	0:25:00		
		16	Escuadrado	0:04:00			
		17	Soldado	0:05:00			
		18	Pulido	0:05:00			
		Placa base para las ruedas	19	Toma de medidas		0:05:00	1:00:00
			20	Corte		0:15:00	
21	Pre soldado		0:10:00				
22	Escuadrado		0:15:00				
23	soldado		0:10:00				
24	Pulido		0:05:00				
Sistema de entrada, salida de las tunas y expulsión de las espinas.	Tolva de entrada	25	Toma de medidas	0:10:00	1:20:00		
		26	Corte	0:15:00			
		27	Doblado	0:10:00			
		28	Escuadrado	0:05:00			
		29	Pre soldado	0:10:00			
		30	Soldado	0:20:00			
		31	Pulido	0:10:00			
	Tolva de salida	32	Toma de medidas	0:10:00	1:30:00		
		33	Corte	0:15:00			
		34	Doblado	0:15:00			
		35	Escuadrado	0:10:00			
		36	Pre soldado	0:10:00			
		37	Soldado	0:20:00			
		38	Pulido	0:10:00			
	Paredes laterales	39	Toma de medidas	0:10:00	2:30:00		
		40	Corte	2:00:00			
		41	Escuadrado	0:05:00			
		42	Taladrado 12 agujero	0:15:00			
	Tapa superior	43	Toma de medidas	0:30:00			
		44	Corte	1:00:00			
		45	Doblado	0:15:00			
		46	Escuadrado	0:20:00			

		47	Pre soldado	0:10:00	3:10:00
		48	Soldado	0:30:00	
		49	Pulido	0:15:00	
		50	Taladrado 6 agujeros	0:10:00	
	Tolva recolectora y salida de espinas.	51	Toma de medidas	1:30:00	4:20:00
		52	Corte	0:30:00	
		53	Doblado	0:20:00	
		54	Escuadrado	1:00:00	
		55	Taladrado 30	1:00:00	
	Ventilador	56	Escuadrado	0:10:00	0:40:00
		57	Taladrado 10 agujero	0:30:00	
	Tubería desfogue	58	Escuadrado	0:10:00	0:25:00
59		Taladrado 8 agujero	0:15:00		
Sistema motriz	Cepillos	60	Toma de medidas	0:30:00	121:30:00
		61	Corte 8 cilindros	1:00:00	
		62	Torneo 8 cilindros	40:00:00	
		63	Taladrado de los 8 cilindros	32:00:00	
		64	Puesta de la fibra sintética	48:00:00	
		65	Corte de fibra sintética	32:00:00	
	Bocines	66	Toma de 16 medidas	0:30:00	8:30:00
		67	Torneo 16 bocines	4:00:00	
		68	Taladrado 6 agujeros x C/u	4:00:00	
	Ejes	69	Toma de 16 medidas	0:30:00	6:30:00
		70	Cortes	1:00:00	
		71	Torneado 16 ejes	2:00:00	
		72	Taladrado 6 agujeros	1:00:00	
		73	Roscado 6	2:00:00	
	Anillos separadores	74	Toma de 8 medidas	0:30:00	2:00:00
		75	torneado de x 16	1:00:00	
		76	Taladrado 2 agujeros x	0:30:00	

			C/U			
	Piñón	77	Calibración con el eje	0:30:00	0:30:00	
	Chumaceras de piso	78	Taladrado de 32 agujeros			
		79	Adecuación con el eje	0:30:00	0:30:00	
	Cadenas	80	Toma de medidas	2:00:00		
		81	Adaptación	1:00:00	3:00:00	
	Motor reductor	82	Acoplamiento base	0:30:00		
		83	Taladrado 4 agujeros	0:30:00	1:00:00	
	Sistema eléctrico	Circuito de potencia	84	Diseño de diagrama de potencia	1:00:00	
85			Conexión del contactor	0:10:00		
86			Conexión del temporizador	0:20:00		
87			Conexión de la fuente	0:10:00	1:40:00	
Circuito de control		88	Diseño de diagrama de control	0:20:00		
		89	Conexión de la fuente	0:10:00		
		90	Conexión al pulsador N/A	0:10:00		
		91	Conexión al pulsador N/C	0:10:00		
		92	Conexión luz piloto	0:10:00	1:00:00	
Caja de control		93	Montaje del riel	0:10:00		
		94	Montaje de circuitos de control y de potencia	0:30:00		
		95	Taladrado de la caja de control hacia la base	0:10:00	0:50:00	
Motor		96	Conexión a la caja de control	0:30:00	0:30:00	
					166:45:00	

Fuente: Autores

Durante el proceso de construcción existen elementos que forman parte de un sub ensamble, ya que esta soldado y remachados debidamente para obtener el elemento final, en la tabla 26 se muestra los elementos que se han unido para obtener un solo elemento.

Tabla 26: Sub ensamble de la máquina

Elemento sub ensamble	Esquema	Elemento final
Tolva ingreso del producto		Cuerpo
Tapas laterales		
Tapa superior		
Tolva recolectora y salida de espinas.		
Tolva de salida del producto		
Pernos		
Remaches		
Ventilador		
Acrílico transparente		
Estructura base		
Soporte caja de control		
Placa base del motor reductor		

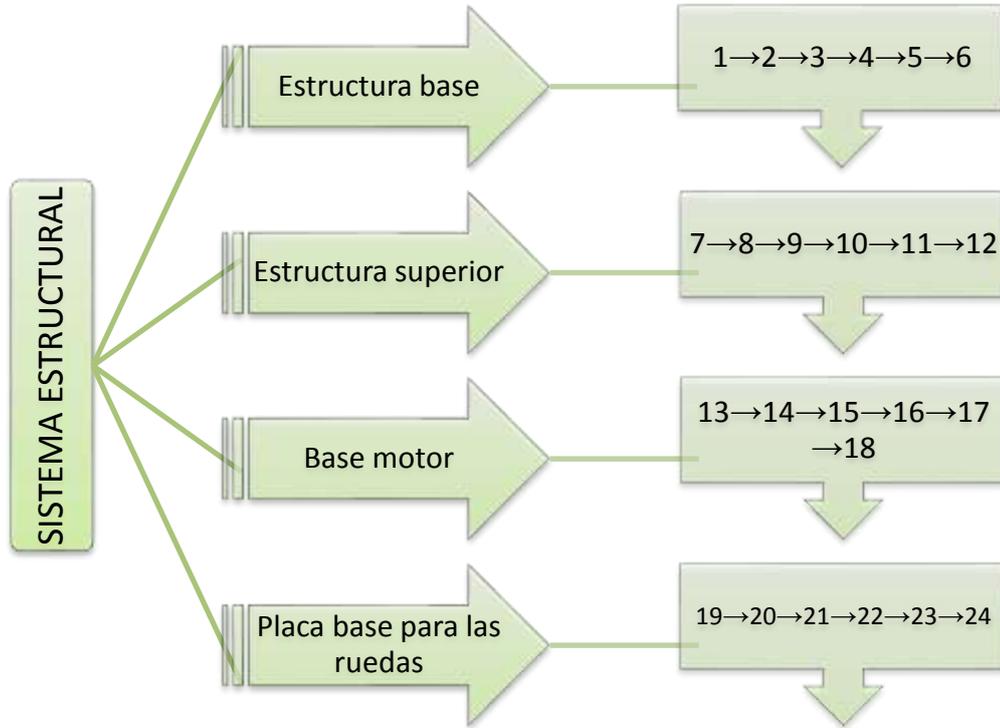
Fuente: Autores.

5.1.4 *Flujograma de construcción.*

Aquí se indica la secuencia que se sigue en el momento de la construcción, de acuerdo con los sistemas.

Flujograma de construcción del sistema estructural. A continuación, en la figura 71 se detalla secuencialmente el elemento del sistema como la numeración de las operaciones.

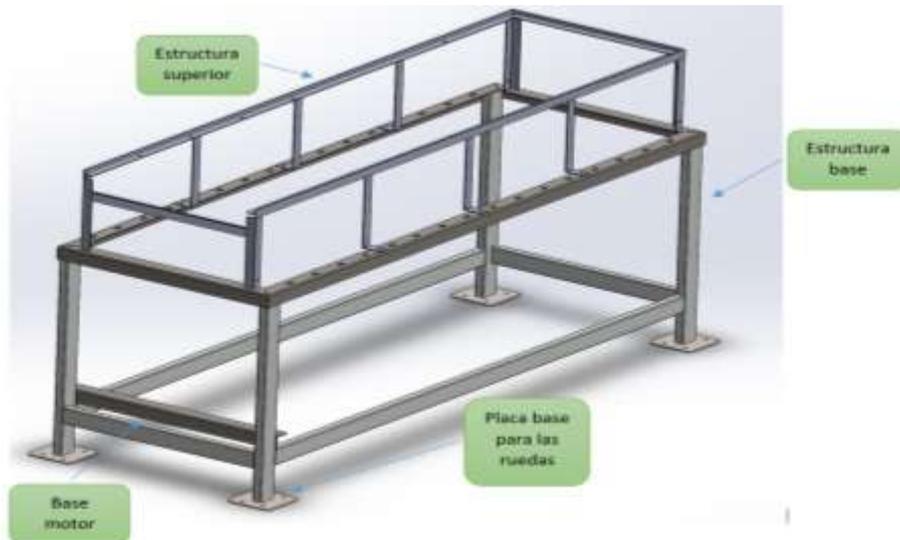
Figura 71: Flujograma de construcción del sistema estructural.



Fuente: Autores.

Al final se obtuvo la siguiente estructura como se indica en la figura 72.

Figura 72: Estructura de la máquina limpiadora de tunas.



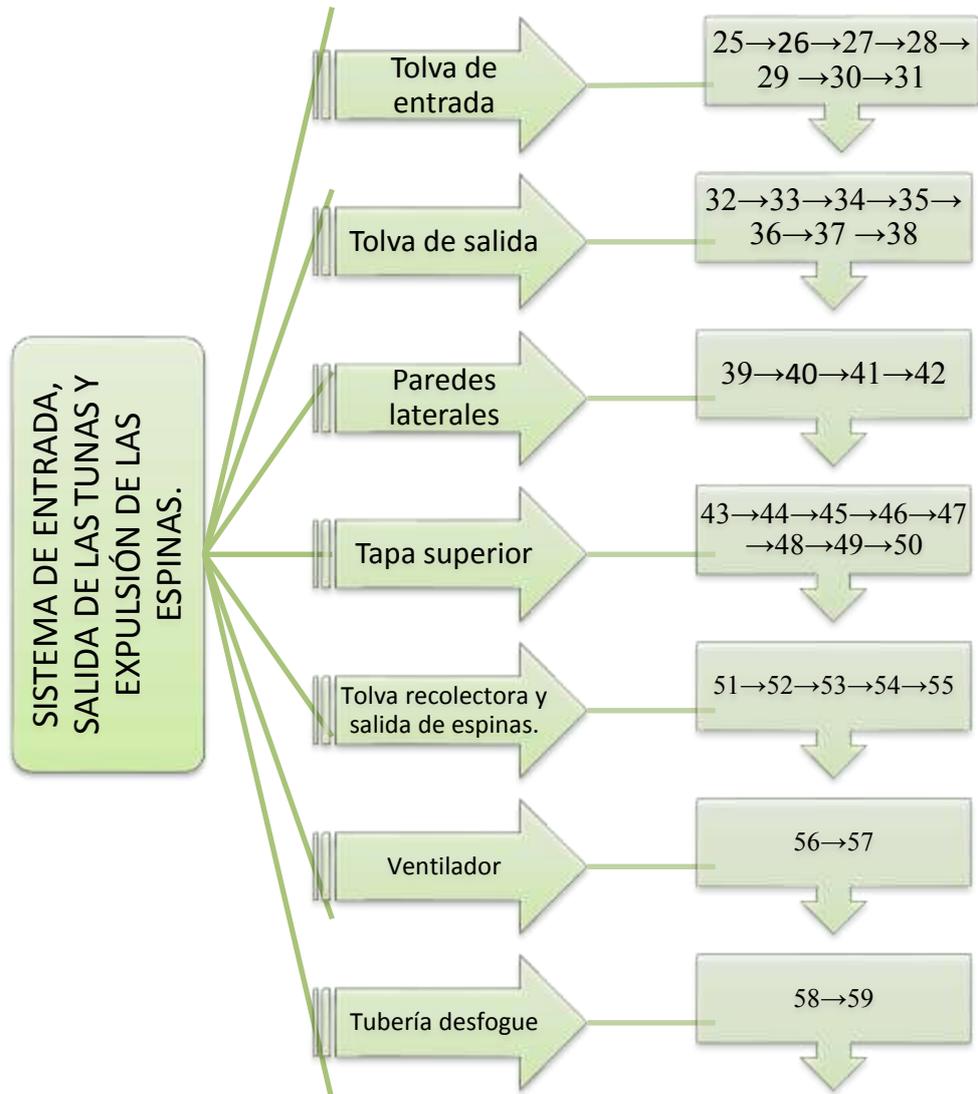
Fuente: Autores.

Figura 73: Construcción de la estructura.



Fuente: Autores.

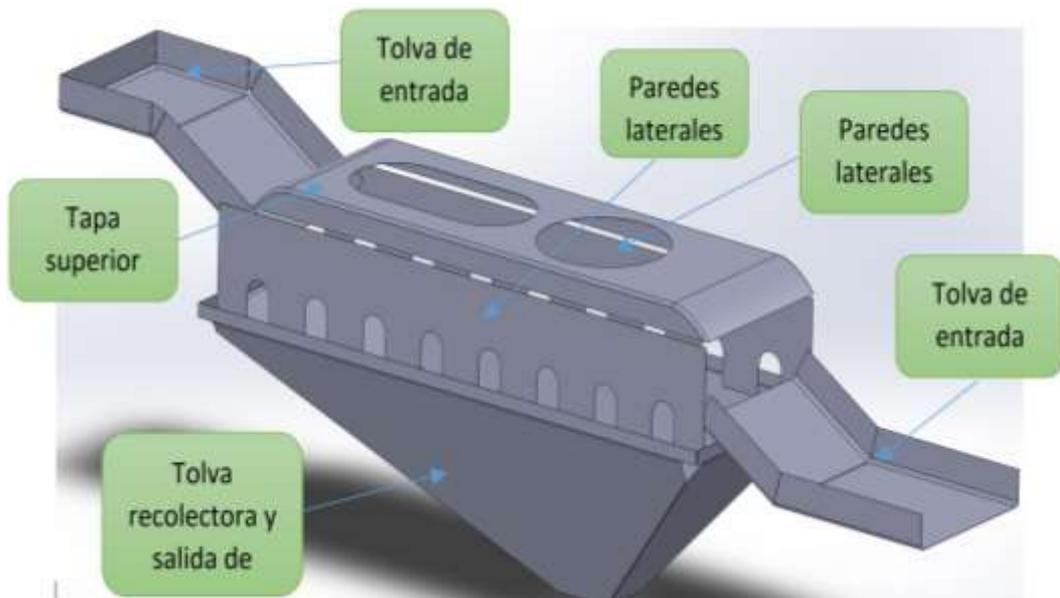
Figura 74: Estructura de la máquina limpiadora de tunas.



Fuente: Autores

Al final se obtuvo la siguiente estructura como se indica en la figura 75

Figura 75: Parte estructural de la máquina.



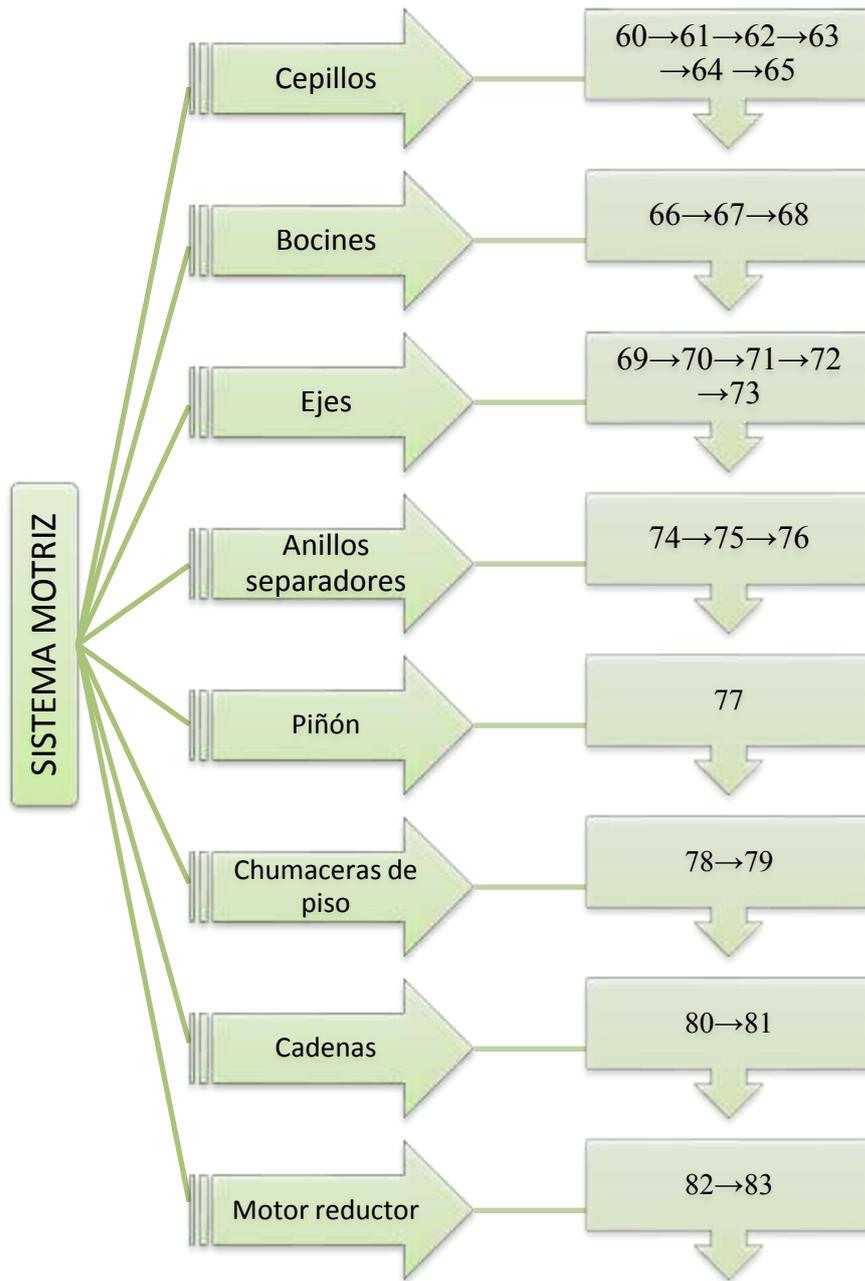
Fuente: Autores.

Figura 76: Construcción de la parte estructural.



Fuente: Autores.

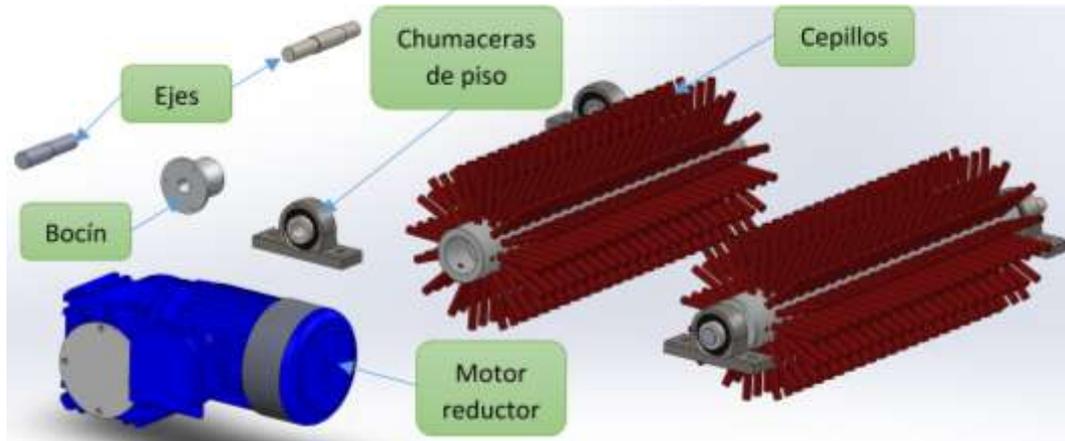
Figura 77: Flujograma del sistema motriz.



Fuente: Autores.

Al final se obtuvo la siguiente estructura como se indica en la figura 76

Figura 78: Estructura del sistema de limpieza de la máquina.



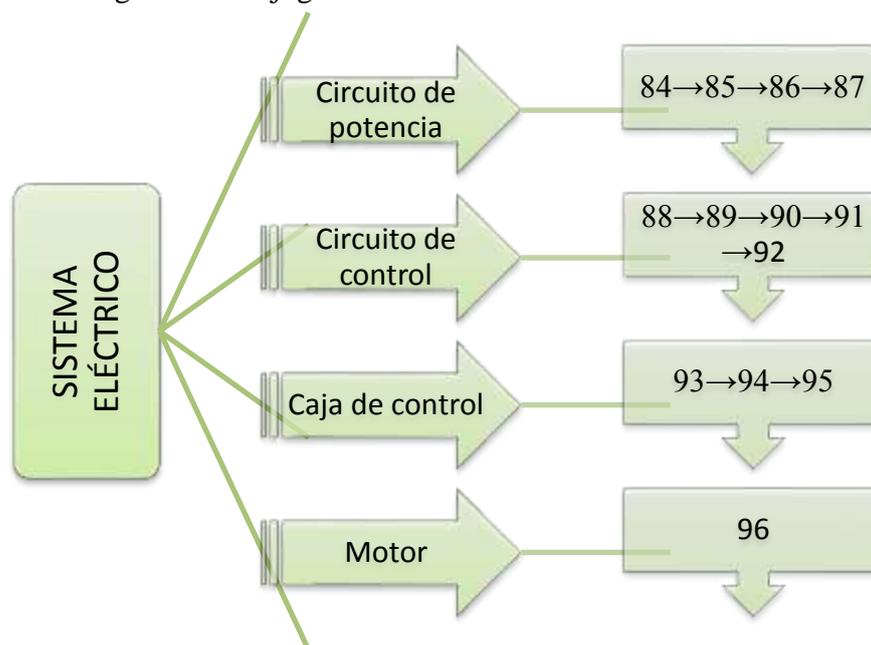
Fuente: Autores.

Figura 79: Construcción de rodillos



Fuente: Autores.

Figura 80: Flujograma del sistema Eléctrico.



Fuente: Autores.

5.2 Montaje de la máquina limpiadora de tunas.

En el proceso de montaje se detalla el tiempo de cada sistema en conformar la máquina.

5.2.1 *Montaje del sistema estructural.* En la tabla 27 se indica cómo se realizó el montaje de los sistemas descritos anteriormente.

Tabla 27: Montaje del sistema estructural.

Montaje del sistema estructural		
Operaciones	Símbolo	Tiempo
Traslado de los elementos al sitio de trabajo	M1	0:20:00
Montaje de la estructura base	M2	0:20:00
Montaje de la estructura superior	M3	0:30:00
Montaje de la base motor	M4	0:10:00
Montaje de la placa base para las ruedas	M5	0:30:00
Subtotal		1:50:00

Fuente: Autores.

Montaje Sistema de entrada, salida de las tunas y expulsión de las espinas.

Tabla 28: Montaje sistema de entrada, salida de las tunas y expulsión de las espinas.

Montaje Sistema de entrada, salida de las tunas y expulsión de las espinas.		
Operaciones	Símbolo	Tiempo
Traslado de los elementos al sitio de trabajo	M6	0:20:00
Montaje de la tolva de entrada	M7	0:20:00
Montaje de la tolva de salida	M8	0:20:00
Montaje de las paredes laterales	M9	0:10:00
Montaje de la tapa superior	M10	0:30:00
Montaje de la tolva recolectora y salida de espinas	M11	2:00:00
Montaje del ventilador	M12	0:30:00
Montaje de la tubería desfogue	M13	0:30:00
Remachado de los elementos	M14	3:00:00
Subtotal		7:40:00

Fuente: Autores.

5.2.2 *Montaje Sistema motriz.* Este se lo realizo como se indica en la tabla 29.

Tabla 29: Montaje sistema motriz.

Montaje del sistema motriz		
Operaciones	Símbolo	Tiempo
Traslado de los elementos al sitio de trabajo	M15	0:40:00
Montaje de los cepillos	M16	0:20:00
Montaje de los bocines	M17	2:00:00
Montaje de los ejes	M18	2:00:00
Montaje de los anillos separadores	M19	0:30:00
Montaje de los piñones	M20	0:30:00
Montaje de las chumaceras de piso	M21	2:00:00
Montaje de las cadenas	M22	2:00:00
Montaje del motor reductor	M23	0:20:00
Atornillado de los elementos	M24	4:00:00
Subtotal		10:20:00

Fuente: Autores.

5.2.3 Montaje Sistema Eléctrico.

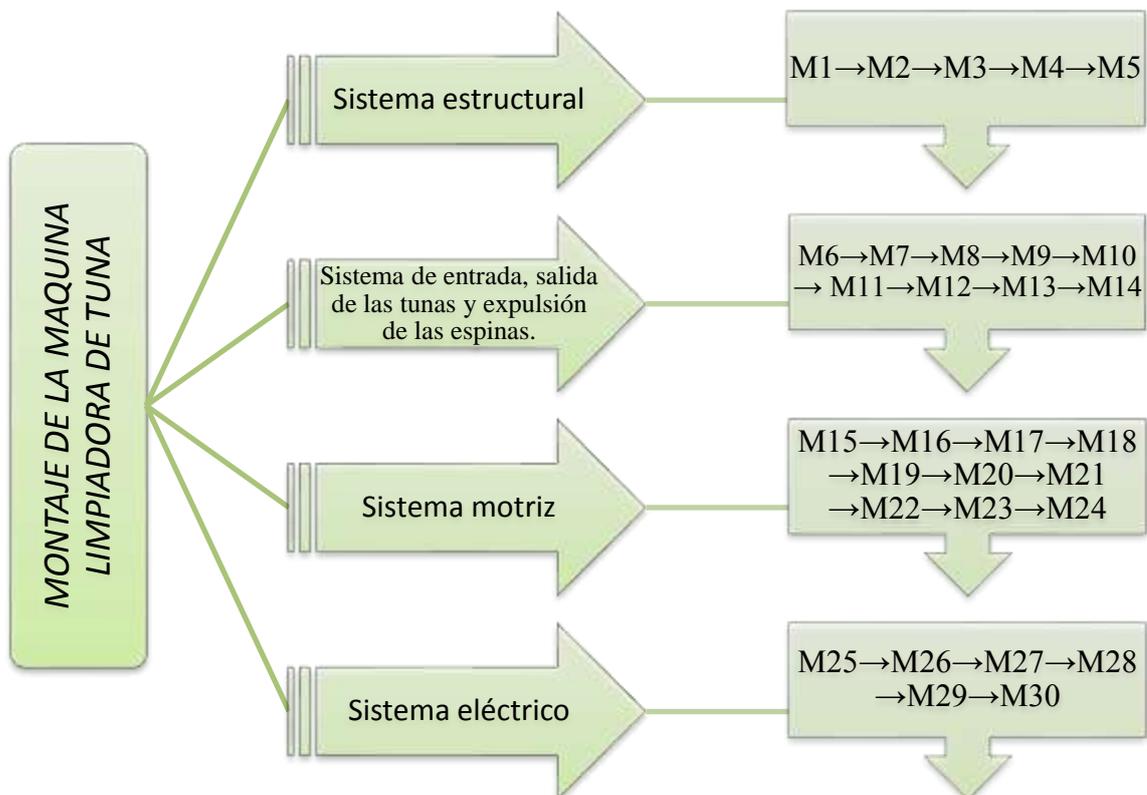
Este se lo realizó como se indica en la tabla 30.

Tabla 30: Montaje sistema eléctrico.

Montaje del sistema eléctrico		
Operaciones	Símbolo	Tiempo
Traslado de los elementos al sitio de trabajo	M25	0:20:00
Montaje del circuito de potencia	M26	0:40:00
Montaje del circuito de control	M27	0:40:00
Montaje de la caja de control	M28	0:30:00
Montaje del motor	M29	0:20:00
Atornillado de los elementos	M30	0:30:00
Subtotal		3:00:00

Fuente: Autores.

Figura 81: Flujograma del montaje de la máquina limpiadora de tuna.



Fuente: Autores.

A continuación en la Tabla 31 se indica los tiempos de construcción y montaje.

Tabla 31: Tiempos de construcción y montaje

Tiempo de montaje	22:50:00
Tiempo de construcción	166:45:00
Tiempo total de construcción de la máquina limpiadora de tunas	189:35:00

Fuente: Autores

El tiempo que se necesita para la construcción y montaje de la máquina limpiadora de tuna es de 189:35:00(h:m:s), que al hacer una relación de trabajo de 8 h por día, quedando como resultado 23 días con 5h. y 35min. Que aproximado la máquina estará lista en 24 días laborables.

5.3 Pruebas de la máquina limpiadora de tunas

5.3.1 Plan de pruebas de funcionamiento.

Se aplicó un procedimiento para comprobar el correcto funcionamiento de la máquina limpiadora de tunas, la máquina estuvo sometida a diferentes pruebas como: en vacío (sin carga), en carga parcial y carga total, dándonos como resultado aceptaciones positivas, teniendo pequeños inconvenientes que posteriormente se fue calibrando.

5.3.1.1 Pruebas en vacío.

Esta prueba se realizó con el objetivo de verificar el funcionamiento del motor, así como del reductor.

En la tabla 31 se muestra los resultados obtenidos en las pruebas que se realizó

Tabla 32: Datos obtenido en el arranque sin carga.

Arranque sin carga	Corriente de régimen 0.5 A
	Revoluciones 60 rpm
	Voltaje 220 V.

Fuente: Autores.

Cálculo de la potencia en vacío.

$$P = V * I * \cos\theta \quad (40)$$

Dónde:

P= Potencia

V= Voltaje

I= Corriente

$$\cos\theta = 0,78 \text{ Factor de potencia (ver Anexo)}$$

Al reemplazar los valores en la ecuación xx se obtiene la potencia que consume la máquina cuando está en vacío.

$$P = 220V * 0.5A * \cos 0,78$$

$$P = 0.15Hp$$

5.3.1.2 Pruebas a carga parcial.

En este tipo de prueba se colocó el motor conjuntamente con el sistema motriz conectando consecutivamente; las cadenas, los piñones, ejes, cepillos.

En la tabla 32 se muestra los resultados de la prueba a carga parcial.

Tabla 33: Prueba a carga parcial.

Arranque a carga parcial	Corriente de régimen 1 A
	Revoluciones 60 rpm
	Voltaje 220 V.

Fuente: Autores.

Cálculo de la potencia en carga parcial.

$$P = V * I * \cos\theta \quad (41)$$

Al reemplazar los valores en la ecuación 41 se obtiene la potencia que consume la máquina cuando está en carga parcial.

$$P = 220V * 1.2A * \cos 0,78$$

$$P = 0.35Hp$$

5.3.1.3 Pruebas a carga total

Para esta prueba se lo realizó con las tunas ya en el interior del sistema de limpieza, y la máquina funcionando.

En la tabla 34 se muestra los resultados de la prueba a carga total.

Tabla 34: Prueba a carga total.

Arranque a carga total	Corriente de régimen 1,95 A
	Revoluciones 60 rpm
	Voltaje 220 V.

Fuente: Autores.

Cálculo de la potencia en vacío.

$$P = V * I * \cos\theta \tag{42}$$

Al reemplazar los valores en la ecuación 42 se obtiene la potencia que consume la máquina cuando está a plena carga.

$$P = 220V * 1.95 * \cos 0.78$$

$$P = 0.57Hp$$

5.3.2 Pruebas mecánicas de la máquina limpiadora de tuna.

Aquí se verifica fenómenos físicos que alteran el funcionamiento normal de los mecanismos, tales como el ruido, el calentamiento excesivo de los distintos elementos que dan funcionamiento a la máquina.

Para la prueba mecánica se realizó a plena carga, por un tiempo prolongado de una jornada, observando así las distintas anomalías como también el desempeño de los elementos. Se evaluó de forma continua para así evitar problemas de funcionamiento que pudieran existir en la máquina limpiador de tuna.

En la tabla 35 se muestra los resultados y observaciones de cada elemento de la máquina durante las pruebas efectuadas.

Tabla 35: Pruebas mecánicas de la máquina limpiadora de tuna.

Elementos	Ruidos	Calentamiento	No problema	Observaciones
Chumaceras			X	
Ejes			X	
Engranés			X	
Cadenas	X			Ruido muy ligero
Protector de cadenas			X	Evitar que este en contacto con las cadenas y engranes.
Motor reductor		X		Ligero calentamiento, al transcurrir el tiempo de funcionamiento
Ventilador	X	X		Ligero calentamiento y ruido durante el funcionamiento
Pernos			X	
Remaches			X	

Fuente: Autores.

5.3.3 Verificación de la capacidad de producción

En este proceso se tuvo que llevar la máquina al campo de producción de las tunas ya que en ese lugar encontramos la cantidad de tunas a limpiar para que fue diseñada, para esto se siguió el siguiente procedimiento.

Llevar la máquina al campo de producción de tunas.

Las tunas deben estar listas para ser ingresadas a la máquina.

Colocar las tunas en la tolva consecuentemente vaya ingresando a sistema de limpieza.

Recoger las tunas en la tolva de salida.

Los resultados de la capacidad de producción se muestran en la siguiente tabla 36.

Tabla 36: Verificación de la capacidad de producción.

Tipo de Tunas aproximada	Cantidad ingresada de tunas por minuto	Tiempo estimado (s)	Cantidad de tunas salidas
Grande	20	40	20
Mediana	30	45	30
Pequeña	40	60	38

Fuente: Autores.

Las tunas que sufrieron un atascamiento en los rodillos, por lo general son cuartas ya que estas se caen entre los rodillos hacia la tolva recolectora de espinas, esto es justificable ya que las tunas desechadas formarían parte del desperdicio.

Con esto se comprueba la capacidad de la máquina para que fue diseñada, la cual está dentro del parámetro de diseño.

5.3.3.1 Potencia consumida de la máquina limpiadora de tuna.

Aquí se indica la energía que consume la máquina desde el momento que ingresa la primera tuna hasta su carga total.

Tabla 37: Resultado de potencias consumida por la máquina limpiadora de tunas.

Tunas en la máquina	Amperaje	RPM	Voltaje	Potencia
5 tuna	0.5	60	220	0.15
10 tunas	0.5	60	220	0.15
15 tunas	0.7	60	220	0.21
20 tuna	0.9	60	220	0.27
25 tunas	1.1	60	220	0.32
30 tunas	1.2	60	220	0.35
35 tunas	1.5	60	220	0.44
40 tunas	1.8	60	220	0.53

Fuente: Autores.

5.3.3.2 *Tiempos de salida de la tuna.*

Se tomó en cuenta la cantidad tunas salen por la tolva de salida en cada minuto.

Tabla 38: Tiempo de salida de las tunas.

N° de mediciones	Cantidad de tunas por minuto
1	20
2	21
3	23
4	19
5	15
6	20
7	22
8	21

Fuente: Autores.

La cantidad total de tunas que sale de la máquina es de 20 por minuto el cual se acerca mucho al valor calculado en el diseño.

5.3.3.3 *Porcentaje de limpieza de la tuna según su tamaño.*

En este proceso se obtuvo con la ayuda del agricultor que sabe acerca del fruto, ya que calificara que tan limpia esta la tuna.

Tabla 39: Porcentaje de limpieza de la tuna.

Tipo de Tunas aproximada	Porcentaje de limpieza
Grande	100%
Mediana	100%
Pequeña	90%

Fuente: Autores.

El agricultor supo manifestar que la tuna está más presentable de costumbre, eso quiere decir que aparte de estar limpia había tomado un brillo de la tuna, siendo atractiva para el consumidor.

5.4 **Verificación de los requerimientos.**

En la selección de alternativas se consideró como tema principal el criterio del auspiciante, el cual dio a conocer sus requerimientos y características para el diseño de la máquina, y así pasarlos en criterios técnicos.

Al momento de la construcción, se realizó las pruebas necesarias ya que es importante comprobar si se ha cumplido con todos los requerimientos establecidos.

5.4.1 *Verificación de los requerimientos del usuario (voz del usuario).*

En la tabla 40 se describe si se cumple o no los requerimientos del usuario.

Tabla 40: Verificación de los requerimientos de usuario.

Requerimientos del usuario (voz del usuario)	Cumple	No cumple
Fácil operación	X	
Bajo ruido	X	
El funcionamiento no genere muchos costos	X	

Continuación de Tabla 41: Verificación de los requerimientos de usuario.

El mantenimiento sea fácil y accesible	X	
No se dañe continuamente	X	
Los espinos no estén en la intemperie	X	
Segura para el operario	X	
Buena limpieza de la fruta	X	
Económico	X	
Capacidad de la máquina	X	

Fuente: Autores.

5.4.2 Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero).

En la tabla 41 se describe si se cumple o no los criterios técnicos del ingeniero.

Tabla 42: Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero).

Requerimientos del usuario (voz del usuario)	Cumple	No cumple
Dimensiones(máquina)	X	
Tiempo de limpieza	X	
Nivel de automatización	X	
Consumo de energía	X	
Ergonomía	X	
Cambio de elementos	X	
Nivel de impacto ambiental	X	
Ciclos por minutos de limpieza	X	
Cantidad	X	
Rozamiento	X	
Nivel de ruido	X	

Fuente: Autores.

Con los resultados obtenidos en las tablas de la voz del usuario y del ingeniero se ha logrado cumplir con los objetivos técnicos planteados.

CAPÍTULO VI

6 MANUAL DE OPERACIONES, MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS DE LA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS

6.1 Manual de operaciones.

El manual de operaciones detalla las precauciones, especificaciones, puesta en marcha, operación, mantenimiento, ajustes, soluciones de problemas para cada uno de los elementos mecánicos y eléctricos de la máquina limpiadora de tunas.

6.1.1 *Vista general de la máquina.*

En la figura 82 indica los elementos generales del equipo

Figura 82: Máquina limpiadora de tunas.



Fuente: Autores.

6.1.1.1 *Accesorios de la máquina.*

Son los elementos complementarios para el funcionamiento de la máquina, o sus elementos.

6.1.1.2 *Caja de control.*

Realiza la acción de encender y apagar a la máquina, como indica la figura 80 los elementos externos de la caja de control.

Figura 83: Caja de control.



Fuente: Autores.

6.1.1.3 *Temporizador.*

Un temporizador es un aparato con el que podemos regular la conexión ó desconexión de un circuito eléctrico después de que se ha programado un tiempo. El elemento fundamental del temporizador es un contador binario, encargado de medir los pulsos suministrados por algún circuito oscilador, con una base de tiempo estable y conocida. El tiempo es determinado por una actividad o proceso que se necesite controlar.

El temporizador es utilizado para controlar el tiempo de limpieza del cepillo con el ventilador.

Figura 84: Temporizador.



Fuente: <http://es.timer-switch.com/wp-content/uploads/2013/05/AH5N-390x245.jpg>

6.1.1.4 *Contactora.*

Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se dé tensión a la bobina (en el caso de contactores instantáneos).

Es utilizado para el circuito eléctrico del equipo

Figura 85: Contactora.



Fuente: Autor.

6.1.1.5 *Fuente de poder.*

Una fuente de alimentación es un dispositivo que convierte la tensión alterna, en una o varias tensiones, prácticamente continuas, que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta.

La fuente de poder es utilizada para transformar el voltaje de 220V a 12V para energizar al ventilador que es de corriente continua.

Figura 86: Fuente de poder.



Fuente: http://img.dxcn.com/productimages/sku_417660_1.jpg

6.2 Características de la máquina limpiadora de tunas.

La máquina tiene las siguientes características como se indica en la tabla 42.

Tabla 43: Características de la máquina limpiadora de tunas.

MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS			
Características generales	Dimensiones generales		
	Alto(tolvas)	1,16m	
	Ancho	0,586m	
	Largo	2,9m	
	Capacidad de producción		2000tunas/h
	Material de construcción		
	Tolvas	Acero inoxidable	
	Cepillo	PVC	
	Estructura	Acero Galvanizado	
	Motor trifásico de 1Hp		Fuente:220V
	Peso total de la máquina		130Kg

Fuente: Autores.

6.3 Instalación del equipo.

Para la función adecuada de la máquina, es importante la instalación correcta en el lugar de trabajo, para ello se recomienda.

- Colocar el equipo en una superficie lisa evitando que no exista desniveles en sus cuatro llantas.
- Conectar el equipo a la fuente de energía eléctrica.

Figura 87: Interruptor trifásico.



Fuente: <https://thumbs.dreamstime.com/z/disyuntor-trifsico-30808701.jpg>

6.3.1 *Requisitos necesarios*

Para la utilización de la máquina limpiadora de tunas se requiere:

- Suministro de corriente trifásica 220V.
- Piso liso, a nivel.

6.4 Instrucciones de operación.

Estas son las indicaciones que el operador debe cumplir antes de empezar el funcionamiento del equipo.

- Verificar que los frenos de las llantas delanteras estén en funcionamiento para que no exista movilidad de la máquina.

- Revisar que las cadenas estén engrasadas correctamente
- Comprobar que el recipiente de adquisición de espinas se encuentre correctamente instalado y no exista fugas.

6.4.1 Inicio del proceso.

Para el comienzo del proceso de limpieza de la tuna tenemos que tomar en cuenta los siguientes pasos, indicados en la tabla 43

Tabla 44: Inicio de proceso de limpieza.

<p>1. Conectar el equipo a la línea de corriente eléctrica</p>	
<p>2. Colocar un recipiente en la parte inferior de la tolva de salida de espinas</p>	
<p>3. Para encender el equipo, girar a la derecha el interruptor, en ON</p>	
<p>4. Agregar las tunas en la tolva de ingreso, continuamente</p>	

Fuente: Autores

6.4.2 Limpieza del equipo.

Terminado el proceso de limpieza de las tunas se recomienda seguir el siguiente procedimiento como indica la tabla 44.

Tabla 45: Limpieza del equipo

<p>1.Desconectar el equipo de la corriente eléctrica</p>	
<p>2. Levantar la tapa , con un chorro de agua limpiar los cepillos, tolvas , que se desprendan de los espinos</p>	
<p>3. Desechar el envase de forma segura que no contamine el ambiente</p>	
<p>4. Limpieza superficial del equipo</p>	

Fuente: Autores.

Durante la limpieza con agua, verificar que no exista contacto con los elementos eléctricos, como la caja de control, fuente, motor, ventilador

6.5 Manual de mantenimiento.

La máquina limpiadora de tunas para su correcto funcionamiento, es necesario tener un plan de mantenimiento, ya que sus elementos sufren desgaste y degradación por su uso. Al no ser realizado correctamente el mantenimiento, reducirá la eficiencia de la máquina hasta llegar al paro total del equipo.

La tabla 44 indica los procedimientos básicos para tener un buen mantenimiento de la máquina, teniendo el siguiente cronograma.

Tabla 46: Cronograma de mantenimiento.

Cronograma de mantenimiento de la máquina						
ACTIVIDAD	Diario	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Limpiar las fibras de los cepillos	x					
Inspeccionar el ventilador	x					
Verificar el desgaste de la fibra				x		
Lubricar las cadenas y rodamientos		x				
Inspeccionar pernos y tornillos flojos y desgastados			x			
Tensado de cadenas					x	
Revisar los rodamientos			x			
Pintura en la estructura						x
Cambio de aceite en el reductor					x	
Verificar calentamiento en el motor	x					

Fuente: Autores.

6.6 Riesgos y medidas preventivas.

La máquina limpiadora de tunas tiene sistemas que podrían causar daño al operador, por tener una mala práctica en el momento que la máquina este en su funcionamiento.

6.6.1 Riesgos ergonómicos.

Son los factores de riesgo que involucran objetos, puestos de trabajo, máquinas y equipos. Estos son: Sobre esfuerzo físico, manejo de cargas, posturas, entorno del trabajo, diseño de sillas, comandos, superficies y relaciones de trabajo.

Para el transporte de las cajas de tuna hacia la máquina se debe tener cuidado en las posturas de manejo de cargas.

En el instante que la tuna se introduzca en la tolva de alimentación se debe realizar sobre un andamio para tener la ubicación correcta de introducción de la fruta en la máquina.

Figura 88: Riesgo ergonómico.



Fuente: Autores.

6.6.2 Riesgos de atrapamiento.

El atrapamiento se produce cuando una parte de nuestro cuerpo queda enganchada o atrapada por algún componente del equipo.

- Debemos tener cuidado con un posible atrapamiento entre los piñones y cadena, ya que estará girando constantemente.
- Está en eminente peligro, si se retira la tapa de protección.

Figura 89: Riesgo de atrapamiento.



Fuente: Autores.

6.6.3 *Riesgos de corte.*

Existe un riesgo de corte ya que la máquina tiene segmentos de acero inoxidable con filos, que vienen a ser un eminente riesgo para las personas, que podrían sufrir daños en su piel.

Figura 90: Riesgo de corte



Fuente: Autores

6.6.4 *Riesgos eléctricos.*

Es aquel susceptible de ser producido por instalaciones eléctricas, partes de las mismas, y cualquier dispositivo eléctrico bajo tensión, con potencial de daño suficiente para producir fenómenos de electrocución y quemaduras.

La máquina esta con una tensión de 220V y es necesario tener mucho cuidado en las instalaciones eléctricas, ya que se podría producir una descarga eléctrica y producir daños.

Figura 91: Riesgo eléctrico.



Fuente: Autores.

El peligro eléctrico en la máquina se produce en el momento que se manipule internamente la caja de control.

6.7 **Análisis de costos de la máquina limpiadora de tunas.**

6.7.1 *Costos directos.*

Los costos directos son los que intervienen directamente en la construcción de la máquina limpiadora de tunas como son: materiales, mano de obra, equipos, herramientas y transporte.

6.7.2 Costos de materiales.

El costo está proporcionalmente a las dimensiones utilizadas en la construcción del elemento.

Tabla 47: Costo de materiales.

Descripción	Unidad	Precio unitario(\$)	Cantidad	
Plancha de acero inoxidable AISI 304 1670x1200x 0,7mm	m ²	17	1,9	32,3
Plancha de acero inoxidable AISI 304 2400x1200x 1mm	m ²	26	2,9	75,4
Plancha de acrílico 800x400x3mm	m ²	35	1	35
Plancha acero A36 500x500mmx5	m ²	2	1	2
Cadena #40	M	7	5,3	37,1
Tubo rectangular galvanizado 25x50x1,5 mm	M	1,5	8	12
Perfil L 25x3 mm	M	0,8	1	0,8
Perfil L 40x4 mm	M	2	4,5	9
Perfil T25x3	M	0,7	4,5	3,15
Eje 1018 Ø 20mm	M	2	4	8
PVC rectangular 40x40x35mm	M	2,5	3,5	8,75
Eje PVC Ø 70mm	M	6	4	24
Fibra	Kg	5	20	100
Grapas	Kg	2	2	4
Acople de aluminio	Kg	2,5	16	40
Thinner acrílico	Lts	0,8	2	1,6
Fondo de pintura	Lts	1	3	3
Pintura	Lts	1	3	3
Codo plástico de 45°	U	1,5	2	3

Reductor 0,4 Hp 60:1	U	60	1	60
Motor trifásico WEG 1Hp 1500rpm. 110/220V	U	80	1	80
Fuente	U	36	1	36
Ventilador 12V	U	50	1	50
Tubo de silicona	U	4	1	4
Perno 5/16 x 1 in	U	0,12	10	1,2
Perno 7/16 x 1 ½ in	U	0,15	16	2,4
Perno 5/16 x 1 ½ in	U	0,12	8	0,96
Remaches 3/16 x ¾ in	U	0,03	40	1,2
Remaches 3/16 x ½ in	U	0,03	45	1,35
Remaches 1/8 x ½ in	U	0,02	20	0,4
Contactador	U	8	1	8
Ruedas domesticas sin freno	U	8	2	16
Ruedas domesticas con freno	U	12	2	24
Caja de control	U	15	1	15
Candados de cadena	U	1	7	7
Chumaceras	U	6	16	96
Piñones pequeño	U	3	16	48
Piñones grande	U	2	7	14
Subtotal				867,61

Fuente: Autores.

6.7.3 Costos de mano de obra.

Para determinar el costo de la mano de obra se toma referencia el salario del sector metalmeccánico, donde se determina los salarios mínimos de las diferentes categorías, (ver en anexo T)

Tabla 48: Costo de mano de obra.

Descripción	Categoría	Salario real/hora	Horas -hombre	Subtotal
Tornero	C1	3,75	40	150
Soldador especializado	C1	3,75	10	37,5

Ayudantes en general	D2	3,5	100	350
Operador oxicorte	C1	3,75	3	11,25
Electricista especializado	C1	3,75	2	7,5
Subtotal				556,25

Fuente: Autores.

6.7.4 Costos de equipos y herramientas.

Se considera las horas de los equipos utilizados y sus respectivos precios con respecto del medio.

Tabla 49: Costo de equipos y herramientas

Categoría	Costo /hora	Horas de equipo	Subtotal
Torno	1,5	40	60
Cortadora por plasma	4,5	3	13,5
Soldadora de arco	1,6	6	9,6
Soldadora TIG	4,5	4	18
Cizalla mecánica	1	3	3
Cierra de cinta	1	5	5
Flexómetro	0,5	10	5
Calibrador pie de rey	1	30	30
Escuadra	0,5	15	7,5
Fresa	0,5	5	2,5
Machuelos	0,5	5	2,5
Pulidora	1,5	10	15
Compresor	2	5	10
Prensa de banco	0,5	7	3,5
Dobladora manual	2	3	6
Amoladora	2	3	6
Cepillo de alambre	0,5	4	2
Herramientas menores	1	20	20
Subtotal			219,1

Fuente: Autores.

6.7.5 Costos de transporte.

El costo del transporte del material es de 65 dólares, los materiales para la construcción de la máquina limpiadora de tunas por ser de fácil adquisición.

6.7.5.1 Costos total directo.

Es la suma de todos los costos como de materiales, mano de obra y equipos, nos dan el costo total directo utilizado en la máquina limpiadora de tuna.

Tabla 50: Costo total directo.

Costo de materiales	868
Costo de mano de obra	556,25
Costo de equipos y herramientas	219,1
Transporte	65
Total, costos directos	1708,35

Fuente: Autores.

6.7.5.2 Costos indirectos.

Los costos indirectos intervienen en los costos ingenieriles, relacionando con la supervisión y diseño de la máquina, en la tabla 49 detalla el costo /hora.

Tabla 51: Costos indirectos.

Costos ingenieriles	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Supervisión	50	horas	8	400
Diseño	30	horas	8	240
Subtotal				640

Fuente: Autores.

6.7.6 Costos totales.

Es la suma total de los costos directos como indirectos utilizados en la máquina limpiadora de tunas.

Tabla 52: Costo total.

Costos directos	1708
Costos indirectos	640
Total	2348

Fuente: Autores.

CAPÍTULO VII

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 Conclusiones.

Con el estudio bibliográfico se determinó que la tuna es una fruta delicada en su corteza y debe ser tratada con cuidado para su limpieza, debido a que podría sufrir daños en su superficie, teniendo un cambio morfológico.

La metodología de diseño mecánico, más adecuada para nuestra máquina es el expuesto por Carlos Riba que da a conocer un ciclo básico para el diseño, la cual consta de cuatro pasos los cuales son: análisis, simulación, evaluación y decisión que se adaptan a nuestra necesidad.

En la elección de la mejor alternativa se aplicó los criterios de diseño concurrente, para ello se usó la matriz de calidad QFD (Quality Function Deployment), con lo cual se relacionó los criterios del auspiciante, con los del ingeniero, una vez evaluados y determinados las diferentes alternativas, se seleccionó la máquina limpiadora de tunas con cepillos circulares con fibra de nylon.

La máquina limpiadora de tunas se diseñó en sustento de la morfología de la tuna y sus propiedades físicas, para ello se realizaron experimentaciones determinando el volumen máximo de la fruta, y la resistencia de las espinas a la fricción, y con los resultados obtenidos se diseñó los elementos mecánicos con sus respectivas geometrías acoplándose a la necesidad de nuestro problema. Se validaron los resultados obtenidos de los elementos mecánicos con el software de simulación, Ansys y SAP2000.

El tiempo que se necesita para la construcción y montaje de la máquina limpiadora de tuna es de 189:35:00(h:m:s).

La máquina limpiadora de tunas tiene la capacidad de limpiar 2000 tunas/h de una manera segura y eficiente.

Las pruebas verificaron el correcto funcionamiento del equipo, además se determinó la calidad superficial de la tuna, sin ningún cambio en sus propiedades físicas, cumpliendo con los objetivos planteado.

7.2 Recomendaciones.

Se recomienda que la tuna este en su grado de madurez normal, para poder ser ingresada a la máquina para su limpieza.

El operador debe cumplir las normas mínimas de seguridad industrial como usar guantes, gafas, mascarillas y un traje adecuado.

Que el operador revise el manual de operaciones de la máquina limpiadora de tunas antes de poner en funcionamiento.

Seguir las recomendaciones indicadas en los planes de mantenimiento.

Se recomienda realizar un estudio para implementar en la máquina limpiadora de tunas, motores de combustión interna, debido a que en todos los lugares no podemos encontrar servicio de energía eléctrica.

Se recomienda que la escuela de ingeniería mecánica se relacione más con el área agrícola para fomentar el desarrollo del área agroindustrial.

BIBLIOGRAFÍA.

CASTRO. *Agrolibertad* . [En línea] 2009. [Consulta: 4 de 10 de 2016.] Disponible en: <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>..

EL COMERCIO. *Incidencia de la tuna* . [En línea] 15 de 10 de 2011. [Consulta: 22 de 9 de 2016.] Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/tuna-cuatro-variedades-se-producen.html>.

FUENTES. *Universidad Autónoma* . [En línea] 2014. [Consulta: 19 de 8 de 2016.] Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2003>..

GRIFFITH. *American Journal Of Botany* . [En línea] 2004. [Consulta: 19 de 8 de 2016.] Disponible en: <http://www.amjbot.org/content/91/11/1915.full.pdf>..

HAMROCK B. *Elementos de Máquinas*. México : McGRAW-HILL, Primera Edición 2000. p.p. 4-5-6.

IBARRARÁN, José. *Claridades Agropecuarias*. [En línea] 2000. [Consulta: 5 de 8 de 2016.] Disponible en: <http://www.infoserca.gob.mx/claridades/revistas/071/ca071.pdf>.

MACCORMAC. *Diseño de Estructuras de Acero*. México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A, Quinta Edición. 2000. p.p. 41-42-.43

REYES, HIDALGO. *Industria Del Campo*. [En línea] 2009. [Consulta: 18 de 8 de 2016.] Disponible en:<http://www.2000agro.com.mx/maquinaria-e-insumos-agricolas/disenan-especialistas-de-la-uach-equipo-desespina-dor-de-tuna/>.

RIBA, Carles. *Diseño Concurrente*. Barcelona: s.n., 2002. Primera Edición 2000. p.p. 59-60-61.

SÁENZ. *Servicios agrícolas*. [En línea] 2006. [Consulta: 16 de 8 de 2016.] Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0534s.pdf>. .

SHIGLEY. *Diseño e Ingeniería Mecánica*. Mexico : McGraw-Hill, Novena Edición p2008. p.P. 4-5-6.

ANEXOS

PLANOS