



Diseño y construcción de un prototipo para la clasificación pitahaya amarilla por tamaño en la finca La Perdomo de la Plata (Huila)

Yeison Adrián Gómez

20451718071

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2023

Diseño y construcción de un prototipo para la clasificación pitahaya amarilla por tamaño en la finca La Perdomo de la Plata (Huila)

Yeison Adrián Gómez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ing. Martha Lucia Solano

Línea de Investigación:

Research in Energy and Materials REM

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado **Diseño y construcción de un prototipo para la clasificación pitahaya amarilla por tamaño en la finca La Perdomo de la Plata (Huila)**,
Cumple con los requisitos para optar
Al título de Ingeniero mecánico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Neiva, 9 mayo de 2023.

Contenido

Pág.

Resumen.....	13
Abstract.....	14
Introducción	15
Objetivos	18
<i>Objetivo general</i>	18
<i>Objetivos específicos</i>	18
Justificación	19
1. Capítulo:.....	21
1.1. Antecedentes	21
1.2. Marco teórico.....	26
1.2.1. <i>Componentes estándar de una clasificadora</i>	26
1.2.2. <i>Simulación y Software</i>	28
2. Capítulo 2: Parámetros de diseño	29
2.1 Características geométricas de la fruta de pitahaya	29
2.2 Requerimientos de diseño.....	31
2.3 Propuestas de diseño	33
2.4 Análisis morfológico de alternativas.....	34
2.5 Selección y caracterización de la alternativa escogida.....	35
3. Capítulo 3: Diseño del prototipo	38
3.1 Componentes del prototipo seleccionado	38
3.2 Cálculo del eje.....	39
3.3 Cálculo del eje por torsión pura.....	41
3.4 Cálculo de esfuerzo máximo.....	42
3.5 Parámetros para Análisis de esfuerzos en estructura de soporte	44
3.5.1. <i>Análisis de tensión de la estructura de la clasificadora de pitahaya.</i>	45
3.5.2. <i>Análisis de desplazamiento de prototipo de clasificadora de Pitahaya.</i>	47
4. Capítulo 4: Construcción del prototipo	49
4.1 Adquisición de materiales y componentes	49

4.2	Proceso de mecanizado	50
4.3	Ensamble prototipo	51
4.4	Acabado del prototipo.....	52
5.	Capítulo 5: Evaluación de prototipo	53
5.1	Tiempo de clasificación	53
5.2	Errores de clasificación.....	54
6.	Conclusiones.....	56
7.	Recomendaciones.....	58
8.	Anexos.....	59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1-1. Relación piñón cadena-plato.....	26
Figura 1-2. Componentes del motor eléctrico usado en máquinas peladoras.....	27
Figura 3-1. Diseño de prototipo seleccionado	38
Figura 3-2. Análisis de esfuerzos máximos de estructura de prototipo	46
Figura 3-3. Comportamiento del dispositivo en función del desplazamiento máximo	48
Figura 4-1. Acabado prototipo.....	52

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1. Geometría Pitahaya según estudio de campo	29
Tabla 2-2. Rango de clasificación de diámetro menor a 8 cm.....	30
Tabla 2-3. Rango de clasificación de diámetro mayor a 8 cm.....	30
Tabla 2-4. Relación y descripción de requerimientos.....	32
Tabla 2-5. Resultados encuesta sobre requerimientos de diseño	34
Tabla 2-6. Matriz de evaluación prototipos	35
Tabla 2-7. Tabla de evaluación	36
Tabla 3-1. Valores de propiedades físicas del dispositivo.	44
Tabla 3-2. Propiedades físicas del material AISI 4140.....	45
Tabla 4-1. Relación de materiales y elementos adquiridos.....	49
Tabla 4-2. Proceso de mecanizado realizados para construcción del prototipo.....	50
Tabla 4-3. Proceso de ensamble prototipo de clasificación para pitahaya.....	51
Tabla 4-4. Tiempo medio de clasificación.....	53
Tabla 4-5. Tasa de error en clasificación en unidad de Pitahaya	54

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	πr^2
F	Fuerza	$N.m$	$M*a$
N	Normal	$N.m$	
RPM	Revoluciones por minuto	V/min	n/t
D	Diámetro	r	2r

Subíndices

Subíndice Término

μ_r coeficiente de pérdida de potencia del sinfín corona (0.65)

μ_c coeficiente de pérdida de potencia de piñón y cadena

D_W Diámetro primitivo

Superíndices

Superíndice Término

n Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura Término

Min minutos
 kg kilogramos
 Lb Libras

(Dedicatoria)

Primeramente, a Dios por ser mi guía, a mis padres por su apoyo incondicional y a mi tutora la Ing. Martha Lucia Solano por creer en este proyecto y apoyarme siempre.

Yeison Adrián Gómez

Agradecimientos

Nuevamente a mi asesora la Ing. Martha Lucia Solano, por su acompañamiento en el proceso metodológico.

A la Universidad Antonio Nariño de Neiva, programa de Ingeniería Mecánica, por el saber ofrecido y poner a disposición los recursos de infraestructura y logística

Resumen

La producción de Pitahaya amarilla cada vez gana terreno como fruta exótica de exportación en Colombia; aquí los mercados destino tienen como criterio el tamaño de la fruta, razón por la cual en las jornadas de campo esta actividad se realiza de forma manual lo que conlleva a errores en los procesos de clasificación, los cuales se evidencian por las tasas de devolución por tamaño, la cual en la Finca La Perdomo es del 4,7% sobre el total de la producción; para ajustar esta desviación se propuso la construcción de una máquina clasificadora de Pitahaya amarilla por tamaño; para su desarrollo, este proyecto se planificó por etapas las cuales inician con los criterios definidos por el productor, diseño del prototipo, la construcción y la evaluación del mismo; los resultados mostraron que los tamaños a clasificar son mayores y menores a 8 cm, los cuales se seleccionan a partir de un dispositivo circular o tolva de captación mediante movimiento centrífuga que permite la selección al interior del prototipo, este opera con un motor de 0,25 Hp y su carga útil es de 80 Kg incluido el peso del reductor, se concluye que a nivel de diseño se cumplen las condiciones de esfuerzo máximo, dado que este valor es de 16,59 Mpa y el desplazamiento máximo es de 0.36mm; la máquina según el factor de seguridad no representa riesgo de cizallamiento en sus componentes estructurales.

Palabras clave: Pitahaya amarilla, Carga útil, torsión pura

Abstract

The production of yellow pitahaya is increasingly gaining ground as an exotic fruit for export in Colombia; here the target markets have as a criterion the size of the fruit, which is why in the field days this activity is done manually leading to errors in the classification processes, which are evidenced by the rates of return by size, which in the Finca La Perdomo is 4.7% of the total production; to adjust this deviation, the construction of a yellow pitahaya sorting machine by size was proposed; For its development, this project was planned in stages, starting with the criteria defined by the producer, design of the prototype, construction and evaluation of the machine; The results showed that the sizes to be classified are larger and smaller than 8 cm, which are selected from a circular device or hopper which by slow centrifugal movement allows the selection inside the prototype, this operates with a motor of 0.25 Hp and its payload is 80 kg including the weight of the reducer, it is concluded that at design level the conditions of maximum force are met, since this value is 16.59 Mpa and the maximum displacement is a maximum of 0.36 mm. 36mm; according to the safety factor, the machine does not represent a risk of shearing in any of the components.

Keywords: Yellow pitahaya, payload, pure torsion.

Introducción

Existen cientos de variedades de Pitahaya; a nivel de mercados internacionales se comercializan la Pitahaya amarilla y morada o fruta del dragón; sus mayores productores a nivel mundial son Colombia y Vietnam respectivamente (Avogoconsulting).

La Pitahaya amarilla como se conoce en nombre común pertenece a la familia de las “Cactaceae Juss”, genero “Selenicereus, especie S. megalanthus; es una fruta tropical tipo baya, indehisciente, de color amarillo al madurar y su peso varía entre 70 y 390 gramos, el diámetro entre 45 y 90 mm, mientras que la longitud está entre 80 y 140 mm (CORPOICA, 2013).

La pitahaya amarilla es una de las 15 especies frutícolas de la apuesta exportadora agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en Colombia, razón por la cual se ha convertido en un producto con una alta demanda internacional y cuyas exportaciones en el 2020 superaron las 2000 Ton; estos mercados destinos son en su orden según volumen de exportación Brasil, Hong Kong, Alemania, Francia e Indonesia. La Pitahaya amarilla constituye un importante producto en la economía del País (ICA, 2012).

En cuanto a dicho crecimiento a nivel nacional en los últimos años se ha presentado un aumento exponencial tanto en área sembrada pasando de 200 Ha en el 2007 a 1.744 Ha en el 2020, con una producción de 441 Ton en 2007 a 17312 Ton en el 2020 (Agronet).

Las cifras de exportación indican un aumento y una gran participación dentro del sector de frutas exóticas, en donde está ocupa el 4º lugar como línea exportadora (Agronet).

Ahora bien, a nivel regional el departamento del Huila al 2020 se convirtió en el mayor productor de Pitahaya con un área sembrada de 4764 Ha al 2020 que equivale al 30 % de participación sobre área sembrada y con una producción de 11.044 Ton; siendo los mayores productores los municipio de Palestina, La Argentina, Acevedo, Pitalito y La Plata, este último con un promedio por encima de las 250 Ton al 2020 según el Sistema de Información Rural del departamento (SIR) y de las cuales se exporta el 45% especialmente de Palestina, Acevedo y La plata (SIR-HUILA, 2021).

La finca La Perdomo, se encuentra ubicada a 5 km del municipio de La Plata (Huila), a una altura sobre el nivel del mar de 1600 mt; actualmente uno de los sistemas productivos desarrollados como fuente de ingresos, es el cultivo de pitahaya, la cual se realiza sobre un área aproximada de 4,5 hectáreas con una tasa promedio de producción de 9,8 toneladas por cosecha.

Una de las actividades más importantes de este cultivo para su comercialización parte de la recolección de la fruta, la clasificación, selección y posterior venta a diferentes canales distribución en función a parámetros técnicos como el peso, el grado de madurez y la talla para el abastecimiento de diferentes mercados.

La recolección de la pitahaya en la finca La Perdomo, es una actividad que se realiza de forma manual y consiste en retirar la fruta del vástago para su almacenamiento y comercialización (ICA, 2020).

Actualmente para comercializar está en diferentes mercados se debe clasificar por tamaño, para lo cual se emplea la experticia de los trabajadores que realizan la misma recolección.

La problemática encontrada en este proceso radica en que aproximadamente un 4,7% de la fruta es devuelta por no cumplir con los tamaños establecidos para exportación, datos los cuales fueron proporcionados por la finca La Perdomo de la Plata (Huila) (Agrosavia, 2022); este porcentaje equivale a un promedio de 258,5 kg para una cosecha promedio de 5,5 Ton, la cual se da 3 veces al año, lo que representa pérdidas mayores a 2,8 millones de pesos por cosecha, ya que esta fruta debe venderse de forma inmediata una vez recolectada debido a que el proceso para la exportación requiere mayor tiempo de distribución hasta su destino final, lo que implica que esta se pueda madurar, si el tiempo de clasificación es mayor al adecuado; en caso contrario, la fruta es devuelta y se distribuye en el mercado local a un menor precio, lo que equivale a un 45 % menos por Kg del valor inicial para exportación; esto se realiza para recuperar inversión o en su defecto al no venderla el productor debe desperdiciarse y asumir la pérdida (MINAGRICULTURA, 2022).

Frente a esto, existen en la actualidad equipos de alto costo, los cuales pueden ser mayores a los \$ 30.000.000 COP para clasificación de frutas; dichos valores no están al alcance inmediato del productor, ya que requiere no solo de adaptación en obras de infraestructura, sino que son equipos diseñados para cultivos de altos volúmenes de producción, mayores a las 100 Ton, los cuales son de gran tamaño y pesos mayores a 500 kg, lo que los hace inviables para su adquisición (MINAGRICULTURA, 2022).

Sin embargo, a nivel comercial no se ha identificado una máquina diseñada para clasificar por tamaño la Pitahaya, una vez realizada la búsqueda bibliográfica en artículos científicos, empresas a nivel comercial, por lo que las soluciones de equipos de clasificación de frutas en muchos casos se deben adaptar (Ortega, 2020).

A esto se suma que la finca cuenta con vías de acceso terciarias las cuales son angostas y construidas sobre áreas escarpadas de difícil acceso; de acuerdo con lo anterior, existe la necesidad de contar con un equipo que pueda adaptarse en uso a las condiciones de la finca entre otras necesidades para mejorar el proceso de clasificación y disminuir los tiempos del proceso, tasas de devolución y costos (Ortega, 2020).

De acuerdo con lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué características debe tener un prototipo de máquina clasificadora de Pitahaya amarilla que permita mejorar los tiempos y disminuir errores de clasificación por tamaño en la finca La Perdomo de La Plata (Huila)?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo para la clasificación pitahaya amarilla en la finca La Perdomo de la Plata (Huila).

Objetivos específicos

Determinar parámetros de diseño a partir de los requerimientos expresados por los productores de Pitahaya para la clasificación por tamaño.

Diseñar el prototipo en base a datos recolectados.

Construir un prototipo de clasificadora por tamaño de pitahaya para la finca la Perdomo del Municipio de La Pata, Huila.

Evaluar el prototipo construido en función de los tiempos y los errores de clasificación.

Justificación

Colombia es un país cuya economía principal se basa en su producción agrícola; el sector frutícola ocupa el 47% de la producción nacional; de esta dependen más de 5000 familias para su sustento; una de las frutas que ha venido aumentando su participación en el sector es la Pitahaya cuya tasa de siembra se fijó en un 34% de crecimiento, al pasar de 12.000 toneladas en 2014 a 135.000 Toneladas en 2021. (Minagricultura, 2018)

El departamento del Huila, no es la excepción en producción de esta fruta y debido a su gran capacidad de competir en mercados nacionales e internacionales, se ha incluido como una estrategia de desarrollo para la cadena productiva, lo cual permite mejorar la competitividad del departamento a partir de pequeños productores; sin embargo, uno de los problemas que enfrenta este cultivo es su bajo avance tecnológico en los procesos de siembra y postcosecha, en los que se encuentran puntualmente recolección, clasificación y venta (UNIANDES, 2018).

Es aquí en donde el canal de comercialización establece las condiciones de venta del producto, ya que de acuerdo con esta. La fruta puede variar de tamaño y destino; de aquí la importancia de asegurar una óptima clasificación de esta, con el fin de evitar pérdidas de fruta y por ende mejorar las utilidades.

A esto se suma, que las tecnologías de máquinas clasificadoras disponibles pueden resultar costosas, de difícil adaptación para el pequeño productor haciéndolas inviables en su adquisición.

Según lo anterior es necesario generar alternativas tecnológicas que cumplan con dichos requerimientos a partir de la integración de sistemas mecánicos y automatizados que faciliten en costo y funcionalidad esta actividad, permitiendo a estos productores mejorar sus procesos en tiempo y rendimiento en la clasificación por tamaño.

Para ello se propone un prototipo cuya ventaja se fundamenta en optimizar el proceso de clasificación de la fruta, con un diseño ajustado a las necesidades de la finca y de fácil operación para la misma.

Con respecto a otras tecnologías, el aporte como ingenieros radica en tecnificar el proceso mediante la creación de una máquina cuyo diseño es flexible en su tamaño, de fácil operación, menos costoso y adaptado a los requerimientos específicos del cliente a partir del uso de principios básicos de mecánicos para su manipulación y operación; este diseño se puede replicar a otras fincas productoras de Pitahaya.

El presente proyecto, desarrollado desde el área de ingeniería mecánica, busca fomentar una aplicación integrada del conocimiento, el cual parte de la fundamentaciones técnicas y teóricas que proporcionan las distintas áreas temáticas de la ingeniería, puesto que en la industria no existe exclusión de áreas, sino por el contrario, estas se juntan para una meta en común, solucionar problemas.

1. Capítulo:

1.1. Antecedentes

Investigaciones recientes plantean un gran avance en sistemas de clasificación mediante técnicas de procesamiento de imágenes como lo indica Kishan (2021); sin embargo, el uso de lenguaje Arduino para controlar parámetros basados en peso resulta muy útil y económico como lo indica Ric (2021); a continuación, se presentan algunos artículos científicos que caracterizan el estado actual del uso de métodos de clasificación de frutas.

Otra investigación realizada planteo el diseño de una máquina clasificadora de frutas a partir de un concepto basado en vectores de soporte (SVM), así como modelos de pesaje desarrollados utilizando el sistema de inferencia neuro difuso adaptativo optimizado (ANFIS) acoplado a un sistema de visión artificial; los autores basaron sus esfuerzos en modelos de pesaje con enfoque ANFIS híbrido, para lo cual emplearon dos algoritmos de optimización, a partir de modelos GA-ANFIS para diferentes tamaños de población. En el último enfoque, se han evaluado diferentes modelos PSO-ANFIS variando los parámetros más influyentes. Desde un punto de vista económico, esta forma indirecta de pesar las frutas pueden ser útil para los fruticultores y comerciantes a la hora de decidir el mercado en función del tamaño y peso de la fruta antes del envasado. (Phate, R., & Palanisamy, 2021)

El uso de tecnologías tipo Load Cell y Arduino para desarrollar un sistema de clasificación de frutas de variedades de limón en función de su peso y tamaño, este proceso automatizo el método y empleo para su funcionamiento un motor de lavadora que

controla el proceso de clasificación y una velocidad. También se utilizó un sensor de celda de carga para pesar los limones clasificados. Después de clasificar y pesar los limones, el Arduino Nano envía los datos al sistema de la aplicación de escritorio y muestra los limones clasificados, el tamaño y su peso (Domingo & Ric, 2021).

El uso de técnicas de clasificación para la pitahaya o fruta del dragón, a partir del uso de algoritmos de aprendizaje automático (CNN, ANN y SVM) permite ampliar con mayor exactitud el uso de otros parámetros como tamaño, peso y color para la selección de esta; para el caso de la red neuronal artificial, esta consta de tres capas, una de entrada, una capa oculta y una capa de salida. La función de sesgo y los pesos de todos estos parámetros están conectados a las neuronas, las cuales se encargan de procesar los datos para el proceso de clasificación (Patil, Lande, Nagalkar, Nikam, & Wakchaure, 2021).

El desarrollo de una celda de carga combinada con una plataforma Arduino para automatizar el proceso manual de selección de clasificar frutas de lima-limón; este desarrollo usó un motor que controla el proceso de clasificación y la velocidad de transporte de la fruta sobre la banda lo que permite visibilizar los limones clasificados y el tamaño de estos junto con su peso (Reyes, 2021).

El método de procesamiento de imágenes y aprendizaje profundo se convierte en una opción de automatización con un mínimo margen de error en procesos de clasificación de frutas por peso, tamaño y madurez, ya que emplea para su lógica estándares o parámetros técnicos precisos ajustados a un mercado en particular, lo que le proporciona al agricultor confiabilidad en la fruta comercializada (Menon, Jain, Janardhan, & DeepaD, 2021).

Otros estudios parten del diseño de una máquina clasificadora por peso y contadora de tomate de árbol, la cual emplea un subsistema de alimentación conformado por una tolva y una banda transportadora y un subsistema de control el cual integra una galga extensiométrica, un sensor capacitivo, un servomotor, un variador de frecuencia y un microcontrolador PIC 16F1517 el cual se programa mediante lenguaje ADC; el diseño de control de la máquina corresponde al tipo ON/ OFF, ya que a través de las galgas se medirá el peso del tomate cuando el sensor capacitivo que gobierna esa zona de clasificación detecte un valor verdadero, lo que conlleva a que el controlador genere una interrupción y de forma secuencial ejecute las líneas dentro del bloque del programa (Urgilés, 2021).

Ahora bien, el proceso de clasificación de frutas emplea de acuerdo con la escala de producción del agricultor, dos métodos; uno manual en donde el criterio subjetivo del trabajador establece a partir de su experiencia el parámetro de clasificación, este método presenta un alto margen de error, sin embargo es económico y empleado por productores pequeños; el método mecánico, el cual usa maquinaria adaptada y combinada con sistemas o dispositivos electrónicos (sistema de rodillos, pantallas, sensores y fotoceldas para esta actividad, aquí el margen de error es mínimo y su coste puede variar en función del grado de tecnología empleada y el tamaño del equipo (Sravan & Tejaswini, 2020).

El desarrollo de un prototipo de máquina para clasificación de piña en función del color y el tamaño por medio de visión artificial, la cual se basó en un sistema de transporte por rodillos la cual posiciona la fruta, para escaneo mediante cámara Raspberry Pi dentro de un sistema de iluminación controlado, el sistema de clasificación mediante el accionamiento de cilindros neumáticos y la salida de la fruta por bandejas. El algoritmo se

desarrolló en Python mediante la utilización de librerías de Open CV. La clasificación tanto por color y forma se realizó mediante comparación de un valor denominado umbral. Se implementó una interfaz gráfica de usuario mediante una pantalla táctil y el control del prototipo se realizó mediante la Raspberry Pi. Para los resultados se realizó una comparación de la clasificación manual y la del prototipo (Rodríguez & Salazar, 2020).

El diseño de una máquina para la clasificación de tomate Chonto por tamaño, peso y color a partir de un proceso de transporte, el cual lleva la fruta a una posición definida, en dónde el sistema de visión toma una fotografía del producto para realizar el tratamiento de la imagen, para así determinar las características de este, luego por medio de varios actuadores cada producto es lanzado a una bandeja de despacho designada en algoritmo según parámetros técnicos establecidos en la NTC, lo que representa disminución de costos, tiempos y calidad en el producto para el agricultor (Domínguez & Casallas, 2020).

La construcción de un prototipo de máquina para clasificar aguacate Hass en función de su peso; este prototipo consta de una bandeja de alimentación en donde son depositados los aguacates, los cuales a partir de una rampa vibratoria con una inclinación de 10° , lleva la fruta hasta un módulo parametrizado como subsistema de clasificación. Una vez que los aguacates pasen por el subsistema de transporte y ordenamiento, estos se dirigen al subsistema de clasificación, donde en cada canal estará colocada una celda de carga, mismas que enviarán la señal al circuito de acondicionamiento para convertirla en una señal normalizada de 0 a 10 Voltios necesaria para ingresar al controlador (PLC Logo), en el cual por medio de la programación se establecerán a qué clase de aguacates pertenece cada uno, además por medio de un sensor de presencia se definirá la posición en la que se encuentra el aguacate, con la finalidad de activar los actuadores en el momento

adecuado, en este caso motores pequeños que con un sistema mecánico abrirán y cerraran las compuertas que corresponda según sea el caso (Hurtado B, 2015).

Otro estudio diseño una máquina clasificadora de Tunas por peso, empleando un sistema de biconos giratorios del elemento portador , los cuales disponen de una superficie esmerilada en sus extremos que apoyan sobre cintas motoras, preferentemente trapeciales, que los hacen girar por rozamiento y cuya velocidad lineal es regulable electrónicamente, resultando de ello que la velocidad de rotación y el sentido de giro de los biconos, dependan de la relación entre las velocidades lineales de avance de las cintas y la cadena de arrastre; la visualización completa de la superficie de la fruta por las cámaras de detección de parámetros ópticos; la identificación inequívoca de cada fruta; y la elección, preferencial del eje peduncular de la fruta como eje de rotación, así como su correcta orientación en sentido transversal al de avance de la cadena de arrastre. El software de control, instalado en el PC controla el sistema, recoge y analiza los datos suministrados por el sensor de impacto, obteniendo un dato para clasificar la fruta. En base a este dato envía una señal al microcontrolador del sistema de eyección para dirigir la fruta a la salida correspondiente. (Marmani, 2014).

El diseño de una máquina automatizada para la clasificación por peso de presas de pollo, a nivel mecánico estableció un sistema de bandas transportadoras inclinadas, la cual lleva las presas al sistema de clasificación compuesto a una banda horizontal pequeña, la cual se encuentra encima de la báscula, esta última permite sensor el peso de las presas en el momento que cada una de ellas este encima de la banda, además es la encargada de enviar los datos de peso al PLC para que este decida en que rango de clasificación se encuentra, según los parámetros que el usuario haya establecido (Gómez, 2014)

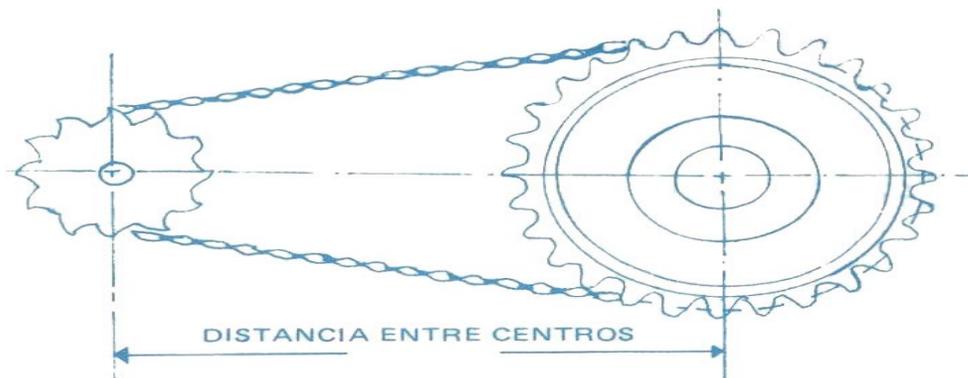
1.2.Marco teórico

1.2.1. Componentes estándar de una clasificadora

- Sistema de transmisión por cadena

Las cadenas de transmisión son la mejor opción para aplicaciones donde se quiera transmitir grandes pares de fuerza y donde los ejes de transmisión se muevan en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas como lo indica la figura 1-1.

Figura 1-1. Relación piñón cadena-plato



Nota. La Figura 1-1. Relación piñón cadena-plato corresponde a una visualización del sistema a emplear en el prototipo de clasificadora de pitahaya; (SENA, 2015).

Las transmisiones por cadenas son las más usadas por su carácter robusto, diseñadas para trabajar en condiciones ambientales adversas y con temperaturas elevadas, aunque requieren de lubricación. Además, proporcionan una relación de transmisión fija entre las velocidades y ángulo de giro de los ejes de entrada y salida, lo que permite su aplicación en automoción y maquinaria en general que lo requiera (SENA, 2015).

Para la selección de una cadena de rodillos se debe tener en cuenta (SENA, 2015):

- a. El paso
- b. Potencia a transmitir en caballos de fuerza

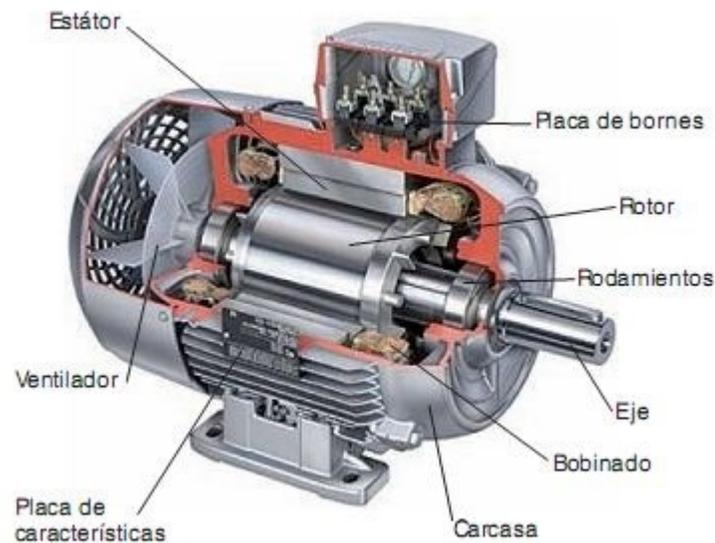
c. Naturaleza de la carga, si es uniforme o a choque

d. Sistema de lubricación

- Motor Eléctrico

Un motor eléctrico es esencialmente una máquina que convierte la energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, a través de medios electromagnéticos, las partes que lo componen se indican en la figura 1-2; la importancia de identificar sus partes radica en la forma como realizamos las conexiones eléctricas y mecánicas para convertir en movimiento mecánico o de giro.

Figura 1-2. Componentes del motor eléctrico usado en máquinas peladoras



Nota: La **Figura 1-2.** Componentes del motor eléctrico usado en máquinas peladoras establece los elementos principales que integran un motor eléctrico; (Matienzo, 2011)

Una vez conectado el motor a la fuente de energía mediante placas de bornes, esta induce el rotor, el cual a su vez gira el eje para convertir esa energía eléctrica, en energía de movimiento para la máquina.

1.2.2. Simulación y Software

El programa empleado para desarrollar el análisis técnico del prototipo es Autodesk Inventor, este es un programa para diseño mecánico avanzado en 3D, con modelado paramétrico, directo y libre, tiene una capacidad base para realizar diseño de piezas, sus dibujos y ensambles de partes.

Inventor ofrece simulación por elementos finitos, sistemas de movimientos y administración de datos; también es posible someter el diseño a una validación virtual variando sus parámetros, analizando su resistencia. En este caso las piezas simuladas corresponden a la estructura soporte sobre la cual se aplican las fuerzas como el caso de la carga útil.

De acuerdo con la información preliminar encontrada y condensada en el estado del arte, se ha podido establecer que, pese a que existen aplicaciones específicas de máquinas clasificadoras para frutas, que emplean diferentes métodos como el mecánico, químico y térmico entre otros, no existe una para la clasificación de Pitahaya.

De acuerdo con lo anterior es necesario plantear una solución específica para las demandas y necesidades de la finca y de otros productores, para lo cual se propone el diseño y construcción de un prototipo para la clasificación Pitahaya amarilla en la finca La Perdomo de la Plata (Huila).

2. Capítulo 2: Parámetros de diseño

A continuación, se describen los parámetros y criterios de diseño contemplados para la selección de prototipo a desarrollar a partir de un análisis de requerimientos, los cuales se establecen en la matriz morfológica.

2.1 Características geométricas de la fruta de pitahaya

De acuerdo con el trabajo de campo realizado en la finca la Perdomo en donde se muestrearon 40 frutas para determinar la geometría en función del diámetro y longitud mediante pie de rey marca Mitutoyo se tienen los siguientes resultados:

Tabla 2-1. Geometría Pitahaya según estudio de campo

#	Ø (cm)	Longitud (cm)	#	Ø (cm)	Longitud (cm)
1	6,7	10,12	21	7,95	8,53
2	8,9	13,15	22	6,88	8,25
3	9,01	9,54	23	5,76	7,37
4	7,03	8,66	24	6,93	7,94
5	8,23	9,25	25	8,89	10,57
6	6,16	8,26	26	10,15	11,83
7	7,28	10,12	27	9,25	10,98
8	5,25	7,52	28	5,77	8,01
9	7,1	8,43	29	6,86	8,25
10	9,7	10,86	30	9,1	11,28
11	11,12	13,45	31	10,12	12,9
12	11,78	14,12	32	10,95	13,15
13	9,05	11,07	33	9,67	11,7
14	10,15	12,02	34	8,77	10,24
15	8,09	10,34	35	9,79	11,75
16	9,56	11,21	36	10,65	12,28
17	6,77	8,91	37	9,74	10,65
18	10,75	11,25	38	6,9	8,96
19	6,59	8,24	39	7,51	9,77
20	10,25	11,83	40	7,98	9,23

Nota: La **Tabla 2-1.** Geometría Pitahaya según estudio de campo

Al agrupar estas geometrías en función de sistema de comercialización de la fruta según el propietario de la finca estos deben estar por debajo y encima de 8 cm; según lo anterior se tienen los siguientes resultados:

Frutas menores a 8 cm de diámetro

Tabla 2-2. Rango de clasificación de diámetro menor a 8 cm

#	Ø (cm)	Longitud (cm)
1	6,7	10,12
4	7,03	8,66
6	6,16	8,26
7	7,28	10,12
8	5,25	7,52
9	7,1	8,43
17	6,77	8,91
19	6,59	8,24
21	7,95	8,53
22	6,88	8,25
23	5,76	7,37
24	6,93	7,94
28	5,77	8,01
29	6,86	8,25
38	6,9	8,96
39	7,51	9,77
40	7,98	9,23
Media	6,79	8,62

Nota. En la **Tabla 2-2.** Rango de clasificación de diámetro menor a 8 cm se muestra las diferentes geometrías obtenidas postcosecha en la finca la Perdomo.

Según lo anterior el diámetro promedio de la muestra es de 6,79 cm y su longitud promedio es de 8,62 cm.

Frutas mayores a 8 cm de diámetro

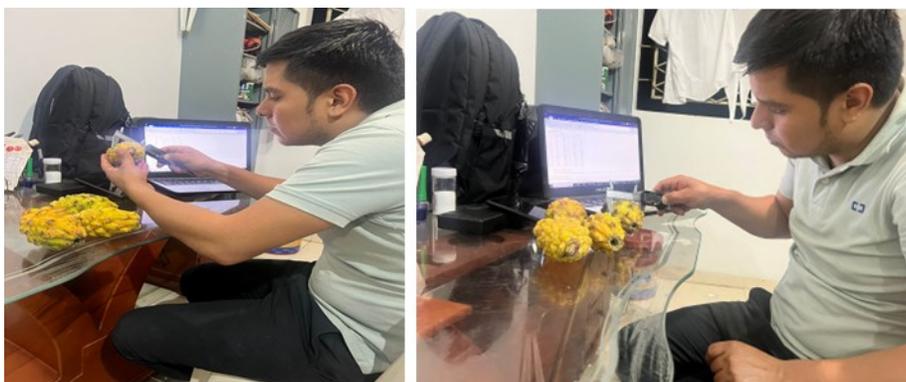
Tabla 2-3. Rango de clasificación de diámetro mayor a 8 cm

#	Ø	Longitud
2	8,9	13,15
3	9,01	9,54
5	8,23	9,25
10	9,7	10,86
11	11,12	13,45
12	11,78	14,12

13	9,05	11,07
14	10,15	12,02
15	8,09	10,34
16	9,56	11,21
18	10,75	11,25
20	10,25	11,83
25	8,89	10,57
26	10,15	11,83
27	9,25	10,98
30	9,1	11,28
31	10,12	12,9
32	10,95	13,15
33	9,67	11,7
34	8,77	10,24
35	9,79	11,75
36	10,65	12,28
37	9,74	10,65
Media	9,72	11,54

Nota. La **Tabla 2-3**. Rango de clasificación de diámetro mayor a 8 cm se muestra las diferentes geometrías obtenidas postcosecha en la finca la Perdomo.

Según lo anterior el diámetro promedio de la muestra es de 9,72 cm y su longitud promedio es de 11,54 cm.



De acuerdo con lo anterior, el sistema de clasificación de la Pitahaya debe contemplar frutas cuyo diámetro sea menor o mayor a 8 cm.

2.2 Requerimientos de diseño

Los requerimientos identificados fueron recopilados a partir de visita de campo a la finca la Perdomo de La Plata (Huila), el enfoque de este proceso se diseñó en función de

factores claves para el productor como costo, facilidad de manipulación, mantenimiento, funcionamiento, impacto ambiental; a partir de ello se construye una matriz de requerimientos en donde se establecen las razones de este por parte del cliente o beneficiario.

Los resultados obtenidos de la entrevista con el productor se consolidan a continuación en la tabla 2-4:

Tabla 2-4. Relación y descripción de requerimientos

Ítem	Criterio	Requerimientos	Razones del requerimiento
1	Costo	El costo de adquisición sea bajo.	Equipos alto costo, pero no solucionan la temática, dado que no hay máquinas clasificadoras de Pitahaya.
2	Manipulación	Facilidad de uso, pasos sencillos.	Equipos tienen instrucciones que confunden su operación
3	Mantenimiento	Piezas de fácil consecución y comerciales.	Repuestos costosos
4	Funcionamiento	Que realice la clasificación como debe ser.	Proceso Manual, pérdida tiempo, devoluciones, pérdida de fruta
5	Ambiental	Amigable con el ambiente	Ica y Asohofrucol certificado y origen producción limpia en BPA
6	Transporte	Que no sea muy pesada para poder transportarse con facilidad	Equipos muy pesados

Nota. La **Tabla 2-4.** Relación y descripción de requerimientos muestra los resultados de la entrevista informal con Carlos Perdomo, propietario y productor de Pitahaya en la Finca la Perdomo

De acuerdo con la Tabla 2-4. Relación y descripción de requerimientos, se plantea la interpretación o alcance dado, a cada uno de estos factores comprende la siguiente descripción:

Costo: Hace referencia al valor de fabricación o mano de obra, la cual puede influir en la decisión de compra.

Manipulación: Indica el grado de complejidad que puede presentar el operador o agricultor al operarla; es decir si requiere de algún grado de formación o capacitación complejo.

Mantenimiento: Este factor es fundamental, ya que permite establecer si la propuesta planteada requiere de tareas de limpieza, ajuste o cambio de sus elementos, adicionalmente de la facilidad de adquisición.

Funcionalidad: Este factor evalúa si el prototipo no presenta un complejo sistema de operación para el productor.

Ambiental: Este factor o dimensión indica el grado de impacto que tiene el prototipo sobre el medio ambiente a partir de la generación de emisiones o no.

Transporte: Evalúa el prototipo desde el punto de vista de su facilidad para el transporte o desplazamiento, por un lado, su peso y que este mismo facilite su manipulación para ser transportada a los sitios de producción y por ende cosecha.

De lo anterior se establece la importancia de contar con factores definidos en torno a la realidad de la operación de recolección, ya que esto permite simplificar el proceso de diseño; ahora bien, estos factores surgen de las expectativas que tiene el agricultor en cuanto a la solución planteada para la clasificación de Pitahaya.

2.3 Propuestas de diseño

Definidos los requerimientos en criterios o factores para su diseño, se plantearon los siguientes prototipos, los cuales contemplan los requerimientos, principios de funcionamiento y disponibilidad de equipos empleados en operaciones unitarias de

clasificación de Pitahaya; de esta manera, las alternativas a evaluar se centran en el método de funcionamiento, el tipo de clasificación, la fuente de alimentación en caso de ser necesaria, el peso y otras variables obtenidas mediante visita de campo en la tabla 2-3; de acuerdo con lo anterior se tiene:

Tabla 2-5.Resultados encuesta sobre requerimientos de diseño

Entrevistado	Como realiza la clasificación de Pitahaya	Que debe tener el prototipo a diseñar para que pueda realizar una buena clasificación y sea potencialmente adquirida
1	De forma Manual	Que sea de operación sencilla, que no sea pesada
2	De forma Manual	Que tenga un precio que permita recuperar la inversión
3	De forma Manual	Clasificación sin errores
4	De forma Manual	Que sea segura y de fácil mantenimiento
5	De forma Manual	Repuestos comerciales de fácil compra y que uno mismo los pueda hacer
6	De forma Manual	No maltrate la fruta

Nota. La **Tabla 2-5.**Resultados encuesta sobre requerimientos de diseño muestra los aspectos requeridos por los productores de Pitahaya en la zona de estudio; elaborada por el autor.

Como se observa en la tabla 2-5 los requerimientos resultantes de la encuesta comprenden el método manual de clasificación.

2.4 Análisis morfológico de alternativas

Descritos los factores y requerimientos, se procedió a elaborar una matriz morfológica para evaluación y selección de prototipo en función de la valoración o ponderación de estos factores, como se indica a continuación en la tabla 2-6.

Tabla 2-6. Matriz de evaluación prototipos

Ítem	Dimensión	Peso Factor %	Prototipo 1		Prototipo 2		Prototipo 3	
			Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado
1	Costo	13%		0		0		0
1	Manipulación	12%		0		0		0
3	Mantenimiento	14%		0		0		0
4	Integralidad funcional	14%		0		0		0
5	Ambiental	9%		0		0		0
6	Funcionalidad	18%		0		0		0
7	Transporte	16%		0		0		0
8	Estructural	4%		0		0		0

Fuente: Autor

La tabla 2-6 describe los factores usados para evaluar y seleccionar el prototipo planteado; de acuerdo con lo anterior, se asignó un peso a cada factor en función del nivel de importancia dado como requerimiento por el propietario de la finca; en la columna evaluación se registra la valoración dada la cual va en una escala de 1, 3 y 5 siendo 1 la peor valoración, 3 un valor que cumple, pero que no supera las expectativas del cliente y 5 aquel valor que da cumplimiento total al requerimiento; en la casilla resultado se registra de forma automática previa formulación en plantilla Excel el resultado de multiplicar el peso por la evaluación con respecto a cada prototipo; el valor de mayor peso en la suma de los factores corresponde aquel prototipo que cumple a cabalidad con las expectativas del agricultor.

2.5 Selección y caracterización de la alternativa escogida.

Realizado el proceso de evaluación de los prototipos y registrados los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2-7 a continuación:

Tabla 2-7. Tabla de evaluación

Ítem	Dimensión	Peso Factor %	Prototipo 1		Prototipo 2		Prototipo 3	
			Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado
1	Costo	13%	1	0,13	5	0,65	5	0,65
1	Manipulación	12%	5	0,6	5	0,6	5	0,6
3	Mantenimiento	14%	3	0,42	5	0,7	4	0,56
4	integralidad funcional	14%	3	0,42	3	0,42	2	0,28
5	Ambiental	9%	3	0,27	4	0,36	5	0,45
6	Funcionalidad	18%	5	0,9	5	0,9	5	0,9
7	Transporte	16%	1	0,16	5	0,8	3	0,48
8	Estructural	4%	3	0,12	3	0,12	5	0,2
		100%	3,02		4,55		4,12	

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 2-7, se puede indicar que con respecto al prototipo 1, su evaluación total fue de 3,02 sobre cinco. Los factores que incidieron en su baja calificación corresponden al costo, dado que sus repuestos son de difícil consecución; el uso de motor implica un aumento en el costo lo que a su vez incrementa el peso total del prototipo; esta opción se ubica en una tercera opción de diseño.; sin embargo, es funcional, pero no cumple con la totalidad de los requerimientos exigidos por producto de pitahaya.

Con respecto al prototipo 2, es una propuesta muy ajustada a los requerimientos, esto debido a que inicialmente emplea un sistema de selección regulado por motorreductor que gira a una velocidad muy baja lo que permite a la fruta ser clasificada sin maltratarla; el sistema es integrado lo que permite este proceso en un solo paso.

Las razones anteriormente descritas llevaron a que la opción de mayor conveniencia estuviera dada por el prototipo 2, el cual presenta diferencias marcadas a favor, las cuales se ven reflejadas en la máxima puntuación otorgada y cuyo valor fue de 4,55.

El prototipo 3, obtuvo la segunda mejor calificación, siguiendo casi los mismos factores del prototipo 2, a diferencia de que este emplea para su clasificación un sistema de tamiz vibratorio, por ende, uno de los mayores problemas es la regulación de la velocidad de vibración, la cual puede afectar la apariencia de la Pitahaya

De acuerdo con el análisis realizado en el capítulo 2, los factores planteados para seleccionar el prototipo corresponden a necesidades específicas del productor, producto de la experiencia en el cultivo de pitahaya.

Es de resaltar que el método de análisis morfológico facilita la selección de un diseño, ya que permite establecer diferentes criterios para la toma de decisiones relacionadas con el diseño mecánico de una solución; el caso particular para la evaluación del prototipo corresponden a la adaptación dada a estos requerimientos producto de la entrevista en la visita de campo presentada en la tabla 2-5, y de la cual se construyeron estos factores; claramente los criterios pueden variar, así como sus alcances, sin embargo resta en función del diseñador, interpretar estas necesidades, así como la propuesta, la cual debe estar socializada con el cliente, como se desarrolló en el transcurso de esta investigación.

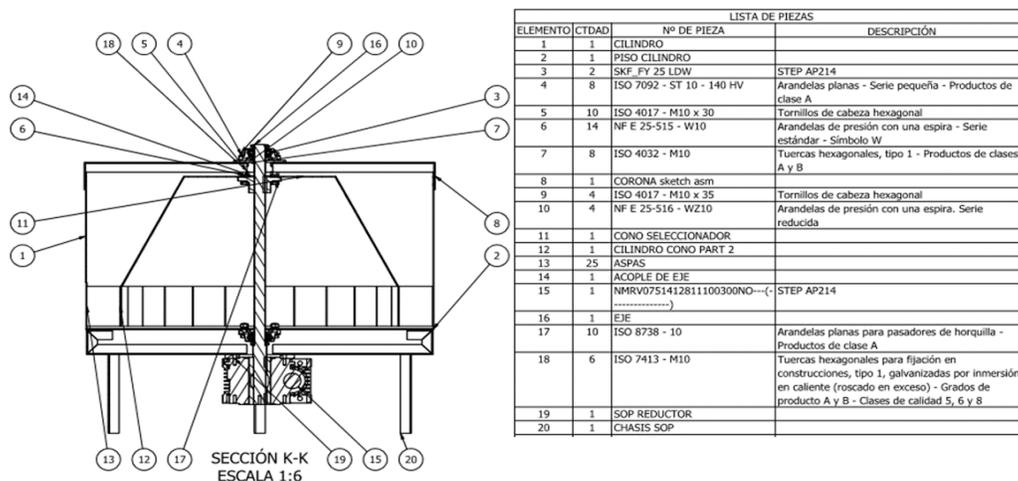
3. Capítulo 3: Diseño del prototipo

En el siguiente capítulo se presentan los cálculos correspondientes al diseño seleccionado con respecto al elemento eje y eje torsor puro, ya que la fuerza aplicada es la misma sobre este.

3.1 Componentes del prototipo seleccionado

El prototipo seleccionado consta de una tolva cilíndrica (1) la cual tiene en su base un piso cilíndrico (2); el dispositivo seleccionador consta de un cono seleccionador (11) en el cual hay un acople de eje (14 y 16) con el fin de realizar el movimiento accionado por el motor para que las aspas (13) que componen el eje realicen la clasificación; unido al cono se encuentra un cilindro (12); los elementos fijos como chumaceras (3), corona (8) son fijados mediante arandelas (6), tornillos hexagonales (5, 9 y 18), arandelas de presión (10,17), la estructura descansa sobre 4 soportes (20), en la parte inferior se encuentra el reductor de velocidad (19) cuya función es regular la velocidad para que no maltrate la fruta. Estos componentes se indican en la figura 3-1.

Figura 3-1. Diseño de prototipo seleccionado



Nota. **Figura 3-1.** Diseño de prototipo seleccionado, componentes y la descripción del elemento.

3.2 Cálculo del eje

El eje está sometido a un par de torsión, el cual se determina según Molt a partir de la densidad que tiene la fruta para selección, con este valor se determina la fuerza P o carga; según lo anterior se tiene:

Para determinar la densidad de la Pitahaya se tomó como dato referencia el estudio de Ayala el cual estimo las características mecánicas de la pitahaya amarilla y cuyo valor se estimó en 0.85 Kg/m^3 (Ayala, 2017).

Ahora bien, conocida la densidad de referencia y partiendo del hecho de que en el dispositivo caben aproximadamente 25 Pitahayas, se puede determinar la carga total que ejerce el sistema.

De acuerdo con lo anterior se tiene la ecuación (1):

$$P_{pitaya} = \frac{\text{No pitayas}}{\text{densidad}} \quad \text{Ecu. (1)}$$

$$P_{pitaya} = \frac{25}{0.85 \text{ Kg/m}^3} = 29.4 \text{ Kg}$$

El diámetro de la seleccionadora es de 800 mm, esto a su diseño circular, el radio medio que es la mitad de las paletas es de 720 mm.

Al despejar el torque se tiene:

$$T = P_{pitaya} * r_{seleccionadora}$$

De donde:

$$P_{pitaya} = \text{Carga Total}$$

$r_{seleccionadora} = \text{radio seleccionadora}$; al reemplazar estos valores en (3.1) se tiene:

$$T = 29.4 \text{ Kg} * \left(\frac{0.72\text{m}}{2} \right) = 10.58 \text{ Kg.m}$$

Hallado el torque se procede a determinar la relación de transmisión partiendo de la base de una velocidad media de 10 rpm y un motor el cual gira a una velocidad de 1200 rpm, la cual se justifica en razón de que la relación más alta que se consigue en el mercado de una caja reductora cuya velocidad no maltrate la fruta es de 120:1, de aquí que se opte por esa velocidad media; a partir de estas velocidades angulares se determina la relación de transmisión mediante la ecuación (2), propuesta por Molt.

$$i = \frac{n_{entrada}}{n_{salida}} \quad \text{Ecu. (1)}$$

$$i = \frac{1200 \text{ rpm}}{10 \text{ rpm}} = 120$$

A partir de lo anterior se estima la potencia necesaria del dispositivo mediante la ecuación (3).

$$W = \frac{T * n_{salida}}{716 * fs} \quad \text{Ecu. (1)}$$

$$W = \frac{10.58 \text{ Kg.m} * 10 \text{ rpm}}{716 * 0.85} = 0.17 \text{ Hp}$$

Como en el comercio no se consiguen motores de 0,17 Hp, se optó de acuerdo con la disponibilidad en el mercado un motor cuya potencia comercial de 0.25 hp, el cual se adapta al requerimiento estimado, dado que la función de este no se relaciona con procesos que requieren grandes demandas de potencia, si no que su uso está definido para que genere el movimiento lento de la Pitahaya y de esta manera poder clasificar en función del tamaño, la misma.

Según lo anterior y como la fuerza que actúa sobre el dispositivo es la misma se procede a determinar la torsión pura sobre el eje, como se indica a continuación.

3.3 Cálculo del eje por torsión pura

El eje tiene una carga axial de 13.5 Kg con una carga útil de 29.4 Kg la cual se calculó mediante ecuación (1), se tiene que el par de torsión o momento que actúan sobre el eje resultan de la relación de potencia motor y transmisión en función a la relación de transmisión; según lo anterior se tiene:

Se despeja la torsión máxima generada a partir de la ecuación de potencia del motor mediante la ecuación (4) como se indica a continuación.

$$Hp = \frac{T * n}{716} \quad \text{Ecu. (4)}$$

De donde

$T = \text{trabajo} = 0,25 \text{ Hp}$

$n = \text{número de revoluciones por minuto}$

$T_{transmission} = \text{Relación de transmisión del motor en rpm}$

Al reemplazar se tiene:

$$T_{transmission} = \frac{0.25 \text{ Hp} * 716}{1200} * 120 = 17.9 \text{ Kg.m}$$

A partir de lo anterior se determina el momento equivalente mediante la ecuación

(5).

$$M_{equivalente} = \sqrt{T_{transmission}^2 + T^2} \quad \text{Ecu. (5)}$$

$$M_{equivalente} = \sqrt{17.9 \text{ Kg.m}^2 + 10.58 \text{ Kg.m}^2}$$

$$M_{equivalente} = 20.79 \text{ Kg.m}$$

El material empleado para el diseño y fabricación del eje es AISI SAE 4140 $\sigma = 74$ Kg/mm²

Dentro de las razones por las cuales se seleccionó este material, se debe su alta resistencia al impacto, a la fatiga y a la abrasión y se endurece por medio de tratamiento térmico. El acero 4140 es un acero de mediana templabilidad y puede ser endurecido por mediante recocido, ideal para el diseño y fabricación de máquinas de trabajo mediano y que no son sometidas a fuerzas de empuje altas. A partir de lo anterior y bajo este argumento se determina el esfuerzo corregido mediante la ecuación (6).

Donde:

$n =$ factor de seguridad

$S_y =$ esfuerzo corregido del material

$$S_y = \sigma * 0.35$$

$$S_y = 74 \text{ Kg. mm}^2 * 0.35 = 25.9 \text{ Kg. mm}^2$$

$$d = \left[\frac{32 \cdot n}{\pi * S_y} * M_e \right]^{1/3} \quad \text{Ecu. (6)}$$

$$d = \left[\frac{32 * 2}{\pi * 25.9 \text{ Kg. mm}^2} * 20.79 * 10^3 \text{ Kg. mm} \right]^{1/3}$$

$$d = 25.3 \text{ mm}$$

$$d \approx 25 \text{ mm}$$

3.4 Cálculo de esfuerzo máximo

Para el cálculo manual se consideran la carga útil la cual es de 80 Kg distribuida en los 4 puntos de apoyo, lo cual nos da una carga por punto de apoyo de 20 Kg, ahora bien,

el esfuerzo del material según sus características técnicas es de 345 Mpa, por lo tanto, se tiene la ecuación 7.

$$\sigma_{max} = \frac{M C}{I} = \frac{M}{S} \quad \text{Ecu. (7)}$$

Donde

M= Momento máximo

I= Inercia

C= distancia del eje neutro

S= Módulo de sección

$$S = \frac{I}{C} = \text{modulo de seccion}$$

Distancia= el diámetro del colector cilíndrico interno es de 803 mm como se indica en el anexo 2; al aplicar la carga útil en el centro, la distancia tomada resulta de la división de este valor por 2, lo cual nos da 401 mm, al convertir a metros nos da 0,401 m, según lo anterior se tiene:

$$\text{Momento (M)} = 0,401 \text{ m} * 20 \text{ Kg} = 8,02 \text{ Kg.m}$$

$$\text{Gravedad (g)} = 9.81 \text{ m/A} = \pi r^2$$

$$\text{Las unidades de Pa} = \frac{N}{m^2} = \frac{Kg}{m * s^2}$$

Constante de resistencia (σ)=Resistencia máxima a la tracción acero AISI

4140=345 MPa

$$S = \frac{M}{\sigma} = \frac{8,02 \text{ Kg.m} * 9.81 \frac{m}{s^2}}{345 \text{ Mpa}} = 0.524508 * 10^{-7} m^3 = 5,24508 * 10^{-6} m^3$$

Al reemplazar estos valores en la ecuación (7) se tiene:

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{8,02 \text{ Kg.m}}{5,24508 * 10^{-6} m^3} = 1,52905199 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma = 15,3MPa$$

El esfuerzo máximo calculado manualmente es de 15,3 Mpa; este valor al compararse con los parámetros del sistema el cual se realiza a continuación en el numeral 3.1.1 nos da el siguiente resultado.

3.5 Parámetros para Análisis de esfuerzos en estructura de soporte

Para la realización de este análisis se procede a determinar los parámetros los cuales se cargaron al software Autodesk Inventor para realizar la respectiva simulación para análisis finito de desplazamiento y esfuerzo máximo, así como la estimación del factor de seguridad como se indica a continuación:

Se despeja la carga del peso total con la carga útil, dando un total de 70 Kg, en este punto la carga resultante se distribuye sobre los cuatro apoyos que sostienen todo el conjunto o estructura, adicionalmente se considera para el estudio el peso que ejerce el sistema de transmisión en el centro del dispositivo, el cual es de 10 Kg.

A partir de lo descrito se definen las restricciones, las cuales arrojan los siguientes resultados con una margen de confiabilidad del 99,7 %.

En relación con las propiedades físicas del dispositivo se tiene:

Tabla 3-1. Valores de propiedades físicas del dispositivo.

Masa	3,178 kg
Área	2676,741 mm ²
Volumen	404,894 mm ³
Centro de gravedad	x=-12,648 mm y=37,758 mm z=2,539 mm

Fuente: Autodesk inventor

En cuanto a las propiedades físicas del material AISI 4140, necesarios para el proceso de simulación de los esfuerzos en el dispositivo, se tiene:

Tabla 3-2. Propiedades físicas del material AISI 4140

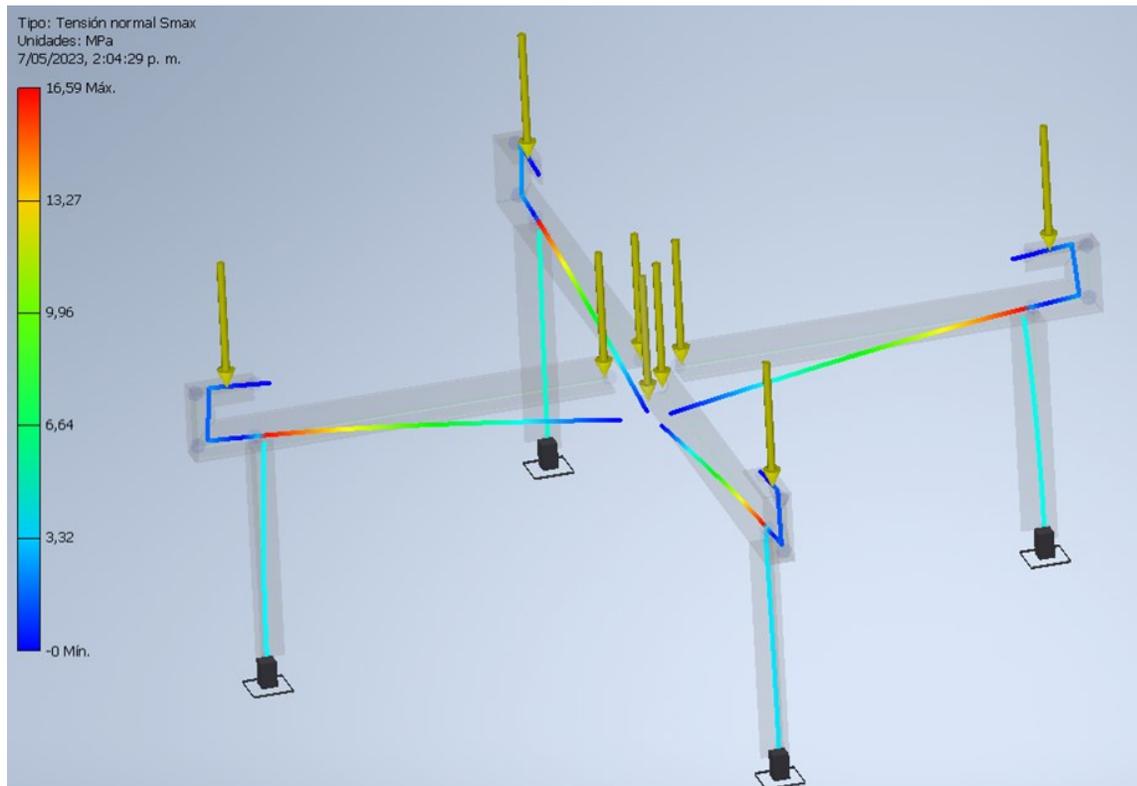
Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	220,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
Nombre(s) de pieza	AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147805926.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147806037.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147806151.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147806280.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147806429.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147806548.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147881905.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147882042.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147882165.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147882275.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147882392.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147882516.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147924743.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147948318.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147966266.ipt AISC (L 1 x 1 x 1_8) 1683147981962.ipt	

Fuente: Autodesk inventor

3.5.1. Análisis de tensión de la estructura de la clasificadora de pitahaya.

Para realizar el siguiente análisis se tiene en cuenta la carga útil, más el peso del dispositivo de transmisión el cual nos da un peso total de 80 Kg, el cual al aplicarlo como una carga distribuida sobre los 4 soportes presenta el siguiente comportamiento de tensión indicado en la figura 3-2.

Figura 3-2. Análisis de esfuerzos máximos de estructura de prototipo



Nota. Se observa el conjunto de los apoyos sobre los cuales actúa la carga total del sistema a esfuerzo máximo.

Este valor de tensión o esfuerzo que soporta el conjunto chasis al aplicar la carga sobre los apoyos muestra una condición de esfuerzo máximo es de 16.59 MPa y se concentra como lo indica la figura 3-2 sobre los apoyos y el centro del dispositivo; lo anterior indica un buen comportamiento de la estructura sin presentar una probable falla por cizallamiento o rotura.

A partir de los datos obtenidos se estima el factor de seguridad del diseño, obteniendo los siguientes resultados a partir de los valores conocidos de resistencia máxima a la tracción y esfuerzo máximo:

$$f_s = \frac{\text{resistencia maxima a la traccion}}{\text{esfuerzo maximo estructural}}$$

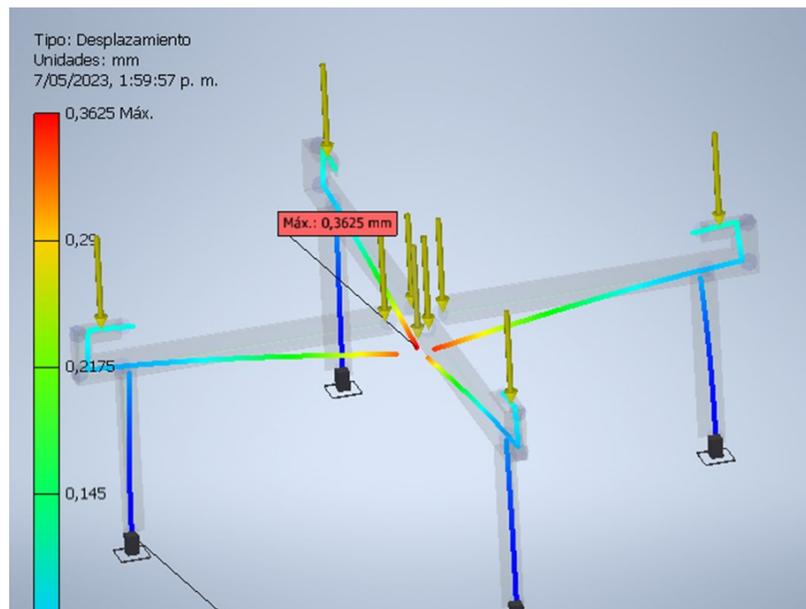
$$fs = \frac{345 \text{ MPa}}{16.59 \text{ MPa}} = 20.79$$

3.5.2. Análisis de desplazamiento de prototipo de clasificadora de Pitahaya

En la figura 3-3, se puede apreciar el desplazamiento del dispositivo al someterlo a una carga máxima sobre los puntos de apoyo es de máximo de 0.36mm, las zonas azules se interpretan como puntos en donde el dispositivo no experimenta ningún tipo de desplazamiento, loque permite inferir que no sufrirá deformaciones que comprometan la funcionalidad de esta.

Según lo anterior se puede concluir que el desplazamiento máximo sobre los apoyos no representa un riesgo de diseño para cumplir con su tarea de soportar los componentes del prototipo.

Figura 3-3. Comportamiento del dispositivo en función del desplazamiento máximo



Nota. En la figura 3-3 se establece el desplazamiento máximo que puede sufrir la estructura del dispositivo.

Al analizar el esfuerzo máximo por fatiga de la estructura se procede a multiplicar el factor de seguridad por la tensión máxima soportada por esta, según lo anterior se tiene:

$$\sigma_{fatiga} = 20,79 * 16,59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fatiga} = 344,90 \text{ MPa}$$

A partir de los resultados, se puede indicar que el dispositivo a nivel estructural puede trabajar sin riesgo de daño o deformación dado por la carga o fuerza soportada.

En conclusión, al ser el factor de seguridad mayor a uno, el prototipo diseñado puede cumplir con la función para la cual fue diseñado y no representa un riesgo desde el punto de vista del diseño.

4. Capítulo 4: Construcción del prototipo

A partir de los cálculos realizados y elaborados los planos de construcción en función de estos parámetros de cálculo se procedió a la construcción del prototipo de acuerdo con la siguiente secuencia presentada a continuación.

4.1 Adquisición de materiales y componentes

Este proceso tuvo como fin realizar la adquisición de materiales y elementos que integran el prototipo seleccionado según planos de construcción.

Tabla 4-1. Relación de materiales y elementos adquiridos

ítem	Relación Materiales y componentes	Imagen	descripción actividad
1	Rodamiento fijo		Esta actividad se adquirió un rodamiento de base fundida tipo F20A
2	lamina 4 x 8 de 20 mm		Compra de lámina para diseño de dispositivo
3	Motor		Adquisición de motor asíncrono con conexión monofásica

Nota. **Tabla 4-1.** Relación de materiales y elementos adquiridos relaciona materiales y componentes para la construcción del prototipo.

4.2 Proceso de mecanizado

De acuerdo con los materiales adquiridos, se procede a la mecanización de estos a partir de actividades como orlado, corte, doblado y pulido como se indican a continuación en la tabla 4-2.

Tabla 4-2. Proceso de mecanizado realizados para construcción del prototipo

ítem	Mecanizado piezas	Imagen	Descripción
1	Rolado lamina		Actividad que consiste en el doblado cilíndrico de la lámina de acero inoxidable, para dar forma cilíndrica al dispositivo de selección
2	Corte Lamina		Actividad que consiste en cortar mecánicamente los perfiles según medidas de diseño para el armado de la estructura
3	Corte perfiles		Actividad que consiste en cortar los perfiles para la construcción de las vigas que conforman la estructura

Nota. El **Tabla 4-2.** Proceso de mecanizado realizados para construcción del prototipo incluye operaciones de rolado, doblado, corte y pulido.

4.3 Ensamble prototipo

En esta etapa se procedió a realizar el proceso de armado del prototipo en función de las actividades planificadas en diseño para la construcción de este, como se indican a continuación en la tabla 4-3.

Tabla 4-3. Proceso de ensamble prototipo de clasificación para pitahaya

Ítem	Ensamble prototipo		
Alistamiento materiales para ensamble	Rolado y armado cilindro colector	Armado pieza cilíndrica +dispositivo clasificador	Acople de refuerzos cilindro colector
 <p>Ensamble soportes y dispositivo colector (soldadura 6013 x 8) West arco</p>			
	Acople de rodamiento + motor		
			

Nota. La **Tabla 4-3.** Proceso de ensamble prototipo de clasificación para pitahaya describe la secuencia empleada para el armado del prototipo de clasificadora.

4.4 Acabado del prototipo

Como parte final del proceso de ensamble se procedió a realizar las actividades de acabado sobre el prototipo, los cuales se comprenden de lijado, aplicación de pintura antioxidante y pintura final como se indica a continuación en la figura 4-1.

Figura 4-1. Acabado prototipo



Nota. La **Figura 4-1.** Acabado prototipo muestra el proceso final de diseño del prototipo de máquina clasificadora de Pitahaya.

5. Capítulo 5: Evaluación de prototipo

Una vez construido el prototipo se evaluó su desempeño en función del tiempo de clasificación y el número de pitayas no clasificadas, obteniendo los siguientes resultados:

5.1 Tiempo de clasificación

Para analizar el tiempo de clasificación se realizaron 15 ensayos con variaciones en las cantidades seleccionadas, el tiempo que duro la clasificación se midió tomando como base el instante en que se alimenta el cilindro receptor hasta que sale la última granadilla según el tamaño; los resultados alcanzados muestran lo siguiente:

Tabla 4-4. Tiempo medio de clasificación

Muestra	Cant (Kg)	T(s)
1	8	108
2	9	102
3	9	100
4	10	104
5	9	102
6	8	104
7	9	107
8	7	117
9	9	100
10	8	97
11	7	115
12	8	125
13	7	115
14	8	118
15	8	119
Media (\bar{U})	8	109

Nota. La **Tabla 4-4.** Tiempo medio de clasificación muestra la relación de ensayos con el tiempo empleado para clasificación

Realizado los 15 ensayos para clasificación los resultados muestran que, para clasificar 8 Kg, el tiempo empleado de clasificación es de 109 segundos, es decir 1,49 minutos. De lo anterior se puede concluir que la clasificadora puede procesar 322 Kg/ Hr,

el cual resulta de la operación de llevar la cantidad procesada en horas a partir del tiempo promedio.

5.2 Errores de clasificación

Para determinar la tasa de error en la clasificación, el proceso realizado se midió en por unidad mal clasificada verificada en las canecas dispuestas para recibir la fruta; los resultados obtenidos indican lo siguiente:

Tabla 4-5. Tasa de error en clasificación en unidad de Pitahaya

Muestra	Cant (u)	Error (# un mal clasificadas)	Margen de error
1	16	0	0%
2	18	0	0%
3	18	0	0%
4	20	0	0%
5	18	0	0%
6	16	0	0%
7	18	0	0%
8	14	0	0%
9	18	1	6%
10	16	0	0%
11	14	1	7%
12	16	0	0%
13	14	0	0%
14	16	0	0%
15	16	0	0%
# un	248	2	0,8%

Nota. La **Tabla 4-5.** Tasa de error en clasificación en unidad de Pitahaya muestra el error estimado por unidad mal clasificada.

En total se vaciaron 248 un de diferentes tamaños en 15 repeticiones; se obtuvieron 2 muestras mal clasificadas lo que marca un error del proceso del 0,8% lo cual resulta de dividir las unidades rechazadas sobre el total de unidades.

Ahora bien, como en la problemática se estableció que por cada 5500 kg el margen de devolución era de 258,5 Kg (4,5%), al contrastar este valor con el realizado en la muestra se tiene:

La cantidad empleada fue de 124 Kg y la cantidad rechazada fue de 1,2 Kg, lo cual equivale a un 0,97%. Si se toma como base los 5500 Kg procesados y se multiplica por la tasa de error calculada por la clasificadora se tiene que por cada 5500 Kg procesados el margen de devolución es de 53,22 Kg lo cual significa una reducción de la tasa de devolución del 79 % frente al proceso actual.

6. Conclusiones

Los requerimientos de diseño que se deben considerar al momento de diseñar una clasificadora de Pitahaya, según los productores están asociados a un menor tiempo de clasificación, costo de mantenimiento, la fácil operación (manipulación), ambientalmente sostenible y que sea de fácil transporte, dado que al compararse con tecnologías actuales resultan más costosos, menos versátiles en su uso y equipos que consumen combustibles o en su defecto energía eléctrica, lo cual en algunas áreas de producción de la fruta puede ser una limitante.

El prototipo diseñado corresponde a un prototipo de forma cilíndrica, cuyo conjunto cilindro colector, bandeja dosificadora y eje descansan sobre una estructura rígida de 4 puntos de apoyo en los cuales se concentra las cargas que actúan sobre los mismos soportes; es accionada por un motor de 0,25 Hp eléctrico el cual es holgado, ya que su función es generar el movimiento tipo centrifuga mediante reductor con el fin de poder guiar la fruta hasta las bocas de salida diseñadas para clasificar las frutas menores o mayores a 8 cm; al realizar el análisis finito mediante método Von Mises se estableció que este al trabajar a un esfuerzo máximo de 16, 59 Mpa presenta un desplazamiento máximo de 0,3625 mm con un factor de diseño de 20,79 el cual es mayor a uno lo que indica que el prototipo puede trabajar a máximo esfuerzo sin presentar fallos estructurales.

Se construyo el prototipo según planos de fabricación empleando para ello un motor de 0,25 Hp, lamina de acero y perfil en acero 4140 para los cuatro puntos de apoyo; para el acople de los elementos de generación de potencia se emplearon tornillos de cabeza

hexagonal, arandelas planas para pasadores de horquillas, así como de presión con una espira.

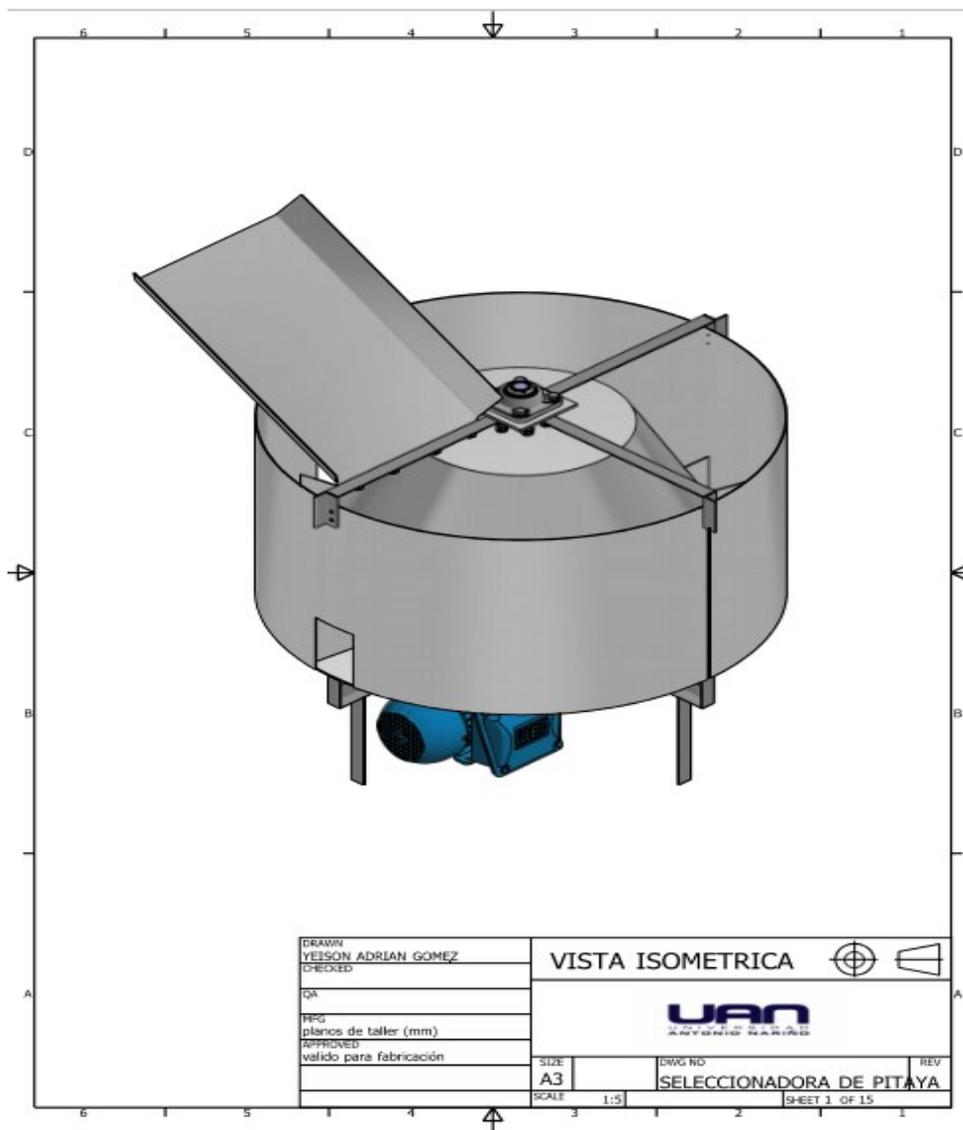
En cuanto a la evaluación realizada en función del tiempo y los errores de clasificación se determino que la clasificadora de pitaya procesa 322 Kg/Hr con una tasa de devolución del 0,97 % por cada 5500 Kg clasificados.

7. Recomendaciones

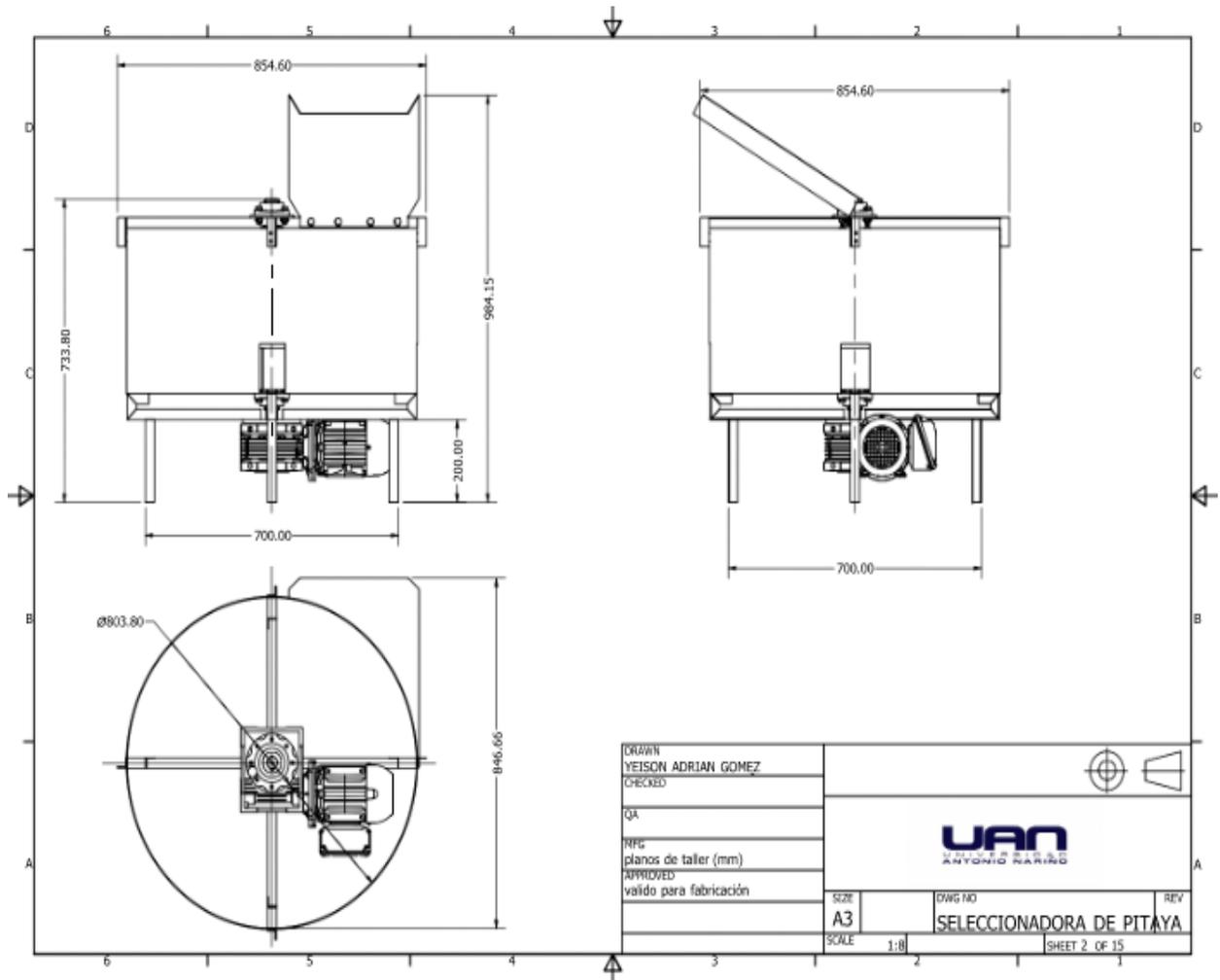
1. Es importante contemplar un sistema de parada de emergencia con el fin de eliminar la probabilidad de un incidente.
2. Se pueden evaluar suplir la fuente de suministro de energía eléctrica por energías renovables.
3. Para facilitar el proceso de operación por parte de personal operador se recomienda elaborar un manual didáctico para su entrenamiento en modo de operación.
4. Puede emplearse una señal sonora de bajo rango de decibles para indicar operación del prototipo en ambientes abiertos y evitar incidentes.
5. Se puede realizar una actualización tecnológica en función del sistema de clasificación mediante la implementación de contadores.

8. Anexos

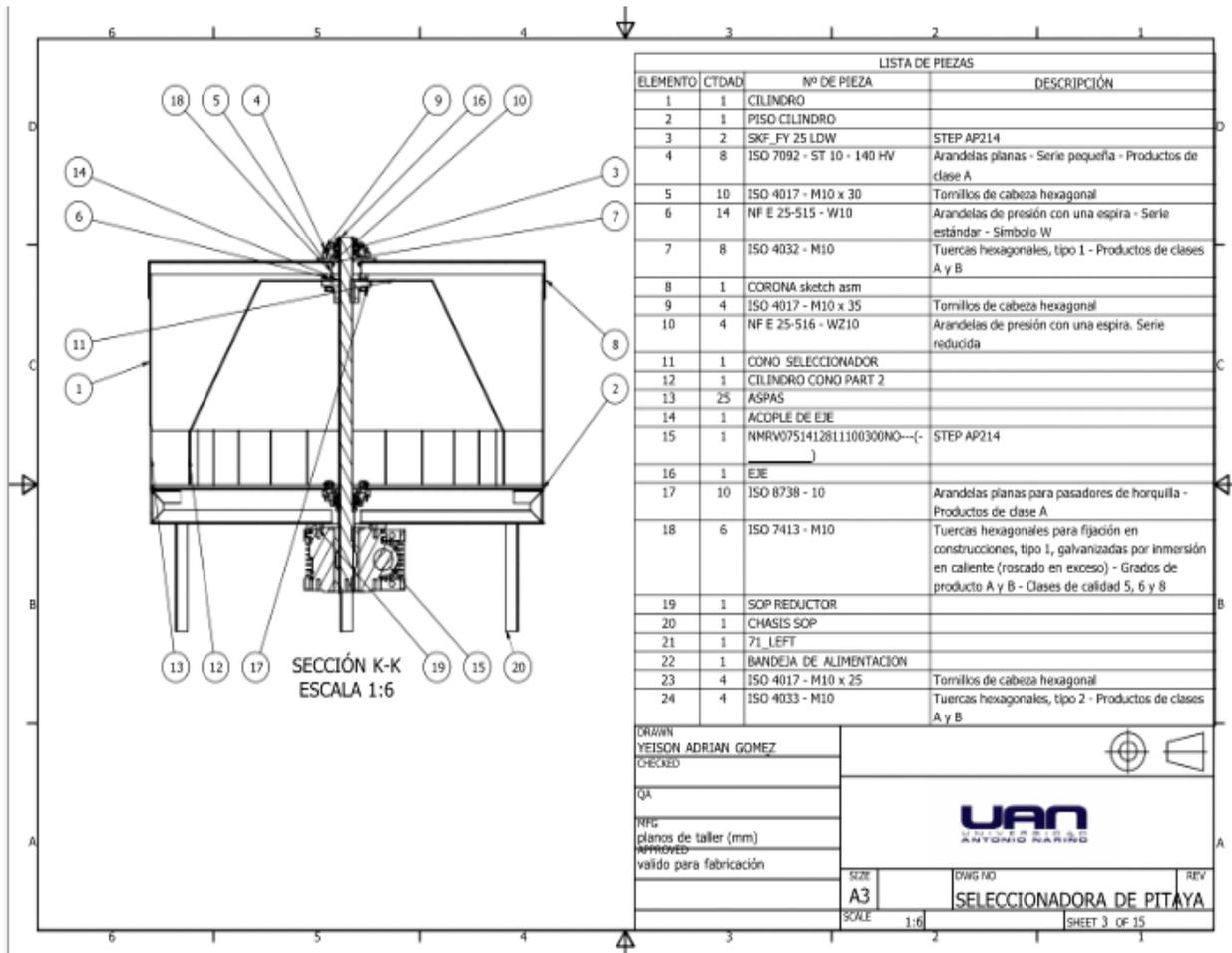
Anexo 1. Prototipo desarrollado



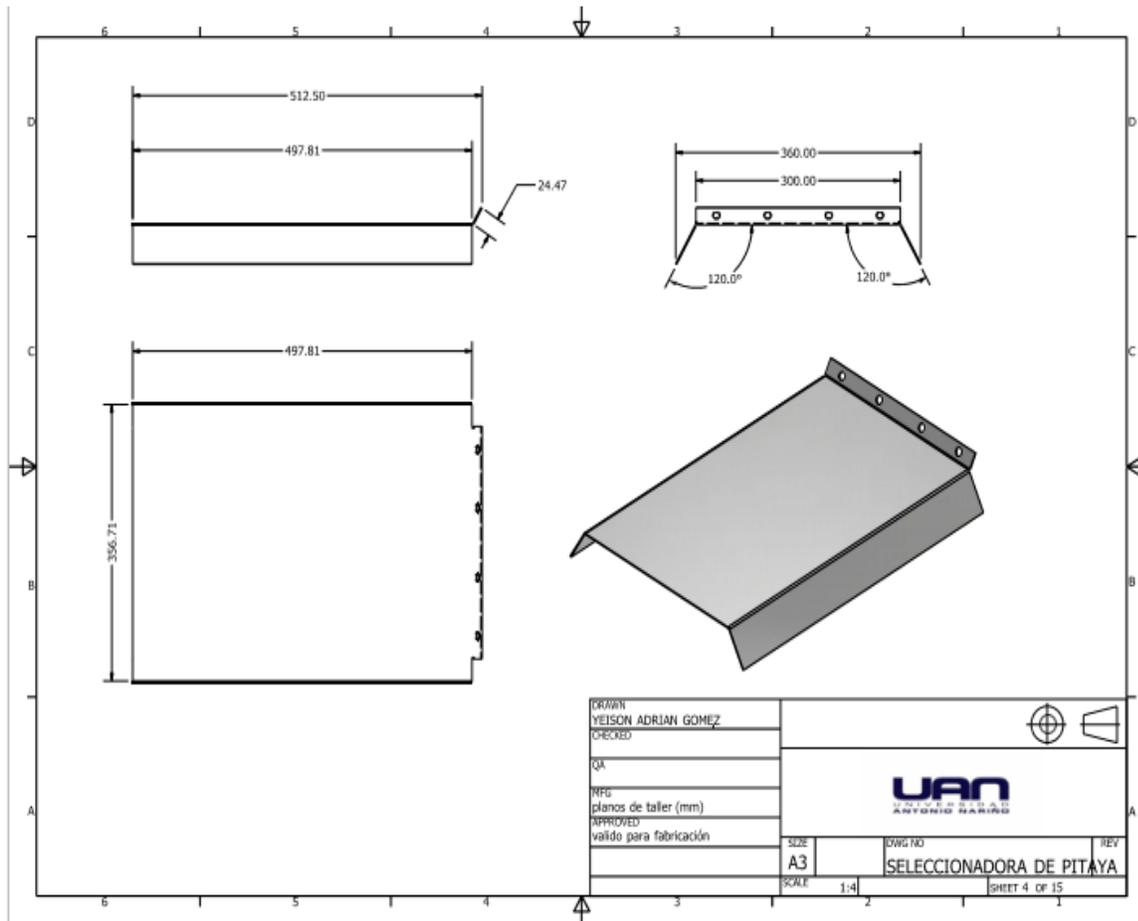
Anexo 2. Vista lateral prototipo



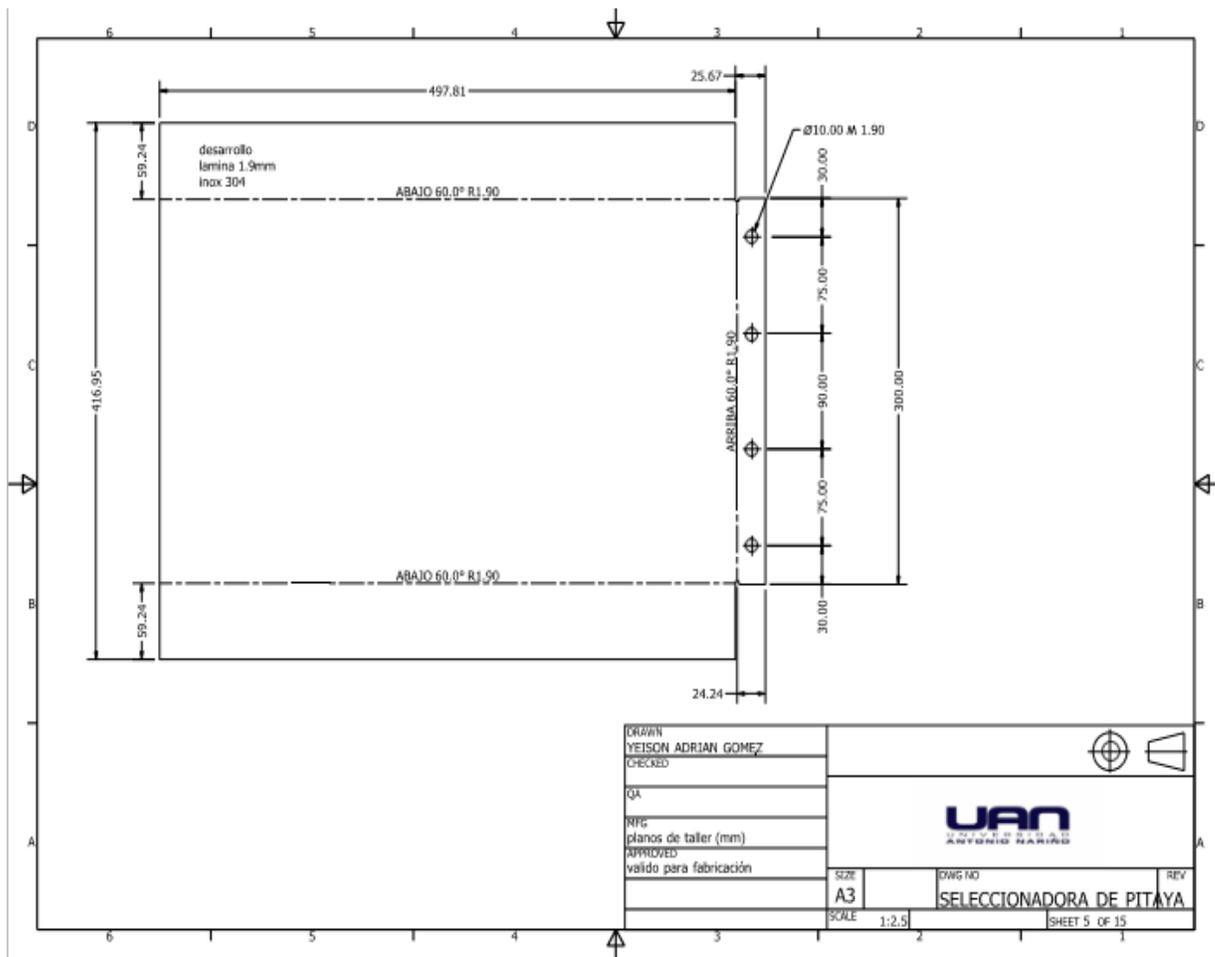
Anexo 3.. Despiece prototipo



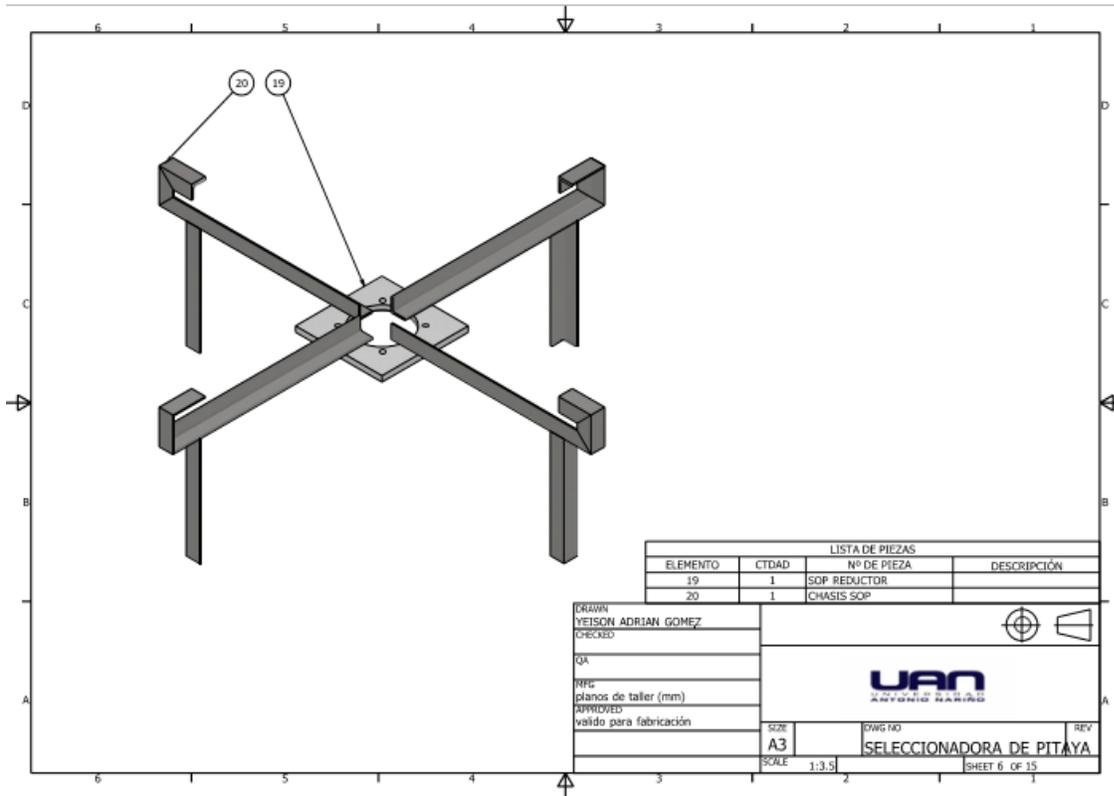
Anexo 4. Bandeja a Guía



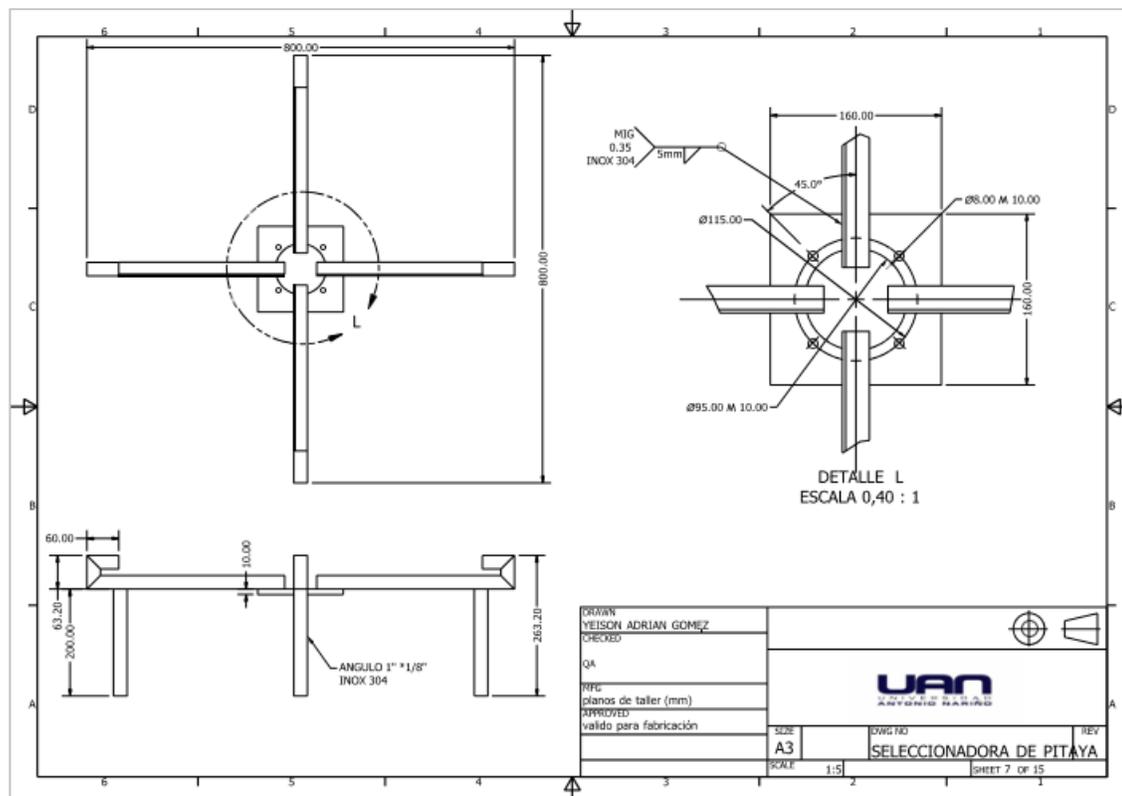
Anexo 5. Vista lateral soportes



Anexo 6. Isométrico soporte estructura



Anexo 7. Detalle estructura



Referencias Bibliográficas

- Agronet. (s.f.). Recuperado el 26 de Febrero de 2022, de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Agrosavia. (2022). *manejo de postcosecha de la fruta de Pitahaya en colombia*. Bogotá: Agrosavia.
- Avogoconsulting. (s.f.). Recuperado el 26 de Febrero de 2022, de <https://avogoconsulting.com/subtropicales/mercado-consumo-fruta-del-dragon-2020/>
- Ayala, A. (2017). CHANGES IN MECHANICAL PROPERTIES DURING OSMOTIC DEHYDRATION OF YELLOW PITAHAYA. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 2.8.
doi:[http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(15\)39-48](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(15)39-48)
- CORPOICA. (2013). *Tecnología para el manejo de Pitahaya amarilla*. Bogotá: CORPOICA.
- Domingo, O., & Ric, J. (2021). *Load Cell and Arduino Technology as Lemon Fruit Classifier*. Philippines: Science direct.
- Domínguez, C., & Casallas, H. (2020). *Diseño de una máquina para la clasificación de tomate chonto*. Bogotá: USALLE.
- Gómez, F. (2014). *Diseño de una máquina automatizada para la clasificación de pollo*. Santiago de Cali: UAC.
- Hurtado B, T. L. (2015). *Máquina para clasificar aguacates por peso*. Ibarra (Ecuador): Universidad Tecnica del Norte.
- ICA. (2012). *El Cultivo de la Pitahaya*. Bogotá: ICA.
- ICA. (23 de Agosto de 2020). *ICA*. Recuperado el 28 de Julio de 2022, de <https://www.ica.gov.co/noticias/agricola/2016/el-cultivo-de-la-pitahaya-expande-su-aroma-en-el-h>
- Marmani, D. (2014). *Diseño de máquina clasificadora de tunas teniendo en cuenta como parametro el peso específico*. Tacna (perú): universidad Nacional Jorge Basadre.
- Matienzo, b. (12 de Junio de 2011). *sites.google.com/*. Recuperado el 23 de Marzo de 2021, de sites.google.com/:

<https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>

- Menon, K., Jain, H., Janardhan, V., & DeepaD. (2021). *Digital grading and sorting of fruits* (Vol. 43). Bengaluru (India): Science direct.
- Minagricultura. (2018). *Informe nacional de prduccion agricola*. Bogota: MRS.
- MINAGRICULTURA. (2022). *PITAHAYA-2017*. Bogotá: MINAGRICULTURA.
- Ortega, F. (2020). *Obtención de Pitahaya Amarilla (Selenicerus megalanthus (K. Schum) ex Vaupel) Deshidratada Mediante el Tratamiento de Convección en la Vereda Jerico Municipio de Palestina*. Pitalito: UNAD.
- Patil, P., Lande, S. B., Nagalkar, V. J., Nikam, S. B., & Wakchaure, G. (2021). *Grading and sorting technique of dragon fruits using machine learning algorithms*. Barama (India): Science Direct.
- Phate, V. M., R., & Palanisamy, P. (2021). *Classification and Indirect Weighing of Sweet Lime Fruit through Machine Learning and Meta-heuristic Approach*. Nadu (India): Taylor & Francis.
- Reyes, J. R. (2021). *Load Cell and Arduino Technology as Lemon Fruit Classifier*. Matti (Filipinas): Science Direct.
- Rodríguez, J., & Salazar, J. (2020). *Diseño, construcción y automatización de un prototipo de máquina clasificadora de piñas de acuerdo al color y forma por medio de visión artificial*. Riobamba (Ecuador): EPC.
- SENA. (12 de Marzo de 2015). *SENA*. (SENA) Recuperado el 29 de Abril de 2020, de https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_máquinas/vol7/volumen07.html#
- SIR-HUILA. (1 de Enero de 2021). Recuperado el 18 de Enero de 2022, de <https://www.sirhuila.gov.co/socio-economica-economicas-agropecuario-agropecuario/>
- Sravan, T., & Tejaswini, V. (2020). Advances in Grading of Fruits. *VIGYAN VARTA*, 1(18), 52-58.
- UNIANDÉS. (9 de Enero de 2018). Recuperado el 27 de Enero de 2022, de <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2018/11/09/la-fruta-escamosa-pitahaya/>
- Urgilés, J. (2021). *Diseño y simulación de una máquina clasificadora y contadora de tomates de arbol*. Cuenca (Ecuador): Universidad Politécnica Saleciana.

