



Diseño e implementación de una máquina despinadora de tunas (opuntia ficus-indica) aplicable a la fundación “AYLLU APU FAA” del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador para impulsar el sector agrícola.

Guachamin Canencia, Danilo Paul y Rosero Caballero, Deneb Vladimir

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

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

Ing. Manjarrés Arias, Félix Xavier MSc

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

15 de Agosto del 2022

Latacunga



Guachamin_D-Rosero_D_URKUND.pdf

Scanned on: 2:37 August 16, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	431
Words with Minor Changes	57
Paraphrased Words	468
Omitted Words	0

Ingeniero Félix Manjarrés Arias MSc.

C. C: 0501987416



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de una máquina despinadora de tunas (opuntia ficus-indica) aplicable a la fundación “AYLLU APU FAA” del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador para impulsar el sector agrícola ”**, fue realizado por los señores **Guachamin Canencia, Danilo Paul y Rosero Caballero, Deneb Vladimir**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 15 de Agosto del 2022

Ingeniero Félix Manjarrés Arias MSc.

C. C: 0501987416



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Guachamin Canencia, Danilo Paul y Rosero Caballero, Deneb Vladimir**, con cédulas de ciudadanía n° 1724608375 y 1726076225, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de una máquina despinadora de tunas (opuntia ficus-indica) aplicable a la fundación “AYLLU APU FAA” del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador para impulsar el sector agrícola”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 15 de Agosto del 2022

Guachamin Canencia, Danilo Paul

C.C.: 1724608375

Rosero Caballero, Deneb Vladimir

C.C.: 1726076225



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Autorización de publicación

Nosotros **Guachamin Canencia, Danilo Paul y Rosero Caballero, Deneb Vladimir**, con cédulas de ciudadanía n°1724608375 y 1726076225, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de una máquina despinadora de tunas (opuntia ficus-indica) aplicable a la fundación “AYLLU APU FAA” del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador para impulsar el sector agrícola”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 15 de Agosto del 2022

Guachamin Canencia, Danilo Paul

C.C.: 1724608375

Rosero Caballero, Deneb Vladimir

C.C.: 1726076225

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a Dios por haberme permitido llegar a este punto importante en mi vida.

A mi madre Ramona que siempre estuvo apoyándome en las buenas y las malas, por siempre haber estado pendiente de mí y siempre el haber creído que lograría cada una de mis metas por más complicadas que estas fueran.

A mi padre Gonzalo que ningún momento me dejó de cuidar, aunque estuviese lejos de casa, por haberse preocupado que nunca me faltara nada, tanto en la casa como durante mi desarrollo profesional.

A mi hermana Lizeth por haberme apoyado incondicionalmente, por haberme escuchado cuando lo necesitaba y saberme comprender.

A mi tía Rosa por ser como una segunda madre la cual siempre estuvo ahí desde pequeño apoyándome, motivándome que logre mis metas y por siempre cuidar de todos.

A mi familia por apoyarme y poder contar con ellos en las buenas y las malas.

Paul Guachamin

Dedicatoria

Dedico esta Tesis de Grado a Dios, por permitirme vivir y aprender en todo momento.

A mi abuelita Dolores Lara, por las enseñanzas que me ha brindado a lo largo de mi vida y la fortaleza para afrontar los momentos más difíciles.

A mis abuelitos Carlos y Yolanda, por el apoyo incondicional y ejemplo que he recibido de ellos, tanto en lo personal como en lo profesional.

A mis padres Vladimir y María, por el amor incondicional que me ha ayudado a superar cualquier obstáculo porque sé que ellos estarán siempre.

A mis hermanos Dariel y Denir, por llenar mi vida con su compañía y ser mi mayor fortaleza para ser su ejemplo.

A toda mi familia, por los momentos hermosos que he compartido con ellos y me han ayudado a salir adelante.

Deneb Rosero

Agradecimiento

Agradezco a Dios por estar donde estoy, por haberme permitido alcanzar una meta más, por brindarme sabiduría para poder sobrellevar los momentos más duros durante mi formación profesional.

A mis padres y hermana por haber sido los pilares fundamentales para poder cumplir este logro, ya que sin el apoyo de ellos esto hubiese sido complicado poder materializarlo, por ser la fuente de apoyo incondicional, de enseñanzas y alegrías que fueron esenciales para mi crecimiento tanto personal como profesional.

A mis amigos los cuales me apoyaron a pesar de los malos momentos que se presentaron en el camino.

Al director de tesis MSc. Félix Manjarrés Arias, que con su conocimiento y disponibilidad de tiempo nos guio durante el desarrollo del trabajo de titulación.

A la fundación "AYLLU APU FFA" por abrirnos las puertas para poder culminar nuestro proyecto de titulación.

Paul Guachamin

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por guiarme durante este camino superando las dificultades y brindarme momentos magníficos.

A mi familia, por acompañarme durante mi formación profesional, el apoyo y todos los valores que fueron inculcados en mí desde pequeño.

A mis amigos, por ser como mi segunda familia y ser el apoyo más cercano en todo momento.

Al ingeniero Félix Manjarrés, por guiarnos en este proyecto de titulación, ya que con su conocimiento y valores se pudo finalizar con éxito.

A la fundación “AYLLU APU FFA” y Agustín Chisaguano, por la predisposición a generar nuevos proyectos en favor del desarrollo de las comunidades agrícolas en Salcedo – Cotopaxi.

Deneb Rosero

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de tablas	15
Índice de figuras	18
Índice de ecuaciones	23
Resumen.....	25
Abstract	26
Capítulo I: El problema	27
Planteamiento del problema.....	27
Antecedentes.....	28
Justificación e importancia	29
Objetivos.....	30
<i>Objetivo General</i>.....	30

	11
<i>Objetivos específicos</i>	30
Capítulo II: Marco Teórico	31
Antecedentes investigativos	31
<i>Fundamento Teórico</i>	33
<i>Fundación AYLLU APU</i>	33
<i>Situación agrícola</i>	33
<i>La tuna</i>	34
<i>Ecosistema</i>	35
<i>Características morfológicas de Opuntia ficus-indica</i>	36
<i>Clasificación de los diferentes tipos de tunas</i>	37
<i>Características fisicoquímicas de la tuna</i>	40
<i>Métodos de remoción de espinas</i>	41
Fundamentación teórica e investigación.....	42
<i>Ingeniería Concurrente</i>	42
<i>Teoría de fallas</i>	43
<i>Falla de materiales dúctiles bajo carga estática</i>	43
Proceso de industrialización de frutas (tuna)	45
Componentes y características de la máquina despinadora de tunas.....	45
Sistema despinador de tunas	69
<i>Sistema de remoción de espinas por hidro lavado</i>	72
<i>Sistema de remoción de espinas de lavado neumático</i>	73
Metodología del diseño.....	75

	12
Diseño mecánico	75
Fases de diseño	75
Etapas del proceso de diseño	77
Definición del producto	78
Diseño conceptual	78
Diseño de materialización	79
Diseño de detalle	79
Capítulo III: Diseño y construcción de una máquina despinadora de tunas	80
Análisis de entorno de producción	80
Modelo de Encuesta	80
Dimensiones de los frutos	83
Recopilación de datos	88
Análisis de factibilidad de implementación	89
Despliegue de función de calidad	92
<i>La casa de la calidad</i>	93
<i>Voz del usuario</i>	94
<i>Análisis de competitividad</i>	95
<i>Voz del ingeniero</i>	96
<i>Elaboración de la casa de la calidad</i>	97
<i>Resumen Casa de la calidad</i>	99
<i>Especificaciones técnicas (Cuadro, C, I, D, R)</i>	101
<i>Estructura funcional</i>	103

<i>Matriz morfológica</i>	105
Planteamiento de alternativas de solución.....	108
<i>Alternativa 1</i>	108
<i>Alternativa 2</i>	108
<i>Alternativa 3</i>	109
Selección de la alternativa adecuada.....	109
Análisis del entorno de cargas.....	117
<i>Masa de la tuna dentro del túnel despinador</i>	117
<i>Cálculo del flujo de tunas en base a la capacidad</i>	117
<i>Consideración de masas que actúan sobre los ejes</i>	118
<i>Cargas axiales y radiales sobre el eje</i>	118
Diseño del sistema despinador	122
<i>Diseño cabina de despinación</i>	122
<i>Inercia de los elementos</i>	122
<i>Inercia total</i>	126
<i>Cálculo de velocidades</i>	127
<i>Selección del motor</i>	129
<i>Cadena del sistema de transmisión</i>	135
<i>Selección de la cadena del sistema de transmisión de potencia</i>	136
<i>Selección de la cadena transmisión de potencia entre rodillos</i>	141
<i>Diseño del eje</i>	144
<i>Selección de los rodamientos</i>	154

<i>Selección de la bomba de agua</i>	157
<i>Diseño del sistema eléctrico</i>	166
<i>Esquema eléctrico</i>	175
<i>Diseño de la tolva de ingreso</i>	177
Virtualización 3D del sistema despinador	179
Análisis y validación computacional de la máquina despinadora	182
<i>Método de elementos finitos (MEF) para la tolva de entrada</i>	182
<i>Factor de seguridad del eje</i>	186
<i>Método de elementos finitos (MEF) para la estructura</i>	187
Implementación de la máquina	193
Capítulo IV: Resultados de la investigación	204
Simulación computacional del funcionamiento de la máquina	204
Validación de la máquina despinadora de tunas	210
Protocolo de pruebas	213
<i>Formato de protocolo de pruebas</i>	214
Capitulo V: Conclusiones y recomendaciones	216
Conclusiones	216
Recomendaciones	218
Bibliografías	219
Anexos	225

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Análisis bromatológico de la tuna según su color</i>	40
Tabla 2 <i>Características de la máquina despinadora de tunas</i>	45
Tabla 3 <i>Tipos de sujetadores</i>	48
Tabla 4 <i>Tipos de tuercas y arandelas de bloqueo</i>	50
Tabla 5 <i>Dispositivos de aseguramiento</i>	52
Tabla 6 <i>Eficiencia energética en motores eléctricos</i>	54
Tabla 7 <i>Tipos de cojinetes de bolas</i>	58
Tabla 8 <i>Tipos de cojinetes de rodillos</i>	59
Tabla 9 <i>Tipos de cojinetes de empuje</i>	61
Tabla 10 <i>Tipos de chumaceras</i>	62
Tabla 11 <i>Tipos de interruptores</i>	67
Tabla 12 <i>Tipo de pulsadores Siemens AG</i>	69
Tabla 13 <i>Remoción de espinas de tunas</i>	73
Tabla 14 <i>Etapas del proceso de diseño</i>	78
Tabla 15 <i>Dimensiones Primera clase de la tuna</i>	84
Tabla 16 <i>Dimensiones Segunda clase de la tuna</i>	85
Tabla 17 <i>Dimensiones Tercera clase de la tuna</i>	86
Tabla 18 <i>Resumen promedio de peso y dimensiones de la tuna</i>	88
Tabla 19 <i>Producción de tunas en Ecuador (Tm)</i>	90
Tabla 20 <i>Precio de cajas de tuna según su clase por unidad</i>	91
Tabla 21 <i>Componentes de la casa de la calidad</i>	93

Tabla 22 <i>Características de máquinas de la competencia</i>	96
Tabla 23 <i>La voz del ingeniero</i>	97
Tabla 24 <i>Necesidades del cliente</i>	99
Tabla 25 <i>Requerimientos funcionales</i>	100
Tabla 26 <i>Especificaciones técnicas de la máquina despinadora de tunas</i>	102
Tabla 27 <i>Elementos de la estructura funcional</i>	104
Tabla 28 <i>Elaboración de la matriz morfológica</i>	107
Tabla 29 <i>Método ordinal corregido de criterios ponderados</i>	110
Tabla 30 <i>Evaluación del criterio material de los rodillos</i>	111
Tabla 31 <i>Evaluación del criterio mayor número de rodillos</i>	111
Tabla 32 <i>Evaluación del criterio motores eléctricos</i>	112
Tabla 33 <i>Evaluación del criterio sistema de lavado</i>	113
Tabla 34 <i>Evaluación del criterio densidad de los materiales</i>	113
Tabla 35 <i>Evaluación del criterio tamaño de las cerdas de plástico</i>	114
Tabla 36 <i>Evaluación del criterio materiales de gama media</i>	114
Tabla 37 <i>Evaluación del criterio sistema de automatización amigable</i>	115
Tabla 38 <i>Evaluación del criterio piezas desmontables</i>	115
Tabla 39 <i>Conclusión y selección de prioridad</i>	116
Tabla 40 <i>Experimentación limpieza de las tunas</i>	127
Tabla 41 <i>Datos transmisión de potencia motor eje</i>	137
Tabla 42 <i>Datos transmisión de potencia eje</i>	141
Tabla 43 <i>Coeficientes del factor de superficie</i>	148

Tabla 44 <i>Factores de confiabilidad</i>	150
Tabla 45 <i>Duración recomendada para rodamientos</i>	155
Tabla 46 <i>Disminución de la presión atmosférica</i>	158
Tabla 47 <i>Presión de vapor y carga de presión de vapor de agua</i>	160
Tabla 48 <i>Características técnicas de la bomba de agua</i>	165
Tabla 49 <i>Parámetros eléctricos motorreductor</i>	167
Tabla 50 <i>Parámetros eléctricos de la bomba de agua</i>	168
Tabla 51 <i>Características del interruptor termomagnético</i>	169
Tabla 52 <i>Características del contactor</i>	170
Tabla 53 <i>Características del relé térmico</i>	172
Tabla 54 <i>Características del pulsador</i>	174
Tabla 55 <i>Características de la luz piloto</i>	175
Tabla 56 <i>Calidad de mallado Ansys</i>	182
Tabla 57 <i>Factor de diseño materiales dúctiles</i>	185
Tabla 58 <i>Parámetros analizados en el protocolo de pruebas</i>	212
Tabla 59 <i>Parámetros protocolo de pruebas</i>	213
Tabla 60 <i>Formato Protocolo de pruebas</i>	214

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Distribución de Opuntia ficus-indica en el mundo</i>	34
Figura 2 <i>Características de floración de la tuna</i>	36
Figura 3 <i>Características morfológicas de Opuntia ficus-indica</i>	37
Figura 4 <i>Tuna amarilla con espinas</i>	38
Figura 5 <i>Tuna blanca o verde</i>	39
Figura 6 <i>Tuna silvestre</i>	39
Figura 7 <i>Remoción por escobas</i>	41
Figura 8 <i>Remoción de espinas por malla</i>	42
Figura 9 <i>Teoría de energía de distorsión</i>	44
Figura 10 <i>Flujograma del proceso de industrialización de tunas</i>	45
Figura 11 <i>Engranajes rectos</i>	56
Figura 12 <i>Cadena de rodillos de doble torón</i>	57
Figura 13 <i>Bomba centrífuga con motor eléctrico</i>	63
Figura 14 <i>Control eléctrico de un motor</i>	64
Figura 15 <i>Fusible de cuchillas (SIEMENS AG)</i>	64
Figura 16 <i>Partes del relé térmico</i>	65
Figura 17 <i>Contactador (SIEMENS AG)</i>	66
Figura 18 <i>Interruptor termomagnético y símbolo</i>	67
Figura 19 <i>Limpiador de frutas comercial</i>	70
Figura 20 <i>Sistema de centrifugado</i>	71
Figura 21 <i>Remoción de espinas por rodillos</i>	72

Figura 22 Sistema por hidro lavado.....	72
Figura 23 Sistema por lavado neumático	73
Figura 24 Fases de diseño.....	76
Figura 25 Definición de las fases de diseño	77
Figura 26 Comunidad San Andrés de Pilaló.....	83
Figura 27 Método utilizado para remover las espinas de las tunas.....	94
Figura 28 Parámetros requeridos por los usuarios en la máquina despinadora de tunas ...	95
Figura 29 Casa de la calidad.....	98
Figura 30 Análisis funcional de la máquina despinadora de tunas.....	104
Figura 31 Diagrama de subfunciones de la máquina despinadora de tunas.....	105
Figura 32 Subfunciones de la máquina despinadora de tunas	106
Figura 33 Reacciones en los rodamientos al implementar carga.....	119
Figura 34 Diagrama de carga que actúa en el eje de los cepillos.....	120
Figura 35 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector	120
Figura 36 Cilindro hueco	123
Figura 37 Cilindro sólido.....	124
Figura 38 Inercia de esfera sólida	125
Figura 39 Tunas sobre cepillo	130
Figura 40 Rozamiento de cepillos	131
Figura 41 Montaje de motor, caja reductora y cadena de transmisión.....	133
Figura 42 Eficiencia vs relación de reducción.....	134
Figura 43 Acople piñón - cadena.....	135

Figura 44 <i>Sistema de transmisión por cadena</i>	145
Figura 45 <i>Fuerzas de reacción y torque que actúan en el eje</i>	146
Figura 46 <i>Factor de sensibilidad de la muesca para aceros</i>	151
Figura 47 <i>Pérdidas por fricción en tubería</i>	161
Figura 48 <i>Factores para diferentes materiales de tubería</i>	162
Figura 49 <i>Pérdida por fricción en accesorios de la tubería</i>	163
Figura 50 <i>Placa de datos del Motorreductor</i>	166
Figura 51 <i>Placa de datos de la bomba de agua</i>	167
Figura 52 <i>Tabla de conductores AWG</i>	173
Figura 53 <i>Diagrama de fuerza y control</i>	176
Figura 54 <i>Diagrama de fuerza y control en funcionamiento</i>	176
Figura 55 <i>Tolva de entrada</i>	177
Figura 56 <i>Modelo geométrico de la tolva de entrada llena</i>	178
Figura 57 <i>Vista frontal de la máquina despinadora de tunas</i>	179
Figura 58 <i>Vista posterior de la máquina despinadora de tunas</i>	180
Figura 59 <i>Vista superior de la máquina despinadora de tunas</i>	180
Figura 60 <i>Vista isométrica de la máquina despinadora de tunas</i>	181
Figura 61 <i>Vista isométrica de la máquina despinadora de tunas</i>	181
Figura 62 <i>Calidad de mallado en tolva de entrada</i>	183
Figura 63 <i>Deformación direccional de la tolva de ingreso</i>	184
Figura 64 <i>Esfuerzos principales máximos Tolva de ingreso</i>	184
Figura 65 <i>Factor de seguridad tolva de ingreso</i>	185

Figura 66 <i>Factor de seguridad criterio de Von Mises.....</i>	187
Figura 67 <i>Diagrama unifilar de la estructura.....</i>	187
Figura 68 <i>Asignación de perfil 40x40x2 y ángulo de 30x30x3 mm</i>	188
Figura 69 <i>Distribución de las cargas dentro de la estructura.</i>	190
Figura 70 <i>Deformación Total.....</i>	191
Figura 71 <i>Esfuerzos principales máximos</i>	192
Figura 72 <i>Corte y armado de los tubos cuadrados metálicos</i>	194
Figura 73 <i>Soldeo final de la estructura</i>	195
Figura 74 <i>Estructura final armada</i>	195
Figura 75 <i>Corte y rayado de la tolva de salida y entrada.....</i>	196
Figura 76 <i>Doblado de las bandejas y tolvas.....</i>	196
Figura 77 <i>Soldadura de las tolvas de entrada, salida y bandeja recolectora.</i>	197
Figura 78 <i>Perforación del tubo PVC para colocar las cerdas plásticas.....</i>	198
Figura 79 <i>Montaje de los rodillos.....</i>	198
Figura 80 <i>Pintado bajo aire comprimido con pintura anticorrosiva gris mate</i>	199
Figura 81 <i>Pintado con pintura anticorrosiva azul español.....</i>	200
Figura 82 <i>Instalación del sistema de lavado y desinfección.....</i>	200
Figura 83 <i>Montaje de rodillos y cadenas</i>	201
Figura 84 <i>Montaje de tapas laterales y tapas superiores.....</i>	201
Figura 85 <i>Montaje de la caja de control de la máquina despinadora</i>	202
Figura 86 <i>Montaje de todos los componentes de la máquina despinadora.....</i>	202
Figura 87 <i>Geometría de la partícula en base a la tuna</i>	204

Figura 88 <i>Diseño importado en Altair Student Edition</i>	205
Figura 89 <i>Configuración de la velocidad de rotación</i>	205
Figura 90 <i>Configuración de la velocidad de giro de los rodillos</i>	206
Figura 91 <i>Configuración de ingreso de partículas al sistema</i>	206
Figura 92 <i>Configuración de la gravedad en el sistema</i>	207
Figura 93 <i>Ingreso de las partículas (tunas) en la tolva de entrada</i>	208
Figura 94 <i>Desplazamiento de las partículas (tunas) en el interior de la máquina</i>	208
Figura 95 <i>Almacenamiento de las partículas (tunas) en la tolva de salida</i>	209
Figura 96 <i>Grafica de número de partículas en el sistema vs tiempo</i>	209
Figura 97 <i>Comprobación del sistema despinador de tunas</i>	211

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Inercia cilindros huecos ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)</i>	122
Ecuación 2 <i>Inercia cilindro sólido en el eje x</i>	124
Ecuación 3 <i>Inercia de un cuerpo esférico</i>	125
Ecuación 4 <i>Velocidad angular</i>	128
Ecuación 5 <i>Aceleración angular</i>	128
Ecuación 6 <i>Aceleración</i>	129
Ecuación 7 <i>Potencia máxima</i>	130
Ecuación 8 <i>Fuerza de aceleración</i>	130
Ecuación 9 <i>Torque de aceleración</i>	132
Ecuación 10 <i>Eficiencia del sistema de transmisión</i>	133
Ecuación 11 <i>Número de pasos cadena</i>	138
Ecuación 12 <i>Diámetro piñón grande</i>	138
Ecuación 13 <i>Diámetro piñón pequeño</i>	139
Ecuación 14 <i>Ángulo de contacto piñón pequeño</i>	139
Ecuación 15 <i>Ángulo de contacto piñón grande</i>	139
Ecuación 16 <i>Velocidad máxima de la cadena</i>	140
Ecuación 17 <i>Fuerza en la cadena</i>	140
Ecuación 18 <i>Número de pasos cadena</i>	142
Ecuación 19 <i>Diámetro piñón grande</i>	142
Ecuación 20 <i>Ángulo de contacto piñón pequeño</i>	143
Ecuación 21 <i>Velocidad máxima de la cadena</i>	143

Ecuación 22 <i>Fuerza en la cadena</i>	144
Ecuación 23 <i>Torque transmitido de una polea a otra</i>	145
Ecuación 24 <i>Límite de resistencia a la fatiga</i>	147
Ecuación 25 <i>Límite de resistencia a la fatiga corregido</i>	147
Ecuación 26 <i>Factor de tamaño</i>	148
Ecuación 27 <i>Factor de superficie</i>	149
Ecuación 28 <i>Factor de temperatura</i>	149
Ecuación 29 <i>Esfuerzo de concentración teórico</i>	152
Ecuación 30 <i>Factor de concentración de esfuerzos por fatiga</i>	152
Ecuación 31 <i>Diámetro del eje</i>	153
Ecuación 32 <i>Factor de seguridad, Goodman modificado</i>	154
Ecuación 33 <i>Capacidad de carga dinámica básica</i>	155
Ecuación 34 <i>Revoluciones de diseño</i>	156
Ecuación 35 <i>Cálculo de la NPSHA</i>	157
Ecuación 36 <i>Margen de diseño</i>	164
Ecuación 37 <i>Límite de funcionamiento interruptor termomagnético</i>	168
Ecuación 38 <i>Cálculo de la corriente máxima</i>	169
Ecuación 39 <i>Cálculo de la corriente de trabajo</i>	172
Ecuación 40 <i>Criterio de deflexión</i>	191
Ecuación 41 <i>Factor de seguridad</i>	193

Resumen

En el presente trabajo de titulación se presenta el diseño e implementación de una máquina despinadora de tunas con el propósito de suplir con la demanda del mercado reduciendo el tiempo de procesamiento de las tunas, evitando el contacto directo con los productores ya que las espinas debido a su tamaño y el daño que produce al clavarse en la piel, retrasan a los productores porque necesitan tener un mayor cuidado al manipular las tunas. La ingeniería concurrente ayuda a determinar las exigencias de los agricultores, a través de encuestas se recolectó la información necesaria especificando los parámetros de diseño, obteniendo un proceso ordenado de selección de materiales y manufactura, garantizando el cumplimiento de las necesidades de los productores ahorrando recursos a través del criterio ingenieril. Mediante el diseño CAD se obtiene parámetros los cuales deben ser tomados en consideración al momento de la construcción de la máquina, como dimensiones de los componentes y límites de capacidad. La ingeniería asistida por ordenador (CAE) permite visualizar mediante la simulación estructural estática si los componentes seleccionados son capaces de soportar las cargas que actuaran dentro del sistema. A través de la automatización se obtiene un control más preciso y seguro hacia al operador puesto que el funcionamiento de la máquina se lo realiza desde un gabinete de control, el cual cuenta con pulsadores de inicio, paro, paro de emergencia y elementos de protección, garantizando el funcionamiento óptimo del sistema.

Palabras clave: Tunas, Arranque de motor, análisis estático estructural

Abstract

In this degree work we present the design and implementation of a prickly pear de-pinning machine with the purpose of supplying the market demand by reducing the processing time of prickly pears, avoiding direct contact with the producers because the thorns, due to their size and the damage they cause by sticking into the skin, delay the producers because they need to be more careful when handling the prickly pears. Concurrent engineering helps to determine the requirements of farmers, through surveys the necessary information was collected specifying the design parameters, obtaining an orderly process of selection of materials and manufacturing, ensuring compliance with the needs of producers saving resources through engineering criteria. CAD design provides parameters that must be taken into consideration at the time of machine construction, such as component dimensions and capacity limits. Computer Aided Engineering (CAE) allows to visualize through static structural simulation if the selected components are able to withstand the loads that will act within the system. Through automation, a more precise and safe control is obtained for the operator, since the machine operation is performed from a control cabinet, which has start, stop, emergency stop and protection elements, guaranteeing the optimal operation of the system.

Key words: tunas, Engine start, structural static analysis

Capítulo I

Problema

Planteamiento del problema

Actualmente, en las provincias de Imbabura, Loja, Santa Elena, Tungurahua y Cotopaxi se cultivan tunas (*Opuntia Ficus-Indica*) con una extensión de 180 hectáreas, actividad que ha permitido desarrollar los territorios mencionados, en virtud de ello, en la zona occidental del cantón Salcedo el cultivo de esta fruta se ha ido extendiendo debido a su rentabilidad y el poco cuidado agrícola que se requiere para su producción.

La tuna es una baya ovalada derivada de un cactus llena de pulpa jugosa, mide alrededor de 5 y 12 cm. Su forma, tamaño y color dependen de la variedad de la fruta, pueden ser de color verde, rojizas, amarillo, blancas y moradas. La capa externa de la fruta posee espinas frágiles entre 2 y 5 milímetros.

La remoción de las espinas de las frutas se lo realiza manualmente provocando inconformidad en el agricultor debido a la exposición de dichas espinas. A pesar de tomar medidas de precaución como la utilización de gafas, trajes de cuero o plástico para proteger la integridad de la persona, el tamaño de la espina llega a ser tan pequeña que se filtra en la piel y en los ojos, ocasionando problemas de salud y retarda el tiempo de producción.

El desarrollo de esta propuesta pretende brindar una solución para realizar la remoción de espinas de la tuna, optimizando el tiempo de producción y precautelando la salud de las personas, mediante la integración de una máquina electromecánica que ayude a solventar las necesidades de los agricultores.

Antecedentes

Se considera que el sector agrícola es fundamental para el desarrollo económico de una nación, es el sustento de varios segmentos de la economía ya que mediante las contribuciones productivas del sector rural se evidencia un desarrollo estable y prominente de las ciudades aledañas debido al comercio interno que generan los productos agrícolas y a las condiciones geográficas. El desarrollo de productos distintivos hace que el sector agroexportador sea una fuente de divisas. (Bula, 2020)

Al final del siglo XIX empieza la industrialización de la agricultura, fue un proceso tardío, donde se acumularon de manera sucesiva los elementos tecnológicos. Las innovaciones se clasifican en dos puntos: la maquinaria y los fertilizantes químicos. La terminante mutación hacia la agricultura industrializada tuvo lugar a finales de 1945, donde las diferentes líneas de innovación se congregaron en un nuevo componente tecnológico de capacidad productiva extremadamente alta. El vital efecto económico de la industrialización de la agricultura consistió en el rápido aumento de su productividad. El desarrollo fue superior en los países desarrollados, durante la segunda mitad del siglo XX, se amplió la brecha productiva agraria entre los países ricos y pobres. La industrialización de la agricultura alcanzó enormes índices de crecimiento en la producción de alimentos, simultáneamente, era capaz de remitir mano de obra para su ocupación en otros sectores. El ámbito social durante la agricultura industrializada aumentó las diferencias entre el grande y pequeño agricultor, ya que la actividad agrícola pasó a estar regida por el factor económico. Los agricultores pequeños, se veían amenazados si no realizaban inversiones estratégicas para concentrar nuevas tecnologías y podían ser expulsados del mercado. (Collantes, 2018)

Los habitantes del cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi, están divididos en seis parroquias; en la parroquia urbana San Miguel se encuentra el 53,8% de sus habitantes, el restante 46,2% está distribuida en el sector rural, la cual cuenta con tres

parroquias, con un mayor número de habitantes Cusubamba posee el 12,4%, Mulliquindil con 12,4% y Mulalillo 11%. Parroquias con un menor número de habitantes como Panzaleo, apenas con el 5,9% y Antonio José Holguín finalmente con el 4,6%. Las fuentes económicas principales del cantón se basan en actividades relacionadas al cultivo de la tierra, manejo de ganado vacuno, pesca y actividades silvícolas, las cuales son impulsadas por entidades del cantón teniendo como principal eje el capital de trabajo. (Balarezo & Guerrero, 2014a)

La maquinaria es un factor importante en la agricultura sobre todo para acortar los tiempos de producción y beneficia especialmente a los emprendedores y microempresarios que necesitan consolidarse económicamente y así aportar con el crecimiento del país.

Justificación e importancia

Las fuentes económicas principales del cantón se basan en actividades relacionadas al cultivo de la tierra, manejo de ganado vacuno, pesca y actividades silvícolas, cerca del 50 % de la población del cantón Salcedo se encuentra en el sector rural donde se desarrollan dichas actividades. Poco a poco están perdiendo fuerza debido a la migración a sectores urbanos. (Balarezo & Guerrero, 2014a)

La técnica empleada para la cosecha de la tuna resulta ser peligrosa para el agricultor, la exposición a pequeñas espinas proveniente del fruto genera un riesgo alto. Entre los meses de enero y mayo se cosecha alrededor de 300 cajas por semana de 50 libras cada una, el resto de los meses alrededor de 30 cajas. Se comercializan en los mercados zonales a 25 dólares la caja de tunas gruesas y hasta 10 dólares la caja de tunas pequeñas.

Esta actividad es importante para las comunidades del sector occidente del cantón Salcedo ya que representa un ingreso importante en las actividades económicas de las familias del sector, pero debido al riesgo inminente que enfrentan los agricultores

cosechando este fruto, han estado evitado dedicarse a este ejercicio promoviendo la migración a sectores urbanos.

Mediante este proyecto se busca incentivar el desarrollo socioeconómico de las comunidades del sector occidental del cantón Salcedo que se dedican al cultivo y cosecha de tunas debido a las condiciones regionales y climáticas que permiten el crecimiento de esta fruta.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar e implementar una máquina despinadora de tunas (*Opuntia Ficus-Indica*) aplicable a la Fundación “AYLLU APU FAA” del cantón Salcedo - provincia de Cotopaxi, para impulsar el sector agrícola.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio de las alternativas de la máquina despinadora de tunas.
- Realizar el análisis de factibilidad para la fabricación de la máquina despinadora de tunas.
- Aplicar una metodología de diseño para la máquina despinadora de tunas.
- Construir la máquina despinadora de tunas.
- Someter el sistema construido bajo los protocolos de pruebas para la validación respectiva.

Capítulo II

Marco Teórico

Antecedentes investigativos

Trabajo de titulación “DISEÑO DE UNA MÁQUINA LAVADORA DE ZANAHORIA”(Tituaña, 2007). Se desarrolla la recopilación de información acerca de la zanahoria, beneficios alimenticios, características del entorno, proceso de cultivo y morfología. Además, presenta diferentes alternativas de diseño de los elementos que componen la máquina lavadora de zanahorias. Se realiza un análisis comparativo de acuerdo a las necesidades requeridas en base al dimensionamiento estructural con las máquinas existentes en el mercado. Define la alternativa que cumple todos los parámetros, el diseño y los cálculos que componen los elementos de la máquina. Se establece el proceso de construcción y realiza un protocolo de pruebas para finalizar con el detalle de los costos.

Trabajo de titulación: “ANÁLISIS DEL PROCESO MANUAL DE LAVADO DE UVILLAS Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PRODUTANKAY” (Peralta, 2016). Este trabajo de investigación analiza el proceso de lavado manual de las uvillas, el efecto que produce en la productividad de la empresa ProduTankay. Se determinó el tiempo de lavado empleado en cada lote y los índices de productividad mediante guías de observación. Presenta la implementación de un sistema por transmisión mecánica para el lavado por inmersión con el objetivo de reducir el esfuerzo físico y el tiempo empleado por los operadores, mejorando la productividad del proceso de lavado de uvillas.

Trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DESPINADORA DE TUNAS” (Tapia & Simancas, 2021).El presente proyecto presenta una extensa recopilación de datos de acuerdo al proceso de desespinado de tunas, morfología

de la fruta y elementos que componen las maquinarias similares en el mercado. Analiza los requerimientos del usuario presentando soluciones adecuadas. Además, presenta los elementos que componen la máquina con el respectivo cálculo y dimensionamiento de los elementos elegidos, junto con el análisis de costos. Para finalizar el proyecto detalla el proceso de construcción de la máquina, el protocolo de pruebas garantizando el funcionamiento y la seguridad de esta.

Trabajo de titulación: “MÁQUINA DESESPINADORA DE TUNAS PARA LA VARIEDAD AMARILLA O DE CASTILLA (OPUNTIA FICUS INDICA (L))” (Caucés, 2013). El presente trabajo inicia con el estudio de la tuna, sus variedades, ubicación y la importancia económica que representa en el sector norte del país. Determina las limitaciones de las especificaciones técnicas de acuerdo con la funcionalidad de la máquina. Mediante el estudio y análisis de factibilidad se selecciona la mejor alternativa de diseño de acuerdo con el dimensionamiento requerido de la máquina. Determina el proceso de fabricación de acuerdo con el diseño planteado y los elementos seleccionados. A continuación, se detalla el balance de costos de la máquina, las conclusiones obtenidas y las recomendaciones sugeridas, anexa y detalla los planos de los elementos utilizados.

Trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS PARA EL SECTOR AGRICULTOR” (Freire & Pilco, 2017). Este trabajo muestra una investigación morfológica de la tuna en la parroquia Totoras de la provincia de Tungurahua, para poder implementar un sistema de limpieza mecánico con la capacidad de desprender las espinas de la tuna de manera eficiente y segura. También se observan las diferentes fases de diseño, como: el análisis, síntesis, simulación, evaluación y decisión que se aplicaron al momento de realizar la metodología de diseño concurrente con ayuda de la función de la casa de la calidad. Se expone el diseño de los elementos mecánicos y eléctricos con sus respectivos planos para el dimensionamiento requerido, la máquina atravesó por un proceso de validación mediante software. Además, explica a

detalle el proceso de construcción y montaje para después realizar el protocolo de pruebas de esta manera validar el funcionamiento de la máquina. Finalmente expresa conclusiones y recomendaciones claves para prolongar el tiempo de vida útil de la máquina.

Fundamento Teórico

Fundación AYLLU APU

La fundación AYLLU APU tiene como objetivo establecer las bases de competitividad industrial en la agricultura y la ganadería. Mantiene el enfoque principalmente en la agroindustria, coordina los recursos tanto naturales como económicos del campo, desarrollando infraestructura para mejorar la producción y comercio a nivel nacional e internacional.

La fundación apoya a las personas u organizaciones emprendedoras mediante la creación de un organismo de acuerdo con la necesidad social y generando acuerdos con organismos nacionales e internacionales, abordando proyectos enfocados al rescate cultural y agroindustria, mediante cursos de capacitación y formación de convenios de apoyo.

Situación agrícola

La dinámica de la economía del cantón Salcedo se basa en actividades de agricultura, ganadería, pesca y silvicultura. Cerca del 50 % de la población del cantón se encuentra en el sector rural donde se desarrollan dichas actividades. Poco a poco están perdiendo fuerza debido a la migración a sectores urbanos. Las comunidades que se dedican al cultivo, producción y comercialización de tunas son: San Andrés de Pívalo, Salache, Hachaguango, Ampamalac y Cusubamba. (Balarezo & Guerrero, 2014b)

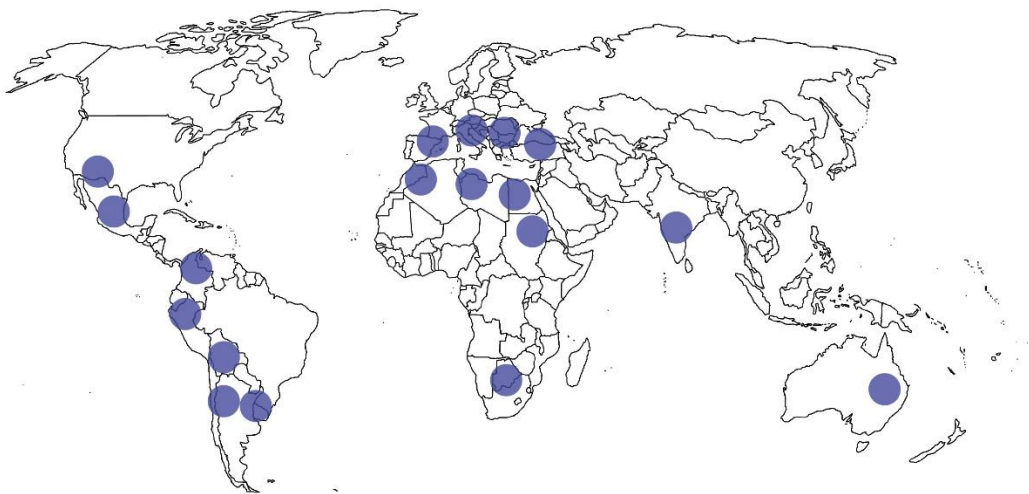
La tuna

La tuna, el nombre científico *Opuntia ficus-indica*, constituye actualmente a los sistemas agrícolas en varias regiones del mundo debido a los ecosistemas que permiten el crecimiento de la fruta. Esta fruta se ha adaptado a zonas climáticas áridas, lluvias erráticas y suelos expuestos a la erosión. Los sistemas de producción se generan mediante las comunidades de cactus silvestres, cultivos familiares y plantaciones comerciales. (Reynolds & Sánchez, 2003)

Pertenece a la familia Cactáceas, han desarrollado adaptaciones anatómicas, morfológicas y fisiológicas, para habitar en zonas desérticas, suelos áridos y bajo estrés hídrico. En el continente americano se encuentra distribuidos por varios países como: Estados Unidos, México, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina, países de América central y el Caribe, presentan las condiciones apropiadas para el crecimiento de la fruta. En la Figura 1, se identifica la distribución de las familias de las cactáceas o flor de nopal (Tuna) en el mundo. (Beccaro et al., 2015)

Figura 1

Distribución de Opuntia ficus-indica en el mundo.

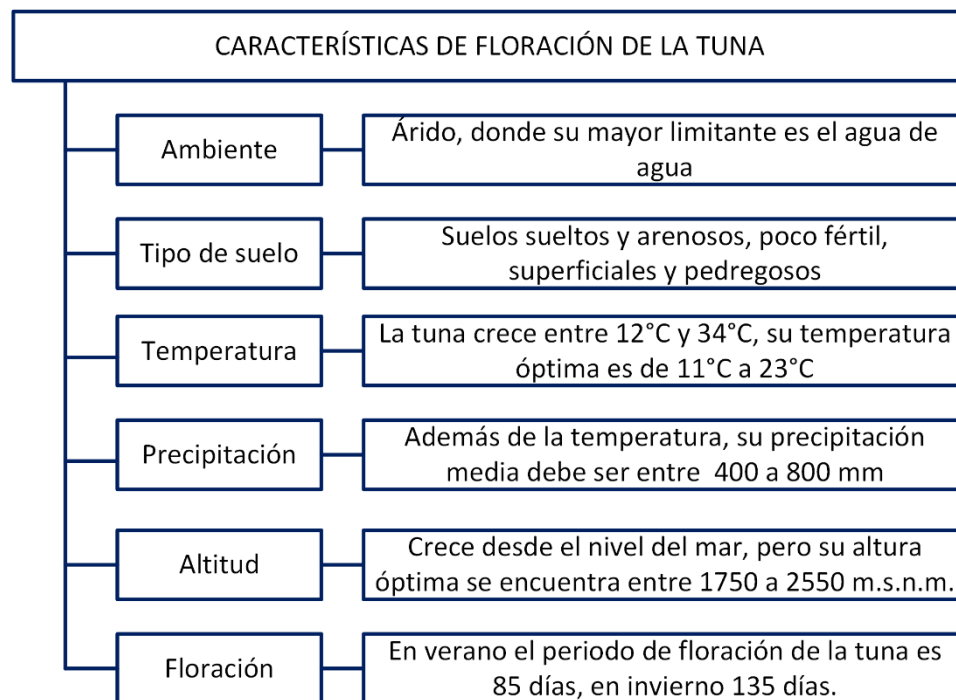


Nota. Tomado de (Sáenz, 2006)

Ecosistema

De acuerdo con los datos recolectados por el Centro Académico Docente Experimental Rumipamba ubicado en San Miguel de Salcedo, durante el periodo 1989 - 2018 los veranos son cortos y nublados, los inviernos son frescos, cortos y nublados. La temperatura presentó un pico más alto de 15,7°C y el más bajo de 11,8°C con un promedio de 14.5°C. La precipitación media anual es de 45 mm, el cantón se ubica a una altitud promedio de 2683 msnm. (Arteaga & Briones, 2021)

Para que la tuna pueda desarrollarse adecuadamente debe presentar condiciones climáticas óptimas, la temperatura debe ser entre 12 a 34°C, con una condición óptima de 11 a 23°C y con precipitación media entre 400 a 800 mm. Su crecimiento se produce en suelos sueltos y arenosos, tierras poco fértiles, superficiales y pedregosos. Puede crecer desde el nivel del mar hasta los 3.000 msnm, pero para alcanzar su mejor desarrollo es entre los 1.751 a 2.551 msnm. Las subvariedades de la fruta han hecho adaptaciones estructurales en ambientes áridos, donde el agua es el limitante principal. Lo más importante es la adaptabilidad en la reproducción asincrónica, su metabolismo es lo que le permite sobrevivir largos periodos de sequía.

Figura 2*Características de floración de la tuna*

Nota. Tomado de (Hollis, 1995) (Paucara, 2017)

Características morfológicas de Opuntia ficus-indica

Tallo: El tallo además de las ramas están conformados por cladodios con apariencia de cojines ovoides y aplanados, unidos entre ellos, el enlace que conforman puede alcanzar 5 m de altura y 4 m de diámetro. De acuerdo a otras especies de cactáceas, esta se diferencia, ya que se encuentra agrupada por tronco y ramas aplanadas de cutícula gruesa y verde cumpliendo la función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos.

Hojas: Las hojas solo se pueden observar en tallos tiernos, al momento que se produce la renovación de pencas, en las axilas de la cactácea se encuentran las areolas donde brotan espinas de 4 a 5 mm de longitud aproximadamente. Las hojas desaparecen de acuerdo con el grado de desarrollo de la planta, siendo remplazadas por espinas.

Fruto (Tuna): Es una baya, carnosa, ovoide 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 gramos, de acuerdo con la especie sus dimensiones y coloración varían; poseen espinas finas y frágiles de 1,5 a 3 mm de longitud. El fruto cilíndrico de color verde presenta diferentes tonos de acuerdo con el proceso de maduración. Tiene una cáscara gruesa, espinosa, y con pulpa gelatinosa donde se encuentran incrustadas sus semillas.

Flor: Las flores se ubican en la parte superior de la penca de manera solitaria, de 5 a 7 cm de longitud. Generalmente cada areola produce una flor, pueden brotar dentro de los tres primeros años, no dependen de una época de floración. Las flores toman 35 a 45 días de su brotación para florecer. Sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo y rosa. (Paucara, 2017)

Figura 3

Características morfológicas de Opuntia ficus-indica



Clasificación de los diferentes tipos de tunas

Existen diferentes especies de la fruta, se las clasifican por el color, el tamaño y si tiene o no espinas. En el Ecuador se encuentran divididas en tres variedades representativas: amarilla con espinas, blanca o verde y silvestre.

Amarilla con espinas

La variedad de esta fruta es el resultado de la polinización natural entre la tuna silvestre y la tuna amarilla sin espinas. El fruto alcanza los 8cm y de morfología redonda. Atractiva por su coloración amarilla.(Freire & Pilco, 2017)

Figura 4

Tuna amarilla con espinas



Nota. Tomado de (Paucara, 2017)

Tuna blanca o verde

A diferencia de las demás especies esta se caracteriza por ser ligeramente más dulce. Esta variedad es más resistente a las enfermedades por lo cual es más comercial. De fácil manejo por la casi ausencia de espinas.(Freire & Pilco, 2017)

Figura 5*Tuna blanca o verde***Tuna silvestre**

Esta especie de fruta, se la puede encontrar libremente en zonas de poco acceso ya que el suelo árido produce el crecimiento de cactus, es por esta razón que la vegetación del sector limita el acceso a la fruta. Esta es más pequeña que las otras especies antes mencionadas.(Freire & Pilco, 2017)

Figura 6*Tuna silvestre*

Nota. Tomado de (Paucara, 2017)

Características fisicoquímicas de la tuna

La composición química de las diferentes variedades de tuna: naranja, roja y blanca varía, esto se observa en el siguiente cuadro mediante el análisis bromatológico, en cuanto a la proteína, carbohidratos, grasas, fibra, calcio, fósforo, valor energético, cenizas, vitaminas A y C, humedad y brix. (Paucara, 2017)

Tabla 1

Análisis bromatológico de la tuna según su color

COMPONENTE	UNIDADES	COLOR	COLOR	COLOR
		ROJO	NARANJA	BLANCO
Vitamina A	Ug/100g	7,908	12,2	6,4
Carbohidratos	%	10,395	9,45	9,51
Proteínas	%	0,66	0,51	1,13
Grasa	%	0,22	0,26	0,17
Fibra	%	4,97	3,14	3,63
Calcio	mg/100g	37,39	39,59	34,09
Fosforo	Mg/100g	23,62	22,17	20,82
Valor Energético	kcal/100g	46,14	42,19	44,11
Humedad	%	79,08	79,48	79,57
°Brix	°Brix	18,83	23,29	20,82

COMPONENTE	UNIDADES	COLOR	COLOR	COLOR
		ROJO	NARANJA	BLANCO
Cenizas	%	0,383	0,35	0,34
Vitamina C	mg/100g	15,72	18,16	17,23

Nota. Tomado de (Paucara, 2017)

Métodos de remoción de espinas

Remoción de espinas por escobas

El método consiste en retirar las espinas manualmente mediante las cerdas de la escoba, se coloca un plástico como base, a continuación, se vierte las tunas cosechadas, seguidamente se realiza un ligero barrido sobre la superficie de las tunas. Las espinas finalmente quedan incrustadas en el plástico después del movimiento de la escoba.

Figura 7

Remoción por escobas



Nota. Tomado de (Tapia & Simancas, 2021)

Remoción de espinas por malla

El método de remoción de las espinas consiste en colocar las tunas en una malla de plástico, la persona realiza un movimiento oscilatorio de la malla, las espinas se desprenden de la fruta por medio del rozamiento, cayendo por los orificios de la malla dejando la tuna libre de espinas.

Figura 8

Remoción de espinas por malla



Nota. Tomado de (Tapia & Simancas, 2021)

Fundamentación teórica e investigación

Ingeniería Concurrente

Para poder comprender de mejor manera de qué se trata la ingeniería concurrente se parte desde el término concurrente el cual hace referencia a organizar equipos de trabajo conformados por personas especializadas en varias áreas como diseño, administración, marketing, mecánica, etc. Los involucrados forman estos equipos con el objetivo de desarrollar nuevos productos.

Esta técnica permite la introducción sistemática y simultánea de los procesos, teniendo siempre en consideración su uso y el servicio eficaz y adecuado que preste, para cubrir los tiempos de producción, costos, calidad y la satisfacción del cliente. (Macas, 2017)

Teoría de fallas

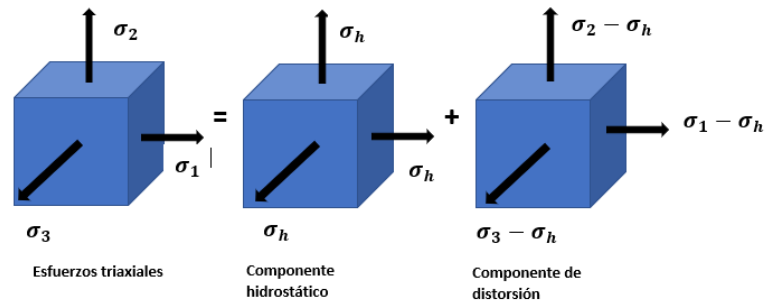
Los elementos de una máquina pueden fallar por varias circunstancias, pero una de ellas es por los esfuerzos a los que se encuentran sometidos, puesto que estos van a superar a la resistencia relativa, a la compresión, tensión y al cortante del elemento. También se ve involucrada de manera directa el tipo de carga al cual estén sometidos que pueden ser dinámica o estática. Las fallas en los materiales dúctiles son distintos debido a que son sometidos a cargas estáticas en tensión limitado por la resistencia al cortante, pero para el caso de los materiales frágiles se encuentra limitado por la resistencia a la tensión. Para poder definir de mejor manera los materiales dúctiles, se considera el porcentaje de elongación de un material que puede sufrir sin que se produzca la fractura de este, por lo cual si la elongación es $> 5\%$ es dúctil. (Norton, 2011a)

Se considera que un elemento ha fallado cuando este cede y produce una distorsión en su estructura ocasionado que no pueda realizar la acción para la cual fue diseñada, también se dice que es una falla cuando el elemento se fractura y se rompe. La ventaja que poseen los materiales dúctiles es que se pueden deformar antes de llegar al punto de fractura, mientras que los materiales frágiles llegan al punto de fractura sin deformar su estructura notablemente.(Norton, 2011a)

Falla de materiales dúctiles bajo carga estática

Teoría de la energía de distorsión

Esta teoría fue propuesta por el físico matemático austriaco R. Von Mises en la cual menciona que una falla de distorsión se originará por los esfuerzos principales y quitando los esfuerzos hidrostáticos. Siendo la energía de distorsión la resta entre la energía total de deformación por unidad de magnitud de volumen y la energía de deformación por unidad de magnitud de volumen por los esfuerzos hidrostáticos.(De Castro, 2014)

Figura 9*Teoría de energía de distorsión*

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2008)

Teoría del esfuerzo cortante máximo

La falla se produce cuando el esfuerzo cortante máximo supera al esfuerzo cortante por fluencia aplicada a una probeta a tensión. (Norton, 2011a)

Por lo tanto, la ecuación que representa la resistencia a la fluencia en cortante en un material es:

$$S_{ys} = 0.50 S_y$$

Nota. Tomado de (Norton, 2011a)

Donde:

S_{ys} : Resistencia de fluencia por corte

S_y : Resistencia de fluencia por tensión

Teoría del esfuerzo normal máximo

La falla ocurrirá solo cuando el esfuerzo normal alcance algún límite de la resistencia normal de la muestra, como la resistencia a la fluencia por tensión o la resistencia última a

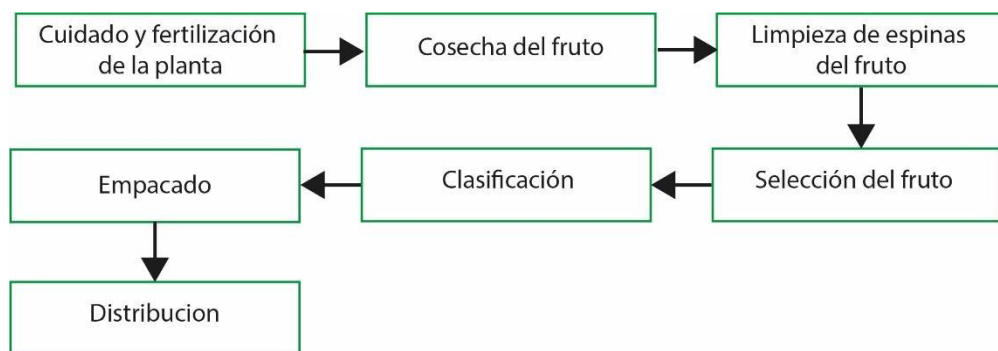
la tensión. Se debe tener en consideración que esta teoría no es adecuada para materiales dúctiles. (Norton, 2011a)

Proceso de industrialización de frutas (tuna)

Para la industrialización de frutas, existen varios métodos que facilitan los procesos y resuelven diferentes problemas que pueden presentarse en el camino. En el siguiente cuadro se detallan los pasos básicos que nos podrían ayudar a identificar la máquina adecuada para optimizar dichos procesos.

Figura 10

Flujograma del proceso de industrialización de tunas



Componentes y características de la máquina despinadora de tunas.

Tabla 2

Características de la máquina despinadora de tunas

Máquina despinadora de tunas	
Estructura	Elementos ligados encargados del soporte y apoyo de los materiales que componen la máquina.

Máquina despinadora de tunas

Tolva de alimentación	Componente de depósito de las frutas, contenedor de la materia prima, previa limpieza.
Sujetadores	Dispositivos encargados de unir o fijar piezas y componentes de la máquina.
Motor	Transformador de energía eléctrica en energía mecánica, encargado de dar movimiento a la máquina
Sistema de Transmisión	Transmite la potencia del motor a los demás dispositivos dinámicos
Planchas metálicas	Lámina u hoja de metal, que proporcionará estabilidad y delimitará el espacio para el ingreso de la fruta previa limpieza.
Rodamientos	Reductor de fricción entre los dispositivos de la máquina, da seguridad y protección a los elementos relacionados.
Chumacera	Se encarga de brindar apoyo fijo a los rodamientos.

Máquina despinadora de tunas

Bomba de agua

Máquina que se encarga de recircular el agua a través de las tuberías para la limpieza y desinfección de las tunas.

Control automático

Proporciona el control de arranque, paro y delimitación de velocidad de los dispositivos en movimiento (motor), se compone de: Interruptor, contactor, fusibles, pulsadores y paro de emergencia.

Bandeja de despacho

Recibe el fruto previa limpieza, se transfiere al empaquetamiento del producto.

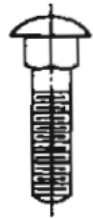
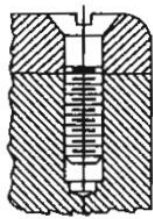
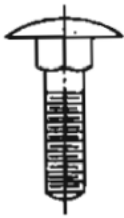
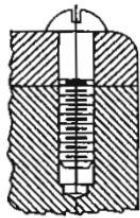

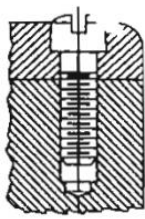

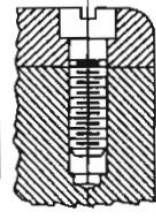
Sujetadores


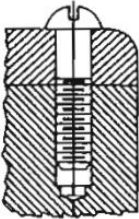

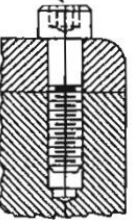
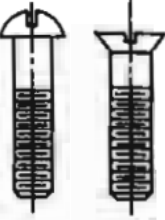
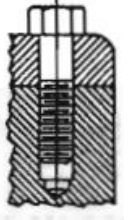
Se denomina sujetador a cualquier objeto el cual se utilice para juntar o conectar dos o más piezas, la clasificación es muy amplia, entre los más utilizados se encuentran los sujetadores roscados como pernos, espárragos, tornillos y prisioneros.

Entre los pernos y los tornillos, la principal diferencia entre ambos es que el perno utiliza una tuerca para apretar en el extremo opuesto, mientras que el tornillo se le inserta en un agujero el cual se encuentra roscado.

Tabla 3

Tipos de sujetadores

Estilo de pernos		Tipo de cabeza para tornillo de máquina	
Tipo	Elemento	Tipo	Elemento
Perno de Coche		Cabeza Plana	
Perno de elevador		Cabeza de gota	
Perno de cabeza avellanada		Cabeza cilíndrica	
Perno de arado		Cabeza cilíndrica plana	

Estilo de pernos	Tipo de cabeza para tornillo de máquina		
Perno de ferrocarril		Cabeza redonda	
Esparrago		Cabeza de caja (Hallen)	
Perno de estufa		Tornillo de cabeza de presión hexagonal	

Nota. Tomado de (Mott, 2006a)

Tuercas y arandelas

Las tuercas son sumamente importantes dentro de una máquina, puesto que estas son utilizadas principalmente para prevenir que las piezas se suelten al estar sometidas a vibraciones por lo cual se utilizan las tuercas de bloqueo como: Tuerca elíptica de bloqueo, tuerca con perno de seguridad, tuerca con pestañas y etc.

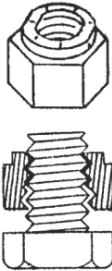

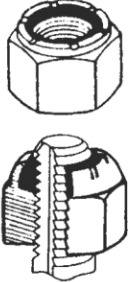



Las arandelas de bloqueo poseen una parte plana la cual ayuda a que el área de contacto se incremente entre la cabeza del perno o tuerca con la pieza a sujetar e incluso

se utilizan arandelas no metálicas las cuales aíslan eléctricamente el perno y la pieza.

(Norton, 2011a)

Tabla 4

Tipos de tuercas y arandelas de bloqueo

Tuercas de bloqueo	Arandelas de bloqueo
Tuerca elíptica de bloqueo	Arandela de bloqueo al deslizamiento
	
Tuerca de bloqueo con inserto de nylon	Arandela con dientes internos
	
Tuerca de bloqueo con perno	Arandela con dientes externos
	

Tuercas de bloqueo

Tuerca de bloqueo
con pestañas

**Arandelas de bloqueo**

Arandela con
dientes internos y
externos



Dientes para
hundimiento

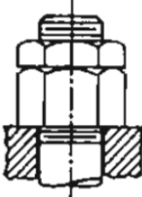
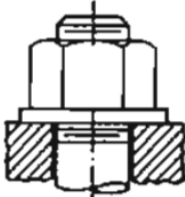
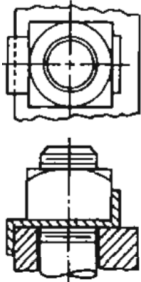
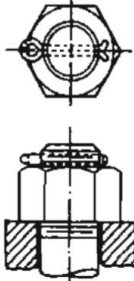


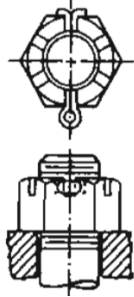

Nota. Tomado de (Norton, 2011a)

Métodos de aseguramiento

Los dispositivos de aseguramiento ayudan que por varios métodos se aplique la correcta fijación entre el perno y la pieza evitando que existan movimientos ajenos al de la máquina.

Tabla 5*Dispositivos de aseguramiento*

Tipo	Elemento
Contratuerca apretada a la tuerca normal	
Arandela de seguro estándar	
Lengüeta de seguro	
Chaveta insertada por un orificio a través del tornillo	

Tipo	Elemento
Chaveta que atraviesa por ranura de la tuerca	
Tuerca con tope plástico	

Nota. Tomado de (Mott, 2006a)

Diseño de ejes

El eje es un elemento de la máquina rotatorio, se encarga de transmitir potencia desde un motor eléctrico o de combustión a las diferentes partes giratorias del sistema. Para cumplir con la transmisión de potencia de los elementos de utiliza: engranes, bandas o cadenas, bombas, transportadores, entre otros.

Para el dimensionamiento de los ejes se debe identificar las fuerzas, par de torsión y momentos de flexión producidos en el eje durante el funcionamiento. El eje queda sometido al momento de torsión o torque, durante el transcurso de transmisión de potencia a una velocidad rotacional dada. Obteniendo como consecuencia un esfuerzo cortante directamente en el eje. Los elementos encargados de la transmisión de potencia como engranes, poleas, etc., ejercen fuerzas perpendicularmente dentro del eje, generando

momentos de flexión. Por esta razón se analiza los esfuerzos combinados en la mayoría de ejes de acuerdo a la importancia de la función del eje. (Mott, s. f.)

Motor eléctrico

Se define como motor eléctrico a la máquina que convierte la energía eléctrica como entrada a una energía mecánica de salida, la cual utiliza un eje para transmitir esta energía.

Estadísticamente dentro de la industria los motores eléctricos con potencia superior a 700 W convierten el 75% de la energía eléctrica del sector industrial y comercial, siendo esta energía utilizada para el accionamiento de bombas, sistemas de ventilación, movimiento de ascensores, sistemas de grúas y entre otras máquinas. También más del 60% de la energía eléctrica que se consume en el sector industrial es destinado hacia la transformación de energía mecánica a través de los motores eléctricos, por lo cual cuanto mayor sea la eficiencia de estos motores, representan ahorros importantes para la industria y el sector eléctrico. (PESAE, 2018)

Tabla 6

Eficiencia energética en motores eléctricos

Oportunidad	Acción
Velocidad de operación del motor	Modificación de los diámetros de las poleas en la maquinaria utilizada.
Operación del motor en su carga nominal	Observar las curvas características de cada motor en relación a la eficiencia y factor de potencia con respecto a la carga que

Oportunidad	Acción
Reemplazo a motores de alta eficiencia	<p>funcione el motor. La eficiencia disminuye a partir del 40% de carga.</p> <p>Actualmente en el mercado existen motores que demanda menor energía reactiva reduciendo valores en la factura eléctrica y teniendo una vida útil superior a 10 años.</p>
Implementación de dispositivos de arranques para motores	<p>Cuando el motor arranca a plena carga, surgen problemas como sobreesfuerzos de torsión, lo cual reduce la vida útil de motor, mediante el arrancador suave permite que el motor incremente en pequeños pasos el esfuerzo de torsión y la corriente de arranque, también un trabajo a menor temperatura, menor perdidas magnéticas y una eficiencia global mayor.</p>
Variadores de velocidad	<p>El ahorro que proporciona el variador se relaciona con la variación de la carga y el tiempo de funcionamiento del motor.</p>

Nota. Tomado de (PESAE, 2018)

Sistema de transmisión

Es un mecanismo el cual va a transmitir la energía mecánica desde el eje del motor hacia los rodillos encargados de desespinar las tunas, para lo cual este sistema se forma de varios componentes como un motorreductor, engranes y cadenas.

- **Motorreductor**

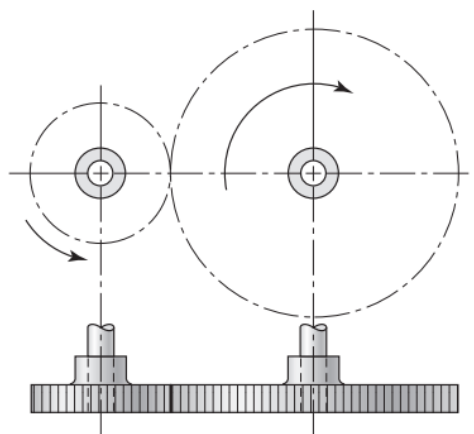
Un motorreductor es una unidad de un solo cuerpo que está conformado de un reductor y un motor eléctrico, en donde el motorreductor se encarga de transferir la fuerza que se ejerce en la flecha de ingreso hacia la flecha de salida, pero con diferente velocidad y par.

- **Engranaje**

Los engranes rectos se caracterizan por tener los dientes paralelos hacia el eje de rotación y son utilizados para transferir el movimiento de dos ejes que se encuentran en paralelo. (Budynas & Nisbett, 2008)

Figura 11

Engranés rectos



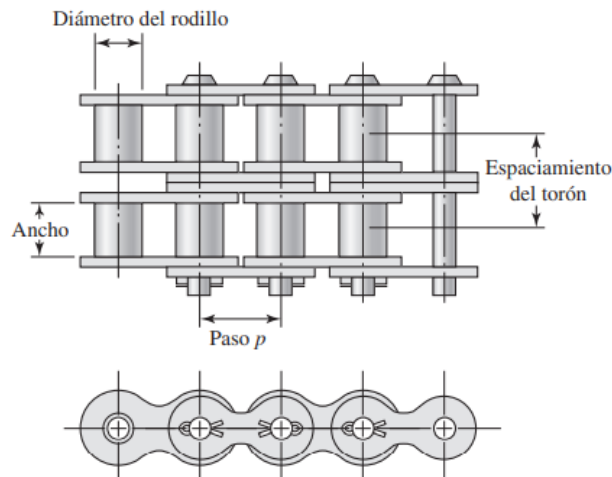
Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2008)

- **Cadena de rodillos**

En las transmisiones con cadena se obtiene una relación constante puesto que dentro de estos sistemas no implica el deslizamiento y tampoco el arrastre, posee ciertas características que la hacen un sistema bastante eficiente, como que su vida útil es larga y tiene suficiente capacidad para poder empujar varios ejes tan solo con una fuente de potencia.(Budynas & Nisbett, 2008)

Figura 12

Cadena de rodillos de doble torón



Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2008)

Planchas metálicas

Para evitar que sean introducidos elementos ajenos al proceso de remoción de espinas de las tunas se utiliza planchas metálicas de acero galvanizado o inoxidable para realizar las paredes de la estructura, las tolvas y la bandeja de recolección de espinas.

Rodamientos o cojinetes

Los materiales utilizados actualmente para la construcción de los cojinetes de bolas son con acero AISI 5210, endurecido en alto grado, mientras que los cojinetes de rodillos

son manufacturados con aleaciones de acero AISI 3310, 4620 y 8620. Las dimensiones están dadas por la Asociación de Fabricante de Cojinetes Anti-Fricción (AFBMA) junto con la Organización Internacional de Estándares (ISO).(Norton, 2011a)

Tipos de cojinetes de elementos rodantes

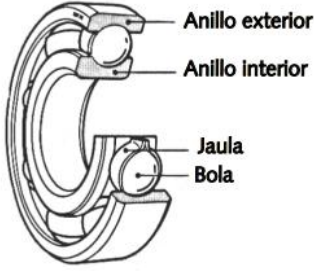
Principalmente se dividen en dos grandes grupos: cojinetes de bolas y cojinetes de rodillos y varias variantes dentro de estos dos grupos.

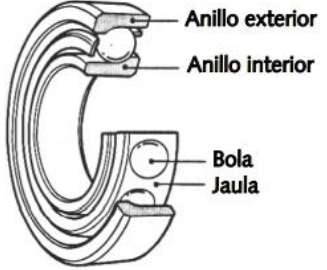
- **Cojinetes de bolas**

Las esferas son de acero endurecido y esmerilado, las cuales se encuentran en el interior de dos canales y mediante la jaula se mantienen las bolas separadas alrededor de las pistas.(Norton, 2011a)

Tabla 7

Tipos de cojinetes de bolas

Tipo	Características	Figura
<i>Cojinete de bolas, pista profunda (Conrad)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Soporta cargas radiales • Soporta cargas moderadas de empuje 	 <p>Diagrama de un cojinete de bolas de pista profunda (Conrad) que muestra el anillo exterior, el anillo interior, la jaula y una bola.</p>

Tipo	Características	Figura
<i>Cojinete de bolas, contacto-angular</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas de empuje y radiales más grandes direccionadas en una sola dirección. 	 <p>Diagrama de un cojinete de bolas de contacto angular. Se muestran los componentes: Anillo exterior, Anillo interior, Bola y Jaula.</p>

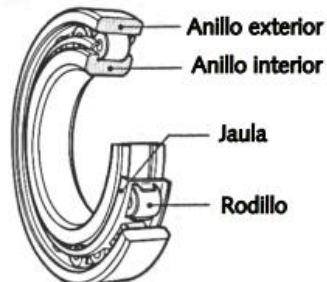
Nota. Tomado de (Norton, 2011a)

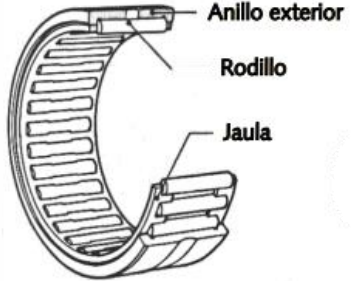
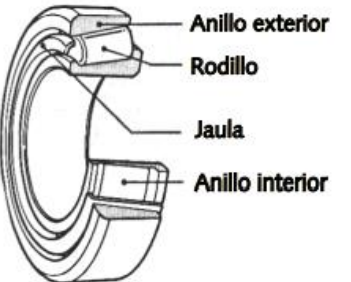
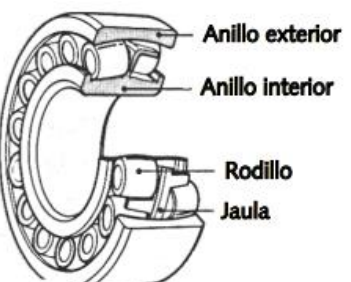
- **Cojinetes de rodillos**

Este tipo de cojinete puede ser sometido a cargas estáticas y dinámicas más grandes que las de los cojinetes de bolas, gracias a su línea de contacto. (Norton, 2011a)

Tabla 8

Tipos de cojinetes de rodillos

Tipo	Características	Figura
<i>Cojinete de rodillos cilíndricos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Soporta cargas radiales. • Baja fricción y flota axialmente. 	 <p>Diagrama de un cojinete de rodillos cilíndricos. Se muestran los componentes: Anillo exterior, Anillo interior, Jaula y Rodillo.</p>

Tipo	Características	Figura
<i>Cojinete de rodillos de aguja</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede usar con o sin pista interna. • Mayor capacidad de carga. 	 <p>Anillo exterior Rodillo Jaula</p>
<i>Cojinete de rodillos cónicos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Soporta cargas de empuje y radiales grandes. • Se utiliza en ruedas de automóviles y camiones. • Fácil montaje 	 <p>Anillo exterior Rodillo Jaula Anillo interior</p>
<i>Cojinete de rodillos esféricos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rodamientos esféricos de auto alineación. • No se generan momentos en el cojinete. 	 <p>Anillo exterior Anillo interior Rodillo Jaula</p>

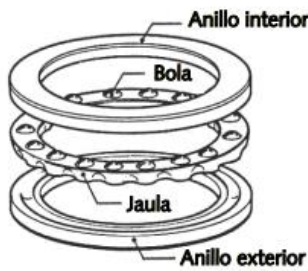
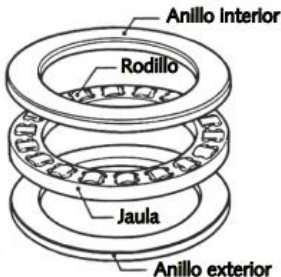
Nota. Tomado de (Norton, 2011a)

- **Cojinetes de empuje**

Tanto los cojinetes de bolas y rodillos están diseñados para soportar las cargas de empuje puro. (Norton, 2011a)

Tabla 9

Tipos de cojinetes de empuje


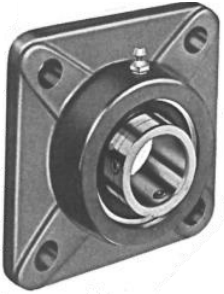
Tipo	Características	Figura
<i>Cojinete de empuje de bolas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Los cojinetes de empuje de rodillos con forma cilíndrica producen una mayor fricción que el de bolas por el deslizamiento entre el rodillo y la pista. 	
<i>Cojinete de empuje de rodillos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • No son aptos para altas velocidades. 	

Nota. Tomado de (Norton, 2011a)

Chumaceras

La función principal de la chumacera es que facilita la sujeción de los cojinetes de rodamientos en una estructura de hierro fundido, también cuenta con agujeros los cuales ayudan a mantener fijamente a cualquier superficie. (Norton, 2011a)

Tabla 10*Tipos de chumaceras*

Tipo	Figura
Chumacera de piso y cojinete con pestaña	
Chumacera de pared y cojinete con pestaña	

Nota. Tomado de (Norton, 2011a)

Bomba de Agua

Las bombas de agua actualmente son usadas en diferentes áreas industriales puesto que su función principal es succionar sustancias líquidas desde un área específica a otra, el uso de la bomba depende de la actividad que se desee realizar desde regadíos hasta abastecimiento. La alimentación del motor de la bomba de agua puede ser a base de gasolina, diésel o eléctrico.

El funcionamiento de una bomba de agua se basa que mediante un tubo se succiona el agua hacia la entrada de la bomba, inmediatamente pasa al impulsor el cual es

el rotor del motor que gira continuamente provocando que el fluido se desplace por el orificio de expulsión de la bomba y continúe su trayectoria por la tubería diseñada.

Figura 13

Bomba centrífuga con motor eléctrico



Nota. Tomado de (HIDROMEC, 2018)

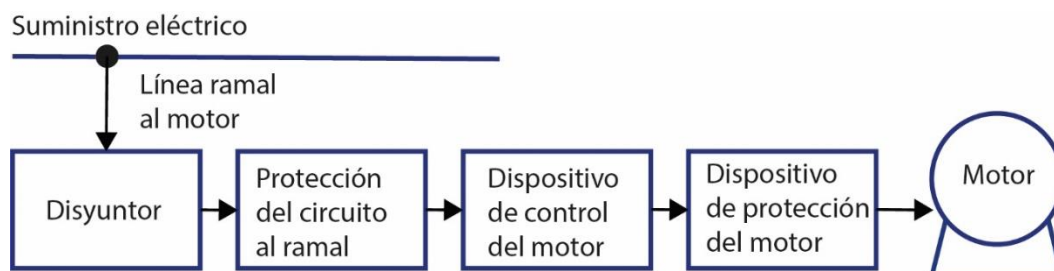
Control eléctrico

Muchas funciones de los controles de motor dependen del tipo y del tamaño y son las siguientes:

1. Prender y apagar el motor.
2. Evitar sobrecargas y sobrecalentamiento del motor
3. Evitar que los operadores tengan algún accidente con el sistema eléctrico.
4. Mantener los controles protegidos de los efectos ambientales.
5. Evitar a toda costa que provoquen explosiones e incendios.
6. Dar al motor de manera controlada fuerza, velocidad, aceleración o desaceleración.
7. Proveer a un conjunto de motores un arranque en secuencia.
8. Coordinar el funcionamiento de las diferentes piezas del sistema.
9. Proteger todo el sistema de conducción de circuitos que están ligados al motor.

Figura 14

Control eléctrico de un motor



Nota. Tomado de (Mott, s. f.)

Fusibles

Tienen formas y tamaños diferentes de acuerdo con la tensión, intensidad o lugar donde se los coloque. Están formados de un metal o de una aleación que puede ser de zinc, estaño, plomo, etc. Su función es proteger a los circuitos eléctricos mediante la fusión por efecto de Joule que consiste en intercalar una lámina en la línea siendo referente del punto débil. Cuando la corriente es relativamente pequeña, la sección del fusible es circular y si la corriente es grande, el conductor fusible es en láminas. (Bustamante & Eugenio, 2015)

Figura 15

Fusible de cuchillas (SIEMENS AG)



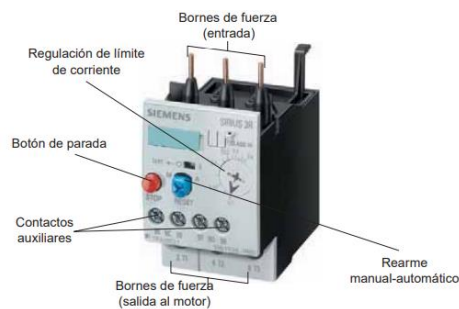
Nota. Tomado de (Martín & García, 2009)

Relé térmico

Es un elemento de seguridad del circuito de control y potencia, actúa ante sobrecargas débiles y prolongadas. Se encarga de la regulación del amperaje a un determinado rango, abriendo el sistema como medida de seguridad.

Figura 16

Partes del relé térmico



Nota. Tomado de (Martín & García, 2009)

Contactor

La función del contactor es conectar y desconectar electromecánicamente con energía que no sea manual, un dispositivo en condiciones normales y en sobrecarga. En la industria, los contactores son accionados con energía magnética (núcleo magnético y bobina), que crea un campo magnético sumamente grade permitiendo accionar los contactos eléctricos.(Bustamante & Eugenio, 2015)

Figura 17

Contactora (SIEMENS AG)



Nota. Tomado de (Martín & García, 2009)

Interruptor termomagnético

La función principal del interruptor termomagnético es abrir el circuito ante una corriente de sobrecarga y un cortocircuito. Su funcionamiento se divide en dos:

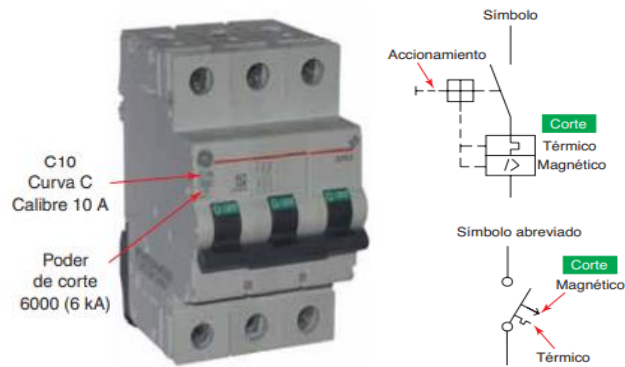
Corte magnético: Consta de un electroimán el cual al detectar que se ha sobrepasado el límite del interruptor, abre los contactos mediante el sistema mecánico dejando el circuito abierto, la actuación de este sistema se produce en milisegundos siendo un sistema muy seguro ante cortocircuitos, puesto que, circulan altos valores de corrientes.

Corte térmico: Se compone de una lámina bimetálica la cual al paso excesivo de la corriente se calienta y se deforma ocasionando que el circuito quede abierto, esta forma de actuar es frente a sobrecargas, su actuación es más lenta en comparación al cortocircuito.

(Cabello & Sánchez, 2010)

Figura 18

Interruptor termomagnético y símbolo



Nota. Tomado de (Cabello & Sánchez, 2010)

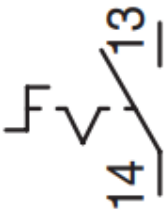

Dispositivo de control manual

- **Interruptores**

Es necesario la intervención manual del usuario, consta de dos posiciones en donde el sistema mecánico de enclavamiento mantiene una posición hasta que haya una intervención manual para el cambio de posición.

Tabla 11

Tipos de interruptores

Elemento	Símbolo	Figura
Interruptor rotativo de un solo contacto		

Elemento	Símbolo	Figura
Interruptor rotativo de doble cámara de contactos (NA y NC)		
Interruptor tipo pulsador de un solo contacto		
Interruptor con llave con contacto NC		

Nota. Tomado de (Martín & García, 2009)

- **Pulsadores**

Para que el circuito se abra o se cierre es necesario que se realice el accionamiento por parte del usuario, cuando se deja de ejercer presión el contacto retorna a la posición inicial gracias al resorte integrado. Normalmente los pulsadores utilizados son de color verde para iniciar un proceso, mientras que con el pulsador color rojo se detiene el proceso.

Tabla 12

Tipo de pulsadores Siemens AG

Elemento	Símbolo	Figura
Pulsador con contacto NA (inicio de proceso)		
Pulsador con contacto NC (detener proceso)		
Pulsador de doble contacto NA y NC		

Nota. Tomado de (Martín & García, 2009)

Sistema desespinator de tunas

El sistema de limpieza de frutas se divide en tres etapas: Entrada, despinación de la fruta y salida. Como se observa en la figura 19, el trabajo conjunto de las etapas permite que la materia prima quede libre de suciedad en un proceso sofisticado por medio de control eléctrico.

Figura 19*Limpiador de frutas comercial*

Nota. Tomado de («Limpiadora de frutas por cepillos», s. f.)

Entrada: De acuerdo con el tipo de frutas, volumen y unidades procesadas, se determina el tipo de tolva, las dimensiones deben estimarse adecuadamente para que la primera etapa sea funcional, ya que, dependiendo de la necesidad, el ángulo de bajada varía, caso contrario, se producen estancamientos y paro en la producción.

Despinación de la fruta: Las frutas pasan por un conjunto de cepillos cilíndricos impulsados por un motor o motorreductor y luego atraviesan un sistema de transmisión por poleas, el cual permite la remoción de partículas ajenas a la fruta.

Sistema de remoción de espinas por centrifugado

Las tunas ingresan hacia un gran tambor donde el sistema de rodillos y las barras rociadoras de agua hacen girar el producto hasta obtener la remoción y pelado completo de las tunas obteniendo un producto libre de espinas.

Figura 20

Sistema de centrifugado



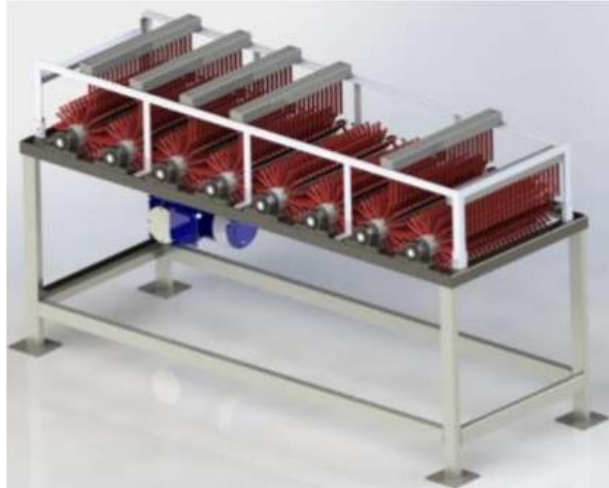
Nota. Tomado de (VANMARK, 2021)

Sistema de remoción de espinas por Rodillos

La remoción de espinas de las tunas se las realiza mediante un sistema multi rotativo el cual consta con varios rodillos incrustados de cerdas poliméricas, las tunas son desplazadas por una banda transportadora hacia los rodillos que mediante la fricción que ejercen en las tunas retiran las espinas. (Altamirano & Pilco, 2017)

Figura 21

Remoción de espinas por rodillos



Nota. Tomado de (Altamirano & Pilco, 2017)

Sistema de remoción de espinas por hidro lavado

Mediante una banda transportadora las tunas son desplazadas a lo largo de la máquina y mediante un sistema de agua a presión se retiran las espinas de las tunas que pasan por debajo de la tubería de hidro lavado.(Altamirano & Pilco, 2017)

Figura 22

Sistema por hidro lavado



Nota. Tomado de (Altamirano & Pilco, 2017)

Sistema de remoción de espinas de lavado neumático

Las tunas ingresan a la máquina en donde un sistema de cepillos plásticos rompe las espinas de las tunas, un sistema neumático remueve las espinas restantes de las tunas y las que fueron removidas por los cepillos, luego son almacenadas en un filtro y finalmente, por medio de una banda transportadora, ayuda que las tunas sigan avanzando. (Caucés, 2013)

Figura 23

Sistema por lavado neumático




Nota. Tomado de (AYRFUL, 2019)

En la tabla 13 se muestra un resumen de los diferentes métodos de remoción de espinas de la tuna.

Tabla 13

Remoción de espinas de tunas

Modelo	Descripción	Figura
Despinadora tambor de centrifugado	La fruta ingresa a un tambor con rodillos, mediante el efecto de centrifugado la fruta hace contacto con las paredes internas de los rodillos	

Modelo	Descripción	Figura
Despinadora por rodillos	<p>permitiendo extraer las espinas por el contacto y la velocidad ejercida.</p> <p>El conjunto de rodillos revestidos por cerdas de PVC o nylon se ubican seguidamente en una mesa plana, mediante el movimiento transmitido por el motor, los rodillos se impulsan y remueven las espinas de la tuna.</p>	
Despinadora por hidro lavado	<p>Las tunas son transportadas por bandejas, de la parte superior se expulsa agua a presión removiendo las espinas sin contacto directo</p>	
Despinadora por lavado neumático	<p>La remoción de las espinas ocurre cuando se expulsa aire a presión dirigido por una tubería. La presión del aire llega a ser tan fuerte que desprende las espinas de la fruta.</p>	

- Salida:** Finalmente las frutas deben ser empaquetadas para su distribución evitando su maltrato, ya que cualquier golpe lastima la fruta. Por esta razón la bandeja de salida debe poseer una ligera inclinación para que la caída no sea brusca desde la altura de máquina.

Metodología del diseño

Diseñar, principalmente se basa en la construcción de un plan, el cual se utiliza para solventar una necesidad particular. Si dentro del plan se determina la creación de un elemento físicamente, este debe cumplir con ciertas condiciones para lo que fue creado, garantice su funcionalidad, no afecte a la integridad del usuario, que sea provechoso, que pueda ser fabricado y no sea complejo comercializarse. (Budynas & Nisbett, 2008)

Diseño mecánico

Dentro del diseño mecánico existen dos aspectos importantes los cuales son la construcción y el diseño mecánicos. En la construcción mecánica se hace referencia especialmente a los principios y estructuras mecánicas, también se da énfasis a las normas de trabajo, el desarrollo constructivo, etc. Mientras que, en el diseño mecánico, el objetivo es perfeccionar y optimizar el trabajo de un sistema que incluye el funcionamiento y su estructura mecánica. Actualmente el desarrollo económico de varios países avanza muy rápido por lo cual se ha tomado en consideración la implementación de la tecnología dentro del diseño mecánico y una de las apuestas más claras es la aplicación de la tecnología asistida por computador combinada con la eficiencia del diseño. (Liu, 2020)

La apuesta por tecnología asistida por computador es un punto de inflexión que ayuda a que la eficiencia del diseño mecánico adopte nuevas mejoras en su metodología tradicional, como la detección de fallas de una manera más rápida, garantizando que dentro del diseño y construcción mecánicos no se produzcan errores, obteniendo mejores resultados en el producto final. (Liu, 2020)

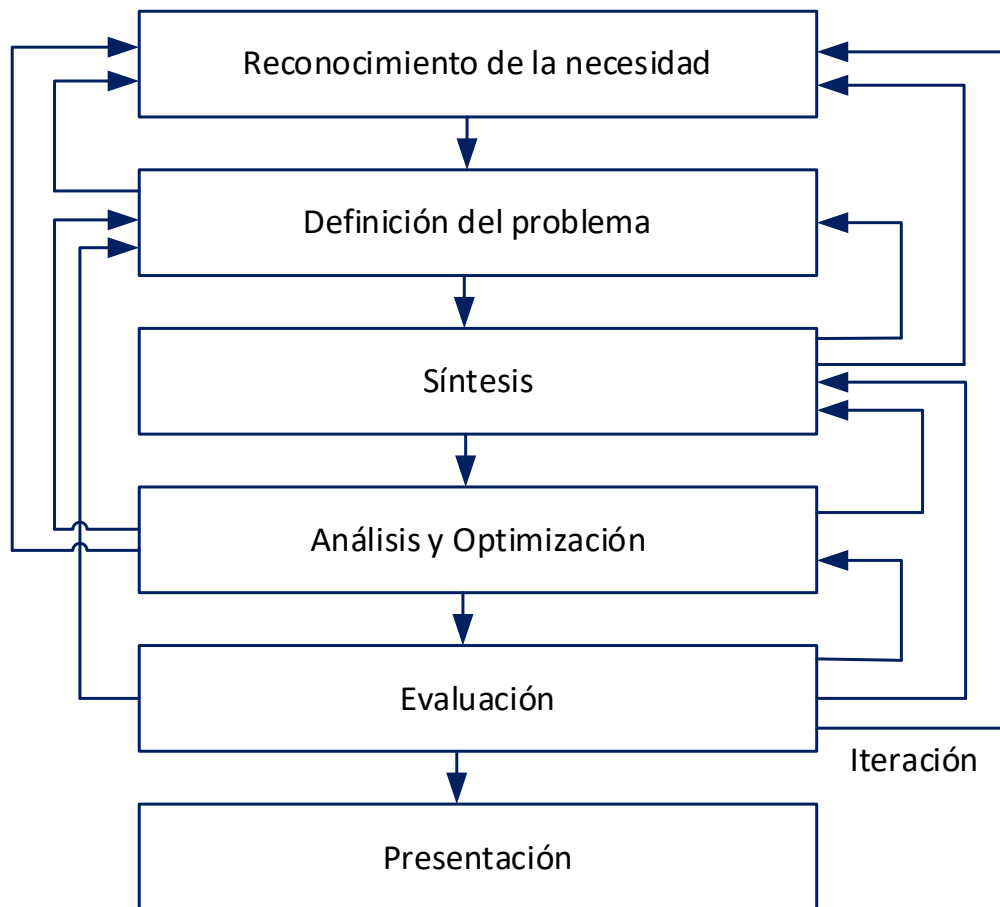
Fases de diseño

El desarrollo completo del diseño mecánico empieza con la identificación de la necesidad del usuario y la resolución de este.

Para esto se considera el siguiente diagrama de bloques, que inicia identificando la necesidad que debe ser resuelta, a continuación, se realizan varias iteraciones de cómo resolverla y finalmente se muestran las ideas más acertadas.

Figura 24

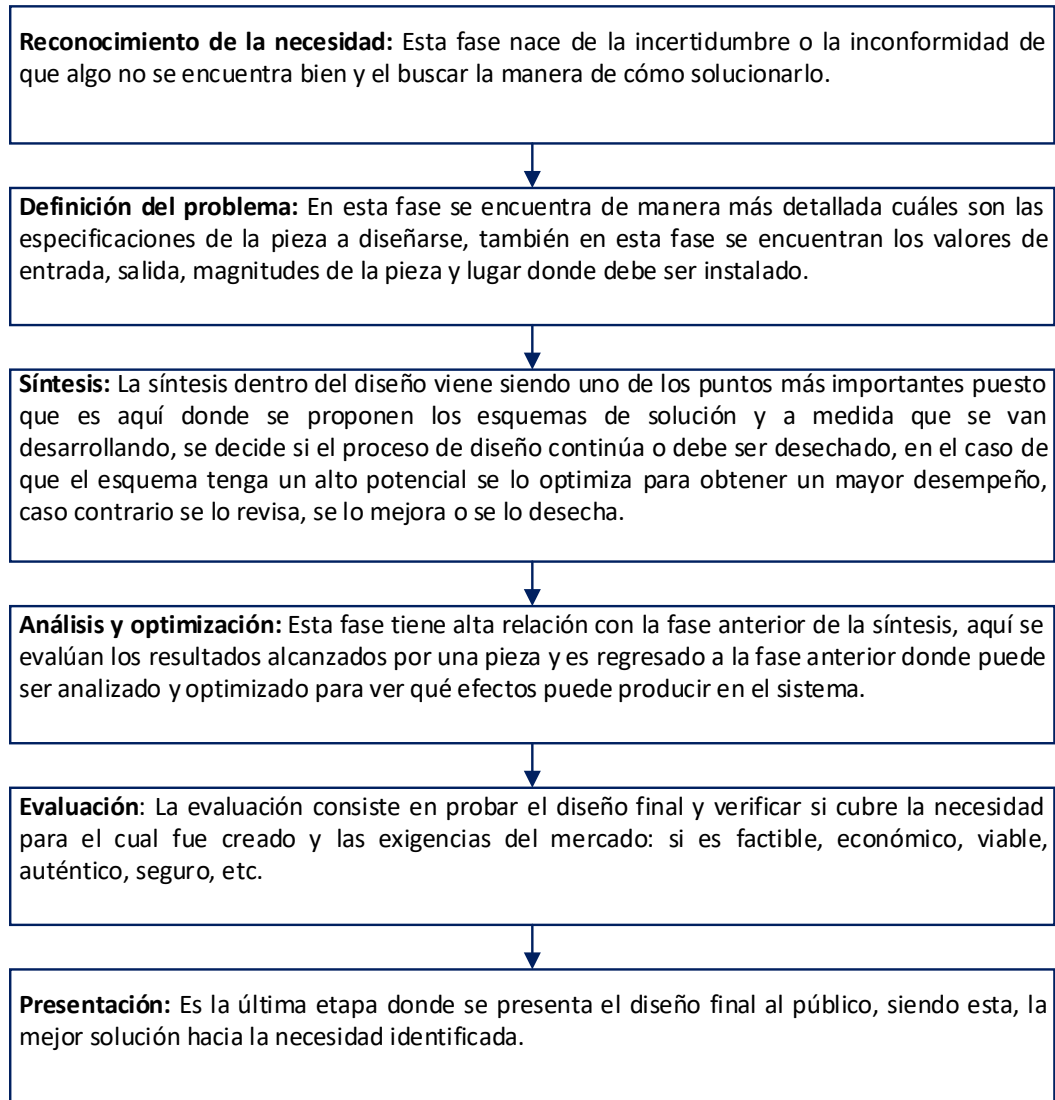
Fases de diseño



Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2008)

Figura 25

Definición de las fases de diseño



Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2008)

Etapas del proceso de diseño

Las etapas del proceso consisten en la aplicación reiterativa del ciclo básico de diseño en forma de espiral convergente dando soluciones cada vez más acertadas a lo largo de todo el proceso, cumpliendo con los objetivos requeridos en el problema planteado. Es adecuado manejar grupos de actividades relacionadas como estructura del proceso que

conduzcan al estado de desarrollo, debido a que el ciclo básico posee un carácter general, sin ofrecer el suficiente alcance para el establecimiento de una metodología de diseño.

Tabla 14

Etapas del proceso de diseño

Etapas	Proceso	Resultado
1	Definición del producto	Especificación
2	Diseño conceptual	Principios de solución, estructura funcional, estructura modular
3	Diseño de materialización	Planos del conjunto
4	Diseño de detalle	Planos de piezas, documentos de fabricación

Definición del producto

La primera etapa parte del enunciado del producto, las acciones son establecidas para la definición precisa y completa. Las especificaciones, referencias y desarrollo establecen la definición del producto, pero aún no tiene las garantías suficientes para iniciar los trabajos de diseño.

Diseño conceptual

La segunda etapa inicia en especificar el producto dando diferentes alternativas de solución a primera instancia, se evalúa y se selecciona la más conveniente.

Diseño de materialización

La tercera etapa consiste en materializar la solución a través del conjunto organizado de piezas, elementos, uniones y los diferentes componentes del producto mediante la identificación de materiales, formas, acabado y dimensiones. Dando lugar a los planos del producto especificando las articulaciones y elementos de la versión física final.

Diseño de detalle

La cuarta etapa despliega todos los documentos necesarios para la fabricación del producto gracias a la información proporcionada en la etapa anterior (planos del producto y memoria anexada). Se debe detallar el material, numeración, relación de las piezas, denominación y otras especificaciones técnicas (acabados, procesos, normas, etc.) (Riba, 2002)

Capítulo III

Diseño y construcción de la máquina despinadora de tunas

Análisis de entorno de producción

Para la determinación de algunos factores importantes que se deben tomar en cuenta, se eligió realizar una entrevista en formato de encuesta a los representantes de la fundación “AYLLU APU FFA”; productores de la comunidad “San Andrés de Pilaló” ubicada al occidente del cantón Salcedo. Los resultados y en análisis obtenidos se muestran en el apartado del Anexo A.

Modelo de Encuesta

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DESPINADORA DE TUNAS (OPUNTIA FICUSINDICA) APLICABLE A LA FUNDACIÓN “AYLLU APU FAA” DEL CÁNTON SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI – ECUADOR PARA IMPULSAR AL SECTOR AGRICOLA

Nombre: _____ Edad: _____

Teléfono: _____ Fecha: _____

Leer detenidamente antes de contestar las preguntas:

1. **¿Qué método utiliza para remoción de las espinas de la tuna?**

Escoba

Malla

Agua a presión

Otro

Eligió otro, explicar _____

2. **¿Por qué realiza ese método de remoción de espinas de la tuna?**

Decisión propia

Exigencias del mercado

Ahorrar recursos

3. ¿Ha sido espinado al momento de remover las espinas de la tuna?

Si

No

4. ¿Cuánto tiempo le toma desespinar las tunas de la primera cosecha?

1 hora

2 horas

3 horas

Otro: _____horas

5. ¿Qué tipo de tuna cultiva?

Amarilla

Blanca o verde

Silvestre

6. ¿Qué cantidad de tunas produce por cosecha en 1000m²?

_____cajas

7. ¿Con qué frecuencia realiza la limpieza de las espinas de las tunas?

Diario

Semanalmente

Mensualmente

Otro. ¿Cada cuánto tiempo? _____

8. ¿Cuánto personal requiere para limpiar las espinas de la tuna?

1 persona

2 personas

3 personas

Otro: _____personas

9. Si usted está dispuesto a automatizar el proceso de remoción de las espinas de la tuna ¿Cuánto estaría dispuesto a invertir?

\$ 500-1000 \$ 1000-1500 \$ 2000

10. Seleccione las expectativas más importantes que considera que debe tener la máquina despinadora de tunas

Bajo costo Limpieza profunda de la tuna

Mínimo ruido Minimizar el contacto con la fruta

Tamaño optimo No maltrate el producto

Peso ligero Fácil operación

Movilidad Limpieza de forma rápida

Otro: _____

Para determinar el tamaño de muestra se consideró los siguientes parámetros:

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

Donde:

n: Tamaño de la muestra

N: Tamaño del universo o población total (15 personas)

K: Constante, nivel de confianza deseado (1.28 para 80% de confianza)

e: Error de la muestra deseado (7% - 0.07)

p: Porción de la población que posee la característica de estudio (0.5 generalmente)

q: Porción de la población que no posee la característica, es decir 1-p

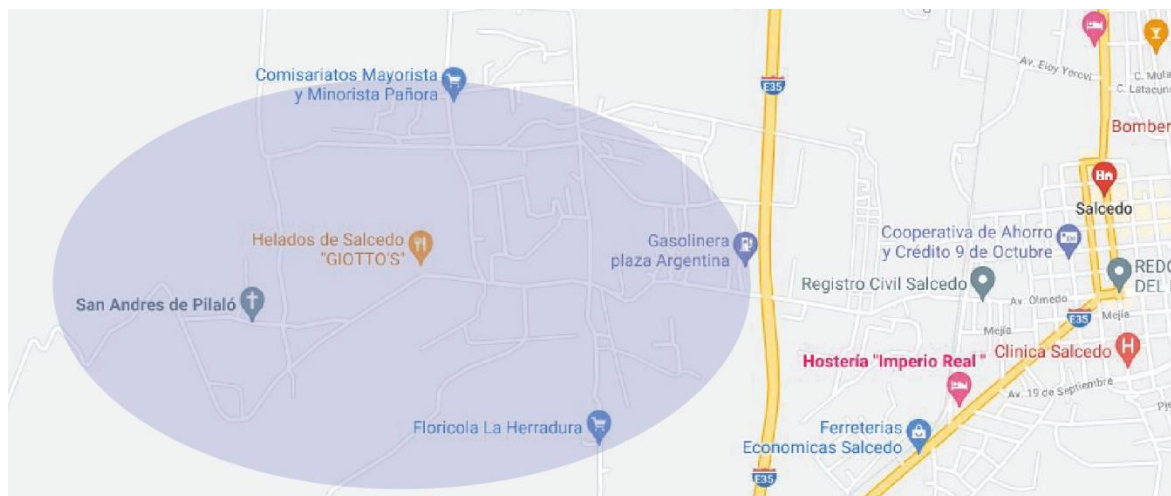
$$n = \frac{1.28^2 * 0.5 * 0.5 * 15}{(0.07^2 * (15 - 1)) + (1.28^2 * 0.5 * 0.5)}$$

$$n = 13 \text{ personas}$$

Como se muestra en la figura 26, las personas encuestadas abarcan el área seleccionada, la comunidad se encuentra al occidente del cantón Salcedo. Se caracteriza por tener suelos áridos, ideal para el crecimiento de la tuna.

Figura 26

Comunidad San Andrés de Pilaló



Nota. Tomado de Google maps

Dimensiones de los frutos

Para determinar las dimensiones de los frutos se ocupó la ecuación del punto anterior y así determinar el tamaño de muestra. Las tunas se clasifican en tres clases las cuales son comercializadas. En el siguiente análisis se utilizó tunas silvestres y verdes, debido a que en este sector se produce estas dos variedades de tunas. Tanto el largo como

el ancho y el peso ayudarán a establecer los parámetros de diseño de la máquina despinadora de tunas. Se realizará el cálculo de tamaño de muestra para un universo de 80 frutas, 80 % de confianza, 7 % de error.

$$n = \frac{1.28^2 * 0.5 * 0.5 * 80}{(0.07^2 * (80 - 1)) + (1.28^2 * 0.5 * 0.5)} = 42 \text{ Tunas}$$

Tabla 15

Dimensiones Primera clase de la tuna

Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)
1	152	92	53
2	149	85	57
3	162	89	64
4	145	87	59
5	152	90	55
6	154	94	56
7	167	89	67
8	165	88	65
9	161	56	63
10	147	79	58
11	143	85	53

Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)
12	164	88	64
13	166	90	67
14	150	89	54
Promedio	156	86	60

Nota. Se muestra las dimensiones de varias tunas de primera clase

Tabla 16

Dimensiones Segunda clase de la tuna

Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)
1	102	78	48
2	113	72	51
3	100	75	48
4	101	67	49
5	111	83	50
6	101	68	49
7	109	69	48
8	100	66	50

Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)
9	105	65	52
10	109	80	49
11	104	67	54
12	111	78	53
13	106	69	54
14	105	68	54
Promedio	106	72	51

Nota. Se muestra las dimensiones de varias tunas de segunda clase

Tabla 17

Dimensiones Tercera clase de la tuna

Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)
1	92	64	49
2	84	80	43
3	89	73	50
4	86	72	48
5	90	78	48

Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)
6	81	74	45
7	81	75	44
8	100	69	49
9	94	65	50
10	85	66	48
11	99	74	50
12	90	77	46
13	87	78	47
14	91	75	49
Promedio	89	73	48

Nota. Se muestra las dimensiones de varias tunas de tercera clase.

En la tabla 18, se muestra el resumen de las dimensiones de las tunas, el promedio determinado es el que se tomará en cuenta para el diseño. La máquina despinadora de tunas debe considerar el ingreso de las tunas de diferentes tamaños, el peso que debe soportar la máquina en condiciones de trabajo.

Tabla 18*Resumen promedio de peso y dimensiones de la tuna*

Clase	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)
Primera (grande)	156	86	60
Segunda (mediana)	106	72	51
Tercera (pequeña)	89	73	48

Recopilación de datos

Después de la recopilación de información mediante la encuesta aplicada a los productores de tunas, el resultado fue que se identificó el punto más importante a cumplir, la remoción de las espinas de la tuna, seguido de la rapidez de la remoción de las espinas. El mercado exige que el producto se encuentre libre de espinas para la comercialización, debido a que los consumidores se verían afectados causando heridas perjudiciales para la salud y de igual manera los productores emplean demasiado tiempo en la remoción de las espinas.

El tiempo que dedican los cultivadores de tunas son de 3 a 4 horas aproximadamente, dependiendo de la extensión de terreno que posean. En una extensión de mil metros cuadrados se cosechan entre 50 a 100 cajas de tunas, dependiendo del mantenimiento que reciba la planta, es decir, el abono y que esta sea podada regularmente para que el fruto tenga el espacio suficiente y complete su desarrollo.

Económicamente los cultivadores están dispuestos a invertir la mínima opción, de 500 a 1000 dólares en la actividad de remoción de las espinas de la tuna, debido a que sus ingresos económicos no dependen netamente del cultivo de tunas, pero debido a las

características de la planta, hay producción de tunas en todo el año. Seguido de los otros requerimientos de evitar el maltrato de la fruta, ya que se puede descartar porque no se encuentra en buenas condiciones, la fácil operación de la máquina para evitar daños graves y que tenga buena movilidad por la dificultad que puede presentar el terreno del campo.

Gracias a la recolección de datos de forma cuantitativa, se indagó a profundidad los problemas del entorno de los agricultores, permitiendo de esta manera palpar la situación, conocer las ventajas y desventajas desde el punto de vista de los productores, los diferentes métodos de despinación de tunas caseros. Despejando las inquietudes generadas en el planteamiento del problema.

Análisis de factibilidad de implementación

La encuesta realizada ayudó a identificar los factores más relevantes para determinar la factibilidad de la implementación de la máquina despinadora de tunas, los cuales son:

Recursos económicos: Uno de los puntos más importantes es el financiamiento de la máquina despinadora de tunas, debido a la situación económica de la mayoría de las personas de la comunidad, el modelo de agricultura permanece rudimentario y no ha sido posible desarrollarse de manera industrial; el resultado arrojado por la encuesta realizada nos muestra que los agricultores seleccionaron la primera opción que corresponde a la cantidad mínima de dinero, entre 500 y 1000 dólares.

Producción: El mercado de la tuna tanto nacional, como internacional es relativamente nuevo ya que se ha dado a conocer las propiedades alimenticias que posee. De igual manera se incorporan países exportadores como Francia e importadores como Ecuador, esto promueve el crecimiento de la producción de tunas. Según (Gallegos, 2020)

el cultivo y la producción de tunas en Ecuador desde el 2005 al 2010 aumentó el 62%. Lo que demuestra que el comercio en el país aumenta significativamente.

Tabla 19

Producción de tunas en Ecuador (Tm)

Años	Tuna (Tm)
2004	2,064.00
2005	4,611.00
2006	4,834.00
2007	5,987.00
2008	6,794.00
2009	7,000.00
2010	7,492.00

Nota. Tomado de (Gallegos, 2020)

Por otro lado, según los productores de tunas de la comunidad San Andrés de Pilaló poseen diversas extensiones de terrenos de tunas, pero el laborioso proceso de recolección y despinación, limita significativamente. Aproximadamente la superficie de cosecha de los productores es de 1,5 hectáreas, el tiempo empleado es de 3 horas o más en mil metros cuadrados.

Mercado: Según la información recolectada de productores y comercializadores, la tuna se cosecha todos los meses del año esto se debe a las propiedades de la tuna, ya que

no necesita excesivo mantenimiento. Como se muestra en la siguiente tabla, los precios de cada caja de tunas varían dependiendo la época del año. Esto se debe a que en el invierno (noviembre, diciembre, enero) existen lluvias ocasionales, provocando que la demanda de la fruta disminuya. Pero en verano (junio, julio, agosto, septiembre) escasea el agua y las plantas producen menor cantidad de frutas, aumentando la demanda de los consumidores.

Tabla 20

Precio de cajas de tuna según su clase por unidad

Cajas según su clase	Inverno	Verano
Primera (Grande)	10 dólares	20 dólares
Segunda (Mediana)	8 dólares	18 dólares
Tercera (Pequeña)	5 dólares	15 dólares

Nota. Precio de las tunas según temporada del año

Empleo: Las comunidades que se dedican al cultivo de tunas en el sector occidente del cantón Salcedo son: San Andrés de Pilaló, San Francisco de Collanas, Quijaló, Sigchocalle, Salache San José, La Argentina, San Pedro de Jachaguango y Ampamalag. Aproximadamente por cada comunidad existen 10 familias productoras de tunas, con una extensión mínima de mil metros cuadrados dedicadas al cultivo de la fruta. Trescientas sesenta personas son involucradas directamente, obteniendo diez hectáreas que producen cerca de tres mil quinientas cajas de tunas, al mercado representa aproximadamente treinta y cinco mil dólares. Dinero que ingresa directamente a las comunidades semanalmente aproximadamente dependiendo de la época del año y del cuidado que le pueden dar a la plantación.

Factibilidad: Los puntos analizados con anterioridad confirman la factibilidad de la máquina despinadora de tunas. Se espera que promueva el desarrollo microempresarial y agroindustrial, ayude tanto a la producción como a reducir las afectaciones que pueden llegar a ocasionar el manejo directo de la fruta con espinas. Además, se estima que en los próximos años aumente la demanda del mercado de tunas un 10%.

El proceso de despinación de la fruta es primordial debido al ahorro de tiempo, el manejo de la fruta con espinas resulta fastidioso y peligroso, es necesario poseer medidas de seguridad previo la manipulación de la tuna, por ende, aumenta el tiempo de procesamiento. Con la máquina despinadora de tunas se pretende reducir el tiempo empleado, la automatización de esta etapa reduce la exposición directa entre la tuna y la persona encargada de remover las espinas salvaguardando su integridad.

Además, es importante recalcar que se reducen los recursos empleados al momento de remover las espinas, las personas pueden adjudicarse nuevas labores de trabajo mientras la máquina trabaja, así, aumentará tanto la productividad como la efectividad de los agricultores.

Despliegue de función de calidad

La función de la calidad es un proceso organizado, donde los requerimientos y necesidades del usuario se traducen a principios técnicos de ingeniería aplicables en las fases de diseño y construcción, de igual manera consiste en una herramienta encargada de planificar el ciclo de vida de la máquina a través de índices de calidad.

Parte de las especificaciones como características, dimensiones y requerimientos iniciales para el diseño y construcción, se responde a las necesidades de los usuarios, determinando los procesos de fabricación, con ello la inversión necesaria y finalmente asegura la calidad del producto, junto con la rentabilidad de los recursos tanto para fabricación como para comercialización.

La casa de la calidad

Es una matriz en forma de casa, se encarga de traducir las demandas del cliente en requerimientos del producto a través de un análisis técnico comparativo. Posee 6 pasos a seguir como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 21

Componentes de la casa de la calidad)

Número	Nombre	Descripción
1	Voz del usuario	Establece los requerimientos y deseos de los usuarios
2	Análisis de competitividad	Analiza los productos de la competencia según el grado de satisfacción desde la perspectiva del usuario
3	Voz del ingeniero	Presenta los requerimientos técnicos en función de las necesidades del usuario
4	Correlaciones	Presenta correlaciones entre la voz del ingeniero y la voz del usuario
5	Comparación técnica	Compara el producto con la competencia
6	Compromisos técnicos	Se establecen compromisos directos y potenciales entre las características técnicas del producto final

Nota. Tomado de (Riba, 2002)

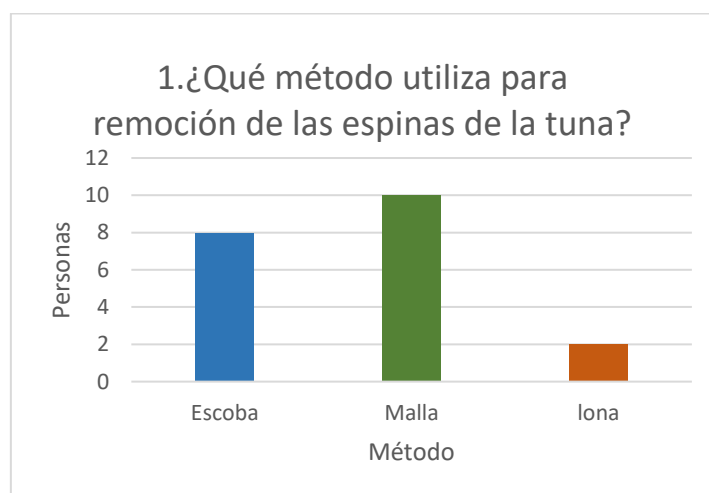
Voz del usuario

De acuerdo con la información recolectada por la encuesta realizada, los usuarios esperan obtener algunas características específicas que debe tener la máquina despinadora de tunas. En función de la pregunta uno y diez, se obtienen los siguientes resultados:

El resultado de la primera pregunta, ¿Qué método utiliza para remoción de las espinas de la tuna?, se observa en la figura 27.

Figura 27

Método utilizado para remover las espinas de las tunas



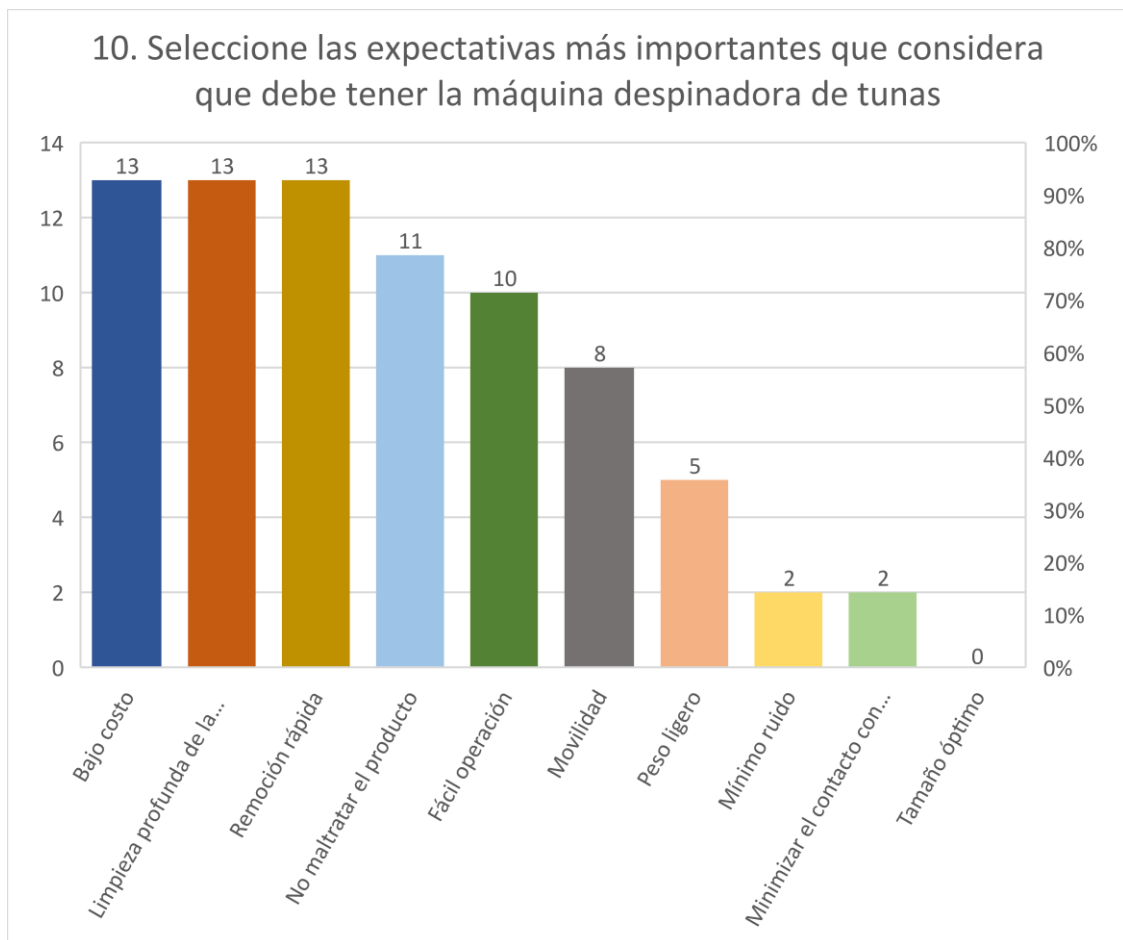
Partiendo del 100% de los encuestados se ha determinado que el 53% combina el método de remoción entre la escoba y malla o más conocida como zaranda, utilizada en la construcción. Esto se debe a las propiedades que posee el nylon de la escoba, retira las espinas de la tuna con facilidad y la malla sostiene la tuna mientras que las espinas caen por efecto de la gravedad. El método de remoción por lona representa el 15%, las propiedades de la lona permiten remover las espinas y estas no se adhieren.

Así se concluye que la mayoría de los productores de tunas utilizan las cerdas de nylon de la escoba para retirar de manera efectiva las espinas sin dañar la capa exterior de la fruta.

La pregunta diez complementa los requerimientos de los usuarios como se observa el análisis en la figura 28.

Figura 28

Parámetros requeridos por los usuarios en la máquina despinadora de tunas



Análisis de competitividad

Dentro de la casa de la calidad es necesario conocer los competidores líderes en el mercado los cuales poseen máquinas similares a la limpieza de frutas, por lo cual, es necesario evaluarlos con una ponderación de 1-5 que son ingresados en la matriz de la casa de la calidad.

Tabla 22

Características de máquinas de la competencia

Especificación	Competencia 1 (GELGOOG)	Competencia 2 (ASTIMEC)
Máquina		
Voltaje	220V/380V	220V
Limpieza	Rodillos giratorios	Rodillos de PVC cerdas de plástico
Capacidad	500 kg/h	300kg/h hasta 3000 kg/h
Material de estructura	Acero inoxidable 304	Acero inoxidable AISI 304
Peso	460 kg	280 kg
Dimensiones (L*W*H)	3000*1200*1400 mm	2000*700*1500 mm
Potencia	0.75 KW	0.56 KW + 1.1 KW

Nota. Modelos de varias máquinas de limpieza de frutas

Voz del ingeniero

El usuario expone una lista de necesidades, para las cuales el diseñador debe presentar una solución que sea medible como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 23*La voz del ingeniero*

Necesidad del usuario	Voz del ingeniero
Bajo Costo	Materiales de gama media
Limpieza profunda de la tuna	Mayor número de rodillos
Remoción rápida	Tamaño de las cerdas plásticas
No maltrate el producto	Material de los rodillos
Fácil operación	Sistema de automatización amigable
Movilidad	Piezas desmontables
Peso ligero	Densidad de los materiales
Mínimo ruido	Motores eléctricos
Minimizar el contacto con la fruta	Sistema de lavado

Elaboración de la casa de la calidad

Para realizar la casa de la calidad se tomó en consideración cada una de las necesidades del cliente y a la vez la voz del usuario, que son las soluciones a cada necesidad; mediante este proceso se obtiene las especificaciones de la máquina que cumplan con las expectativas del cliente.

Figura 29

Casa de la calidad

QFD: Casa de la calidad

Proyecto: Diseñar e implementar una máquina despinadora de tunas (Opuntia Ficus-Indica) aplicable a la Fundación "AYLLU APU FAU" del cantón Salcedo - provincia de Cotopaxi, para impulsar el sector agrícola.
 Revisión: Ing. Manjarrés Arias, Félix Xavier M.Sc.
 Fecha: 18/2/2022

Correlaciones

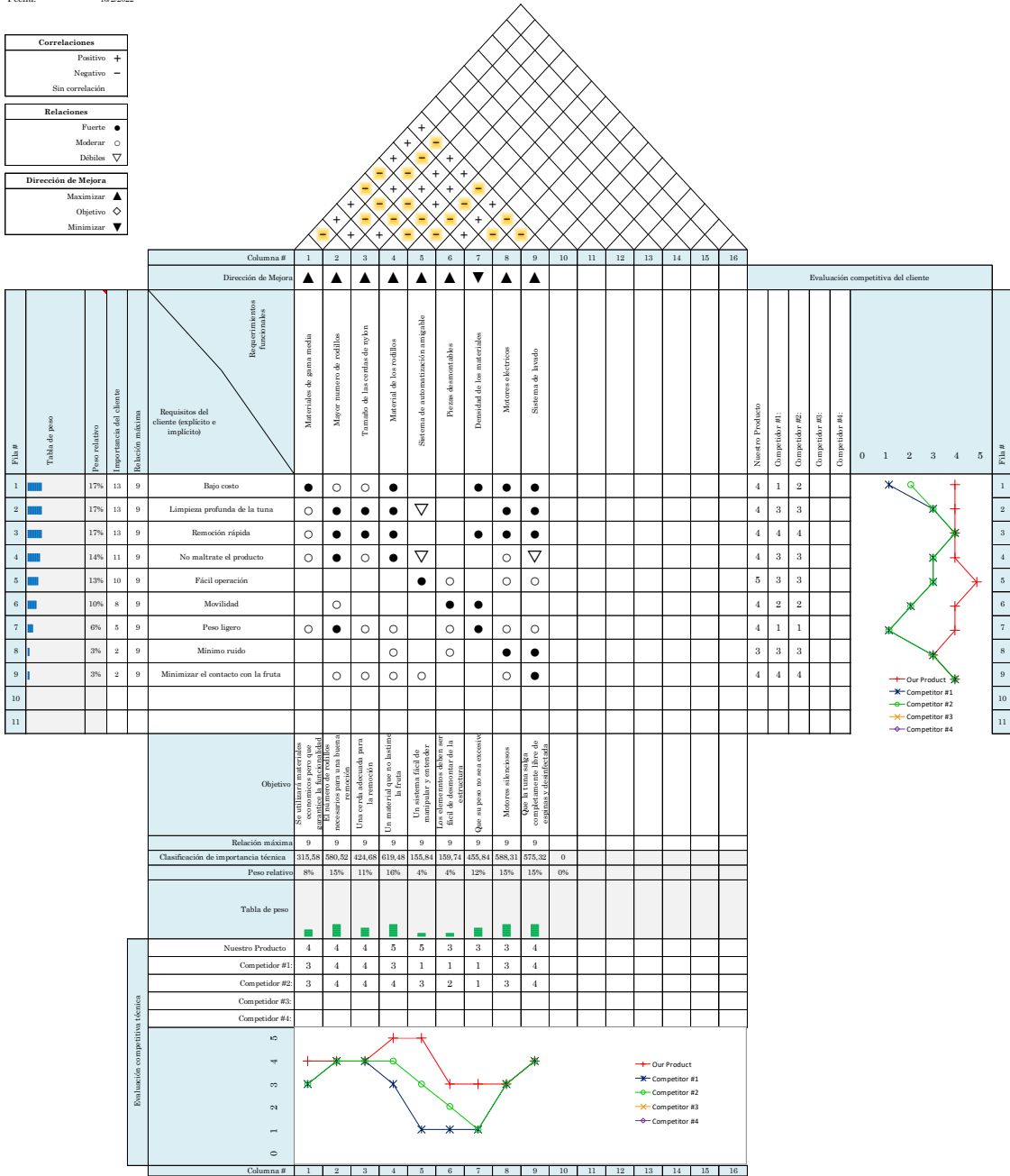
- Positivo +
- Negativo -
- Sin correlación

Relaciones

- Fuerte ●
- Moderar ○
- Débiles ▽

Dirección de Mejora

- Maximizar ▲
- Objetivo ◇
- Minimizar ▼



Nota. Elaboración de la casa de la calidad en función de las necesidades del usuario

Resumen Casa de la calidad

Una vez completada la casa de la calidad, se pueden obtener valores importantes que hacen referencia a las variables más importantes que se deberían considerar para el diseño de la máquina según los encuestados.

Según la estructura de la casa de la calidad, se puede obtener los QUÉ quiere o necesita que sean más importantes para el cliente, como se muestra en la tabla 24

Tabla 24

Necesidades del cliente

Requisitos del cliente	Peso relativo (%)
Bajo Costo	17%
Limpieza profunda de la tuna	17%
Remoción rápida	17%
No maltrate el producto	14%
Fácil operación	13%
Movilidad	10%
Peso ligero	6%
Mínimo ruido	3%
Minimizar el contacto con la fruta	3%

En la tabla 24 se puede observar que existen 3 necesidades con el mayor peso en relación con el resto, siendo estas las más importantes para el cliente y en las cuales se debe poner mayor énfasis. Mientras que dentro del análisis de los QUÉs (Evaluación competitiva del cliente) en comparación a los competidores 1 y 2 se puede observar como el diseño propuesto se adapta mejor a los requerimientos del cliente Figura 29.

De la misma casa de la calidad se obtiene los requerimientos funcionales más importantes para el diseño, como se muestra a continuación:

Tabla 25

Requerimientos funcionales

Requerimientos funcionales	Peso relativo (%)
Material de los rodillos	16%
Mayor número de rodillos	15%
Motores eléctricos	15%
Sistema de lavado	15%
Densidad de los materiales	12%
Tamaño de las cerdas de nylon	11%
Materiales de gama media	8%
Sistema de automatización amigable	4%
Piezas desmontables	4%

En base a los datos obtenidos mediante la herramienta de la casa de la calidad se puede determinar que:

Material de los rodillos: Este material debe cuidar que la tuna no sea lastimada al entrar en contacto cuando el rodillo se encuentre girando, manteniendo así la calidad de la fruta.

Mayor número de rodillos: Es necesario contar con varios rodillos para que de esta manera se obtenga un mayor tiempo de contacto con la tuna y obtener una tuna libre de espinas.

Motores eléctricos: Para evitar que se produzca una contaminación sonora excesiva dentro del proceso de remoción es preferible usar motores eléctricos los cuales son menos ruidosos.

Sistema de lavado: Siendo muy necesario el mínimo contacto con la tuna, el sistema de lavado permite que las espinas no salgan adheridas a la tuna y a la vez aprovechar para la desinfección de la tuna.

Densidad de los materiales: La movilidad y el peso de la máquina despinadora de tunas es un factor importante para el cliente por lo que se debe seleccionar materiales cuyo peso no sea excesivamente alto, para que en su transporte y desplazamiento no presente complicaciones.

Tamaño de las cerdas de nylon: El tamaño de las cerdas es sumamente importante, puesto que de esto dependerá el envolvimiento que hará el rodillo a la tuna y la profundidad de remoción.

Especificaciones técnicas (Cuadro, C, I, D, R)

Mediante un análisis de deseo (D) o requerimiento (R) se obtiene las características para el diseño de la máquina despinadora de tunas, las propuestas pueden ser en base al cliente (C) o a la ingeniería (I). Dentro de este análisis se toma en consideración varios aspectos que ayuden a que la máquina cumpla con las perspectivas del usuario.

Tabla 26

Especificaciones técnicas de la máquina despinadora de tunas

Especificación	Propone	D/R	Características
Función	C	D+R	Remover completamente las espinas de las tunas.
	I	D+R	Limpiar y desinfectar totalmente el producto final
	I	D+R	Mantener una tuna de calidad sin producir daño a la piel de la fruta
Dimensión	I	R	La estructura de la máquina debe ser de 2000 mm x 500mm
Materiales	C	D	Materiales de baja densidad para evitar pesos excesivos en la estructura y acero galvanizado.
	I	R	Pintura anticorrosiva
Alimentación eléctrica	C	R	El motor y la bomba de agua deben ser energizados por una acometida de 110V.
Mantenimiento	I	R	Partes removibles para su posterior mantenimiento
	C	R	Fácil lubricación
Seguridad	C+I	R	Protección en los sistemas de transmisión.

Especificación	Propone	D/R	Características
	I	R	Protecciones eléctricas ante sobrecargas y cortocircuitos.
	I	R	Paro de emergencia
	I	D+R	Estructura robusta
	C+I	D+R	Fácil manipulación de la máquina
Costos	C+I	R	Máquina accesible para el cliente
	I	D	Ahorro energético
	C+I	D	Repuestos disponibles en el mercado nacional
	C	D	Mantenimiento de bajo costo

Estructura funcional

Con el objetivo de describir y solucionar los problemas de diseño, es posible realizar diferentes transformaciones en función del cumplimiento de la tarea, tanto en flujos de entrada como de salida (funciones estáticas y dinámicas). Este proceso se lo denomina concepto de función, es la formulación abstracta de una tarea, independiente de la solución que se pueda definir finalmente para la materialización de dicha tarea. (Riba, 2002)

La primera etapa consiste en la función global, es decir la tarea que deberá cumplir el producto que se diseñará, se debe relacionar los flujos de entrada y salida. Para que el

proceso esquemático sea más preciso, se divide la función global en subtareas relacionadas entre sí. La representación de las funciones se lo realiza por un sistema de símbolos, buscando facilitar y flexibilizar la estructura. Los símbolos son los siguientes:

Tabla 27

Elementos de la estructura funcional

Elemento	Simbología
Función	Rectángulo en línea continua
Flujo de material y dirección	Flecha de doble línea continua
Flujo de energía y dirección	Flecha de línea continua
Flujo de señal y dirección	Flecha de línea discontinua
Sistema, subsistema, módulo	Polígono de línea de punto y raya

Nota. Tomado de (Riba, 2002)

Figura 30

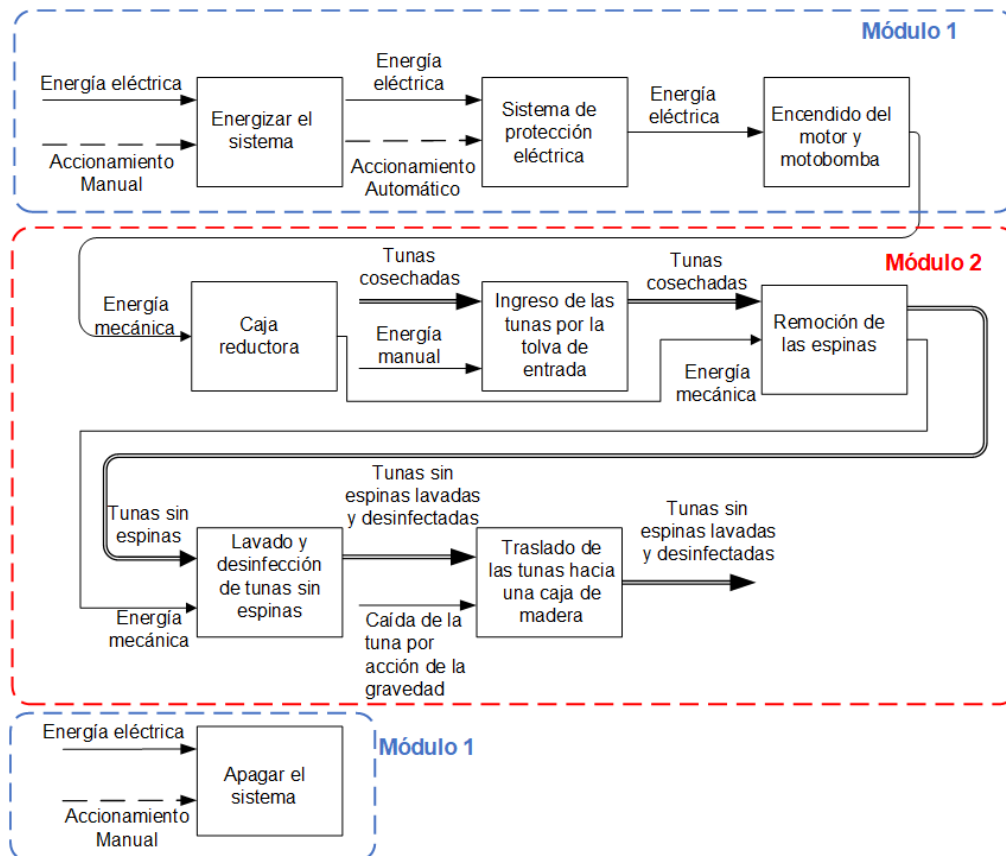
Análisis funcional de la máquina despinadora de tunas



La función global se puede descomponer en varios niveles los cuales representan el subnivel eléctrico y el mecánico, a continuación, se representan las subdivisiones en el módulo 1 y módulo 2.

Figura 31

Diagrama de subfunciones de la máquina despinadora de tunas



Nota. Secuencia en la cual se ejecutan las acciones del sistema

Matriz morfológica

Una vez realizada las subfunciones de la máquina, se determina qué elementos son los adecuados para cumplir la función principal, además se evalúa las ventajas y desventajas que se pueden obtener con los diferentes elementos. A continuación, se detallan las subfunciones con cada uno de los elementos que podrían ser utilizados en el diseño de la máquina despinadora de tunas.

Tabla 28






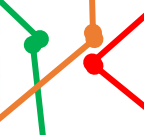
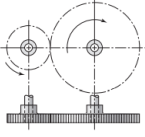

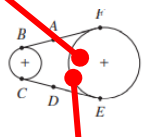
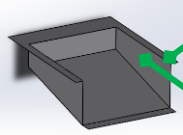

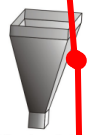
Subfunciones de la máquina despinadora de tunas

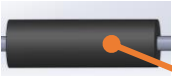





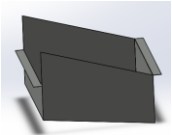




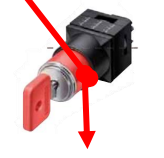
Subfunción	Elementos
Energizar el sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Pulsador • Interruptor • Llave
Sistema de protección eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Termomagnético • Fusibles • Guardamotor • Relé térmico
Encendido del motor y motobomba	<ul style="list-style-type: none"> • Motor eléctrico • Motobomba
Caja reductora	<ul style="list-style-type: none"> • Motorreductor • Sistema de poleas • Relación de engranajes
Ingreso de las tunas por tolva de entrada	<ul style="list-style-type: none"> • Bandeja rectangular • Tolva cuadrada • Tolva cónica
Remoción de las espinas	<ul style="list-style-type: none"> • Rodillos con cerdas de nylon • Rodillos vulcanizados • Rodillos moleteados

Subfunción	Elementos
Lavada y desinfección de tunas sin espinas	<ul style="list-style-type: none"> • Aspersión de agua
Traslado de tunas hacia una caja de madera	<ul style="list-style-type: none"> • Bandeja inclinada con agujero
Apagar el sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Pulsador • Interruptor • Llave

Tabla 29

Elaboración de la matriz morfológica

Subfunción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Energizar el sistema			
Encendido del motor y motobomba			
Caja reductora			
Ingreso de las tunas por tolva de entrada			

Subfunción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Remoción de las espinas			
Lavada y desinfección de tunas sin espinas			
Traslado de tunas hacia una caja de madera			
Apagar el sistema			

Planteamiento de alternativas de solución

Se plantean 3 alternativas de construcción con la misma finalidad que es remover las espinas de las tunas, a continuación, se describe cada una de las alternativas.

Alternativa 1

La alternativa 1 está compuesta de un pulsador color verde, un motor, una bomba de agua, un reductor de velocidad, una bandeja recolectora cuadrada inclinada, un conjunto de rodillos con cerdas de nylon, un sistema de aspersion de agua, una bandeja inclinada rectangular y un pulsador color rojo.

Alternativa 2

La alternativa 2 se compone de un interruptor rotativo, un motor, una motobomba, un sistema de engranajes, una tolva cónica, un conjunto de rodillos vulcanizados de

elastómero, un sistema de aspersión de agua, una bandeja inclinada rectangular y un interruptor rotativo para apagar el sistema.

Alternativa 3

La alternativa 3 se forma de un interruptor de llave, un motor, una motobomba, un sistema de poleas, una tolva cónica cuadrada, un sistema de rodillos moleteados, un sistema de aspersión de agua, una bandeja inclinada rectangular y un interruptor de llave para des energizar el sistema.

Selección de la alternativa adecuada

Una vez obtenidas las alternativas para la construcción de la máquina despinadora de tunas, se debe seleccionar la más adecuada utilizando el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Este método se basa en realizar una tabla en donde se coloquen los criterios de solución tanto en la columnas y filas, luego confrontarlos entre cada uno asignado los siguientes valores:

1 si, la solución de la fila es mejor que el de la columna.

0,5 si, si la solución de la fila es igual al de la columna.

0 si, si la solución de la fila es peor que el de la columna.

Tabla 30

Método ordinal corregido de criterios ponderados

	Material de los rodillos	Mayor número de rodillos	Motores eléctricos	Sistema de lavado	Densidad de los materiales	Tamaño de las cerdas de plásticas	Materiales de gama media	Sistema de automatización amigable	Piezas desmontables	$\Sigma + 1$	Ponderación
Material de los rodillos	-	0,5	0,5	0	1	1	0,5	0	0,5	5	0,114
Mayor número de rodillos	0,5	-	0	0	0,5	0	0,5	0	0,5	3	0,068
Motores eléctricos	0,5	1	-	0,5	1	0	0	0	1	5	0,114
Sistema de lavado	1	0	0,5	-	1	0,5	1	0,5	1	6,5	0,148
Densidad de los materiales	0	0,5	0	0	-	0	0,5	0	0,5	2,5	0,057
Tamaño de las cerdas de nylon	0	1	1	0,5	1	-	1	0	1	6,5	0,148
Materiales de gama media	0,5	0,5	1	0	0,5	0	-	0	0,5	4	0,091
Sistema de automatización amigable	1	1	1	0,5	1	1	1	-	1	8,5	0,193
Piezas desmontables	0,5	0,5	0	0	0,5	0	0,5	0	-	3	0,068
							Suma			44	1

Se evalúa cada una de las soluciones con las 3 alternativas

Tabla 31

Evaluación del criterio material de los rodillos

Solución	Alternativa	Alternativa	Alternativa	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2	3		
Alternativa 1	-	1	1	3,0	0,5000
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,2500
Alternativa 3	0	0,5	-	1,5	0,2500
Suma				6	1

Tabla 32

Evaluación del criterio mayor número de rodillos

Solución	Alternativa	Alternativa	Alternativa	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2	3		
Alternativa 1	-	0,5	0,5	2,0	0,3333
Alternativa 2	0,5	-	0,5	2,0	0,3333

Solución	Alternativa	Alternativa	Alternativa	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2	3		
Alternativa	0,5	0,5	-	2,0	0,3333
3					
Suma				6,0	1

Tabla 33*Evaluación del criterio motores eléctricos*

Solución	Alternativa	Alternativa	Alternativa	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2	3		
Alternativa	-	0,5	0,5	2,0	0,3333
1					
Alternativa	0,5	-	0,5	2,0	0,3333
2					
Alternativa	0,5	0,5	-	2,0	0,3333
3					
Suma				6,0	1

Tabla 34

Evaluación del criterio sistema de lavado

Solución	Alternativa	Alternativa	Alternativa	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2	3		
Alternativa 1	-	0,5	0,5	2,0	0,3333
Alternativa 2	0,5	-	0,5	2,0	0,3333
Alternativa 3	0,5	0,5	-	2,0	0,3333
Suma				6,0	1

Tabla 35

Evaluación del criterio densidad de los materiales

Solución	Alternativa	Alternativa	Alternativa	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2	3		
Alternativa 1	-	1	1	3,0	0,4286
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,2143

Solución	Alternativa	Alternativa	Alternativa	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2	3		
Alternativa 3	1	0,5	-	2,5	0,3571
Suma				7,0	1

Tabla 36

Evaluación del criterio tamaño de las cerdas de plástico

Solución	Alternativa	Alternativa	Alternativa	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2	3		
Alternativa 1	-	1	1	3,0	0,4286
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,2143
Alternativa 3	1	0,5	-	2,5	0,3571
Suma				7,0	1

Tabla 37

Evaluación del criterio materiales de gama media

Solución	Alternativa	Alternativa	Alternativa	$\Sigma + 1$	Ponderación
	1	2	3		
Alternativa 1	-	0,5	1	2,5	0,4167

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 2	0,5	-	0,5	2,0	0,3333
Alternativa 3	0	0,5	-	1,5	0,2500
Suma				6,0	1

Tabla 38*Evaluación del criterio sistema de automatización amigable*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3,0	0,5000
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,2500
Alternativa 3	0	0,5	-	1,5	0,2500
Suma				6,0	1

Tabla 39*Evaluación del criterio piezas desmontables*

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3,0	0,5000

Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,2500
Alternativa 3	0	0,5	-	1,5	0,2500
Suma				6,0	1

Tabla 40

Conclusión y selección de prioridad

Solución	Material de los rodillos	Mayor número de rodillos	Motores eléctricos	Sistema de lavado	Densidad de los materiales	Tamaño de las cerdas de nylon	Materiales de gama media	Sistema de automatización amigable	Piezas desmontables	$\Sigma + 1$	Prioridad
Alternativa 1	0,50	0,33	0,33	0,33	0,42	0,42	0,41	0,50	0,50	3,77	1
	0	3	3	3	9	9	7	0	0	4	
Alternativa 2	0,25	0,33	0,33	0,33	0,21	0,21	0,33	0,25	0,25	2,51	3
	0	3	3	3	4	4	3	0	0	2	
Alternativa 3	0,25	0,33	0,33	0,33	0,35	0,35	0,25	0,25	0,25	2,71	2
	0	3	3	3	7	7	0	0	0	4	

Luego de haber terminado con metodología se concluye que la alternativa 1 se adapta de mejor manera a los criterios necesarios para la máquina despinadora de tunas.

Análisis del entorno de cargas

Masa de la tuna dentro del túnel despinador

El dimensionamiento del sistema despinador se considera la primera instancia de análisis, el cual depende de la capacidad. De esta manera se plantea procesar 800 kg (36 cajas de 22 kg) de tunas por hora, dato que se tomó en cuenta mediante el volumen de cosecha y el requerimiento de los productores por medio de las encuestas realizadas.

Cálculo del flujo de tunas en base a la capacidad

Primero se considera la carga requerida en función de tiempo en base al dimensionamiento del sistema despinador.

$$C_{req} = 800 \frac{kg}{h}$$

$$C_{req} = 800 \frac{kg}{h} * \left(\frac{1h}{60 min} \right)$$

$$C_{req} = 13.33 \frac{kg}{min}$$

$$C_{req} = 13.33 \frac{kg}{min} * \left(\frac{2.205 lb}{1 kg} \right)$$

$$C_{req} = 29.4 \frac{lb}{min}$$

La máquina será capaz de retirar las espinas de 13.3 kilogramos de tunas por minuto, aproximadamente una caja de 22 kg en dos minutos

Consideración de masas que actúan sobre los ejes

Para el siguiente análisis se considera un solo eje, ya que los demás trabajarán bajo las mismas condiciones. De esta manera, el eje deberá soportar la carga del eje de nylon compuesto por las cerdas encargadas de la remoción de espinas y las tunas.

Masa del cepillo: el cilindro 40 centímetros de largo con un diámetro externo de 3 pulgadas y de diámetro interno 0.875 pulgadas y su masa es de 800 gramos

Masa de las frutas: se considera de acuerdo con la longitud del cepillo que, en condiciones de trabajo normales según el tamaño de las frutas, cada eje abarca 20 unidades, tomando en cuenta un 30% adicional por precaución, puede alcanzar 26 unidades de 160 gramos.

$$Masa_{Total} = Masa_{Cepillo} + Masa_{m\acute{a}x\ Tunas}$$

$$Masa_{Total} = 800_{gramos} + 4160_{gramos}$$

$$Masa_{Total} = 4.96\ kg$$

Cargas axiales y radiales sobre el eje

Para determinar la carga que actuarán sobre los elementos se debe considerar la gravedad ya que actúa como una fuerza perpendicular, obteniendo el siguiente análisis:

$$Carga_{Total} = Masa_{total} * 9.807 \frac{m}{s^2}$$

$$Carga_{Total} = 4.96\ kg * 9.807 \frac{m}{s^2}$$

$$Carga_{Total} = 45.7\ N$$

Considerando parámetros de seguridad, acoples, rodamientos y otros elementos, se aumenta dos terceras partes de la carga total.

$$Carga_{Total-Seguridad} = Carga_{total} + \left(\frac{2}{3}\right) Carga_{Total}$$

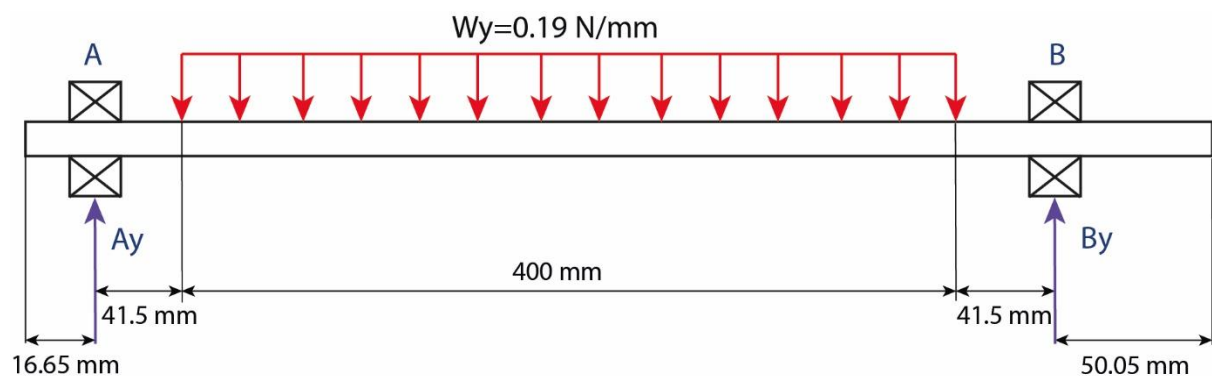
$$Carga_{Total-Seguridad} = 45.7 \text{ N} + \left(\frac{2}{3}\right) 45.7 \text{ N}$$

$$Carga_{Total-Seguridad} = 76.16 \text{ N}$$

Para determinar el comportamiento de la carga que actúa sobre el eje se debe analizar la carga de manera distribuida, ya que mediante la tolva de ingreso las frutas que ingresen se colocarán de manera longitudinal

Figura 32

Reacciones en los rodamientos al implementar carga

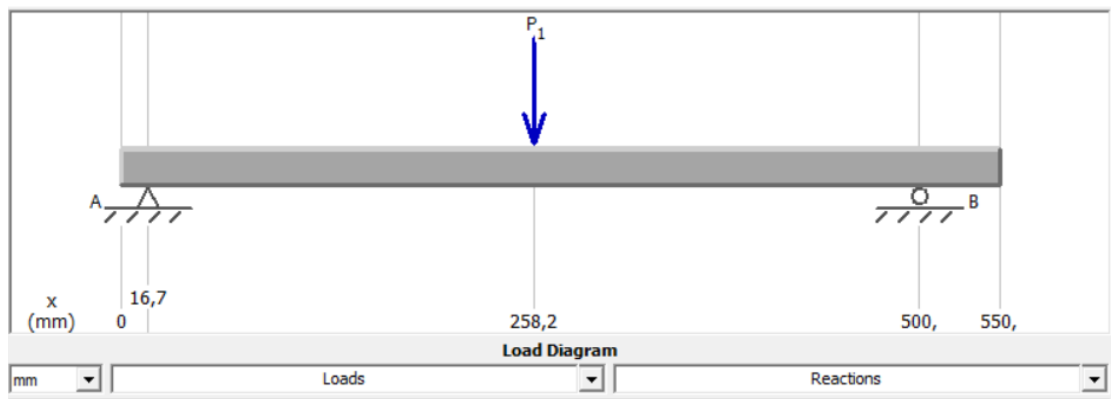


Nota. Representación de las cargas efectuadas en el eje

Por medio del software MDSolids estudiantil, se analiza el sistema propuesto para validar los cálculos resultantes del esfuerzo cortante y momento flector que se produce en el eje al someterse bajo carga. Para determinar las reacciones en el punto A y B la carga distribuida se debe trabajar como carga puntual como se observa en la figura 34.

Figura 33

Diagrama de carga que actúa en el eje de los cepillos

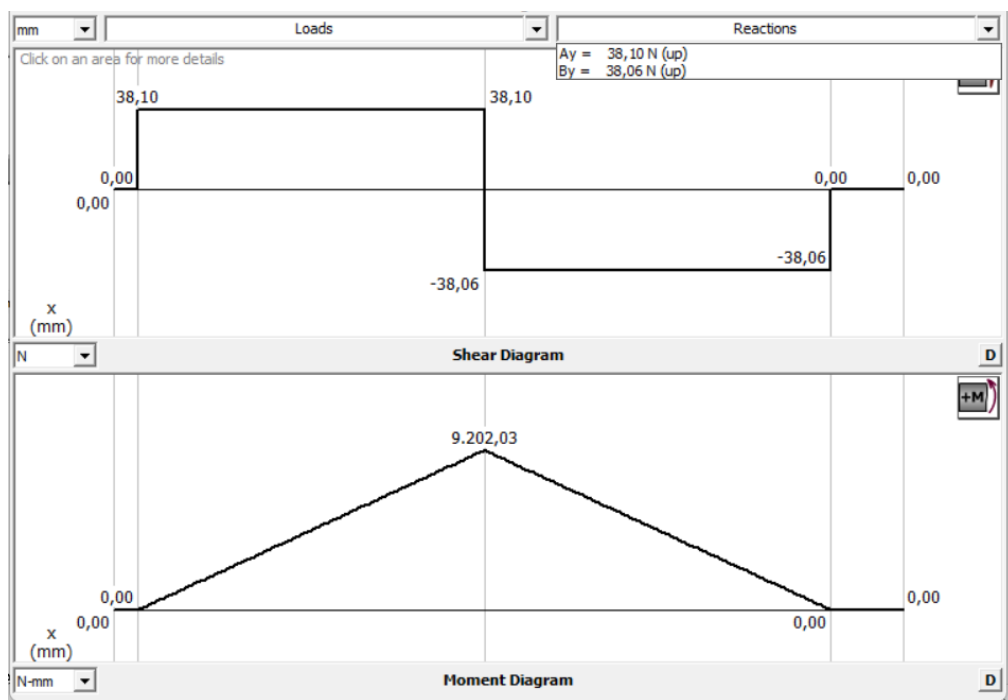


Nota. Simulación de las cargas en el eje

Previamente colocada la carga que ejerce sobre el eje, el software arroja los diagramas de la figura 35

Figura 34

Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector



Nota. Valores obtenidos en el software de simulación

La carga puntual P1 como se observa en la figura 34 es de 76.16 N, para determinar las reacciones en los rodamientos A y B, se debe considerar el sumatorio total del sistema de fuerza y momento.

$$\sum M_A = 0$$

$$-P1 * (0.2415 \text{ m}) + By * (0.483 \text{ m}) = 0$$

$$(-76.16 \text{ N}) * (0.2415 \text{ m}) + By * (0.483 \text{ m}) = 0$$

$$By = \frac{76.16 \text{ N} * 0.2415 \text{ m}}{0.483 \text{ m}}$$

$$By = 38.08 \text{ N}$$

Conociendo el valor de la reacción en el rodamiento B, se procede a realizar la sumatoria de fuerzas para despejar la variable desconocida del rodamiento A.

$$\sum F_y = 0$$

$$Ay + By - P1 = 0$$

$$Ay = P1 - By$$

$$Ay = 76.16 \text{ N} - 38.08 \text{ N}$$

$$Ay = 38.08 \text{ N}$$

Como se puede observar en la figura 35, las reacciones A y B coinciden con el procesamiento de datos realizado por el software. De esta manera se determina que los rodamientos ejercerán una fuerza de reacción de 38.08 N de acuerdo con la carga sometida.

Diseño del sistema despinador

Diseño cabina de despinación

La cabina donde van a ser procesadas las frutas está compuesta por diez cepillos de cerda suave y cuatro dispensadores de agua, que serán los encargados de retirar las espinas por completo. La cabina posee una inclinación de 0.02° con respecto de la horizontal, con el objetivo de que las frutas puedan avanzar con mayor facilidad. La sección por donde atraviesan las frutas es de 48 cm x 200 cm, un motor transmite la potencia a los cepillos mediante un conjunto de cadenas. En la sección de planos se especifica las dimensiones de los elementos.

Inercia de los elementos

Los diferentes elementos que componen el sistema de despinación poseen una inercia que el motor reductor debe superar para poner en marcha el sistema. El dimensionamiento de los diferentes componentes es importante para el funcionamiento adecuado y eficiente del sistema. El detalle específico de los elementos se encuentra en la sección de planos.

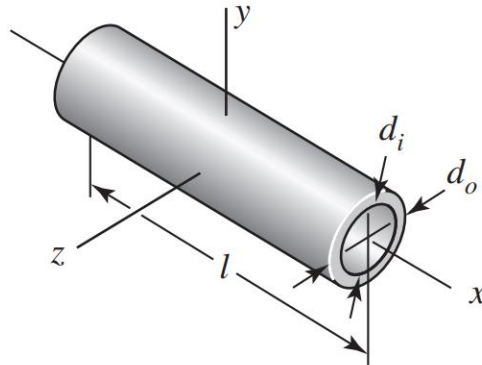
Inercia del Cepillo. El cepillo se debe considerar como un cilindro hueco, para determinar la inercia de este elemento se aplica la siguiente ecuación:

$$I = \frac{m}{8} * (d_o^2 + d_i^2)$$

Ecuación 1

Inercia cilindros huecos (kg.m²)

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Figura 35*Cilindro hueco*

Nota. En el gráfico se identifican las variables que determinan la ecuación 1. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

Remplazando los valores del cepillo, donde:

$$m = M_{\text{cepillo}} = 0.8 \text{ kg}$$

$$d_o = 0.0762 \text{ m} = 3 \text{ in}$$

$$d_i = 0.023 \text{ m} = \frac{7}{8} \text{ in}$$

$$I = \frac{0.762 \text{ kg}}{8} * [(0.0762 \text{ m})^2 + (0.022 \text{ m})^2]$$

$$I = 0.54 \text{ g.m}^2$$

Inercia del eje de transmisión. El eje se encuentra en el centro del cepillo, para el análisis de inercia se toma en cuenta la masa del eje completo, sin maquinar los extremos para los hombros de los rodamientos, ya que el valor de la masa no varía significativamente. La longitud es descartada para el análisis de la inercia en el sistema de coordenadas en x, como se observa en la siguiente ecuación:

$$I_x = \frac{m * d^2}{8}$$

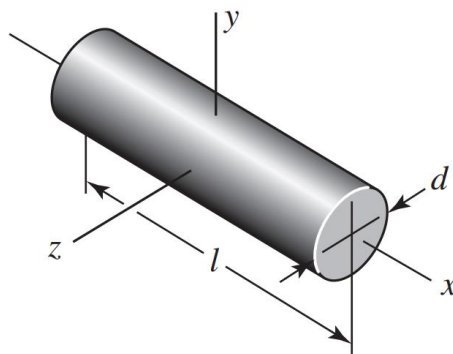
Ecuación 2

Inercia cilindro sólido en el eje x

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

Figura 36

Cilindro sólido



Nota. En el gráfico se identifican a las variables de un cilindro sólido. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$m = M_{eje} = 1.6 \text{ kg}$$

$$d = 0.022 \text{ m}$$

$$I_{eje} = \frac{1.6 \text{ kg} * (0.022 \text{ m})^2}{8}$$

$$I_{eje} = 0.0968 \text{ g} \cdot \text{m}^2$$

Inercia de la tuna. Mediante la investigación de campo realizada el ancho de las tunas varía entre 5,5 y 7 cm, una longitud de 5 cm a 11 cm y un peso variable entre 43 y 220 gramos, de esta manera se toma el siguiente modelo para determinar la inercia de un cuerpo esférico.

$$I_{esfera} = \frac{2}{5} * m * r^2$$

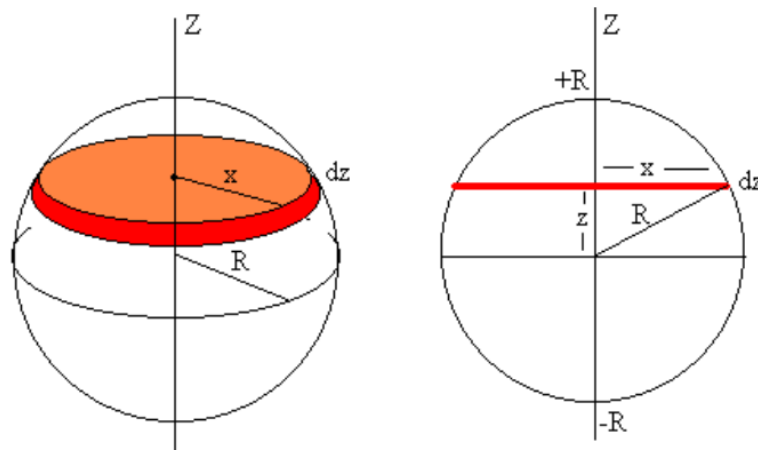
Ecuación 3

Inercia de un cuerpo esférico

Nota. Tomado de (Macías, 2009)

Figura 37

Inercia de esfera sólida



Nota. En la figura se observan las variables a tomar en cuenta para determinar la inercia de una esfera sólida. Tomado de (Macías, 2009)

Para determinar la inercia de la tuna, se considera los siguientes parámetros para el cálculo.

$$m = M_{tuna} = 0.160 \text{ kg}$$

$$r = 3.5 \text{ cm} = 0.035 \text{ m}$$

$$I_{tuna} = \frac{2}{5} * 160 \text{ g} * (0.035 \text{ m})^2$$

$$I_{tuna} = 0.0784 \text{ g} \cdot \text{m}^2$$

Partiendo desde el análisis del punto 3.7.3 cada eje es capaz de soportar 4.16 kg, multiplicado para los 10 ejes que tendrán contacto con las tunas, se obtiene como resultado 41.6 kg. Multiplicado por la inercia individual calculada, resulta:

$$\text{Unidades de tunas} = \frac{\text{Máxima capacidad}}{\text{Masa de una tuna}}$$

$$\text{Unidades de tunas} = \frac{41.6 \text{ kg}}{0.160 \text{ kg}}$$

$$\text{Unidades de tunas} = 260 \text{ tunas}$$

$$I_{\text{máx cap. tunas}} = 260 \text{ u} * 0.0784 \text{ g} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{\text{máx cap. tunas}} = 20.38 \text{ g} \cdot \text{m}^2$$

Inercia total

Una vez determinada la inercia individualmente de los componentes que son implicados directamente en el sistema de despinación de tunas, se procede a realizar la sumatoria total de las inercias para el dimensionamiento adecuado del torque del motor.

$$\sum I_{total} = I_{cepillo} + I_{eje} + I_{\text{máx cap. tunas}}$$

$$\sum I_{total} = 0.542 \text{ g} \cdot \text{m}^2 + 0.0968 \text{ g} \cdot \text{m}^2 + 20.38 \text{ g} \cdot \text{m}^2$$

$$\sum I_{total} = 21.023 \text{ g} \cdot \text{m}^2$$

Cálculo de velocidades

Mediante la investigación de campo, los agricultores utilizan cepillos de cerdas suaves con un movimiento manual y ligeramente fuerte. Como se observa en la Tabla 40, se ubicaron un metro de tunas en línea recta, seguidamente se procede a tomar el tiempo mientras el cepillo recorre sobre las tunas retirando las espinas. Obteniendo los siguientes resultados de la tabla:

Tabla 41

Experimentación limpieza de las tunas

Longitud (m)	Velocidad (m/s)
1	0,34
1	0,36
1	0,41
1	0,32
1	0,33
1	0,37
1	0,42
Promedio	0,36

Nota. En un segundo el cepillo avanza 0.36 metros cubriendo la cara frontal de la fruta.

Para el cálculo de la velocidad angular, partimos del dato obtenido en la experimentación con los siguientes datos:

Diámetro del cepillo: 76.2 mm

Velocidad lineal: 0.36 m/s

$$w = \frac{v}{r}$$

Ecuación 4

Velocidad angular

Nota. Tomado de (Hendrickson & Buckhurst, 2008)

Reemplazando los valores en la fórmula:

$$w = \frac{0.36 \frac{m}{s}}{0.0381 m}$$

$$w = 9.45 \frac{rad}{s}$$

$$9.45 \frac{radianes}{segundos} * \frac{1 \text{ revolución}}{2\pi \text{ radianes}} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} = 90.23 \text{ RPM}$$

La aceleración angular se encuentra relacionada por la velocidad angular calculada en el punto anterior y el tiempo que se encuentra en contacto el cepillo con la fruta para retirar las espinas.

$$\alpha = \frac{w}{t}$$

Ecuación 5

Aceleración angular

Nota. Tomado de (Hendrickson & Buckhurst, 2008)

Reemplazando los datos en la ecuación 5:

Velocidad angular: 9.45 rad/s

Tiempo: 2 s

$$\alpha = \frac{9.45 \text{ rad/s}}{2 \text{ s}}$$

$$\alpha = 4.72 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

La aceleración es la rapidez del cambio de velocidad, relaciona la velocidad lineal y el tiempo de estabilización

$$a = \frac{v}{t}$$

Ecuación 6

Aceleración

Nota. Tomado de (Hendrickson & Buckhurst, 2008)

Reemplazando los valores se obtiene:

$$a = \frac{0.36 \frac{m}{s}}{2 \text{ s}}$$

$$a = 0.18 \frac{m}{\text{s}^2}$$

Selección del motor

Para cubrir con las necesidades calculadas, el motor debe poseer ciertas características para el aprovechamiento al máximo del sistema electromecánico. Para cubrir

los efectos con movimiento tanto lineales como rotativos, se aplica la sumatoria de las partes lineales y rotativas como se muestra en la siguiente ecuación:

$$P_{m\acute{a}x} = (F_{aceleraci\acute{o}n} + F_{fricci\acute{o}n} + F_{levantamiento}) * V_{m\acute{a}x} + (T_{aceleraci\acute{o}n} + T_{fricci\acute{o}n} + T_{levantamiento}) * W_{m\acute{a}x}$$

Ecuaci3n 7

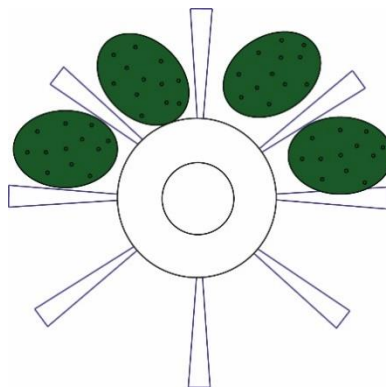
Potencia m\acute{a}xima

Nota. Tomado de (Hendrickson & Buckhurst, 2008)

La fuerza de aceleraci3n se determina en un caso cr\acute{itico, donde las frutas alcancen el m\acute{a}ximo de unidades sobre el cepillo como se indica en la siguiente figura:

Figura 38

Tunas sobre cepillo



Nota. Representaci3n de las tunas durante el movimiento del cepillo

El cepillo abarca 20 unidades de tunas, adicionalmente se tom3 en cuenta el 30% adicional dando como resultado 26 unidades como se obtuvo en el punto 3.7.3.

$$F_{aceleraci\acute{o}n} = Masa_{Total} * aceleraci\acute{o}n$$

Ecuaci3n 8

Fuerza de aceleraci3n

Nota. Tomado de (Hendrickson & Buckhurst, 2008)

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$F_{aceleración} = 4.96 \text{ kg} * 0.18 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{aceleración} = 0.89 \text{ N}$$

$$F_{aceleración} = 0.091 \text{ kgf}$$

La determinación de la fuerza de fricción se realizó mediante una experimentación con la ayuda de un dinamómetro que se ancló al cepillo, seguidamente se simula el movimiento manual sobre la fruta cuidando que no exista ningún daño sobre la morfología de esta.

$$F_{fricción \text{ fruta}} = 0.07 \text{ kgf}$$

$$F_{fricción \text{ } 20 \text{ u}} = 0.07 \text{ kgf} * 20 \text{ u}$$

$$F_{fricción \text{ } 20 \text{ u}} = 1.4 \text{ kgf}$$

Añadiendo la fuerza de fricción entre el contacto que existe entre los cepillos mientras ejerce la rotación en su propio eje, bajo los mismos parámetros de experimentación.

Figura 39

Rozamiento de cepillos



$$F_{\text{fricción cepillo}} = 0.2 \text{ kgf}$$

$$F_{\text{fricción cep total}} = 0.2 \text{ kgf} * 18 \text{ puntos de contacto}$$

$$F_{\text{fricción cep total}} = 3.6 \text{ kgf}$$

$$F_{\text{fricción total}} = F_{\text{fricción 20 u}} + F_{\text{fricción cep total}}$$

$$F_{\text{fricción total}} = 1.4 \text{ kgf} + 3.6 \text{ kgf}$$

$$F_{\text{fricción total}} = 5 \text{ kgf} = 49.05 \text{ N}$$

El torque de aceleración se calcula mediante el producto entre la sumatoria de la inercia y la aceleración angular, tomando en cuenta que deba arrancar con carga, donde:

$$T_{\text{aceleración}} = I \alpha$$

Ecuación 9

Torque de aceleración

Nota. Tomado de (Hendrickson & Buckhurst, 2008)

$$T_{\text{aceleración}} = 0.021 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 * 4.72 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{\text{aceleración}} = 0.0993 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{aceleración}} = 0.879 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

La potencia del motor viene dada por las siguientes variables:

$$P_{\text{máx}} = (F_{\text{aceleración}} + F_{\text{fricción}}) * V_{\text{máx}} + (T_{\text{aceleración}}) * W_{\text{máx}}$$

$$P_{\text{máx}} = \left[(0.892 \text{ N} + 49.5 \text{ N}) * 0.36 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] + \left(0.099 \text{ Nm} * 9.4 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

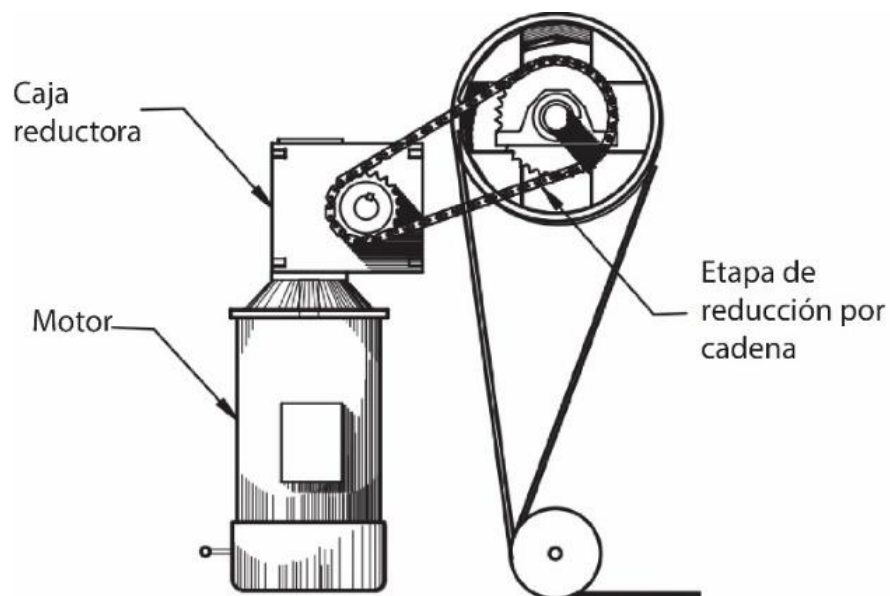
$$P_{m\acute{a}x 1} = 18.91 W$$

$$P_{m\acute{a}x 10 \text{ rodillos}} = 189.17 W = 0.25 Hp$$

Debido a que el sistema de cepillos requiere aproximadamente 90 RPM para procesar las tunas, es necesario implementar un motor reductor el cual transmite la potencia a través de piñones por medio de una cadena. Con esta información se encuentra la potencia eléctrica requerida para la máquina.

Figura 40

Montaje de motor, caja reductora y cadena de transmisión



Nota. Tomado de (Hendrickson & Buckhurst, 2008)

$$P_{entrada} * Eficiencia = P_{salida}$$

Ecuación 10

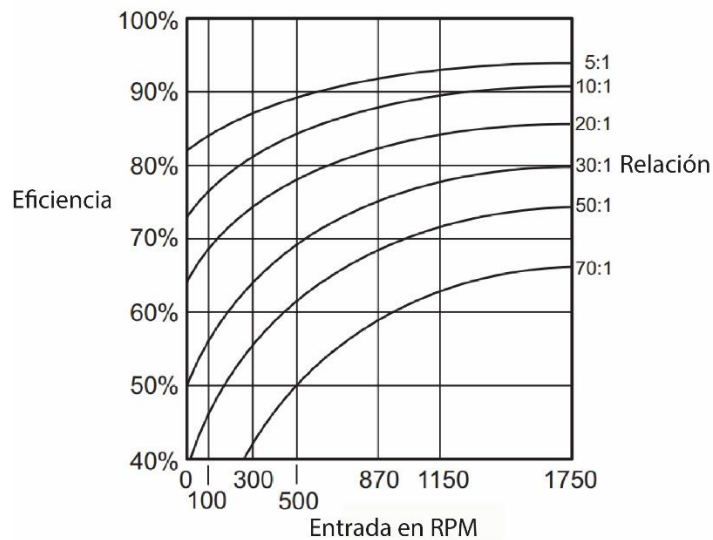
Eficiencia del sistema de transmisión

Nota. Tomado de (Hendrickson & Buckhurst, 2008)

Para determinar la potencia que requiere el motor, se debe tomar en cuenta la eficiencia del sistema de transmisión. En la siguiente imagen se relaciona la Eficiencia en función de la velocidad de entrada para cajas reductoras.

Figura 41

Eficiencia vs relación de reducción



Nota. Tomado de (Hendrickson & Buckhurst, 2008)

Para un motor y caja reductora de 1725 RPM y 358 RPM respectivamente, los dos con una relación de 5:1 se determina:

$$P_{transmisión} * Eficiencia_{cadena} = P_{sistema}$$

$$P_{transmisión} * 0.87 = 0.25 \text{ Hp}$$

$$P_{transmisión} = 0.29 \text{ Hp}$$

$$P_{motor} * Eficiencia_{reductor} = P_{transmisión}$$

$$P_{motor} * 0.94 = 0.29 \text{ Hp}$$

$$P_{motor} = 0.31 \text{ Hp}$$

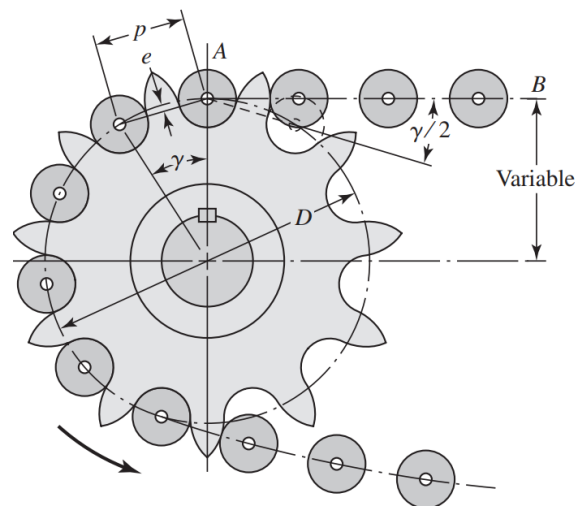
La potencia eléctrica mínima que requiere el motor para el funcionamiento del sistema es 0.31 Hp. Por facilidades del mercado se obtiene un motor de 0.5 Hp de 1725 RPM y salida de la caja reductora de 358 RPM marca Bluffton WEG Group.

Cadena del sistema de transmisión

Para la selección de la cadena se debe tener en cuenta las características de transmisión por cadena. La relación debe ser constante debido a que no se involucra al deslizamiento, arrastre, tiempo de vida y la capacidad que posee para el impulso de diferentes ejes partiendo de una fuente de potencia.

Figura 42

Acople piñón - cadena



Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

Para operaciones suaves que requieran velocidades moderadas o altas resulta ventajoso trabajar con piñones con número de dientes reducidos para el piñón impulsador. Para un trabajo de transmisión más eficaz, tienen relaciones de velocidad 6:1, al trabajar con mayores relaciones se pone en riesgo el tiempo de vida de la cadena. Las cadenas de rodillos se conocen que rara vez fallan por resistencia a la tensión, es más común que estas fallen debido al exceso de horas de trabajo. (Budynas & Nisbett, 2012)

Selección de la cadena del sistema de transmisión de potencia

Partiendo de la velocidad de 358 RPM a la salida de la caja reductora del motor, se procede a colocar un piñón de 46.73 mm de diámetro con 10 dientes, para reducir la velocidad a 90 RPM en el primer eje de transmisión se coloca un piñón de 185.16 mm de diámetro con 44 dientes, obteniendo una relación de reducción 5:1 como se muestra en la figura 41.

En base al catálogo de cadenas del libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley se procede a la selección de la cadena de transmisión para el sistema despinador de tunas.

Con los datos obtenidos previamente se procede a determinar los siguientes parámetros.

P_d : Potencia de diseño

K_s : Factor de servicio dimensional Anexo B

P : Potencia del motor reductor

$$P_d = P_{mot. reductor} * K_s$$

$$K_s = 1.3 \text{ (motor eléctrico)}$$

$$P_d = (0.31 \text{ Hp})(1.3)$$

$$P_d = 0.4 \text{ Hp}$$

Se escoge la cadena número 40 para el análisis respectivo (ver Anexo C)

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 entrada

n_2 : Velocidad angular salida

Con los siguientes datos se calcula el número de pasos y así se determina la longitud total de la cadena que transmite potencia desde el motor reductor hasta el primer eje del cepillo.

Tabla 42

Datos transmisión de potencia motor eje

Datos	Magnitud
A	680 mm
I	4.4:1
z_1	10 dientes
z_2	44 dientes
p	12.7 mm – 0.5 in
n_1	358 RPM
n_2	90 RPM

Nota. Especificaciones para transmisión entre motor y eje

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

Ecuación 11

Número de pasos cadena

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\text{Número de pasos} = \frac{2 * 680 \text{ mm}}{12.7 \text{ mm}} + \frac{10 + 44}{2} + \frac{(10 - 44)^2 * 12.7 \text{ mm}}{4 * 680 \text{ mm} * \pi^2}$$

$$\text{Número de pasos} = 134.6$$

$$\text{Longitud cadena} = \text{Número de pasos} * \text{paso}$$

$$\text{Longitud cadena} = (134.6) * (12.7 \text{ mm})$$

$$\text{Longitud cadena} = 171 \text{ cm}$$

Para identificar el diámetro del piñón se aplica la siguiente ecuación:

$$D = \frac{p}{\sin\left(\frac{180^\circ}{z_2}\right)}$$

Ecuación 12

Diámetro piñón grande

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$D = \frac{12.7 \text{ mm}}{\sin\left(\frac{180^\circ}{44}\right)}$$

$$D = 178.02 \text{ mm} \text{ (Mercado } 185.16 \text{ mm)}$$

$$d = \frac{p}{\sin\left(\frac{180^\circ}{z_1}\right)}$$

Ecuación 13*Diámetro piñón pequeño**Nota.* Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$d = \frac{12.7 \text{ mm}}{\sin\left(\frac{180^\circ}{10}\right)}$$

$$d = 41.09 \text{ mm} \quad (\text{Mercado } 46.73 \text{ mm})$$

Determinación del ángulo de contacto:

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[\frac{p(z_2 - z_1)}{2 * a} \right] \geq 120^\circ$$

Ecuación 14*Ángulo de contacto piñón pequeño**Nota.* Tomado de (Myszka, 2012)

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[\frac{12.7 \text{ mm} * (44 - 10)}{2 * 680 \text{ mm}} \right] \geq 120^\circ$$

$$\theta_1 = 142.97^\circ$$

$$\theta_2 = 180^\circ + 2 \sin^{-1} \left[\frac{p(z_2 - z_1)}{2 * a} \right] \geq 120^\circ$$

Ecuación 15*Ángulo de contacto piñón grande**Nota.* Tomado de (Myszka, 2012)

$$\theta_2 = 180^\circ + 2 \sin^{-1} \left[\frac{12.7 \text{ mm} (44 - 10)}{2 * 680 \text{ mm}} \right] \geq 120^\circ$$

$$\theta_2 = 217.02^\circ$$

Para determinar la velocidad máxima de la cadena se aplica la siguiente ecuación

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{z_1 * p[in] * n}{12} [FPM]$$

Ecuación 16

Velocidad máxima de la cadena

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{10 * 0.5 \text{ in} * 358}{12} [FPM]$$

$$V_{m\acute{a}x} = 149.16 [FPM] * \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$V_{m\acute{a}x} = 0.75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La fuerza se encuentra relacionada con la potencia máxima vs la velocidad máxima encontrada

$$F = \frac{P_{m\acute{a}x}}{V_{m\acute{a}x}}$$

Ecuación 17

Fuerza en la cadena

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$F = \frac{18.91 \text{ W}}{0.75 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$F = 25.21 \text{ N}$$

Selección de la cadena transmisión de potencia entre rodillos

Seguidamente de la transmisión de potencia desde el motor hacia el primer eje del cepillo se debe identificar los parámetros inmersos al llevar el movimiento al segundo eje. Este análisis se considera para los 8 ejes restantes, debido a que comparten las mismas características.

Para lograr un movimiento uniforme de todo el conjunto de cepillos la relación de transmisión debe ser igual a 1, de esta manera, los ejes impulsados por el motor comparten la misma velocidad angular.

Para el análisis se selecciona la misma cadena número 40 como se indica en el Anexo C. Buscando identificar el número de pasos, se procede a la extracción de datos:

Tabla 43

Datos transmisión de potencia eje

Datos	Magnitud
A	200 mm
I	1:1
z1	10 dientes
z2	10 dientes
p	12.7 mm – 0.5 in

Datos	Magnitud
n1	90 RPM
n2	90 RPM

Nota. Especificaciones de transmisión entre ejes

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

Ecuación 18

Número de pasos cadena

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\text{Número de pasos} = \frac{2 * 200 \text{ mm}}{12.7 \text{ mm}} + \frac{10 + 10}{2} + \frac{(10 - 10)^2 * 12.7 \text{ mm}}{4 * 200 \text{ mm} * \pi^2}$$

$$\text{Número de pasos} = 42$$

$$\text{Longitud cadena} = \text{Número de pasos} * \text{paso}$$

$$\text{Longitud cadena} = (42) * (12.7 \text{ mm})$$

$$\text{Longitud cadena} = 53.34 \text{ cm}$$

El diámetro del piñón se aplica para los dos piñones debido a que cumplen con la relación 1:1.

$$D = \frac{p}{\sin\left(\frac{180^\circ}{z_2}\right)}$$

Ecuación 19

Diámetro piñón grande

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$D = \frac{12.7 \text{ mm}}{\sin\left(\frac{180^\circ}{10}\right)}$$

$$D = 41.09 \text{ mm (Mercado 46.73 mm)}$$

Determinación del ángulo de contacto:

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[\frac{p(z_2 - z_1)}{2 * a} \right] \geq 120^\circ$$

Ecuación 20

Ángulo de contacto piñón pequeño

Nota. Tomado de (Myszka, 2012)

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[\frac{12.7 \text{ mm} * (10 - 10)}{2 * 680 \text{ mm}} \right] \geq 120^\circ$$

$$\theta_1 = 180^\circ$$

Velocidad máxima de la cadena.

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{z_1 * p[in] * n}{12} [FPM]$$

Ecuación 21

Velocidad máxima de la cadena

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{10 * 0.5 \text{ in} * 90}{12} [FPM]$$

$$V_{m\acute{a}x} = 37.5 [FPM] * \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$V_{m\acute{a}x} = 0.19 \frac{m}{s}$$

Fuerza que transmite la cadena

$$F = \frac{P_{m\acute{a}x}}{V_{m\acute{a}x}}$$

Ecuación 22

Fuerza en la cadena

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

$$F = \frac{18.91 W}{0.19 \frac{m}{s}}$$

$$F = 99.26 N$$

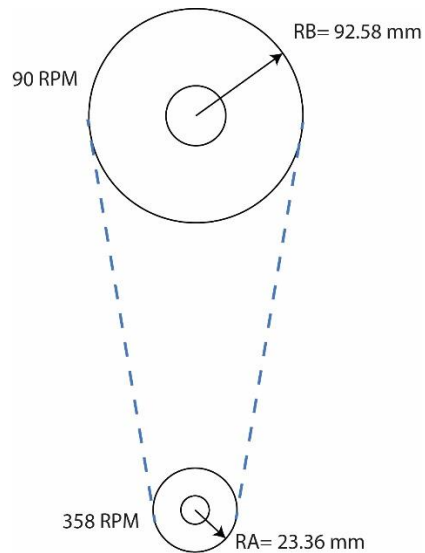
El tipo de lubricación que necesita la cadena número 40 con paso de 12.7 mm es tipo A, es decir que se debe aceitar mediante un cepillo o aceitera ya que el volumen y la frecuencia debe ser lo suficiente para mantener a la cadena húmeda y el lubricante pueda penetrar entre los espacios internos de la cadena.

Diseño del eje

Partiendo del material que se utilizará para el diseño del eje, se tomó como referencia el acero de transmisión 1018 con un esfuerzo último de tensión " S_{ut} "=440 MPa y resistencia a la fluencia " S_y "= 370 MPa. Previamente se debe analizar el escenario del eje desde la salida de la caja reductora hasta el piñón que tiene contacto.

Figura 43

Sistema de transmisión por cadena



Nota. Representación del sistema de transmisión

El torque a la salida de la caja reductora es transmitido desde el piñón “A” hasta el piñón “B” acoplado al eje del primer cepillo.

$$T_A = 9.93 \text{ N.m}$$

$$R_A = 23.36 \text{ mm}$$

$$R_B = 92.58 \text{ mm}$$

$$T_B = T_A * \left(\frac{R_B}{R_A} \right)$$

Ecuación 23

Torque transmitido de una patea a otra

Nota. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2012)

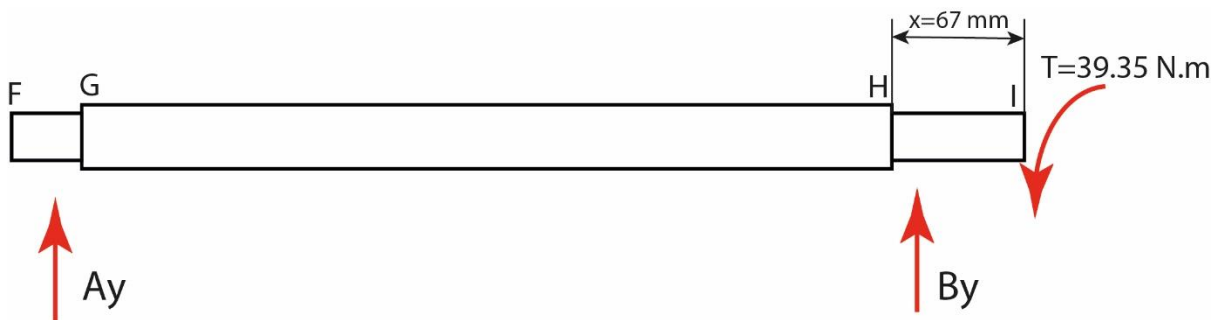
$$T_B = 9.93 \text{ N.m} * \left(\frac{92.58 \text{ mm}}{23.36 \text{ mm}} \right)$$

$$T_B = 39.35 \text{ N.m}$$

En el análisis de cargas visto en el punto "3.7.4", se determina que el eje se encuentra sometido a flexión y torsión, se elige la teoría modificada de Goodman debido a que involucra los dos esfuerzos, así determinar el factor de seguridad en el punto crítico del eje.

Figura 44

Fuerzas de reacción y torque que actúan en el eje



Tomando en cuenta las reacciones " A_y " y " B_y ", partimos con los siguientes datos para determinar el momento de torsión en el punto "H" donde se aplica el torque.

$$B_y = 38.08 \text{ N}$$

$$T = 39.35 \text{ N.m} = 348.27 \text{ lb.in}$$

$$D_e = 22.2 \text{ mm} = 0.875 \text{ in}$$

$$D_i = 19.05 \text{ mm} = 0.75 \text{ in}$$

$$x = 0.067 \text{ m}$$

Obteniendo el momento de torsión en el punto H

$$M_H = B_y * x$$

$$M_H = 38.08 \text{ N} * 0.067 \text{ m}$$

$$M_H = 2.55 \text{ N.m} = 22.58 \text{ lb.in}$$

Cálculo del límite de resistencia a la fatiga:

$$S_{e'} = 0.5 * S_{ut}$$

Ecuación 24

Límite de resistencia a la fatiga

Nota. Tomado de (Norton, 2011a)

$$S_{e'} = 0.5 * (63816.6 \text{ PSI})$$

$$S_{e'} = 31908.3 \text{ PSI}$$

$$S_e = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{sup} * C_{temp} * C_{conf} * S_{e'}$$

Ecuación 25

Límite de resistencia a la fatiga corregido

Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

Factor de Carga " C_{carga} ", según la literatura de Norton cuando el eje está sometido a flexión este factor es igual a 1.

$$C_{carga} = 1$$

Factor de tamaño " $C_{tamaño}$ ", si el diámetro del eje supera los 0.3 in, se debe aplicar la siguiente ecuación para determinarlo:

$$\text{Para } 0.3 \text{ in} < d < 10 \text{ in}$$

$$C_{\text{tamaño}} = 0.869 * d^{-0.097}$$

Ecuación 26

Factor de tamaño

Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

$$C_{\text{tamaño}} = 0.869 * 0.75 \text{ in}^{-0.097}$$

$$C_{\text{tamaño}} = 0.893$$

El factor de superficie de reducción de resistencia " C_{sup} " este factor depende del acabado que haya tenido el eje. En la siguiente tabla se determina los coeficientes del factor de superficie. Para un maquinado en frío según el proveedor de los ejes se identifican los coeficientes que serán reemplazados en la ecuación 27.

Tabla 44

Coefficientes del factor de superficie

Acabado superficial	A	b
Esmerilado	1.34	-0.085
Maquinado en frío	2.7	-0.265
Rolado en caliente	14.4	-0.718
Forjado	39.9	-0.995

Nota. Para S_{ut} en *KPSI*, tomado de (Norton, 2011b)

$$C_{sup} = A(S_{ut})^b$$

Ecuación 27

Factor de superficie

Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

$$C_{sup} = 2.7 * (63.81 \text{ KPSI})^{-0.265}$$

$$C_{sup} = 0.897$$

Factor de temperatura " C_{temp} " viene dado según las condiciones de trabajo. Como los cepillos trabajarán en condiciones bajas de temperatura no superiores a los 35°C, se aplica la siguiente consideración

$$\text{Para } T \leq 450 \text{ } ^\circ\text{C (840 } ^\circ\text{F): } C_{temp} = 1$$

Ecuación 28

Factor de temperatura

Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

Factor de confiabilidad " C_{conf} " debido a que los datos de los anteriores factores muchas veces son valores medios, se toma en cuenta la confiabilidad para obtener un valor más aproximado. En la siguiente tabla se presentan los valores de confiabilidad con una desviación estándar $S_d = 8\%$.

Tabla 45*Factores de confiabilidad*

% de confiabilidad	C_{conf}
50	1.0
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

Para un porcentaje de confiabilidad de 99%, el factor de confiabilidad es:

$$C_{conf} = 0.814$$

Reemplazando los valores en la ecuación 25, se obtiene el límite de resistencia a la fatiga corregido:

$$S_e = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{sup} * C_{temp} * C_{conf} * S_e'$$

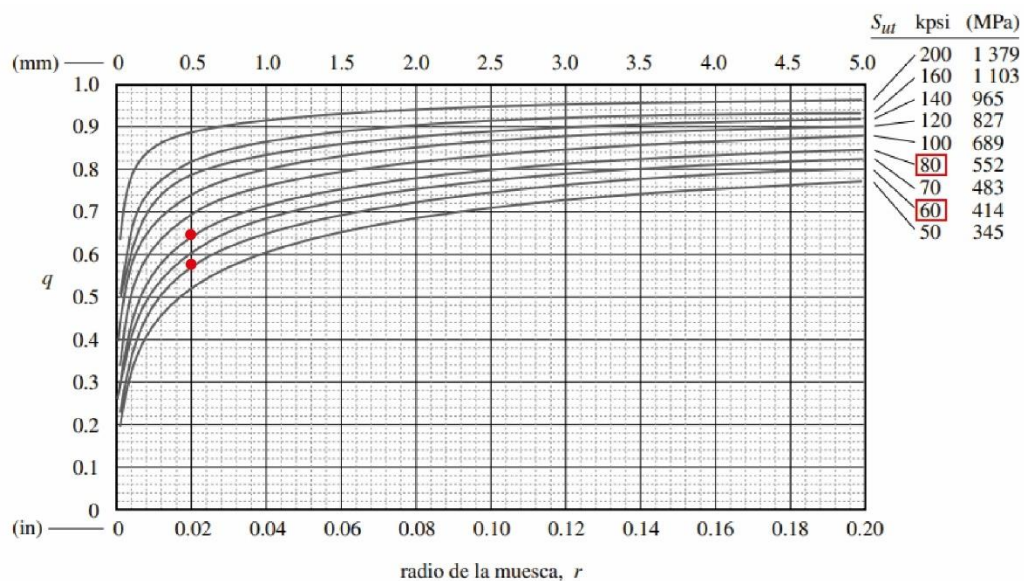
$$S_e = 1 * 0.893 * 0.897 * 1 * 0.814 * 31908.3 \text{ PSI}$$

$$S_e = 20832.2 \text{ PSI}$$

Factor de sensibilidad de la muesca para aceros " q ". Se encuentra relacionado con el esfuerzo último a la tensión y el radió de la muesca que es 5 mm o 0.02 in. En la siguiente figura se determina la sensibilidad de la muesca para flexión, pero para torsión se debe sumar 20KPSI en el esfuerzo último a la tensión.

Figura 45

Factor de sensibilidad de la muesca para aceros



Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

Obteniendo los siguientes resultados:

$$q_{flexión\ 63\ kPSI} = 0.58$$

$$q_{torsión\ 83\ kPSI} = 0.64$$

A continuación, se procede a encontrar el factor de concentración de esfuerzos por fatiga (dinámico) " K_f " para flexión y " K_{fS} " para torsión. Determinando previamente el factor de concentración de esfuerzos teórico (estático) " K_t ". Observar Anexo D

$$K_t = A * \left(\frac{r}{d}\right)^b$$

Ecuación 29

Esfuerzo de concentración teórico

Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

Para flexión:

$$K_t = 0.95120 * \left(\frac{0.02 \text{ in}}{0.75 \text{ in}}\right)^{-0.23757}$$

$$K_t = 2.25$$

Para torsión:

$$K_t = 0.83425 * \left(\frac{0.02 \text{ in}}{0.75 \text{ in}}\right)^{-0.21649}$$

$$K_t = 1.82$$

Reemplazando los valores para determinar el factor de concentración de esfuerzos por fatiga (dinámico) " K_f ":

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1)$$

Ecuación 30

Factor de concentración de esfuerzos por fatiga

Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

Para flexión:

$$K_f = 1 + 0.58 * (2.4 - 1)$$

$$K_f = 1.812$$

Para torsión:

$$K_{fs} = 1 + 0.64 * (1.82 - 1)$$

$$K_f = 1.524$$

Finalmente se procede a reemplazarlos términos encontrados para determinar el diámetro de diseño y el factor de seguridad bajo el criterio de la recta modificada de Goodman.

Factor de seguridad " N_F ": 2.5

Momento $M_H = M_a = 22.58 \text{ lb.in}$

Torque $T = 348.27 \text{ lb.in}$

$$d = \left\{ \frac{32 N_F}{\pi} \left[\left(K_f * \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fsm} * \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

Ecuación 31

Diámetro del eje

Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

$$d = \left\{ \frac{32 * 2.5}{\pi} \left[\left(1.812 * \frac{22.58 \text{ lb.in}}{20832.2 \text{ PSI}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(1.524 * \frac{348.27 \text{ lb.in}}{53664 \text{ PSI}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0.607 \text{ in}$$

Se determinó el diámetro de 0.75 in por facilidades de los componentes estandarizados.

Los esfuerzos efectivos alternativo " σ_a " y medio " σ_m " de Von Mises son utilizados en el diagrama de Goodman modificado para determinar el factor de seguridad.

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

Ecuación 32

Factor de seguridad, Goodman modificado

Nota. Tomado de (Norton, 2011b)

$$\frac{1}{N} = \frac{\left[\left(\frac{32 * K_f * M_a}{\pi * d^3} \right)^2 \right]^{1/2}}{S_e} + \frac{\left[3 \left(\frac{16 * K_{fs} * T_m}{\pi * d^3} \right)^2 \right]^{1/2}}{S_{ut}}$$

$$\frac{1}{N} = \frac{\left[\left(\frac{32 * 1.812 * 22.58 \text{ lb. in}}{\pi * 0.75 \text{ in}^3} \right)^2 \right]^{1/2}}{20832.2 \text{ PSI}} + \frac{\left[3 \left(\frac{16 * 1.52 * 348.27 \text{ lb. in}}{\pi * 0.75 \text{ in}^3} \right)^2 \right]^{1/2}}{63816.6 \text{ PSI}}$$

$$\frac{1}{N} = 0.2205$$

$$N = 4.53$$

El factor de seguridad es mayor a 1.5, esto indica que el diseño del eje soportará las fuerzas de flexión y torsión que será sometido de acuerdo con las condiciones planteadas.

Selección de los rodamientos

En base a el diámetro del eje y la carga a la cual va a trabajar el sistema, se considera el tipo de rodamientos a seleccionar. Para lo cual mediante la ecuación 33, se calcula la carga dinámica a desarrollarse en el sistema.

$$C = P_d * \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}}$$

Ecuación 33

Capacidad de carga dinámica básica

Nota. Tomado de (Mott, 2006a)

Donde:

C = *Capacidad de carga dinámica básica*

P_d = *Carga dada de diseño*

L_d = *Duración dada de diseño*

k = *factor de tipo de rodamiento*

Tabla 46

Duración recomendada para rodamientos

Aplicación	Duración de diseño L10, h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de uso múltiples	8000-15000

Aplicación	Duración de diseño L10, h
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20000-30000
Bombas y compresores	40000-60000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100000-20000

Nota. Tomado de (Mott, 2006a)

Basándose en la carga de diseño del sistema, las revoluciones de diseño y teniendo en consideración la tabla 45 y que es una máquina la cual se va a utilizar dentro del sector agrícola y su uso va a ser esporádico se obtiene los siguientes valores.

$$P_d = 76.16 \text{ N}$$

$$L = 3000 \text{ horas}$$

$$k = 3; \text{ rodillos de bolas}$$

Cálculo de L_d :

$$L_d = (h) * (rpm) * \left(60 \frac{\text{min}}{h}\right)$$

Ecuación 34

Revoluciones de diseño

Nota. Tomado de (Mott, 2006a)

Reemplazando L en la ecuación 34, se obtiene:

$$L_d = 3000 \text{ h} * 90 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{h}}$$

$$L_d = 16.2 \times 10^6 \text{ revoluciones.}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 33:

$$C = 76.16 \text{ N} * \left(\frac{16.2 \times 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 192.7 \text{ N}$$

Una vez obtenida el valor de carga dinámica básica se selecciona el rodamiento disponible del mercado con un diámetro de agujero de 19.05 mm D/W R12 Rodamiento rígido de bolas con una capacidad de carga dinámica básica de 6.63 KN, Anexo J.

Selección de la bomba de agua

Para el sistema de lavado y desinfección de la tuna se debe contar con una bomba de agua que impulse el agua desde los tanques de almacenamiento hasta los aspersores para su posterior limpieza.

Para esto, se calcula el NPSH para el sistema de bombeo que ayuda a que el sistema no caiga en la cavitación.

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Ecuación 35

Cálculo de la NPSH_A

Nota.(Mott, 2006b)

Donde:

h_{sp} = Presión estática del fluido en el depósito

h_{vp} = Presión de vapor

h_f = Pérdidas debido a la sección de aspiración

h_s = Diferencia desde el nivel del depósito hasta la entrada de aspiración

Cálculo del h_{sp} presión estática del fluido en el depósito

Datos del lugar donde se realizará la implementación del sistema de bombeo, para obtener el valor de la presión estática se hace uso de la tabla 46, puesto que el tanque contenedor de agua se encuentra abierto bajo presión atmosférica, también depende de la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentre.

Salcedo = 2863 msnm

Temperatura: 20°C

Tabla 47

Disminución de la presión atmosférica

Altura sobre el nivel del mar		Presión atmosférica (Pa)	
m	ft	m	Ft
0	01	10.33	14.69
250	820	10.03	14.26
500	1640	9.73	13.83
750	2640	9.43	13.41

Altura sobre el nivel del mar		Presión atmosférica (Pa)	
1000	3280	9.13	12.98
1250	4101	8.83	12.55
1500	4291	8.53	12.13
1750	5741	8.25	11.73
2000	6561	8.00	11.38
2250	7381	7.75	11.02
2500	8202	7.57	10.68
2750	9022	7.28	10.35
3000	9842	7.05	10.02
3250	10662	6.83	9.71
3500	11483	6.62	9.42
3750	12303	6.41	9.12
4000	13123	6.20	8.82
4250	13942	5.98	8.52
4500	14764	5.78	8.22

Nota. Tomado de (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Al encontrarse a una altura de 2863 msnm se obtiene un valor de presión atmosférica de 7.28 m.

$$h_{sp} = 7.28 \text{ m. c. a}$$

Cálculo del h_{vp} presión de vapor

Tabla 48

Presión de vapor y carga de presión de vapor de agua

Temperatura	Carga de presión de vapor (m)
0	0.06226
5	0.08894
10	0.1253
20	0.2388
30	0.4345
40	0.7580
50	1.272
60	2.066
70	3.250
80	4.967
90	7.405

Temperatura	Carga de presión de vapor (m)
100	10.78

Nota. Tomado de (Mott, 2006b)

Al encontrarse a una temperatura media de 20°C se obtiene un valor de presión de vapor de 0.2388 m.

$$h_{vp} = 0.2398 \text{ m. c. a}$$

Cálculo del h_f pérdidas en la sección de aspiración

Las pérdidas están compuestas por la fricción en la tubería, codos y válvula

$$h_f = \text{pérdida en la longitud de la tubería} + P. \text{ en codo } 90^\circ + \text{válvula}$$

- **Pérdida en la tubería**

Se diseña para una tubería de 1 pulgada de diámetro, con longitud de 0.5 m, con un caudal de $25 \frac{lt}{min}$ o $1.5 \frac{m^3}{h}$, para lo cual se hace uso de la tabla de la figura 47.

Se selecciona el caudal del sistema y el diámetro de la tubería

Figura 46

Pérdidas por fricción en tubería

Pérdidas por fricción en caños rectos de hierro

Caudal (m ³ /h)	Pérdidas (en metros por cada 100 metros)							
	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
1,14	7,7	2,4	0,6	0,3	0,1			
2,27	27,8	8,6	2,3	1,1	0,4			
3,40	58,6	18,5	4,8	2,2	0,8	0,3		
4,55	99,5	30,8	8,1	3,8	1,3	0,5		

Nota. Tomado de (RotorPump, 2022)

Tomando en consideración el caudal de $1.5 \frac{m^3}{h}$, el diámetro de la tubería 1' y mediante interpolación se obtiene una pérdida de 4.3 m por cada 100 metros. Para obtener el valor real de pérdidas en 0.5 m se realiza una regla de 3 simple.

$$\begin{array}{cc} 100 \text{ m} & 4.3 \text{ m} \\ 0.5 \text{ m} & X \text{ m} \end{array}$$

$$X [m] = \frac{0.5 * 4.3}{100} m$$

$$X = 0.0215 \text{ m para tuberías de hierro}$$

La tubería por usar es de PVC, por lo tanto, se debe multiplicar por un factor que indique el fabricante.

Figura 47

Factores para diferentes materiales de tubería

- Acero laminado nuevo : 0,8
- Acero arrugado : 1,25
- Fibrocemento : 1,25
- Aluminio : 0,7
- P.V.C. : 0,65
- Hidrobronz : 0,67

Nota. Tomado de (RotorPump, 2022)

$$X = 0.0215 * 0.65 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ tubería}} = 0.0139 \text{ m}$$

- Pérdida en codo de 90°

$$h_{f \text{ codo } 90^\circ} = 0 \text{ m}$$

Al no tener un codo de 90° dentro del sistema de aspiración sus pérdidas son cero.





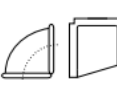
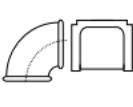
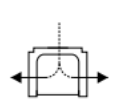
- Pérdida en válvula globo

Para obtener las pérdidas en la válvula se selecciona el diámetro que es de 1 pulgada.

Figura 48

Pérdida por fricción en accesorios de la tubería

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS
(LONGITUD EQUIVALENTE DE CAÑO RECTO DEL MISMO DIÁMETRO EN METROS)

Diámetro nominal de los caños normales		 Válvula esclusa totalmente abierta	 Válvula globo totalmente abierta	 Válvula ángulo totalmente abierta	 Válvula de retención	 Codo normal o Te de 6 mm de reducción	 Curva normal o Te normal	 Te normal
mm.	Pulg.							
12	1/2	0,12	5,18	2,44	1,22	0,46	0,30	1,00
19	3/4	0,15	6,71	3,36	1,83	0,61	0,45	1,37
25	1	0,18	8,24	4,27	2,44	0,82	0,52	1,74
32	1 1/4	0,24	11,00	5,49	3,66	1,07	0,70	2,32

Nota. Tomado de (RotorPump, 2022)

Las pérdidas que se producen en una válvula globo son de 8.24 m, pero esta longitud equivale al de la tubería recta del mismo diámetro en metros, por lo que se debe tomar en cuenta la relación antes mencionada.

$$\frac{100 \text{ m}}{8.24 \text{ m}} = \frac{4.3 \text{ m}}{X \text{ m}}$$

$$X [m] = \frac{8.24 * 4.3}{100} \text{ m}$$

$$X = 0.354 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ válvula}} = 0.354 \text{ m}$$

$$h_f = h_{f \text{ tubería}} + h_{f \text{ codo } 90^\circ} + h_{f \text{ válvula}}$$

$$h_f = 0.0139 + 0 + 0.354 \text{ m}$$

$$h_f = 0.3670 \text{ m}$$

Cálculo del h_s diferencia desde el nivel del depósito hasta la entrada de aspiración

El depósito de agua se encuentra a la misma altura de la tubería de aspiración por lo cual el valor de $h_s = 0 \text{ m}$.

Cálculo del $NPSH_A$

Reemplazando en la Ecuación 35

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

$$NPSH_A = 7.28 + 0 - 0.2388 - 0.3670$$

$$NPSH_A = 6.6742 \text{ m}$$

Para que el sistema se encuentre diseñado se establece un 10% de margen, por lo cual se establece que:

$$NPSH_A > 1.1 * NPSH_R$$

Ecuación 36

Margen de diseño

Nota. (Mott, 2006b)

Donde:

$NPSH_A =$ *Depende de la instalación de diseño*

$NPSH_R =$ *Dato de la bomba necesaria*

$$\frac{NPSH_A}{1.1} > NPSH_R$$

$$\frac{6.6742}{1.1} > NPSH_R$$

$$6.067 \text{ m} > NPSH_R$$

Al obtener el $NPSH_R$ debe seleccionar una bomba que cumpla las siguientes condiciones:

- Un NPSH menor a 6.067 m para evitar que dentro de sistema exista cavitación.
- Que sea capaz de bombear un caudal de 25 l/min
- Una tubería de aspersion de 1 pulgada.

Por la disponibilidad del mercado, se adquirió una bomba periférica que cumple con las características del diseño.

Tabla 49

Características técnicas de la bomba de agua

Marca	Paolo PBP-50
Caudal	33 lt/min
Altura de aspersion	6 m
Potencia	0.5 Hp
Voltaje	110 V

Marca **Paolo PBP-50**



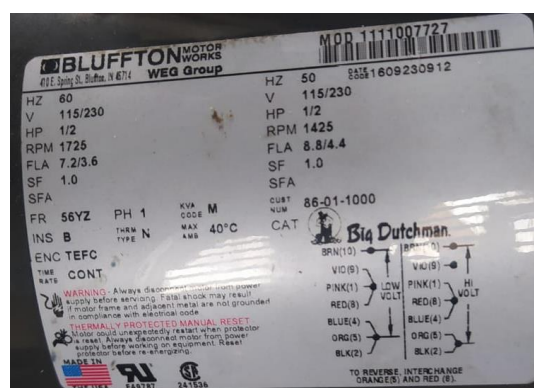
Diseño del sistema eléctrico

El sistema eléctrico está diseñado para un arranque y paro tanto del motorreductor como de la bomba de agua periférica, el sistema está compuesto por: un termomagnético, contactores, relés térmicos, pulsadores y luces pilotos, los cuales están contenidos en una caja metálica. Con cada uno de estos componentes se garantiza el funcionamiento y protección de todos los elementos eléctricos del sistema ante fallas eléctricas.

Para el correcto dimensionamiento de los componentes eléctricos se deben conocer las características de los elementos a proteger, en este caso es un motorreductor y una bomba de agua periférica.

Figura 49

Placa de datos del Motorreductor



Este motorreductor puede trabajar a dos niveles de voltaje y dos frecuencias, en este caso será a bajo voltaje y una frecuencia de 60 Hz, por lo tanto, los parámetros eléctricos son:

Tabla 50

Parámetros eléctricos motorreductor

Motorreductor	
Frecuencia	60 [Hz]
Voltaje	115 [V]
Potencia	½ [HP]
Corriente a plena carga	7.2 [A]
Rpm del motor	1725 [rpm]
Rpm de salida motorreductor	358 [rpm]

Figura 50

Placa de datos de la bomba de agua



Tabla 51*Parámetros eléctricos de la bomba de agua*

Frecuencia	60 [Hz]
Voltaje	110 [V]
Potencia	½ [HP]
Corriente	4.6 [A]

Una vez obtenidas las características, se procede a dimensionar cada uno de los componentes eléctricos.

Selección del interruptor termomagnético. Para el correcto dimensionamiento se debe considerar las corrientes a las cuales todo el sistema va a estar sometido en este caso es el motorreductor y la bomba de agua.

El motorreductor con una corriente a plena carga de 7.2 A y la bomba de agua 4.6 A, obteniendo una corriente total de 11.8 A.

Para lo cual mediante la ecuación 37, es necesario que la corriente del interruptor termomagnético debe ser mayor a igual a los 11.8 A del sistema y menor a la corriente máxima soportada.

$$I_n \leq I_{T-M} \leq I_{m\acute{a}x}$$

Ecuación 37*Límite de funcionamiento interruptor termomagnético**Nota.* Tomado de (Bermeo, 2014)

Donde:

I_n : Corriente nominal del sistema

I_{T-M} : Corriente del interruptor termomagnético

$I_{m\acute{a}x}$: Corriente máxima

$$I_{m\acute{a}x} = 1.5 * I_n$$

Ecuación 38

Cálculo de la corriente máxima

Nota. Tomado de (Bermeo, 2014)

Remplazando en la ecuación 38, la corriente del sistema se obtiene:

$$I_{m\acute{a}x} = 1.5 * 11.8$$

$$I_{m\acute{a}x} = 17.7 [A]$$

Remplazando en la ecuación 35

$$11.8 \leq I_{T-M} \leq 17.7 [A]$$

Se obtuvo un interruptor termomagnético $I_{T-M} = 20 [A]$, que cumple con las condiciones establecidas mediante la ecuación 37.

Tabla 52

Características del interruptor termomagnético

Marca	CHINT NXB-63
Voltaje	120 V
Amperios	20 A

Marca	CHINT NXB-63
Número de polos	2
Montaje	Riel DIN



Nota. Tomado de (CHINT, 2022)

Selección del contactor. Para la selección del motor se toma en consideración las características tanto del motorreductor y la bomba de agua, como el voltaje y la corriente de funcionamiento. En este caso se selecciona un contactor diferente para el funcionamiento del motorreductor y bomba de agua considerando las características de la tabla 49 y tabla 50, al ser ambos componentes motores eléctricos la categoría del contactor debe ser AC3 como se muestra en el catálogo en el anexo H.

Tabla 53

Características del contactor

Marca	CHINT NXC-12
Voltaje de bobina	120 V
Amperios	12 A

Marca	CHINT NXC-12
Número de polos	3
Montaje	Riel DIN
Clase	AC3



Nota. Tomado de (CHINT, 2022)

Selección del relé térmico. El relé térmico es un elemento electromecánico el cual tiene como función principal proteger al motor frente a sobrecargas, donde la corriente excede el límite establecido en el relé térmico provocando que el motor salga de funcionamiento.

Tomando en consideración las corrientes del motorreductor y motobomba según la tabla 49 y tabla 50, se selecciona un relé térmico con un rango de 7-10 amperios, también se considera el tipo de contactor para evitar problemas de montaje por lo cual se selecciona uno de la misma familia del contactor. Anexo I.

Tabla 54*Características del relé térmico*

Marca	CHINT NXR-25
Corriente de ajuste	7-10 A
Número de polos	3
Montaje	Bajo el contactor
Fusible de protección	20 A



Nota. Tomado de (CHINT, 2022)

Selección del conductor eléctrico. La selección del calibre del conductor parte de la corriente que consume el motorreductor y la motobomba en conjunto, para lo cual, se debe seleccionar un conductor que soporte la temperatura de trabajo que es aproximadamente 75°C.

$$I_{trabajo} = I_n + 30\% * I_n$$

Ecuación 39

Cálculo de la corriente de trabajo

Nota. Tomado de (Bermeo, 2014)

Remplazando en la Ecuación 39

$$I_{trabajo} = 11.8 + 30\% * 11.8$$

$$I_{trabajo} = 15.34 A$$

Una vez obtenido la corriente de trabajo y a una temperatura de 75°C se selecciona el conductor.

Figura 51

Tabla de conductores AWG

CONDUCTORES DE COBRE			THW			
Conductor de cobre para 0.6 kV aislado con policloruro de vinilo (PVC) 75 °C, resistente a la humedad y calor.						
CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total Aprox. (kg/ km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm²)	No. Hilos				
FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO						
14	2,08	1	0,76	3,15	26,30	20
12	3,31	1	0,76	3,57	38,62	25
10	5,261	1	0,76	4,11	57,72	35
8	8,37	1	1,14	5,54	95,99	50
8	8,37	7	1,14	5,98	102,04	50
6	13,3	7	1,52	7,70	164,86	65
4	21,15	7	1,52	8,92	246,27	85
FORMACIÓN UNILAY						
14	2,08	19	0,76	3,32	27,58	20
12	3,31	19	0,76	3,82	40,60	25
10	5,261	19	0,76	4,41	58,95	35
8	8,37	19	1,14	5,90	100,61	50



Nota. Tomado de (Electrocable, 2021)

El conductor seleccionado es un conductor de cobre tipo THW de calibre 12 AWG, puesto que tiene una capacidad de corriente de 25 A. Anexo L.

Selección de pulsadores. Los pulsadores son necesarios tanto para arrancar y detener el sistema eléctrico, así se seleccionaron los siguientes pulsadores:

Tabla 55

Características del pulsador

	Arrancar el sistema	Detener el sistema
Marca	CHINT	CHINT
Color	Verde	Rojo
Contacto	2 NA	2 NC
Tipo	Rasante	Rasante
Diámetro	22 mm	22 mm
Pulsador		

Nota. Tomado de (CHINT, 2022)

Selección de luces piloto. Las luces piloto ayudan a demostrar el estado del sistema, si este se encuentra funcionando o detenido.

Tabla 56

Características de la luz piloto

Estado	Sistema funcionando	Sistema detenido
Marca	CHINT	CHINT
Color	Verde	Rojo
Voltaje	120 V	120 V
Diámetro	22 mm	22 mm
Pulsador		

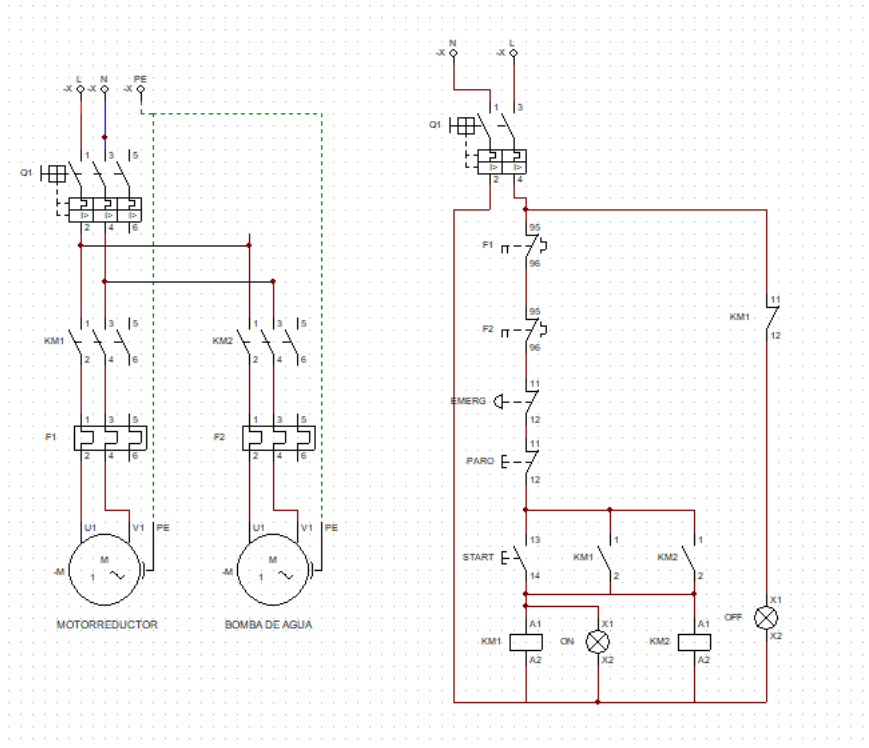
Nota. Tomado de (CHINT, 2022)

Esquema eléctrico

El sistema de control que se ha implementado se basa en el arranque directo del motorreductor y la bomba de agua, por lo que se ha implementado varios componentes eléctricos tanto de protección como de control.

Figura 52

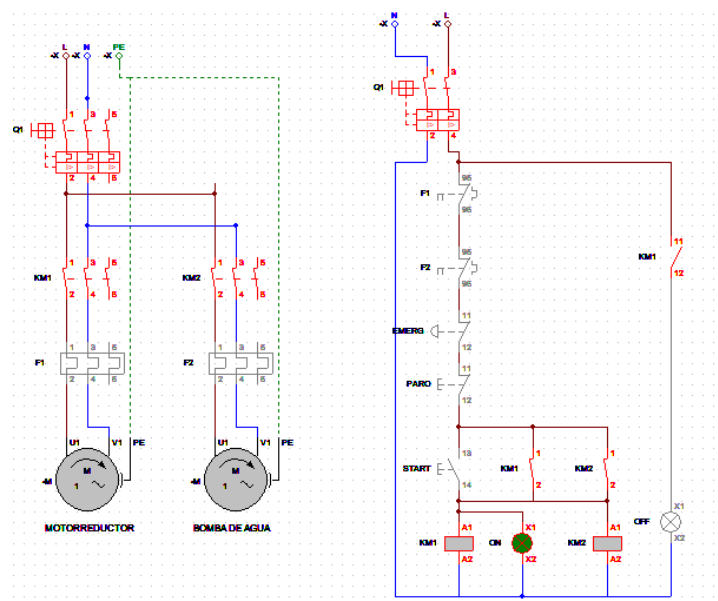
Diagrama de fuerza y control



Nota. Simulación del arranque y paro del sistema

Figura 53

Diagrama de fuerza y control en funcionamiento

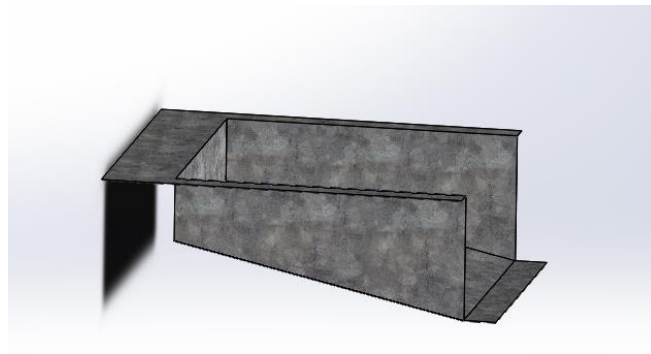


Diseño de la tolva de ingreso

El diseño de la tolva para el ingreso de las tunas se basa en la manera que se va a ingresar el producto, en este caso se lo realiza de manera manual, por lo que es necesario que la tolva cuente con una inclinación hacia el interior de la máquina para evitar que las tunas queden concentradas en un solo lugar, de esta manera se garantiza que se puede seguir ingresando más producto hacia la máquina.

Figura 54

Tolva de entrada



Nota. Simulación en SolidWorks Student de la tolva de entrada

La máquina despinadora está diseñada para poder procesar 800kg de tunas por hora teniendo en consideración la cantidad de producto cosechado, así, la tolva diseñada tiene que ser capaz de almacenar 22kg de tunas por minuto evitando que la bandeja se llene en exceso. Para esto se calcula el volumen que ocupara los 22 kg de tuna.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

V = Volumen

m = Masa de las tuna

$\rho = \text{densidad de la tuna}; 0.96 \frac{g}{cm^3}$

Remplazando los datos

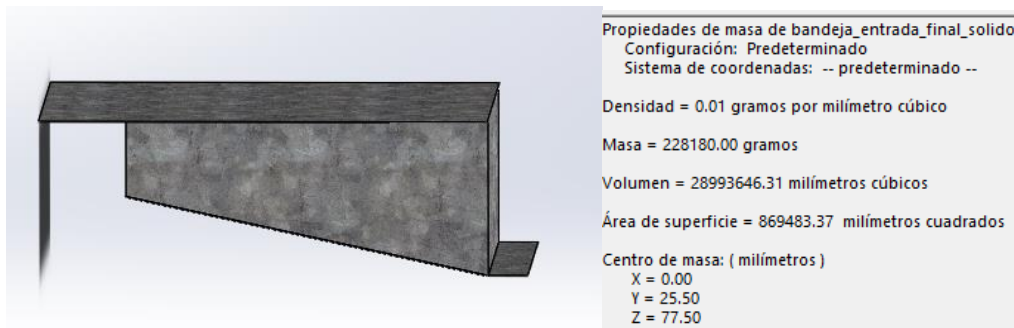
$$V = \frac{22Kg}{0.96 \frac{g}{cm^3} * \frac{1 kg}{1000 g}}$$

$$V = 22916.66 cm^3$$

La tolva de entrada debe ser capaz de poder almacenar un volumen de $22916.66 cm^3$ o $0.0229 m^3$ de fruta, calculando el volumen de la tolva diseñada, se realiza un modelo geométrico el cual simula que la tolva se encuentra completamente llena y mediante el software SolidWorks estudiantil se obtiene su volumen.

Figura 55

Modelo geométrico de la tolva de entrada llena



Nota. Simulación en SolidWorks Student de la tolva de entrada modelo geométrico

El volumen obtenido mediante el software SolidWorks de la bandeja de entrada es de $28993646.31 mm^3$ o $0.0289 m^3$.

En conclusión, se puede determinar que $0.0229 m^3 < 0.0289 m^3$, siendo los 22 kg de tuna a procesar, la capacidad de almacenamiento de la bandeja diseñada es adecuada para procesar la cantidad de tuna prevista.

Virtualización 3D del sistema despinador

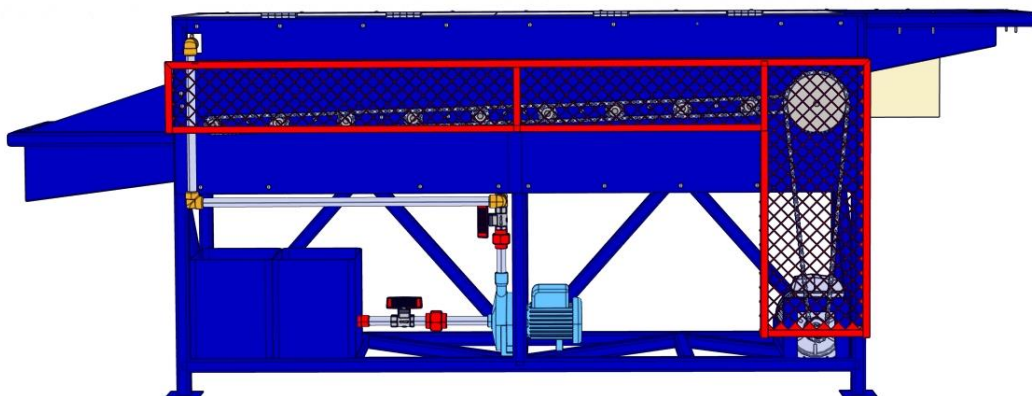
Mediante la virtualización 3D se puede observar de mejor manera cada uno de los componentes a detalle, tanto su ubicación dentro del sistema y la concordancia entre cada uno de sus componentes.

Con la ayuda de la virtualización se puede obtener varias propiedades físicas de los componentes del sistema, los cuales son necesarios para realizar análisis dentro del diseño. La mayor ventaja de la virtualización es que se puede modificar la geometría, la apariencia de los componentes y así mejorar estéticamente cada uno de ellos.

A continuación, se observa cada una de las vistas de la máquina despinadora de tunas y cada uno de los componentes por los cuales están compuesto.

Figura 56

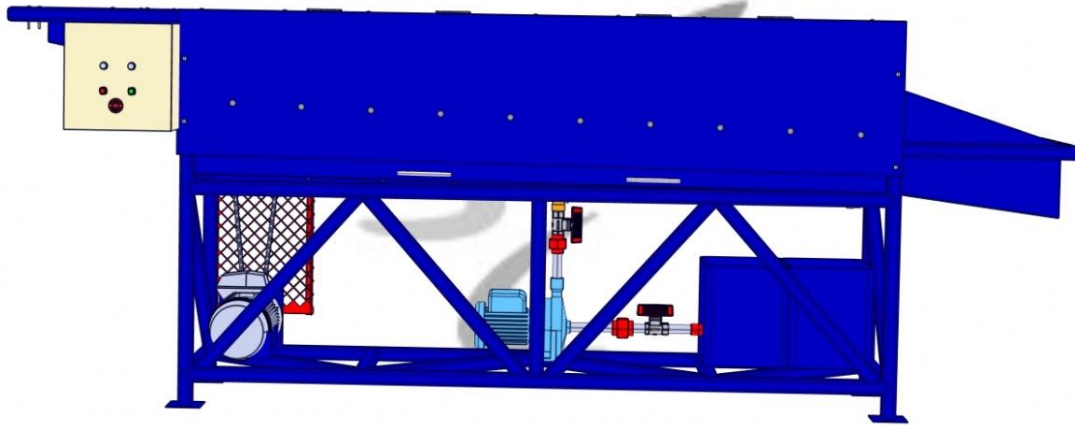
Vista frontal de la máquina despinadora de tunas



Nota. Vista frontal realizada en SolidWorks Composer Student

Figura 57

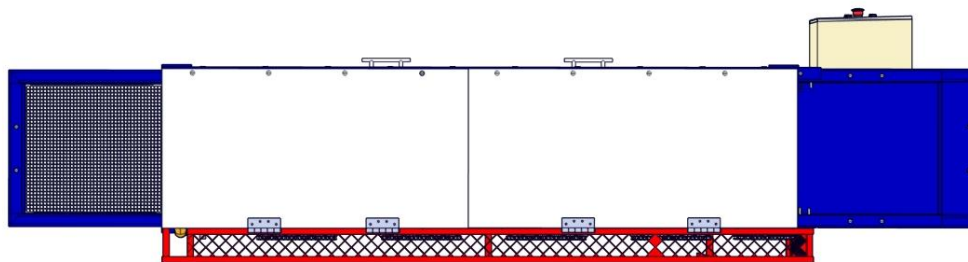
Vista posterior de la máquina despinadora de tunas



Nota. Vista posterior realizada en SolidWorks Composer Student

Figura 58

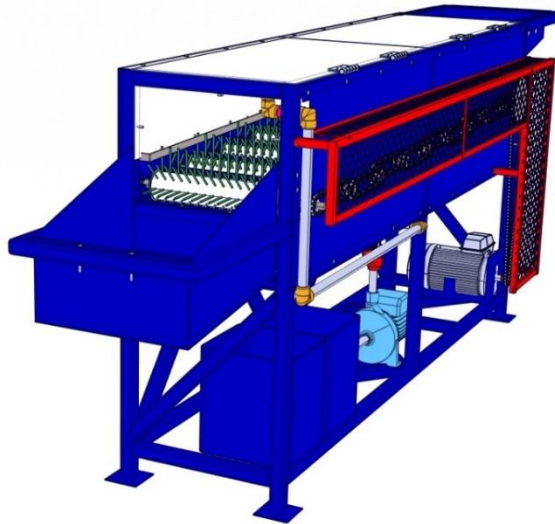
Vista superior de la máquina despinadora de tunas



Nota. Vista superior realizada en SolidWorks Composer Student

Figura 59

Vista isométrica de la máquina despinadora de tunas

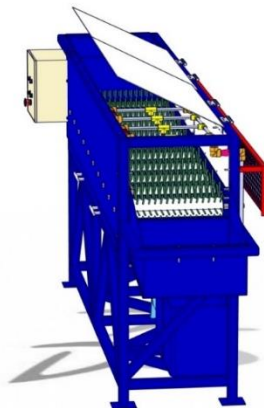


Nota. Vista isométrica realizada en SolidWorks Composer Student

Como se puede observar en la Figura 60, la máquina despinadora de tunas cuenta con una malla la cual cubre el sistema de transmisión, con la finalidad de evitar que se introduzcan agentes externos al sistema de piñones y principalmente cuidar la integridad física del operario.

Figura 60

Vista isométrica de la máquina despinadora de tunas



Nota. Vista isométrica realizada en SolidWorks Composer Student

En la Figura 61, se observa el interior de la máquina despinadora de tunas, el cual está compuesto de 10 rodillos con cerdas plásticas los cuales cuentan con un desnivel de altura el cual que permite que las tunas avancen hacia la tolva de salida y también un sistema de limpieza y a base de aspersion de agua.

Análisis y validación computacional de la máquina despinadora

Método de elementos finitos (MEF) para la tolva de entrada

Se realiza el análisis mediante el MEF para la tolva de entrada utilizando el software de Ansys Académico Static Structural en donde se ingresará las propiedades mecánicas del metal a usar en la tolva de entrada y el criterio de mallado más adecuado.

Propiedades mecánicas del acero galvanizado

Esfuerzo a la fluencia: $\delta_y = 203.94 \text{ MPa}$

Esfuerzo ultimo: 356.90 MPa

Las propiedades son ingresadas con la finalidad de que se pueda obtener valores próximos a la realidad y tener un diseño más acertado.

Tabla 57

Calidad de mallado Ansys

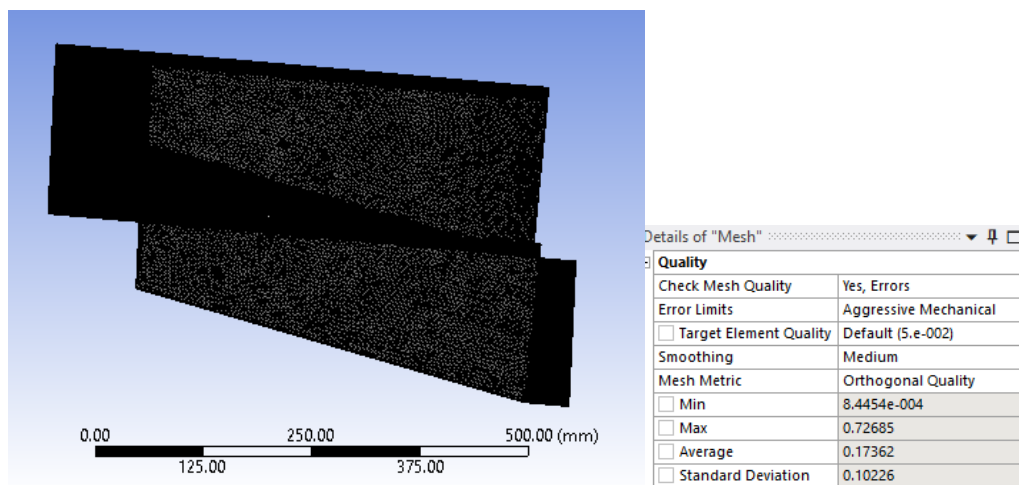
Orthogonal Quality	Calidad de malla
0.001 – 0.14	Mala
0.15 – 0.20	Aceptable
0.20 – 0.69	Buena

Orthogonal Quality	Calidad de malla
0.70 – 0.95	Muy buena

Nota. Tomado de (Andrade, 2021)

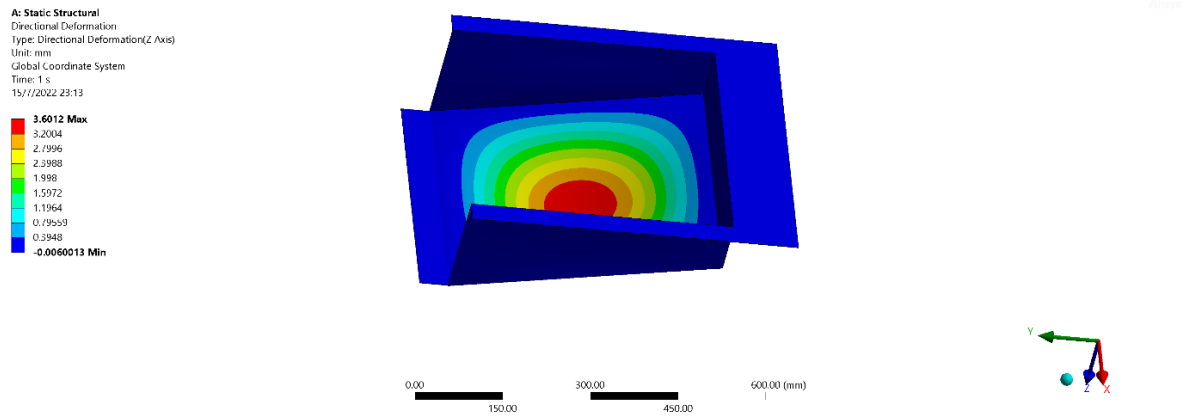
Figura 61

Calidad de mallado en tolva de entrada

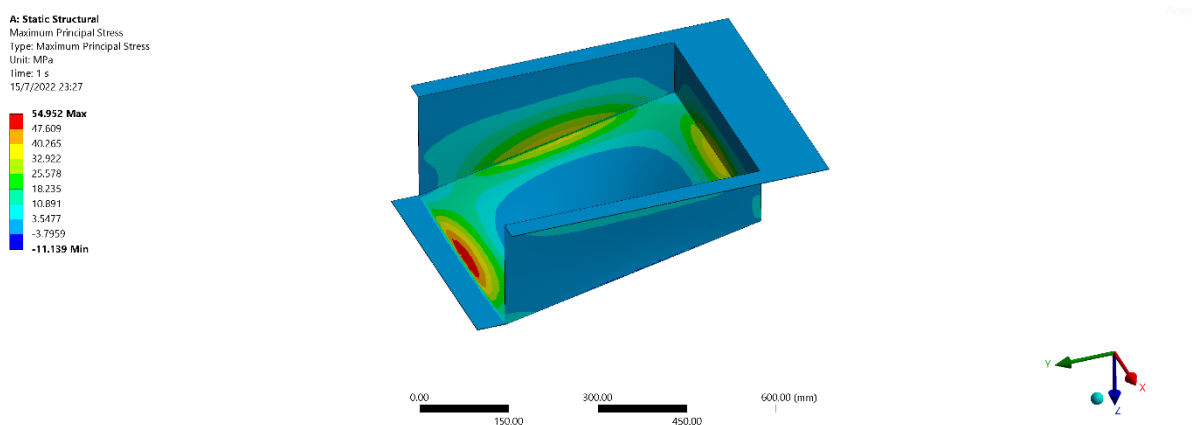


Como se puede observar la calidad del mallado es de 0.1736 y según la Tabla 56 la calidad del mallado es aceptable, entonces se procede a realizar el análisis de cargas.

El material utilizado para la construcción de la tolva de entrada es de acero galvanizado de 0.9 mm de espesor y estará sometido a una carga de 147.15 N, debido al peso de las tunas que ingresarán, cabe recalcar que se toma esta carga, puesto que los 22kg completamente no quedan almacenados, sino, que son parte de la carga que ingresa al interior de la máquina.

Figura 62*Deformación direccional de la tolva de ingreso*

La deformación de la tolva de ingreso es apenas de 3.601 mm debido al peso de las tunas en el supuesto caso de que quedarán almacenados en la tolva, puesto que al colocarlos en la tolva de ingreso, estas se dirigen directamente al interior de la despinadora, debido a que posee un desnivel que evita el almacenamiento en la tolva de entrada.

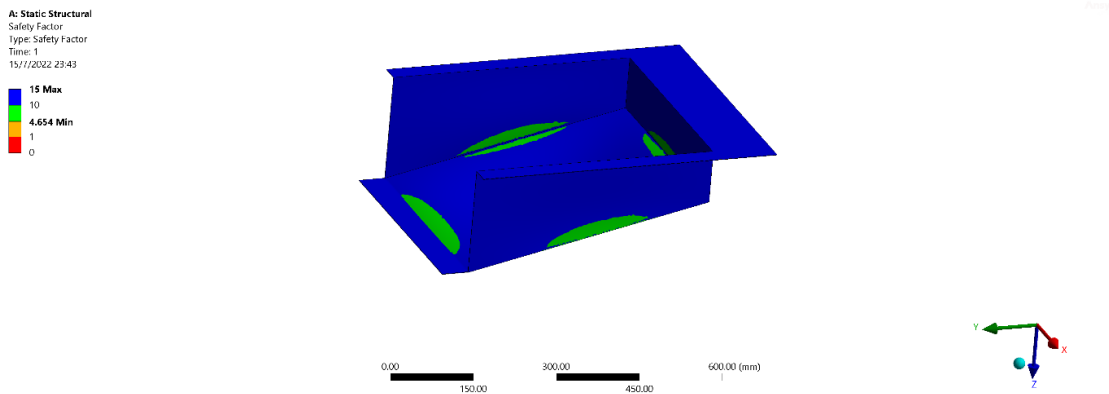
Figura 63*Esfuerzos principales máximos Tolva de ingreso*

En la Figura 64 muestra en qué partes de la tolva de ingreso se producen la mayor concentración de esfuerzos, siendo estos en los dobleces de las caras y un mayor esfuerzo en el borde de salida, ya que este punto será el que siempre se mantendrá en contacto con

las tunas, produciendo un esfuerzo máximo de 54.95 MPa, siendo este menor al límite elástico del material de 203.94 MPa.

Figura 64

Factor de seguridad tolva de ingreso



En la figura 65 muestra el factor de seguridad de la tolva de entrada en donde se obtiene un factor mínimo de 4.65, siendo este valor por comparar con los factores de diseño de (Mott, 2006a)

Tabla 58

Factor de diseño materiales dúctiles

Factor (N)	Descripción
1.25 – 2	El diseño de estructuras bajo cargas estáticas.
2.0 – 2.5	Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas.
2.5 – 4.0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre de cargas.

Factor (N)	Descripción
Mayor a 4.0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas.

Nota. Tomado de (Mott, 2006a)

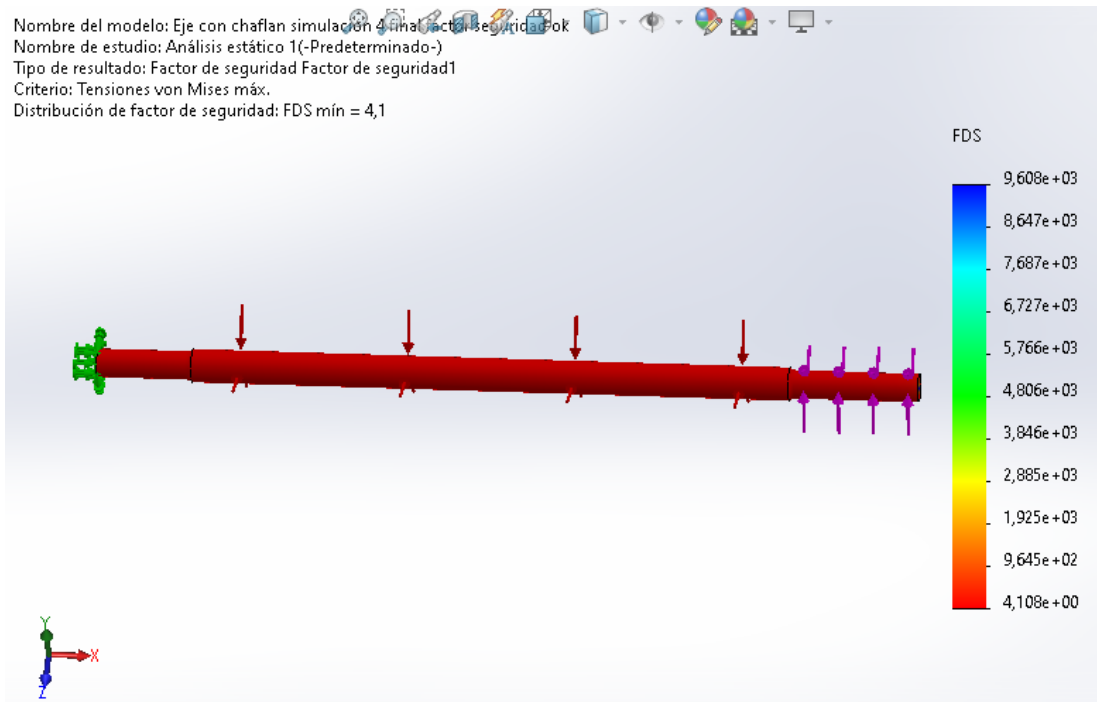
Para la construcción de esta máquina se toma en consideración un factor de seguridad, donde la tolva de entrada con un factor de 4.65 se encuentra dentro de los parámetros de diseño para la carga aplicada.

Factor de seguridad del eje

Como se diseñó el eje mediante cálculos aplicando el criterio de Von Mises bajo y el diagrama de Goodman modificado, se simuló mediante el software SolidWorks, se ingresaron los parámetros de momento de flexión y torsión. De igual manera las propiedades del material del eje (AISI 1018) como el esfuerzo último de torsión, el factor de fluencia, la densidad y el coeficiente de Poison. Estos parámetros ayudaron a determinar el factor de seguridad de 4.1 como se muestra en la siguiente figura. Se logró comprobar que hay una diferencia de 4 décimas que se deben a la exactitud y el número de decimales que maneja el software.

Figura 65

Factor de seguridad criterio de Von Mises



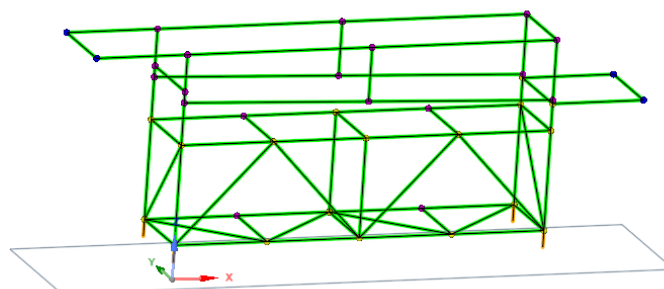
Nota. Análisis de cargas realizado en SolidWorks Student

Método de elementos finitos (MEF) para la estructura

Para poder obtener una validación de la seguridad de la estructura a implementar se procedió a someterla a un análisis de métodos de elementos infinitos, primero a través del software AutoCAD estudiantil se realizó el modelo unifilar de la estructura como se observa en la Figura 67.

Figura 66

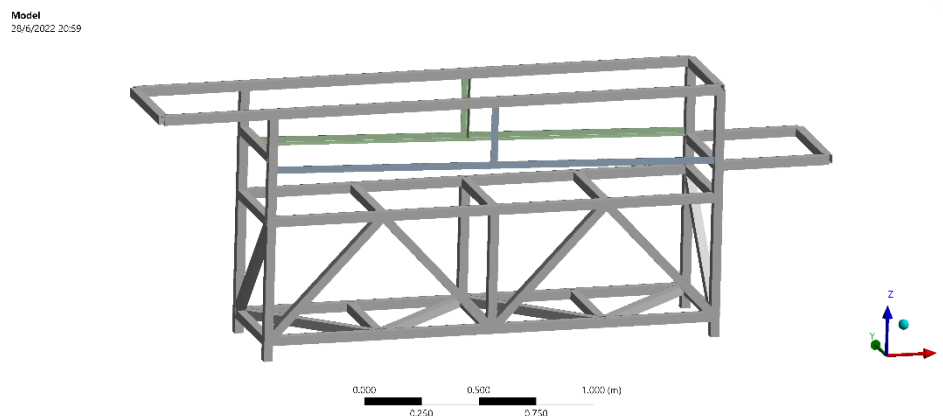
Diagrama unifilar de la estructura



Una vez obtenida la representación unifilar de la estructura se procede ingresar el material con el cual la estructura va a ser construida, dentro del software Ansys Académico Static Structural se ingresa el perfil del tubo a usar, en ese caso se usó un tubo cuadrado de 40x40x2mm y ángulo de 30x30x3 mm como se observa a continuación:

Figura 67

Asignación de perfil 40x40x2 y ángulo de 30x30x3 mm



Nota. Asignación de material para cada una las partes de la estructura metálica

Una vez comprobado que no haya inconvenientes con el perfil definido, se asigna cada una de las cargas que van a estar sometidas a la estructura como se detalla a continuación:

Carga A: Soportes fijos, asignados a las patas de la estructura, puesto que van a estar en contacto directo al suelo manteniendo a toda la estructura fija.

Carga B: Consta de una fuerza de 26.46 N, esta pertenece a la tapa de la estructura en base a su masa de 2.693 kg, obtenidos mediante SolidWorks estudiantil y multiplicados por la gravedad obteniendo su peso.

Carga C: Consta de una fuerza de 249.4 N, compuesta por el peso de la tolva de entrada de la máquina (3.424 kg obtenidos a través de SolidWorks estudiantil) y las tunas a ingresar 20kg.

Carga D: Ejerce una fuerza de 869.08 N, debido al peso de los rodillos con tunas (49.6 kg), reacción A_y por rodillo ($38.08 \text{ N} \times 10$), peso de los rodamientos y piñones.

Carga E: Una fuerza de 867.98 N, el peso de los rodillos con tunas (49.6 kg), reacción B_y por rodillo ($38.08 \text{ N} \times 10$) y el peso de rodamientos.

Carga F: Consta de una fuerza de 343.86 N, la cual consta de la bandeja recolectora de una masa de 35.052 kg.

Carga G: Una fuerza de 156.96 N, en base al peso del motorreductor eléctrico de 16 kg.

Carga H: Ejerce una fuerza de 78.48N, en base al peso de la bomba de agua con una masa de 8 kg.

Carga I: Una fuerza de 244.61 N, compuesta por el peso de la tolva de salida (masa de 2.935 kg) y salida de las tunas (20 kg).

Carga J: Una fuerza de 66.68 N, debido al peso de la tapa posterior (masa de 6.798 kg).

Carga K: Ejerce una fuerza de 76.107 N, compuesta por la tapa lateral superior frontal (4.0051 kg), tapa lateral inferior frontal izquierda y derecha (1.748 kg y 2.0059 kg)

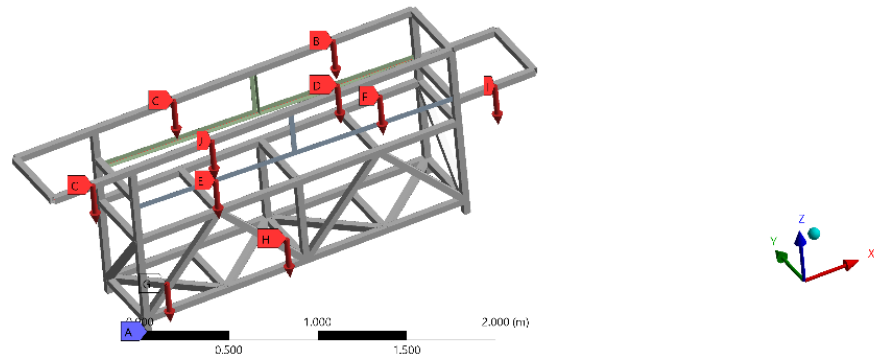
A continuación, se detalla la distribución de cada una de las cargas mencionadas dentro de la estructura:

Figura 68

Distribución de las cargas dentro de la estructura.

B. Static Structural
 Static Structural
 Time: 1 s
 Items: 10 of 11 indicated
 28/6/2022 20:57

A Fixed Support
B Force: 26.46 N
C Force: 2.249.4 N
D Force: 3.869.06 N
E Force: 4.867.96 N
F Force: 5.343.86 N
G Force: 6.156.96 N
H Force: 7.78.48 N
I Force: 8.244.61 N
J Force: 9.66.68 N



Nota. Asignación de todas las cargas presentes en el sistema

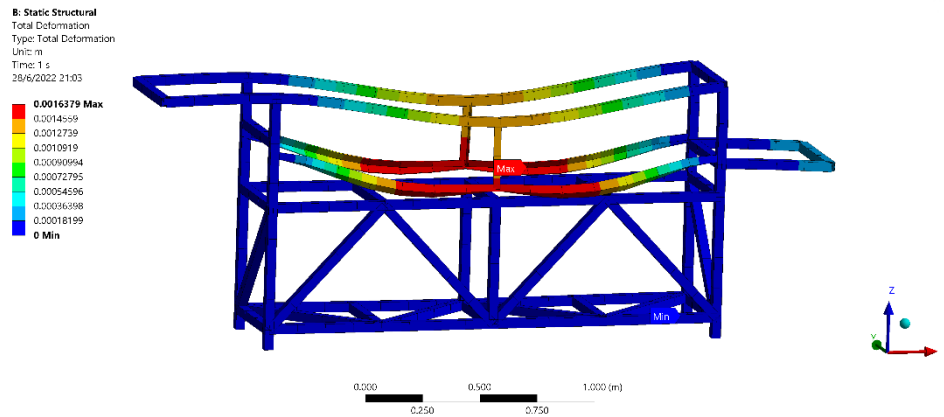
Dentro del análisis se utiliza el acero estructural el cual consta con las siguientes propiedades mecánicas:

Módulo de elasticidad: 200 MPa

Resistencia a la fluencia: 250 MPa

Resistencia última a la tracción: 460 MPa.

Una vez ingresado cada una de las cargas y parámetros se procede a la simulación del análisis Static Structural, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 69*Deformación Total*

Nota. Deformación de la estructura en base a las cargas sometidas

Como se puede observar en la Figura 70 la mayor deformación que ocurre en la estructura se da en los transversales principales pues es donde se encuentran los rodillos siendo la deformación máxima de 0.0016 m o 1.6 mm.

Mediante la ecuación de deflexión se puede comprobar si se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

$$\delta_r \leq [\delta] = \frac{L}{800}$$

Ecuación 40

Criterio de deflexión

Nota.(Andrade, 2021)

Donde:

δ_r = deflexión de la viga

$[\delta]$ = deflexión permisible

L = Longitud del componente de estudio

Reemplazando en la ecuación 40:

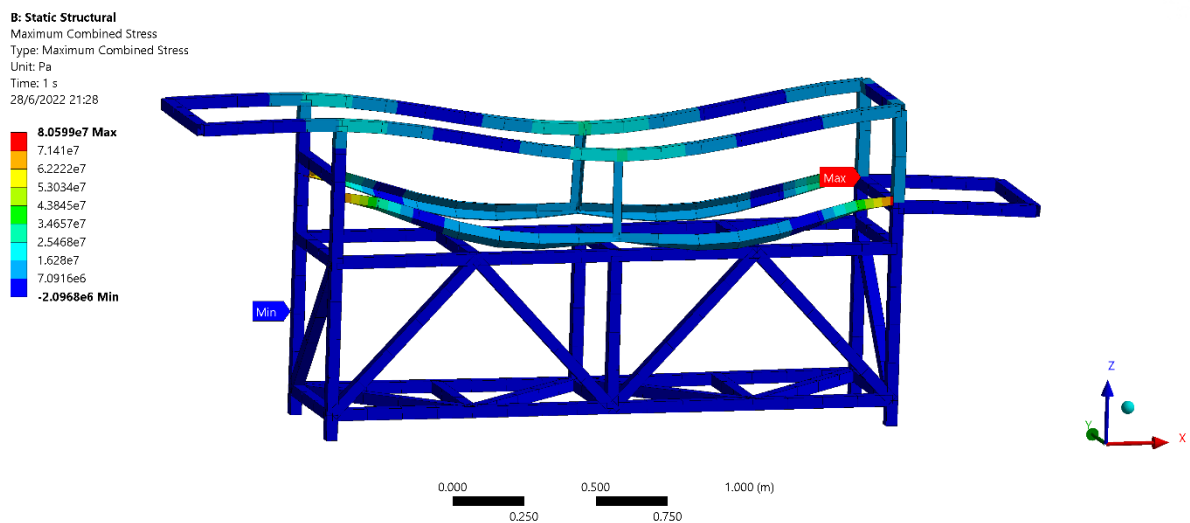
$$\delta_r \leq [\delta] = \frac{2000 [mm]}{800}$$

$$1.6 \text{ mm} \leq 2.5 \text{ mm}$$

Como resultado obtenemos que la deformación obtenida de 1.6 mm se encuentra dentro de los parámetros de diseño, puesto que esta deformación es menor a la permisible y por ende soportará el peso de los rodillos con las tunas.

Figura 70

Esfuerzos principales máximos



Nota. Representación de puntos máximos y mínimos de esfuerzos

En la Figura 71 se puede observar que la estructura metálica al ser sometida a los valores de carga se obtiene como resultado que los esfuerzos principales máximos se encuentran en la sección transversal de la estructura y efectivamente es donde van colocados cada uno de los rodillos y por ende se obtiene un esfuerzo máximo de 80.599 MPa. Mediante este dato se puede conseguir el factor de seguridad con la ecuación 41.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

Ecuación 41

Factor de seguridad

Nota. (Mott, 2006a)

Donde:

S_y = Resistencia del material a la fluencia

σ_d = Esfuerzo de diseño permisible

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{80.599 \text{ MPa}}$$

$$n = 3.10$$

De esta manera queda demostrado que la estructura se encuentra dentro de los parámetros de diseño y por lo cual soportará cada una de las cargas para las cuales fue diseñada.

Implementación de la máquina

Una vez concluida la fase de diseño, se procede a la etapa de construcción en donde se toma cada uno de los parámetros analizados en los puntos anteriores, de aquí en adelante ya se cuenta con planos mecánicos y esquemas eléctricos los cuáles serán las bases para la implementación de la máquina despinadora y el sistema de control, así como también se cuenta con que elementos son requeridos para la parte mecánica y eléctrica.

En primer lugar, se realiza la parte mecánica que consiste en construir toda la estructura metálica, elaborar los rodillos, paredes de la estructura, tolvas de entrada, tolva

de salida y bandeja recolectora. Luego de esto se realiza la instalación de la tubería de agua para el sistema de lavado y desinfección de las tunas, finalmente luego de tener en pie la máquina, se diseña el sistema de control contenido en un gabinete con todos los elementos para el encendido y apagado de la máquina.

Para la estructura de la máquina se adquirió tubos cuadrados metálicos de 40x40x2 mm los cuales fueron cortados y soldados de acuerdo con los planos realizados previamente.

Figura 71

Corte y armado de los tubos cuadrados metálicos



8

Una vez cortado cada una de las partes de la estructura se procede al armado completo de la estructura en general.

Figura 72

Soldeo final de la estructura



Nota. Proceso de soldadura de cada una las partes de la estructura metálica

Figura 73

Estructura final armada



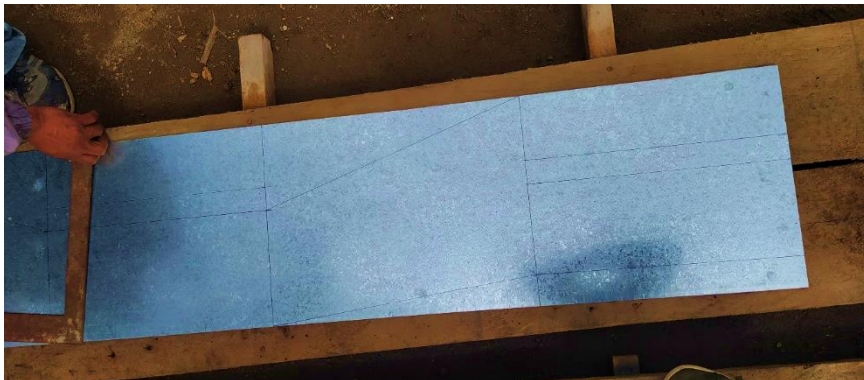
Nota. Pulido y limpieza de restos del proceso de soldadura

Una vez armada la estructura metálica se procede a pulir los restos de soldadura para mantener un terminado que sea estéticamente agradable para el usuario.

Para la construcción de la tolva de entrada, salida, bandeja recolectora y paredes de la estructura se adquirió planchas de tol galvanizado de 0.9 mm de espesor. Se realizaron los trazos con las medidas requeridas y luego mediante una cortadora de metal se dio forma a cada uno de los cortes como se observa en la Figura 75.

Figura 74

Corte y rayado de la tolva de salida y entrada



Una vez finalizado el corte de cada una de las tolvas de entrada, salida y bandeja de recolección, se realizan los dobleces correspondientes a cada uno de los cortes como se muestra en la Figura 76.

Figura 75

Doblado de las bandejas y tolvas



Luego de haber doblado cada uno de los componentes es necesario soldar las uniones de los dobleces para evitar que estas cedan ante el peso de las tunas, mientras que la bandeja recolectora contiene una malla que servirá para escurrir el agua y contener la fruta. Ver Figura 77.

Figura 76

Soldadura de las tolvas de entrada, salida y bandeja recolectora.



Dentro de la fase de elaboración de los rodillos primero se adquirió un eje AISI 1018 de diámetro 7/8 de pulgada, mientras que para contener las cerdas plásticas se utilizó un tubo PVC de diámetro de 3 pulgadas que va montado en el eje y para evitar que durante la rotación de los cepillos las cerdas plásticas salgan expulsadas, se utilizó espuma de poliuretano que mantiene fijas las cerdas en el tubo PVC y protege al eje del agua, figura 78.

Figura 77

Perforación del tubo PVC para colocar las cerdas plásticas



Nota. Perforación de los tubos PVC mediante una CNC

Figura 78

Montaje de los rodillos



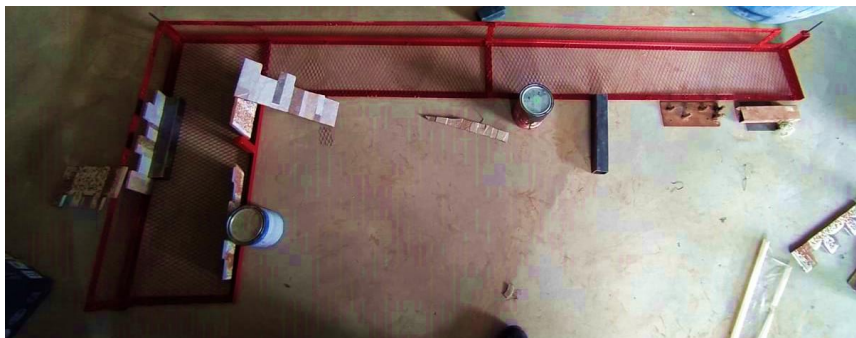
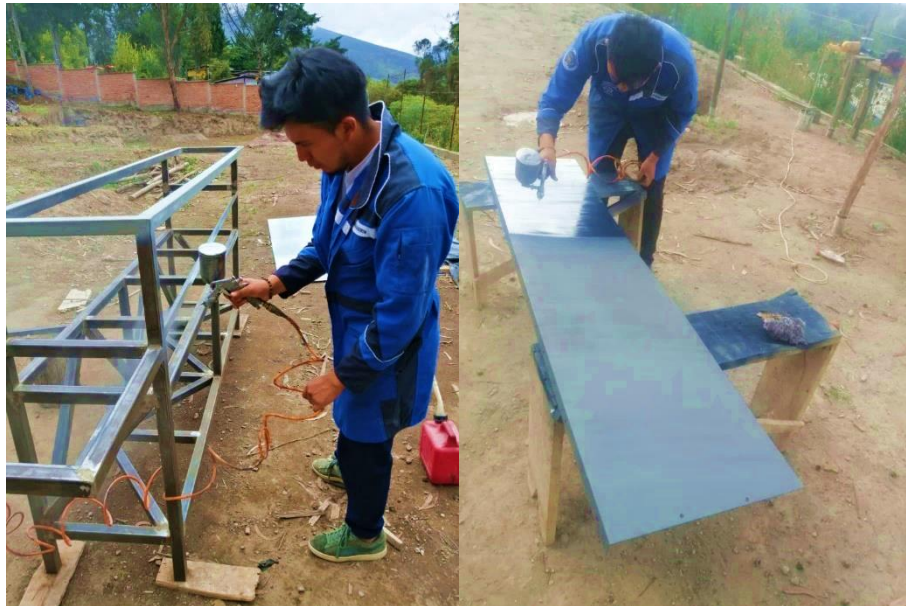
Nota. Inyectar poliuretano a cada uno de los ejes

Durante la fase de pintura se utilizó dos tonos, el primero gris mate anticorrosivo como base y como terminado final el azul español anticorrosivo que se colocó en la estructura metálica, paredes, bandeja recolectora, tolva de entrada y salida. Mientras que para la estructura que cubre la cadena se usó un tono rojo anticorrosivo para indicar que

hay que tener mayor precaución cuando la máquina esté funcionando debido a que el movimiento de los piñones impulsados por la cadena podría provocar accidentes a las personas que se encuentren cerca.

Figura 79

Pintado bajo aire comprimido con pintura anticorrosiva gris mate



Nota. Fase de pintura de cada uno de los componentes

Figura 80

Pintado con pintura anticorrosiva azul español



Durante la instalación del sistema de lavado para las frutas, se utilizó una bomba de agua de 0.5 Hp, una tubería pegable de 1 pulgada, tubería roscable de ½ pulgada, boquillas de aspersion plana y accesorios para tubería.

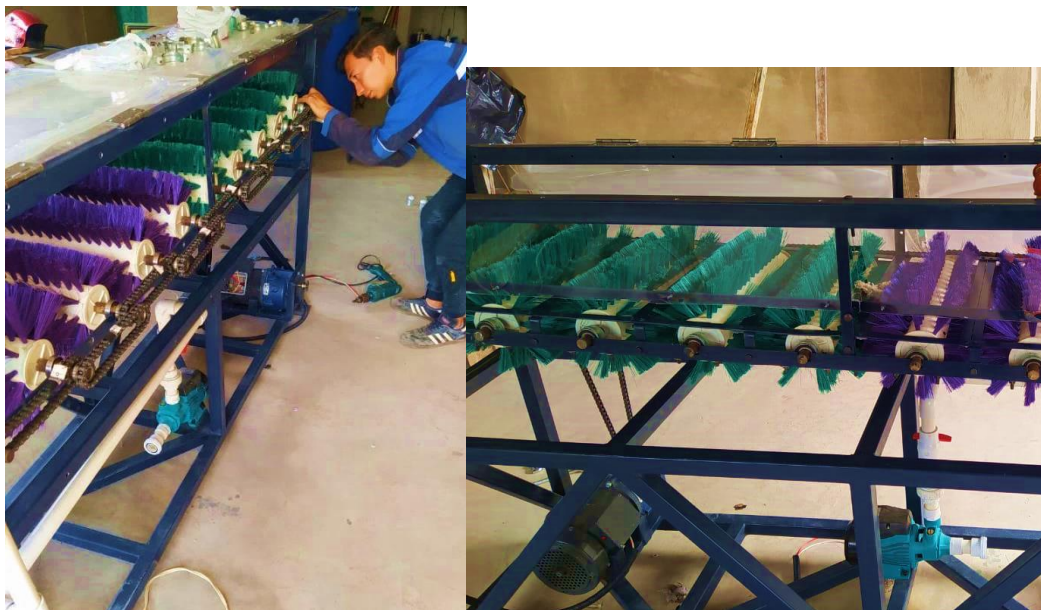
Figura 81

Instalación del sistema de lavado y desinfección



Figura 82

Montaje de rodillos y cadenas



Nota. Fase de montaje de cada uno de los componentes internos de la máquina

Figura 83

Montaje de tapas laterales y tapas superiores



Nota. Fase de montaje de cada uno de los componentes externos de la máquina

Figura 84

Montaje de la caja de control de la máquina despinadora



Nota. Instalación de cada uno de los componentes eléctricos

Finalmente, una vez colocadas las tapas laterales y las tapas superiores se implementa el protector de cadena y piñones para evitar cualquier problema de seguridad durante su funcionamiento, quedando la máquina completamente armada como se muestra en la Figura 85.

Figura 85

Montaje de todos los componentes de la máquina despinadora





Nota. Montaje finalizado de cada uno de los componentes de la máquina despinadora

Capítulo IV

Resultados de la investigación

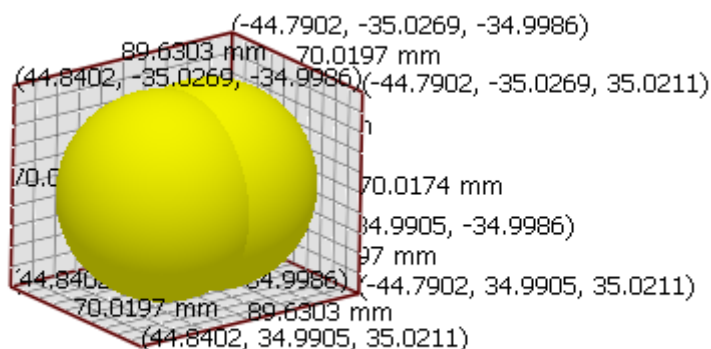
Simulación computacional del funcionamiento de la máquina despinadora de tunas

Dentro del proceso de diseño de la máquina, es necesario comprobar cuan eficiente puede llegar a ser el proceso de remoción de espinas de las tunas en realidad, por tal motivo, se procede a realizar la simulación del funcionamiento de la máquina con los parámetros establecidos dentro del diseño, para lo cual se hace uso del Software Altair Student Edition para su comprobación.

Como primer paso para la simulación, se establecen los parámetros del bulk material, que en este caso será la tuna, así, se configuran las dimensiones de las partículas a ingresar coincidiendo con las medidas de la tuna de primera clase de la tabla 15, como se muestra en la Figura 87

Figura 86

Geometría de la partícula en base a la tuna

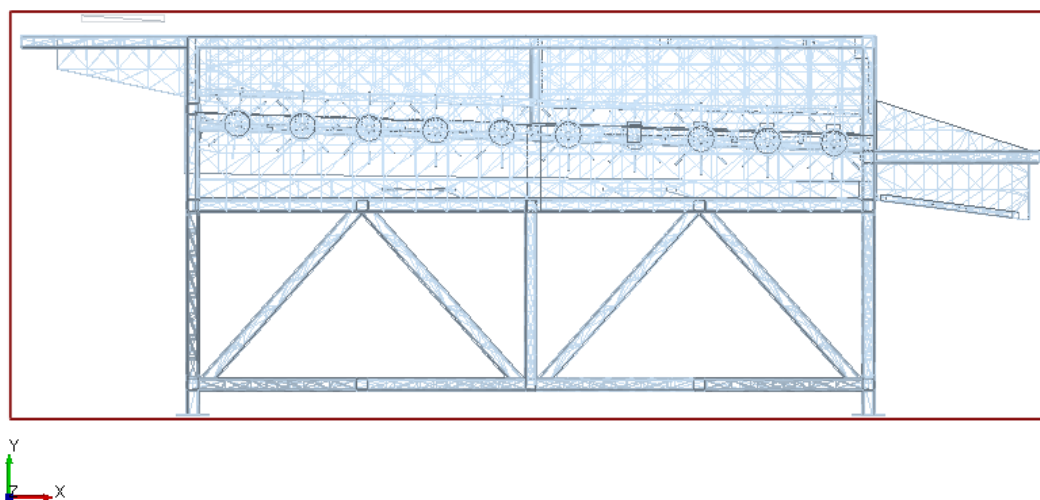


Nota. Medidas insertadas en el software Ansys Student

Una vez configuradas las partículas a ingresar, se importa el diseño de la máquina despinadora desde el software SolidWorks estudiantil en extensión .step, hacia el Software Altair Student Edition como se muestra en la Figura 88.

Figura 87

Diseño importado en Altair Student Edition

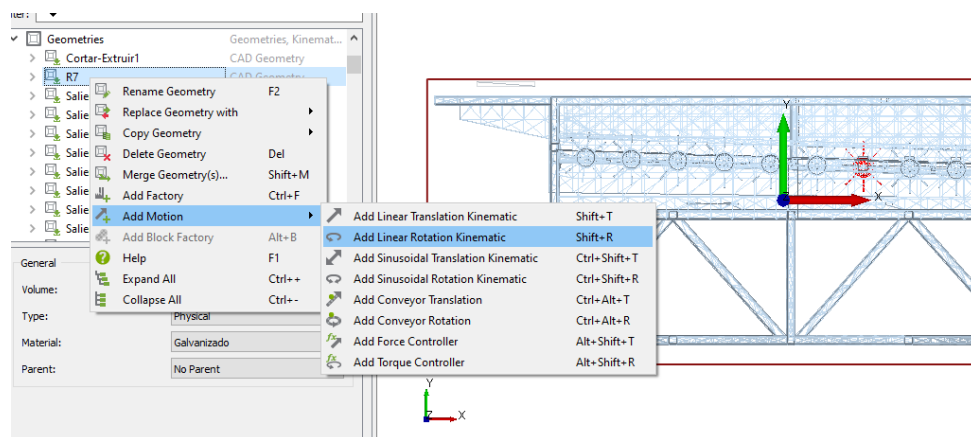


EDEM

Durante la fase de diseño, se estableció que cada uno de los rodillos de la máquina deben girar a 90 rpm, como se muestra en la Figura 89.

Figura 88

Configuración de la velocidad de rotación

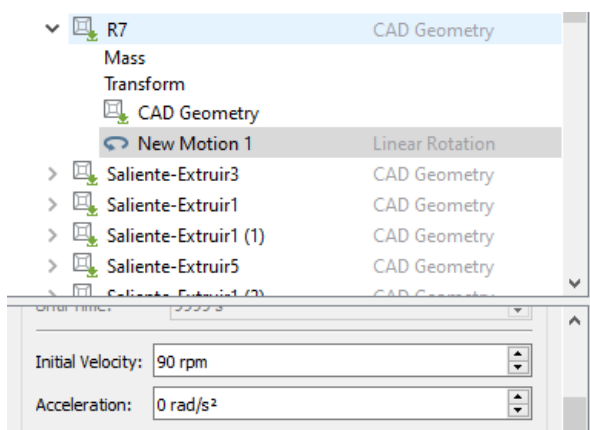


Nota. Ingreso de rotación a cada de los rodillos del sistema

Una vez añadido el movimiento, se configura la velocidad necesaria para que cada rodillo gire, al tener un único sistema de movimiento, todos los rodillos giran a la misma velocidad.

Figura 89

Configuración de la velocidad de giro de los rodillos

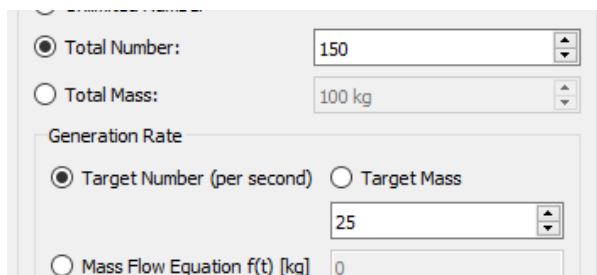


La misma configuración se realiza para los 10 rodillos del sistema, añadiendo a cada uno la velocidad de rotación.

Para la generación de partículas, se requiere configurar el número máximo a ingresar al sistema, en este caso como una caja de tunas lleva aproximadamente 150 tunas será el valor máximo.

Figura 90

Configuración de ingreso de partículas al sistema



La gravedad es una variable la cual se la debe tomar en consideración dentro de la simulación para que los resultados sean los más próximos a la realidad, para establecer el valor de la gravedad se debe tomar en cuenta el sistema de coordenadas en cual se encuentre el sistema.

Figura 91

Configuración de la gravedad en el sistema



Análisis de los resultados obtenidos en el software Altair Student Edition

Dentro del análisis de los resultados se obtuvo varias escenas del sistema las cuales fueron:

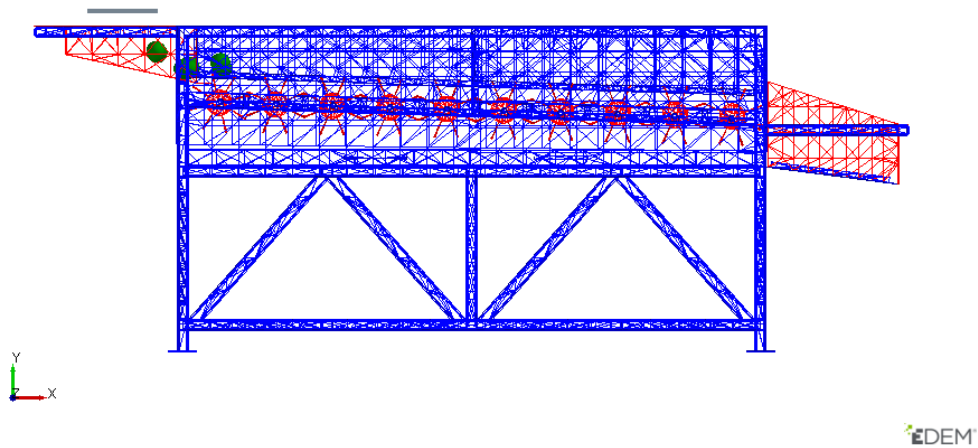
El ingreso de las partículas (tunas) en la tolva de entrada fue un éxito puesto que es capaz de almacenar cada una de estas partículas evitando que se desplacen hacia fuera del sistema y a la vez transporta correctamente hacia el interior de la máquina para su posterior proceso de limpieza, la velocidad a la cual giran los rodillos que es de 90 rpm es la adecuada, puesto que las partículas no salen disparadas hacia el techo o paredes de la máquina evitando de esta manera que se maltrate y se obtenga un producto de buena calidad, la inclinación de los rodillos ayuda efectivamente a que el desplazamiento de las partículas sea más fluido evitando que queden concentradas en un solo lugar y finalmente la tolva de salida almacenada todas las partículas satisfactoriamente evitando que caigan al suelo garantizando la limpieza final de la tuna.

Cada uno de estos procesos se puede observar en las figuras 93, figura 94 y figura 95.

Figura 92

Ingreso de las partículas (tunas) en la tolva de entrada

Time: 1.46024 s

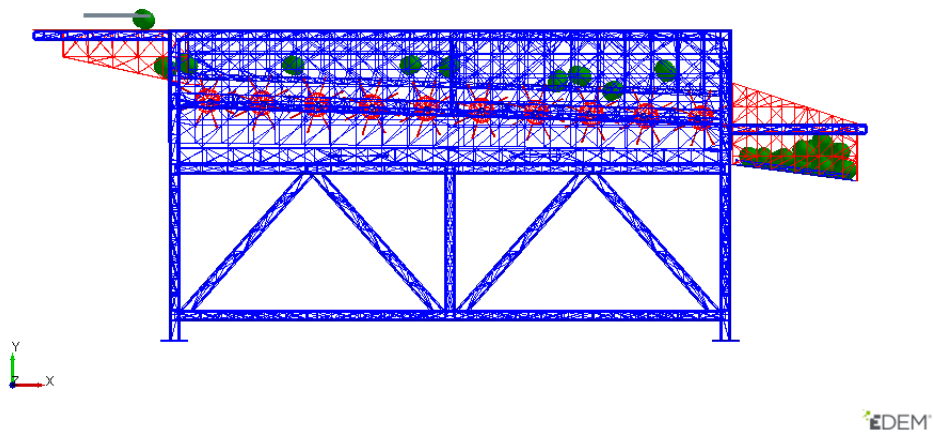


Nota. Imagen obtenida dentro del software Altair Student Edition

Figura 93

Desplazamiento de las partículas (tunas) en el interior de la máquina

Time: 27.7 s

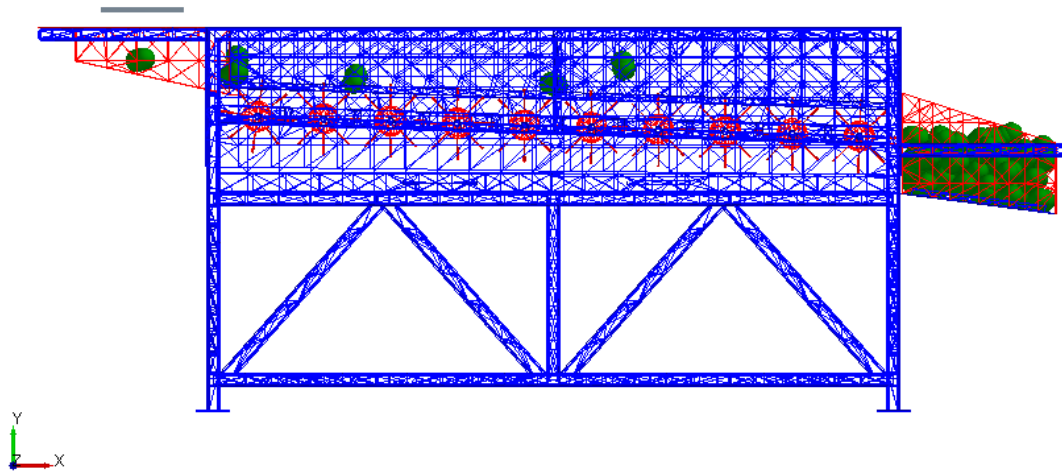


Nota. Imagen obtenida dentro del software Altair Student Edition

Figura 94

Almacenamiento de las partículas (tunas) en la tolva de salida

Time: 60.0001 s

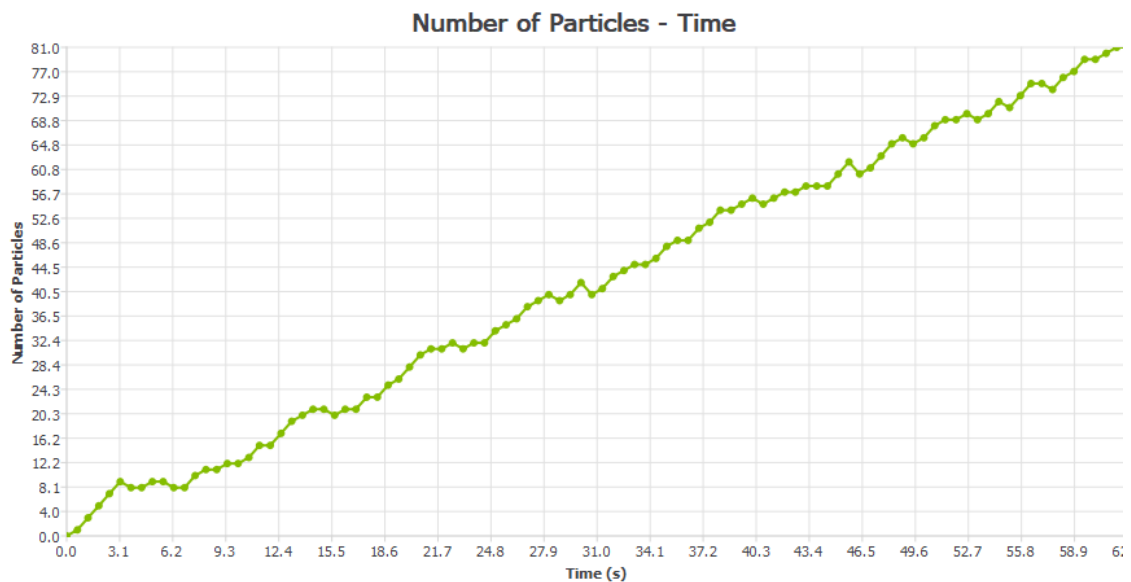


EDEM

Nota. Imagen obtenida dentro del software Altair Student Edition

Figura 95

Grafica de número de partículas en el sistema vs tiempo



Nota. Número de partículas en función del tiempo en el software Altair Student Edition

Como se observa en la Figura 96 el número de partículas (tunas) que pasaron por el interior de la máquina en un tiempo de 60 segundos es de 81 partículas, las cuales hacen referencia al número de tunas que pasaran por el proceso de remoción de espinas y para validar el diseño se hace una estimación de cuanto se puede procesar en un minuto y a la vez en una hora.

A partir de la relación de regla de 3 se puede obtener un estimado de cuantos kilogramos se podrían procesar durante 1 hora, tomando en cuenta que cada tuna pesa alrededor de 160 gramos y se obtiene 12960 gr o 12.96 Kg por minuto.

<i>kg</i>	<i>t (s)</i>
12.96	60
<i>X</i>	3600

$$x = 778 \text{ Kg tunas}$$

La máquina despinadora de tunas es capaz de remover las espinas de 778 kg/h lo cual se encuentre dentro de los parámetros establecidos de diseño.

Validación de la máquina despinadora de tunas

Luego de haber culminado el sistema despinador de tunas, se procede a realizar una validación de cada proceso tanto individual como general con el objetivo de identificar cualquier tipo de error y buscar una solución para que cumpla con las funciones requeridas.

Se verifica si la velocidad de giro de los cepillos, inclinación, recorrido de las frutas sobre los cepillos y sometidas a chorros de agua es el correcto para obtener al final unas tunas libres de espinas, limpias y sin ser estropeadas. El personal encargado de esta verificación es:

1. Fundación "AYLLU APU FFA"
2. Deneb Rosero
3. Danilo Guachamin

El procedimiento para comprobar el correcto funcionamiento de la máquina despinadora de tunas se realizó de la siguiente manera:

Encender la máquina despinadora de tunas y verificar si, el sistema motriz y el resto de los elementos ensamblados funcionan correctamente. Luego que los cepillos estén girando a la velocidad requerida, se colocan las tunas manualmente en la tolva de alimentación utilizando guantes para evitar lastimaduras. Se comprueba que la inclinación de la tolva sea la correcta para que las tunas se desplacen por el sistema de rodillos y de agua, que las liberarán de las espinas y se quedarán en la tolva de recolección. Inspeccionar el correcto funcionamiento del sistema por lo menos durante 20 minutos.

Figura 96

Comprobación del sistema despinador de tunas



Para la aprobación de la máquina despinadora de tunas se comprueba los siguientes parámetros bajo la supervisión de agricultores y representantes de la fundación “AYLLU APU FFA”

Tabla 59*Parámetros analizados en el protocolo de pruebas*

Parámetros	Aprobación
Encendido /Apagado (Funcionamiento)	Cumple
Ingreso adecuado de las frutas por la tolva de ingreso	Cumple
Protección del fruto	Cumple
Capacidad de procesamiento	Cumple
Despinación de tunas	Cumple
Salida, recolección tolva de salida	Cumple
Correcto funcionamiento de la instalación eléctrica	Cumple

Nota. Tomado de la Fundación “AYLLU APU FFA”

Como resultado del protocolo de pruebas se obtuvo que las tunas quedan libres de espinas en un 95 % que representan la totalidad de espinas desprendibles, el 5% restante corresponden a espinas impregnadas en la fruta y no representan riesgo alguno tanto para el comercializador como para el consumidor, además mediante la bandeja de recolección en contacto con el agua, reúne las espinas removidas evitando la proliferación de estas en el aire.

Se comprobó que la velocidad de los cepillos procesa 778 kg de tunas por hora, ya que se ingresó una caja de tunas de 15 kg y el tiempo que tardó en procesar la caja fue aproximadamente un minuto, lo cual está dentro de los parámetros de diseño.

Protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas pretende comprobar el correcto funcionamiento de la máquina despinadora de tunas e identificar fallas o errores que se puedan presentar, así realizar cambios con el objetivo de corregirlos y cumpla con los parámetros requeridos.

Tabla 60

Parámetros protocolo de pruebas

Elemento / Función	Destreza
Despinación de tunas	Si el sistema de cepillos de la máquina desprende las espinas de las tunas con un mínimo error, el funcionamiento será óptimo. Si al final del proceso, las tunas siguen con una gran cantidad de espinas, el funcionamiento no es el adecuado.
Capacidad tolva de alimentación	Si la tolva de entrada tiene la capacidad de alimentar aproximadamente 15 Kg de fruta, el funcionamiento será óptimo, mientras que, si se aumentara la cantidad, las tunas se aglomerarían y su limpieza no sería la correcta.
Capacidad canal de despinación	Encendida la máquina de despinación, es importante verificar que libere de espinas a 778 kg de tunas en una hora de funcionamiento, si no es así, no será satisfactorio su rendimiento.
Peso y transporte	El peso de la máquina no deberá sobrepasar los 800 kg de peso para que pueda ser transportada con

Elemento / Función	Destreza
Materiales	<p>facilidad, de lo contrario, el sistema no será satisfactorio.</p> <p>Los materiales utilizados en el sistema, que tienen contacto directo con la fruta, deben ser de fácil limpieza para cumplir con un óptimo requerimiento de higiene, de lo contrario no será satisfactorio.</p>
Implementación sistema eléctrico	<p>El motor y todos sus componentes deben estar cubiertos, la instalación eléctrica debe ser la correcta para evitar daños y sobrecalentamiento, así será satisfactorio su rendimiento. Lo contrario, no será aprobado.</p>

Formato de protocolo de pruebas

Con el siguiente formato se podrá ir verificando el correcto funcionamiento del sistema:

Tabla 61

Formato Protocolo de pruebas

PROTOCOLO DE PRUEBA: Máquina despinadora de tunas	N°:
Fecha: Elaborado por:	

Lugar:			
Valoración	Óptimo	No óptimo	Observaciones
FUNCIÓN SISTEMA DESPINADOR:			
Capacidad tolva de alimentación			
Despinación de tunas			
CAPACIDAD DE DESPINACIÓN:			
.....kg/h			
PESO Y TRANSPORTE:			
Hasta 800 Kg			
Fácil transporte de la máquina			
MATERIALES E HIGIENE:			
Materiales			
Limpieza			
SISTEMA ELÉCTRICO:			
Motor e implementos			
Cubierta del motor			
Instalación eléctrica			

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Según las necesidades del cliente, se diseñó y fabricó una máquina despinadora de tunas que facilite el proceso evitando accidentes al remover las espinas del producto. Reduce el tiempo de trabajo, optimizando recursos, protegiendo al trabajador, cuidando el fruto e incentivando así al sector agrícola.
- Se hizo un análisis investigativo de las máquinas referentes con propósitos en común como: procesar, limpiar, clasificar frutas, etc. Por medio de encuestas, se recopiló información necesaria y se diseñó un sistema despinador de tunas que permite la optimización de la producción de esta fruta.
- Habiendo una demanda creciente de producción de tunas en el mercado, este proyecto complementará al desarrollo comercial del sector occidental del cantón Salcedo, por lo tanto, es factible la implementación del sistema despinador de tunas donde, el aumento de producción es posible gracias a la optimización de tiempo y recursos que ofrece.
- Mediante la metodología de diseño aplicada se logró identificar la necesidad principal. Una vez identificada la mejor opción que abarque las necesidades de los usuarios, se dimensionó la estructura y el mecanismo de la máquina despinadora de tunas bajo normas internacionales de diseño, donde se comprobó los resultados a través de una simulación que reproduce condiciones reales del funcionamiento del sistema.
- De acuerdo con los parámetros de diseño establecido, se seleccionó materiales e implementos bajo las características requeridas. El diseño final del sistema fue analizado bajo los estándares requeridos por los miembros de la Fundación. Se tomó en cuenta la base de soporte estructural, la tolva de alimentación, la cantidad

de cepillos y sus respectivos ejes giratorios, el sistema de limpieza con presión de agua, la tolva de recolección, el sistema mecánico y eléctrico del motor y las cadenas; garantizando el correcto funcionamiento de la máquina.

- El protocolo de pruebas ayudó a validar el correcto funcionamiento del sistema despinador de tunas ya que se comprobó el cumplimiento de los parámetros propuestos por los representantes de la fundación “AYLLU APU FFA”, obteniendo una fruta en buenas condiciones, sin espinas y la capacidad de procesamiento calculada. Además, el peso y transporte del sistema despinador es el adecuado, así como los elementos eléctricos poseen protecciones garantizando la seguridad del usuario y el funcionamiento correcto.

Recomendaciones

- Utilizar un método adecuado de recolección de información ya que estas deberán analizarse detenidamente para buscar la mejor alternativa ante el problema planteado, así ahorrar recursos económicos, humanos y el factor tiempo que es muy importante para la culminación del proyecto.
- Identificar muy bien los softwares de simulación, de igual manera ingresar los parámetros tanto de los materiales como condiciones físicas reales ya que proporcionarán la información más acertada a la realidad obteniendo valores próximos al previo cálculo realizado.
- Tomar en cuenta el sistema de unidades de trabajo ya que algunas fórmulas de la literatura se presentan en diferentes unidades. Esto es muy importante para el dimensionamiento y selección de los materiales bajo catálogo, el criterio debe ser muy acertado para evitar gasto de recursos económicos.

Bibliografías

- Altamirano, J., & Pilco, M. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS PARA EL SECTOR AGRICULTOR*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Andrade, D. (2021). *Implementación de la Ingeniería Concurrente para el Diseño de un Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK en Luminarias de Alumbrado Público de Acuerdo a la Norma IEC 60068-2-75 para el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador*. [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/24268/T-ESPEL-EMI-0402.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arteaga, A., & Briones, J. (2021). *Análisis de la variabilidad del régimen climático, período 1989–2018 en el Centro Académico Docente Experimental Rumipamba–CADER, Salcedo-Cotopaxi* [Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/23968/1/UCE-FAG-BRIONES%20JOSSELYN.pdf>
- AYRFUL. (2019). *Aire comprimido en Agricultura | Ayrful*.
<https://www.ayrful.com.ar/aplicaciones/exair/aire-comprimido-en-agricultura/>
- Balarezo, E. M. M., & Guerrero, G. (2014a). *Dinámicas socioeconómicas del cantón Salcedo – provincia de Cotopaxi período: 2007-2012*. 119.
- Balarezo, E. M. M., & Guerrero, G. (2014b). *Dinámicas socioeconómicas del cantón Salcedo – provincia de Cotopaxi período: 2007-2012*. 119.
- Beccaro, G. L., Bonvegna, L., Donno, D., Mellano, M. G., Cerutti, A. K., Nieddu, G., Chessa, I., & Bounous, G. (2015). *Opuntia spp. Biodiversity conservation and utilization on*

the Cape Verde Islands. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 62(1), 21-33.

<https://doi.org/10.1007/s10722-014-0133-2>

Bermeo, D. (2014). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS*. [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/8299/T-ESPEL-EMI-0254.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena).

Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY* (Novena). McGraw-Hill Education.

Bula, A. (2020). *Importancia de la Agricultura en el Desarrollo socio-económico*. 29.

Bustamante, L., & Eugenio, D. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ELEVADOR DE CARGA INDUSTRIAL AUTOMATIZADO TIPO COLUMNA DE TRES NIVELES PARA TRANSPORTAR LOS PRODUCTOS CERÁMICOS EN LA EMPRESA NOVEL*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Cabello, M., & Sánchez, M. (2010). *Instalaciones eléctricas interiores*.

Caucés, M. (2013). *MÁQUINA DESESPINADORA DE TUNAS PARA LA VARIEDAD AMARILLA O DE CASTILLA (OPUNTIA FICUS INDICA (L))*. Universidad Técnica del Norte.

CHINT. (2022). [Corporativo]. CHINT. <https://chint.com.ar/producto/rele-termico-reg-a-7-10-para-nxc-9-38>

- Collantes, F. (2018). *La industrialización de la agricultura*. Universidad de zaragoza.
https://economia_aplicada.unizar.es/sites/economia_aplicada.unizar.es/files/archivos/55/la_industrializacion_de_la_agricultura_-_texto.pdf
- De Castro, C. (2014). *Teorías de falla bajo cargas estáticas*. <http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/teorasdefallabajocargasestticas.pdf>
- Electrocable*. (2021). [Corporativo]. Electrocable.
<https://www.electrocable.com/uploads/catficha/catalogo-electro-2021.pdf>
- Freire, A., & Pilco, M. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA LIMPIADORA DE TUNAS PARA EL SECTOR AGRICULTOR*.
- Gallegos, J. (2020). *“PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA LA COMERCIALIZACION Y EXPORTACIÓN DE TUNA AL MERCADO DE FRANCIA, EN EL PERIODO DEL 2011 – 2020”*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.
- Hendrickson, A., & Buckhurst, C. (2008). *MECHANICAL DESIGN FOR THE STAGE*. ELSEVIER.
- HIDROMECC. (2018, noviembre 2). *HIDROMECC*.
<https://hidromecingenieros.com/producto/ch/>
- Hollis, H. B. (1995). *El interesante mundo de las cactaceas*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Fondo de Cultura Económica.
<https://books.google.com.ec/books?id=GztqygEACAAJ>
- Limpiadora de frutas por cepillos. (s. f.). *Maquinaria Industrial de ASTIMEC*. Recuperado 28 de diciembre de 2021, de <https://astimec.net/producto/limpiadora-de-frutas-por-cepillos/>

- Liu, B. (2020, diciembre 25). *The Application Combination of Computer Aided Technology and Mechanical Design and Manufacturing*. 2020 5th International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE), Harbin, China.
<https://doi.org/10.1109/ICMCCE51767.2020.00060>
- Macas, E. (2017, junio 5). *Definición y estado del arte de la ingeniería concurrente la manufactura por computer y la mecatrónica*. 17.
- Macías, J. (2009). *DINÁMICA DE LA ROTACIÓN*.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6615>
- Martín, J., & García, M. (2009). *Automatismos industriales*.
- Mott, R. (s. f.). *ELEMENTOS DE MÁQUINAS-Robert L. Mott*. Pearson Education.
- Mott, R. (2006a). *Diseño de elementos de máquinas* (cuarta).
- Mott, R. (2006b). *Mecánica de fluidos* (sexta).
- Myszka, D. (2012). *MÁQUINAS Y MECANISMOS* (Cuarta). Pearson Education.
- Norton, R. (2011a). *Diseño de máquinas* (Cuarta).
- Norton, R. (2011b). *DISEÑO DE MÁQUINAS Un enfoque integrado* (Cuarta). Pearson Education.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *GUÍAS PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA POTABLE*. PAHO.
https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55454/OPSCEPIS05161_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Paucara, C. (2017). *CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA TUNA (Opuntia ficus indica) EN EL MUNICIPIO DE LURIBAY PROVINCIA LOAYZA DEL*

DEPARTAMENTO DE LA PAZ [UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA].

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/13345/T-2427.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Peralta, M. (2016). "ANÁLISIS DEL PROCESO MANUAL DE LAVADO DE UVILLAS Y SU
INCIDENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PRODUTANKAY"

[Universidad Tecnológica Indoamérica].

<http://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/135/1/TESIS%20PERALTA%20SA LAZAR%20MILTON%20DANILO.pdf>

PESAE. (2018). *Eficiencia en motores eléctricos*. 9, 52.

Reynolds, S., & Sánchez, M. (2003). *El nopal (Opuntia spp.) como forraje* (Primera).

<https://www.fao.org/3/y2808s/y2808s00.htm>

Riba, C. (2002). *Diseño Concurrente* (Primera). Edicions PUC.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1>

RotorPump. (2022). *Tablas perdidas por fricción* [Corporativo].

<http://www.rotorump.com/pdf/tabla-perdidas-por-friccion.pdf>

Sáenz, C. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. Fiat Panis.

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120301/Utilizacion-agroindustrial-del-nopal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tapia, D., & Simancas, D. (2021). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
DESPINADORA DE TUNAS* [Universidad Politécnica Nacional].

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21506/1/CD%2010999.pdf>

Tituaña, G. (2007). “*DISEÑO DE UNA MÁQUINA LAVADORA DE ZANAHORIA*”.

Universidad Politécnica Nacional.

VANMARK. (2021). *Peladora/Fregadora/Lavadora—2420* [Corporativo].

<https://vanmark.com/es-es/Equipo/Todo-el-Equipo/Peladora-Fregadora-Lavadora-2420-es-ES>

ANEXOS