



**Desarrollo De Un Prototipo De Clasificadora De Tamaño Para Limón Común En
La Finca Venados De Guacirco (Huila)**

Jesús Francisco Cuellar Pérez

Código: 20451726619

Jhon Alexander Sánchez Charry

Código: 20451727170

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2023

**Desarrollo De Un Prototipo De Clasificadora De Tamaño Para Limón Común En
La Finca Venados De Guacirco (Huila)**

Jesús Francisco Cuellar Pérez

Jhon Alexander Sánchez Charry

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 **Desarrollo de un prototipo de clasificadora de tamaño para limón común en la finca Venados de Guacirco (Huila)**, Cumple con los requisitos para optar

Al título de Ingeniero mecánico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Neiva, mayo de 2023.

Contenido

Pág.

Resumen.....	65
Abstract.....	66
Introducción	67
1. Capítulo 1: Marco referencial	70
1.1. Antecedentes.....	70
1.2. Objetivos.....	83
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	83
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	83
1.3. Justificación.....	84
1.4. Marco teórico	86
1.4.1. <i>Métodos de clasificación del limón actuales</i>	86
1.4.1.1. <i>Método manual</i>	86
1.4.1.2. <i>Método mecánico (Máquinas clasificadoras de limón)</i>	87
1.4.1.3. <i>Características geométricas del limón</i>	91
2. Capítulo 2: Diseño del prototipo	94
2.1. Requerimientos de diseño	95
2.2. Propuestas de diseño	97
2.2.1. <i>Propuesta 1</i>	99
2.2.2. <i>Propuesta 2</i>	99
2.2.3. <i>Propuesta 3</i>	100
2.3. Método morfológico	100
2.4. Propuesta y descripción.....	101
2.5. Detalle del prototipo seleccionado	102
2.5.1. <i>Engranaje biselado</i>	103

2.5.2. <i>Buje</i>	104
2.5.3. <i>Rodillo de banda</i>	104
2.5.4. <i>Placa soporte</i>	104
2.5.5. <i>Banda</i>	104
2.5.6. <i>Tolva</i>	104
2.5.7. <i>Chasis</i>	104
3. Capítulo 3: Cálculos y resultados	105
3.1. Transmisión por correa y poleas	105
3.1.1. <i>Distancia entre ejes de poleas</i>	111
3.1.2. <i>Longitud de la correa</i>	111
3.1.3. <i>Velocidad lineal de la correa</i>	112
3.2. Cálculo del perfil del chasis para simulación de esfuerzos	114
3.3. Análisis finito mediante método Von Mises	116
3.3.1. <i>Análisis de tensión del conjunto chasis – componentes clasificadoras de limón</i>	116
3.3.2. <i>Análisis de desplazamiento del conjunto chasis – componentes clasificadoras de limón</i>	119
4. Capítulo 4: Construcción	122
4.1. Adquisición de materiales y elementos	122
4.2. Corte y soldadura	123
4.3. Ensamble prototipo	124
4.4. Acabado de prototipo	126
5. Conclusiones y recomendaciones	128
5.1. Conclusiones	128
5.2. Recomendaciones	129
6. Anexos	128
7. Referencias Bibliográficas	146

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1-1. Clasificadora neumática con visor artificial.....	70
Figura 1-2. Prototipo clasificador de limón Tahití	71
Figura 1-3. Diseño mecánico circular	72
Figura 1-4. Modelo de selección de mandarina por tamaño	72
Figura 1-5. Sistema de clasificación mecánica de frutas cítricas tipo lineal.	73
Figura 1-6. Clasificadora lineal para tamaño de limón.....	74
Figura 1-7. Sistema de clasificación de diámetro de limón.....	75
Figura 1-8. Máquina clasificadora automatizada por color y tamaño	76
Figura 1-9. Sistema de clasificación de frutas de dos secciones lineales	77
Figura 1-10. Máquina clasificadora por sistema de rodillos espaciadores	78
Figura 1-11. Clasificadora mecánica de Limón-Naranja.....	79
Figura 1-12. Prototipo máquina clasificadora vertical.....	79
Figura 1-13. Clasificadora mecánica con sensor de proximidad y rodillo espaciador	80
Figura 1-14. Clasificadora de frutas redondas, banda transportadora.	81
Figura 1-15. Clasificadora mecánica de limón tipo circular por tamaño.....	81
Figura 1-16. Método de clasificación Manual	86
Figura 1-17. Método clasificación por mesas o módulos	87
Figura 1-18. Clasificadora de frutas por correa	88
Figura 1-19. Clasificadora por rodillos basculantes	89
Figura 1-20. Malla vibratoria.....	90
Figura 1-21 Clasificación y medición de diámetros de muestras en la finca el venado (Guacirco)..	92
Figura 2-1. Explosivo prototipo máquina clasificadora de limón	103
Figura 3-1. Factor de servicio (fs)	107
Figura 3-2. Tabla de relación R.P.M y factor de servicio para selección de correa	109
Figura 3-3. Tipos de correa Trapezoidales	110
Figura 3-4. Selección del perfil.....	115

Figura 3-5. Análisis de tensión de máquina clasificadora de Limón.	117
Figura 3-6. Análisis de desplazamiento en la estructura	120
Figura 4-1. Materiales para construcción prototipo máquina clasificadora de limón.	122
Figura 4-2. Corte y soldadura de elementos.	123
Figura 4-3. Ensamble sistema de clasificación.	124
Figura 4-4. Ensamble de tolva y estructura	125
Figura 4-5. Proceso de engrase y validación de circulación de limones sobre laminas selectoras.....	126
Figura 4-6. Proceso de pintura y acabado.....	127

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Geometrías de una muestra de 30 limones	92
Tabla 1-2. Intervalos de medida muestra y media de los rangos	93
Tabla 2-1. Criterios y tipo de requerimientos.	95
Tabla 2-2. Consolidados parámetros para contemplar.....	97
Tabla 2-3. Análisis de prototipos	98
Tabla 2-4. Matriz de evaluación prototipos	100
Tabla 2-5. Matriz final	101
Tabla 3-1. Datos para cálculo de eficiencia de la estructura.....	118
Tabla 3-2. Tabla apara selección de soldadura	121

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
T	Torque	$Kg.m$	
E	Esfuerzo máximo	MPa	
D1	Diámetro menor	mm	
D2	Diámetro mayor	mm	
Lp	Longitud primitiva	mm	

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
H_p	Potencia	H_p	
σ	Esfuerzo Normal	Pa	
N_d	Potencia efectiva de diseño	kW	
fs	Factor de servicio	UL	

Subíndices

α	Tensión máxima
----------	----------------

Superíndices

Superíndice Término

n	Potencia
---	----------

Abreviaturas

Abreviatura Término

<i>mm</i>	milímetros
<i>Kg</i>	Kilogramos
<i>m</i>	metros

(Dedicatoria)

A Dios por darme perseverancia y sabiduría para lograr esta meta tan importante en mi formación profesional.

A nuestros padres, por el apoyo incondicional que me brindaron durante todo este proceso universitario, por ser quienes están ahí para darnos ánimos de lograr cada una de las metas trazadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a:

A nuestra asesora la ingeniera Martha Lucia Solano por brindarnos durante todo este tiempo sus concejos y observaciones en pro de mejorar el documento de investigación; por ser nuestro guía y por poner a nuestra disposición sus conocimientos y experiencias en este proceso.

A la UAN por creer en nuestro proceso de formación, por permitir desarrollar las habilidades a través de un programa de formación consolidado y consecuente con las necesidades del presente siglo.

Al propietario de la finca el Venado de Guacirco por permitir aportar un grano de arena en sus proceso de clasificación y permitir abiertamente tener la la información necesaria para el análisis y comprensión del fenómeno estudiado.

Resumen

El proceso de clasificación de limón, es una tarea que tradicionalmente se realiza de forma convencional (Manual), lo que ocasiona una problemática asociada a las devoluciones por variación de tamaño generando para el productor sobrecostos por mano de obra; el documento presentado buscó desarrollar un prototipo de clasificadora de tamaño para limón común en la finca Venados de Guacirco; la metodología empleada parte de French (2000) para el diseño de producto y se compone de tres fases las cuales son: identificación de criterios, selección prototipo y construcción; los resultados muestran una máquina con un motor de 0,25 Kw con un factor de servicio de 1.0 que induce una polea correa trapezoidal tipo A; el esfuerzo soportado por la estructura del chasis, al someterse a una fuerza máxima es de 45,94 MPa y su factor de eficiencia es de 4,6 por lo que el diseño para su fabricación presenta una alta confiabilidad.

Palabras clave: limón, clasificadora, tamaño, diámetro, fuerza.

Abstract

The lemon grading process is a task that is traditionally performed in a conventional way (manual), which causes a problem associated with returns due to size variation, generating labor cost overruns for the producer; the document presented sought to develop a prototype of a size grader for common lemon in the Venados de Guacirco farm; the methodology used is based on French (2000) for product design and consists of three phases which are: identification of criteria, prototype selection and construction; the results show a machine with a 0.25 Kw motor with a service factor of 1.0 that induces a V-belt pulley type A; the effort supported by the chassis structure, when subjected to a maximum force is 45.94 MPa and its efficiency factor is 4.6, so the design for its manufacture presents a high reliability

Key words: Lemon, Sorting machine, Size, diameter, Strength.

Introducción

La cadena de cítricos es el grupo de frutales con mayor área sembrada en el país después del plátano; el limón representa detrás de la naranja y la mandarina el tercer lugar de participación, con un 33 % de producción de cítricos; al 2021 según el Ministerio de Agricultura se reportaron 87.638 Ha de área sembrada, las cuales produjeron 1'450.071 Ton/Año; el Huila y Tolima ocupan el sexto lugar de producción nacional con 67.320 Ton/Ha y un rendimiento por hectárea de 14 Ton (MinAgricultura, 2022).

El 18% de la postcosecha en Colombia deriva de familias con escasos recursos, cuyos predios están entre 1 a 2,5 hectáreas, que no cuentan con opciones de ayuda financiera, por lo que sus técnicas de recolección siguen siendo manuales; aquí los trabajadores incluyendo los propietarios participan del proceso de recolección (Gamboa S, 2020).

El contexto de desarrollo del proyecto se genera en el corregimiento de Guacirco (Huila), el cual se encuentra ubicado al norte del municipio de Neiva sobre la margen izquierda del río Magdalena, el cual limita al norte con el municipio de Aipe, siendo un área especial para el limón y de la cual, según el Sistema de información rural del departamento, cuenta con un área aproximada de 165 Ha concentradas en 55 pequeños productores perteneciente a la cadena competitiva de cítricos del departamento del Huila (SIR, 2021).

El método de recolección actual en la zona es manual, este es el mismo empleado para su clasificación, la cual es necesaria para su posterior comercialización en bultos de 50 Kg a diferentes canales de venta según su tamaño, ya que la variedad predominante es el limón común, el cual puede dar frutos de diferentes tamaños los cuales se emplean para abastecer diferentes tipos de mercados, incluyendo el de exportación (Yacomelo H & Bonilla A, 2020).

Según lo anterior la problemática analizada se genera en el proceso de clasificación del limón, ya que este debe ser cargado de forma inmediata en los vehículos de los intermediarios para su distribución a diferentes canales, por lo que la tasa actual de devolución de limones en este proceso está en promedio en un 14% por cada tonelada recolectada; aquí el limón es devuelto por dicho intermediario y descontado del pago de la cosecha que en promedio es de \$1.500.000 COP; de acuerdo con AGROSAVIA este porcentaje de devolución es alto, ya que se tiene estimado que para el caso de los cítricos dicho valor debe estar por debajo del 5% para asegurar una buena y sana rentabilidad del negocio (DANE, 2015).

A esto se suma que devuelto el limón, como han pasado 5 a 6 días desde su despacho de la finca, al retornar por devolución por no cumplir con el tamaño que demanda el canal de grandes superficies, este presenta ya un grado de maduración que obliga al productor a regalarlo a fincas cercanas, consumirlo o votarlo afectando como se indicó el margen esperado de ganancia pretendido por el productor (FINAGRO, 2016).

De acuerdo con lo anterior y en vista de que se han sembrado 10.000 plantas más para aumentar la producción se hace necesario mitigar las devoluciones por clasificación del cítrico para la venta (Minagricultura, 2020); a partir de ello los investigadores plantean la pregunta problema la cual constituye el foco de investigación:

¿Cómo mitigar las devoluciones de limón por concepto de tamaño y mejorar el proceso de clasificación de este en la finca el Venado del Guacirco (Huila)?

El estudio tiene como alcances el desarrollo de un prototipo de máquina clasificadora por tamaño de limón común cuyo rendimiento sea de 600 Kg/Hr.

Dentro de las limitaciones del proyecto se tiene que para el área de acceso no se cuenta con medio de transporte veredales, lo que implica realizar desplazamiento en moto en una vía terciaria en pésimas condiciones para su acceso por lo que datos asociados a volúmenes de producción por planta se tomaron vía celular con el propietario de la finca.

La población beneficiada para este proyecto de investigación corresponde al propietario de la finca; sin embargo, esta aplicación puede ampliarse a otras fincas de la zona dedicadas a la producción de limón común.

El alcance de este proyecto comprenderá el diseño de un prototipo de clasificadora de limón con una capacidad de 600 Kg/Hr de acuerdo con dos tipos de tamaño, mediante correas espaciadora, para comercialización en la finca Venado del corregimiento de Guacirco (Huila), el cual opera con un motor de 1 HP.

Con respecto a otras tecnologías, esta propuesta busca desarrollar y potencializar actividades de clasificación de este cítrico facilitando la tarea y reduciendo costos, tiempo, devoluciones de la fruta por tamaño y recurso humano que puede emplearse para otras tareas que demanda la producción agrícola en la finca Venado.

Desde el punto de vista de ingeniería el mayor aporte lo constituye la capacidad de interpretar desde una perspectiva técnica, los requerimientos del propietario para ser llevados al diseño del prototipo desde un enfoque mecánico.

1. Capítulo 1: Marco referencial

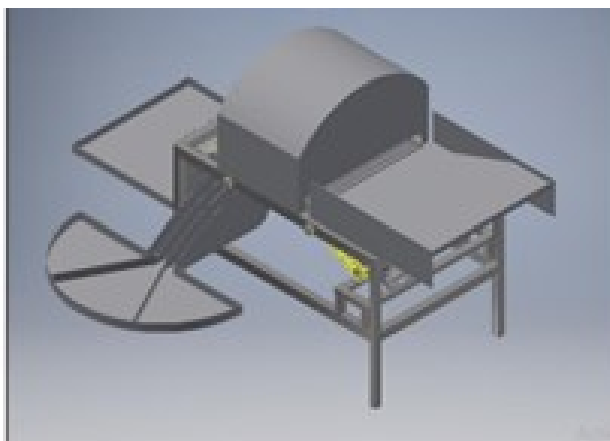
1.1. Antecedentes

El ítem presentado a continuación describe las investigaciones realizadas sobre diseño de máquinas clasificadoras de frutas en función del diámetro, las cuales sirven como información complementaria para tener en cuenta sobre metodologías, diseños y cálculos realizados; estas se describen a continuación:

Alvarado (2020), diseñó un prototipo de máquina clasificadora de limón de acuerdo con su calibre en Perú; que emplea un sistema neumático integrado con monitores de visión artificial, el cual escanea la fruta y la clasifica, no posee un mecanismo de graduación para otro tipo de semillas lo que limita su uso para otro tipo de semillas, el valor estimado de fabricación es de 15 millones COP (Alvarado, 2000).

Figura 1-1.

Clasificadora neumática con visor artificial



Nota. Figura 1-1.

Clasificadora neumática con visor artificial, es una máquina automatizada que emplea un scanner para proceso de clasificación en función del color de la fruta y tamaño; tomado de (Alvarado, 2000).

Gil & Gonzales (2020), diseñaron en Tunja (Colombia) un prototipo de clasificadora de limón Tahití por tamaño, este equipo emplea variaciones de velocidad relativamente bajas para las múltiples tareas de selección; emplea un sistema de banda transportadora con varillas en acero AISI 430, dado a sus características de alta resistencia cuando se somete a esfuerzos máximos y las variaciones de temperatura; su valor de resistencia a la tracción es de 450 Mpa y una alta dureza cuyo valor es de 183 HBW; transmisión de potencia rodillo-piñón-correa; su costo está en promedio en 9 millones COP (Gil & Gonzales, 2020).

Figura 1-2.

Prototipo clasificador de limón Tahití



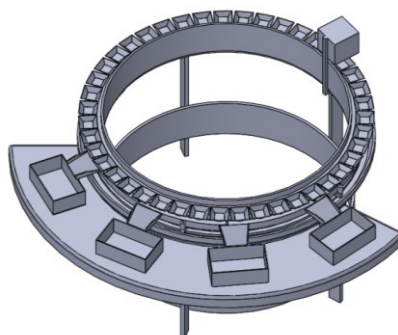
Nota., Figura 1-2.

Prototipo clasificador de limón Tahití, se compone de una bandeja alimentadora de fruta, la cual lleva el producto a un área de selección en función del diámetro mediante rodillos separadores, (Gil & Gonzales, 2020).

Ramos (2019) diseño en Piura (Perú) una máquina para clasificar limón en función del peso y tamaño; el principio empleado es el de un sistema de clasificación circular, el cual consta de una tolva de alimentación que lleva la fruta a celdas mediante rodillos dispuestos de forma lineal hasta una zona de clasificación, en donde mediante un sistema de control y mando selecciona el limón según las variables mencionadas; su capacidad es de 160 Kg/Hr, motor de 1 Hp, su costo estimado es de 6 millones COP (Ramos, 2019).

Figura 1-3.

Diseño mecánico circular



Nota. Figura 1-3.

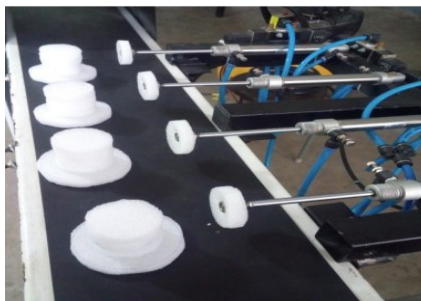
Diseño mecánico circular, corresponde al diseño circular de un sistema de clasificación de limón.

Tomado de (Ramos, 2019).

Romero & Martínez (2018) diseñaron en Lima (Perú) una máquina clasificadora de tamaño para mandarina, el equipo consta de una banda lineal la cual lleva la fruta hasta la zona de selección en donde unos actuadores neumáticos mediante una previa lectura sobre parámetros de tres tamaños seleccionan la fruta en cangilones plásticos para su posterior empaque; emplearon un motorreductor de 1 Hp el cual garantiza la potencia necesaria para el sistema, su capacidad inicial es de 100 Kg/Hr y su valor estimado para producción masiva es de 12 Millones COP (Romero, 2018).

Figura 1-4.

Modelo de selección de mandarina por tamaño



Nota. **Figura 1-4.**

Modelo de selección de mandarina por tamaño compuesto por una banda transportadora lisa y actuadores neumáticos para clasificación. Tomado de (Romero, 2018).

Elkaoud & Elglaly (2018) desarrollaron una máquina clasificadora de cítricos por tamaño en Valencia (España), el sistema diseñado comprende una banda transportadora inclinada a 20° la cual lleva la fruta a lo largo de un canal de boquillas diseñadas diametralmente según medidas preestablecidas de frutas depositados por gravedad en tolvas plásticas; tiene una capacidad de 60 Kg/Hr (Elkaoud, 2018).

Figura 1-5

Sistema de clasificación mecánica de frutas cítricas tipo lineal.



Nota. **Figura 1-5**

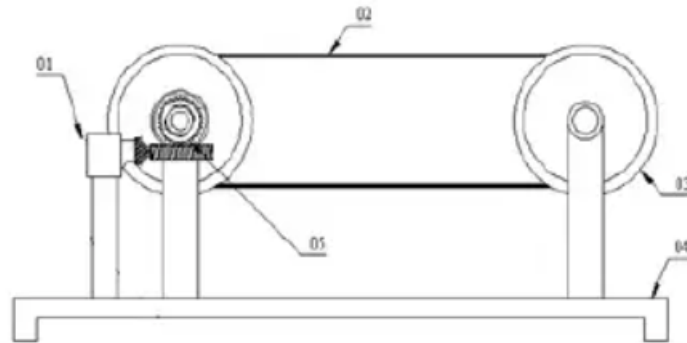
Sistema de clasificación mecánica de frutas cítricas tipo lineal. Tomado de (Elkaoud, 2018).

Surath et al (2017) crearon en Coimbatore (India) un prototipo de máquina para clasificar limón en función del tamaño, para ello estandarizaron los diámetros de la fruta logrando de esta manera un patrón para el diseño de cajas de reducción en la cual cae la fruta que se desplaza sobre la banda; su capacidad de clasificación es de 80 Kg/Hr, el sistema de transmisión de potencia de la banda lisa es de 0,5 Hp y su estructura emplea acero inoxidable

para efectos de higiene en el proceso, su valor comercial no se ha estimado por ser inicialmente un prototipo de prueba (Surath, 2017).

Figura 1-6.

Clasificadora lineal para tamaño de limón.



Nota. Figura 1-6.

Clasificadora lineal para tamaño de limón. Tomado de (Surath, 2017)

Kanase et al (2017) implementó una clasificadora de limón por tamaño; el sistema parte de la base, de un sistema de alimentación mediante tolva cónica la cual lleva el limón mediante banda transportadora inclinada a 30° hasta unos topes en donde las salidas corresponden a los diámetros parametrizados, este sistema emplea un motorreductor de 0,5 Hp y procesa 4 Kg/min, no indica valor comercial de venta; el sistema de transmisión usa una relación piñón-cadena (Kanase, 2017).

Figura 1-7.

Sistema de clasificación de diámetro de limón.



Nota. **Figura 1-7.Figura 1-7.**

Sistema de clasificación de diámetro de limón.. corresponde a un sistema de clasificación por galgas de diámetro. Tomado de (Kanase, 2017).

Castellanos & Castañeda (2017) diseñaron en Bucaramanga un prototipo de máquina automatizada para clasificación de limón Tahití por color y tamaño; para la clasificación por color emplearon visión artificial y para el tamaño establecieron 4 tipos de diámetros los cuales al ser direccionados por color caen sobre dos guías inclinadas que aumentan su tamaño de acuerdo a 4 categorías de clasificación; emplea un sistema rodillo-cadena de paso 40, la transmisión mecánica de este tipo de banda transportadora, está dada por un motor reductor, que se encuentra colocado directamente en el mismo eje de los piñones de la banda, tiene una capacidad de 150 Kg/Hr y un precio estimado de 12 millones de COP (Castellanos & Castañeda, 2017).

Figura 1-8.

Máquina clasificadora automatizada por color y tamaño



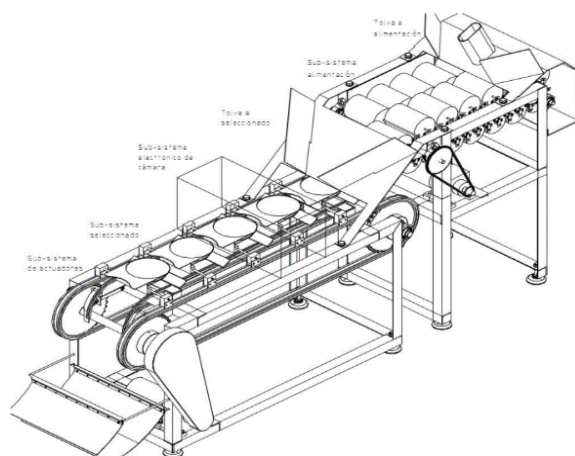
Nota. **Figura 1-8.**

Máquina clasificadora automatizada por color y tamaño. Tomado de (Castellanos & Castañeda, 2017).

Ordava (2016) diseño en Lima (Perú) una máquina electromecánica multifuncional para clasificación de fruta por tamaño; el sistema se compone de una tolva alimentadora lineal que lleva la fruta a la zona de clasificación la cual contiene un sistema de rodillos que mueven la fruta hasta el área de clasificación que tiene un cilindro giratorio con una rejilla tipo tamiz con los diámetros a seleccionar, al girar la fruta esta cae según su tamaño a la banda de alineación la cual lleva el producto seleccionado para su posterior empaque, tiene una capacidad de 190 Kg/ Hr y su valor estimado es de 15 millones COP (Ordava, 2016).

Figura 1-9.

Sistema de clasificación de frutas de dos secciones lineales



Nota. Figura 1-9.

Sistema de clasificación de frutas de dos secciones lineales. muestra el diseño simétrico de clasificadora de dos secciones. Tomada de Ordava (2016)

Jeres (2016) desarrollo una máquina para clasificación y selección de limón en Ibarra (Ecuador), el sistema mecánico empleado usa un motor de 1 Hp suficiente para generar el torque del sistema de transmisión de potencia al conjunto piñón- cadena para el movimiento de los rodillos que llevan la fruta para su selección y posterior empaque; su capacidad de selección es de 260 Kg/Hr y se opera de forma manual cuando es necesario el cambio de formatos de tamaños (Jeres, 2016).

Figura 1-10.

Máquina clasificadora por sistema de rodillos espaciadores



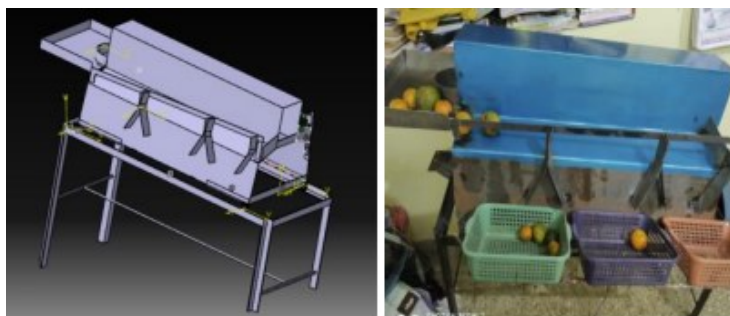
Nota. **Figura 1-10.**

Máquina clasificadora por sistema de rodillos espaciadores. muestra un diseño simétrico de una máquina clasificadora de limón por sistema de rodillos espaciadores. Tomada de (Jeres, 2016).

Gorakh et al (2016) diseñaron un prototipo de máquina clasificadora por tamaño para limón y naranja mediante cambio de formato; el prototipo consta de un sistema de alimentación manual de la fruta la cual se desplaza por caída libre hasta el área de selección que dispone de dos pares de bases diametrales las cuales se pueden cambiar dependiendo del tamaño de la fruta a seleccionar, la inclinación a 30° corresponde al diseño de la estructura y la mesa la cual emplea como soportes resortes helicoidales en el medio, este diseño procesa depende directamente de la persona que abastece la entrada de la máquina, por ende su productividad en la clasificación puede variar de 80 Kg/Hr a 160 Kg/Hr (Gorakh, 2016).

Figura 1-11.

Clasificadora mecánica de Limón-Naranja

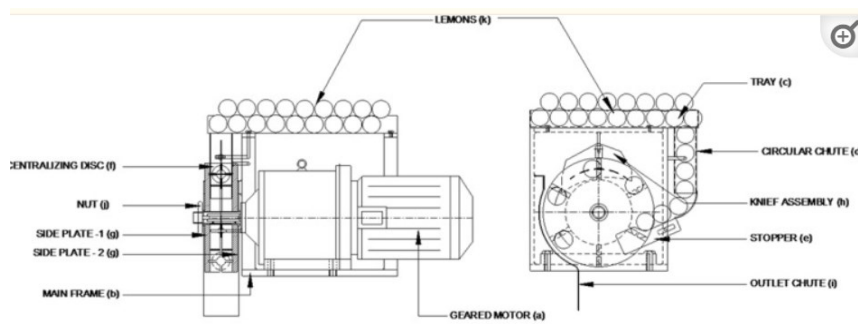
**Nota. Figura 1-11.**

Clasificadora mecánica de Limón-Naranja, muestra un prototipo mecánico clasificador de limón - Naranja por gravedad. Tomada de (Gorakh, 2016).

Tavanandi et al (2014) desarrollaron una máquina clasificadora de limón en función del peso en Nueva Delhi (India), el sistema cilíndrico vertical diseñado comprende una tolva de alimentación la cual lleva el limón hasta el rodete parametrizado por galgas coteja el peso y la distribuye según el mismo, el sistema empleó un motor de 0,5 Hp y procesa 75 Kg/Hr nominal; en el estudio no se relaciona precio estimado (Tavanandi, 2014).

Figura 1-12.

Prototipo máquina clasificadora vertical.

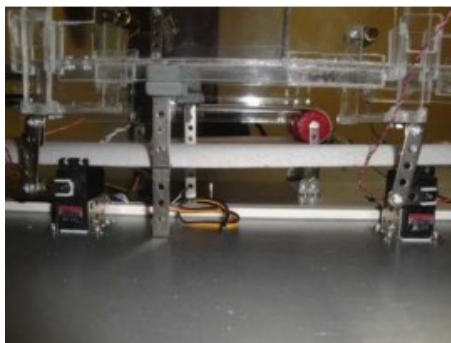
**Nota. Figura 1-12.**

Prototipo máquina clasificadora vertical. muestra un prototipo de máquina clasificadora de limón por sistema circular vertical. Tomado de (Tavanandi, 2014).

Tamayo (2014) construyó un prototipo de máquina clasificadora y transportadora de frutas de acuerdo con el tamaño; el principio empleado parte de una banda transportadora lisa en material de lona sobre el cual se desplaza la fruta, está a su vez llega al área de selección para lo cual se implementó rodillos paralelos espaciadores ajustado a dos diámetros y sensores de proximidad, los cuales según el tamaño direccionan la fruta al cangilón de clasificación, su capacidad de procesamiento es de 15 Kg/ 30 min y no relaciona valor comercial de fabricación debido a que los resultados del estudio infieren modificar los parámetros de tamaño (Tamayo, 2014).

Figura 1-13.

Clasificadora mecánica con sensor de proximidad y rodillo espaciador



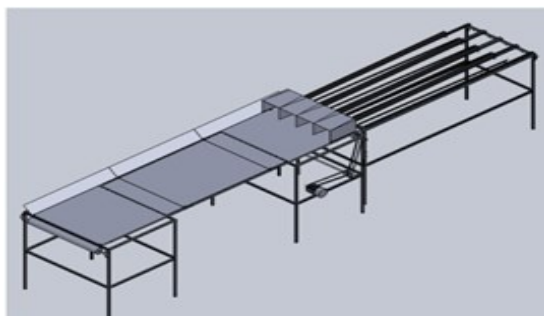
Nota. Figura 1-13.

Clasificadora mecánica con sensor de proximidad y rodillo espaciador presentada corresponde al modelo experimental de clasificadora de frutas. Tomada de (Tamayo, 2014).

Angos & Enríquez (2013) diseñaron en Ecuador, un prototipo de máquina clasificadora de frutas redondas con una capacidad de 200 Kg/Hr; el sistema motriz se compone de 6 piñones, 3 cadenas de rodillos, 3 ejes y un motor de 1 HP, tiene un costo aproximado de construcción de 10 millones COP (Angos & Henríquez, 2013).

Figura 1-14.

Clasificadora de frutas redondas, banda transportadora.



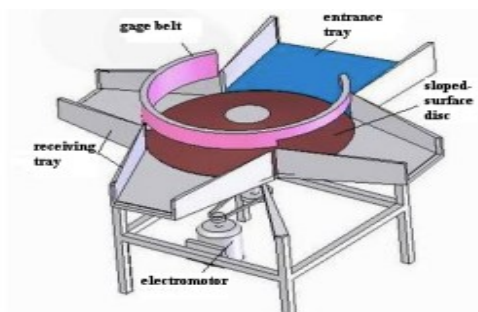
Nota. Figura 1-14.

Clasificadora de frutas redondas, banda transportadora.. Indica una clasificadora alimentada por una banda vibratoria de 5 entradas, tomada de (Angos & Henríquez, 2013).

Hashemi (2013) diseño un prototipo de máquina clasificadora para limón en función del diámetro de la fruta; el sistema diseñado se compone de un carrete circular al cual llega el limón según el diámetro de este para ser clasificado, la fruta gira en función del rodete en donde se tienen diámetros estandarizados por los cuales la fruta por acción de e fuerza centrífuga ingresa para su clasificación. Consta de un motorreductor de 0,5 Hp, la estructura es tipo monochasis, tiene una capacidad de 80 Kg/Hr y su valor comercial aproximado es de 14 millones COP (Hashemi, 2013).

Figura 1-15.

Clasificadora mecánica de limón tipo circular por tamaño



Nota. Figura 1-15.

Clasificadora mecánica de limón tipo circular por tamaño muestra una clasificadora circular de tres tamaños el cual opera mediante un sistema de transmisión polea-correa. Tomada de Hashemi (2013).

A partir de las descripciones presentadas, hay un patrón asociado a las tecnologías y es que estas poseen grandes capacidades de procesamiento, lo que supone un uso par altos volúmenes de proceso; son de alto costo, algunos están en etapa de prototipos; con respecto a los sistemas de clasificación un patrón común es el uso de sistemas de galgas o barras espaciadoras, así como sistemas de transportadoras de bandas lisas que facilitan el proceso de movilidad de la fruta en el proceso. En algunos casos se incorpora un criterio de alimentación por gravedad y uso de motores que van de 0,5 a 1 Hp.

1.2.Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Desarrollar un prototipo de clasificadora de tamaño para limón común en la finca Venados de Guacirco (Huila).

1.2.2. *Objetivos específicos*

- Establecer especificaciones técnicas y propuestas de diseño.
- Evaluar alternativas de máquinas en función de los requerimientos técnicos, de productividad, y de diseño para el proceso de clasificación del limón.
- Diseñar y seleccionar el prototipo en base a datos recolectados y cálculos.
- Construir el prototipo de clasificadora de limón.

1.3. Justificación

Este proyecto es necesario ya que como se estableció, las tecnologías actuales son de alto costo, lo que hace poco accesibles para los agricultores de la zona, a ello se suma que, por las condiciones del proceso, tanto la recolección y clasificación se hacen de forma simultánea, lo cual aumenta la probabilidad de error a causa del método manual actual de operación.

Esto genera pérdidas al agricultor o en su defecto contratar mayor mano de obra directa para corregir esto, lo que aumenta los costos y disminuye de forma proporcional el margen de ganancia (INFOAGRO, 2018).

El 100 % de las fincas del corregimiento de Guacirco (Huila) que producen limón realizan la clasificación de forma manual, pese a que es un método convencional según los datos del sistema de información rural del departamento (SIR), este proyecto puede servir como una opción de mejora de su proceso de clasificación, optimizando los recursos, el costo de mano de obra para aliviar los costos totales de producción y por ende la ganancia, que es en últimas la razón de ser de los agricultores (Sistema de Información Rural del Departamento del Huila (SIR)).

Desde el punto de vista técnico el proyecto plantea pasar de 600 Kg/día a 600 Kg/Hr; bajar el 14 % de devoluciones x Ton a un 0,5% x Ton, lo cual es representativo para el dueño de la finca.

Mejorar los sistemas convencionales de producción agrícola en la fase de postcosecha implica el uso de métodos con mayor nivel de confiabilidad y de producción que conllevan a un menor manejo económico, operativo que traen consigo mejores márgenes de ganancia; por otro lado, este proyecto permite integrar el conocimiento teórico y práctico

en pro de fortalecer las competencias y habilidades como estudiantes de ingeniería mecánica.

De acuerdo con la información analizada en la revisión bibliográfica, las clasificadoras de frutas actuales, en especial el limón tiene un costo elevado y diseñadas para cultivos de alta densidad de siembra, pueden pesar entre 300 Kg y 1000 Kg, lo que implica el uso de equipos de transporte especiales y de adecuación de áreas para el proceso, sumado a que el área de acceso corresponde a una vía terciaria de difícil acceso no solo en la finca el venado, si no para futuros beneficiarios (SIR).

1.4.Marco teórico

1.4.1. *Métodos de clasificación del limón actuales.*

Se identifican según la bibliografía investigada dos métodos de clasificación en función del tipo de tecnología y principio empleado.

1.4.1.1.*Método manual.*

Realizado por jornaleros (figura 1-16) los cuales emplean sus extremidades inferiores (Manos) en la recolección para su clasificación de forma simultánea; en promedio se emplean 4 jornaleros a \$66.000/ día los cuales recogen y clasifican 680 kg/ día; para clasificar 15 Ton se emplean 9 días con mayor número de operarios para lograr comercializarlo como fruta fresca.

Figura 1-16.

Método de clasificación Manual



En la **Figura 1-16.**

Método de clasificación Manual, se ilustra el proceso actual de clasificación del limón natural en la finca el venado del corregimiento de Guacirco (Huila).

1.4.1.2. Método mecánico (Máquinas clasificadoras de limón).

Emplean equipos de clasificación para múltiples tareas y productos como el limón; poseen sistemas que emplean diferentes criterios de selección según el tipo de tecnología y sistema mecánico empleado como se indica a continuación:

➤ **Mesas de selección**

Proceso integral que combina sistema manual y mecánico, aquí los productos son conducidos por un sistema transportador (figura 1-17) tipo rodillo la cual conduce la fruta a los operadores dispuesta sobre la mesa permitiendo realizar una actividad de selección con base a productos no conformes que están por encima de criterios por diámetro, tamaño o color (Mendomaq, 2022).

Figura 1-17.

Método clasificación por mesas o módulos



Nota. En la **Figura 1-17.**

Método clasificación por mesas o módulos **Figura 1-17.**

Método clasificación por mesas o módulos se muestra el proceso de clasificación con personal calificado distribuido en módulos, mesas o estaciones de clasificación; (Limonos Amatlán, 2022).

Dentro de las ventajas que tiene este método se consideran su conveniencia para la selección de altos volúmenes de producción, ofreciendo una clasificación exacta según los

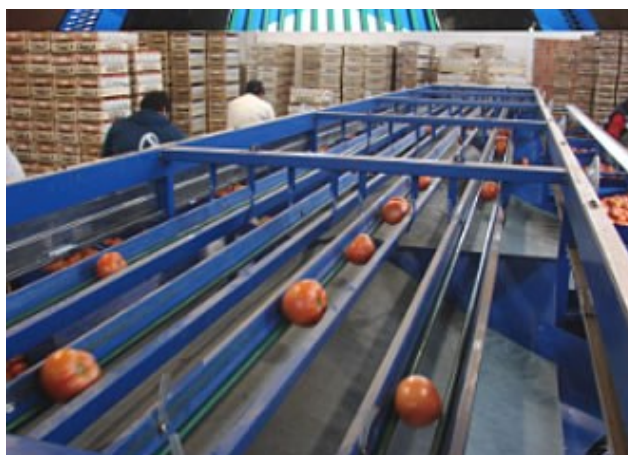
parámetros de clasificación y con un mayor nivel de productividad; sin embargo como desventajas se pueden indicar su alto costo, la infraestructura requerida parte de un sistema de banda transportadora por rodillo de forma lineal accionada por motorreductores que controlan la velocidad de desplazamiento de la fruta, lo que implica la disponibilidad de grandes bodegas que incrementan el costo del proceso, a lo que suma su gran peso debido al tipo de material empleado que debe soportar trabajo continuo.

➤ **Clasificadora por correas divergentes**

Tiene como tarea clasificar las frutas en función de sus diámetro ecuatorial o polar por medio de vías constituidas por pares de correas dispuestas longitudinalmente en forma de V (figura 1-18), que se desplazan a la misma velocidad, se pueden calibrar de forma manual, tiene una capacidad de producción de 30.000 Kg/día; fabricada en acero al carbono, con terminaciones en acero AISI 430, tiene un costo superior a los 100 millones COP (Shandong, 2020).

Figura 1-18.

Clasificadora de frutas por correa



Nota. En la **Figura 1-18**.

Clasificadora de frutas por correa, se muestra un proceso automatizado de clasificación de tomate en función del tamaño, (Shandong, 2020).

Dentro de sus ventajas se tienen que este tipo de clasificadoras pueden ajustar el proceso en función del diámetro, tiene de 4 a 6 salidas lo que permite clasificar de forma simultánea grandes volúmenes de fruta en un menor tiempo de operación; como desventajas se pueden indicar su alto costo y de forma indirecta tener un área de mantenimiento debido a la complejidad de sus componentes lo que la hace inviable en su adquisición para el caso de pequeños productores en la zona de influencia.

➤ **Rodillos basculantes**

Tiene como tarea clasificar las frutas en función de sus diámetro ecuatorial o polar por medio de rodillos paralelos en PVC (ver figura 1-19), los cuales se separan a medida que avanza, dejando caer los productos a tolvas en acero inoxidable; puede procesar 100.000 Kg/ día, su precio va desde los 130 millones COP en adelante.

Figura 1-19.

Clasificadora por rodillos basculantes



Nota. **Figura 1-19.**

Clasificadora por rodillos basculantes, es un equipo para proceso de clasificación a nivel industrial compuesta por módulos de clasificación en donde se reciben las frutas en función de parámetros como peso o tamaño.

Dentro de sus ventajas se tienen su gran capacidad de adaptación de parámetros como tamaño aplicable a otras frutas, con una mayor unidad de salida compuesta por 6 a 10 chorros, empleando menos tiempos de operación, pero con una mayor capacidad de clasificación: dentro de sus desventajas se tienen su alto costo de adquisición y de mantenimiento.

➤ **Mallas vibratorias**

Tiene como tarea clasificar las frutas en función de sus diámetro ecuatorial o polar por medio de mallas perforadas o metálicas según calibres perforados.

Figura 1-20.

Malla vibratoria



Nota. En la **Figura 1-20.**

Malla vibratoria, se muestra un método que emplea un diámetro estandarizado para el proceso de clasificación de limón y naranja.

Dentro de sus ventajas se tienen su alto grado de efectividad en el proceso, sistemas seguros controlados por finales de carrera mecánicos o sensores de proximidad; como desventajas se pueden citar su alto costo de adquisición, estructuras pesadas para mantenimientos y materiales como tornillería y rodamientos que requieren altas frecuencias de engrasado para prevenir la oxidación y por ende su vida útil.

1.4.1.3. Características geométricas del limón.

Los parámetros claves a contemplar para diseñar un prototipo de clasificadora de limón, refieren a la geometría de la fruta, ya que normalmente se tipifican en dos clases de limón para su posterior comercialización en la finca Venados del corregimiento de Guacirco (Huila); según lo anterior para establecer estas características relacionadas con el diámetro de la fruta; la muestra medida se realizó a 3 bultos de 5 arrobas cada uno y de los cuales se tomaron 10 muestras de manera aleatoria para un total de 30 muestras, tabla 1-1. y figura 1-21.

Figura 1-21.

Clasificación y medición de diámetros de muestras en la finca el venado (Guacirco).



Nota. Figura 1-21.

Clasificación y medición de diámetros de muestras en la finca el venado (Guacirco)., el proceso manual realizado el empaque para distribución a canal mayorista.

Su importancia en la realización de la muestra parte del hecho de que con la medida del diámetro se establecen los criterios de clasificación para el diseño del prototipo.

Tabla 1-1.

Geometrías de una muestra de 30 limones

Muestra	Ø (mm)	Muestra	Ø (mm)	Muestra	Ø (mm)
1	27,5	11	39,5	22	44,8

2	26,8	12	28,7	23	30,9
3	42,2	13	29,3	24	43,7
4	41,4	14	24,5	25	48,5
5	40,2	15	26,0	26	43,3
5	28,3	16	29,4	27	44,5
6	27,0	17	41,0	28	29,5
7	41,4	18	42,4	29	28,8
8	42,4	19	43,0	30	27,6
9	28,5	20	44,1		
10	44,5	21	29,1		

Nota. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, describe las diferentes dimensiones de limón recolectadas en la finca El Venado, para su medición se empleó un calibrador o pie de rey marca mitutoyo.

Los resultados de la tabla 1-1, indican que existen dos tipos de rango de medidas de diámetro de limón en la finca venado las cuales se indican en la tabla 1-2, con sus respectivos intervalos mínimo y máximo y su media correspondiente.

Tabla 1-2.

Intervalos de medida muestra y media de los rangos

Clasificación	N	Ø Inferior	Ø Superior	Ū (mm)
A (Menor A 31)	14	24,5	30,9	28,12
B (Mayor a 399)	16	39,5	48,5	42,93

Nota. **Tabla 1-2.** Intervalos de medida muestra y media de los rangos, se relacionan los valores de la media para cada intervalo de medición.

De la tabla 1-2 se puede indicar la existencia de dos rangos de clasificación los cuales deben considerarse para el proceso de selección del limón una vez recogido, estos

parámetros corresponden a los estimados tanto para A, como para B, a partir del diámetro menor y mayor.

Aportes del estudio

La comprensión e identificación de materiales necesarios para su construcción son parámetros claves, a lo cual se suman las dimensiones de la fruta, muy importantes para establecer las entradas y salidas empleadas en la clasificación.

Adicional a ello están las aplicaciones teóricas aprendidas a lo largo del programa como el cálculo de sistemas de transmisión para poleas, correas, distancias entre ejes, así como el análisis de elementos finitos los cuales permiten al lector tener una comprensión clara de estos principios para su aplicación en problemas reales asociados a sistemas de clasificación de frutas y en especial al limón común.

2. Capítulo 2: Diseño del prototipo

En esta parte del documento se realiza una breve descripción de los criterios empleados para diseñar la solución a los problemas identificados por parte del productor de

Limón; se inició con la condensación de requisitos en tablas que permitieron la estandarización de los factores para su correspondiente evaluación y selección.

2.1.Requerimientos de diseño

Las necesidades se derivaron del trabajo de campo mediante herramientas de recolección de datos aplicadas al productor de limón en la finca El Venado; los factores de evaluación comprenden costo, manejo de la máquina, tipos de mantenimientos, versatilidad, uso y capacidad para transporte a otros lugares de trabajo. Estos parámetros permitieron la construcción de la tabla final para análisis y selección. Tabla 2-1.

Tabla 2-1.

Criterios y tipo de requerimientos.

Ítem	Criterio	Requerimientos	Razones del requerimiento
1	Costo	Menor valor; varios productores puedan adquirirla.	El valor comercial de la fruta es bajo.
1	Manipulación	Fácil uso, no implica estudio de un manual.	Máquinas complejas con muchos mandos.
3	Mantenimiento	Piezas económicas y de fácil mantenimiento.	Máquinas se dejan porque no se consiguen los componentes de mantenimiento, o en su defecto la mano de obra es muy especializada
4	Integralidad funcional	Que realice la clasificación simultáneamente	El proceso actual obliga a repetir esta tarea.
5	Ambiental	Que no contamine el ambiente.	Agro savia certifica producción limpia
6	Funcionalidad	Seleccione limón sin parar el proceso	Se mezcla los tamaños en la recolección
7	Transporte	Que pueda llevar sin ningún problema	Llevar entre áreas de siembra
8	Estructural	Que no sea pesada	Se pueda manipular completamente

Nota. **Tabla 2-1.** Relación y descripción de requerimientos obtenidos de Juan Arcesio, dueño de finca el Venado (Guacirco).

La Tabla 2-1. Relación y descripción de requerimientos, se plantea la descripción de cada criterio para el diseño del prototipo:

Costo: Corresponde al valor económico que tiene el prototipo, en donde se hace referencia a su facilidad de adquisición.

Manipulación: Refiere a la facilidad que debe tener el prototipo para su manejo por parte del trabajador.

Mantenimiento: En este parámetro se contemplan aspectos como la facilidad de consecución de sus partes a nivel comercial, o en su defecto que no implique la contratación de mano de obra calificada para esta tarea.

Integralidad funcional: este criterio está asociado a que el prototipo pueda adaptarse a otros procesos o máquinas.

Ambiental: en este criterio se evalúa el impacto que tiene la operación de este y su efecto al medio ambiente, estos impactos pueden ser negativos o positivos.

Funcionalidad: Aquí se evalúa el desempeño del prototipo, así como si su diseño permite una estandarización operativa del proceso y una mejora en la selección del cítrico.

Transporte: Esto implica que el prototipo disponga de un sistema que facilite el acople a otros elementos o equipos para que pueda ser manipulado o movilizado sin alterar los componentes de este, esto es puntos de apoyo para levantamiento, un soporte para acople de la máquina con gancho de arrastre.

Estructural: En este criterio se analiza el peso total de la propuesta, dado que se requiere que este se pueda transportar de un área a otra.

Los parámetros analizados resultan claves para poder garantizar no solo el cumplimiento de las expectativas del dueño de la finca, si no que abre la posibilidad de que esta, pueda emplearse en otros productores permitiendo un ahorro y una dinámica estandarizada de los procesos de selección de la fruta. A partir de lo anterior se fijan 3 propuestas las cuales fueron analizadas para su posterior selección y desarrolló de concepto.

2.2. Propuestas de diseño

Las propuestas a diseñar contemplan los factores anteriormente descritos para garantizar una selección de limón común; la fuente de estos parámetros se obtuvo de las entrevistas realizadas a 9 agricultores de limón común de la zona de Guacirco; tabla 2-2

Tabla 2-2.

Consolidados parámetros para contemplar

Entrevistado	Metodología de recolección de Limón actual	Factores a tener en cuenta para diseño de prototipo
1	Manual	Fácil de manejar, liviana, trabaje con energías limpias
2	Manual	Que sea económica
3	Manual	Que clasifique rápido sin dañar la fruta
4	Manual	Que sea segura y de fácil mantenimiento
5	Manual	Componentes comerciales
6	Manual	Que use un sistema para clasificar por diámetro sencillo
7	Manual	Que no sea pesada
8	Manual	Tenga sistemas de selección sencillo
9	Manual	Evite daño de la fruta y fácil de manejar o ajustar la separación del diámetro del limón.

Nota. La tabla 2-2 muestra los aspectos requeridos por los productores de limón en Guacirco-Huila; elaborada por el autor.

En la tabla 2-2 se mostraron los parámetros sintetizados de la entrevista, estos son la metodología de recolección y selección para lo cual parten de su experiencia dada por la comercialización a proveedores mayoristas de la región; existen factores adicionales que se presentan en la tabla 2-3 de alternativas propuestas para de la clasificación de limón en la finca el venado de Guacirco-Huila.

Tabla 2-3.

Análisis de prototipos

Factor	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Sistemas de Clasificación	Rodillos	Rodillo	Manual por ajuste de diámetro
Sistema de Alimentación	Tolva rectangular	Tolva cono	Tolva cono
peso aprox.	200 Kg	125 Kg	125 Kg
Tipo de estructura	Rígida	Rígida	Rígida
Funcionamiento	Botón de accionamiento on/of	Botón de accionamiento on/of	Accionamiento por biela
Fuente alimentación	Motor 0,5 Hp gasolina	Motor 0,5 Hp	Manual
Ventajas	1- Clasificación Exacta.2- Reducción de tiempos.3- No requiere de un esfuerzo significativo para su accionamiento.4-Segura en cuanto modo de uso.	1- Amigable con el ambiente.2- precio de fabricación < 2 millones.3 clasificación a un paso.4- evita daño de producto.5. posee sistema plegable para transporte /Extensión de guías).6- Bajo peso	1- No contamina el medio ambiente.2- Bajo valor comercial de adquisición< 2 millones.3 Clasificación a un paso.4- No maltrata el limón .6- Bajo peso
Desventajas	1. Equipo pesado.2-demanda combustibles fosiles.3- estructura pesada.4-precio fabricación mayor a 3 millones.	1- calibración de equipo para uso.2- mantenimiento de rodillos y rodamientos bajo	1- calibración constante.2- chasis pesado

Nota. **Tabla 2-3.** Análisis de prototipos refiere a un análisis de factores necesarios para diseño;

Autor.

2.2.1. Propuesta 1

Esta integrado a un mono chasis, lo que permite balancear el peso junto con el peso del motor de 0,5 Hp, la razón de selección del motor obedece a que el torque que genera está por encima del que se obtendría de la relación eje polea, esto es que es holgado para las necesidades de trabajo que no se presenta en condiciones extremas de fuerza por lo que su aplicación solo se da para el proceso de alimentación del limón hasta el área de clasificación; esta propuesta funciona a partir del accionamiento de los rodillos acoplados a rodamientos y separados entre sí según el diámetro del limón, es de alto costo y precisa una previa planificación preventiva; demanda lubricación y gasolina, así como baja durabilidad del sistema de rodillos u otros elementos, a causa de uso continuo en selección; puede acoplarse a otros procesos y su rediseño permite una mayor adaptabilidad a otros equipos de clasificación.

2.2.2. Propuesta 2

Es una propuesta más ajustada a los parámetros requeridos ya que acopla la clasificación mediante un mecanismo de rodillos los cuales pueden ajustar la distancia entre ellos en caso de que requiera clasificar otra variedad, el motor induce el movimiento de estos, tiene un menor peso, lo que facilita su transporte y movilidad en áreas de producción y clasificación; el sistema de alimentación es por gravedad en una tolva tipo cono facilitando la recepción de la fruta de forma paralela según las dimensiones, esta acción no permite maltratar la fruta, por lo que la tasa de daño es muy baja. Tiene un precio de fabricación adsequibles.

2.2.3. Propuesta 3

Toma componentes de la propuesta 2; el componente diferencial se basa en que cuenta con un chasis de mayor resistencia, a partir de la adaptación del sistema de clasificación siendo este manual, la eficiencia depende de operaciones manuales.

2.3. Método morfológico

Este método parte de la asignación de porcentajes a partir de los factores definidos con base a las necesidades del agricultor, tabla 2-4.

Tabla 2-4.

Matriz de evaluación prototipos

Con secu tivo	Factor	Importanci a %	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
			Eval.	Resul.	Eval.	Resul.	Eval.	Resul.
1	Costos	12%		-		-		-
1	Manipulación	15%		-		-		-
3	Mantenimiento	15%		-		-		-
4	Integralidad funcional	13%		-		-		-
5	Ambiental	7%		-		-		-
6	Funcionalidad	18%		-		-		-
7	Transporte	11%		-		-		-
8	Estructural	9%		-		-		-

Nota. la tabla 2-4. Matriz de evaluación prototipos, muestra los pesos por factor para evaluación de prototipos.

El método de valoración para seleccionar la propuesta más conveniente en función de los parámetros establecidos asigna una puntuación entre 1,3 y 5 en donde 1 es el factor menos valorable, 3 aceptable y 5 el más favorable el cual se registra en la celda Eval, seguidamente del producto entre el % de importancia y la Eval se obtiene el resultado final de ese criterio; finalmente la suma vertical de los totales de cada parámetro otorga la calificación final.

2.4. Propuesta y descripción.

A partir de la metodología anterior y como resultado de la valoración de las propuestas se establece la matriz final:

Tabla 2-5.

Matriz final

Ítem	Dimensión	Peso Factor	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
		%	Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado
1	Costo	10%	1	0,1	5	0,5	5	0,5
1	Manipulación	15%	5	0,75	5	0,75	5	0,75
3	mantenimiento	15%	3	0,45	5	0,75	5	0,75
4	integralidad funcional	13%	3	0,39	5	0,65	3	0,39
5	Ambiental	9%	1	0,085	5	0,425	5	0,425
6	Funcionalidad	18%	5	0,9	5	0,9	5	0,9
7	Transporte a otras áreas.	11%	1	0,11	5	0,55	3	0,33
8	estructural	9%	3	0,27	3	0,27	5	0,45
		100%		3,06		4,795		4,495

Nota. La **Tabla 2-5.** Tabla de evaluación, indica los resultados de ponderaciones una vez evaluados los prototipos.

Se observa en la matriz que la valoración total de la propuesta 1 es de 3,06 ocupando el 3 lugar de la ponderación total; dentro de las desventajas se tienen la necesidad de lubricación recurrente, así como poseer un gran peso, pese a lo anterior el prototipo puede operar, pero no reúne todos los parámetros dados por los agricultores.

La propuesta 2 tiene la mayor ponderación (4,795, por lo que caramente es la opción a desarrollar, posee grandes ventajas a nivel operativo y funcional, la selección se ha diseñado en paralelo, lo que hace que la operación sea segura, esto reduce el tiempo y hace más efectiva la operación; el sistema de almacenamiento emplea una tolva de cono, fácil de

transportar, tiene una gran capacidad de adaptación a otros procesos dado que su diseño de los sistemas pueden desacoplarse fácilmente permitiendo integrar más mecanismos.

La propuesta 3 corresponde a un diseño similar al 2, su ponderación total fue de 4,495, es operado de forma manual lo que implica mantener el mismo o inclusive un mayor recurso humano.

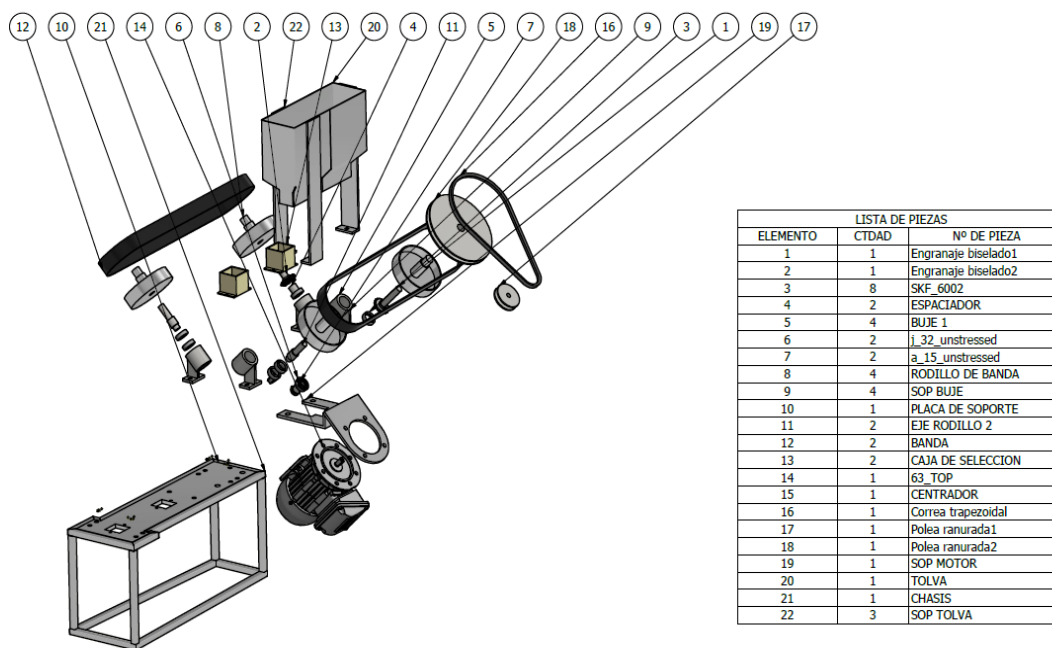
De las anteriores propuestas es importante establecer que la mayor ponderación se asigno a aquel diseño que reunió la mayoría de las consideraciones expuestas por los agricultores y que son claves para la solución problemática, permitiendo entonces implementar un proceso de selección con menos probabilidad de error, así como un mejor uso de los recursos disponibles a nivel técnico, operativo y de proceso como tal.

2.5. Detalle del prototipo seleccionado

De acuerdo con el prototipo seleccionado se procede a realizar un explosivo de este con el fin de realizar una caracterización de sus componentes y funcionalidad, figura 2-1:

Figura 2-1.

Explosivo prototipo máquina clasificadora de limón



Nota. La Figura 2-1.

Explosivo prototipo máquina clasificadora de limón, muestra los componentes del prototipo desarrollado; Autor.

2.5.1. **Engranaje biselado:** Los engranajes biselados transmiten potencia entre los dos ejes que se cruzan. En cuanto a los rodamientos rígidos de una hilera de bolas se caracterizan por su versatilidad, presentando un bajo coeficiente de fricción, generando menos vibraciones y ruidos en su uso permitiéndole una gran velocidad. Presentan buen desempeño a esfuerzo radial y axial, su instalación es sencilla y tienen una baja tasa de mantenimiento; dentro de sus ventajas se encuentran su diseño sencillo, versátil y robusto, la baja fricción, una gran capacidad para trabajar a altas velocidades.

Espaciador: Se emplea para ajustar el espacio entre dos piezas.

2.5.2. **Buje:** El buje es la parte del prototipo en la cual se apoya y se facilita el giro del eje.

2.5.3. **Rodillo de banda:** Son piezas modulares que se unen para formar bandas para el movimiento de los limones sobre la banda.

2.5.4. **Placa soporte:** A ella se fijan el sistema de clasificación el cual comprende la banda, las poleas y ejes.

2.5.5. **Banda:** De tipo trapezoidal y se encarga de realizar el proceso de clasificación guiada del limón.

2.5.6. **Tolva:** Corresponde al depósito donde se vierten los limones para iniciar el proceso de clasificación.

2.5.7. **Chasis:** Es la estructura principal sobre la cual se fija todos los componentes del prototipo, sirve como soporte de la máquina.

3. Capítulo 3: Cálculos y resultados

3.1. Transmisión por correa y poleas

Para determinar los parámetros de la correa y la polea, se deben identificar las variables de potencia entregada por el motor seleccionado, esta se determina a partir de la siguiente ecuación la cual según Myzca establece el trabajo a realizar y la potencia requerida para mover los limones dentro de la tolva:

$$T = F * D \quad \text{Ecu. (1)}$$

Se tiene entonces una carga de 18.000 gr de limones el cual se obtiene de multiplicar 9000 limones con un peso promedio de 2 gr, el cual nos da 18.000 gr, los cuales se desplazarán a una distancia de 50 mm correspondiente a la tolva.

$$T = 18.000gr * 0,05 m = 0,9 Kg. M$$

Ahora bien, en el momento que caen los limones no todos entran al proceso al mismo tiempo, por lo que la carga a clasificar distribuida es de 100 limones el cual se multiplica por el peso, lo que nos da un torque de:

$$T = 200gr * 0,05 m = 0,1 Kg. M$$

Ahora bien, se hace indispensable calcular la potencia necesaria del motor a trabajar de acuerdo con la ecuación 2, para lo cual se trabajará con un motor asíncrono comercial de 1800 rpm.

Ahora bien, se procede a calcular la potencia necesaria del motor, según lo anterior se tiene:

$$Hp = \frac{T * n}{716} \quad \text{Ecu. (2)}$$

de donde

T= trabajo

n= número de revoluciones por minuto

$$Hp = \frac{0,1 \text{ Kg. m} * 1800 \text{ rpm}}{716} = 0,25 \text{ Hp}$$

De acuerdo con lo anterior se tiene, que el motor seleccionado a trabajar es de 0,5 Hp, dado a que a nivel comercial existen configuraciones 0,25, 0,5 y 1 Hp entre otras; esto debido a que la actividad de clasificación no demanda alta potencia por ser un trabajo ligero que se realiza en un tiempo menor a 8 horas, por ende el motor se necesita solo para el movimiento de la correa; la velocidad angular de 1800 rpm; lo anterior parte del hecho que la actividad a realizar no implica demanda de grandes potencias o trabajo en donde intervienen grandes esfuerzos, adicionalmente este motor genera un torque necesario para inducir el movimiento del eje; según lo anterior se procede a determinar la potencia efectiva de diseño mediante la siguiente expresión dada por la ecuación (3) y de la cual (Myszca, 2012), propone para su cálculo.

$$N_d = N \cdot f_s \quad \text{Ecu. (3)}$$

De donde:

$N_d = \text{potencia efectiva de diseño}$

$N = \text{potencia a transmitir}$

$f_s = \text{factor de servicio de la transmisión}$

Como se conoce el valor de la potencia a transmitir (N), se procede a determinar el valor del factor de servicio a partir de la Figura 3-1, la cual provee valores de factor de servicio, permitiendo la selección de dicho factor de servicio k; aquí es importante

considerar para su selección los criterios de selección como el tipo de motor eléctrico en horas de trabajo y el tipo de máquina que corresponde a un determinado uso en función de la carga de trabajo.

Figura 3-1.

Factor de servicio (fs)

Clase	Ejemplos	Máquina motriz					
		Horas de trabajo diarias			Horas de trabajo diarias		
		<10	10 a 16	>16	<10	10 a 16	>16
1 (servicio ligero)	Agitador (densidad uniforme).	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
	Ventilador y soplador (<7.5kW). Compresor y bomba centrífuga. Banda transportadora (carga uniforme).						
2 (servicio medio)	Agitador (densidad variable). Ventilador y soplador (>7.5kW). Compresor y bomba rotatoria. Banda transportadora (carga no uniforme), Generador, Lavadora, Eje de transmisión.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
	Máquina herramienta, Imprenta, Máquina para madera.						
3 (servicio pesado)	Máquina para fabricar ladrillo. Elevador, Compresor y Bomba recíproca. Transportadora (carga pesada), Montacargas, Molino de percusión, Pulverizadora, Prensa, Cizalla, Maquinaria para caucho, Vibrador, Maquinaria textil	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
4 (servicio extra pesado)	Troqueladora, Laminadora	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
	Trituradora circular, de mordazas, de rodillos Molino triturador de bolas y de barras						

Nota: Para transmisiones con reducción de velocidad:
Si (1.0 < i < 1.24) multiplique fs por 1.0
Si (1.25 < i < 1.74) multiplique fs por 1.05
Si (1.75 < i < 2.49) multiplique fs por 1.11
Si (2.5 < i < 3.49) multiplique fs por 1.18
Si (i > 3.5) multiplique fs por 1.25

Nota. **Figura 3-1.** Factor de servicio (fs), muestra la relación entre la clase de servicio y las horas promedio de trabajo para determinar el factor de servicio, valor clave para calcular la potencia efectiva; tomado de (Myszca, Máquinas y mecanismos, 2012)

Por tratarse de un motor eléctrico cuyas prestaciones según los dueños de las fincas del corregimiento de Guacirco pueden trabajar entre 6 a 10 horas, el factor de servicio seleccionado corresponde a un servicio ligero por efecto de un trabajo menor a 10 horas,

bajo estas consideraciones se identifica la intersección de estos dos aspectos los cuales se marcan en el recuadro en rojo de la figura 3-1; dicho valor es:

$K= 1.0$ factor de potencia; como se ha calculado el valor de k , se procede a reemplazar estos valores en la ecuación (3), se tiene:

$$N_d = N \cdot f_s \quad \text{Ecu. (3)}$$

$$N_d = 0,25 \text{ Hp} \cdot 1.0 = 0,25 \text{ Hp}$$

Ahora bien, se convierte inicialmente la unidad de medida de potencia pasando de Hp a kW, de lo cual se obtiene:

$$0,25 \text{ HP} = 0,186 \text{ Kw}$$

En este caso según la tabla de factores de servicio, y de acuerdo con las consideraciones realizadas por los productores en cuanto al proceso de selección, el cual no requiere de grandes demandas de potencia, sino más bien un servicio liviano se opta por este factor de servicio el cual al reemplazar en la ecuación 1 resulta:

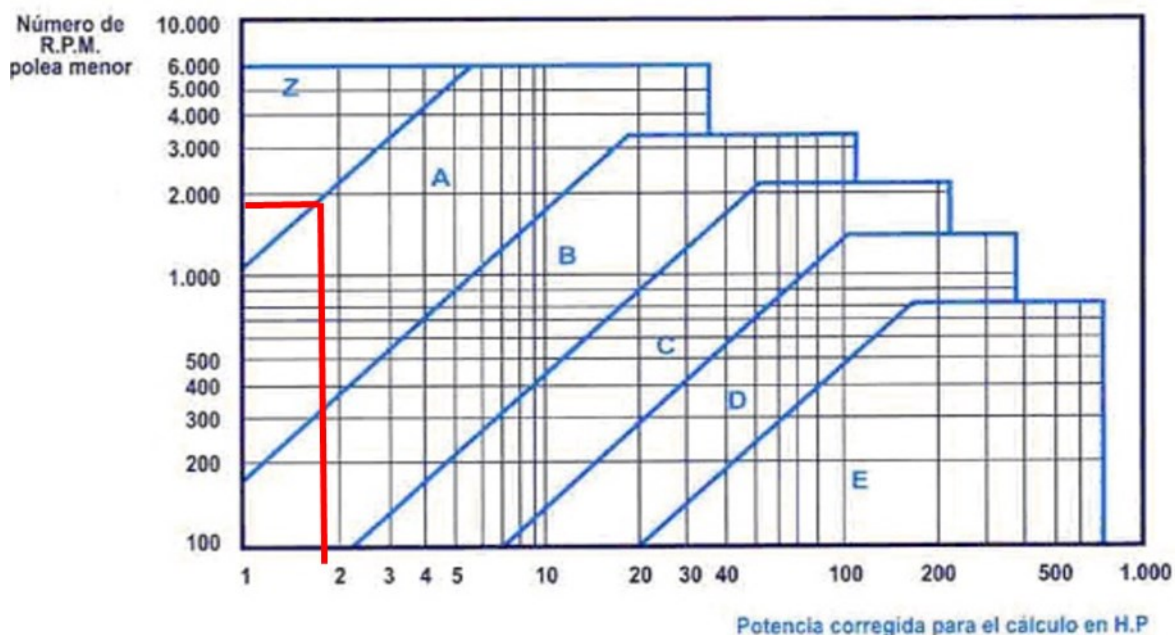
$$N_d = 0,186 \text{ Kw} * 1.0$$

$$N_d = 0,186 \text{ Kw}$$

Una vez conocida la potencia transmitida y la velocidad angular, se selecciona la correa mediante la tabla de Figura 3-2. Tabla de relación R.P.M y factor de servicio para selección de correa, los cuales corresponden a los criterios de identificación del tipo de correa que resulta de la intersección de dichas variables cuando se grafican en un plano XY, como se indica a continuación.

Figura 3-2.

Tabla de relación R.P.M y factor de servicio para selección de correa



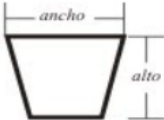
Nota. La figura 3-2. Tabla de relación R.P.M Y factor de servicio para selección de correa, muestra una figura de relación de RPM vs k, para determinar la sección del tipo de correa necesaria; tomada de (Inge mecánica, 2020).

De acuerdo con la tabla de la figura 3-2, nos muestra la intersección entre el número de R.P.M a 1800 R.P.M bajo un factor de servicio de 1, el cual según las trazas de intersección en X y Y línea roja, requiere para su funcionamiento una correa trapezoidal tipo A; las cuales tiene como ventajas transmitir grandes pares de torsión; mayor margen de adherencia, lo que les permite tener unos mayores puntos de pretensados.

Como se conoce el diámetro de la polea de salida, se establece el diámetro de la correa conducida como lo plantea Molt a partir de la ecuación (4); de donde D_1 es diámetro polea de salida (i) la cual corresponde a la relación de transmisión; de acuerdo con lo anterior se tiene la ecuación 4:

Figura 3-3.

Tipos de correa Trapezoidales

<i>Sección Transversal</i>	<i>Tipo de Correa</i>	<i>Pulgadas</i>		<i>Milímetros</i>	
		<i>Ancho</i>	<i>Alto</i>	<i>Ancho</i>	<i>Alto</i>
	HA	0.50	0.31	12.70	7.90
	HB	0.66	0.41	16.70	10.30
	HC	0.88	0.53	22.20	13.50
	HD	1.25	0.75	31.80	19.00
	HE	1.50	0.91	38.10	23.00

Nota. La figura 3-3. muestra los tipos de correas trapezoidales existente las cuales se obtuvieron de la tabla 3-2 para la configuración de la polea; tomada de (Inge mecánica, 2020).

Se procede a seleccionar el conducido, partiendo del diámetro efectivo en función de la distancia de sus centros y a su relación de transmisión, la cual para este caso es de 2.87:1, la cual se obtuvo en función a la velocidad de producción. Este cálculo esta dado por la ecuación (4).

$$i = d_2/d_1 \quad \text{Ecu. (4)}$$

De donde

$i = \text{Relación de transmisión} = 2,87;$

$d_2 = \text{Diámetro mayor de la polea}=?$

$d_1 = \text{Diámetro menor de la polea} = 64\text{mm}$

Al reemplazar en ecu (2), se tiene la siguiente expresión:

$$2.87 = d_2/d_1$$

La medida de la polea pequeña es de 64mm

$$d_2 = 2.87 * 64 \text{ mm}$$

$$d_2 = 183.68 \text{ mm}$$

3.1.1. Distancia entre ejes de poleas

La distancia de los ejes (E) está dada en función de la relación de; sin embargo, cuando no, este debe calcularse como lo establece Molt (Molt, 2006) a partir de la ecuación (5)

$$E = 2 * (d_2 - d_1) \quad \text{Ecu. (5)}$$

De donde:

d_1 : polea motriz

d_2 : polea accionada

A partir de ello se calcula la distancia entre centros de las poleas según la ecuación que dicta la normativa DIN 7753 se tiene:

$$E = 2 * (183.68 - 64)$$

$$E = 239.36 \text{ mm}$$

Para el caso de la clasificadora se tomará una distancia entre centros por espacio de piezas de la máquina de 240 mm, esto permite una holgura de 0,640 mm por efectos de construcción.

3.1.2. Longitud de la correa

Para (Myszca, 2012), la longitud primitiva de la correa (L_p) de una transmisión se obtiene mediante ecuación (6), la cual contempla la geometría de la transmisión, a partir de la longitud primitiva y de los diámetros primitivos de polea y la distancia entre ejes, según lo anterior se tiene:

$$L_0 = 2 * E + \frac{\pi}{2} * (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 * E} \quad \text{Ecu. (6)}$$

De donde:

d1: D. P. polea menor [mm]

d2: D. P. polea mayor [mm]

E: Distancia entre centros [mm]

Al reemplazar estos valores en la ecuación (6), se tiene:

$$L_0 = 2 * 239.2 + \frac{\pi}{2} * (183.6 + 64) + \frac{(183.6 - 64)^2}{4 * 239.2}$$

$$L_0 = 882.27 \text{ mm}$$

$$L_0 \approx 882 \text{ mm}$$

Al verificar los ciclos de tensión mediante la ecuación (7) se tiene:

$$i_f = 1000 * n_p * \frac{v}{L_0} \quad \text{Ecu. (7)}$$

$$i_f = 1000 * 1 * \frac{6,03 \text{ m/s}}{1.4 \text{ m}}$$

$$i_f = 4307.1$$

3.1.3. *Velocidad lineal de la correa*

Su importancia radica en que permite determinar la cantidad de revoluciones por minuto (rpm) a plena carga en las que gira dicha correa; esta se determina empleando la ecuación propuesta por Myszcza y dada en la ecuación (8) presentada a continuación:

$$v = \frac{n_1 * \pi * d_1}{60000} = \frac{n_2 * \pi * d_2}{60000} \quad \text{Ecu. (8)}$$

De donde

v velocidad lineal (m/s).

d D. polea menor (mm).

N r.p.m.-polea menor

Al reemplazar estos valores se tiene:

$$v = \frac{1800 \text{ rpm} * \pi * 64 \text{ mm}}{60000} = 6,03 \text{ m/s}$$

La velocidad lineal calculada mediante la ecuación (9) de la correa está dada por:

$$v = \pi * d * N \quad \text{Ecu. (9)}$$

Al reemplazar estos valores se tiene

$$v = \pi * 0.064m * 1800 \text{ rpm}$$

$$v = 361.9 \text{ m/min}$$

De acuerdo con lo anterior se determina la velocidad de la banda dosificadora a partir de la ecuación (9); reemplazando las variables se tiene:

Para determinar la relación del motor en rpm, se toman los 1800 rpm y se calcula nuevamente en función de la relación 2.87 establecida en la selección del tipo de correa, lo cual nos da:

$$N = \frac{1800 \text{ rpm}}{2,87} = 627 \text{ rpm}; \text{ ahora se procede a determinar la velocidad lineal en}$$

función de esta relación.

$$v = \pi * 0.184m * 627 \text{ rpm}$$

$$v = 361.86 \text{ m/min}$$

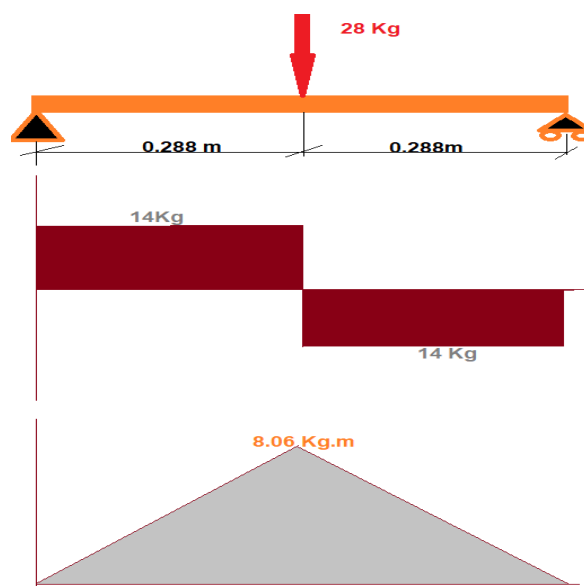
Esta es la velocidad lineal de la banda dosificadora, es decir que si un limón tiene un diámetro de 40 mm (0.04m) se puede despejar el número de limones por minuto.

$$No\ limones = \frac{361.86\ m/min}{0.04\ m} = 9046.5 / minuto$$

La velocidad se puede graduar mediante un potenciómetro o variador de frecuencia; o en su defecto dicha velocidad se puede graduar en función de las necesidades del cliente.

3.2.Cálculo del perfil del chasis para simulación de esfuerzos

Para determinar este cálculo, se considera el peso del conjunto que implica la tolva más el producto, el cual es de 28 Kg. El esfuerzo máximo del material por ficha técnica es de 505 Mpa, por lo tanto, se tiene:



$$\sigma_{max} = \frac{M C}{I} = \frac{M}{S} \quad \text{Ecu. (10)}$$

Donde

M= momento máximo

I= momento de inercia

C= distancia del eje neutro

S= módulo de sección

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

$$M = 0,288m * 28Kg = 8.06 Kg.m$$

$$G = 9.81 m/A = \pi r^2$$

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

σ =Resistencia máxima a la tracción acero AISI 304=420 MPa

$$S = \frac{M}{\sigma} = \frac{8.06 Kg.m * 9.81 \frac{m}{s^2}}{420 Mpa} = 0.188 * 10^{-7} m^3 = 1.88 * 10^{-6} m^3$$

Figura 3-4.

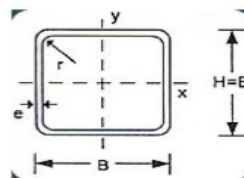
Selección del perfil

TUBERIA PULIDA, HIERRO NEGRO, CONSTRUCCION Y POSTES

- TUBERIA PULIDA (FL):

TUBERIA PULIDA CUADRADA

Tubería pulida cuadrada
Para Carpintería Metálica y Herrería
Materia prima ASTM – A366
Laminado en frío



MEDIDA Pulgadas (B)	ESPESOR (mm (E))	LONGITUD Mts	PESO		SECCIÓN cm ²	I cm ⁴	S cm ³	R cm
			Kg/m	Kg/Pieza				
½ x ½	0.90	6.00	0.337	2.022	0.424	0.110	0.17	0.509
½ x ½	1.10	6.00	0.398	2.388	0.510	0.131	0.20	0.506
¾ x ¾	0.90	6.00	0.518	3.108	0.633	0.285	0.30	0.672
¾ x ¾	1.10	6.00	0.624	3.744	0.759	0.319	0.33	0.648
1 x 1	0.90	6.00	0.701	4.206	0.861	0.745	0.59	0.930
1 x 1	1.10	6.00	0.848	5.088	1.038	0.853	0.67	0.907
1 1/4 x 1 1/4	0.90	6.00	0.884	5.304	1.090	1.541	0.97	1.189
1 1/4 x 1 1/4	1.10	6.00	1.071	6.426	1.317	1.790	1.13	1.166
1 ½ x 1 ½	0.90	6.00	1.067	6.402	1.318	2.766	1.45	1.448
1 ½ x 1 ½	1.10	6.00	1.298	7.770	1.597	3.241	1.70	1.425
2 x 2	1.10	6.00	1.743	10.458	2.156	8.137	3.20	1.943
2 x 2	1.20	6.00	1.896	11.376	2.344	8.739	3.44	1.931
3 x 3	1.40	6.00	3.340	20.040	4.076	36.606	9.61	2.997
3 x 3	1.40	6.00	3.573	21.438	4.360	39.024	10.24	2.992
4 x 4	1.50	6.00	4.793	28.758	5.884	95.916	18.88	4.038

Nota. Figura 3-4.

Selección del perfil, muestra la ficha técnica de las configuraciones del perfil cuadrado.

La tubería se selecciona en función de la disponibilidad comercial que está en el mercado, tubería de ½” no es comercial como la de 5/8” (15mm) y la de ¾” (20 mm) optamos por seleccionar tubería de 15 mm x 1 mm de espesor.

Al calcular el esfuerzo sobre el perfil manualmente se tiene:

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{8.06 \text{ Kg.m}}{1.88 * 10^{-6} \text{ m}^3} = 4,287234 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma = 42 \text{ MPa}$$

3.3. Análisis finito mediante método Von Mises

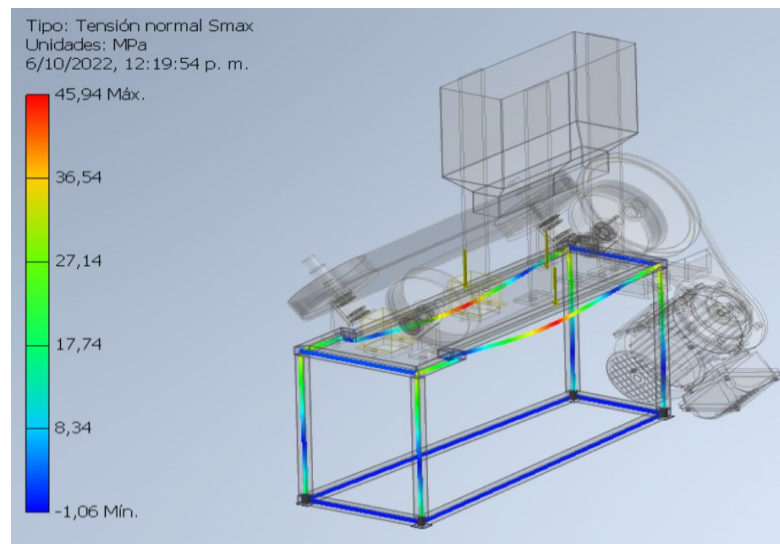
3.3.1. Análisis de tensión del conjunto chasis – componentes clasificadoras de limón.

Determinado el valor mediante cálculo manual, se procede a validar este, mediante la estimación en el programa Autodesk (Inventory).

Para realizar el siguientes análisis se tiene en cuenta el peso total de los limones en la tolva y el peso de la tolva vacía, por lo tanto, este conjunto tiene un peso total de 28 Kg con la carga en la tolva, al aplicar esta carga distribuida sobre una de las vigas que comprende el chasis se tiene el siguiente comportamiento de tensión, el cual como se indica en la figura 3-5 mediante simulación en autodesk inventory, al ingresar el valor del peso total y analizar esta variable da como valor de tensión máxima, el siguiente resultado.

Figura 3-5.

Análisis de tensión de máquina clasificadora de Limón.



Nota. Limón. Se observa el conjunto de máquina clasificadora sometida al máximo esfuerzo; autor.

El aplicar una carga máxima a la estructura o chasis sobre las vigas que lo soportan, se tiene que el máximo esfuerzo soportado por esta es de 45,94 Mpa; y se observa la viga soporte específicamente en las areas rojas, sin presentar cizallamiento; las areas de color azul indican que la estructura de desempeña en condiciones de máxima carga

En cuanto al material de fabricación de la estructura se considera acero AISI 304, el cual tiene como características una alta resistencia a la tensión. Según lo anterior con el límite de deformación debido a los esfuerzos la eficiencia en el diseño de la estructura es:

Tabla 3-1.

Datos para cálculo de eficiencia de la estructura

Nombre	Acero inoxidable AISI 304	
General	Densidad de masa	8,000 g/cm ³
	Límite de elasticidad	215,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	195,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,290 su

Nota. Se observa en la **Tabla 3-1.**

Datos para cálculo de eficiencia de la estructura relacionados al tipo de material partan efectos de determinar la eficiencia de la estructura. Elaboración propia a.

Otras propiedades del acero AISI 304 refieren una alta resistividad al fenómeno de corrosión, ni adecuación térmica previo a soldaduras, presenta un buen margen de maleabilidad para ser trabajado en frío en operaciones de doblado, cilindrado, embutido profundo, etc. Su resistencia a la tracción oscila entre los 420-750 N/mm², la cual es alta,

permitiéndole ser usado en proceso de fabricación de estructuras o componentes para máquinas y/o herramientas.

Según las propiedades mecánicas del material que comprende la estructura, se puede identificar que el límite de deformación elástica es de 215 Mpa, el cual es un dato necesario para estimar dicha eficiencia a partir de la ecuación (10)

Según lo anterior se calcula el factor de eficiencia de la estructura con los valores obtenidos, de donde:

$$\alpha = \text{tensión máxima} = 45.94 \text{ MPa}$$

$$D = \text{Deformación elástica o esfuerzo máximo} = 215 \text{ Mpa}$$

Tanto la tensión máxima como la deformación elástica permiten determinar dicho factor como se indica en la ecuación 10; aquí ambos valores se conocen, por lo que se procede a hallar dicho factor reemplazando los valores conocidos en la ecuación, obteniendo los siguientes resultados que se presentan a continuación:

$$f_s = \frac{D}{\alpha} \quad \text{Ecu. (10)}$$

$$s = \frac{215 \text{ MPa}}{45.94 \text{ MPa}} = 4.6$$

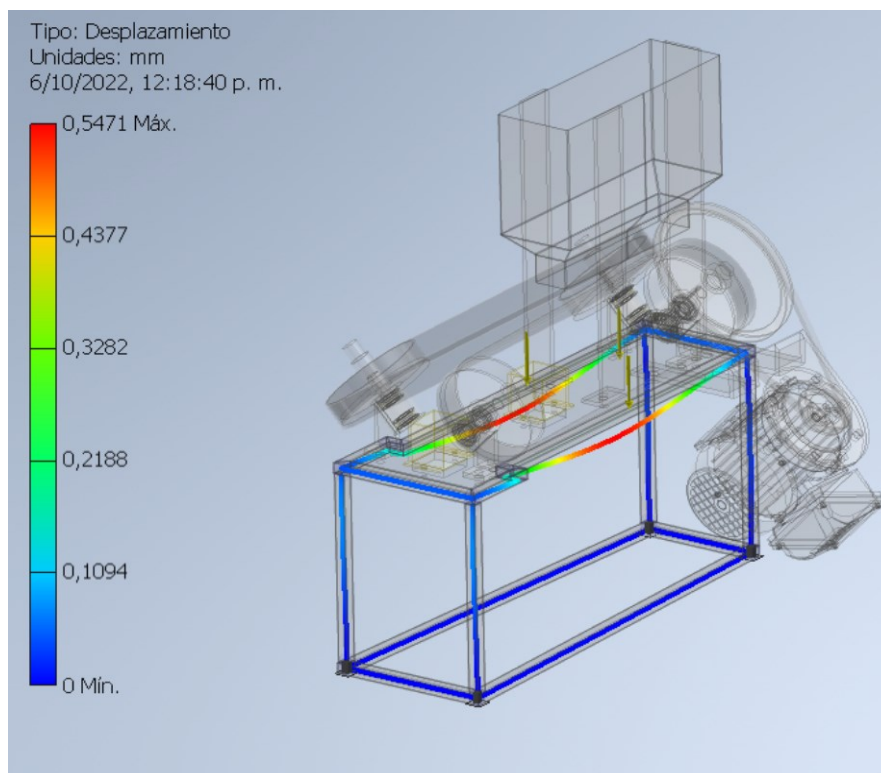
3.3.2. Análisis de desplazamiento del conjunto chasis – componentes clasificadoras de limón.

La figura 3-6, indica el valor máximo desplazado que puede tener el material de la estructura al someterla o aplicarles las máximas cargas, este valor es de 0,5471 mm, y se ubica sobre las vigas soporte de la máquina clasificadora específicamente en las áreas de color rojo; el color azul no indica que no existen desplazamientos de la estructura bajo las

condiciones anteriormente sometidas; sin embargo el valor de variación de colores sobre la viga (azul a verde) tiene un valor de 0,382 mm, muy por debajo del valor de desplazamiento máximo que puede sufrir.

Figura 3-6.

Análisis de desplazamiento en la estructura



Nota. En la figura 3-6 se observa el conjunto de máquina clasificadora sometida al desplazamiento máximo; elaboración propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020.

Según lo anterior se puede concluir que el desplazamiento máximo sobre los perfiles no representa un riesgo para la operación de la máquina o cizallamiento de los materiales de esta.

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:

$$\sigma_{fatiga} = 4,6 * 45,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fatiga} = 211,324 \text{ MPa}$$

Una vez obtenidos los resultados, concluimos que la estructura trabaja óptimamente con las cargas a la que se le someterá en su trabajo, esta presenta una tensión máxima de 45,94 MPa y un desplazamiento máximo por flexión de 0,5471 mm, así su factor de precarga o de servicio es de 4,6.

Tanto para sistema de clasificación como para el chasis se concluye que los resultados son buenos ya que estos se validan en el momento de ingresarlos al programa Autodesk Inventor, nos arroja un factor de seguridad en el análisis mayor a 1, indicando que dichos elementos funcionan correctamente.

Como en el proceso de armado de la estructura se empleará soldadura tipo MIG, esta se selecciona a partir de la tabla presentada a continuación:

Tabla 3-2.

Tabla para selección de soldadura

Espesor en Gauge	Espesor en pulg.	Espesor en mm.	Ø Electrodo en mm.	Amperajes en C.C.	Voltaje en C.C.	Velocidad avance m/min.	Gas en PCH.	Litros por min.
22		0,77	0,8	35 - 60	16 - 17,5	0,50	15 - 20	7 - 9
20		0,92	0,8	40 - 70	17 - 18	0,70	15 - 20	8 - 9
8		1,25	0,9	70 - 90	18 - 19	0,50 - 0,70	15 - 20	8 - 9
14	5/64	2,1	0,9	120 - 130	20 - 21	40 - 0,50	20 - 25	9 - 12
11	1/8	3,17	1,2	120 - 180	20 - 23	0,37 - 0,50	20 - 25	9 - 13
7	3/16	4,76	1,2	190 - 200	21 - 22	0,60 - 0,70	25 - 30	12 - 14
	1/4	6,25	1,2	160 - 180	22,5 - 23	0,35 - 0,45	25 - 30	12 - 14
	5/16	7,93	1,2	200 - 210	23 - 23,5	0,30 - 0,50	25 - 30	12 - 14
	3/8	9,5	1,2	220 - 250	24 - 25	0,30 - 0,40	25 - 30	12 - 14
	1/2	12,5	1,2	280	28 - 29	0,35	25 - 30	12 - 14
	3/4	19	1,6	300	32	0,25	30 - 35	14 - 16

Nota. En la **Tabla 3-2.**

Tabla para selección de soldadura, se presenta los parámetros técnicos en función de la soldadura MIG para determinar el alambre de aporte.

El alambre de aporte es de 0.8 mm.

4. Capítulo 4: Construcción

A partir de los valores calculados y el análisis FEM se procedió a realizar la etapa de construcción del prototipo partiendo de la adquisición del material, de piezas y elementos, los cuales se describen en el epígrafe 4.1.

4.1. Adquisición de materiales y elementos

Este proceso parte de la compra de elementos como poleas, correa, lamina para construcción de tolva y perfil en acero al carbono para el diseño de la estructura; figura 4-1.

Figura 4-1.

Materiales para construcción prototipo máquina clasificadora de limón.



Nota. La **Figura 4-1.**

Materiales para construcción prototipo máquina clasificadora de limón. Muestra los materiales base necesarios para el ensamble.

De acuerdo con la información definida anteriormente se indica los elementos principales para el proceso de ensamble del prototipo, los cuales se indican a continuación.

4.2.Corte y soldadura

En esta etapa los elementos que se realizaron mediante corte y mecanizado corresponden a las bandejas guías para el limón, el perfil de la estructura.

Figura 4-2.

Corte y soldadura de elementos.



Nota. La **Figura 4-2.**

Corte y soldadura de elementos presentada corresponde a los elementos empleados para el proceso de armado de la tolva y la estructura del prototipo de máquina clasificadora de limón.

La figura 4-1, corresponde al proceso de corte se realizó con los perfiles para el armado de la estructura que soporta la tolva y el sistema de clasificación; a su vez se visualiza el proceso de corte de las láminas y se aplica la soldadura para la configuración de la tolva, la cual posteriormente se acopla a la base.

4.3. Ensamble prototipo

El proceso de ensamble inicia con la integración de los elementos de clasificación como poleas, correa y guías las cuales se montan sobre el sistema clasificador como se indica a continuación.

Figura 4-3.

Ensamble sistema de clasificación.



Nota. La **Figura 4-3.**

Ensamble sistema de clasificación muestra el proceso de ensamble de los elementos como correa, poleas y bandejas guías.

La figura 4-3 muestra el proceso inicial de acople del sistema de clasificación del limón sobre la estructura, estos elementos se fijaron mediante tornillos de cabeza hexagonal, a su vez se observa el proceso de instalación de las correas.

Una vez se tiene acoplado estos elementos, se procede a integrar la tolva, figura 4-4.

Figura 4-4.

Ensamble de tolva y estructura



Nota. La **Figura 4-4.**

Ensamble de tolva y estructura muestra la forma como se realizó el proceso de acople del sistema que compone la estructura y el sistema de clasificación con la tolva de alimentación.

Otras actividades realizadas incluyen engrase, ajuste y una prueba de circulación de limones sobre las láminas conductoras del limón clasificado, esta se realizó de forma manual para validar si este circulaba sobre estas y evidenciar que no se presentara obstrucción una vez clasificado el limón por la banda.

Figura 4-5.

Proceso de engrase y validación de circulación de limones sobre laminas selectoras



Nota. La **Figura 4-5.**

Proceso de engrase y validación de circulación de limones sobre laminas selectoras, comprende la lubricación de las partes móviles del prototipo como poleas y rodamientos.

4.4.Acabado de prototipo

El proceso de acabado se centra en terminar de ajustar el prototipo para posteriormente aplicar la pintura antioxidante sobre las partes de este; como se puede apreciar esta etapa se realizó de acuerdo con la figura 4-6 presentada a continuación.

Figura 4-6.

Proceso de pintura y acabado



Nota. La Figura 4-6.

Proceso de pintura y acabado presentada describe el proceso de terminación y puesta a punto del prototipo.

De acuerdo con lo anteriormente descrito el proceso incluyó lijado en las superficies rugosas con el fin de tener una superficie lisa que evite cortes por manipulación, para posteriormente iniciar el proceso de pintado del prototipo.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

El prototipo diseñado presenta un sistema de clasificación de limón por tamaño, el sistema incluye una tolva clasificadora con una capacidad total de 18 Kg por tanda; el sistema actúa mediante correa trapezoidal cuya potencia de motor es de 0,25 hp, esto a razón de la actividad desarrollada no requiere de grandes demandas de potencia y largas jornadas de trabajo; el material de la estructura corresponde a un acero AISI 304, perfil cuadrado cuya resistencia es de 420 Mpa.

Se evaluaron 3 alternativas por el método de matriz morfológica, y cuyos análisis indicaron que la propuesta 2 cuyas características comprenden un sistema de clasificación de limón diseñado en paralelo, lo que hace que la operación sea segura, esto reduce el tiempo y hace más efectiva la operación; el sistema de almacenamiento emplea una tolva en cono.

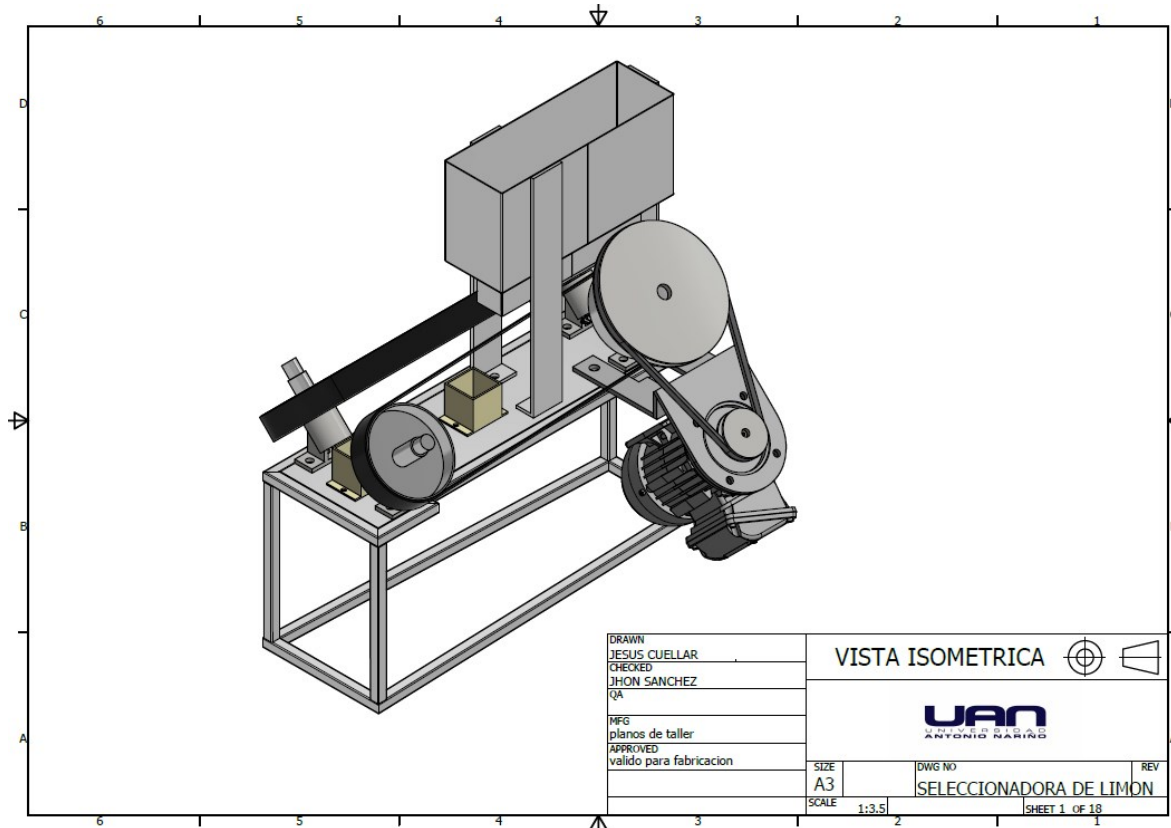
Dentro de los cálculos de mayor relevancia se tiene que el peso total de los limones en la tolva, más el peso de la tolva es de 28 Kg, al aplicar esta carga distribuida sobre los perfiles que comprenden el chasis se tiene un esfuerzo máximo de trabajo de 45,94 MPa el cual se concentra sobre el soporte; en cuanto al desplazamiento máximo sobre los perfiles, este es de 0,5471 mm, el cual se concentra en el soporte de la máquina clasificadora, identificando variaciones de 0,382 mm; el factor de precarga es de 4,6 lo cual indica que este puede trabajar bajo condiciones de operación normales y cumplir con el proceso sin generar daños al equipo.

5.2.Recomendaciones

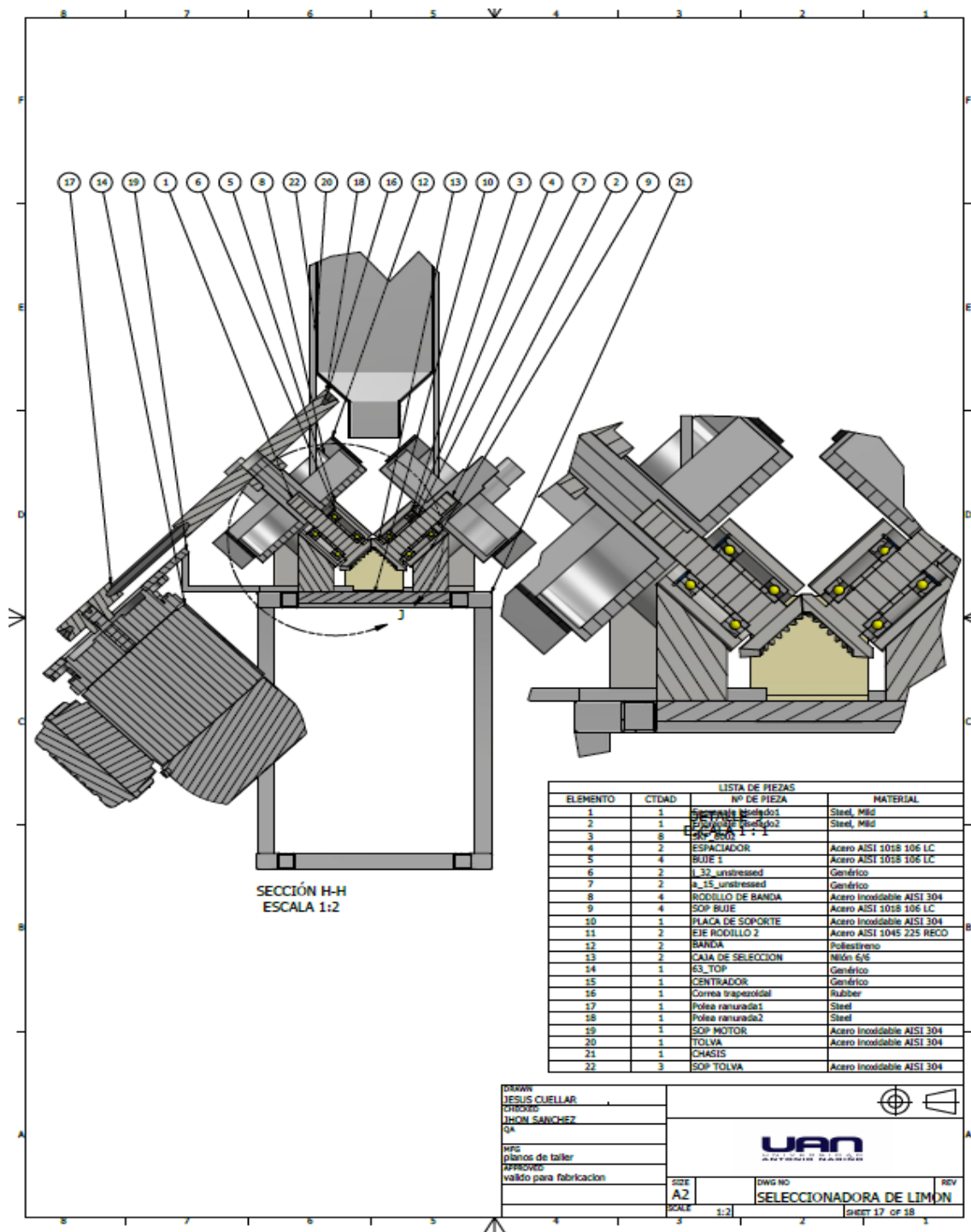
1. Se recomienda evaluar el método para aplicación a otros cítricos que se comercializan bajo este mismo criterio de tamaño.
2. Realizar un estudio de materiales menos pesados y con igual características de resistencia para implementar y disminuir los costos de fabricación y por ende de adquisición para el productor de Limón.
3. Diseñar un sistema a futuro para el control automático y conteo de limones para efectos de estandarización de volumen empacado.
4. Elaborar un manual de operación y mantenimiento.
5. Implementar un sistema de parada de emergencia.
6. Evaluar la viabilidad para que la clasificadora opere con fuentes de energía eléctrica alternativa como solar o eólica.
7. Diseñar una ficha técnica de vida útil proyectada de elementos que componen el prototipo.

6. Anexos

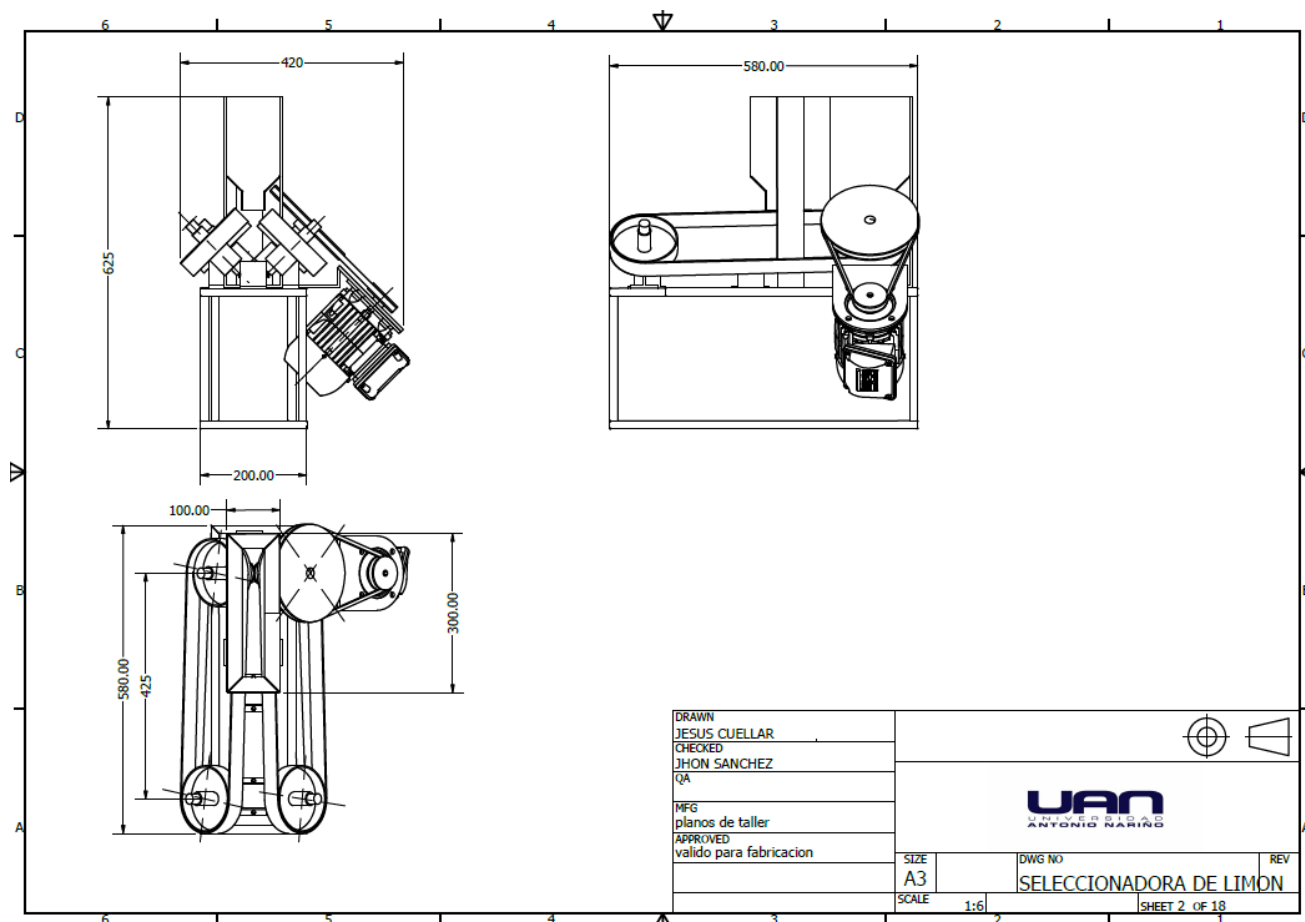
Anexo. 1. Isométrica máquina clasificadora de limón



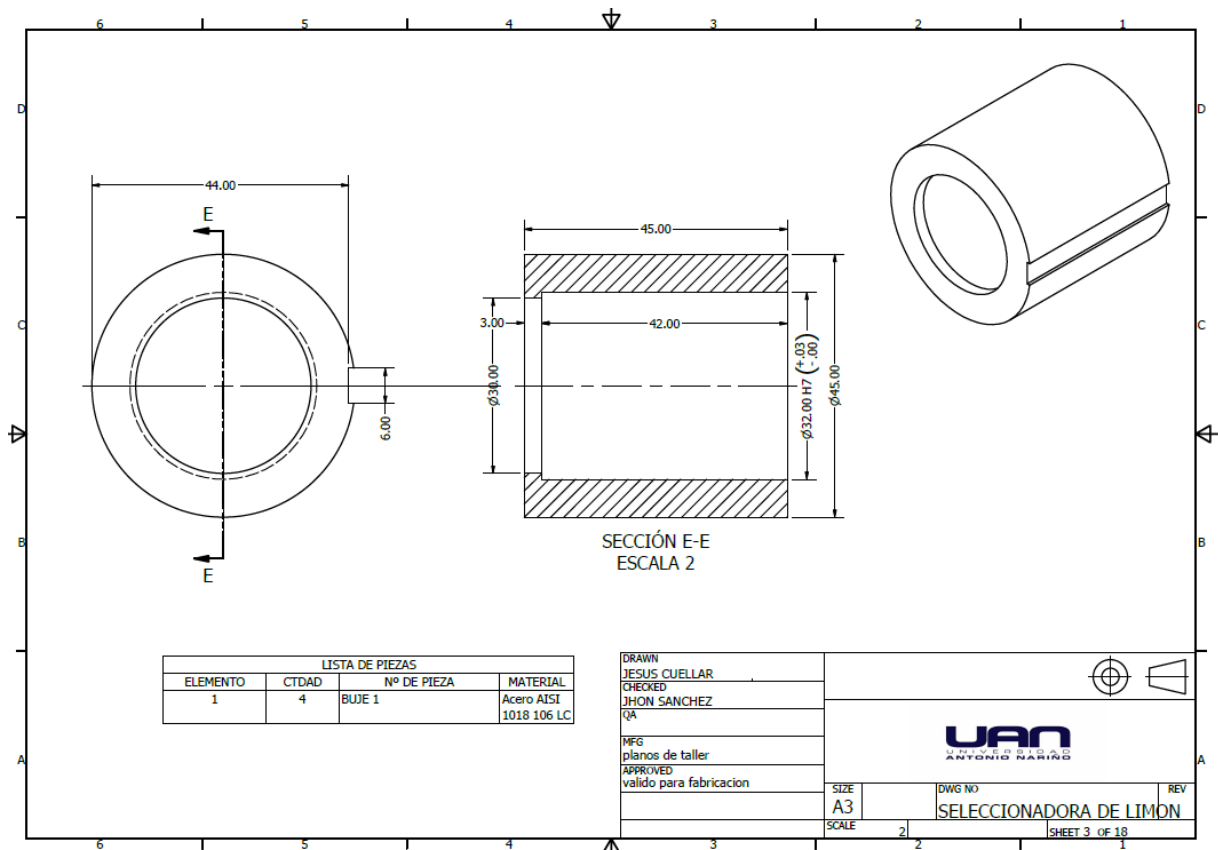
Anexo. 2 componentes máquina clasificadora de limón



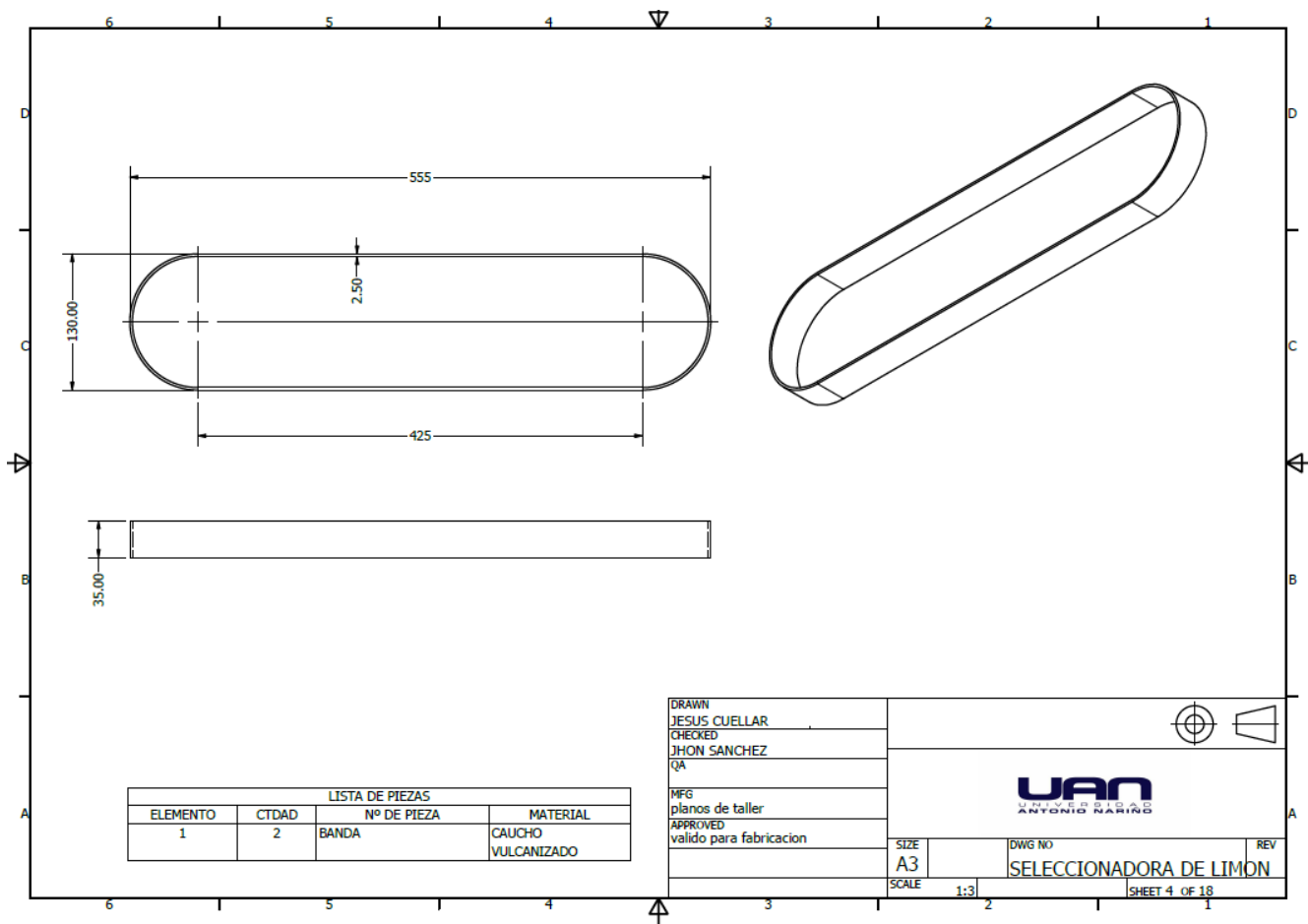
Anexo. 3. Vista lateral, vertical y frontal máquina clasificadora de limón.



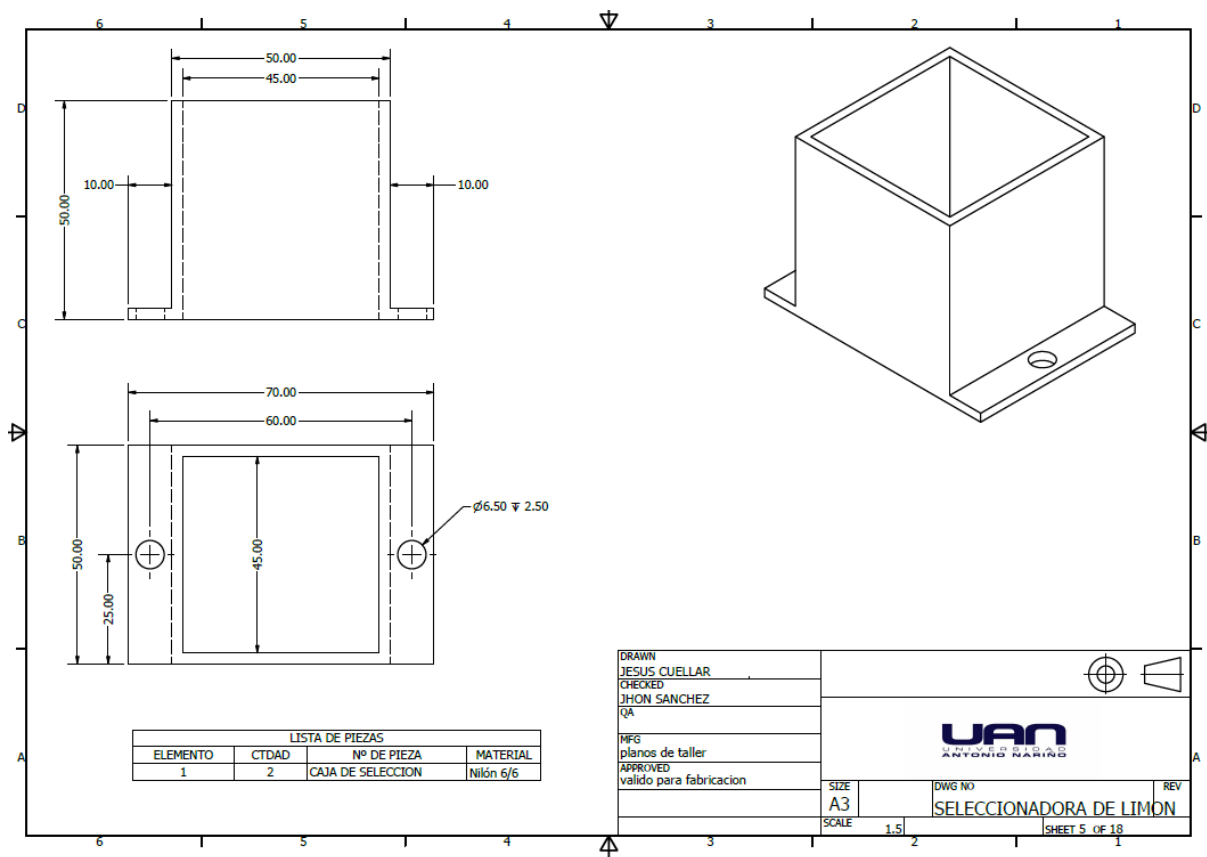
Anexo. 4 Vista y desarrollo Buje.



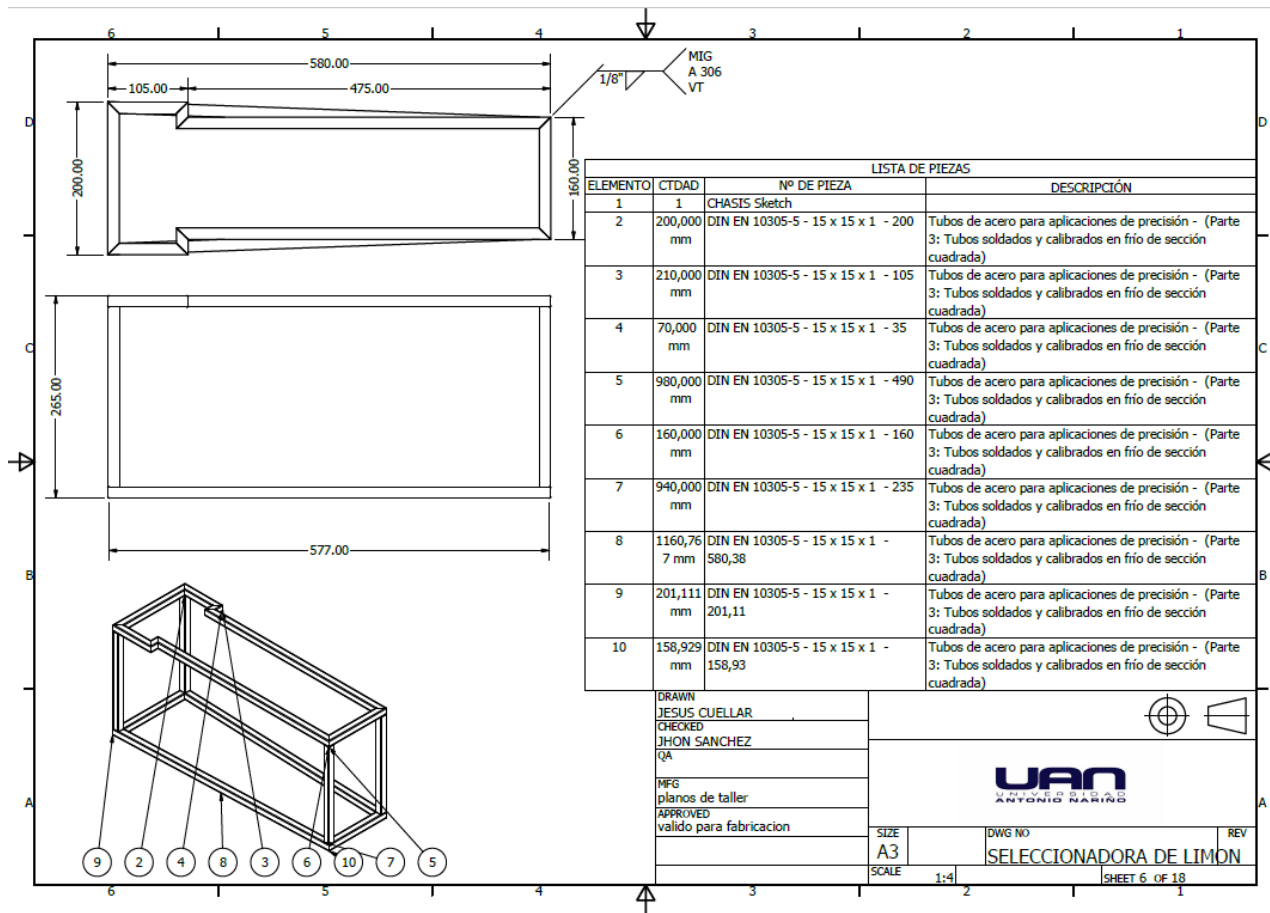
Anexo. 5. Vista Banda transportadora



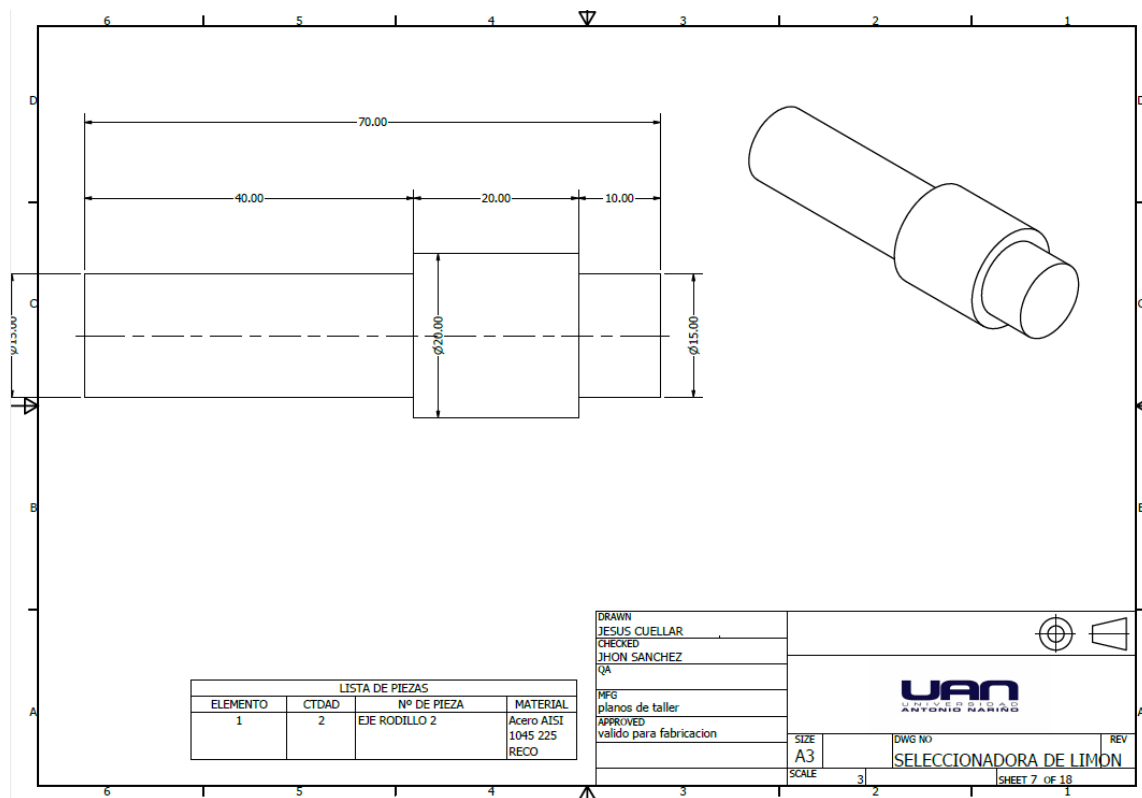
Anexo. 6, isométrico Caja de selección



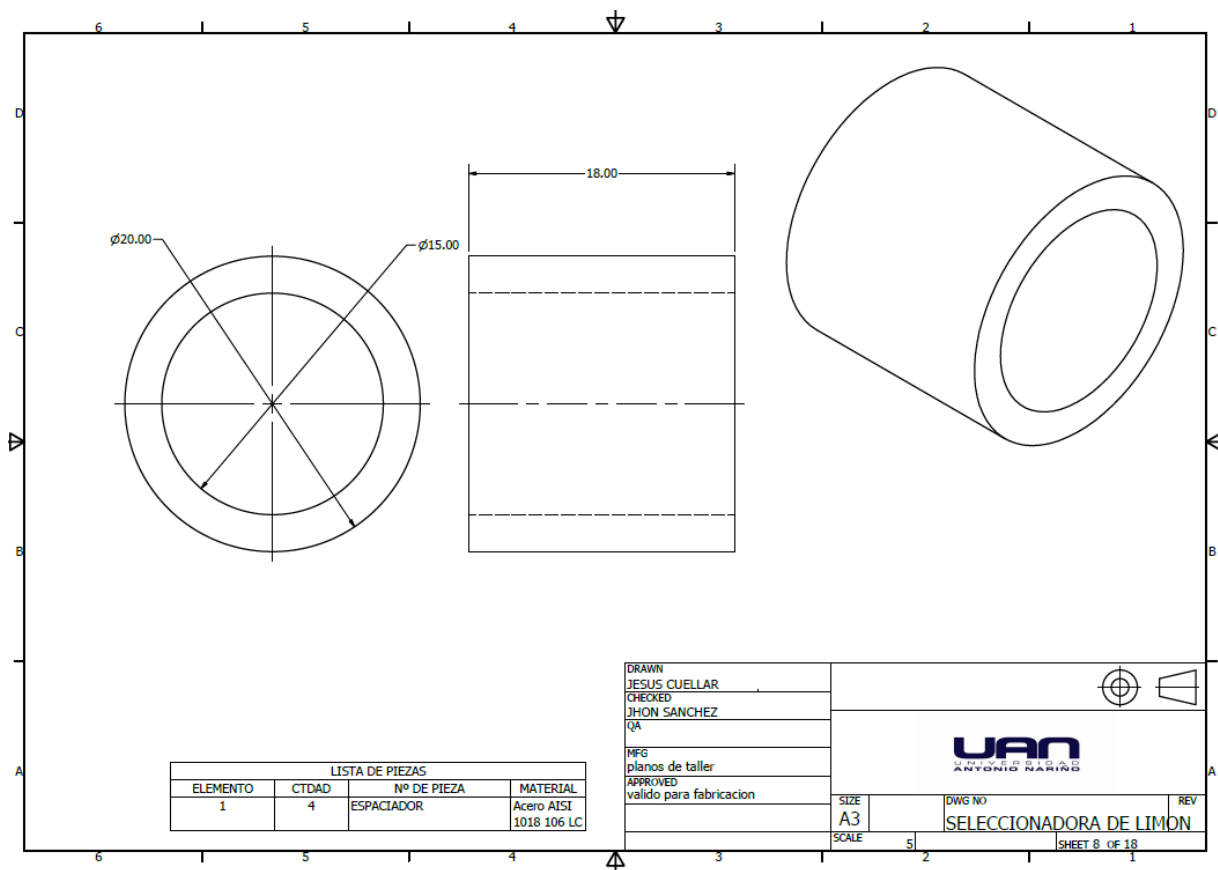
Anexo. 7. Estructura chasis



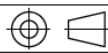

Anexo. 8. isométrico Eje rodillo



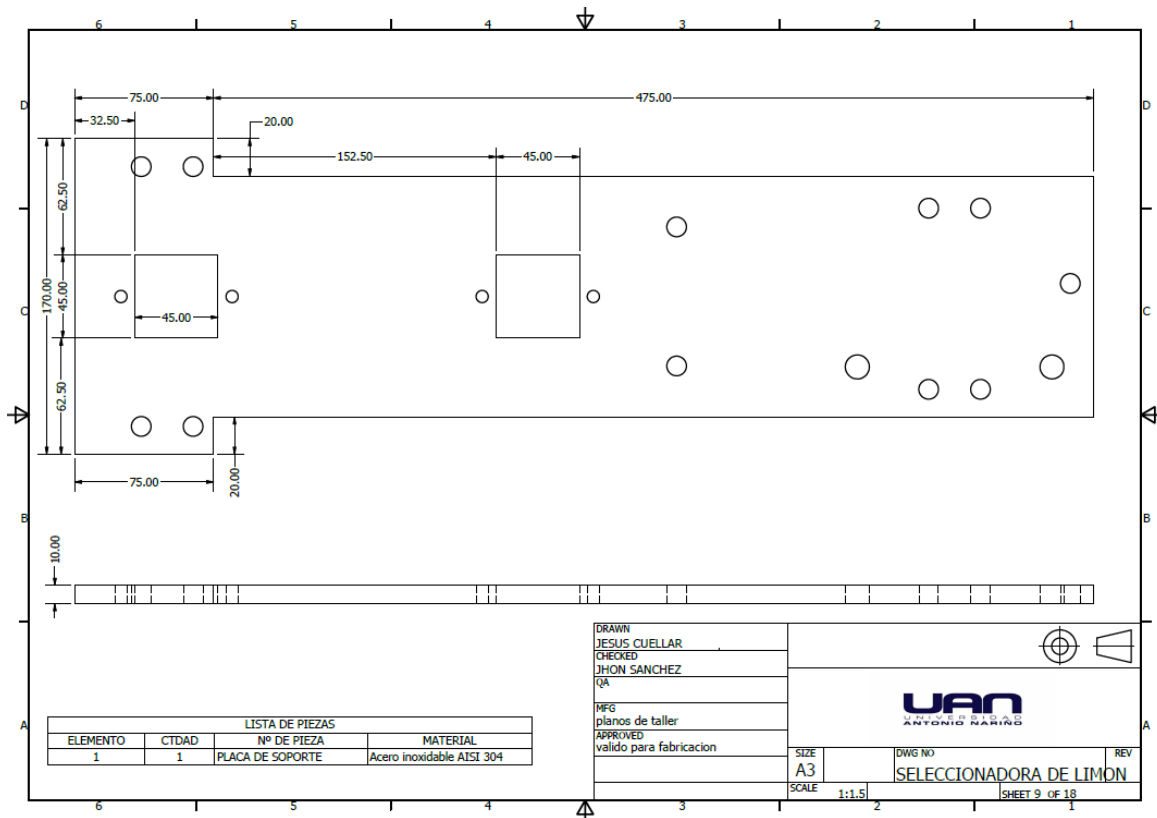
Anexo. 9. isométrico espaciador.



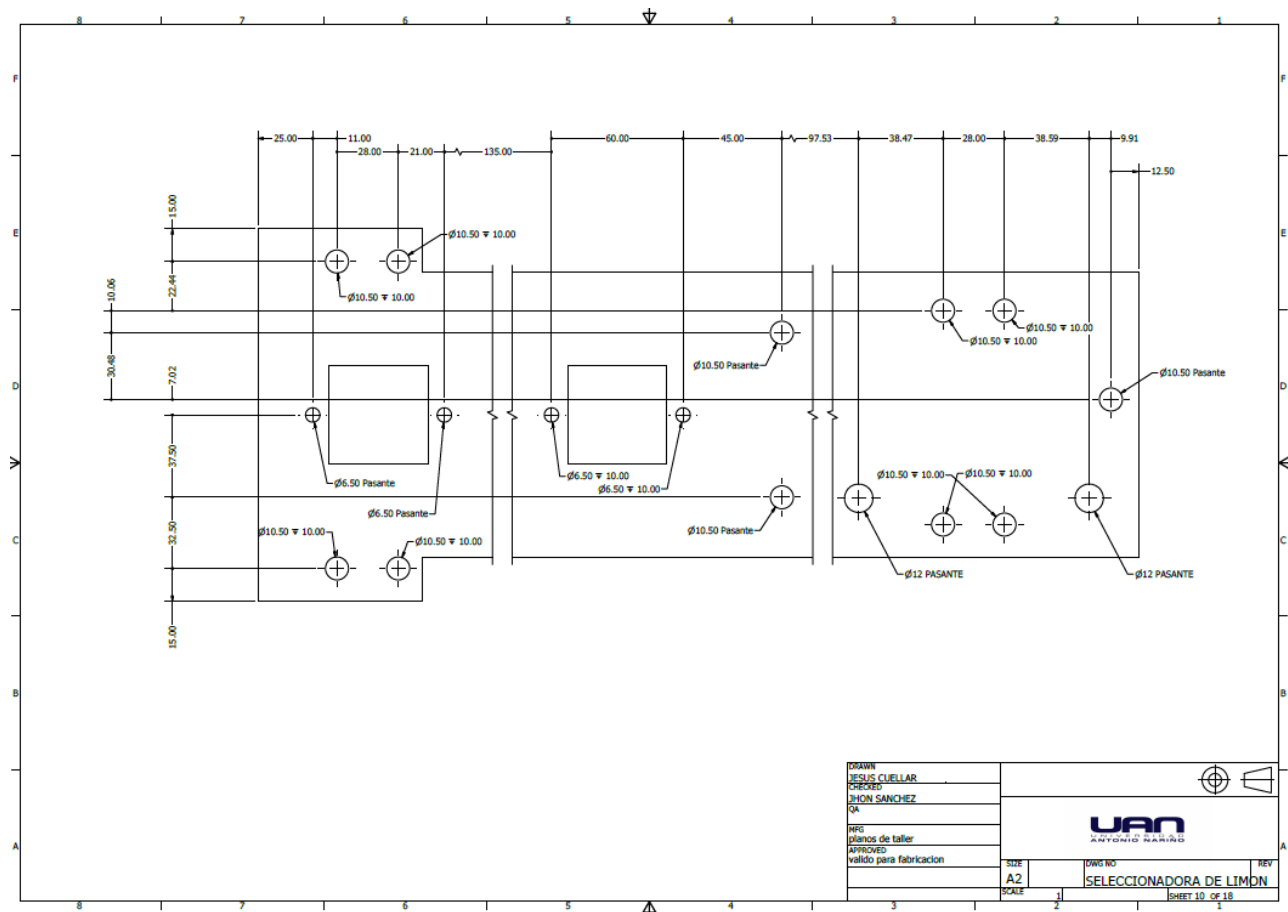
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTIDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL
1	4	ESPACIADOR	Acero AISI 1018 106 LC

DRAWN JESUS CUELLAR		
CHECKED JHON SANCHEZ		
QA		
MFG planos de taller		
APPROVED valido para fabricacion	 UAN UNIFORMES DE ALBA ANTONIO NARIÑO	
SIZE A3	DWG NO	REV
SCALE 5	SELECCIONADORA DE LIMON	
		SHEET 8 OF 18

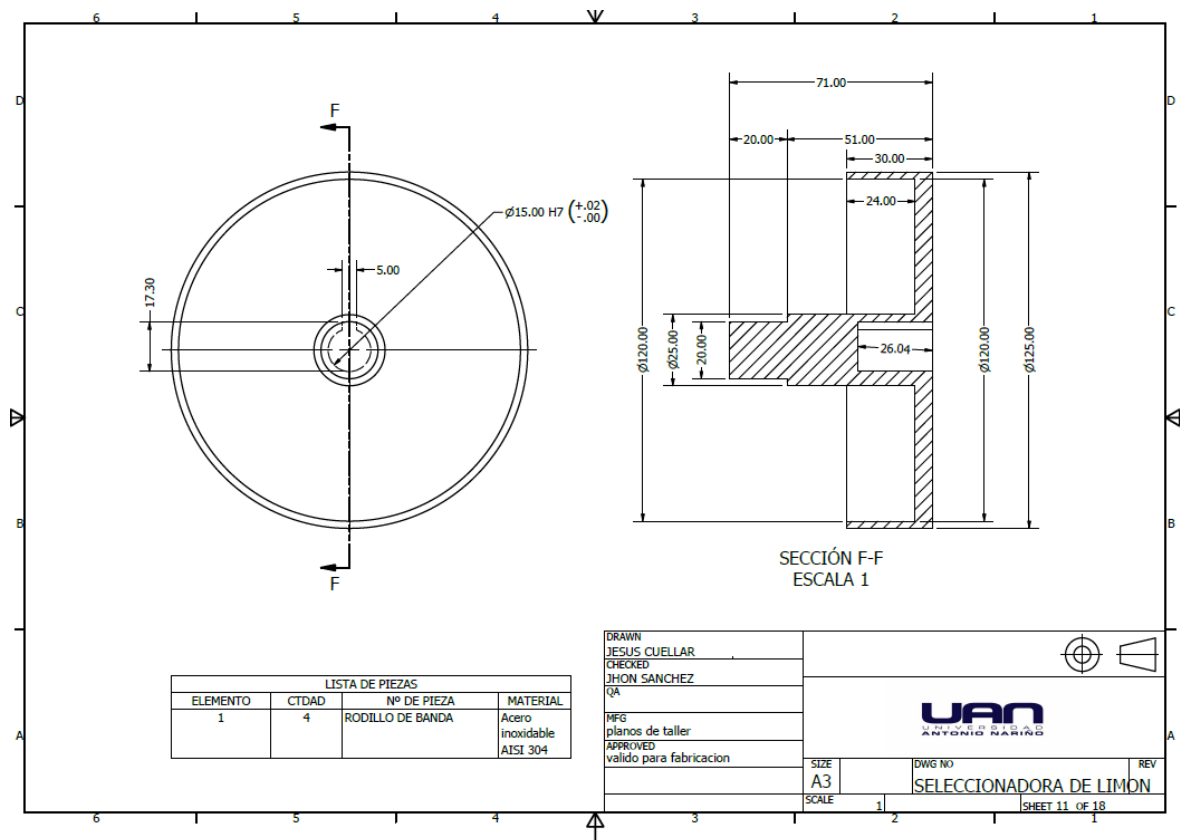
Anexo. 10. Corte vertical placa de soporte



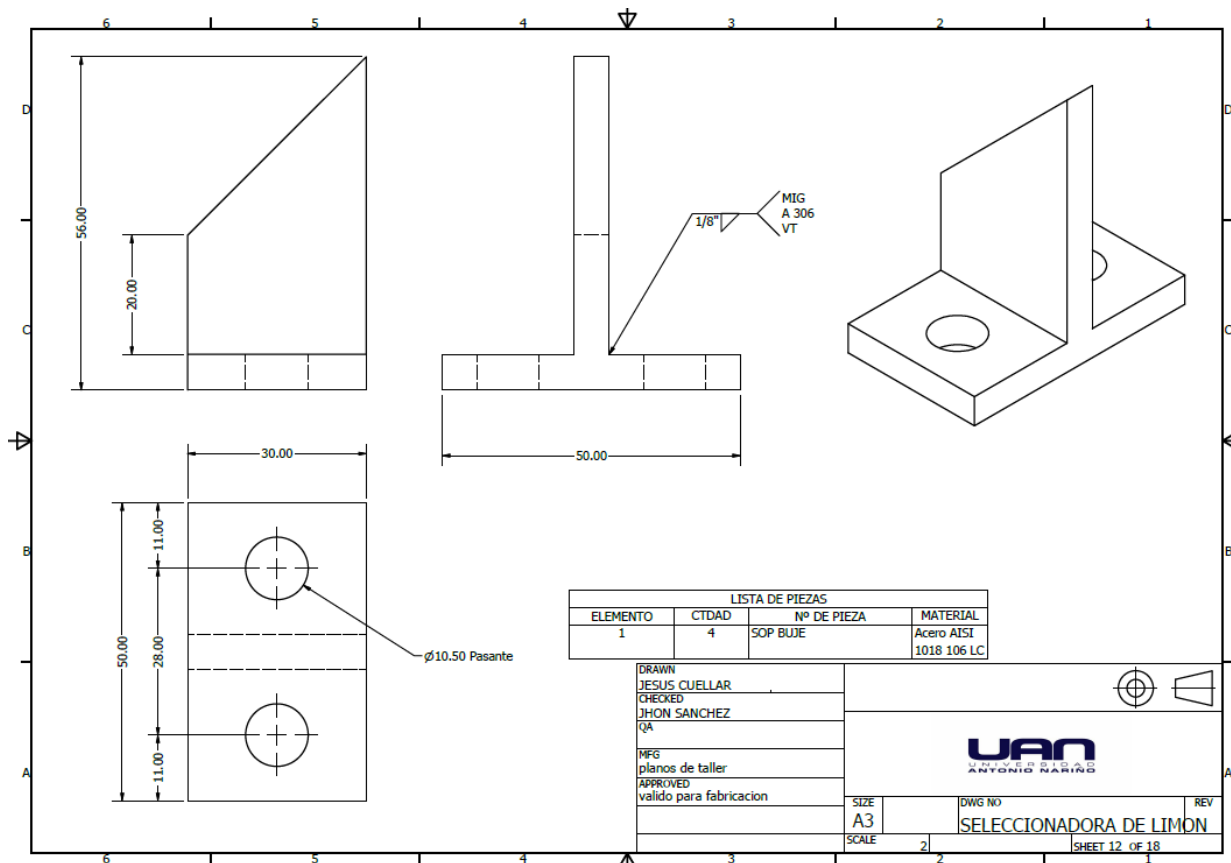
Anexo. 11. Corte lateral placa soporte



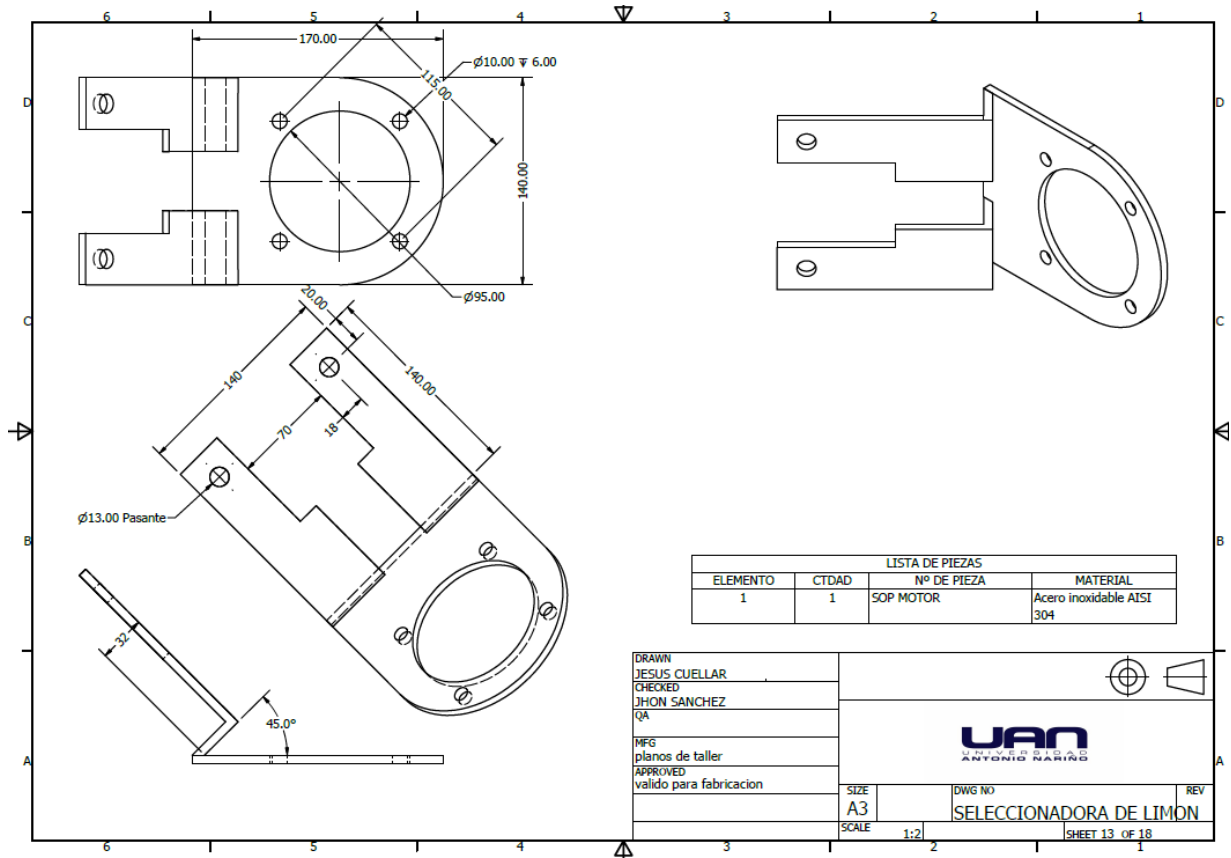
Anexo. 12. Sección transversal rodillo de banda transportadora.



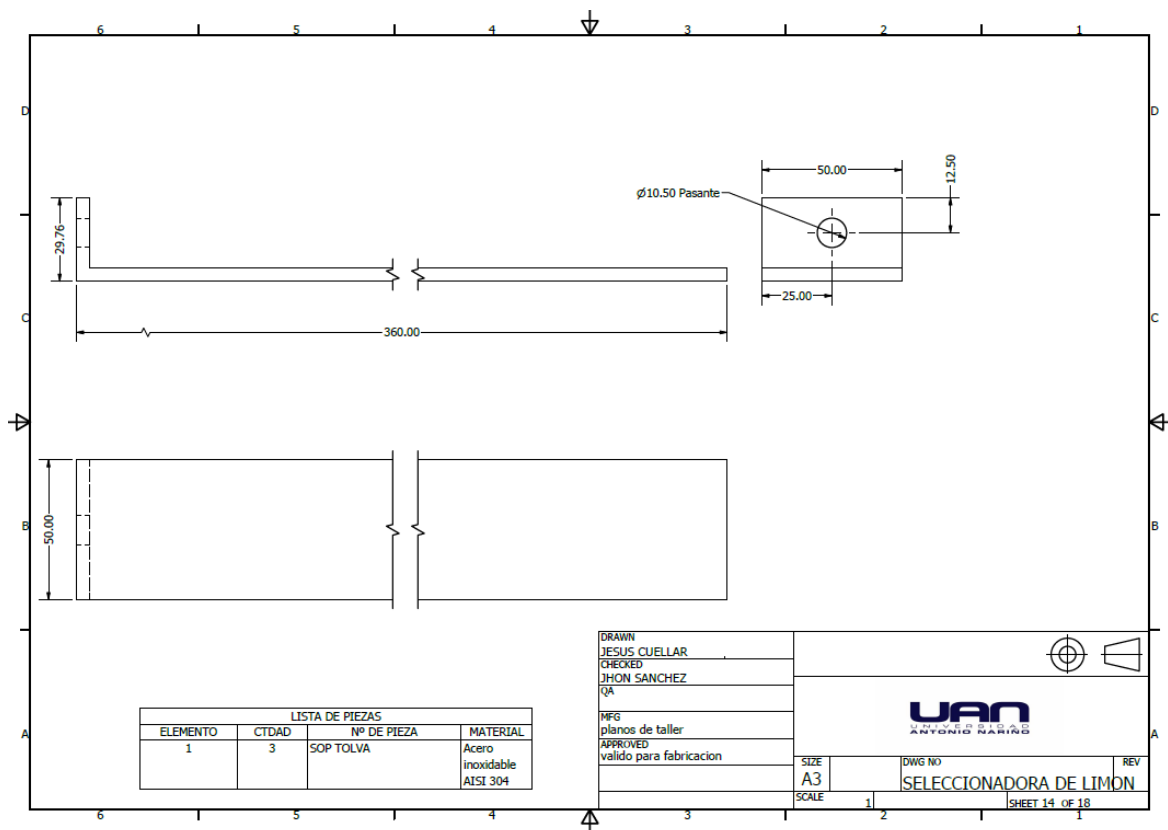
Anexo. 13. Isométrico soporte buje.



Anexo. 14, vista lateral soporte motor



Anexo. 15. Vista vertical soporte tolva

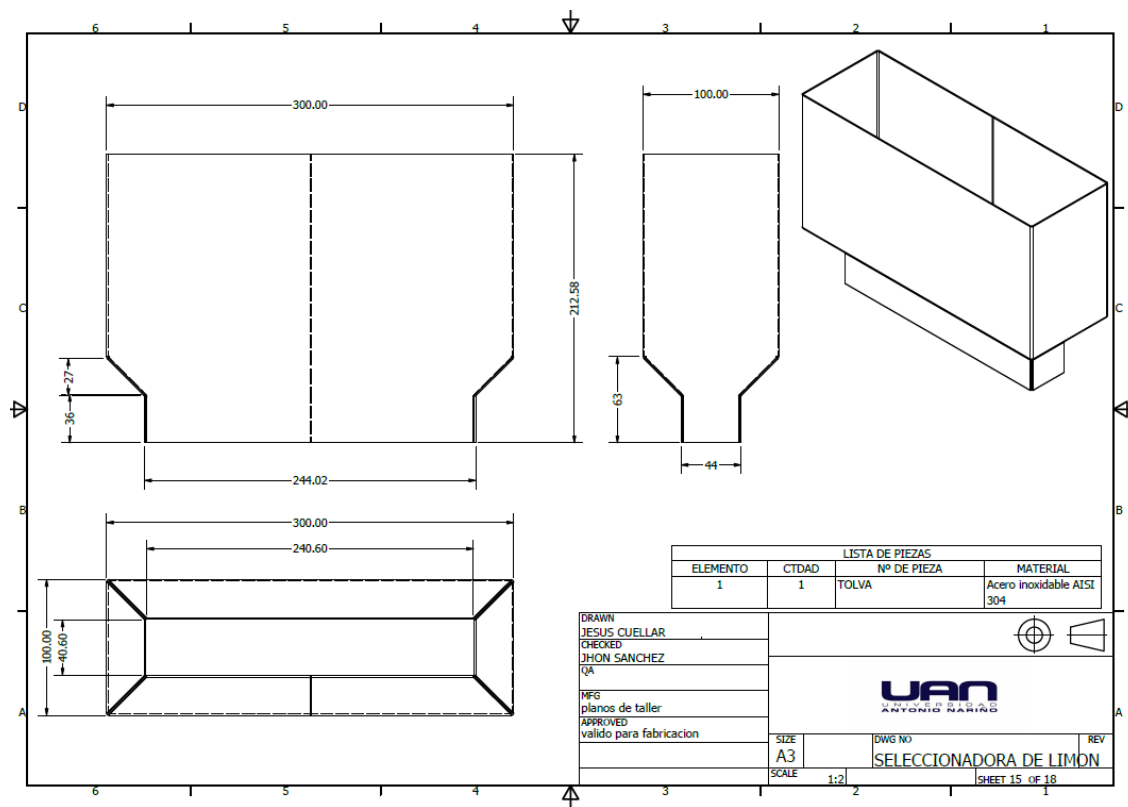


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL
1	3	SOP TOLVA	Acero inoxidable AISI 304

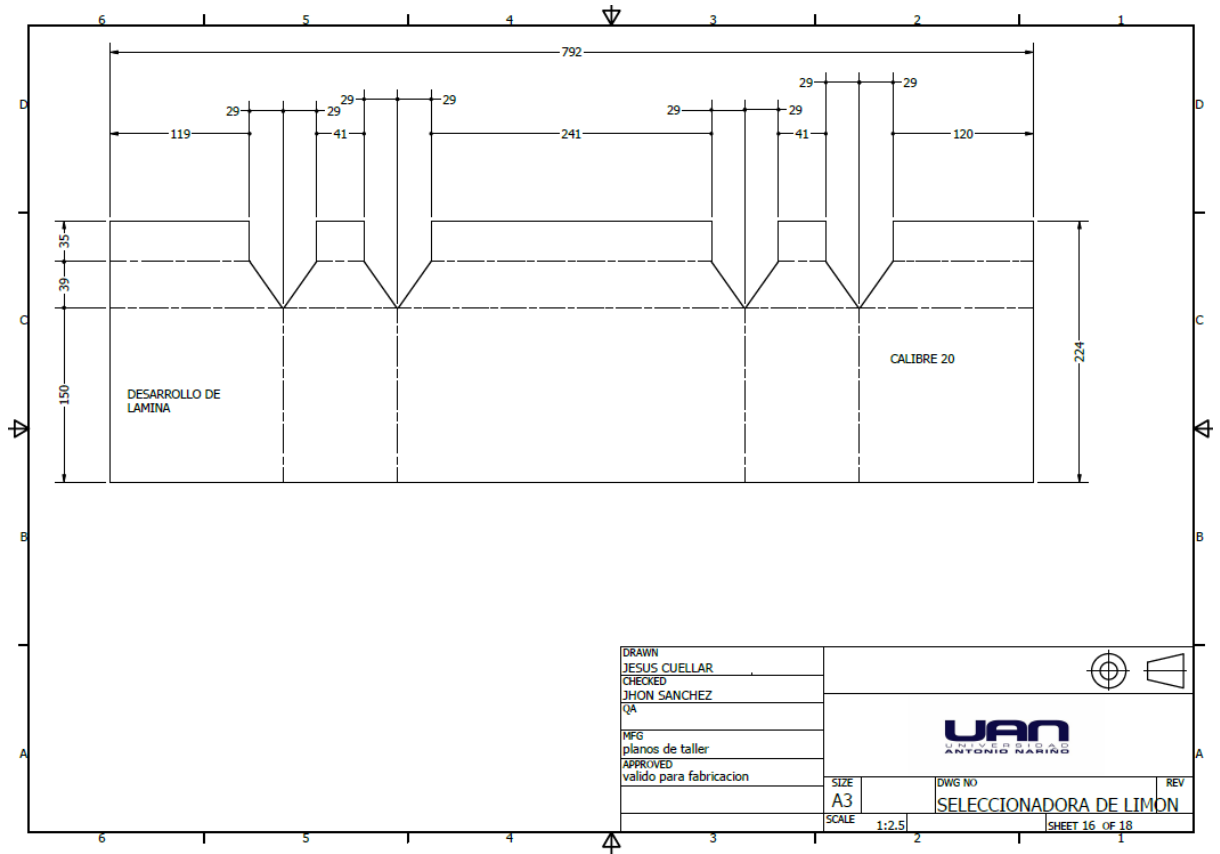
DRAWN
 JESUS CUELLAR
 CHECKED
 JHON SANCHEZ
 QA
 MFG
 planos de taller
 APPROVED
 valido para fabricacion

 UAN ANTONIO PARÍS			
		SIZE A3	DWG NO SELECCIONADORA DE LIMÓN
SCALE 1		SHEET 14 OF 18	

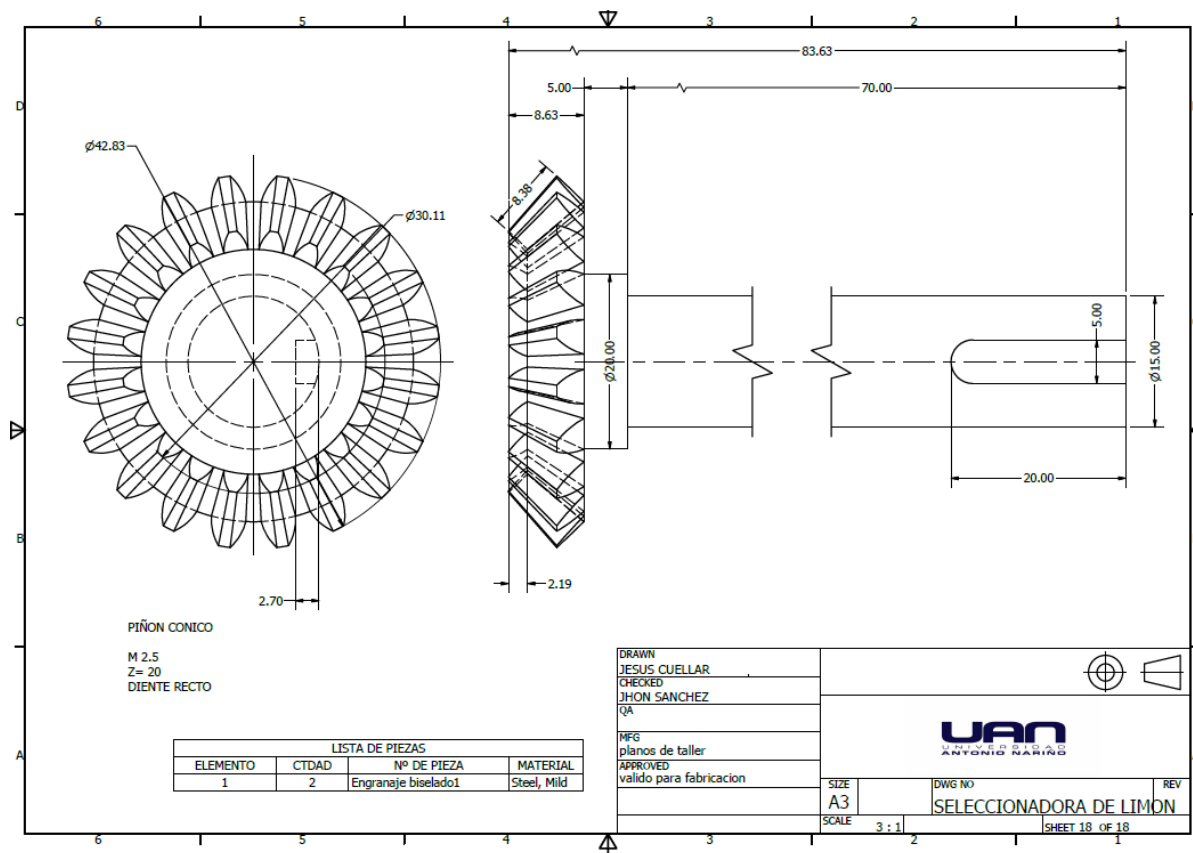
Anexo. 16. Isométrico tolva



Anexo. 17



Anexo. 18



7. Referencias Bibliográficas

- Alvarado, C. (2000). *Diseño de una máquina automática para clasificar limón*. Piura (Perú): UNP.
- Angos, M., & Henríquez, H. (2013). *Diseño, Construcción y simulación de una máquina clasificadora por tamaño*. Sangolqui (Ecuador): UPL.
- DANE. (2015). Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. *Dane*, 1(45), 2-23.
- Elkaoud, N. (2018). *Development of Grading Machine for Citrus Fruits (Valencia Orange)*. Valencia (España): Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering . Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/337677169_Development_of_Grading_Machine_for_Citrus_Fruits_Valencia_Orange
- FINAGRO. (2016). *Marco de referencia Agroeconómico*. Bogotá: FINAGRO.
- Gamboa S, R. (2020). *Análisis de costeo aplicado a un sistema de producción de limón*: Bogotá: INAP.
- Gil, M., & Gonzales, N. (2020). *Diseño y construcción de una máquina clasificadora de cebollas por tamaño*. Tunja: UST.
- Gorakh, A. (2016). *Diseño y desarrollo de clasificador de naranjas de bajo costo*. Shegaon (India): Escuela de ingeniería sri sant gajanan maharaj.
- INFOAGRO. (12 de febrero de 2018). Recuperado el 26 de febrero de 2022, de <https://www.infoagro.com/citricos/limon.htm>
- Ing mecánica. (12 de enero de 2020). Recuperado el 29 de septiembre de 2021, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>
- Jeres, C. (2016). *Máquina para clasificar y contabilizar limón*. Ibarra (Ecuador): Universidad de Ibarra.
- Limones Amatlán. (12 de enero de 2022). Recuperado el 8 de febrero de 2022, de <http://www.limonesamatlan.com.mx/html/proceso.html>

- Mendomaq. (12 de enero de 2022). Recuperado el 8 de febrero de 2022, de <http://mendomaq.com.ar/seleccion-y-clasificacion/>
- Minagricultura. (2020). *Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales*. Bogotá: Minagricultura.
- Minagricultura. (1 de 12 de 2022). Recuperado el 5 de 4 de 2022, de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Citricos/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Molt, R. (2006). Diseño de Elementos de Máquina. En *Diseño de ejes* (págs. 540-551). Dayton: Pearson.
- Myszca, D. (2012). *Máquinas y mecanismos*. Mexico D.f.: Pearson, 4 ta edición.
- Myszca, D. (2012). *Máquinas y Mecanismos*. MEXICO D.F.
- Ramos, A. (2019). *Diseño de un sistema de clasificación de Limón por peso y tamaño*. Piura (Perú): Universidad de Piura.
- Romero, R. (2018). *Diseño de un prototipo clasificador de frutas según tamaño*. Lima (Perú): Universidad San Martín de Porres.
- Shandong. (12 de enero de 2020). Recuperado el febrero de 2022, de https://es.made-in-china.com/co_lkfushijixie/product_Shandong-Mechanical-Sorter-Machine-for-Fruit_enhygoroy.html
- SIR. (12 de enero de 2021). *SIR*. Recuperado el 28 de junio de 2022, de <https://www.sirhuila.gov.co/socio-economica/economicas/agropecuario/agropecuario-2018/agropecuario-2020/>
- Sistema de Información Rural del Departamento del Huila (SIR). (s.f.). Recuperado el 25 de febrero de 2022, de <https://www.sirhuila.gov.co/socio-economica/economicas/agropecuario/agropecuario-2018/agropecuario-2020/>
- Surath, R. (2017). *Design and Fabrication of Lemon Sporting Machine*. Coimbatore (India): International Journal for Scientific Research & Development.
- Tamayo, I. (2014). *Construcción de un prototipo de máquina clasificadora y transportadora de frutas de acuerdo con el tamaño*. Quito (Ecuador): Escuela Politécnica Nacional.

Tavanandi, H. (2014). *Development of a lemon cutting machine*. Nueva Delhi (India): El sevier.

Yacomelo H, M., & Bonilla A, E. (2020). *Manual técnico para la producción de cítricos en la región de la Depresión Momposina*. Bogotá: AGROSAVIA.