



**Construcción de un prototipo de herramienta Cosechadora de plátano en la finca
La Azul de Palermo (Huila).**

Gelber Fabián Córdoba Morato

20451512491

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022

**Construcción de un prototipo de herramienta Cosechadora de plátano en la finca
La Azul de Palermo (Huila).**

Gelber Fabián Córdoba Morato

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

Director (a):

Ph. D, Ingeniero Karel Joel Arencibia Avila

Línea de Investigación:

Research in Energy and Materials REM.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Neiva, 10 de mayo de 2022.

Contenido

	Pág.
Lista de Figuras.....	12
Lista de Tablas	XIII
Lista de Símbolos y Abreviaturas.....	XIV
Resumen.....	13
Abstract.....	14
Introducción	15
1. Capítulo 1: Marco Referencial.....	20
1.1 Estado del arte	21
1.2 Características mecánicas del plátano	26
1.2.1 Resistencia a la rotura.....	26
1.2.2 Modulo elástico	28
1.2.3 Carga máxima para corte.....	30
1.3 Características geométricas del plátano	31
1.4 Métodos de recolección del plátano	33
1.5 Principio de funcionamiento de máquinas recolectoras	36
1.5.1 Principio de palancas.....	37
1.5.2 Sistemas de transmisión de potencia	37
1.5.3 Sistemas de masa- resorte	38
1.5.4 Sistema de corte.....	38
2. Capítulo 2: Diseño conceptual.....	39
2.1. Requerimientos de diseño	39
2.2. Propuestas de diseño	42
2.2.1. Prototipo 1	44
2.2.2. Prototipo 2	44
2.2.3. Prototipo 3.....	45
2.3. Análisis morfológico de alternativas.....	45
2.4. Selección y caracterización de la alternativa escogida.....	46

3. Capítulo 3: Desarrollo conceptual.....	49
3.1. Prototipo para desarrollo conceptual.....	49
3.1.1. <i>Detalle del diseño</i>	50
3.2. Cálculo componentes	51
3.2.1. <i>Análisis de resorte</i>	51
3.2.2. <i>Eje del Winche</i>	55
3.3. Análisis estático de cargas para cuchilla	61
3.3.1. <i>Análisis de tensión de la cuchilla</i>	61
3.3.2. <i>Análisis de desplazamiento de la cuchilla</i>	62
3.3.3. <i>Análisis de factor de seguridad de la cuchilla</i>	63
3.4. Análisis estático de la herramienta de corte y recolección.....	64
3.4.1. <i>Análisis de tensión de la herramienta.</i>	64
3.4.2. <i>Análisis de desplazamiento de la herramienta de corte y recolección</i>	65
3.4.3. <i>Análisis de factor de seguridad de la herramienta</i>	66
4. Capítulo 4: Construcción del prototipo de herramienta cosechadora de plátano en la finca La Azul de Palermo (Huila).....	69
4.1. Compra de materiales y componentes.....	69
4.2. Fabricación de componentes	72
4.3. Ensamblé herramienta recolectora	73
4.4. Prueba de campo	75
4.5. Evaluación económica.....	76
5. Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones	78
5.1. Conclusiones	78
5.2. Recomendaciones.....	80
Anexos	67
Referencias Bibliográficas.....	79

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1-1: <i>Recolectora de brazo hidráulico</i>	22
Figura 1-2. <i>Recolectora de ruedas</i>	23
Figura 1-3. Prueba de resistencia en corte transversal y longitudinal.....	27
Figura 1- 4. Geometría del racimo de plátano Hartón	31
Figura 1-5. Herramientas de corte para recolección de plátano.....	33
Figura 1-6. Cultivo de plátano y café intercalado de alta densidad	36
Figura 3-1. Desarrollo conceptual prototipo	49
Figura 3-2. Vista explosiva en detalle de herramienta recolectora	50
Figura 3-3.Diagrama de cuerpo libre del eje del Winche	57
Figura 3-4. Selección cable para Winche	60
Figura 3-5. Ilustración sobre comportamiento de la cuchilla a esfuerzos de tensión.	61
Figura 3-6. Análisis de desplazamiento en la estructura.....	62
Figura 3-7. Análisis de factor de seguridad	64
Figura 3-8.Análisis de tensión de la herramienta,.....	65
Figura 3-9. Análisis de desplazamiento en la estructura.....	66
Figura 3-10. Análisis de factor de seguridad	67
Figura 4-1.Ilustracion de materiales adquiridos para ensamble.....	70
Figura 4-2. Prueba de tiempo de agarre y operación del operador	71
Figura 4-3. Mecanizado de soporte cuchilla.	72
Figura 4-4. Ensamble sistema de accionamiento herramienta de corte.	73
Figura 4-5. Armado de herramienta recolectora de plátano	74
Figura 4-6. Prueba de campo	75

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Geometrías de una muestra de racimos de plátano de variedad Hartón.....	32
Tabla 2-1. Relación y descripción de requerimientos.....	40
Tabla 2-2. Resultados encuesta sobre requerimientos de diseño.....	42
Tabla 2-1. Análisis de prototipos.....	43
Tabla 2-4. Matriz de evaluación prototipos	45
Tabla 2-5. Tabla de evaluación.....	46
Tabla 3-1. Resistencia admisible	53
Tabla 4-1. Tiempo de agarre y corte de racimo de plátano.	71
Tabla 4-2. proyección de costo	77

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	πr^2
F	Fuerza	Kg/ms^2	m.a
K	Constante del resorte	NA	NA
M	Momento	V/min	n/t
C	Índice resorte	NA	NA

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
η	Factor de seguridad	UL	
σ	Esfuerzo Normal	Pa	
τ	Esfuerzo cortante	N.m	
K_s	Factor de servicio	UL	

Subíndices

f_s	Factor de seguridad
σ	Esfuerzo del material
T_1	Torque
i	Relación de transmisión
M_e	Momento equivalente

Superíndices

Superíndice Término

n	Exponente, potencia
---	---------------------

Abreviaturas

Abreviatura Término

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

(Dedicatoria)

*A Dios, a mis padres, hermanos y abuelos, que
con esfuerzo me acompañaron en este proceso
con amor, fe siempre creyendo en mí.*

Agradecimientos

Como primera medida, agradezco a mi tutor el Ing. Karel Joel Arencibia Avila, por acompañarme, guiarme y aconsejarme durante todo este proceso.

A la Ing. Martha Solano, por su apoyo incondicional.

A la Universidad Antonio Nariño por formarme y entregar lo mejor, para nuestro proceso de formación.

Resumen

La cosecha del plátano es una actividad que por décadas se realiza fundamentalmente de manera manual en el Huila, empleando para ello herramientas como el machete. Actualmente el daño al producto por la utilización de esta herramienta se considera en un 10 %, provocando baja productividad y riesgo en la seguridad del jornalero. Las tecnologías actuales existentes son costosas y, con accesos limitados a terrenos escarpados. Para mejorar estos factores, se propone diseñar y construir una propuesta de prototipo de herramienta cosechadora de plátano en la finca La Azul de Palermo, Huila.

La metodología empleada se compone de cuatro etapas de requerimientos, diseño de concepto, diseño de detalle y la de construcción del prototipo. Mediante el software CAD Inventory versión 2021® se diseña el sistema estructural, de resortes, de agarre y corte.

Como principales resultados se diseña y construye un prototipo, con un sistema estructural que evita la pérdida o daño del producto. El costo de la tecnología representa un ahorro del 11 % en comparación con la más económica existentes.

Palabras clave: Cosechadora, plátano, fuerza de corte, herramienta

Abstract

Banana harvesting is an activity that for decades has been carried out mainly by hand in Huila, using tools such as machetes. Currently, damage to the product due to the use of this tool is considered to be 10%, causing low productivity and risk to the safety of the laborer. Existing technologies are expensive and with limited access to steep terrain. To improve these factors, it is proposed to design and build a prototype banana harvester tool on the La Azul farm in Palermo, Huila.

The methodology used consists of four stages: requirements, concept design, detail design and construction of the prototype. Using CAD Inventory version 2021® software, the structural, spring, gripping and cutting system is designed.

The main results are the design and construction of a prototype, with a structural system that prevents the loss or damage of the product. The cost of the technology represents a saving of 11% compared to the cheapest existing technology.

Key words: Harvester, banana, cutting force, tool.

Introducción

El cultivo de plátano en el departamento del Huila ocupa el segundo lugar a nivel nacional bajo el esquema de doble propósito, es decir además del producto se comercializa la hoja; es un alimento base para la economía de muchos agricultores y su crecimiento en los últimos 3 años en cuanto a área sembrada ha sido del 9 % indicando la importancia de esta dentro del sistema productivo de la región y de las fincas del departamento.

La actividad de recolección se realiza de forma manual empleando para ello un machete el cual opera mediante un principio básico de la mecánica, como lo son las palancas de tercer género en donde la fuerza se encuentra en el medio de la resistencia y el punto de apoyo, el cual realiza cortes en el tallo de la planta para bajar por gravedad el racimo y en el pseudotallo para desprenderlo de la planta y llevarlo al área de almacenamiento (Infoagro.com, 2028) (Arcilla P, Aranzasu H, & Castrillon A, 2013).

Este misma descripción aplica respecto a la recolección del plátano Hartón en la finca La Azul de Palermo (Huila), la cual se realiza sobre un área aproximada de 2,5 Ha (3000 a 4000 plantas/Ha); el plátano es el segundo producto más importante a nivel del municipio, y la variedad que predomina es el “Hartón”, el cual presenta 3 cosechas por año; esta es una planta de 1,6 a 2 m de alto el cual produce un racimo con 15 a 25 frutas y cuya longitud es de 1 m a 1,5 m; el peso del racimo va de 8 a 9 kg (Díaz R, 2014).

Esta práctica trae como consecuencias diferentes problemáticas como por ejemplo las identificadas por Gonzáles (2014), en colaboración con el Instituto Colombiano de Agricultura (ICA), quien indica que el daño del producto por efecto de la caída (10 % de producto mallugado) que no se puede comercializar, adicional a ello el daño a la planta el

cual se manifiesta por no poder tener una segunda germinación por efecto del corte disminuyendo la productividad de la misma; desde el punto de vista del proceso otros problemas como los elevados costos de recolección (< al estándar de \$2 millones), la baja productividad en la recolección (> a 220 kg/día) y los riesgos de accidentes laborales que se pueden dar por la manipulación de la herramienta hacen que esta problemática despierten una gran interés para generar propuesta de mejora basadas en la implementación o desarrollo de máquinas o herramientas para esta actividad de recolección(González, 2014).

Con respecto a las tecnologías desarrolladas y empleadas actualmente en este tipo de actividades, existen equipos móviles (tractores, montacargas) como los desarrollados en la ciudad de Gujarat (India), a los cuales se les han adaptado dispositivos como brazos telescópicos para corte y recolección del racimo del plátano; este tipo de propuesta tienen como ventajas, que pueden ser usados en cultivos de alta densidad, realizan un solo corte sin dañar el vástago de la planta, lo que permite una germinación adicional; sin embargo como desventajas se tienen, que solo pueden ser usados en terrenos llanos, y en cultivos en donde las distancias de siembra son superiores a 2 metros, lo cual para el caso de terrenos escarpados o inclinados este tipo de propuestas no aplican (Agritech, 2021).

Otros desarrollos de máquinas como las menciona Guo et al (2020), emplean equipos móviles a los cuales se les adapto una bomba hidráulica eléctrica, la cual proporciona energía al cilindro hidráulico que acciona el mecanismo de sujeción impulsando la pinza de sujeción en la apertura y cierre del manipulador para sujetar el tallo del racimo de plátano para que los cortadores cumplan su función; al igual que el desarrollado en la India están diseñados para altas densidades de siembra; sin embargo por ser eléctrico requiere de una

fuentes de energía, la cual para las condiciones actuales de la geografía (Terrenos escarpados, de difícil acceso para transporte de equipos o máquinas) es una problemática latente, ya que no todas las áreas rurales poseen redes eléctricas que garanticen este abastecimiento para estos equipos (Guo & duan, 2020).

Sumado a lo anterior, desde un punto de vista comercial existen equipos cuyo valor es mayor a los \$ 9 millones COP, empleados para esta tarea, diseñados para terrenos llanos y que requieren de un sistema de arrastre para su transporte; lo que al evaluar para su aplicación en la finca es imposible debido a la alta densidad de siembra y la poca distancia entre plantas que no permiten el uso de un tractor u otro sistema de transporte; adicionalmente las pendientes de los terrenos de la zona los cuales pueden superar los 30° de inclinación hacen complejo la decisión de poder adquirir este tipo de máquinas (Arcila, Cardona, & Becerra, 2017).

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

¿Cómo mitigar la pérdida de productividad, el daño al producto, el logro de una tecnología más económica, de fácil adaptabilidad y transporte para el proceso de recolección de plátano Hartón en la finca La Azul de Palermo (Huila)?

Para poder desarrollar este proyecto se definió como objetivo general “Construir un prototipo de herramienta cosechadora de plátano para la finca La Azul de Palermo (Huila)”; de acuerdo con lo anterior, los objetivos específicos que permitirán dar cumplimiento al proyecto son:

- Definir los requerimientos técnicos para el diseño del prototipo de herramienta recolectora (peso, tamaño, mecanismos de funcionamiento), los materiales y los cálculos a realizar.
- Diseñar el prototipo y sus componentes (sistema de corte, recolección) y simular a nivel estático los esfuerzos los que se somete mediante software Autodesk Inventor®.
- Construcción de herramienta prototipo de cosechadora de plátano

La metodología empleada se compone de cuatro etapas, las cuales se definen a continuación:

Etapa 1: De Requerimientos.

En esta etapa se busca establecer los requerimientos y especificaciones del corte y la recolección del plátano en la finca, así como la definición de principios de funcionamiento, elementos estructurales y usos en equipos convencionales actuales.

Etapa 2: Diseño de concepto.

Contempla el análisis de alternativas y selección, planos, definición de mecanismos de operación del prototipo de máquina recolectora de plátano Hartón.

Etapa 3: Diseño de detalle.

Una vez definido el concepto de solución se procederá al diseño explosivo mediante el software CAD Inventory versión 2021® empezando por el sistema estructural, seguido del sistema de resortes, el sistema de agarre y corte.

Etapa 4: Construcción del prototipo de cosechadora de plátano.

Este proyecto comprenderá la construcción de un prototipo de herramienta de corte y recolección de plátano en la finca La Azul de Palermo (Huila); compuesta por un sistema tipo cuchilla, la cual es accionada por una guaya, para efectuar el corte del racimo y lo deposita sobre un embudo de lona; esta propuesta pretende reemplazar el sistema actual de recolección del racimo el cual se realiza a través de la herramienta machete, mejorando el tiempo de corte del racimo a partir de la simplificación de acciones de corte de 3 a 2, lo cual proporciona menos daño al producto y al pseudotallo, mejorando las condiciones de seguridad de la actividad.

Este proyecto es necesario ya que como se identificó, es inviable el uso de máquinas de gran tamaño ya sea por costo o movilidad y terrenos pendientes, por lo que se deben considerar opciones más prácticas y flexibles en cuanto a la adaptación en las áreas de trabajo.

Con respecto a otras tecnologías, el aporte como ingenieros radica en mejorar el proceso mediante la creación de este prototipo de herramienta cuyo diseño deberá ser flexible en su tamaño, de fácil operación, con menor tiempo empleado en el proceso de corte, más seguro y adaptado a los requerimientos específicos del cultivo a partir del uso de principios básicos de mecánica para su manipulación y operación.

1. Capítulo 1: Marco Referencial

El capítulo presentado a continuación muestra aspectos característicos asociados a las tecnologías existentes, partiendo del estado del arte. El marco conceptual desarrollado parte de la descripción de las características del plátano en cuanto a dimensiones, peso, tamaño, métodos de recolección y principios de funcionamiento, así como las tecnologías de recolección, lo que permite tener un punto de partida para el desarrollo del estudio.

1.1 Estado del arte

Dentro de los estudios y avances realizados a nivel tecnológico, los cuales aportan para el desarrollo y conceptualización del prototipo propuesto se tienen entre otros:

Johnston (2014), diseño una máquina recolectora de plátano en Australia, cuyo sistema de funcionamiento mecánico se compone principalmente de un manipulador accionado hidráulicamente, un mecanismo de corte accionado por un juego de engranajes de cremallera y un contenedor de cubo montado en el extremo del manipulador. Al recoger los plátanos, el manipulador mueve el contenedor del balde y el cortador a una posición adecuada, la cual es controlada desde la cabina, luego corta el tallo del racimo de plátano como se indica en la figura 1-1. Después de Sujetar los racimos de plátanos en el contenedor del cubo, el manipulador se comprime y coloca los racimos de plátanos en un remolque. Este recolector de banano reduce en gran medida la intensidad laboral de los trabajadores; el costo de esta máquina es de 14.000 USD (Johnston, 2017).

Ventajas

Optimiza mano de obra para recolección.

Ideal cultivos de alta densidad de siembra y terrenos llanos.

Reduce tiempo de recolección

Trabaja alturas mayores a 2, 50 m y racimos de gran peso reduciendo riesgo de accidentes de trabajo por manipulación de cargas.

Desventajas

Alto costo.

Alta frecuencia de mantenimiento.

No aplica para terrenos escarpados

Contamina el medio ambiente por efecto de aceites

Para su transporte requiere de arrastre

Figura 1-1: *Recolectora de brazo hidráulico*



Fuente: (Johnston, 2017)

Por su parte Wang (2017) de la Universidad Agrícola del Sur de China, desarrolló una máquina recolectora de bananas, el cual emplea un carro con un sistema llantas para tractor que optimiza su desplazamiento y una bomba hidráulica eléctrica, la cual proporciona energía al cilindro hidráulico. Desde el punto de vista mecánico, posee un sistema de sujeción el cual es impulsado por un motor de 2 HP, cuya función es la de girar el tornillo, impulsando la pinza de sujeción en la apertura y cierre del manipulador para sujetar el tallo del racimo de plátano, en donde los cortadores acoplados cortan el tallo del racimo, de modo que complete el plátano. El costo de la máquina es de 8.000 USD.

Ventajas

Optimiza mano de obra para recolección.

Ideal para cultivos de alta densidad de siembra y terrenos llanos.

Movilidad autónoma

Trabaja alturas mayores a 2 m y racimos de gran peso reduciendo riesgo de accidentes de trabajo por manipulación de cargas.

Amigable con el medio ambiente debido a su funcionamiento.

Desventajas

Alto costo.

Alta frecuencia de mantenimiento.

No aplica para terrenos escarpados

Requiere de fuentes de abastecimiento en el terreno

Figura 1-2. *Recolectora de ruedas*



Fuente: (Li, 2017)

Empresas a nivel nacional como SAAD INDUSTRIAL ubicada en Bogotá o GRUENN, S.A.S, ubicada en Zipaquirá son empresas encargadas de la producción de maquinaria para el procesamiento de todo tipo de alimentos, dentro de las que incluyen máquinas para corte y recolección de plátano a partir del diseño de equipos móviles a los cuales se les adaptó un módulo de corte y recolección semiautomático para uso en plantaciones de alta densidad de siembra; lo que optimiza en tiempo, seguridad y costo del proceso; su valor comercial es del orden de los 175 millones COP (GRUENN, 2020); dentro de sus ventajas se tienen:

- Diseño en función de requerimientos de clientes.

- Sistema de corte de alta precisión lo que evita acciones repetitivas que aumentan el tiempo del proceso.
- Trabaja a diferentes escalas de altura, facilitando su recolección.

A nivel de desventajas se identifican:

- Funcionan con combustibles fósiles, lo que contamina el medio ambiente.
- Alto costo de adquisición.

De igual forma, en el ámbito internacional empresas como HYDRALADA.COM se dedican a la construcción de plataformas móviles bajo sistemas hidráulicos y automatizados, para recolección de productos del campo teniendo especial énfasis en el proceso de recolección de plátano, a partir de plataformas mecánicas sobre la cual adaptan brazos telescópicos los cuales son controlados por un grupo de mecanismos de piñones movidos por un eje acoplado a un motor, estos equipo tiene una valor en el mercado superior a los 20.000 USD (Hydralada, 2021).

Ventajas

Emplea un servosistema para el control del brazo.

Precisión en el corte.

Materiales del sistema de corte son antioxidantes.

Las actividades de posicionamiento y corte se pueden visualizar en una pantalla Garmin; lo que permite evaluar riesgos antes y durante el proceso.

Desventajas

Alto costo de adquisición.

Mantenimiento de sistemas hidráulicos impacta el medio ambiente.

Los elementos que componen los dispositivos hidráulicos son de alto valor en caso de presentarse un mantenimiento.

De acuerdo con las investigaciones descritas anteriormente, se puede indicar que existen muy pocos desarrollos de equipos para el proceso de corte y recolección de plátano, al igual que con las herramientas empleadas para esta actividad en donde el machete es la de mayor uso, no se identificaron más desarrollos; dentro de la bibliografía encontrada se destacan avances en países como India y China; a nivel nacional como se estableció hay una producción muy pequeña de equipos móviles, casi idénticos a los desarrollados en estos países; dentro de sus características se tienen el uso de plataformas de desplazamiento sobre las cuales se han adaptado o acoplado brazos hidráulicos para la recolección; sin embargo estas propuestas requieren de gran espacio entre surcos para facilitar el desplazamiento del equipo, lo que conlleva a una disminución en la densidad de plantas.

En cuanto a los costos, se puede establecer que estos equipos se encuentran en un rango de 8 a 14 millones COP, lo que indica un alto costo para la adquisición de estos equipos para el agricultor

Teniendo en cuenta esta descripción es importante indicar, que los aportes de este epígrafe permiten establecer que en la actualidad no existen equipos ni herramientas diseñadas para operar bajo condiciones de cultivos con mínimas distancias de siembra o sistemas de producción intercalados como es costumbre en las fincas de la zona de estudio; sin embargo la bibliografía sugiere la existencia de equipos o máquinas desarrolladas de alto costo, diseñados para operar en terrenos planos, lo cual tampoco contribuye al objeto del estudio, ya que las características del terreno o zona en donde se desarrolla este, es de tipo montañosa e irregular lo que sugiere una limitante para el diseño; los aspectos relevantes

de este análisis descriptivo corresponden al diseño del prototipo, en lo cual se debe considerar de forma directa la facilidad de desplazamiento del prototipo, la geometría de la planta , el racimo y el producto, como lo plantea Pérez (2018).

1.2 Características mecánicas del plátano

La importancia de la descripción de este epígrafe se basa en que las variables descritas a continuación determinan criterios para el diseño y construcción del prototipo; estos parámetros mecánicos característicos del plátano Hartón, que se describen en los numerales 1.2.1 al 1.2.3. corresponden a:

Resistencia a la rotura.

Modulo elástico.

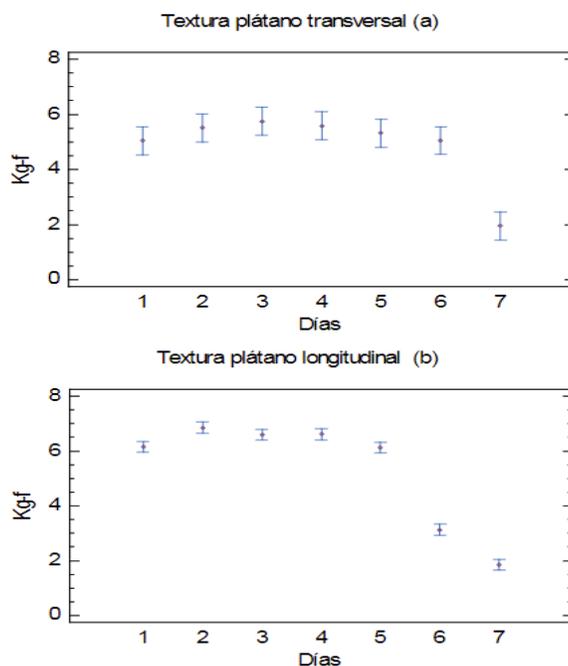
Carga máxima para el corte.

A continuación, se realiza una breve descripción de estos parámetros.

1.2.1 *Resistencia a la rotura*

Con respecto a las características mecánicas del plátano se tienen investigaciones como la de Quisceno et al (2014), quien realizo una prueba de corte análisis de la fuerza empleada para romper la estructura del plátano mediante un corte transversal (a) y un corte longitudinal (b), como se indica en la figura 1-3:

Figura 1-3. Prueba de resistencia en corte transversal y longitudinal



Fuente: (Quiceno, 2014)

En la figura 1-3 muestra los resultados del análisis de la fuerza empleada para romper la estructura del plátano en corte transversal (a) y corte longitudinal (b) en donde el eje x representa el número de días que pasa en almacenamiento el plátano una vez recolectado y el eje y indica la fuerza ejercida para realizar el corte trasversal o longitudinal del plátano; se observa que la pulpa de plátano presenta menor resistencia a la compresión en sentido transversal figura 1-3 (a) que longitudinal figura 1-3 (b), lo que concuerda con Ciro et al (2007). Afirmando que la disposición de los tejidos en la pulpa hace que las paredes celulares estén ubicadas de tal forma, que la pulpa presenta más resistencia en posición longitudinal que transversal, se puede indicar que la fuerza de corte dada por Quiceno, Giraldo, Villamizar, para el caso del corte transversal es de 7 Kgf y para el corte longitudinal de 6,8 Kgf de resistencia a la rotura; lo que permite dar una idea del valor de fuerza mínima a

emplear para ser considerada en el diseño del mecanismo de corte para el prototipo (Quiceno, 2014).

Autores como Yang en su estudio sobre “Modelado de elementos discretos e investigación de experimentos físicos sobre las propiedades biomecánicas del tallo del racimo de banano para el desarrollo de máquinas postcosecha” concluye que la fuerza de corte necesaria para vencer la resistencia del pseudotallo del racimo debe ser superior a 7 Kgf, de esta forma se consigue un corte limpio del mecanismo de corte, sin embargo el autor considera que la herramienta de corte puede considerar un valor holgura de +1 del valor actual (Guo J. , 2021).

Aportes del estudio

Como el parámetro de resistencia a la rotura identificado en la bibliografía encontrada y dada por Quiceno, Villamizar y Yang se encuentra en un rango entre 6,8 Kgf y 7 Kgf , pueden considerarse para el diseño y para la selección del tipo de material a emplear, el cual debe tener el doble del valor de la fuerza de resistencia encontrada en los estudios; de esta manera se asegura que no se tenga que cambiar con frecuencia la herramienta de corte y a su vez permite ofrecer mayor confiabilidad en cuanto a la vida útil del sistema de corte seleccionado por el productor.

1.2.2 *Modulo elástico*

El módulo de flexión o módulo de elasticidad en ensayos de flexión mide la resistencia de un material al ser sometido a fuerzas que incidan en su deformación o curvatura; según Montoya (2005) el valor del módulo elástico a compresión varió significativamente respecto

al tiempo postcosecha ($P < 0,05$) presentando un valor medio entre el primer y último día de 1,75 MPa y 1,09 MPa respectivamente (Montoya, 2005).

Al igual que Ruiz et al (2016) en su estudio sobre propiedades mecánicas del banano y plátano estableció que dependiendo del grado de madurez puede variar dicho valor; sin embargo en postcosecha este parámetro tiene una media de 1,50 MPa, lo cual como lo cálculo Montoya corresponde a un nivel bajo de elasticidad, siendo acorde para el diseño del mecanismo de corte, ya que al tener una menor elasticidad el área de impacto es menor permitiendo que la fuerza ejercida actúe contundentemente sobre el pseudotallo que sostiene el racimo (Ruiz, 2016).

Estos resultados coinciden con los de Torres et al (2015), quienes concluyeron que mayor grado de madurez menor grado de resistencia y elasticidad, lo cual se debe a que durante el proceso de maduración, se presenta un ablandamiento de la rigidez celular de la fruta, originado por una degradación de los hidratos de carbono poliméricos, específicamente; sin embargo en los ensayos realizados concluyeron que el rango de variación del módulo elástico se encuentra entre 1,25 y 1,69 con margen de confiabilidad en la prueba del 95 % (Torres, 2015).

Aportes del estudio

La importancia de establecer el módulo Young como lo indicaron Montoya, Ruiz y Torres, radica en que indica cual es el comportamiento del plátano en cuanto a la deformación que puede sufrir una vez aplicada una fuerza la cual se identifica en el aumento o disminución de la longitud del plátano; por lo anterior de acuerdo con la evidencia registrada el proceso de corte debe realizarse cuando el plátano alcanza su color verde, ya

que es en ese momento cuando efectuada una fuerza de corte no afecta la calidad del producto por daño mecánico.

1.2.3 *Carga máxima para corte*

Identificadas las condiciones anteriores es necesario identificar el valor de la fuerza que debe imprimirse para vencer la resistencia y el módulo de la elasticidad sin afectar el producto; por consiguiente, el parámetro de carga máxima para corte es un valor indispensable para establecer los cálculos que componen el sistema de corte transversal que se debe realizar al plátano. Según Kachru et al (2000) la carga máxima requerida para realizar un corte transversal mayor a la resistencia que ofrece el plátano es de 22,4 N (Kachru, 2000).

Al igual que Pedraza (2019), los valores calculados de carga máxima para realizar un corte a unidades de variedad de plátano Hartón son de 22,02 N (Pedraza, 2019).

Aportes del estudio

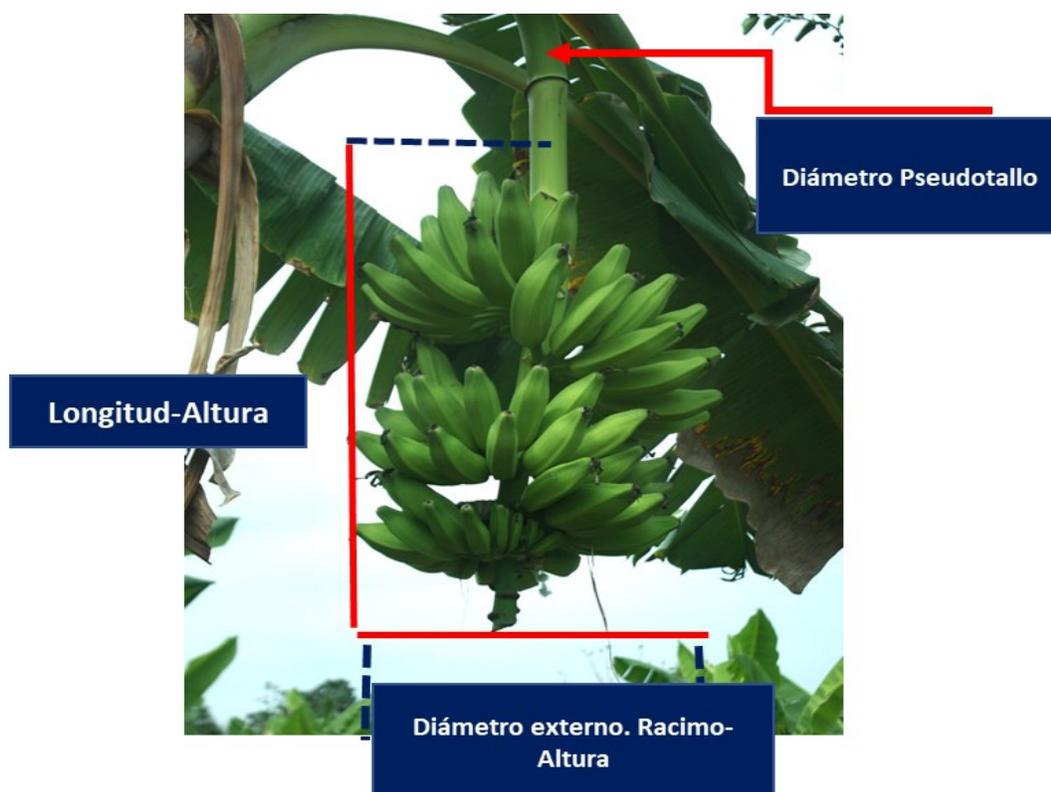
Los parámetros descritos anteriormente aportan la base teórica para el desarrollo de los cálculos y constituyen las principales características a considerar en el diseño de concepto propuesto en este estudio; con respecto a los valores se puede establecer que el pseudotallo presenta una resistencia a la rotura de 7 Kgf, lo cual para el diseño indica que la fuerza que debe aplicarse debe estar por encima de esta patrón numérico; esto se evidencia en la fuerza de corte del pseudotallo la cual según estudios debe ser mayor a 22 N; estas consideraciones son pertinentes para el diseño del mecanismos de corte de la herramienta de corte; en este punto es importante considerar que la fuerza ejercida de corte debe ser una y no aplicarse de manera progresiva, es decir, varias veces, ya que esto puede desencadenar un daño por acción mecánica al producto, lo que a su vez conlleva a la pérdida del mismo.

Ahora bien, otras consideraciones para tener en cuenta corresponden a las características geométricas del plátano y en especial el pseudotallo y el racimo como se muestra en el siguiente epígrafe.

1.3 Características geométricas del plátano

De acuerdo con el estudio de campo realizado en la finca La Azul de Palermo (Huila), el cual enfatizó en determinar las características geométricas propias del racimo de plátano Hartón, estas corresponden a la longitud o altura del racimo, el peso del racimo, el diámetro externo, el cual es necesario para el diseño de la recolectora como se indica en la figura 1-1; el diámetro del pseudotallo es fundamental para determinar el tipo y fuerza de corte que debe tener la cuchilla.

Figura 1- 4. Geometría del racimo de plátano Hartón



Nota. Imagen tomada de plantación de plátano de la finca La Azul de Palermo (Huila)

La muestra tomada fue de 15 racimos de plátano, esto debido a limitaciones de desplazamiento en terrenos muy pendientes, por lo tanto, se seleccionaron de diferentes áreas del cultivo en la finca, los valores obtenidos se registraron en una plantilla de Excel; estos son el peso, la altura, diámetro exterior del racimo y el diámetro del pseudotallo como se indica en la tabla 1-1 a continuación:

Tabla 1-1. Geometrías de una muestra de racimos de plátano de variedad Hartón

Muestra	Peso (Kg)	Altura (m)	Diámetro Ext. Racimo (m)	Diámetro Pseudotallo (m)
1	10,01	1,3	0,65	0,12
2	6,79	0,7	0,75	0,15
3	12,15	1,43	0,45	0,1
4	7,98	0,89	0,85	0,13
5	9,09	0,95	0,65	0,15
5	9,55	0,76	0,67	0,14
6	11,23	1,15	0,65	0,16
7	9,75	1,24	0,78	0,12
8	9,95	0,86	0,85	0,17
9	10,09	0,95	0,8	0,12
10	11,00	1,32	0,86	0,14
12	12,15	1,27	0,84	0,13
13	10,11	1,45	0,73	0,14
14	9,79	0,69	0,73	0,15
15	9,51	0,69	0,75	0,16
Media(μ)	9,94	1,06	0,72	0,14

Nota. La tabla 1-1 describe las diferentes dimensiones de un racimo de plátano para efectos de diseño del prototipo de herramienta, las cuales fueron tomadas con un flexómetro digital AT-K4TM tipo Laser+cinta 40m Marca Koissa; a excepción del peso, el cual se realizó en báscula balanza tipo plataforma de piso de 200 Kg marca TEK.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla 1-1, indican que el promedio de longitud del racimo variedad Hartón en la finca “La Azul” es de 1,06 m, el peso promedio es de 9,94 Kg, el diámetro externo del racimo es de 0,72 m y el diámetro del pseudotallo es de 0,14 m, lo que indica que estos valores medios representan una aproximación para el diseño y están dentro de los rangos característicos de esta variedad de plátano, lo cual garantiza una aplicación muy aproximada de esta herramienta para dicha actividad en este cultivo.

Aportes del estudio

Así como las variables mecánicas son fundamentales para determinar aspectos asociados al tipo de material, sistema usado; también están las variables geométricas, las cuales precisan con más detalle factores de diseño como el peso total del racimo con el cual se establece el tipo de recolectora o tolva; el diámetro externo indica el ancho de esta.

Las características geométricas permiten determinar de forma específica aspectos relacionados con el diseño de los sistemas de corte y de recolección; estas variables fueron tenidas en cuenta para su fabricación.

1.4 Métodos de recolección del plátano

Existen tres métodos definidos para la recolección de plátano; el primero es el método manual a partir del uso de herramientas como tijera desgarradora (1), hoz dentada (2) y el machete (3) como se indica a continuación en la figura 1-5.

Figura 1-5. Herramientas de corte para recolección de plátano



Fuente: Felco (2021)

El uso de estas herramientas constituye un paso intermedio e integrado a la labor de cosecha, ya que para su recolección es necesario separar el plátano del vástago que lo soporta; terminado el corte del pseudotallo, el racimo es tomado por un operario, el cual lo lleva a su espalda, caballo o línea de transporte: dentro de las ventajas de este tipo de herramientas están su bajo costo y su adaptabilidad para ser usada en cualquier área geográfica; sin embargo tiene como desventaja que su uso repetitivo a causa de largas jornadas de recolección pueden traer complicaciones a nivel de salud y seguridad en el trabajo (SST), requiere un afilado frecuente de la herramienta de corte, en pseudotallo mayores a 14 mm, el corte debe ser repetitivo, es decir no lo hace en un paso, por ende mayor tiempo de la faena, como la fuerza depende de la palanca que ejerza el operador, si se trata de plantas de más de 2 metros, la fuerza de empuje para el corte disminuye, lo que la hace deficiente.

El segundo método lo constituyen equipos o máquinas que emplean sistemas de brazos telescópicos o robóticos para realizar el corte y el transporte del plátano; dentro de sus ventajas se tienen la reducción de tiempos de operación, de riesgos de accidentabilidad

daño del racimo o producto; sin embargo, el uso de tecnologías trae como desventajas el uso de combustible fósil que afectan el medio ambiente, su elevado costo de adquisición supera los 14.000 USD, y su aplicación está limitada a terrenos con baja densidad de siembra entre otros.

Aportes del estudio

Resulta evidente que los métodos de artesanales empleados en procesos de cosecha como la recolección y almacenamiento presentan grandes desventajas frente al uso de las tecnologías; sin embargo como se ha descrito no siempre las soluciones tecnológicas son aplicables a todo tipo de productor, ya que existe una diferencia muy marcada entre los grandes y pequeño agricultores; factores como equipos diseñados para grandes volúmenes de producción y adaptados a cultivos tecnificados, alto precio de adquisición comercial del equipo u herramienta, la limitación de uso de estos debido a la falta de fuentes de alimentación eléctrica, terrenos de difícil acceso que impiden su transporte, el peso y tamaño que obliga al acondicionamiento de áreas entre otras, dejan al descubierto que no todas las necesidades de estos productores son tratadas o abordadas mediante soluciones prácticas de ingeniería; por lo anterior se deben evaluar alternativas que se ajusten a requerimientos reales a partir de dichos factores descritos.

Por otro lado, en el campo específico del proceso de recolección de plátano los avances que se tienen hasta hoy visualizan un deficiente desarrollo, de aquí la importancia de fortalecer el proceso de invención e innovación de herramientas y máquinas que contribuyan a optimizar cada vez más los procesos de los pequeños productores en el entorno agrario del país a partir de impactos tecnológicos positivos.

Para efectos de diseño de la propuesta, se optó para su desarrollo un prototipo de herramienta operada por un método manual, ya que la alta densidad de siembra, es decir un mayor número de plantas sembradas a menor distancia o en su defecto cultivos intercalados con café como se muestra en la figura 1-6, no permiten el uso de tecnologías de equipos de desplazamiento pilotado.

Figura 1-6. Cultivo de plátano y café intercalado de alta densidad



Fuente: Tomada de manual de sistemas intercalados de cultivos, ICA

1.5 Principio de funcionamiento de máquinas recolectoras

En este epígrafe se describen los principios de funcionamiento de mayor aplicación en máquinas o herramientas dedicadas a la recolección de plátano. Los principios mecánicos de mayor uso por estas tecnologías corresponden al de palancas, de transmisión de potencia, de masa- resorte y de corte.

1.5.1 *Principio de palancas*

Muchas de las herramientas usadas en labores de campo se clasifican según su uso; sin embargo, estas operan a partir de principios básicos como lo es el caso de las palancas de tercer género en donde la potencia está ubicada entre la resistencia y el punto de apoyo como se indica en la figura 1-; aquí la potencia es menor que la sección de la resistencia, lo cual permite diseñar mecanismos basados en este tipo de principios (Chereguini & Bueno, 2014).

1.5.2 *Sistemas de transmisión de potencia*

Corresponde al factor más importante de los actuales sistemas de recolección, ya que por su naturaleza manual estos equipos demandan la acción de fuerzas externas para realizar la acción que, en este caso, es el corte y la recolección del racimo de plátano Hartón; cuando varias fuerzas actúan sobre el racimo. Se considera un sistema o componentes de este. Para lograr este efecto se requiere del uso de sistemas adicionales como winches, resortes y sistemas de corte que faciliten la operación de una herramienta en todo su conjunto (Romero, 2016).

Otras tecnologías implican el uso de sistemas de transmisión por cadenas, los cuales son usadas por su carácter robusto, y de durabilidad en cuanto a jornadas de trabajo bajo condiciones ambientales adversas y con temperaturas elevadas, aunque requieren de lubricación. Sin embargo, 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).

Sin embargo, para el caso particular de la finca La Azul, las condiciones obligan a que se consideren desarrollos de herramientas a partir de la integración de sistemas de corte, resorte y winches.

1.5.3 *Sistemas de masa- resorte*

Se presenta cuando existe una fuerza de restitución FR, la cual es directamente proporcional al desplazamiento X, con respecto a un punto equilibrio; en este sistema el valor de la fuerza de restitución es necesaria para determinar los esfuerzos que intervienen en el corte del plátano, lo cual permite una solución en donde las variables de altura, peso y diámetro exterior analizadas en las características geométricas del plátano Hartón, son determinantes para el diseño (Nisbett, 2012).

1.5.4 *Sistema de corte*

Este sistema se compone de cuchillas o material en acero inoxidable, las cuales tiene como tarea romper la fuerza de resistencia del plátano para poder realizar un corte: el sistema de corte puede ser por discos o cuchillas; sin embargo, requiere de una base estructural sólida para evitar el daño del producto y a la misma herramienta.

Aportes del estudio

Los principios empleados para este tipo de herramientas son simples, y permiten una gran posibilidad de adaptaciones o acoples para el diseño; tanto el sistema de corte como el de masa-resorte, corresponden a una solución que puede ser considerada en el prototipo, ya que la actividad de corte se realizara en alturas, para lo cual el peso de los componentes juega un papel muy importante, si se compara con un sistema de transmisión el cual es mucho más robusto: sin embargo es necesario realizar un análisis de requerimientos con el

fin de poder desarrollar de forma muy aproximada el concepto; de acuerdo con lo anterior el capítulo 2 plantea de forma descriptiva dicho desarrollo.

2. Capítulo 2: Diseño conceptual

Este capítulo desarrolla la fase metodológica de diseño conceptual el cual consiste esencialmente en obtener una solución a un problema de diseño planteado a partir de las especificaciones, requisitos y necesidades planteadas; esto implica un análisis detallado de criterios y de conceptos recogidos en función de la problemática identificada; por ende, la recolección depende en gran medida del trabajo de campo realizado y su aplicación está dada en función de la evaluación y ponderación de factores dada a diferentes propuestas mediante una matriz morfológica.

2.1.Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño identificados fueron obtenidos a partir de una entrevista directa con el propietario y agricultor de la finca (ver anexo 1); para ello se definieron criterios como costo, manipulación, mantenimiento, integralidad funcional, impacto ambiental, funcionalidad y transporte; 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 requerimientos de diseño surgen de las expectativas planteadas por el propietario de la finca “La Azul” de Palermo (Huila), y son la base fundamental del diseño conceptual, para ello, se registraron y categorizaron dichas necesidades, en función de factores o criterios como se indica en la tabla 2-1 a continuación:

Tabla 2-2. Relación y descripción de requerimientos

Ítem	Criterio	Requerimientos	Razones del requerimiento
1	Costo	Que sea de bajo costo; para que muchos cultivadores puedan adquirirla.	Valor comercial del plátano es bajo hoy día.
1	Manipulación	Que su uso sea fácil, simple y no implique un estudio de una manual.	En máquinas que conoce para otras aplicaciones usan muchos botones de accionamiento.
3	Mantenimiento	Que sus piezas sean baratas y el Mantto fácil de realizar.	Máquinas se dejan porque no se consiguen los repuestos, son muy caros o requiere de una persona especialista lo que aumenta costos.
4	Integralidad funcional	Que realice el corte en un solo paso y recolecte simultáneamente.	El sistema actual parte de un corte primero al tallo, luego al pseudotallo y luego recoger el racimo, esto pueda durar más de 4 minutos.
5	Ambiental	Que no contamine el ambiente.	El ICA está realizando visitas a las fincas registradas y pide que los equipos mecánicos que usen motores estén con certificado de emisión de gases, acorde a los parámetros, lo cual es una limitante.
6	Funcionalidad	Que corte el racimo sin tener que dañar el tallo de la planta, ya que esto permite una segunda germinación	Se realizan muchas actividades para recolectar un racimo de plátano.
7	Transporte	Que pueda llevar sin ningún problema	Esto debido a la alta densidad de siembra, la cual se alterna con café, lo cual deja espacios entre plantas y surcos muy reducidos para su desplazamiento; a lo que se suma cultivos sembrados en pendientes (<30°)
8	Estructural	Que no sea pesada	Actualmente el machete es una herramienta liviana, sin embargo, se realizan muchas actividades para recolectar un racimo de plátano.

Nota. Requerimientos tomados de entrevista informal con José Libio Calderón, propietario y productor de plátano Hartón en el municipio de Palermo.

De acuerdo con la tabla 2-1, 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 operar el prototipo; 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.

Integralidad funcional: Este factor evalúa si el prototipo puede aplicar a operaciones con otro tipo de productos, lo que le otorga un plus a nivel de integralidad operativa,

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.

Funcionalidad: Como la actual operación de recolección del plátano se realiza en tres pasos, este factor indica si el prototipo establecido presenta simplificación de pasos, es decir si tiene operaciones que realiza en un solo paso, lo que la hace funcional en tiempo y proceso.

Transporte: Evalúa el prototipo desde el punto de vista de su facilidad para el transporte o desplazamiento.

Estructural: Evalúa la condición de peso del prototipo, es un factor clave ya que se trata de una herramienta que no debe ser pesada para que no tenga efectos a nivel osteomuscular en el trabajador.

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 recolección de plátano Hartón y de la cual se plantean 3 soluciones para ser tenidas en cuenta como alternativas de desarrollo.

2.2. 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 corte y recolección de racimos de plátano; de esta manera, las alternativas a evaluar se centran en el método de funcionamiento, el tipo de corte, la fuente de alimentación en caso de ser necesaria, el peso y otras variables obtenidas de un proceso de encuesta a un grupo de 10 agricultores sobre el método empleado e indicadas en la tala 2-2; de acuerdo con lo anterior se tiene:

Tabla 2-3. Resultados encuesta sobre requerimientos de diseño

Encuestado	Que método emplea para recolección de plátano	Que aspectos considera usted que deben considerarse para diseñar una máquina cortadora de plátano
1	Machete	Que se pueda manipular fácilmente, que no sea pesada y no consuma combustible o energía eléctrica
2	Machete	Que sea económica
3	Machete	Que no dañe el racimo y que se pueda manipular fácilmente
4	Machete	Que sea segura y de fácil mantenimiento
5	Machete	Las piezas se pueden conseguir en el comercio
6	Machete	Que use un sistema de cuchillas que permitan realizar un solo corte y de fácil consecución
7	Media Luna	Que no sea pesada
8	Machete	Que el sistema de recolección sea fácil de conseguir

9	Machete	Que no dañe el racimo y que se pueda manipular fácilmente
10	Machete	Que se pueda usar en otros cultivos para corte a alturas

Fuente: Autor.

Como se observa en la tabla 2-2 los requerimientos resultantes de la encuesta comprenden el uso de herramientas manual para el corte del plátano como el caso del machete; en el caso de otros requerimientos estos se listan en tala tabla 2-3 en donde se muestran los prototipos planteados como opción a la solución del problema del corte.

Tabla 2-4. Análisis de prototipos

Criterio	Prototipo 1	Prototipo 2	Prototipo 3
Sistema de corte	Disco	Cuchilla corte en V	Guillotina Corte recto
Sistema de recolección	Tolva cono	Tolva depósito alta-lona alta densidad	Tolva depósito alta-lona alta densidad
peso aprox.	20 kg	5 kg	10 kg
Tipo de estructura	Rígida	Plegable	Rígida
Funcionamiento	Botón de accionamiento on/of	Accionamiento manual (guaya-resorte)	Accionamiento por biela
Fuente alimentación	Motor 0,5 HP gasolina	NA	NA
Ventajas	1- Cortes Exacto.2- Reducción de tiempos.3- No requiere de un esfuerzo significativo para su accionamiento.4-Segura en cuanto modo de uso.	1- No contamina el medio ambiente.2- Bajo valor comercial de adquisición< 2millones.3 corte unico.4- evita daño de producto.5. posee sistema plegable para trasporte /Extensión de guías).6- Bajo peso	1- No contamina el medio ambiente.2- Bajo valor comercial de adquisición< 2millones.3 corte unico.4- evita daño de producto. /Extensión de guías).6- Bajo peso
Desventajas	1. Equipo pesado.2-Usa combustible afectando el medio ambiente.3- Chasis rígida lo que puede afectar su movilidad o transporte.4-Costo superior a 3 millones.5-Ruido excesivo	1- Frecuencia se tensión alta del sistema de corte.2- Matto de cuchilla.	1- Requiere de una alta frecuencia de tensión para el mecanismo de corte.2- Mantto de cuhilla.3, Para compensar el peso su estructura es rigida.4- El corte puede realizarse en dos pasos

Nota. La tabla 2-2 describe el alcance de los criterios empleados para la generación de soluciones en función de diferentes prototipos.

Fuente: Autor

2.2.1. Prototipo 1

Es un diseño que integra una estructura rígida para compensar el peso del motor de 0,5 HP, el cual acciona una cuchilla de disco acoplada en la punta del chasis, este dispositivo funciona como una máquina guadañadora, sin embargo, este corte mediante disco, lo realiza con un ángulo de inclinación de 30°, es costosa y requiere de mantenimiento planeados; usa lubricantes y combustible, y puede presentar un alto nivel de recambio de discos producto del desgaste en la operación de corte; en cuanto al peso, el hecho del motor agrega una masa adicional al total del conjunto. Es funcional y tiene buena capacidad de integralidad para otros productos.

2.2.2. Prototipo 2

Con respecto al prototipo 2, corresponde a un diseño mucho más ajustado y acoplado con los requerimientos, no usa una fuente de alimentación eléctrica, integra el corte y la recolección, emplea un mecanismo de guaya y resorte el cual induce el movimiento de la cuchilla en V, lo que facilita el corte, esta acción se da en paralelo con la de recolección evitando el daño y pérdida de producto; es de bajo costo y tiene la capacidad de desplegarse para su movilización en áreas de alta densidad de siembra o de sistemas de cultivos intercalados.

2.2.3. Prototipo 3

Contiene los mismos principios del prototipo 2; sin embargo, su factor diferenciador se enfoca en su estructura rígida a causa del dispositivo de corte por guillotina, el cual debe ser compensado a través de un cuerpo rígido para evitar el movimiento que se produce por la fuerza de empuje.

2.3. 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 2-3.

Tabla 2-5. Matriz de evaluación prototipos

Ítem	Dimensión	Peso Factor %	Prototipo 1		Prototipo 2		Prototipo 3	
			Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado
1	Costo	12%		0		0		0
1	Manipulación	15%		0		0		0
3	Mantenimiento	15%		0		0		0
4	Integralidad funcional	13%		0		0		0
5	Ambiental	7%		0		0		0
6	Funcionalidad	18%		0		0		0
7	Transporte	11%		0		0		0
8	Estructural	9%		0		0		0

Fuente: Autor

La tabla 2-3 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.

2.4. 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 2-5 a continuación:

Tabla 2-6. Tabla de evaluación

Ítem	Dimensión	Peso Factor %	Prototipo 1		Prototipo 2		Prototipo 3	
			Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado
1	Costo	12%	1	0,12	5	0,6	5	0,6
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	7%	1	0,07	5	0,35	5	0,35
6	Funcionalidad	18%	5	0,9	5	0,9	5	0,9
7	Transporte	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		4,82		4,52	

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 2-4, se puede indicar que con respecto al prototipo 1, su evaluación total fue de 3,06 sobre cinco. Los factores que incidieron en su baja calificación corresponden al uso del motor, el cual requiere para su operación de aceites y lubricantes que impactan negativamente el medio ambiente; 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 el agricultor.

Con respecto al prototipo 2, como se mencionó en la descripción del epígrafe 2.2.2., es una propuesta muy ajustada a los requerimientos, esto debido a que inicialmente el sistema de corte de la herramienta emplea una cuchilla de corte en V, lo que asegura un corte transversal preciso en comparación con el tipo guillotina el cual puede resultar progresivo aumentando el tiempo y la posibilidad de daño del racimo a cortar; el sistema de almacenamiento emplea una tolva de lona de alta densidad tipo circular; tiene un menor peso bruto en comparación con las otras propuestas, es plegable, lo que facilita su transporte o almacenamiento en comparación con las de tolva rígidas.

En cuanto al accionamiento del sistema de corte, este emplea un mecanismo de guaya-resorte, lo que lo convierte en un dispositivo de fácil mantenimiento por su bajo costo no solo de sus componentes si no de los mismos materiales; por otro lado, una de las ventajas de mayor relevancia de esta propuesta radica en que es totalmente amigable con el medioambiente, ya que esta no requiere de combustibles fósiles ni de fuentes eléctricas que incidan en la operación de la herramienta.

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 4,82.

El prototipo 3, obtuvo la segunda mejor calificación, siguiendo casi los mismos factores del prototipo 2, a diferencia de que requiere una estructura rígida a causa del

dispositivo de corte por guillotina, el cual debe ser compensado a través de un cuerpo rígido por la fuerza de empuje.

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 la producción de plátano Hartón en la zona; factores como costo, impacto al medio ambiente, funcionalidad, método de corte, peso fueron preponderantes al momento de seleccionar el prototipo; de acuerdo con lo anterior se concluye que el prototipo 2 cumple con los requerimientos dados por el agricultor, este diseño permite con base a los beneficios evaluados y descritos, tener una mejor adaptabilidad para la tarea cumpliendo de manera integral con la actividad; a partir de esta selección se determina mediante cálculos los parámetros y necesidades de materiales para su construcción, así como el diseño de detalle a nivel de planos del prototipo como se plantea en el capítulo 3.

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 2-2, 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.

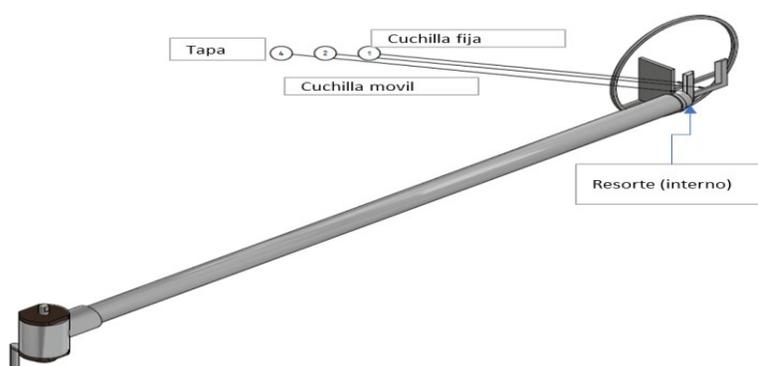
3. Capítulo 3: Desarrollo conceptual

Este capítulo contiene el desarrollo del prototipo a nivel conceptual, de acuerdo a la selección realizada en el epígrafe 2,4; presenta los cálculos en función de los elementos que componen la herramienta recolectora de plátano Hartón, partiendo del sistema de accionamiento de la cuchilla, mediante resorte, así como el análisis estático mediante método de Von Mises el cual consiste en evaluar las tensiones producidas a causa de fuerzas externas; adicionalmente busca determinar si los componentes presentan algún riesgo de fractura, cuando son sometidos a esfuerzos máximos; de acuerdo con lo anterior el primer componente de análisis para el proyecto corresponde al resorte como se indica en el título siguiente.

3.1. Prototipo para desarrollo conceptual

La propuesta de desarrollo del prototipo se muestra en la figura 3-1, para efectos de elaboración de cálculos de sus componentes y comprensión del diseño.

Figura 3-1. Desarrollo conceptual prototipo



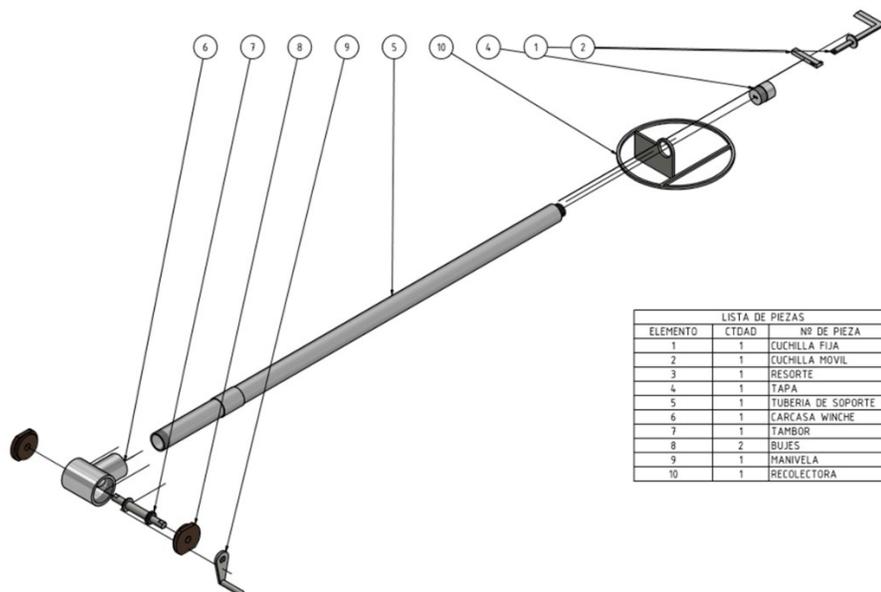
Nota. La figura 3-1 muestra el desarrollo conceptual a nivel de diseño del prototipo de herramienta recolectora de plátano.

De la anterior figura es importante resaltar, que la herramienta se compone de un dispositivo tipo cuchilla en V, que se acopla a un soporte de cuchilla, el cual es accionado por una guaya acoplada al resorte; paralelo a este dispositivo se encuentra un anillo perimetral metálico que sirve de base para contener la bolsa recolectora del racimo de plátano; aquí la actividad de recolección y corte se realiza en forma simultánea, es decir una vez se introduce el racimo en la bolsa recolectora, se desplaza la cuchilla sobre el pseudotallo para efectuar el corte y de esta manera receptionar el producto sin generar daños al mismo por efectos mecánicos de la herramienta o de daño del producto por caída sobre superficie.

3.1.1. Detalle del diseño

Para ilustrar el detalle del diseño se realizó un diseño explosivo del prototipo el cual se presenta en la figura 3-2.

Figura 3-2. Vista explosiva en detalle de herramienta recolectora



Fuente: Autor

Los componentes en detalle refieren la cuchilla fija (1) y la cuchilla móvil (2), las cuales forman el sistema de corte que es accionado por efecto de la compresión del resorte (3) acoplado a la tapa (4); el chasis de la herramienta se compone de un tubo soporte (5); en la parte inferior se encuentra acoplado el sistema de winche (6), el cual se compone de un tambor (7), bujes (8) y una manivela (9) empleada para tensar o recoger la guaya que acciona el resorte (3) para el corte depositando el racimo en la bolsa recolectora acoplada sobre la base (10).

Descrito el enfoque del diseño a nivel funcional, se procedió al desarrollo teórico del concepto que incluye los cálculos del dispositivo conjunto resorte-guaya y el eje del winche como se indica a continuación en el epígrafe 3.2.

3.2.Cálculo componentes

El dispositivo más importante junto con el sistema de corte que integran el prototipo es el sistema de resorte, ya que su función principal es la de ejercer la fuerza necesaria para realizar el movimiento de la cuchilla para efectos del corte al pseudotallo, de acuerdo con lo anteriormente descrito, este análisis del sistema del resorte se realiza a continuación en el epígrafe 3.2.1.

3.2.1. *Análisis de resorte*

Para realizar el cálculo debemos considerar los siguientes supuestos con respecto a la fuerza tomada para accionar el mecanismo:

Para accionar el mecanismo se requiere de una fuerza de 10.19 Kg (100 N), de acuerdo con lo anterior el resorte debe comprimirse 30 mm, la longitud máxima del resorte

sin compresión es de 50 mm, sin embargo, para lograr esto, este elemento debe cumplir con las siguientes características.

- Extremos a escuadra y rectificadas, es decir extremos cerrados para soportar grandes cargas de accionamiento con el fin de que, al comprimir el resorte este se active.
- Valor de índice de resorte (C), se encuentra en un rango de $4 \leq C \leq 12$; esta constante se determina a partir de la relación entre el diámetro medio y el diámetro del alambre; su importancia obedece a la facilidad de fabricación y costo en el mercado.
- Factor de seguridad de diseño $\eta=1.5$; esto con el fin de poder garantizar que el elemento no se fracture debido a la fuerza de accionamiento, por ende, para su validación se requiere que al analizar dicho factor mediante Von Mises, este se encuentre por debajo del máximo permisible.

De acuerdo con lo anterior, (Myszka, 2012) propone la siguiente ecuación (3.1) para su cálculo:

$$\frac{S_{sy}}{\eta} = K \frac{8FC}{\pi d^2} \quad \text{Ecu. (3.1)}$$

De Donde:

F= fuerza ejercida en el resorte

K= constante del resorte

S_{sy}= Resistencia admisible de la carga

C= índice de resorte

η = factor de seguridad de diseño

π = Constante Pi

d= diámetro alambre

Con respecto al valor del índice del resorte, el cual se encuentra en el rango de valor óptimo se tiene: C=8.

La resistencia admisible de la carga S_{sy} es una fracción de la resistencia última a tracción (S_{ut}), esta resistencia depende el diámetro del alambre y del material (d^m) de este según la ecuación. (3.2), propuesta por Myszka; su importancia radica en que permite trabajar con un factor de seguridad confiable para la construcción de prototipo.

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad \text{Ecu. (3.2)}$$

Determinamos valores con la siguiente tabla.

Tabla 3-1. Resistencia admisible

Autor	S_{ut}		$\alpha = S_{sy} / S_{ut}$	
	A	m	Con preesforzado	Sin preesforzado
Shigley [1]	1783	0.19	0.65	0.45
Hamrock [3]	1750	0.192	0.4	0.4
Norton [5]	1753.3	0.182	0.65	0.45
Faires [8]	1784	0.19	0.6	0.6

Fuente: Tomado de Castillo, (Castillo D, 2020)

El resorte será sometido a un tratamiento de preesforzado para eliminar el efecto de curvatura, de acuerdo con esto se debe utilizará el factor K_s dado por la ecuación (3.3)

$$K_s = \frac{2C + 1}{2C} \quad (3.3)$$

Por esta razón se utilizará el factor K_s . Al reemplazar se tiene:

$$K_s = \frac{2 * 8 + 1}{2 * 8} = 1.062$$

Molt, propone, para determinar el diámetro del alambre, debe emplearse la ecuación (3.4) como se indica a continuación (Molt, 1992).

$$d = \left(\frac{K8FC\eta}{\alpha\pi A} \right)^{\frac{1}{2-m}}$$

De donde:

d = diámetro del alambre

K= constante del resorte

F= fuerza ejercida en el resorte

η = factor de seguridad de diseño

C= Índice del resorte

π = Constante Pi

α = deformación angular

A= área

m= masa

$$d = \left(\frac{1.062 * 8 * 100 \text{ N} * 8 * 1.5}{0.65 * \pi * 1783} \right)^{\frac{1}{2-0.19}}$$

$$d = (2.80014)^{0.5524}$$

$$d = 1.76 \text{ mm}$$

Como a nivel comercial no existen diámetros de esta especificación, se aproxima al valor más cercano para su compra, el cual es de un diámetro de 2 mm.

Con el diámetro establecido, se calcula el esfuerzo máximo del resorte de acuerdo con la ecuación (3.4), dada por Myszca.

$$\tau_{max} = K \frac{8FC}{\pi d^2} \quad (3.4)$$

Al reemplazar estos valores, el resultado obtenido es:

$$\tau_{max} = 1.062 \frac{8 * 100 * 8}{\pi * (2)^2}$$

$$\tau_{max} = 540.87 \text{ Mpa}$$

Realizado los cálculos se concluye que el máximo esfuerzo realizado por el resorte con tratamiento de preesfrozado, necesario para asegurar una alta resistencia es de 540,87 MPa; de acuerdo con los cálculos el diámetro del resorte es de 2mm, lo cual de acuerdo con el análisis de resistencia admisible da confiabilidad para el desarrollo de la pieza.

3.2.2. Eje del Winche

Es una pieza fundamental en el prototipo, ya que este debe realizar una fuerza para vencer el resorte y cortar; esta fuerza a vencer es de 10 Kg; ahora bien, el diámetro del tambor del Winche es de 30 mm; de acuerdo con lo anterior se debe determinar la fuerza necesaria en la palanca, la cual se determina a partir de la ecuación de torque propuesta por Molt en la ecuación (3.5).

$$T = F \cdot D = F * (d/2) \quad (3.5)$$

De donde

F= Fuerza necesaria para vencer el mecanismo del resorte

D= Distancia recorrida

$$T_1 = 10 \text{ Kg} * (0.03\text{m}/2)$$

$$T_1 = 0.15 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Al despejar la fuerza en la palanca, la cual tiene una distancia lineal de 100 mm, se obtiene:

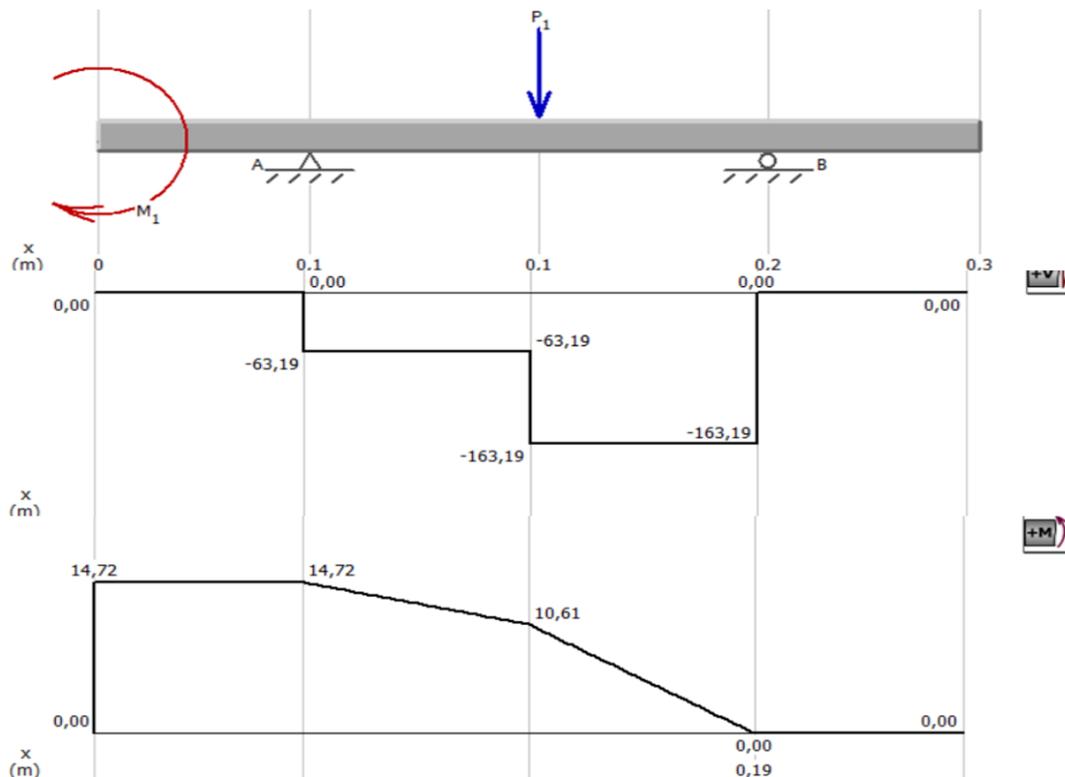
$$F_{palanca} = \frac{T_1}{l}$$

$$F_{palanca} = \frac{0.15 \text{ Kg} \cdot \text{m}}{0.1 \text{ m}}$$

$$F_{palanca} = 1.5 \text{ Kg}$$

De acuerdo con lo anterior, al realizar el análisis del eje, mediante modelo de cuerpo libre se determinan las fuerzas que intervienen sobre el eje como se indica en la figura 3-2.

Figura 3-3. Diagrama de cuerpo libre del eje del Winche



Nota. La figura 3-2 Diagrama de cuerpo libre del eje, describe el cuerpo de libre de los torques o momentos M_1 , que inciden en el eje, así como la carga P_1 que actúa sobre el mismo.

Sumando los momentos de las fuerzas que actúan sobre el eje se determina el momento equivalente, el cual está dado por M_{olt} según la ecuación (3.5).

$$M_e = \sqrt{Mt^2 + Mf^2} \quad (3.5)$$

$$M_e = \sqrt{(14.72 \text{ Nm})^2 + (1.47 \text{ Nm})^2}$$

$$M_e = 14.79 \text{ Nm} = 1508.16 \text{ Kg.mm}$$

Despejamos el diámetro del eje, el material seleccionado de acuerdo con Molt debe responder a aspectos como frecuencia de la operación, resistencia a trabajo continuo y durabilidad, la cual se obtiene de un material de alta resistencia, que para este caso es el acero AISI SAE4140 ya que posee una alta resistencia, lo que la convierte en un material ideal para el diseño de estructuras de máquinas o ejes; este valor de resistencia es de $\sigma = 45 \text{ Kg/mm}^2$.

Al despejar el diámetro del eje se tienen las siguientes variables para su cálculo:

$n = \text{factor de seguridad}$

$S_y = \text{esfuerzo corregido del material}$

$$S_y = \sigma * 0.35$$

$$S_y = 45 \text{ Kg. mm}^2 * 0.35 = 12.25 \text{ Kg. mm}^2$$

De acuerdo con Molt la ecuación para el cálculo del diámetro esta dado por la ecuación 3.6

$$d = \left[\frac{32 \cdot n}{\pi * S_y} * M_e \right]^{1/3} \quad (3.6)$$

$$d = \left[\frac{32 * 3}{\pi * 12.25 \text{ Kg. mm}^2} * 1508.16 \text{ Kg. mm} \right]^{1/3}$$

$$d = 15.5 \text{ mm},$$

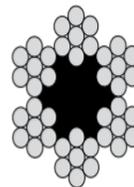
A nivel comercial no se consiguen diámetro de eje de 15,5 mm, para configuraciones geométricas con piñones, por ende, se debe aproximar dicho valor a uno comercial, siendo el más cercano por exceso el de $d \approx 25mm$

Según Reyes (2020), existen configuraciones de cable las cuales pueden soportar múltiples pesos; en el caso del winche utilizado, refiere un cable de configuración 6 mm alma de fibra, ya que es el que más adecuado al tipo de trabajo a realizar, es decir corte accionando por sistema de resorte; la importancia del alma de fibra para el cable radica en que este elemento constituye el eje central o núcleo de un cable, alrededor del cual van colocados los alambres. Sirve como base del cable y ayuda a conservar la redondez de este. Lo más importante es el hecho de soportar la presión de los alambres y mantiene las distancias o espacios correctos entre ellos.

Es el cable más delgado y certificado que se consigue en el mercado como se indica en la figura 3-3.

Figura 3-4. Selección cable para Winche

6X7 ALMA DE FIBRA (AF)



Construcción del Cable	
Item	Cantidad
Torones	6
Torones Externos	6
Capa de Torones	1
Alambres en Cable	30 A 54

Construcción del Torón	
Item	Cantidad
Alambres	5 A 9
Alambres Externos	4 A 8
Capa de Alambres	1

TABLA 2									
Diámetro		Peso Aprox.		Carga mínima de Rotura				Rango Diámetro	
pulg	mm	lb/ft	kg/m	IPS tons	1770 kN	EIPS tons	1960 kN	Min pulg	Max pulg
	6	0,08	0,124		21,2		23,4	0,236	0,248
1/4		0,09	0,139	2,64		2,90		0,250	0,263
	7	0,11	0,169		28,8		31,9	0,276	0,289
5/16		0,15	0,217	4,10		4,51		0,313	0,328
	8	0,15	0,221		37,6		41,6	0,315	0,331
	9	0,19	0,279		47,6		52,7	0,354	0,372
3/8		0,21	0,313	5,86		6,45		0,375	0,394
	10	0,23	0,345		58,8		65,1	0,394	0,413
	11	0,28	0,417		71,1		78,7	0,433	0,455
7/16		0,29	0,426	7,93		8,72		0,438	0,459
	12	0,33	0,497		84,6		93,7	0,472	0,496

Nota. La figura 3-2 indica las características técnicas del cable 6x7 alma de fibra AF

Este cable presenta un límite a la rotura de 21.2 KN (2161 Kg), lo cual indica una holgura significativa para las condiciones de carga estimadas.

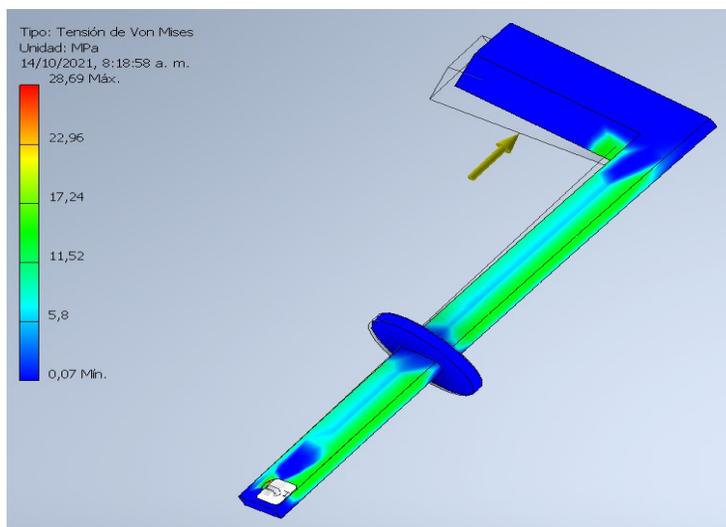
De acuerdo con lo anterior esto se valida a través del análisis de cargas que actúan sobre la herramienta; para ello el método de Von Mises, aplicado mediante simulación en el programa Autodesk Inventory permite establecer bajo la configuración de parámetros calculados en la herramienta un análisis de esta cuando trabaja a tensión máxima, desplazamiento máximo y factor de seguridad de diseño máximo; estos análisis se indican a continuación en el numeral 3.3

3.3. Análisis estático de cargas para cuchilla

3.3.1. Análisis de tensión de la cuchilla

Para realizar este cálculo, se parte de la carga ejercida por el operador para accionar la cuchilla; la cual es de 100 N en su filo; de acuerdo con recomendaciones para el diseño de máquinas y equipos para manipulación de alimentos decreto 3075 de 2013, el material empleado para la cuchilla es el acero inoxidable 304, ya que posee una gran resistencia a la oxidación, especial para operaciones de corte debido a su alta resistencia a la compresión, y su fácil limpieza sin alterar sus componentes físicos y mecánicos; de acuerdo con lo anterior al someter este elemento a su máximo esfuerzo, el resultado del análisis por el método de Von Mises, indica:

Figura 3-5. Ilustración sobre comportamiento de la cuchilla a esfuerzos de tensión.



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

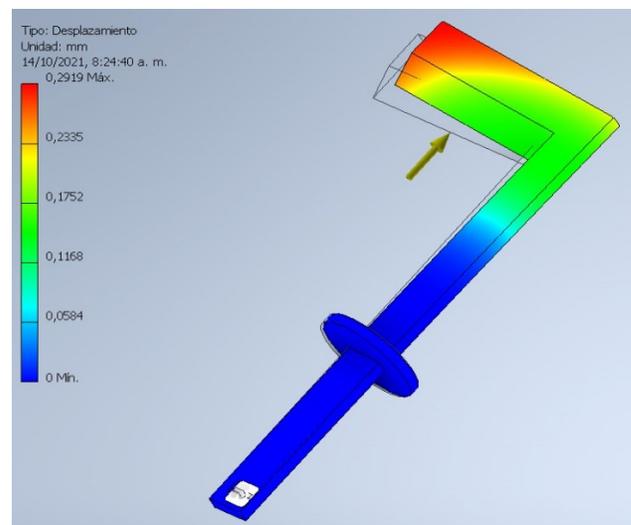
En la figura 3-4 se observa las zonas de color azul las cuales indican áreas de menor tensión a la que se somete la cuchilla, las de color verde indican un mayor tensión; sin embargo el esfuerzo máximo que soporta la cuchilla, trabajando en condiciones de tensión

es de 28,69 MPa y se concentra como lo indica la figura 3-4-, sobre el soporte de esta ubicada en el extremo inferior derecho; por lo tanto, se concluye que el elemento no presentara fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se somete.

3.3.2. *Análisis de desplazamiento de la cuchilla*

En la figura 3-5, se puede apreciar el desplazamiento máximo de la cuchilla cuando trabaja esfuerzos máximos la cual se identifica con el color rojo; la gráfica muestra como de forma progresiva a medida que el elemento es sometido a una fuerza de tensión, las áreas azules y verdes muestran una menor desplazamiento del material; sin embargo este comportamiento cambia drásticamente cuando la tensión se aplica sobre la cuchilla en la parte superior, ya que es en esta zona en donde dicho elemento sufre un mayor desplazamiento del material cuyo valor es de 0.219 concentra en el cuadrante del acabado de la cuchilla.

Figura 3-6. Análisis de desplazamiento en la estructura



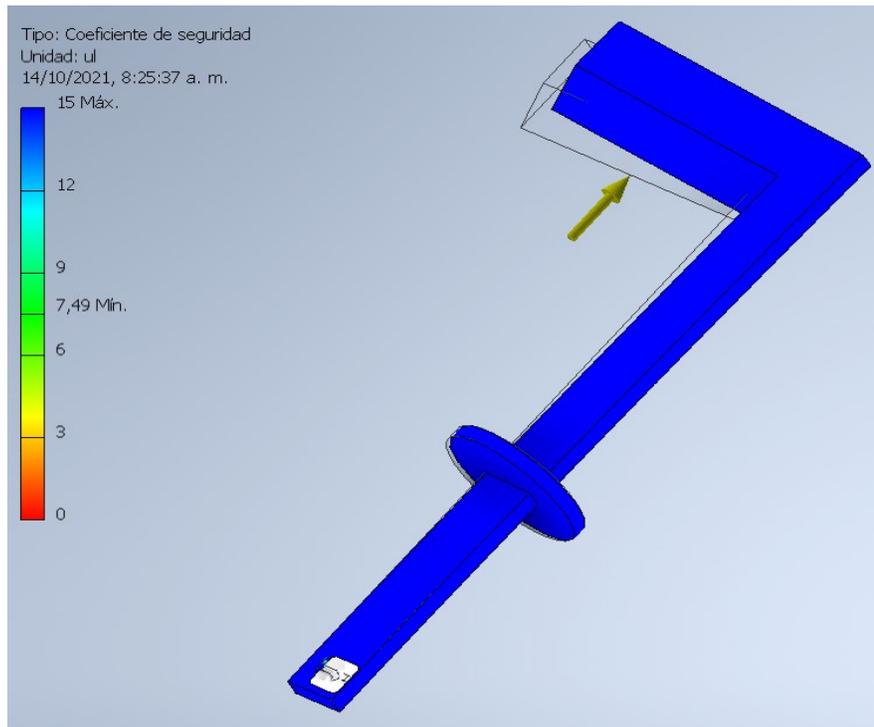
Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

Como se indicó la importancia de este dato, radica en que permite validar si el prototipo puede llegar a sufrir un desplazamiento de la estructura que afecte o modifique su rendimiento en función de su propia configuración, razón por la cual se deben considerar para su diseño materiales de alta resistencia como la familia de aceros AISI 420

3.3.3. Análisis de factor de seguridad de la cuchilla

El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 7,49 MPa, lo cual quiere decir que soporta 7 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que la cuchilla cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas, y se garantiza la durabilidad que permita, bajo un buen esquema de uso y mantenimiento (limpieza y ajustes preventivos periódicos), alcanzar una vida útil extendida. En la figura 3-6 se observa la distribución de diferentes valores de factor de seguridad siendo los que están por debajo de 7,49 valores para revisión ya que no garantizan que la herramienta trabaje adecuadamente; sin embargo, valores por encima de este factor validan el desarrollo del prototipo, ya que pueden soportar n veces las cargas a las que se someten sin que el elemento se rompa o cizalle, por lo que se ratifica la seguridad de la pieza diseñada.

Figura 3-7. Análisis de factor de seguridad



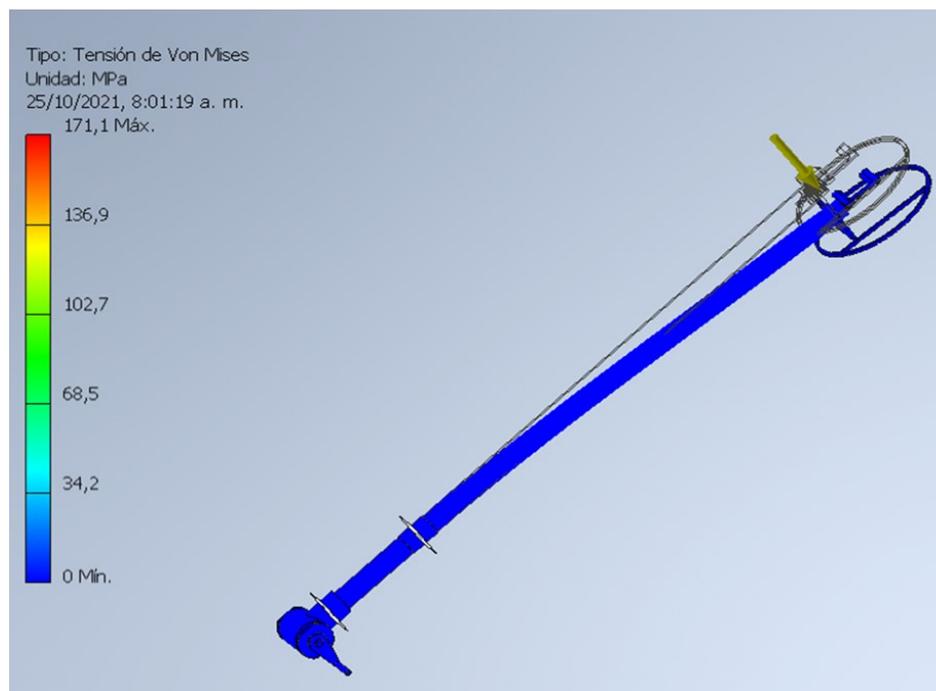
Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

3.4. Análisis estático de la herramienta de corte y recolección.

3.4.1. Análisis de tensión de la herramienta.

Se somete el dispositivo a una carga de 10,19 kg N, que es lo que aproximadamente pesa un racimo de plátano.

Figura 3-8. Análisis de tensión de la herramienta,



Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

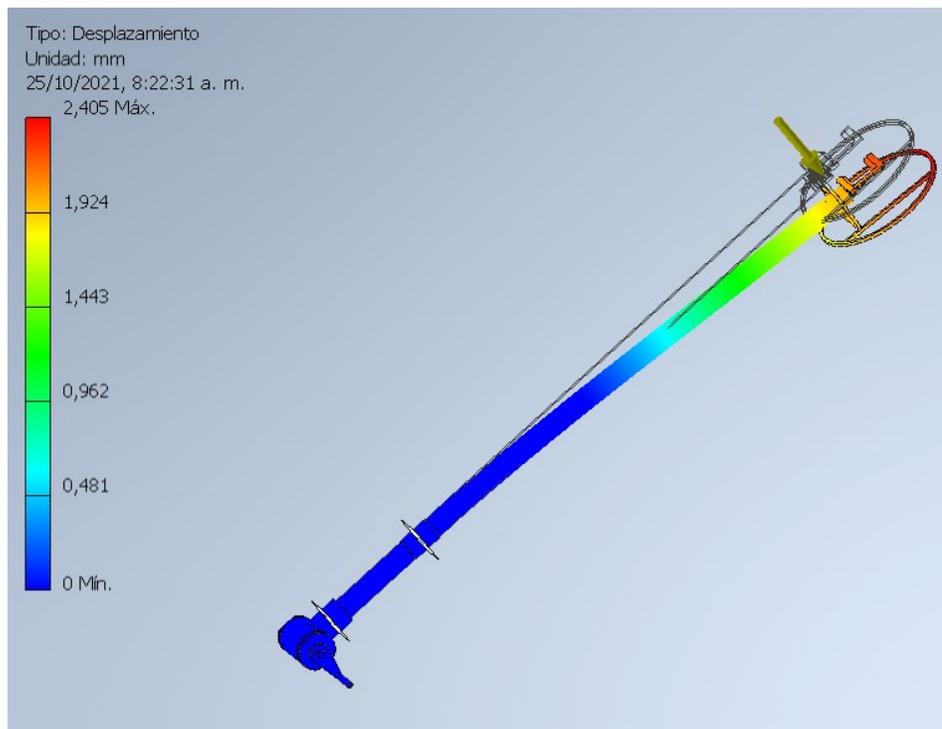
Este valor de tensión o esfuerzo que soporta el conjunto eje, cuchilla, trabajando en condiciones de esfuerzo máximo es de 171 MPa y se concentra como lo indica la figura sobre el soporte de la cuchilla; se observa un buen comportamiento del material en cuanto a la tensión aplicada, evidenciado por el color azul lo largo de la herramienta, por lo tanto, se concluye que el elemento no presentara fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se somete.

3.4.2. Análisis de desplazamiento de la herramienta de corte y recolección

En la figura 3-8, se puede apreciar el desplazamiento máximo de la herramienta, cuando trabaja a esfuerzos máximos. En la sección de color azul, se observa un desplazamiento máximo de 2,405 mm, el cual se concentra en el sistema recolector y de corte ubicado en la parte superior de la figura 3-8, así como de los elementos de sujeción

que la componen, y que se identifica por las áreas rojas ubicadas sobre el aro perimetral y las cuchillas; las áreas azules nos indican zonas en donde no se presenta desplazamiento del material del cual está hecha la herramienta, solo a partir del cambio de color azul a verde se puede identificar una variación pequeña cuyo valor es de 0,962.

Figura 3-9. Análisis de desplazamiento en la estructura



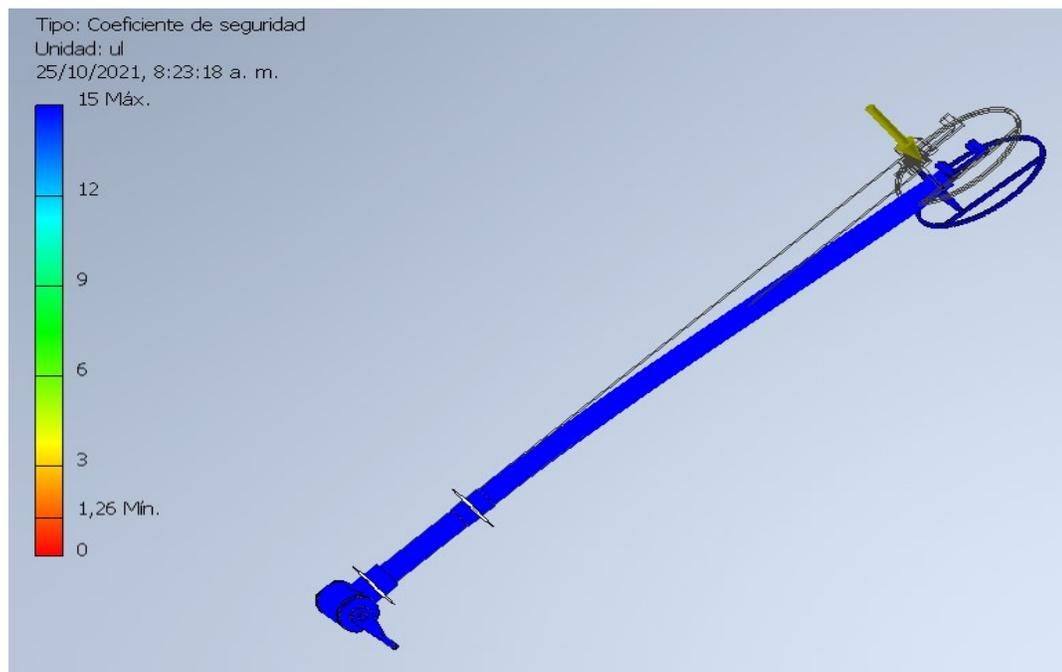
Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

3.4.3. Análisis de factor de seguridad de la herramienta

El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 1,26 MPa, lo cual quiere decir que soporta 1,2 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que la herramienta, cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo de manera exitosa, y se garantiza la durabilidad que permita, bajo un

buen esquema de uso y mantenimiento (limpieza y ajustes preventivos periódicos), alcanzar una vida útil extendida.

Figura 3-10. Análisis de factor de seguridad



Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020.

Se concluye de la figura 3-9 que el diseño presenta un buen margen de seguridad ya que no se evidencia áreas rojas sobre el chasis del prototipo.

Del acuerdo con los cálculos realizados, se concluye que al realizar los análisis de cargas estáticas mediante el método de Von Mises, se pudo determinar que en el caso de la cuchilla el trabajar a máximo esfuerzo, este elemento no presenta ni deformaciones ni cizallamientos, ya que el factor de seguridad del dispositivo es de 7,49 MPa, el cual no sobrepasa el máximo permisible del material que es de 15 MPa; es decir que existe seguridad en el desempeño de la cuchilla en cuanto a la función de diseño. De igual forma los resultados obtenidos a nivel de tensión y desplazamiento están por debajo del máximo

permisible, indicando que el prototipo cumple con gran holgura los límites máximos permisibles cuando actúa bajo estas cargas.

Evalrados los aspectos de desarrollo del concepto en función de los esfuerzos, los elementos como resorte y eje, se procede a construir el prototipo como se indica a continuación en el capítulo 4.

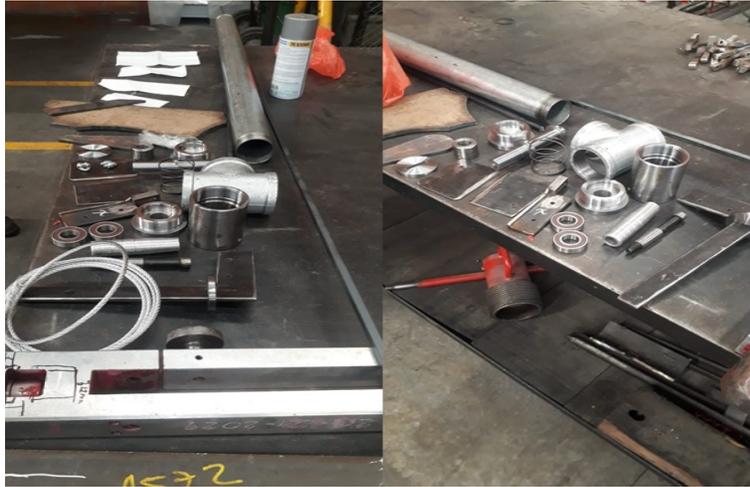
4. Capítulo 4: Construcción del prototipo de herramienta cosechadora de plátano en la finca La Azul de Palermo (Huila).

Previo a la construcción de la herramienta, se debe tener en cuenta la adquisición de materiales y elementos para su fabricación y ensamble, sobre el cual se proyectó el diseño y cálculo de variables como esfuerzo admisible del resorte, tensión, desplazamiento, factor de seguridad y momentos en eje cortante; de acuerdo con esto en el ítem 4.1 se muestran los materiales adquiridos y el ítem 4.2 la fabricación y ensamble de los elementos establecidos en los planos de diseño de la misma como se indica a continuación.

4.1. Compra de materiales y componentes

Para la construcción de la herramienta debemos partir de la base de la identificación de elementos que se van a trabajar para la construcción del prototipo como el caso del tubo de 2 in galvanizado acero AISI 4040 con rosca en ambos extremos (Eje) el cual se seleccionó debido a sus propiedades mecánicas como su alta resistencia a la fatiga, resistencia al desgaste y resistencia al impacto, dureza y resistencia a la torsión lo cual se ajusta a la actividad, ya que la fuerza que debe soportar este tubo corresponde al peso del racimo de plátano una vez cortado el cual es en promedio 9.92 Kg que al compararlo con la fuerza de corte que tiene este es de 80 GPa, lo cual es muy superior, garantizando que no se fracture el tubo ni por fatiga, tracción o compresión como lo indica (Cabrera, 2017); la guaya para Winche, el resorte calibre 2 mm como se determinó en el ítem 3.2.1. y cuyo paso es de 10 x 100 de longitud, los cuales componen el sistema de accionamiento de la cuchilla, como se indica en la figura 4-1.

Figura 4-1. Ilustración de materiales adquiridos para ensamble.



Fuente: Elaboración propia, taller de mecanizado.

Con respecto al peso de la herramienta es de 15 Kg lo cual no impide su uso o compromete la seguridad física del operador. Para establecer si la actividad de corte del racimo empleando el prototipo no genera un cansancio en el operador, se estimó el tiempo que puede alcanzar una persona sosteniendo la herramienta como se indica a continuación en la siguiente tabla, para la cual se realizaron 10 mediciones con 10 operadores a los que se les paso la herramienta para realizar la actividad de alineación, agarre pseudotallo, corte, recolección del racimo de plátano como se indica en la tabla 4-1 a continuación y la evidencia fotográfica en la figura 4-2.

Figura 4-2. Prueba de tiempo de agarre y operación del operador



Fuente: Elaboración propia, taller de mecanizado.

De acuerdo con lo anterior se tiene la siguiente relación de tiempos:

Tabla 4-1. Tiempo de agarre y corte de racimo de plátano.

Ensayo	t (min)
1	3
2	3,5
3	3
4	3
5	4
6	3,4
7	3,1
8	3
9	4
10	3
Promedio	3,3

Fuente: elaboración propia

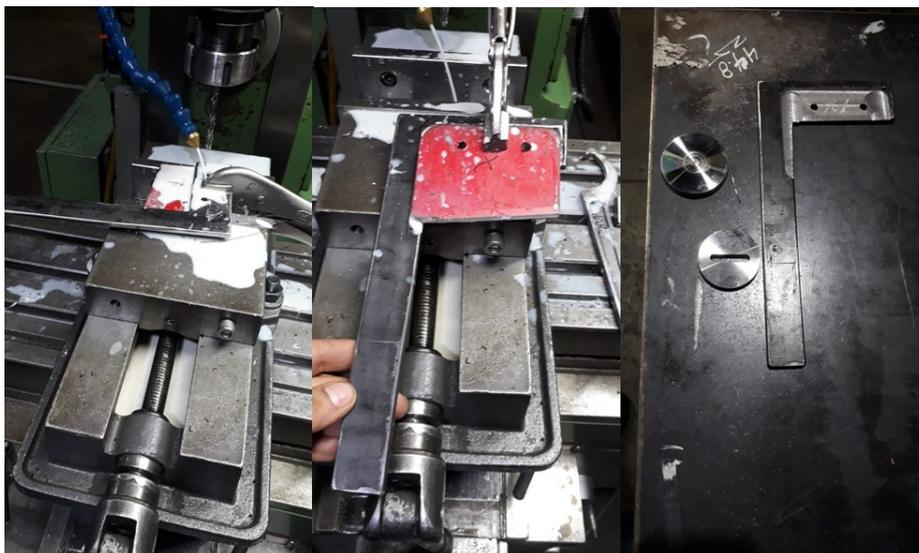
El tiempo promedio de operación el cual incluye agarre y sostenimiento de esta hasta el corte y recolección, es de 3,3 min.

Lo que indica que en 6 horas de trabajo puede recolectar 109 racimos que al convertirlos en kg nos da un promedio de 960 kg, evidenciando una productividad del 77,08 % frente a los 220 kg actuales que se recogen en promedio en la finca.

4.2.Fabricación de componentes

Dentro de los componentes fabricados o mecanizados, se encuentran el sistema de cuchilla fijo y móvil compuesto por el soporte y la cuchilla, el corte del eje como se indica en la figura 4-2 a continuación.

Figura 4-3. Mecanizado de soporte cuchilla.



Fuente: Elaboración propia.

La figura 4-2 describe el mecanizado del soporte para cuchilla el cual se realizó en una fresadora convencional con sistema de enfriamiento para evitar el calentamiento del material y facilitar el acabado de esta.

4.3. Ensamblé herramienta recolectora

Una vez mecanizadas las piezas, se procedió a ensamblar la herramienta recolectora de acuerdo con la siguiente secuencia:

Paso 1- Sistema de accionamiento herramienta de corte: Lo comprende la cuchilla, soporte de cuchilla, resorte, winche y eje enrollado; en este paso, el resorte se acopla a la cuchilla mediante el winche o guaya el cual se acciona a partir del enrollado que se hace sobre el eje acoplado al tubo de unión tipo T como se observa en la figura 4-3.

Figura 4-4. Ensamble sistema de accionamiento herramienta de corte.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2. Acoplado del sistema recolector a chasis y sistema de corte: Una vez realizada la instalación interna del sistema cuchilla-resorte-winche, esta se acopla el sistema recolector mediante soldadura de punto; otro sistema que se acopla corresponde a la bolsa recolectora, la cual se coloca sobre el aro metálico diseñado para tal fin.

Figura 4-5. Armado de herramienta recolectora de plátano



Fuente: Elaboración propia

El criterio para la selección de la bolsa recolectora considero los siguientes aspectos:

- Maleable y fácil de instalar.
- Liviana
- Resistencia a la rotura mayor a 10 kg, lo cual es cinco veces más que el peso promedio de un racimo.
- Reciclable y reutilizable.
- Costo bajo y facilidad de adquisición en el mercado.

De acuerdo con los anteriores parámetros se consideró una bolsa de polietileno de alta densidad la cual cumple con los parámetros mencionados anteriormente.

4.4. Prueba de campo

Una vez construido el prototipo se realizó prueba de campo con la herramienta recolectora para validar o comprobar su funcionalidad como se indica en la siguiente figura

Figura 4-6. Prueba de campo



Fuente: Elaboración propia

La figura 4-5 muestra la prueba piloto realizada en la finca La Azul de Palermo (Huila); el proceso realizado parte de la localización de la planta con plátano (1), en la cual se usó la herramienta para el acercamiento de la misma para contener el pseudotallo (2), luego el racimo (3); alineada con el producto, se inició el proceso de accionamiento o cierre de cuchilla sobre el perímetro del pseudotallo (4), a la cual se le imprime una fuerza de corte

que cizalla el pseudotallo hasta su corte (5) y posterior caída por gravedad del producto y recolección por la bolsa recolectora (6).

Del anterior capítulo se puede indicar que para la construcción de este tipo de herramientas, los procesos de mecanizado se deben realizar en frío con el fin de evitar daños en el diseño de la pieza, ya que estos trabajan con accesorios a altas revoluciones (<1800 r.p.m) que provocan el calentamiento de las mismas; otro aspecto radica en que el proceso de fabricación se compone de tres fases, las cuales son mecanizado, ensamble y ajuste; de acuerdo con lo planteado con el objetivo 4, se construye un prototipo de herramienta Cosechadora de plátano para la finca La Azul de Palermo (Huila), por lo cual se concluye que se dio cumplimiento al producto esperado definido en este proyecto de investigación.

Otro aspecto relevante del prototipo de herramienta diseñada es que, pese a que no se identificó una similar ni a nivel de equipos, esta puede aplicarse a todas las variedades de plátano existente y de banano, ya que su sistema de desarrollo a nivel de racimo presenta un pseudotallo en forma y tamaño similar al del plátano Hartón, lo que facilita la operación de corte y recolección.

4.5.Evaluación económica

Con respecto al costo de fabricación se presenta a continuación una proyección estimada la cual incluye mano de obra, corte y mecanizado.

Tabla 4-2. proyección de costo

Elemento	Cant	\$
Cuchilla fija	1	\$ 45.000,00
Cuchilla móvil	1	\$ 45.000,00
Resorte	1	\$ 12.000,00
Tapa	1	\$ 27.500,00
Tubería de soporte	1	\$ 357.000,00
Carcasa Winche	1	\$ 65.000,00
Tambor	1	\$ 32.000,00
Bujes	1	
Manivela	1	\$ 62.300,00
Recolectora	1	\$ 27.200,00
Mecanizado, corte piezas	1	\$ 350.000,00
Total		\$ 1.023.000,00

Fuente: Autor

De la tabla 4-2 se puede indicar que al comprar la propuesta frente a tecnologías de punta es de bajo costo; dentro de las ventajas es que puede ser empelada en cualquier tipo de terreno inclinado, de fácil transporte y simplifica las actividades de corte frente a otros sistemas tradicionales como el machete sin afectar el producto gracias a su sistema de bolsa recolectora.

5. Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

1. Se concluye que el prototipo construido tipo herramienta de corte-recolectora evita la pérdida o daño de producto, ya que posee un sistema de tolva recolectora que impide la caída del plátano al piso una vez cortado el racimo; con este prototipo no es necesario cortar el tallo para doblar la planta y recolectar, aquí la herramienta realiza un corte limpio sin dañar la misma lo que posibilita una segunda germinación y por ende una mayor producción de esta; con el prototipo diseñado no se generan riesgos de accidentes laborales, ya que la herramienta se opera de forma mecánica sin entrar en contacto con toda la superficie cortante como es el caso de la operación con el machete. Se determina a partir del uso de la herramienta un aumento en la productividad del 77,08 % en recolección/día.
2. Se diseño un prototipo de herramienta cosechadora de plátano Hartón, cuyo sistema de corte emplea una cuchilla fija y una móvil las cuales van acopladas a un soporte de cuchillas en L; la cuchilla móvil este acoplado a un sistema de resorte-winche, el cual es accionado mediante enrollamiento para desplazar la cuchilla móvil hacia la fija para efectuar el corte del pseudotallo con una fuerza de 100 N; se determinó mediante el método de Von mises que el esfuerzo máximo que puede soportar la cuchilla es de 28,69 MPa y se concentra sobre el soporte o cuadrante del acabado de la cuchilla cuyo valor es de 0,2919 mm. El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 7,49 MPa, lo cual quiere decir que soporta 7 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que la cuchilla cumple

satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas, y se garantiza la durabilidad que permita, bajo un buen esquema de uso y mantenimiento (limpieza y ajustes preventivos periódicos), alcanzar una vida útil extendida.

3. El material empleado en la estructura de la herramienta fue el acero AISI 4040 galvanizado, esto a que presenta una alta resistencia a la tensión y a la oxidación, con respecto al conjunto del winche se utilizó un cable de 6 mm de diámetro que garantiza que no se cizalle en la acción de corte; se utilizó una fibra de plástico de alta densidad para la tolva receptora, que asegura el recambio sin costos adicionales y su facilidad para adquirirla en el comercio. Con respecto a las cuchillas se uso acero AISI 4040, el cual se devano para generar el filo de las mismas
4. El diseño del prototipo propuesto, en términos económicos, representa un ahorro del 11 % en comparación con la más económica existente en las tecnologías actuales. El diseño permite su uso y desplazamiento de forma manual en cualquier terreno.

5.2.Recomendaciones

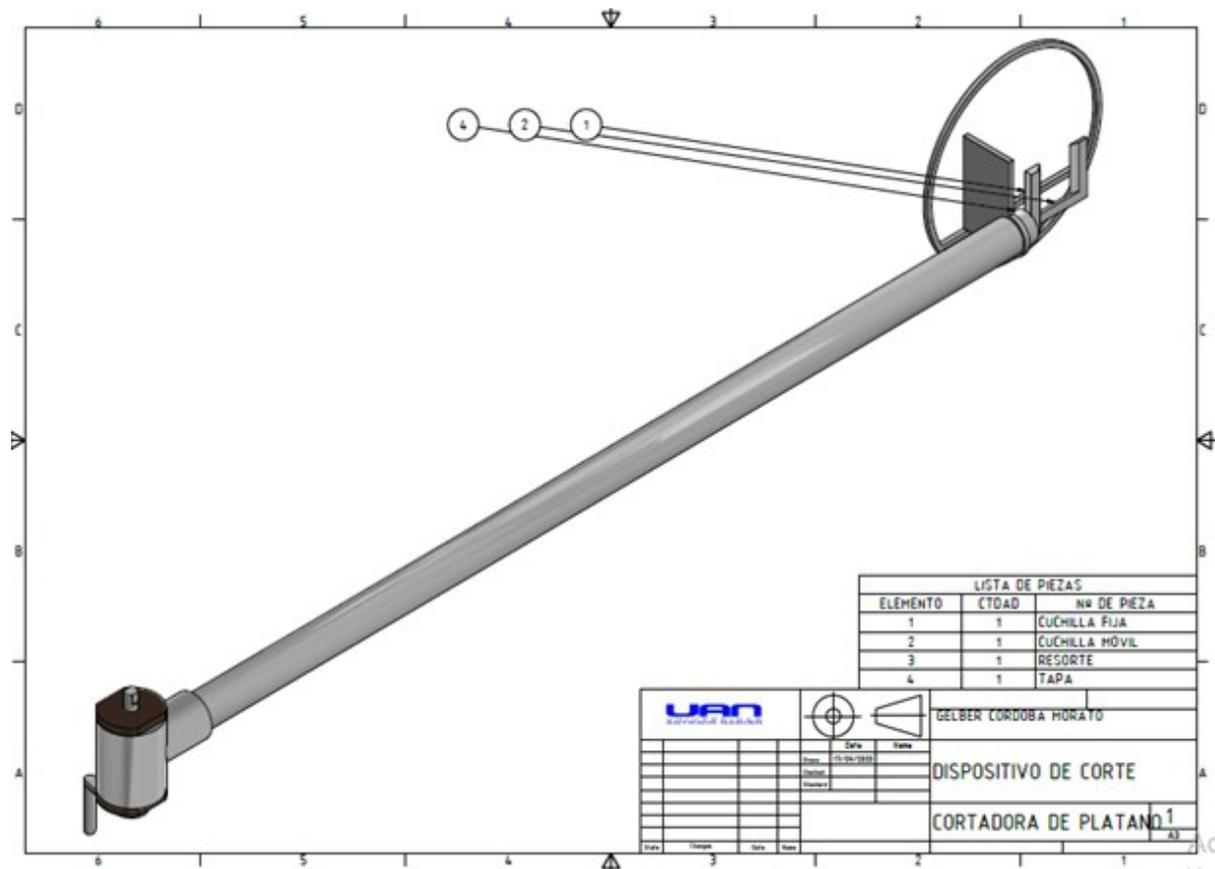
1. Se recomienda evaluar el peso de otras variedades antes de usar el prototipo.
2. Realizar un estudio para implementar materiales alternos en los componentes, que sean de fácil adquisición comercial para el agricultor.
3. Evaluar el desempeño del prototipo y establecer un análisis de vida útil del mismo para determinar relación costo/ beneficio; así, como elaborar un manual de operación y mantenimiento de la herramienta.

Anexos

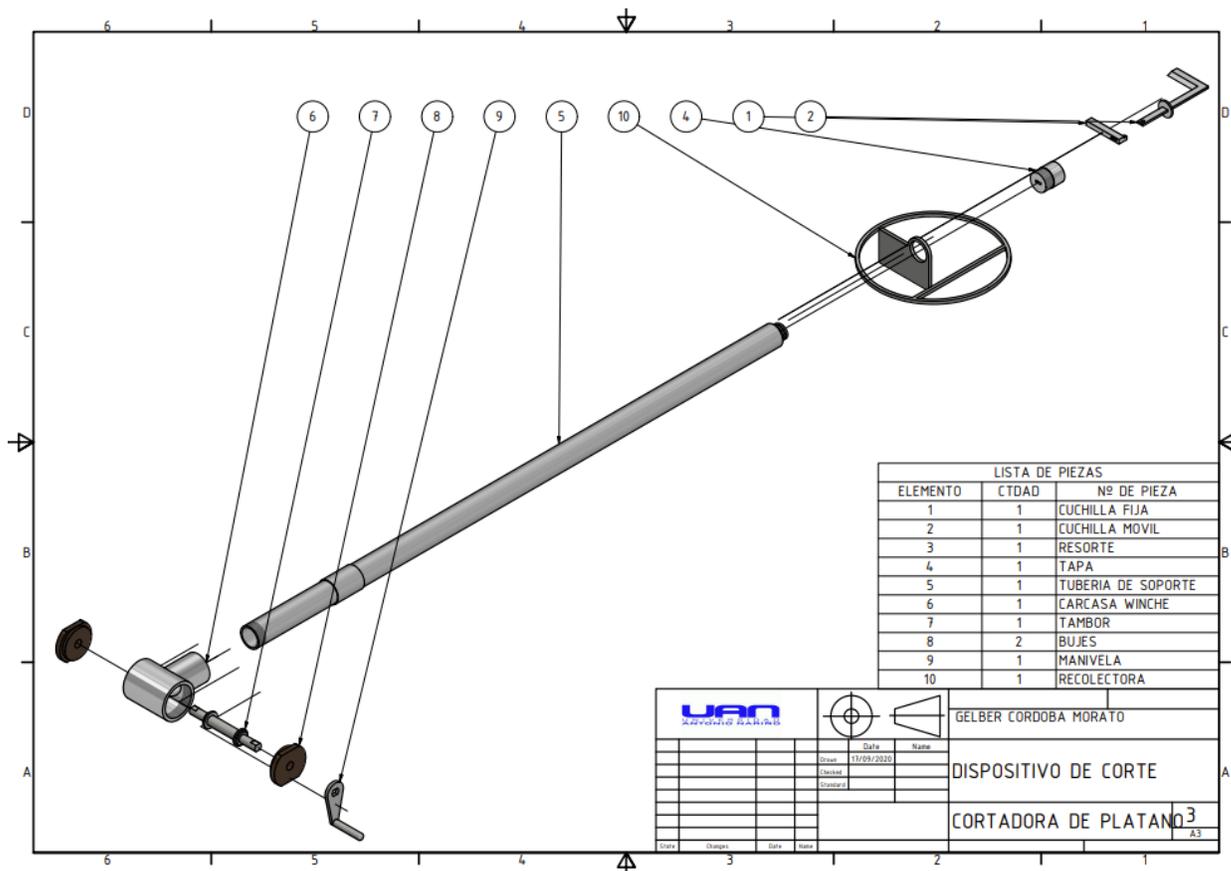
Anexo 1. Encuesta sobre proceso de recolección de plátano

Encuesta de caracterización del sistema de recolección de plátano			
<p>La siguiente encuesta tiene como fin recopilar información sobre el proceso de recolección de plátano en su finca, y los conceptos, criterios o expectativas frente a una propuesta de desarrollo de un prototipo de máquina para la recolección del mismo específicamente en el corte del racimo. Agradecemos su colaboración</p>			
<p>1- ¿Cuántas hectáreas tiene la finca sembradas en plátano?</p>			
<p>2- ¿Que método emplea para recolección de plátano?</p>			
Manual	Máquina	Herramienta	¿Cual?
<p>3- ¿Qué problemas considera usted que tiene el uso del machete en el proceso de recolección?</p>			
<hr/>			
<hr/>			
<p>4- ¿Que aspectos considera usted que deben considerarse para diseñar una máquina cortadora de plátano ?</p>			
<hr/>			
<hr/>			
<hr/>			

Anexo 2. Isométrico de Herramienta cosechadora



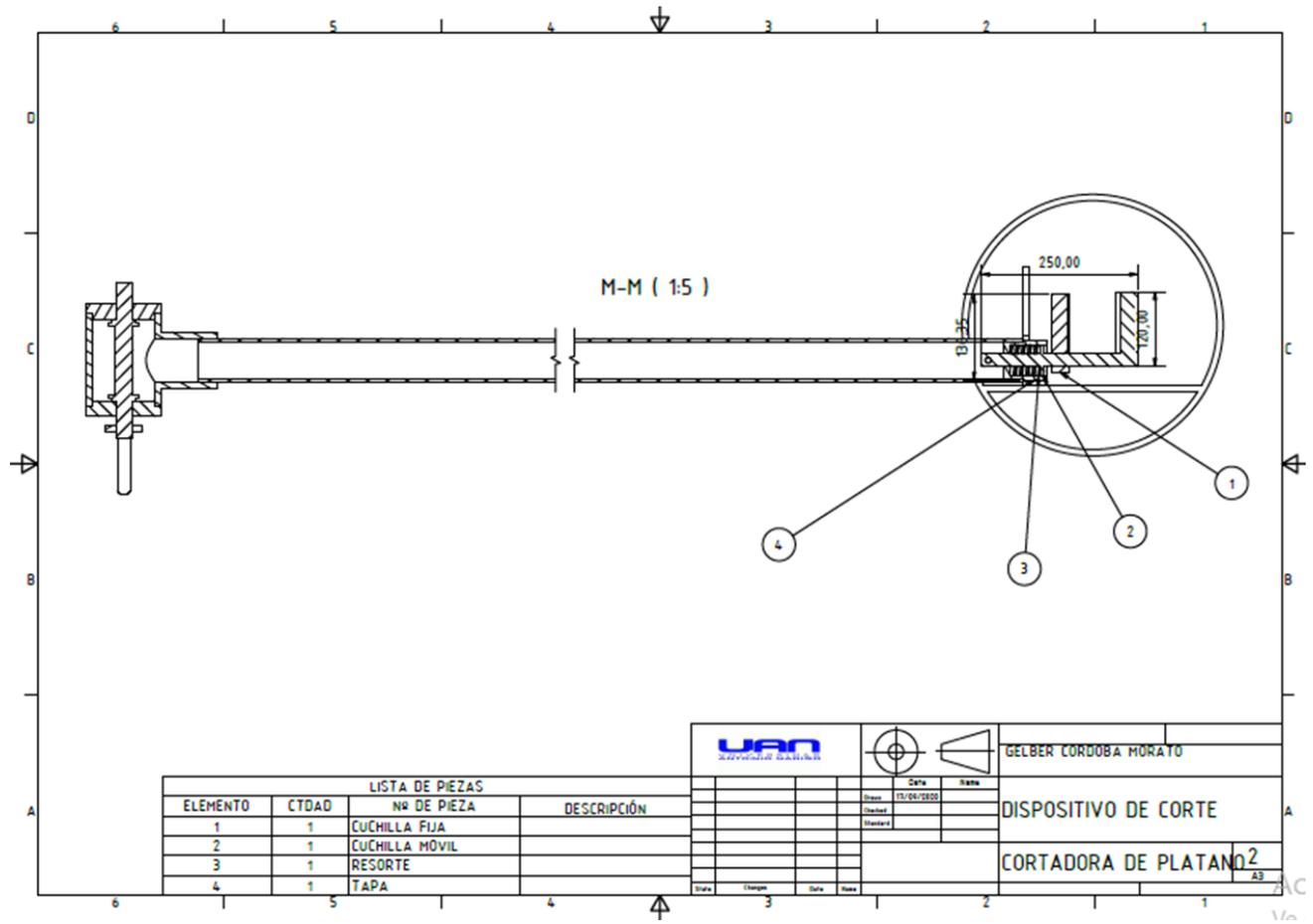
Anexo 3. Explosivo herramienta



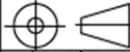
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	CUCHILLA FIJA
2	1	CUCHILLA MOVIL
3	1	RESORTE
4	1	TAPA
5	1	TUBERIA DE SOPORTE
6	1	CARCASA WINCHE
7	1	TAMBOR
8	2	BUJES
9	1	MANIVELA
10	1	RECOLECTORA

				GELBER CORDOBA MORATO	
Date: 13/09/2023		Name:		DISPOSITIVO DE CORTE	
Checked:		Drawn:		CORTADORA DE PLATANO 3	
Standard:		Scale:		A3	
Date	Changes	Date	Name		

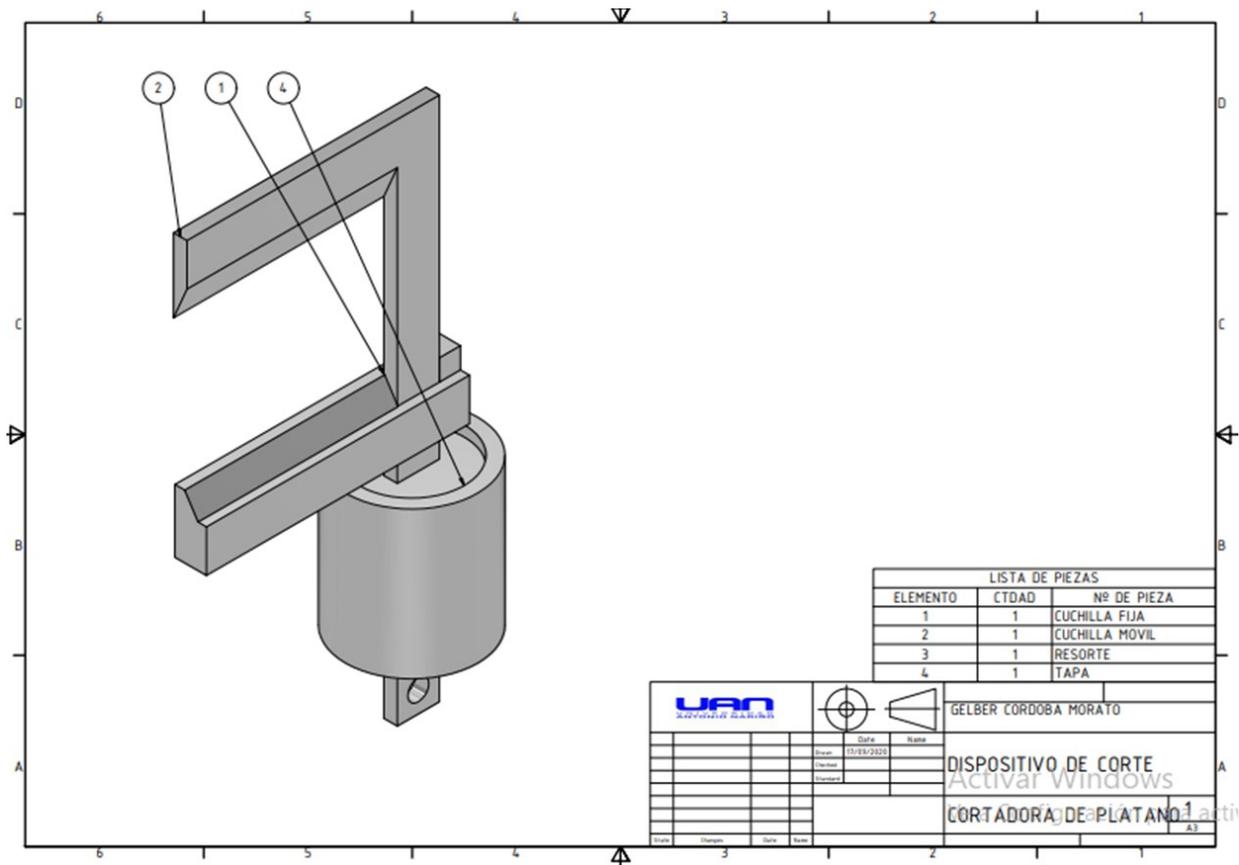
Anexo 4. Corte vertical herramienta



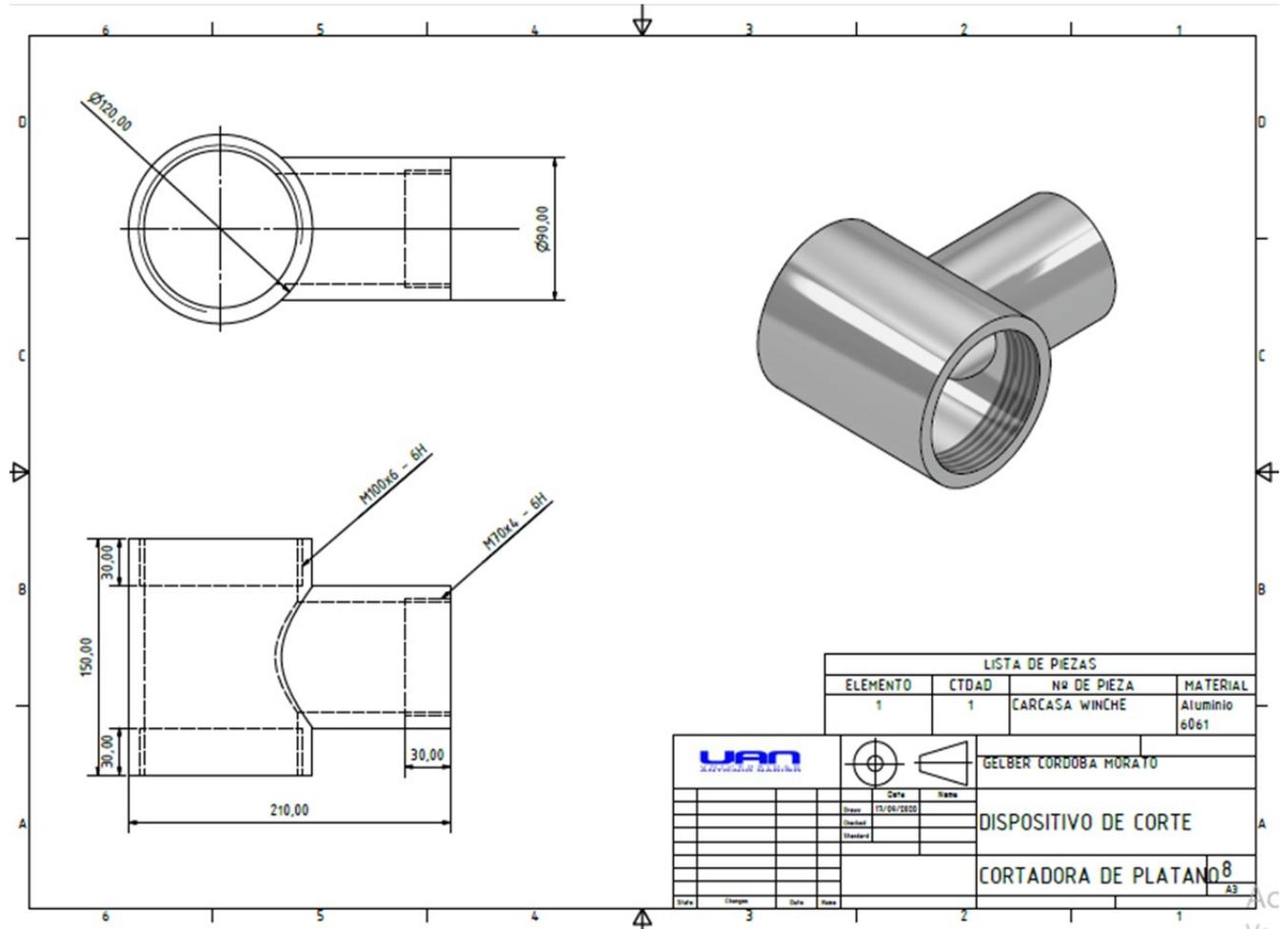
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	NR DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	CUCHILLA FIJA	
2	1	CUCHILLA MÓVIL	
3	1	RESORTE	
4	1	TAPA	

				GELBER CORDOBA HORATO	
				DISPOSITIVO DE CORTE	
				CORTADORA DE PLATANOS	
				2	

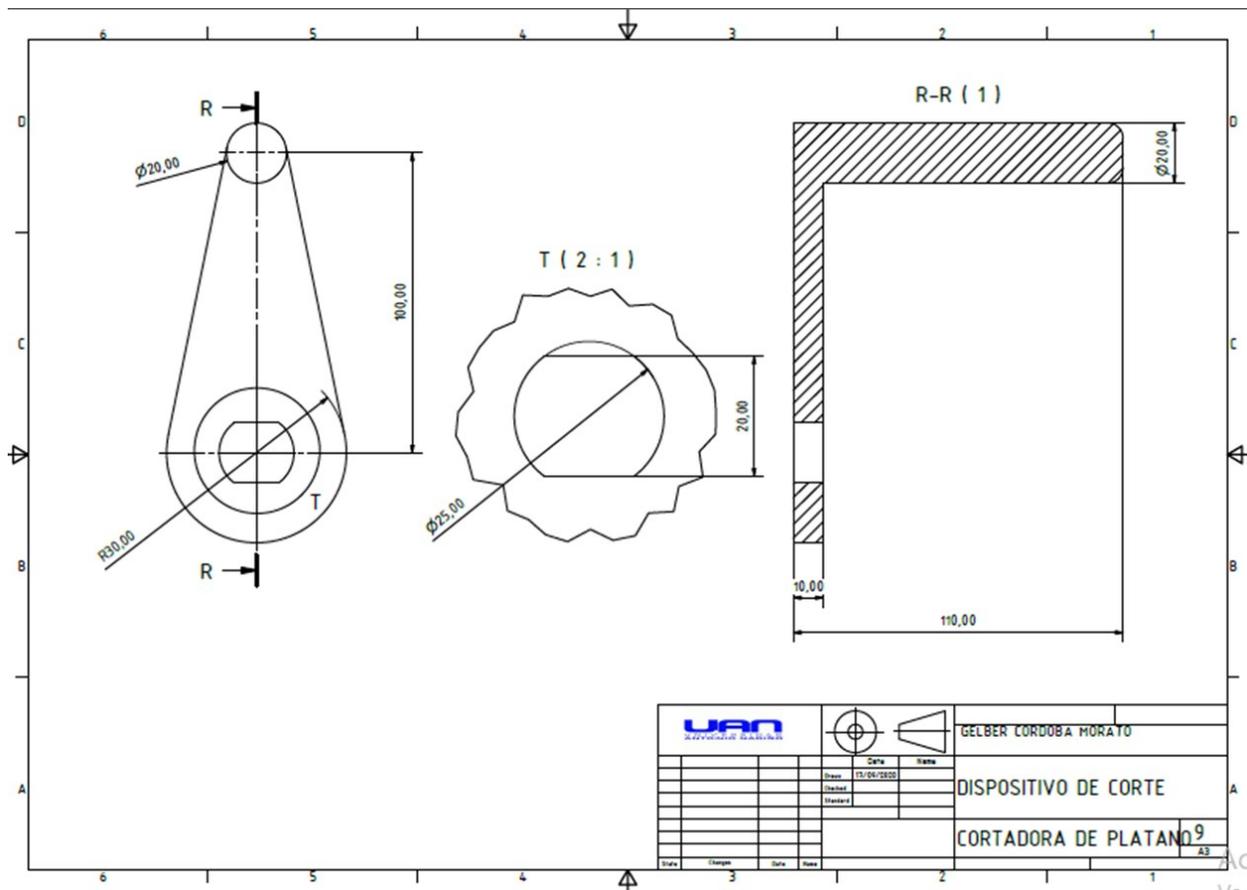
Anexo 5. Sistema de cuchilla



Anexo 6. Isométrico Carcasa Winche

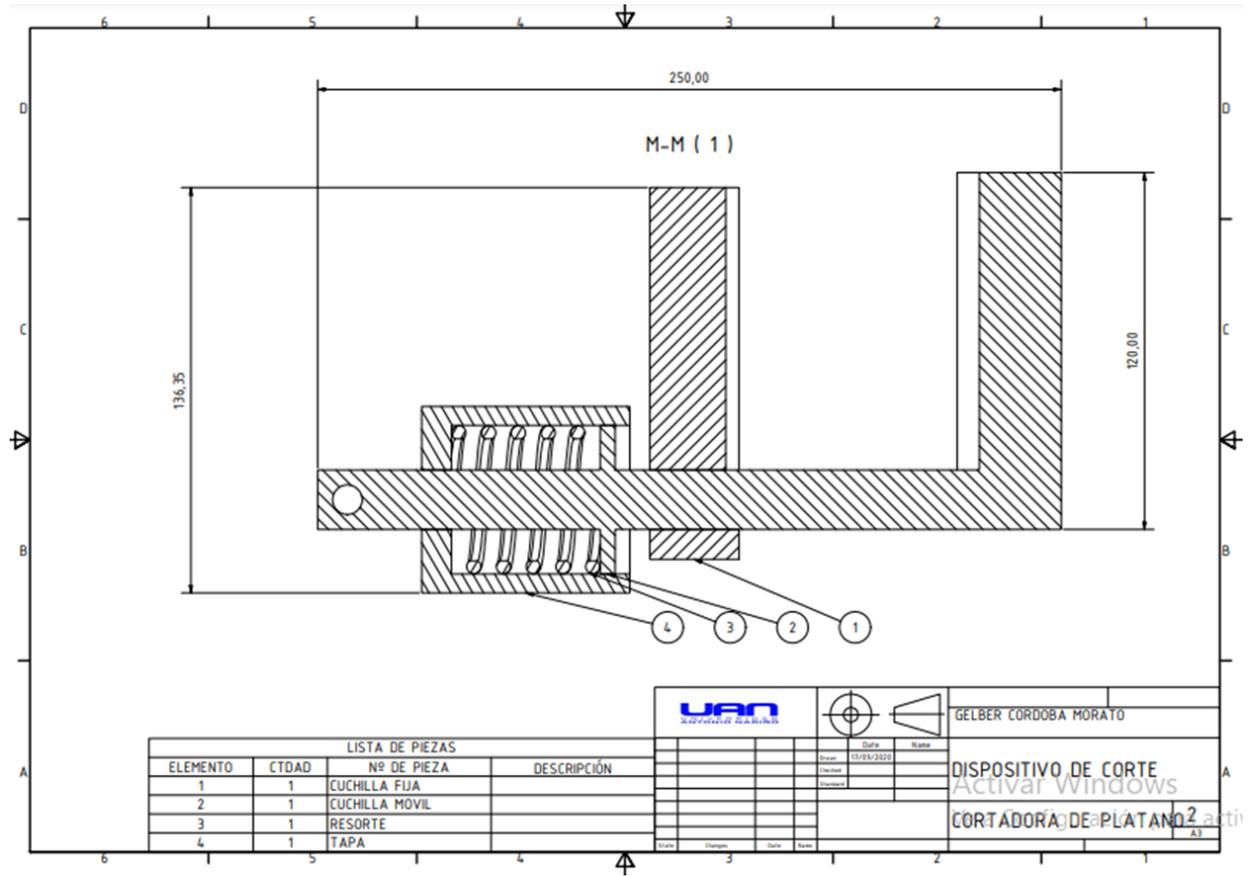


Anexo 7. Vista vertical cuchilla

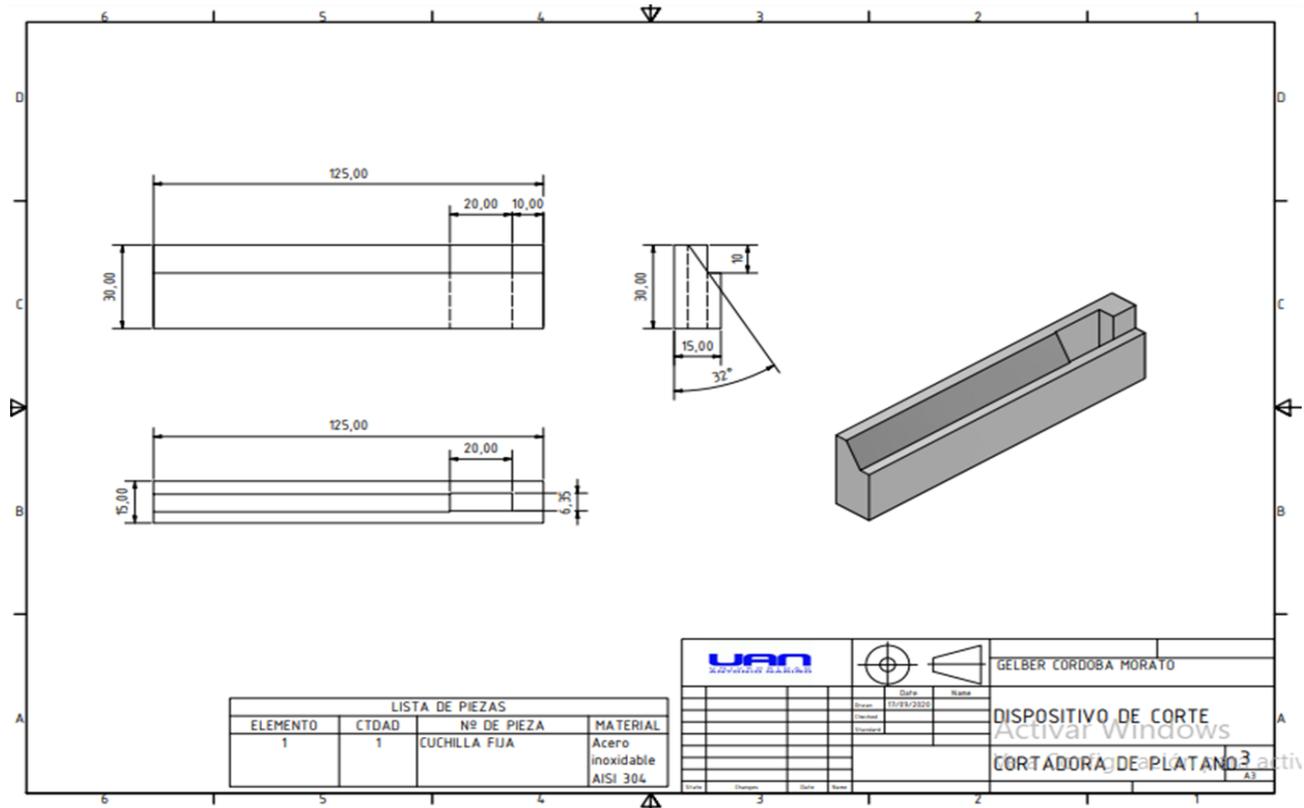


UAN UNIVERSIDAD NACIONAL				GELBER CORDOBA MORATO	
Auto	13/04/2020	Diseno		DISPOSITIVO DE CORTE	
Modelo		Montaje		CORTADORA DE PLATANO	
Estado	Completado	Fecha		9 A3	

Anexo 9. Corte lateral cuchilla



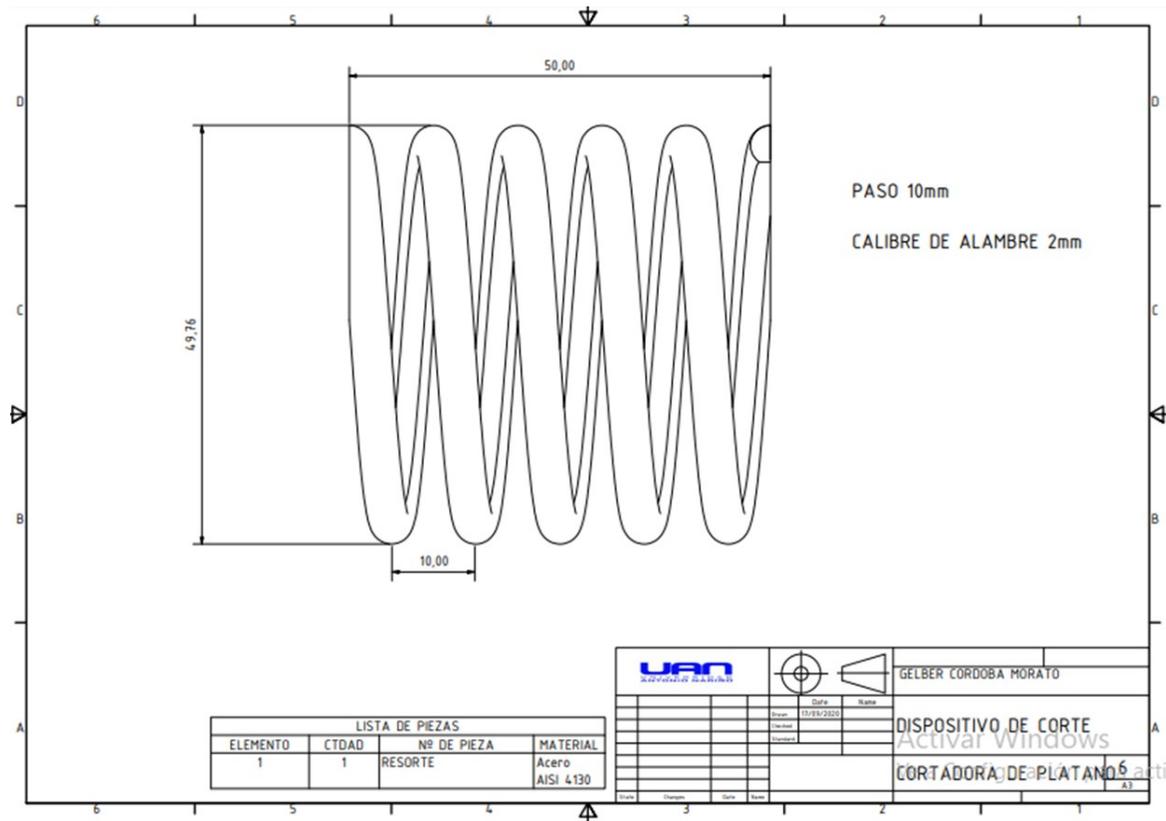
Anexo 10. Isométrico de cuchilla fija






 GELBER CORDOBA MORATO
 15/04/2020
 DISPOSITIVO DE CORTE
 CORTADORA DE PLATANO 3
 A3

Anexo 12. Dimensiones de resorte



Referencias Bibliográficas

- Arcila, J., Cardona, D., & Becerra, H. (2017). *El sistema de palancas base para el analisis mecanico del movimiento corporal humano y sus alteraciones Y SUS ALTERACIONES*. Bogotá: El Sevier.
- Arcilla P, m. I., Aranzasu H, L. F., & Castrillon A, C. (2013). *El cultivo de platano*. Bogotá: CORPOICA.
- Castillo D, F. (1 de Enero de 2020). *Olimpia*. Recuperado el 30 de Octubre de 2020, de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/ml/tabras%20y%20graficas.pdf
- Chereguini, C., & Bueno, A. (2014). *¿Cómo utilizan sus conocimientos científicos sobre “Dispositivos y máquinas mecánicas”*. Zaragoza (España): AUFP.
- Ciro V, H. J., Montoya L, M. L., & Millán C, L. (2005). *Caracterización de propiedades mecánicas del banano*. Medellín: UNAL.
- Díaz R, M. (2014). *Manual Práctico para el cultivo de plátano sustentable*. Puerto Rico: Colegio ciencias agrícolas.
- Felco. (Enero de Septiembre de 2020). Recuperado el 14 de Septiembre de 2021, de https://felco.com/fr_ch/news/2021/02/snips_es/
- Infoagro.com. (30 de Junio de 2028). *Infoagro.com*. (Infoagro.com) Recuperado el 30 de Abril de 2020, de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano_banano.asp
- Johnston, T. (2017). *Mechanized Technology Research and Equipment Application of Banana Post-Harvesting: A Review*. Sidney (Australia): MDPI.
- Kachru, R., Kotwaliwale, N., & Balasubramanian, D. (2000). *Physical and mechanical properties of green banana (Musa paradisiaca) fruit*. New Delhi (India): Science direct.
- Li, W. (2017). *Research on Key Technologies of Banana Orchard Harvester*. Shangai (China): Universidad Popular de China.
- Myszca, D. (2012). *Maquinas y Mecanismos*. MEXICO D.F.

- Peres, R. (2003). *Etapas del proceso de diseño según la norma VDI 2221*. Bogotá: Researchgate.
- PRONATTA. (1998). *Guía práctica para el cultivo de Plátano*. Arauca: PRONATTA.
- Quiceno, M. C., Giraldo, G. A., & Villamizar, R. H. (2014). *Physical-chemical characterization of plantain (Musaparakisacal sp. AAB, Simmonds) for industrialization*. Armenia: U. Quindío.
- Romero, J. (2016). *Palancas y principios*. Bogotá: UTV.
- SENA. (12 de Marzo de 2015). *SENA*. (SENA) Recuperado el 29 de Abril de 2020, de https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol7/volumen07.html#
- SIR (HUILA). (2020). *Sistema de información rural- producción plátano en el municipio de palermo*. Neiva: Gobernación del Huila.