



**Desarrollo de un Prototipo de Dosificadora para Siembra en la producción de
Frijol en la finca Lllamarada de La Plata (Huila)**

José Felipe Tunjano Sánchez

20451515960

Juan Pablo Molina Castaño

20451525300

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022

**Desarrollo de un Prototipo de Dosificadora para Siembra en la producción de
Frijol en la finca Lllamarada de La Plata (Huila)**

José Felipe Tunjano Sánchez

Juan Pablo Molina Castaño

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

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ph. D, Ingeniero *Karel Joel Arencibia Ávila*

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

Nieva, 10 de mayo de 2022.

Contenido

Pág.

Resumen.....	13
Abstract.....	14
Introducción	15
1. Capítulo 1: Marco referencial	23
1.1 Estado del arte	23
1.2 Métodos de siembra	31
1.2.1 Método manual	31
1.2.2 Método mecánico.....	33
1.3 Características geométricas del grano o semilla de frijol.....	37
1.3.1 Semilla	37
1.3.2 Características de los huecos y siembra	40
2. Capítulo 2: Concepto de diseño.....	42
2.1. Requerimientos de diseño	42
2.2. Matriz morfológica para selección de prototipo	43
2.2.1. Pesos por factor.....	44
2.2.2. Escala de evaluación	45
2.3. Alternativas	46
2.3.1. Alternativa Manual.....	47
2.3.2. Alternativa Mecánica	48
2.3.3. Alternativa Eléctrica.....	49
2.4. Características de las alternativas.....	50
2.5. Desarrollo del concepto.....	53
3. Capítulo 3: Cálculos y resultados del prototipo seleccionado	57
3.1. Cálculo del eje de dosificadora de frijol.....	57
3.2. Análisis estático para chasis dosificadora	61
3.2.1. Análisis de tensión del chasis	61
3.2.2. Análisis de desplazamiento del chasis.....	62
3.2.3. Análisis de factor de seguridad del chasis	63
3.3. Cálculo de ruedas perforadoras	64
3.3.1. Análisis de tensión de la rueda perforadora	65
3.3.2. Análisis de desplazamiento de la rueda perforadora	66

3.3.3. <i>Análisis de factor de seguridad de la rueda perforadora</i>	67
3.4. Simulación de rueda perforadora	68
3.4.1. <i>Análisis de tensión de la rueda perforadora</i>	68
3.4.2. <i>Análisis de desplazamiento de la rueda perforadora</i>	69
3.4.3. <i>Análisis de factor de seguridad de la rueda perforadora</i>	70
3.5. Análisis de la tolva	70
3.5.1. <i>Análisis de tensión de la tolva dosificadora</i>	71
3.5.2. <i>Análisis de desplazamiento de la tolva</i>	72
3.5.3. <i>Análisis de factor de seguridad de la tolva</i>	73
4. Capítulo 4: Construcción del prototipo de sembradora para producción de frijol	75
4.1. Mecanizado	75
4.1.1. <i>Mecanizado rueda dosificadora y ahoyadora</i>	75
4.1.2. <i>Rueda y sistema ahoyador y dosificador</i>	76
4.2. Ensamble	77
4.3. Acabado.....	78
4.4. Evaluación económica de la dosificadora de frijol	79
4.5. Evaluación sistema de dosificación de frijol.....	80
4.5.1. <i>Tiempo de siembra y productividad</i>	80
5. Conclusiones y recomendaciones	82
5.1. Conclusiones	82
5.2. Recomendaciones.....	84
Anexos	77

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1-1. Sembradora neumática manual.	24
Figura 1-2. Robot para siembra de frijol y maíz.	26
Figura 1-3. Prototipo sembrador en línea.	27
Figura 1-4. Sembradora tipo Golpe	29
Figura 1-5. Sembradora en línea compactadora.	29
Figura 1-6. Método de siembra manual.	32
Figura 1-7. Sembradora de grano fino	34
Figura 1-8. Sembradora grano grueso.....	35
Figura 1-9. Sembradora tipo centrífuga	36
Figura 1-10. Medición y registro datos semilla.	38
Figura 1-11. Distancias de siembra y tamaño promedio del hueco	40
Figura 2-1. Prototipo mecánico.....	53
Figura 2-2. Vista explosiva prototipo	55
Figura 3-1. Diagrama de cuerpo libre del eje de la dosificadora de frijol.	57
Figura 3-2. Características del rodamiento 6005-2RSL	60
Figura 3-3. Ilustración sobre comportamiento de la cuchilla a esfuerzos de tensión.	62
Figura 3-4. Análisis de desplazamiento en la estructura.....	63
Figura 3-5. Análisis de factor de seguridad.	64
Figura 3-6. Ilustración sobre comportamiento de la rueda perforadora sometida a esfuerzos de tensión.	65
Figura 3-7. Ilustración sobre comportamiento del desplazamiento de la rueda perforadora.	66
Figura 3-8. Ilustración sobre factor de seguridad de la rueda perforadora.	67
Figura 3-9. Simulación de rueda perforadora sometida a esfuerzos de tensión.....	68
Figura 3-10. Simulación del desplazamiento de la rueda perforadora.....	69
Figura 3-11. Simulación sobre factor de seguridad de la rueda perforadora.	70
Figura 3-12. Ilustración sobre comportamiento de la tolva al someterla a esfuerzos de tensión.	71

Figura 3-13. Ilustración sobre desplazamiento de la tolva al someterla a esfuerzos de tensión.	72
Figura 3-14. Ilustración sobre factor de seguridad de la tolva.....	73
Figura 4-1.Corte de tapas simétricas y rolado de lámina para cubierta de tapas.	76
Figura 4-2.Elaboración sistema dosificador y ahoyador.....	76
Figura 4-3.Construcción rueda y acoplado del eje e instalación rodamiento.	77
Figura 4-4.Proceso de acabado prototipo de máquina dosificadora para producción de frijol.....	78

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Relación datos largo y ancho de semilla de frijol calima.....	38
Tabla 2-1.Peso factores de decisión.....	45
Tabla 2-2.Criterios de evaluación.....	46
Tabla 2-3.Factores diferenciadores de alternativas.....	50
Tabla 2-4.Evaluación y ponderación de prototipos.....	51
Tabla 4-1. Detalle costos fabricación prototipo.....	78
Tabla 4-2 . Tiempos de siembra.....	809

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	πr^2
F	Fuerza	N.m	M*a
N	Normal	N. m	
D	Diámetro	r	2r

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
S_{sy}	Resistencia admisible de carga	$\frac{m^2}{g}$	
σ	Esfuerzo Normal	1	
τ	Esfuerzo cortante	1	
K_s	Factor de servicio	1	
		1	

Subíndices

Superíndices

Superíndice Término

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

Abreviaturas

Abreviatura Término

kg	Kilogramos
g	Fuerza de gravedad
gr	Gramos

(Dedicatoria)

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

A mis padres, Lorenzo y Martha, por el apoyo incondicional que me brindaron durante todo este proceso universitario, por ser quienes están ahí para darme ánimos de lograr cada una de mis metas.

José Felipe Tunjano Sánchez

A Dios por ser mi principal guía y apoyo en mi vida y todo este proceso, brindándome la fuerza necesaria para lograr cumplir esta meta soñada.

A mi padre Alberto y a mi madre Francesca y mi hermana Juliana, por haberme brindado todo el apoyo y la motivación durante esta etapa tan importante en mi vida, los amo demasiado.

Juan Pablo Molina Castaño

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director Ph. D, Ingeniero Karel Joel Arencibia Avila por su confianza y acompañamiento desde el inicio de este proyecto, quien siempre estuvo al pendiente de nuestro proceso y nos brindó todo su apoyo y conocimiento para hacer de esto posible, a la ingeniera Martha Lucia Solano por su ayuda y respaldo al inicio de nuestro proyecto, ya que estuvo al pendiente de nosotros y confió en nuestras habilidades, agradecemos a la Universidad y a todo el plantel docente por habernos formado profesionalmente, a todos, muchas gracias.

Resumen

Los sistemas de siembra manual acarrear en cultivos como el frijol, costos adicionales que se derivan de jornales adicionales, productividades bajas e incremento del tiempo del proceso de siembra de frijol. La existencia de tecnologías que emplean sistemas avanzados para la siembra se encuentra solo al alcance de aquellos productores de mayor capacidad económica afectando a los pequeños productores. Para solucionar estas problemáticas se desarrolló una propuesta de un “Prototipo de dosificadora para Siembra de Frijol en la finca Llamrada de La Plata (Huila)”. La investigación es de tipo exploratoria-descriptiva y de fases. La evaluación de prototipos se realiza a partir de una matriz morfológica. Como resultado se realiza la propuesta del diseño de un prototipo de máquina sembradora de frijol, la cual contribuye a disminuir los tiempos de siembra de 2,2 min a 0,40 min para ahoyado, siembra y tapado, representando un incremento de la productividad del 81,2 %.

Palabras clave: Frijol, dosificadora, esfuerzo, desplazamiento, factor de seguridad

Abstract

In crops such as beans, manual planting systems entail additional costs arising from additional labor, low productivity and increased time in the process of planting beans. The existence of technologies that use advanced systems for planting is only available to those producers with greater economic capacity, affecting small producers. To solve these problems, a proposal for a "Prototype of a dosing machine for bean sowing in the Lllamarada de La Plata (Huila) farm" was developed. The research is of an exploratory-descriptive and phased type. The evaluation of prototypes is carried out based on a morphological matrix. As a result, the design of a prototype of a bean sowing machine is proposed, which contributes to reduce the sowing time from 2.2 min to 0.40 min for the hole laying, sowing and covering, representing an increase in productivity of 81.2 %

Keywords: Bean, dosing machine, stress, displacement, safety factor, safety factor

Introducción

El siguiente proyecto de investigación trata el tema correspondiente al “Desarrollo de un Prototipo de Dosificadora para Siembra de Frijol en la finca Llamarada de La Plata (Huila)”.

El frijol es el tercer grano detrás del maíz y el sorgo con mayor producción a nivel mundial; los mayores productores de este grano concentran más del 55 % de la producción mundial y corresponden en su orden a la India, Myanmar, Brasil, Estados Unidos y China; para el caso de Centro América México y Nicaragua son los mayores generadores de este grano, cuya importancia en las dietas alimentarias es clave gracias a su gran potencial nutricional rico en proteínas, fibras, vitaminas necesarias para el funcionamiento del cuerpo humano (Centro Investigación rural, 2021).

Las tecnologías empleadas a lo largo de la cadena de producción en los países tecnificados emplean sembradoras en línea las cuales son controladas por sensores de precisión; este tipo de máquinas se acoplan a tractores y pueden ser usadas adicionalmente para la siembra de maíz ya que su boquilla se puede ajustar para el tamaño del grano; sin embargo estas tecnologías tienen un valor comercial elevado el cual es mayor a los \$ 25.000 USD; los estándares de producción a partir del uso de tecnologías de siembra indican que con el uso de equipos alcanzan 9 Kg /día por Ha lo cual es muy superior frente al estándar nacional, lo que valida el hecho de usar tecnologías en la agricultura mundial (FEDAC, 2021).

El fríjol es la leguminosa de grano más importante en Colombia con cerca de 130.000 ha sembradas al año y una producción aproximada de 137.500 toneladas al 2020; el 93% de

la producción está concentrada en la Zona Andina, donde sobresalen los departamentos de Antioquia con el 16%, Santander con el 19%, Nariño con el 14%, Boyacá con el 20%, Huila con el 24 % y Norte de Santander con el 10% (AGROSAVIA, 2020).

El 90% de la producción nacional la realizan pequeños productores sin mecanismos de financiación y los cuales emplean métodos de siembra artesanales a partir de mano de obra directa propia de las fincas o mediante agremiaciones rurales o cooperativas; esto indica que el uso de tecnologías tiene como alcance característico el empleo de herramientas manuales como el barretón, punzones con los cuales realizan el ahoyado para depositar la semilla y luego tapparla por arrastre mecánico de tierra por acción del pie del operador (ICA, 2020).

En cultivos industrializados que son menos del 4 % a nivel nacional, emplean tecnologías de sembradoras tipo línea es decir el número de salidas dosificadoras de semilla, que en el caso particular de Colombia imperan las de 6 líneas; esta dosificadora se engancha normalmente a un tractor para su desplazamiento, aquí la dosificación se hace mediante un disco giratorio, el cual deposita las semillas a una distancia de siembra de 20 cm, el funcionamiento es independiente al tractor, ya que trae adaptado un motor de gasolina que activa el eje de giro para inducir el giro del disco; estos equipos pueden tener un costo superior a los 16 millones COP y su conveniencia de uso se da en función de la relación de área sembradas mayores a 7 ha y la producción (Sanchez, 2021)

A nivel local, el departamento del Huila ocupa el segundo lugar como productor con 22.214 Ton/año por debajo del departamento del Tolima con 22.998 ton/año y por encima de Antioquia con 17.478 ton/año. El municipio de La Plata es el mayor productor del

departamento con 2000 ha sembradas las cuales producen 2340 ton/año; distribuidas en 1247 fincas registradas en el Sistema de Información Rural del Departamento (SIR, 2020).

Según el Ministerio de Agricultura la clasificación de los productores en función de las superficies de tenencia o de área sembrada, cataloga tres categorías de productores los cuales van desde el pequeño productor cuya área es menor a 4 ha, el mediano productor cuya área va desde las 4 ha a 10 ha y el gran productor cuyas áreas son mayores a 10 ha (Ministerio de Agricultura, 2014)

El método de siembra actual empleado por los pequeños productores se hace de forma manual, el cual como se indicó anteriormente emplea una herramienta con la cual se hace el hueco en donde se deposita la semilla a una profundidad de 2 a 4 cm; normalmente la regla empleada de siembra establece que se deben distribuir 14 semillas por línea en surcos separados a 60 cm, utilizando 56 Kg/ha de semilla; la distancia entre plantas va de 5 a 15 cm; con ello se puede alcanzar una población igual o mayor a 220 000 plantas por hectárea (Jara, 2021).

Ahora bien, ese mismo sistema de siembra manual es el empleado con frecuencia en la finca la Lllamarada, por lo cual se requieren de 5 jornaleros que emplean 200 h durante 5 días y con un rendimiento promedio de 2,7 kg/ día por operario para 1 ha, lo cual es bajo si se compara con los estándares establecidos por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), los cuales indican que por dicho método el rendimiento por operario en la siembra debe ser de 3,5 Kg/día; a esto se suma que el tiempo de la actividad de siembra empleada en la finca La Lllamarada es de 2,2 minutos, la cual comprende actividades como ahoyar, dispensar la semilla en el hueco y tapar el mismo lo que significa

un 23 % por encima del estándar fijado por AGROSAVIA, el cual es de 1,7 minutos (Arias, 2019).

La baja productividad en cuanto a kg/día sembrados, los tiempos de ahoyado, dosificado manual de la semilla y el arrastre (tapado), la demanda de mano de obra (costos de siembra totales es de \$3.500.000 de los cuales la actividad de siembra participa con el 25%) son aspectos que componen la problemática estudiada, la cual debe abordarse, si se tiene en cuenta que la investigación obedece a que el agricultor tiene proyectado para el 2022 sembrar 5 ha adicionales de frijol a partir de las mejores condiciones de precio en el mercado nacional definidas por el gobierno a partir del incremento de las partidas de exportación del grano y los commodities para la producción de otros alimentos que se derivan del frijol (Minagricultura, 2020).

La importancia del uso de tecnologías de siembra como parte de optimización de la cadena de producción de los agricultores, se centra en la posibilidad que tienen estos para mejorar las utilidades y la eficiencia en el uso de recursos necesarios para la producción de frijol; ya que como se ha descrito la actualidad de este proceso parte de la existencia de sistemas de producción artesanales que deben ser tratados para mejorar la competitividad y por ende el rendimiento por hectárea cosechada.

A nivel de máquinas sembradoras de frijol, existen comercialmente unidades que oscilan entre los \$12 millones COP y los \$ 40 millones COP, lo que las hace poco accesibles para pequeños productores; este tipos de máquinas tiene como característica su gran peso el cual puede ser mayor a los 600 kilogramos, lo que conlleva al uso de equipos adicionales para su movilización y operación como tractores, carros entre otros; esto lo convierte en una

limitante adicional, ya que las áreas actuales y proyectadas son geográficamente escarpadas e irregulares lo que impide el acceso fácil a estos para su desplazamiento.

Innovar los sistemas convencionales de producción agrícola, conlleva a la implementación de mejores y más efectivas prácticas agrícolas que se pueden ver reflejadas en la optimización de costos y por ende el aumento de las utilidades del agricultor; con las tecnologías actuales las cuales no están al alcance del productor debido a su precio y que en su mayoría no se ajustan a las condiciones geográficas o la disponibilidad de fuentes eléctricas o de combustibles como fuente de alimentación, este se ve obligado a seguir el sistema tradicional de siembra, por ende la aplicación de malas prácticas del proceso que se traducen en baja productividad.

Con respecto a otras tecnologías como sembradoras en línea, al boleó cuyas fuentes de alimentación son eléctricas o gasolina, esta propuesta busca desarrollar actividades de siembra en terrenos montañosos o con inclinaciones mayores a 45°, de bajo peso y movilidad sobre las áreas de siembra facilitando la tarea y reduciendo el uso de mano de obra directa la cual puede optimizarse en otras actividades del proceso de producción del cultivo para el agricultor; además de integrar tecnologías y de producción amigable con el medio ambiente.

El prototipo busca mejorar el rendimiento por kilogramo sembrado, disminuir los tiempos de siembra, el costo del proceso, emplear tecnologías que no tengan un impacto ambiental producto del uso de combustibles fósiles, que pueda adaptarse a la topografía de la finca Lllamarada del municipio de La Plata (Huila).

De acuerdo con el contexto anterior se formula la siguiente pregunta de investigación

¿Cómo mejorar el rendimiento por kg sembrado, el tiempo y el costo del proceso de siembra de frijol en la finca Lllamarada de la Plata (Huila)?

Para desarrollar este proyecto se definió como objetivo general “Desarrollar un Prototipo de Dosificadora para Siembra de Frijol para la finca Lllamarada de La Plata, Huila.

Los objetivos específicos son:

- Identificar los criterios de diseño teniendo en cuenta rendimiento, tiempo, costo y tecnologías actuales.
- Calcular y seleccionar el prototipo en base a datos recolectados.
- Simular en el Software Autodesk Inventor versión 2021, el comportamiento de la dosificadora a nivel estructural cuando se somete a esfuerzos máximos.
- Construir un prototipo de sembradora de frijol para la finca Lllamarada de La Plata, Huila.

Este proyecto se encuentra enmarcado en la línea de investigación de “Research and Energy Materials-REM; la metodología empleada para su ejecución incluye:

El método de estudio incluye una investigación de tipo exploratoria descriptiva, ya que se busca entender el problema específico del proceso, y a partir de ello plantear una solución que considere los aspectos específicos; la metodología que más se aproxima a la generación de la solución es la de diseño de French (2000), la cual se basa en actividades, a partir de las fases principales de un proyecto como se indica a continuación:

Fase 1: Criterios de diseño.

Busca establecer las características de área de siembra: Angulo pendiente, tiempo de siembra, cantidad de siembra, así como las características geométricas de la semilla de frijol: Mediante investigación de campo para determinar tamaño, peso de la semilla, tipo variedad. Mediante trabajo de campo; los criterios normativos de siembra: distancia de siembra entre plantas a partir de criterios documentales del manual de siembra de AGROSAVIA y el estado del arte sobre sistemas de siembra: Revisión bibliográfica de artículos científicos de diseño de máquinas, tesis de diseño de máquinas sembradoras, libros de tecnologías y diseño de sembradoras entre otras fuentes de información.

Fase 2: Diseño de prototipos y selección.

Proponer alternativas de funcionamiento: Mediante un cuadro de análisis y ponderación de ventajas y desventajas de prototipos a partir de la construcción de una matriz morfológica; la estandarización de criterios: Consolidación de datos en un cuadro o ficha técnica de requerimientos en hoja de Excel así como la realización de Bosquejos, definición de la alternativa escogida, mediante método de ponderación según criterios de calidad del diseño (capacidad, mantenimiento, costo, seguridad); la definición de variables (capacidad de producción, esfuerzo máximo, desplazamiento máximo, confiabilidad de diseño), el diseño al detalle del prototipo, el análisis estático (método Von Mises) y la elaboración de planos mediante el uso del software Autodesk inventor (Versión 2021).

Fase 3: Simulación.

Para realizar la simulación de esfuerzos sobre la estructura de la dosificadora, se empleará el software Autodesk Inventor versión 2021; esta se hará para los siguientes aspectos como el análisis de esfuerzo, desplazamiento máximo para estructura, ejes y dispositivo dosificador de semilla, el análisis de factor de seguridad.

Fase 4: Construcción del prototipo.

Esta fase comprende la compra de materiales. El mecanizado de piezas y el ensamble

Con el desarrollo de este trabajo se planea conseguir un prototipo de dosificadora cuya capacidad de siembra sea de 20 kg/día, entregar un documento tesis que presenta la secuencia de desarrollo para la construcción del prototipo, que se ajusta a los requerimientos del cliente.

El documento desarrollado se compone de 5 capítulos, los cuales contienen el capítulo 1, donde se establece el estado del arte y la caracterización de la semilla y los sistemas de siembra. El capítulo 2, describe el concepto de diseño a partir del uso de la matriz morfológica y el diseño de concepto. El capítulo 3, se realizan los cálculos de los componentes de la máquina, así como la simulación de elementos como chasis, para establecer el comportamiento del esfuerzo, desplazamiento máximo y el factor de seguridad del diseño cuando se someten a cargas. El capítulo 4, refiere la construcción del prototipo de máquina y el capítulo 5 las conclusiones y recomendaciones.

1. Capítulo 1: Marco referencial

El capítulo desarrollado a continuación contiene una breve descripción del estado del arte del tema de investigación, las características geométricas de la semilla, específicamente tamaño y peso, así como los sistemas y tecnologías de siembra.

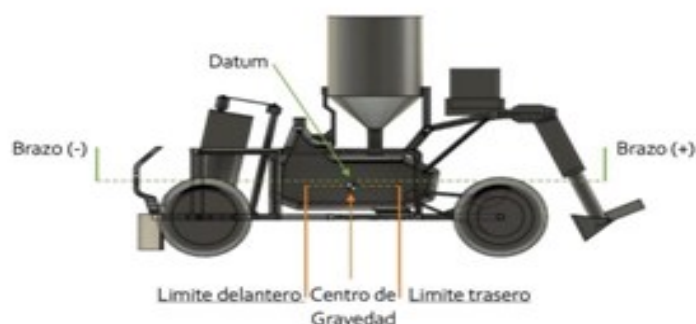
1.1 Estado del arte

Existen tecnologías desarrolladas para optimizar los procesos de siembra de diferentes tipos de productos agrícolas, las cuales emplean diferentes parámetros para su operación como sistemas mecánicos para la transmisión de potencia a ejes para el movimiento de otros dispositivos como los neumáticos e hidráulicos, los cuales se usan para mejorar de forma controlada la operación del equipos o sencillamente a partir de nuevos diseño de prototipos para tareas como siembra, recolección, abono, control de malezas entre otras; de manera particular la actividad de siembra ha evolucionado conforme las necesidades de los países industrializados, en este caso con tecnologías complejas pero de gran rendimiento en cultivos de grandes áreas de siembra; sin embargo existen a su vez necesidades muy específicas en cuanto tamaño, costo, rendimiento, impacto ambiental que son necesarias para que agricultores de extensiones pequeñas de tierra es decir menor a 4 ha, puedan hacer de su actividad agrícola un trabajo rentable y dinámico a partir de múltiples alternativas tecnológicas en el mercado; de acuerdo con lo anterior algunas de estas alternativas se describen a continuación según la perspectiva de varios investigadores como se plantea a continuación:

Byron (2021), diseñó un prototipo de dosificadora para la siembra de frijol y maíz con el objetivo de mejorar los tiempos y los costos en los que incurría una compañía dedicada a la investigación de variedades mejoradas de frijol; el proyecto de diseño por etapas, partiendo de la identificación de requerimientos de la empresa, el diseño y la construcción de los elementos mecánicos como el dosificador, encargado del paso correcto del número de semillas en tiempos determinados, esto mediante un mecanismo tipo compuerta accionado por un servomotor, otra etapa que destaca en el prototipo es la construcción del mecanismo tipo rastra, el cual tiene como función recibir las semillas de la salida del dosificador, la apertura del surco, el depósito de la semilla y el recubrimiento del suelo, acciones que están directamente relacionadas a la velocidad de 1 m/min que el motor-reductor brinda para el desplazamiento del prototipo, mismo que cuenta con un dispositivo de visualización situado en la parte frontal superior, que permite el monitoreo del terreno a sembrar. Con la implementación del prototipo de siembra semiautomático en el proceso de siembra se logró alcanzar una reducción del 53% de tiempo, un 33% de pérdida de frijol por dosificación mayor a 5 granos, que como consecuencia da como resultado el 66% reducción del costo de producción, frente al método de siembra manual (Byron, 2021).

Figura 1-1.

Sembradora neumática manual.



Fuente: (Byron, 2021).

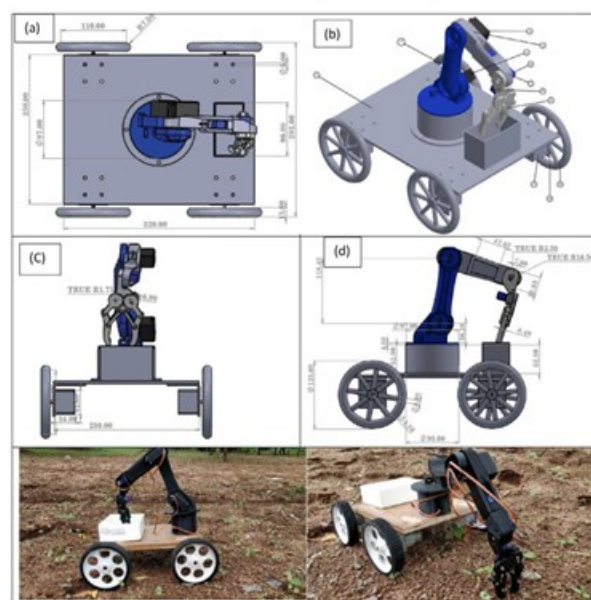
Del anterior prototipo, se puede establecer que su diseño es práctico; sin embargo el hecho de ser automatizada implica que tenga acoplado un sistema para el procesamiento de datos que requieren de conectividad continua para el monitoreo del proceso, a su vez requiere de una fuente de alimentación lo que aumenta su costo a un valor promedio de \$ 18 millones COP y lo hace poco amigable con el medio ambiente debido a la demanda de recursos energéticos y de combustibles fósiles; este prototipo es importante para considerar ya que emplea para la siembra un método dosificador a un paso, el cual puede ser controlado y monitoreado en función de la cantidad dosificada y el tiempo del proceso; adicional a ello está diseñado para terrenos con gradiente menor a 10 grados; el diseño de dicho sistema (de paso), puede contemplarse en la propuesta elaborada en el capítulo 2, de diseño del concepto; ahora bien otros diseñadores como Godoy propone lo siguiente.

Para Kumar (2020), quien diseñó un robot para la siembra de semillas de maíz y frijol, permite a los productores ahorrar tiempo y uso adecuado de la tierra; el autor la siembra de semillas es uno de los principales procesos de las actividades agrícolas. Requiere una cantidad sustancial de esfuerzos humanos y también requiere mucho tiempo. Este robot se compone de un brazo robótico para sembrar las semillas del contenedor de semillas. El brazo del robot se controla a través de la aplicación móvil para obtener las posiciones deseadas del brazo. Una vez configuradas todas las posiciones, el brazo siembra la semilla automáticamente después del botón de encendido. La rueda del robot también se controla a través de la aplicación móvil. Por lo tanto, este sistema automatiza completamente el proceso de siembra de semillas mediante un sistema mecánico inteligentemente diseñado. Este robot reduce los esfuerzos y el costo total de siembra de las semillas; pese al

grado de avance resulta una propuesta de alto costo no aplicable a las condiciones de la finca Lllamarada, ya que no hay redes de electricidad cercana necesarias para alimentar el robot y la topografía con pendientes superiores a 45° limitan su desplazamiento; es amigable con el medio ambiente, sin embargo demanda uso de energía eléctrica lo cual contribuye a la mitigación de recursos naturales (Kumar, 2020).

Figura 1-2.

Robot para siembra de frijol y maíz.



Fuente: (Kumar, 2020).

Godoy et al (2019), diseñaron en San José (Cuba) un prototipo de sembradora para maíz y frijol la cual opera con un rango de velocidades de trabajo de 1 a 3,0 km/h, garantizando una entrega que oscila de 24,80 a 93,02 kg/ha; este prototipo emplea un sistema de transmisión de potencia rodillo-piñón-correa el cual es entregado por un motor a gasolina, la capacidad de siembra es de 96 kg/ha con un sistema de graduación entre plantas, que va acorde a la variedad y tipo de semilla; requiere para su funcionamiento un sistema guía o de

arrastre con tracción, específicamente un tractor; es un prototipo que puede pesar en promedio 0,5 ton y su costo promedio en el mercado es de 7 millones COP, lo cual se puede ajustar al presupuesto del agricultor, sin embargo, para su uso se requiere de un tractor que enganche el equipo debido a su gran peso, lo cual es una fuerte limitante, ya que no cuenta con un equipo para dicho arrastre (Godoy, 2019).

Del anterior prototipo se puede indicar entre sus ventajas la posibilidad de realizar siembras en conjunto, lo que permite una mayor eficiencia en el proceso de siembra y por ende menos días y costos por mano de obra, ya que sus 5 líneas de alimentación tienen capacidades superiores a los 40 kg, lo cual es suficiente para realizar la tarea en un día para una ha. Como desventajas de esta propuesta se consideran la necesidad de contar con equipos adicionales para el arrastre de la sembradora, el mantenimiento de los dispositivos dosificadores, el uso de combustible fósil que afecta el medio ambiente entre otros. De esta propuesta se contempla analizar el sistema de dosificación, el cual emplea un resorte que activa el paso de la semilla a la baja de la rueda en donde se dosifica la cantidad de semilla a sembrar; este es operado de forma manual.

Figura 1-3.

Prototipo sembrador en línea.



Fuente: (Godoy, 2019)

Otros estudios focalizan el sistema de dosificación a diferencia del paralelo descrito anteriormente, como vertical de una línea o tren de siembra, como lo establecieron Solís & Flores a continuación.

Solís & Flores (2013) diseñaron en ciudad de México un prototipo de máquina sembradora de frijol y maíz vertical en línea, la cual emplea una tolva de alimentación como fuente para un proceso de dosificado automático; el tren de siembra consta de un contenedor cilíndrico alimentador, un disco guía de ahoyado y rueda de caucho de alta densidad para su fácil desplazamiento, todos estos elementos se acoplan a un chasis por medio de tres pernos de $\frac{3}{4} \times 6$ in, cada disco de corte están fijados por ocho pernos de $\frac{1}{2} \times 1$ in en acero negro grado 8.8 como se indica en la figura 1-4 (Flores & Solís, 2013).

El peso de este prototipo oscila entre los 50 y 60 kg; de esta propuesta se puede indicar que dentro de sus ventajas se tiene, un equipo que puede emplearse para diferentes terrenos, sin embargo, su peso (60 kg) es una limitante, así como su chasis rectangular al cual se acoplan los elementos puede presentar desajuste, así como el tamaño de la tolva, requiere de arrastre en terrenos inclinados, lo que la hace poco funcional; a lo que suma la necesidad de lubricar sus rodamientos y engranajes lo que puede impactar ambientalmente la zona de trabajo.

Del anterior prototipo se pueden considera elementos como la tolva, el chasis y el método de dosificación el cual emplea la gravedad para el suministro del grano; el chasis y los discos de simetría para establecer operaciones sincronizadas de ahoyado y siembra; sin embargo, no posee sistema de barrido para tapar el hueco, dejando expuesto al grano el en su defecto realizar la operación de forma manual con el pie.

Figura 1-4.

Sembradora tipo Golpe

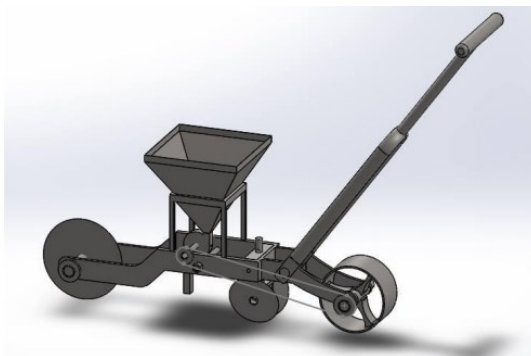


Fuente: (Flores & Solís, 2013)

Otro de los prototipos desarrollados lo realizaron León et al (2013) en Ocaña Norte de Santander; los cuales diseñaron una sembradora mecánica manual, la cual consta de un tren de siembra, una tolva con capacidad para 20 kg/ha, una tolva dosificadora y una rueda compactadora, dentro de las ventajas de este tipo de máquinas se encuentran que no operan con combustibles fósiles, lo que las hace ambientalmente viables, son de bajo costo pero requieren de un gran esfuerzo físico para su movilidad, ya que el diseño de las ruedas macizas presenta un alto nivel de resistencia para el desplazamiento en superficies lisas.

Figura 1-5.

Sembradora en línea compactadora.



Fuente: (Ospina B, 2017).

De acuerdo a los antecedentes descritos anteriormente, los prototipos expuestos tienen en común que requieren de adaptación a un equipo para su desplazamiento, adicionalmente vienen para capacidades que pueden oscilar entre los 20 y 94 kg/ha; son de alto costo; son pesados lo que impide su manipulación normal; a esto se suma que son diseñados para atender grandes extensiones de tierra lo que imposibilita su adquisición por parte de pequeños agricultores cuyas áreas de siembra son menores a 4 ha. Del prototipo anterior se pueden considerar el chasis y el sistema de transmisión de potencia, el cual maneja una misma relación de engranaje para que el movimiento sea sincronizado.

Descrito y analizado el estado del arte, se puede establecer que algunos aportes no comparten las expectativas de diseño del estudio, ya que como se indicó parámetros como peso, costo, tipo de funcionamiento, uso de equipos alternos para su funcionamiento están diseñados para trabajo a gran escala, lo cual hace inviable su diseño ya que los requerimientos de diseño son otros por parte del agricultor lo cual es consecuente con el contexto geográfico de los cultivos que se realizan en la finca La Lllamarada de La Plata, huila; sin embargo es de resaltar que todos estas propuesta coinciden en usar un dispositivo de pre almacenamiento para efectuar la dosificación de la semilla, un solo chasis que opera como tren principal, lo cual es importante tener en cuenta ya que permite acoplar piezas sin alterar su funcionamiento.

Descrito lo anterior es claro que los parámetros de trabajo deben incluir, el sistema de chasis, el método de dosificación, el tipo de terreno y si se requiere o no de equipos alterno para su operativa como en el caso del arrastre por tractor; ahora bien, no es menos

importante en el estudio identificar los métodos de siembra ya que sobre ellos finalmente se determina o configura el prototipo; de acuerdo con lo anterior, estos métodos de siembra se analizan a continuación en el numeral 1.2.

1.2 Métodos de siembra

Los métodos de siembra indican como el agricultor realiza la actividad de siembra del cultivo a nivel productivo, estos métodos pueden ser de tipo manual o mecánico, según el área a sembrar o la cantidad de plantas a producir de acuerdo con los presupuestos de los agricultores; según lo anterior se tiene:

1.2.1 *Método manual*

Corresponde a un conjunto de actividades, las cuales se realizan a mano por jornaleros o trabajadores, los cuales emplean un elemento tipo estaca o vara para ahoyar la tierra preparada, introduciéndola con una fuerza de empuje capaz de atravesar la tierra, ahoyando a los lados un diámetro promedio que puede ir de 3, 4 o 5 cm para depositar la semilla y luego cubrirla con la tierra removida por arrastre del pie; de acuerdo con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), para el proceso de siembra de frijol, se emplean en promedio, 4 jornaleros, a los cuales se les paga el día o jornal a \$31.000, los cuales siembran en promedio 11 kg/ día; a partir de ello, para sembrar los 56 kg en la finca Lllamarada de La Plata (Huila), se requieren de 5 días para la siembra, equivalente a un costo promedio de \$620.000 COP/ ha.

Del método anterior se puede indicar que corresponde a una táctica cultural que data de la década de los 60, la cual es usada actualmente con una alta frecuencia en muchos

cultivos y fincas de pequeños productores, por ende su aporte al trabajo es significativo desde el punto de vista social; tiene un perfil de uso muy bajo de tecnología, ya que en su mayoría emplean herramientas manuales; sin embargo cuando se trata de aumentar la oferta de la producción deben considerarse la intervención gradual de tecnología que ayude a optimizar los costos de producción, para hacer rentable el cultivo en función del precio de venta en el mercado.

Figura 1-6.

Método de siembra manual.



En la figura 1-6 se ilustra la forma de aplicación del método manual de siembra para el frijol, saco de fique como tanque dispensador, extracción y dosificación manual y el proceso de ahoyado con una vara con acabado en punta para atravesar la tierra preparada de forma más fácil.

1.2.2 Método mecánico

El uso de máquinas sembradoras en el último siglo ha venido desarrollándose para diferentes tipos de grano incluyendo el de frijol; las sembradoras tienen varias formas de clasificarse, partiendo del tipo de agregación al tractor, de la semilla a sembrar, así como del método de siembra y sistema de siembra.

Según el modo de agregación o acople al tractor estas máquinas sembradoras pueden ser:

Montadas. Se colocan sobre el tractor formando parte de este con la ayuda de una serie de mecanismos que permiten su soporte. También pueden ser montadas sobre camiones especializados e incluso sobre aviones; las de tipo **Integra**; se agregan mediante el dispositivo de enganche universal de tres puntos, a este tipo de agregación se le clasifica como suspendida; las de arrastre, en donde se cuenta con una barra de tiro que le permite agregarlas al tractor como si fuese un remolque, estas cuentan además con un sistema o tren de rodaje que le permite desplazarse detrás de la fuente energética (García L & Palau, 2013); dentro de sus ventajas se tiene que son ideales para grandes superficies, exactas, alta productividad; sin embargo una de sus desventajas es que son de alto costo, equipos pesados que requieren de tractor para su adaptación y aplicación.

Pese a las alternativas descritas anteriormente, estas no logran resolver la problemática analizada referente a un equipo que se adapte a las condiciones topográficas de la finca La Lllamarada, así como su bajo costo, rendimiento, tiempo de proceso y ambientalmente sostenible, ya que como se ha indicado anteriormente su peso (300 kg) obliga a que el pequeño productor disponga necesariamente de un tractor para su arrastre,

otro aspecto es que la técnica de siembra emplea menores distancias entre surcos por lo que un sistema en línea de tipo montada o integrada está diseñada con distancias de siembra mayores a 30 cm, lo que no aplica para el caso de estudio.

De acuerdo con el tipo de semilla que siembran su categorización puede ser:

- Sembradora de grano fino: Para semillas de pastos, trigo, entre otros

Figura 1-7.

Sembradora de grano fino



Fuente: Maquinaria montana, (Maquinariamontana, 2020)

Dentro de sus ventajas se encuentran su alta capacidad para trabajar grandes densidades de tierra, pueden ser operadas desde el tractor, sin generar riesgos para el operador, sin embargo, dentro de sus desventajas están su alto costo, el cual puede superar los \$ 18 millones COP; requiere de un equipo para su enganche, aumentando los costos entre otros; sin embargo el principio de funcionamiento usado parte de un dosificador en función del movimiento, lo que permite que la tarea no tenga paradas y la dosificación se haga por cada paso de la rueda (ARNAL, 2020).

Otro de los aspectos que se analizan es que, al emplear ruedas con neumático, al momento de sufrir un pinchazo se debe desmontar los componentes del sistema de

dosificación que están acoplados al paso de la rueda, por su peso es necesario disponer de un equipo hidráulico para bajar o cambiar la llanta lo que lo hace complejo en tiempo y proceso.

- Sembradora de grano grueso: diseñada para semillas como maíz, frijol, soya, garbanzo, y demás.

Figura 1-8.

Sembradora grano grueso.



Fuente: (Maquinariamontana, 2020)

Dentro de sus ventajas se tienen su diseño y su alto nivel de confiabilidad en la dosificación mayores al 95%; además de tener una alta precisión sin importar las irregularidades de la semilla o la velocidad de trabajo; sin embargo, sus desventajas son visibles ya que son equipos de alto costo, que requiere de equipo para adaptación, solo pueden ser usadas en terrenos planos no pedregosos y su costo de mantenimiento es elevado

Existen a su vez sembradoras al voleo, la cuales realizan la siembra al azar sobre la superficie de la tierra, por efecto de la gravedad; este tipo de principios pueden generar un alto grado de desperdicio de la semilla, ya que no toda el área se cubre con tierra, a esto se suma el daño mecánico por impacto que puede sufrir la semilla, lo que evita su germinación.

Figura 1-9.

Sembradora tipo centrífuga



Fuente: JRG maquinaria, (JRG, 2020)

Dentro de sus ventajas se tienen su regulación fácil y rápida, y su velocidad de trabajo; dentro de sus desventajas se identifican el daño del grano y su necesidad de equipos de arrastre para su montaje o adaptación, lo que implica un costo adicional debido a que se debe alquilar un tractor pequeño o un cuatrimoto con parilla para su acople; sin embargo, este tipo de sistemas de siembran presentan una alta tasa de desperdicio ya que como se indicó el daño por impacto mecánico de la semilla no se puede controlar.

Pese a que las máquinas sembradoras poseen grandes ventajas frente a sistemas tradicionales de siembra, como lo son su alta capacidad de rendimiento por hectárea de siembra, optimización de mano obra del proceso entre otros, estos desarrollos implican que los productores realicen inversiones en equipos para poder acoplar estas sembradoras, por lo que este tipo de solución en particular no obedece a los requerimientos de la finca La Lllamarada; lo que si es un aporte valioso en estas tecnologías es que se pueden adaptar a otros tipos de semilla, razón por la cual resulta de gran importancia identificar y conocer sus características geométricas como tamaño y peso con el fin de que se pueda diseñar y

construir el dosificador a partir de un rango con el fin de evitar bloqueos por tamaño de la semilla; estas características necesarias para el diseño del prototipo de muestran a continuación en el ítem 1.3.

1.3 Características geométricas del grano o semilla de frijol

Las características geométricas de la semilla de frijol son fundamentales para el diseño del sistema dosificador, al igual que la distancia de siembra la cual puede variar según el tipo de practica que emplea el agricultor para la siembra; de acuerdo con lo anterior los aspectos analizados anteriormente hacen parte del concepto de diseño el cual se abordara en el capítulo presentado a continuación.

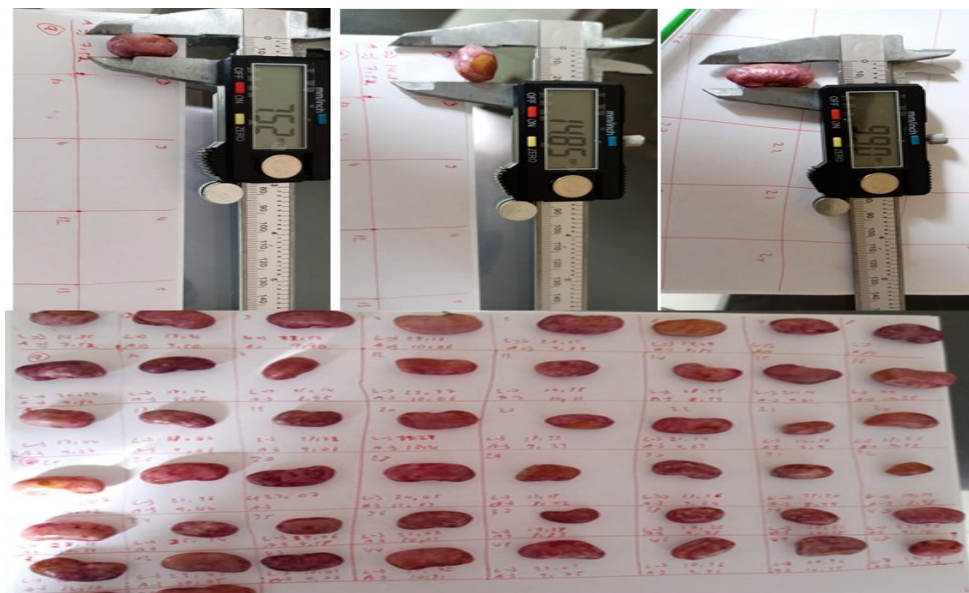
1.3.1 *Semilla*

Parar efectos de las medidas de las semillas se tomaron 50 muestras de frijol variedad “Calima”, el cual es común en los sistemas de siembra en la zona de influencia, en especial de la finca La Lllamarada de La Plata (Huila).

El procedimiento aplicado para su dimensionamiento consistió en medir el largo y el ancho mediante un calibrador digital, la unidad de medida de las dimensiones geométricas como largo, y ancho se dan en milímetros (mm); los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1-1 y la figura 1-10 a continuación:

Figura 1-10.

Medición y registro datos semilla.



Nota. La figura 1-10 describe la relación de datos obtenidos mediante uso de calibrador en semillas de frijol.

Tabla 1-1.

Relación datos largo y ancho de semilla de frijol calima.

Muestra	Largo(mm)	Ancho (mm)	Muestra (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)
1	14,85	7,52	26	21,96	9,44
2	17,91	9,5	27	22,07	10,76
3	22,54	9,9	28	24,05	11,63
4	20,17	10,66	29	13,18	8,02
5	20,15	9,77	30	17,36	9,14
6	17,49	8,84	31	18,2	8,99
7	18,24	9,74	32	10,14	8,98
8	19,14	9,27	33	18,25	10,14
9	20,84	9,8	34	15,34	10,86
10	17,14	8,55	35	19,06	9,18
11	15,14	8,95	36	21,02	10,01
12	22,97	10,06	37	17,19	8,83
13	19,85	10,11	38	17,25	9,98
14	18,95	8,99	39	18,21	10,15
15	20,14	9,41	40	21,76	9,1
16	23,86	10,25	41	22,34	12,1
17	17,44	9,27	42	22,43	10,05
18	18,66	9,01	43	20,01	9,77

19	18,72	9,01	44	21,92	10,31
20	19,21	10,14	45	23,01	9,75
21	18,33	9,23	46	19,36	9,91
22	21,14	9,63	47	19,96	10,35
23	14,16	7,9	48	17,18	9,07
24	18,21	9,52	49	19,25	10,03
25	22,07	9,12	50	24,6	11,22
Total	19,09	9,37		19,40	9,91

Nota. Registro de dimensiones para sistema de dosificación.

De acuerdo con lo anterior, la media de los datos tomados para largo y ancho en la muestra constituida por 50 mediciones es:

Largo:19,24 mm; Ancho:9,63 mm; estos datos serán tenidos en cuenta para el diseño del sistema dosificador, ya que indican las dimensiones que debe tener como mínimo el sistema para que no se obstruya por el paso el mismo grano al hueco.

Otro aspecto relevante de la geometría de la semilla es que permite establecer el número de unidades que pueden ingresar al dosificador para efectos de determinar la cantidad total de esta a cargar para la siembra; a partir de ello se puede proyectar el total de kilogramos sembrados y determinar con exactitud el costo del proceso.

Sin embargo, una variable fundamental para el diseño del prototipo de máquina dosificadora es el tamaño del hueco en el cual se deposita la semilla y la distancia de siembra; variables necesarias para determinar el diámetro de la dosificación al paso como se describe a continuación en el ítem 1.3.2.

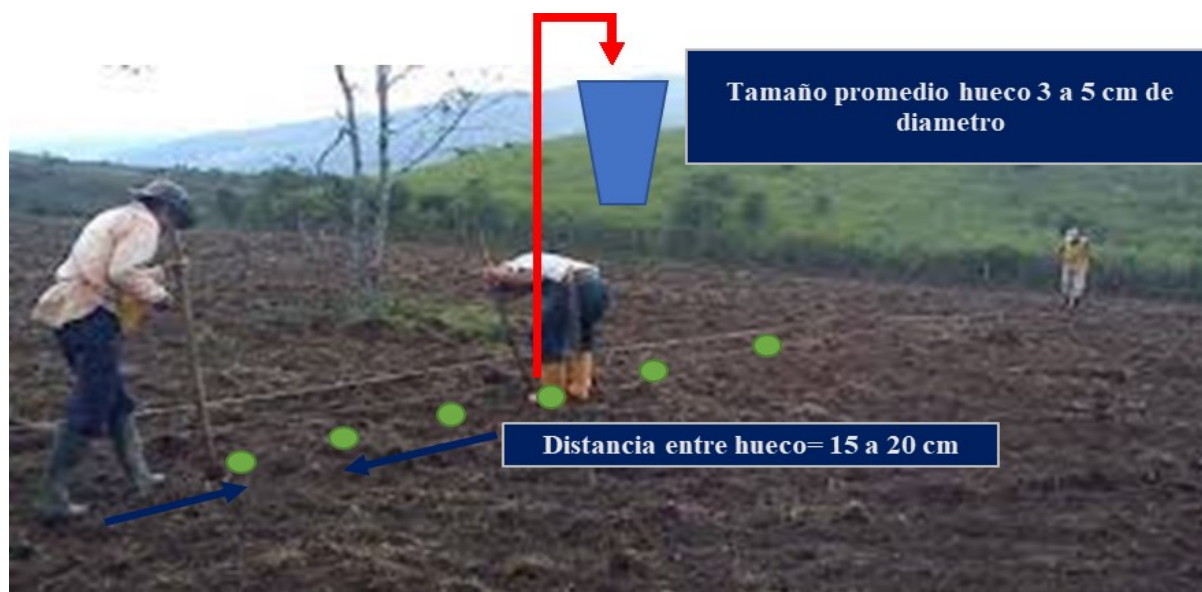
1.3.2 Características de los huecos y siembra

Con respecto a esta actividad en particular, el sistema de ahoyado o creación del hueco para el depósito de la semilla y posterior tapado de la misma presenta las siguientes características las cuales se ilustran en la figura 1-11.

El proceso inicia con la hilada del terreno, proceso en el cual el trabajador distribuye las distancias de siembra a partir de un hilo que tiende de forma longitudinal en el lote; una vez se instala la hilada, el operador a partir de la herramienta manual empieza a ahoyar la tierra introduciendo esta y realizando una acción de torsión para remover la misma, dejando un hueco cuyo diámetro promedio se indica en la figura 1-11.

Figura 1-11.

Distancias de siembra y tamaño promedio del hueco



La figura 1-11 muestra un sistema de siembra de frijol lineal cuya distancia de siembra varía entre 15 a 20 cm y cuyo diámetro del hueco es de 3 a 5 cm con una profundidad media de 3 cm.

El proceso de siembra se realiza como se observa en la figura 1-11, a partir de la dosificación manual de la semilla, la cual es llevada al hueco para luego ser cubierta por efecto de arrastre mecánico.

De acuerdo con lo descrito en este ítem la geometría juega un rol clave en el proceso de diseño del sistema de dosificación, ya que a partir de las dimensiones de la semilla se determina cantidad y secuencia para descargar el grano sobre los huecos para siembra.

2. Capítulo 2: Concepto de diseño

El siguiente capítulo describe los requerimientos y el análisis de prototipos a partir del uso de una matriz morfológica la cual tiene como fin, seleccionar la mejor alternativa en función de los requerimientos de diseño del dueño de la finca Lllamarada en la Plata (Huila); esta fase hace parte de la metodología propuesta por French (2000), el cual propone un desarrollo por fases que parte de los criterios de diseño como se indica a continuación.

2.1.Requerimientos de diseño

La identificación de los requerimientos de diseño comprende la primera fase para el desarrollo del prototipo; de acuerdo con lo anterior al realizar la entrevista con el dueño de la finca; se logró identificar dos factores claves para su desarrollo, los cuales se presentan a continuación:

Los requerimientos técnicos establecidos por el cliente para el diseño son:

Respecto a la cantidad dosificada

- Que se siembre cada 15 cm de dos a tres semillas.
- Que la dosificación sea exacta.
- Que pueda emplearse más adelante para otras variedades de frijol.

Respecto al prototipo

- Que no sea pesada.
- No use gasolina como fuente de funcionamiento.
- Que se pueda desplazar fácilmente sobre el terreno a sembrar.

- Su mantenimiento sea económico.
- Que sus piezas no se oxiden por efecto de la humedad de la tierra.
- No represente un peligro en su manejo.
- De fácil mantenimiento.
- Las piezas o elementos se puedan adquirir a nivel comercial.

2.2. Matriz morfológica para selección de prototipo

Para la selección del prototipo se deben contemplar factores acordes a los requerimientos concertados por parte del agricultor como se estableció en el numeral 2.1.

Estos requerimientos corresponden a:

Costo: De acuerdo con la visita de campo el agricultor indica que este factor es fundamental para inversión, ya que las que existen en el mercado actual se encuentran entre rangos mayores a los 12 millones COP para su adquisición.

Peso de la máquina: El peso es un factor importante, ya que como se identificó, muchos equipos requieren adaptarse a un tractor, equipo con el que no cuenta por su alto costo, por ende, este debe ser liviano o en su defecto que no supere la fuerza de empuje del del agricultor; los pesos actuales de máquinas son superiores a los 500 kg para sembradoras de arrastre; en el caso de prototipos de máquinas manuales estas tienen un peso mayor a los 50 Kg.

Mantenimiento: De fácil mantenimiento que sus elementos no se oxiden, que se pueda lavar para evitar contaminación fitosanitaria en suelos.

Sistema de funcionamiento: Este criterio es clave a la disponibilidad de fuentes de alimentación en la zona, ya que se consideran máquinas que como se describieron

anteriormente en los antecedentes poseen sistemas hidráulicos, eléctricos o mecánicos que ofrecen ventajas y desventajas para el proceso,

Sistema de alimentación: como se identificó el método actual incluye una mochila que usan como equipo de almacenamiento, y del cual van tomando la semilla para su siembra en el hueco; de aquí que el sistema pueda almacenar la mayor cantidad de kilos y su dosificación en la siembra sea exacta.

Tiempo de siembra: factor clave ya que el tiempo de la actividad de siembra es de 4 minutos en ahoyar, dispensar la semilla en el hueco y tapar el mismo; es un dato muy por encima del estándar de AGROSAVIA, que es de 1,7 minutos.

Facilidad de uso: desde la perspectiva del agricultor es de gran importancia ya que es aquí donde se identifica la capacidad y facilidad para operar la máquina sin que represente un proceso de capacitación complejo y de muchos elementos de accionamiento para su uso.

Descritos los factores que componen la matriz morfológica, de acuerdo con la metodología propuesta, se deben establecer los pesos porcentuales de cada factor para efectos de construcción y ponderación de estos como se indica a continuación:

2.2.1. Pesos por factor

Los pesos por factor se emplean para el proceso de puntuación de la alternativa; cada factor tiene un valor según su importancia de acuerdo con los requerimientos del productor; de acuerdo con lo anterior se tiene:

Tabla 2-1.

Peso factores de decisión.

Factores	Costo	Tiempo de siembra	Peso de la máquina	Mantenimiento	Sistema de funcionamiento	Facilidad Uso	Sistema de alimentación
Criterios de evaluación	Materiales comerciales	Menor al requerimiento	Menor a 40 kg	Matto según manual y desgaste	Manual	Un solo paso	Dosificadora
	Valor comercial	Igual al requerimiento		Matto fuera del manual (preventivo)	Mecánico		Automático
			Mayor al requerimiento	Mayor a 40 Kg	Matto (Correctivos)	Eléctrico	Requiere de combinar pasos
Peso (%)							
Factor	Σ 20%	Σ 30%	Σ 10%	Σ 7%	Σ 13%	20%	Σ 10%

Nota. La tabla describe los factores empleados para establecer criterios de decisión en cuanto al prototipo.

En la tabla se observan los factores de decisión ubicados en la primera fila, los cuales se evalúan de acuerdo con los criterios definidos en la columna; los mayores pesos se asignaron al tiempo de siembra con un 30%, costo y adquisición de materiales (20%), facilidad de uso que hace referencia a la manipulación del prototipo de forma fácil en su uso; el sistema de funcionamiento (13%), el peso de la máquina (10 %) el cual es relevante cuando se trata de movilizar el equipo a otras áreas de siembra, el sistema de alimentación (10%), ya que no en todas las fincas se dispone de redes eléctricas entre otras.

Con los factores definidos se establece la escala de medición como se indica en el ítem 2.2.2 a continuación.

2.2.2. Escala de evaluación

La escala de evaluación comprende los parámetros con los cuales se calificarán los criterios identificados en los requerimientos de diseño por parte del agricultor; esta

evaluación se aplica con los pesos de los factores; de acuerdo con lo anterior la mayor ponderación, producto de la sumatoria de los factores evaluados corresponde a la decisión de diseño del prototipo para el proyecto; estos criterios comprenden 3 tipos de calificación asociados a criterios como se indica a continuación en la tabla 2-2.

Tabla 2-2.

Criterios de evaluación.

Calificación	Criterio de evaluación
0	No cumple con el criterio
5	El criterio está condicionado por otros factores
10	Cumple con todo el criterio

Nota. La calificación dada por cada criterio que compone el factor se multiplica por el peso de este; la sumatoria total de los criterios da el valor final del mismo factor, el prototipo que obtenga el factor total mayor es el considerado para el desarrollo.

La temática de evaluación de factores a partir de los criterios comprende la interpretación del factor cuando no cumple, cumple o depende de otros factores; en ese orden de ideas la evaluación asignada va de 0, 10 o 5 dependiendo de las variables asignadas. Este paso es muy importante, ya que es a partir de este que se pondera y se selecciona la propuesta para su desarrollo.

2.3. Alternativas

Para plantear opciones se consideraron todas las clasificaciones de equipos empleados en operaciones de siembra, consultados y expuestos en el estado del arte, sin embargo, al considerar los requisitos expuestos por el agricultor, fue necesario delimitar a

una sembradora de mono chasis con sistema de dosificación simétrico de acuerdo a la distancia de siembra, así entonces las alternativas a evaluar se referían a las fuentes de suministro y sistemas de funcionamiento empleados, para lo cual, producto de este nuevo criterio se plantearon prototipo con operación manual, mecánica y eléctrica, con el fin de seleccionar la más adecuada para el proceso de siembra de frijol, según los requerimientos del agricultor.

2.3.1. Alternativa Manual

En esta alternativa se tiene como principio de funcionamiento para el diseño de una dosificadora para siembra, un sistema tipo coche al cual se adapta un componente dosificador accionado por una guaya resorte para la dosificación; este prototipo requiere una fuerza de empuje proporcionada por el operador capaz de vencer la resistencia del mismo dado por el peso en un plano normal; a medida que avanza el operador la boquilla ahoya y la dosificación se hace accionada por el operador; aquí el hueco es tapado mediante arrastre de miembro inferior sobre el plano del suelo.

Ventajas

- No requiere de fuentes de energía fósiles o eléctrica, lo que la hace flexible en función de su operación.
- No genera emisiones al medioambiente.
- La velocidad se adapta a la carga.
- Ideal para todo tipo de terrenos.
- Se puede limpiar con agua sin afectar los componentes.
- Liviana (<40 Kg)

Desventajas

- Aplica para frijol o sistemas de siembra con las mismas características de distancia y tipo de ahoyado.
- Requiere de pausa activas por parte del operador que ejerce el empuje.

2.3.2. *Alternativa Mecánica*

En esta alternativa se tiene como principio de funcionamiento un sistema de piñones de igual relación los cuales mediante una cadena acciona un eje, el cual desplaza de forma simétrica dos ruedas a las cuales van acopladas 4 boquillas ahoyadora-dosificadora accionada por un sistema de paso, el cual suministra el par de semillas al hueco; aquí la semilla depositada es tapada por una pestaña tipo barrena para su protección y posterior germinación.

Ventajas

- No requiere de fuentes de energía fósiles o eléctrica, lo que la hace flexible en función de su operación.
- No genera emisiones al medioambiente.
- La velocidad es controlada por la fuerza de empuje que ejerce el operador.
- Ideal para todo tipo de terrenos.
- La dosificación es de tipo mecánica (a un paso).
- Se puede limpiar con agua sin afectar los componentes.
- Puede ser empleada para otros tipos de cultivos que emplean semillas a corta distancia como el maíz.
- Liviana (>40 Kg).

Desventajas

- Presenta desgaste en el sistema de transmisión de piñones por cadena.
- La cadena puede sufrir oxidación por efecto de la humedad del suelo.

2.3.3. Alternativa Eléctrica

Este prototipo usa para su funcionamiento un motor eléctrico de 0,5 hp, el cual induce un eje para transmitir el movimiento lineal a un piñón; aquí el motor es el encargado de suministrar la velocidad y la potencia de trabajo, el sistema de dosificación es automático, por lo que opera con un alto grado de precisión.

Ventajas

- Funcionan indistintamente con cualquier tipo de corriente.
- Poseen un elevado par de arranque.
- La velocidad se adapta a la carga.
- Ideal para trabajo en terrenos no preparados.

Desventajas

- Mantenimientos periódicos que requieren de un control y monitoreo.
- Costos de consumo de energía.
- Elementos y sistemas más pesados.
- Menos durabilidad de elementos por desgaste.

2.4. Características de las alternativas

Para la identificación de características de las alternativas se empleó una matriz morfológica, la cual corresponde a un método de calidad que busca determinar a partir de una evaluación sistemática de factores, la mejor alternativa de diseño; por lo anterior al comparar estos, según el tipo de sistema a emplear se establecen los elementos diferenciadores como se indica a continuación en la tabla 2-3.

Tabla 2-3.

Factores diferenciadores de alternativas.

Sistema Manual	F	Sistema Mecánico	F	Sistema eléctrico	F
El movimiento depende de fuerza de empuje del operador	✓	El movimiento depende de fuerza de empuje y de la relación de transmisión, que en este caso es igual para poder desarrollar la simetría en el ahoyado	✓	La acción la ejerce un motor eléctrico	✓
Costos de mantenimiento bajos	✓	Costos de mantenimiento bajos	✓	Mayor costo de mantenimiento	✗
Fuerza Manual	✓	Fuerza Manual-Mecánica	✓	Fuerza eje engranaje, polea o cremallera	✓
Versatilidad en cualquier tipo de terreno	✓	Versatilidad en cualquier tipo de terreno	✓	Versatilidad en trabajos pesados Motor debe tener sistema de auto refrigeración para evitar calentamiento por largas horas de trabajo	✓
No sufre calentamiento	✓	No sufre calentamiento	✓	Accesorios pesados y más costosos	✗
Accesorios simples	✓	Accesorios son más ligeros y económicos	✓	La dosificación es automática	✓
La dosificación la realiza el operador	✗	La dosificación la realiza el operador	✓	Impacto ambiental por demanda de energía eléctrica	✗
No genera impacto al medio ambiente	✓	No genera impacto al medio ambiente	✓	No genera riesgos de operación	✗
No genera riesgos de operación	✓	No genera riesgos de operación	✓		

Fuente: Autor.

El proceso de evaluación se realizó mediante valoración de factores, los cuales se desprenden de la tabla 2-3 factores diferenciadores, la cual emplea una escala de 1 a 3, siendo 1 la menor valoración (malo) y 3 la mayor puntuación (bueno) para evaluar dichos factores;

el prototipo con la mayor ponderación o suma total de factores acumulada, será la tecnología seleccionada para la construcción; de acuerdo con lo anterior los resultados se muestran en la tabla 2-4.

Tabla 2-4.

Evaluación y ponderación de prototipos.

Factor de valoración	Prototipo Manual	Prototipo mecánico	Prototipo eléctrico
Movimiento de operación.	2	3	3
Costo mantenimiento.	3	3	1
Principio mecánico empleado.	2	3	3
Condición de temperatura motor.	3	3	1
Versatilidad y uso para el trabajo repetitivo.	3	3	2
Desgaste en accesorios.	3	3	1
Impacto ambiental.	3	3	1
Riesgos en manipulación.	3	3	2
TOTAL	22	24	14

Fuente: Autor.

La tabla 2-4, muestra el resultado del proceso de evaluación de los diferentes prototipos considerados según requerimientos para su construcción; al evaluar el factor de movimiento de operación la menor puntuación se asignó al prototipo manual, ya que este requiere de la fuerza de empuje proporcionada por el operador directamente, mientras que los restantes prototipos emplean la potencia dada por el motor al sistema de transmisión. El costo de mantenimiento tuvo una menor valoración en el prototipo eléctrico, ya que los elementos que componen esta propuesta tienen un alto costo en el mercado y son de difícil adquisición en comparación con un componente mecánico o hidráulico, a lo que se suma que la alternativa mecánica contiene menor número de elementos lo que hace fácil su consecución en el mercado. En cuanto al principio mecánico empleado la menor

ponderación la tuvo el prototipo mecánico ya que desde una perspectiva de diseño se plantea un sistema de dosificación activado por un paso el cual deposita la semilla por acción de la gravedad, esta propuesta en comparación con los prototipos analizados puede tener un mayor margen de error en cuanto a la distancia de siembra que al compararlo con sistemas eléctricos que usan lógica de control para disminuir el margen de error.

En cuanto a la condición de temperatura del motor el prototipo mecánico tiene una muy buena ponderación ya que por diseño no contempla el uso de motor; en cuanto a desgaste e impacto ambiental, riesgo en manipulación el prototipo mecánico un bajo riesgo de sufrir accidentes por manipulación, así como un bajo nivel de desgaste de las piezas y lo que resulta más alineado es su contribución con el medio ambiente al no generar gases u otros que afectan el medio ambiente.

A nivel ambiental el prototipo mecánico no emplea combustibles fósiles para su operación, ni recursos energéticos industriales, lo que mitiga en un 100 % el agotamiento de recursos naturales para la obtención de energética eléctrica, esta condición permite su aplicación en cualquier condición de operación son necesidad de fuentes alternas.

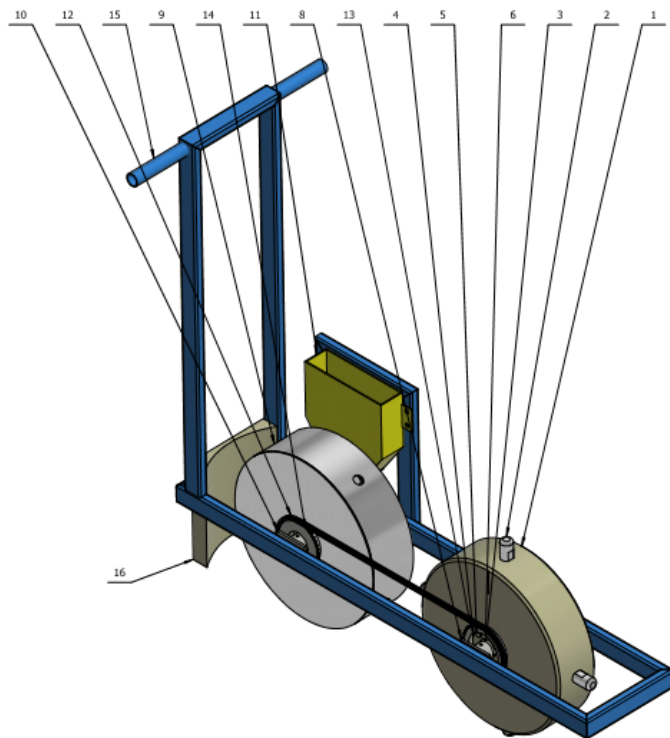
De acuerdo con lo anterior el prototipo mecánico presenta la mayor puntuación acumulada en función de las ventajas descritas en el epígrafe 2.3.2. Por lo cual se procede a realizar el desarrollo de concepto del prototipo mecánico como se indica a continuación en el ítem 2.5.

2.5.Desarrollo del concepto

Seleccionado el prototipo, se desarrolló del concepto a nivel de diseño mediante programa Autodesk Inventor, arrojando los siguientes resultados, los cuales se muestran en la figura 2-1.

Figura 2-1.

Prototipo mecánico.



16			1	Polipropileno	
15			1		
14			1	Steel	
13			1	Steel	
12			1	Generic	
11			1	Generic	
10			2	Acero AISI 1045 225 RECO	
9			1		
8			2	Acero AISI 1045 225 RECO	
7			1	Genérico	
6			1	Acero AISI 1045 225 RECO	
5	ISO 4017		8	Acero Inoxidable, 440C	
4			2	Polipropileno	
3			2		Deep groove ball bearings
2			4	Acero Inoxidable AISI 304	
1			1	Polipropileno	
ELEMENTO	NORMA	Nombre	CTDAD	MATERIAL	COMENTARIOS
LISTA DE PIEZAS					

Nota. La figura 2-1, corresponde a un isométrico del prototipo seleccionado para su posterior construcción.

De acuerdo con la anterior figura los componentes del prototipo seleccionado son:

Chasis: Mono chasis recto (15), Diseñado en material AISI 1045, el cual se selecciona siguiendo las recomendaciones del Instituto Americano del Hierro y el Acero

(AISI), el cual indica que un acero de esta denominación (1045) posee una alta resistencia a la corrosión, ideal para diseño de equipos y máquinas de trabajo pesado o que están en contacto con superficies como la tierra que cuenta con un determinado grado de humedad que puede generar un proceso de oxidación irreversible, sin embargo, este material posee recubrimiento para evitar precisamente dicha oxidación.

Singh (2019) indica en su estudio sobre propiedades de materiales en acero para el diseño de equipos, plantea que el uso de material AISI 1045 en el diseño de máquinas garantiza la resistencia al desgaste en condiciones como la corrosión, la abrasión y la erosión. En segundo lugar, las propiedades dependientes del volumen, como la resistencia, la dureza y muchas más. Los componentes que tienen revestimiento son relativamente más capaces de realizar cualquier tarea inequívoca en un entorno adversario durante un tiempo comparativamente largo, lo que infiere una mayor durabilidad de este (Singh, 2020)

Dosificadora (1 y 2): sistema de tolva rectangular que suministra la semilla de forma simétrica por medio de una rueda ahoyadora. Este sistema lleva por gravedad la semilla a medida que cada cuadrante cuya distancia promedio está calculada en la media de la distancia de siembra, avanza entre huecos.

Piñones (10): elemento mecánico esencial para transmitir el movimiento resultante de la fuerza de empuje, la cual se tiene estimada en 30 kilos y que corresponde al peso total de la dosificadora y que se convierte en la fuerza a vencer, para efectuar el desplazamiento del equipo sobre el cultivo.

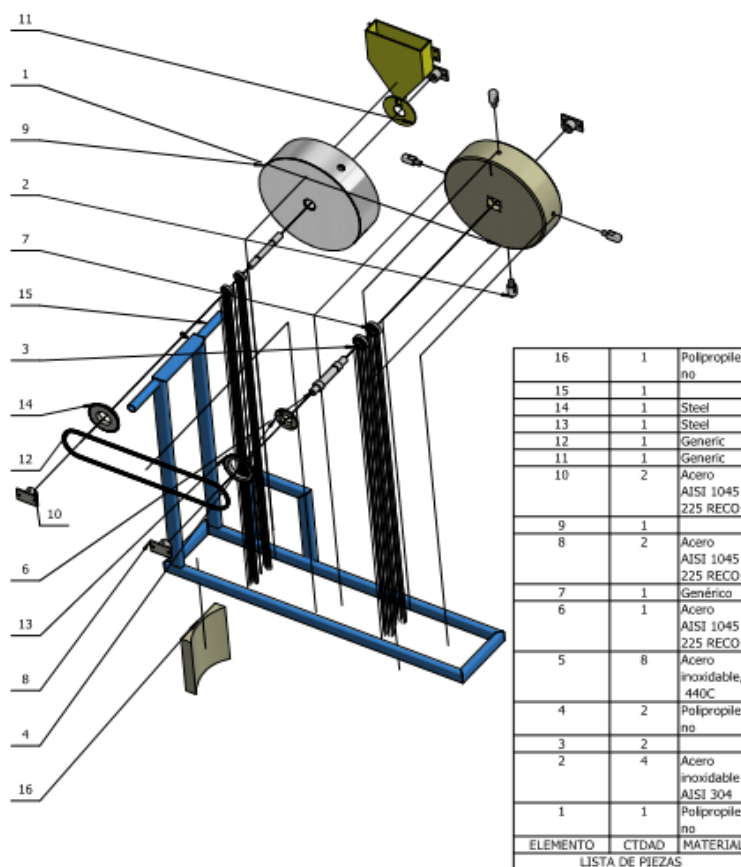
Cadena (13 y 14): es un elemento de contacto, el cual es necesario para llevar de forma sincronizada la transmisión de movimiento entre la rueda ahoyadora y la dosificadora.

Pestaña barredora (16): Elemento adaptado para que realice el tapado del hueco, una vez ahoyado y dosificado; esta actividad es clave ya que finalmente es la que se encarga de tapar mediante arrastre de tierra la semilla ubicada en el hueco para su posterior germinación y cosecha.

Descritos los componentes el diseño de detalle se aprecia con mayor facilidad en la vista explosiva desarrollada sobre el concepto de diseño del prototipo como se indica a continuación en la figura 2-2, en la cual se observan las líneas de proyección de componentes del prototipo.

Figura 2-2.

Vista explosiva prototipo



Fuente: Autor

Como conclusión del capítulo 2, es importante resaltar que la selección del prototipo mecánico presenta grandes ventajas, las cuales están muy alineadas con los requerimientos del propietario de la finca; su bajo costo, su fácil operación, la facilidad de mantenimiento y su funcionamiento amigable con el medio ambiente permite la adaptabilidad de esta para la siembra de frijol.

Para poder construir este prototipo, se deben realizar los cálculos que nos permitan conocer las dimensiones del eje con el fin de conocer adicionalmente las necesidades de material para su costeo; dicha información se presenta en el capítulo 3, dado a continuación.

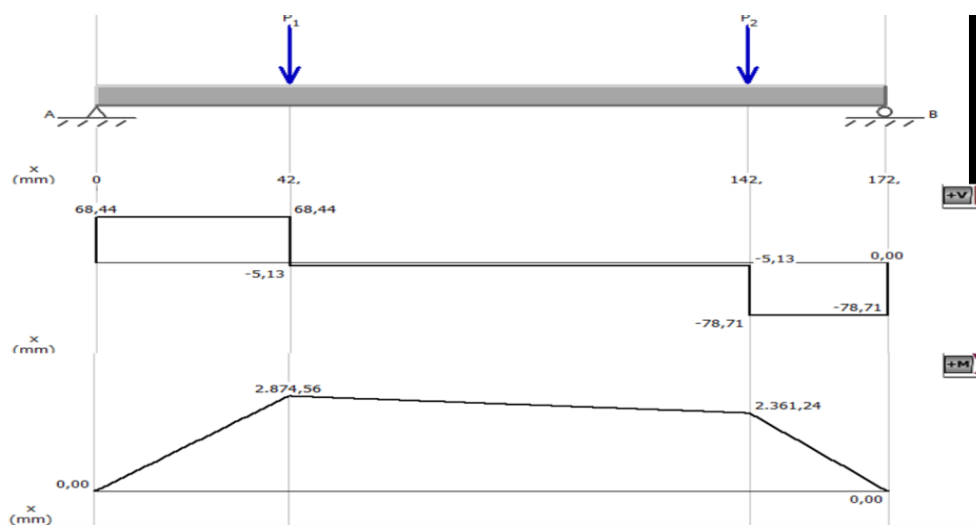
3. Capítulo 3: Cálculos y resultados del prototipo seleccionado

En el capítulo 3 se establecen y determinan los cálculos correspondientes a las fuerzas y momentos que intervienen, sistema dosificador en el prototipo de máquina dosificadora; el método empleado para el análisis del chasis incluye un análisis de Von Mises, el cual toma el cuerpo rígido y lo diagrama a partir de las fuerzas que actúan sobre el en estado de equilibrio; de acuerdo con lo anterior se tiene.

3.1. Cálculo del eje de dosificadora de frijol

Su función es la de llevar la fuerza aplicada a las ruedas para realizar el movimiento del prototipo sobre la superficie de trabajo; para poder realizar este cálculo, de acuerdo con los materiales propuestos de diseño como el acero AISI 1045, la sembradora pesara en promedio 30 Kg, por lo que cada rueda soportara una carga equilibrada de 15 Kg como se indica en el diagrama de cuerpo libre presentado en la figura 3-1.

Figura 3-1. Diagrama de cuerpo libre del eje de la dosificadora de frijol.



Nota. La figura 3-1 Diagrama de cuerpo libre del eje, describe la acción de los torques que inciden en el eje, así como la carga que actúa sobre el mismo.

De acuerdo con lo anterior al sumar los momentos de las fuerzas que actúan sobre cada rueda se determina el momento equivalente (M_e), el cual según (Myszca, 2012) esta, dada por la ecuación (3.1), como se indica a continuación:

$$M_e = \sqrt{Mt^2 + Mf^2} \quad \text{Ecu. (3.1)}$$

De donde

M_e = Momento equivalente

Mt = Momento en t

Mf = Momento en f

Al despejar el momento equivalente se obtiene

$$M_e = \sqrt{(2874.56)^2}$$

$$M_e = 2874.56 \text{ Nmm} = 293.02 \text{ Kg. mm}$$

Despejamos el diámetro del eje, el material seleccionado es el acero AISI SAE 1045 ya que posee una alta resistencia a la oxidación, lo que la convierte en un material ideal para el diseño de ejes; este valor de resistencia es de $\sigma = 30 \text{ Kg/mm}^2$

Despejamos el diámetro del eje, el material es acero AISI SAE 1045 $\sigma = 30 \text{ Kg/mm}^2$

De donde:

n = factor de seguridad

S_y = esfuerzo corregido del material

Mt = Momento en t

Mf = Momento en f

$$M_e = \sqrt{Mt^2 + Mf^2} \quad \text{Ecu. (3.2)}$$

$$S_y = \sigma * 0.35$$

$$S_y = 30 \text{ Kg.mm}^2 * 0.35 = 10.5 \text{ Kg.mm}^2$$

Para determinar el diámetro del eje, se procede a usar la ecuación sugerida por Molt para el cálculo del diámetro, el cual está dado por la ecuación (3.3)

$$d = \left[\frac{32 \cdot n}{\pi * S_y} * M_e \right]^{1/3} \quad \text{Ecu. (3.3)}$$

De donde

d = diámetro del eje

M_e = Momento equivalente

S_y =Esfuerzo *corregido del material*

π = constante Pi= 3,1416

n = *factor de seguridad*

$$d = \left[\frac{32 * 3}{\pi * 10.5 \text{ Kg.mm}^2} * 293.02 \text{ Kg.mm} \right]^{1/3}$$

$$d = 9.48 \text{ mm}$$

A nivel comercial no se tienen diámetro de 9,48 para configuraciones geométricas con piñones, se debe aproximar dicho valor con respecto a rodamientos de tipo comercial lo cual facilita su adquisición; de acuerdo con lo anterior este valor ajustado es el valor más

próximo que se puede adquirir; un valor más alto de diámetro implica un cambio de la configuración en el eje:

$$d \approx 20\text{mm}$$

El rodamiento seleccionado para usarse en las ruedas ahoyadora y dosificadora de acuerdo con el diámetro calculado es el 6005-2RSL de SKF, como se indica a continuación en la figura 3-2; la razón de su selección yace en que estos son de alta calidad, pueden trabajar en condiciones de operación continua sin afectar su funcionalidad y soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos.

Figura 3-2. Características del rodamiento 6005-2RSL



Nota. La figura 3-2 describe las principales características del rodamiento 6005, el cual, por su alta resistencia, y diámetro más cercano al del cálculo se ajusta para la construcción del diseño (SKF, 2020).

Con estos parámetros se determina la eficiencia de carga del rodamiento, la cual según Molt, está dada por la ecuación (3.4)

$$f_s = \frac{\text{carga permisible del rodamiento}}{\text{carga soportada}} \quad \text{Ecu. (3.4)}$$

$$s = \frac{6550 \text{ N}}{73.57 \text{ N}} = 89 \text{ m}^3$$

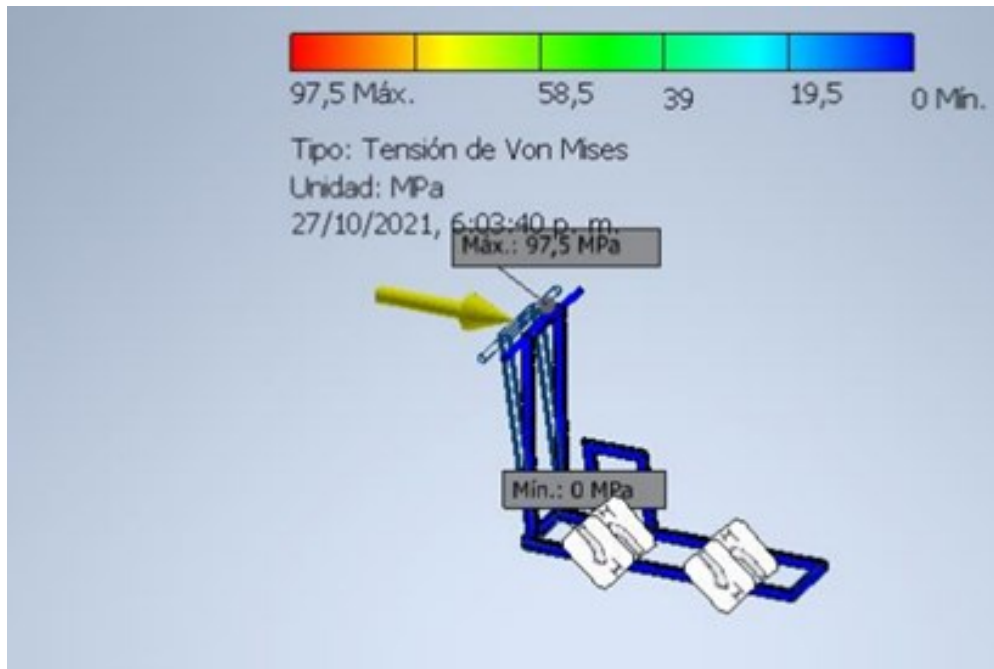
3.2. Análisis estático para chasis dosificadora

El análisis estático Von Mises es un método que busca determinar el comportamiento del material cuando este es sometido a esfuerzos máximos como tensión, desplazamiento y factor de seguridad; estos se indican en el ítem 3.2.1. a continuación.

3.2.1. Análisis de tensión del chasis

Para realizar este estudio, se parte de la carga ejercida por el operador u operario para desplazar la dosificadora; este valor es de 30 kg es decir el peso del prototipo; el material empleado en el chasis es el AISI 1045, el cual como se ha indicado posee una alta resistencia a la oxidación, lo que permite dar confiabilidad al componente; según lo anterior al someter este elemento a su máximo esfuerzo, el resultado del análisis por el método de Von Mises, indica:

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



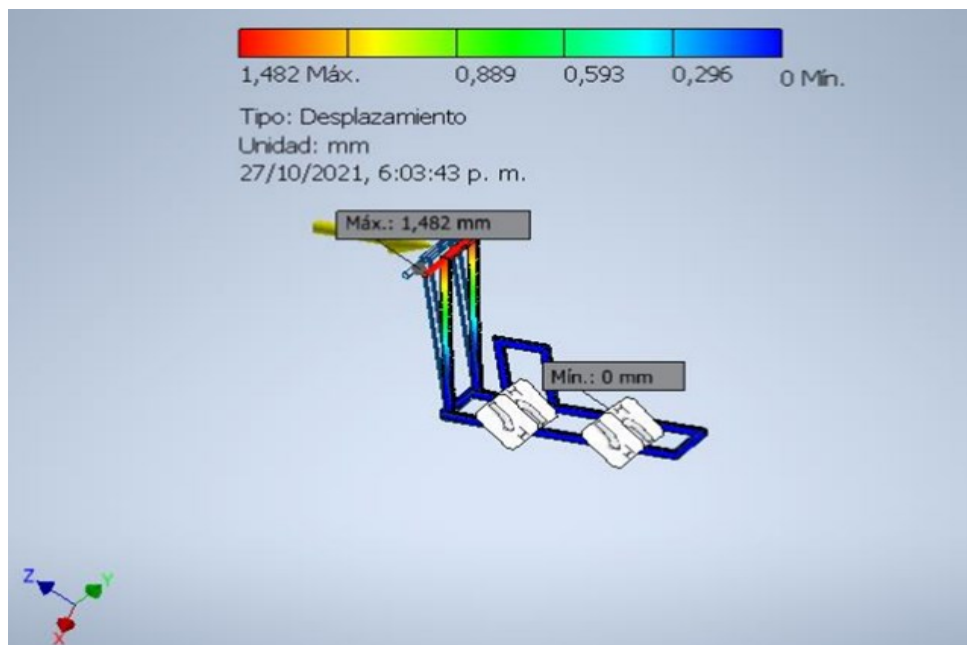
Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

Este valor de tensión o esfuerzo que soporta la cuchilla, trabajando en condiciones de tensión o esfuerzo máximo es de 97,5 MPa y se concentra como lo indica la figura 3-3, sobre el apoya manos donde se imprime la fuerza de empuje; por lo tanto, se concluye que el elemento no presentará fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se somete.

3.2.2. Análisis de desplazamiento del chasis

En la figura 3-4, se puede apreciar el desplazamiento máximo del chasis indicado por el color rojo sobre la parte superior del soporte del chasis o apoya manos, cuando es sometido a cargas o esfuerzos máximos de 30 kg, en la figura se observa que tiene un desplazamiento máximo de 1,482 mm, el cual se concentra en el cuadrante del apoya manos.

Figura 3-4. Análisis de desplazamiento en la estructura.



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

La importancia de este parámetro se fundamenta en que permite identificar si este prototipo al trabajar al máximo de carga aplicada puede presentar algún tipo de desplazamiento de la estructura que modifique su propia configuración o rendimiento e inclusive la rotura de la pieza, a lo cual como se evidencia no representa un riesgo la estructura, por lo tanto, es confiable su desempeño.

3.2.3. Análisis de factor de seguridad del chasis

El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 2,12 MPa, lo cual quiere decir que soporta 2 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que el chasis, cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas. La figura 3-5 pretende presentar la distribución de los menores

factores de seguridad, pero se verifica que resultan ser bastante altos, por lo que se ratifica la seguridad de la pieza diseñada.

Figura 3-5. Análisis de factor de seguridad.



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

3.3.Cálculo de ruedas perforadoras

Se requiere de una distancia entre grano y grano de 27 a 28 cm, la rueda se determina a partir de los 4 puntos de perforación, dándonos un perímetro de 110 cm y un diámetro de 35,0 cm. Se opta por dejar 4 puntos para obtener una buena rodadura en terreno de siembra donde se encuentran pequeños montículos que dificultarían el movimiento del dispositivo. Se descarta un perforador de 3 puntas, ya que el diámetro sería menor, dificultando el movimiento y se descartan 5 o más puntas por costos de fabricación.

$$P = \pi * D$$

$$D = \frac{P}{\pi}$$

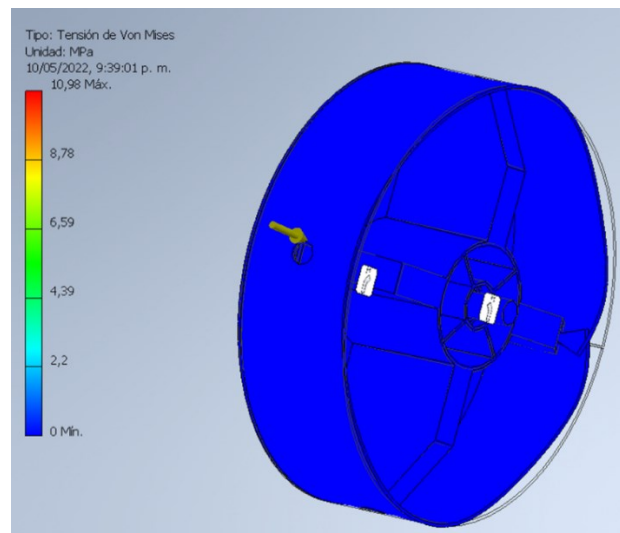
$$D = \frac{27.5 * 4}{\pi} = 35.01 \text{ cm}$$

El análisis estático de las ruedas perforadoras se realizó mediante método Von Mises con el fin de determinar el comportamiento del material cuando este es sometido a esfuerzos máximos como tensión, desplazamiento y factor de seguridad; estos se indican en el ítem 3.3.1. a continuación

3.3.1. Análisis de tensión de la rueda perforadora

Para realizar este estudio, se parte de la carga ejercida por el operador u operario para desplazar la dosificadora; este valor es de 30 kg es decir el peso del prototipo; el material empleado en el chasis es el AISI 1045, el cual como se ha indicado posee una alta resistencia a la oxidación, lo que permite dar confiabilidad al componente; según lo anterior al someter este elemento a su máximo esfuerzo, el resultado del análisis por el método de Von Mises, indica:

Figura 3-6. Ilustración sobre comportamiento de la rueda perforadora sometida a esfuerzos de tensión.



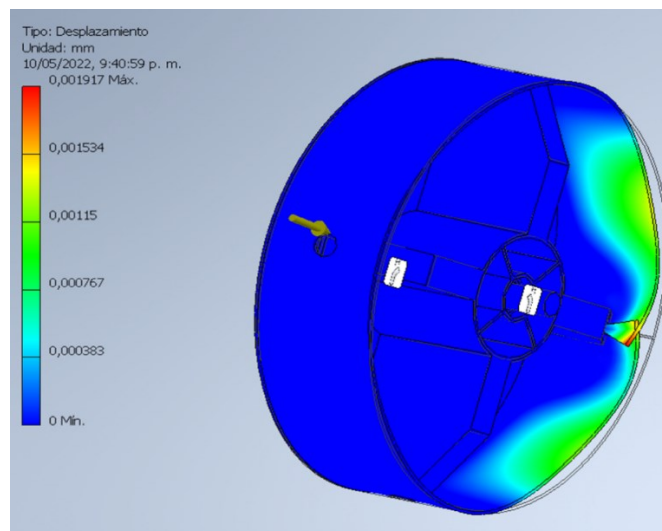
Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

Este valor de tensión o esfuerzo que soporta la rueda perforadora, trabajando en condiciones de tensión o esfuerzo máximo es de 10,98 MPa; por lo tanto, se concluye que el elemento no presentará fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se somete, debido a que se encuentra por debajo del límite de fluencia del material el cual es de 20 MPa

3.3.2. Análisis de desplazamiento de la rueda perforadora

En la figura 3-7, se puede apreciar el desplazamiento máximo de la rueda perforadora indicado por el color rojo sobre la parte superior del soporte de esta, cuando es sometido a cargas o esfuerzos máximos de 30 kg, en la figura se observa que tiene un desplazamiento máximo de 0.0019 mm.

Figura 3-7. Ilustración sobre comportamiento del desplazamiento de la rueda perforadora.



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

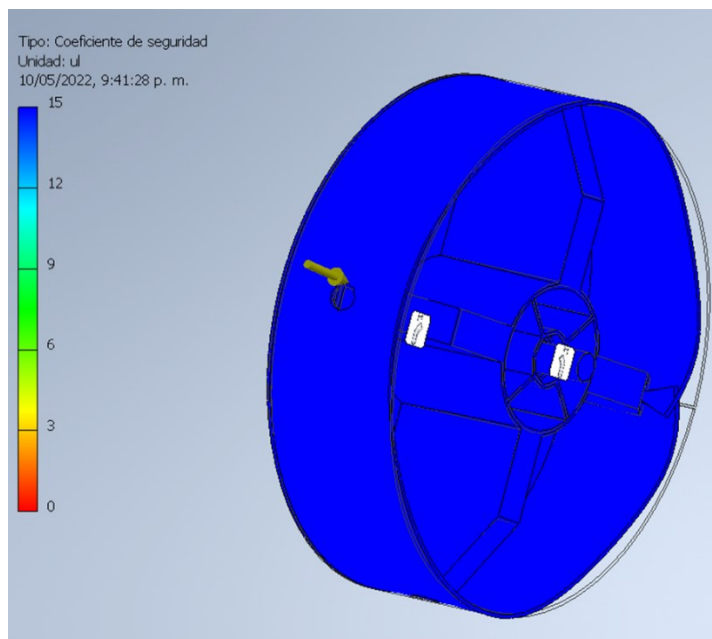
La importancia de este parámetro se fundamenta en que permite identificar si este prototipo al trabajar al máximo de carga aplicada puede presentar algún tipo de

desplazamiento en la rueda perforadora que modifique su propia configuración o rendimiento e inclusive la rotura de la pieza, a lo cual como se evidencia no representa un riesgo la estructura, por lo tanto, es confiable su desempeño.

3.3.3. Análisis de factor de seguridad de la rueda perforadora

El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 1 MPa, lo cual quiere decir que soporta 15 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que la rueda perforadora, cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas. La figura 3-8 pretende presentar la distribución de los menores factores de seguridad, pero se verifica que resultan ser bastante altos, por lo que se ratifica la seguridad de la pieza diseñada.

Figura 3-8. Ilustración sobre factor de seguridad de la rueda perforadora.



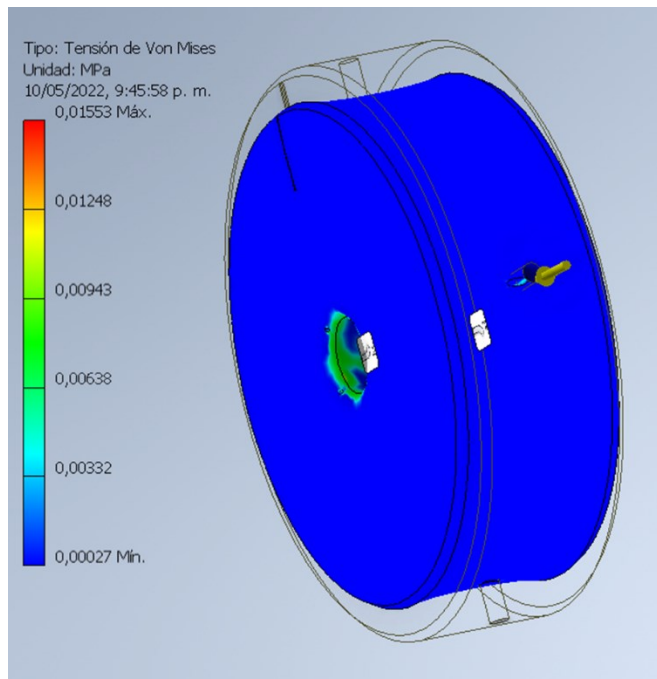
Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

3.4. Simulación de rueda perforadora

3.4.1. Análisis de tensión de la rueda perforadora

Para realizar este estudio, se parte de la carga ejercida por el operador u operario para desplazar la dosificadora; este valor es de 30 kg es decir el peso del prototipo; el material empleado en el chasis es el AISI 1045, el cual como se ha indicado posee una alta resistencia a la oxidación, lo que permite dar confiabilidad al componente; según lo anterior al someter este elemento a su máximo esfuerzo, el resultado del análisis por el método de Von Mises, indica:

Figura 3-9. Simulación de rueda perforadora sometida a esfuerzos de tensión.



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

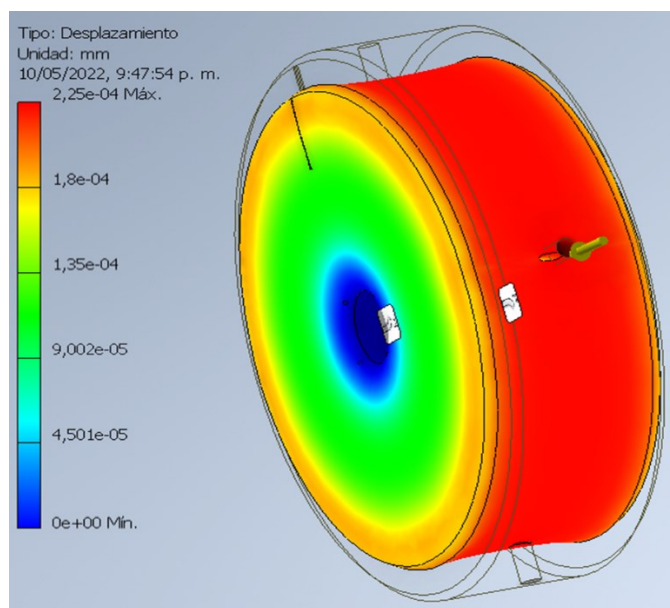
Este valor de tensión o esfuerzo que soporta la rueda, trabajando en condiciones de tensión o esfuerzo máximo es de 0.015 MPa, muy por debajo; por lo tanto, se concluye que

el elemento no presentará fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se somete

3.4.2. Análisis de desplazamiento de la rueda perforadora

En la figura 3-10, se puede apreciar el desplazamiento máximo de la rueda perforadora indicado por el color rojo sobre la parte superior del soporte de esta, cuando es sometido a cargas o esfuerzos máximos de 30 kg, en la figura se observa que tiene un desplazamiento máximo de 0.0015 mm.

Figura 3-10. Simulación del desplazamiento de la rueda perforadora.



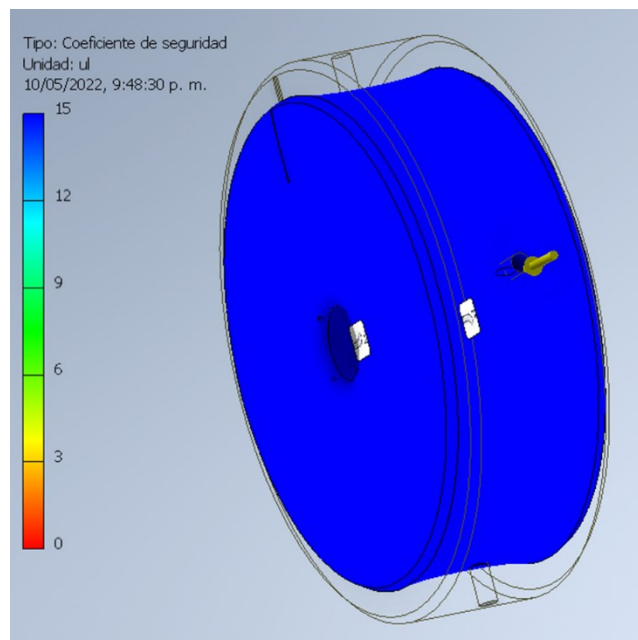
Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

La importancia de este parámetro se fundamenta en que permite identificar si este prototipo al trabajar al máximo de carga aplicada puede presentar algún tipo de desplazamiento de la estructura que modifique su propia configuración o rendimiento e inclusive la rotura de la pieza, a lo cual como se evidencia no representa un riesgo la estructura, por lo tanto, es confiable su desempeño.

3.4.3. Análisis de factor de seguridad de la rueda perforadora

El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 1 MPa, lo cual quiere decir que soporta 15 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que la rueda perforadora, cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas. La figura 3-11 pretende presentar la distribución de los menores factores de seguridad, pero se verifica que resultan ser bastante altos, por lo que se ratifica la seguridad de la pieza diseñada.

Figura 3-11. Simulación sobre factor de seguridad de la rueda perforadora.



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

3.5. Análisis de la tolva

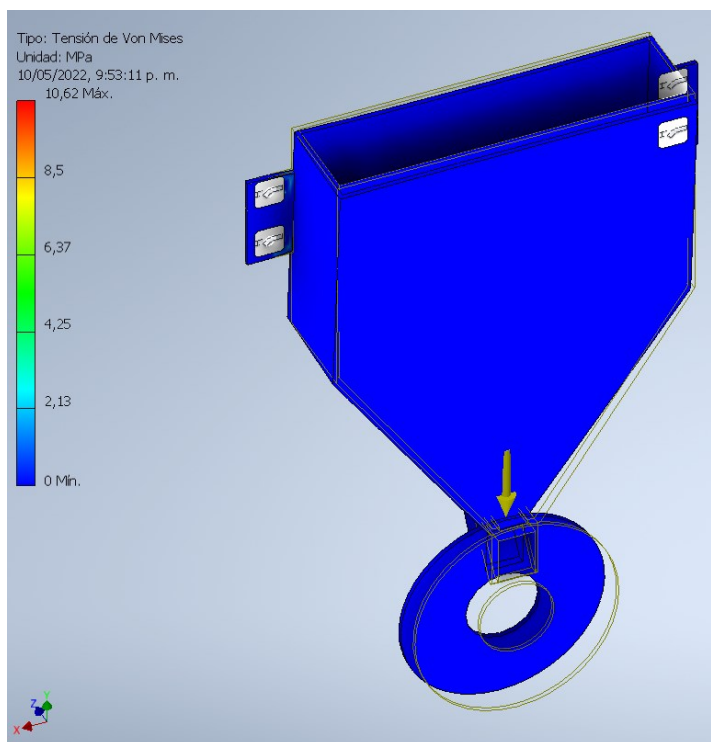
Se estima que la tolva tenga una carga útil de 5 Kg de frijol, según lo anterior la carga aplicada al interior y fondo de la tolva es de 5 kg, se toman restricciones como las

perforaciones para uniones pernadas a la estructura; de acuerdo con lo anterior la simulación de la tolva presenta las siguientes características al aplicar esfuerzos sobre esta.

3.5.1. Análisis de tensión de la tolva dosificadora

Para realizar este estudio, se parte de la carga útil soportada al interior de la tolva; este valor es de 5 kg; según lo anterior al someter este elemento a su máximo esfuerzo, el resultado del análisis por el método de Von Mises, indica:

Figura 3-12. Ilustración sobre comportamiento de la tolva al someterla a esfuerzos de tensión.



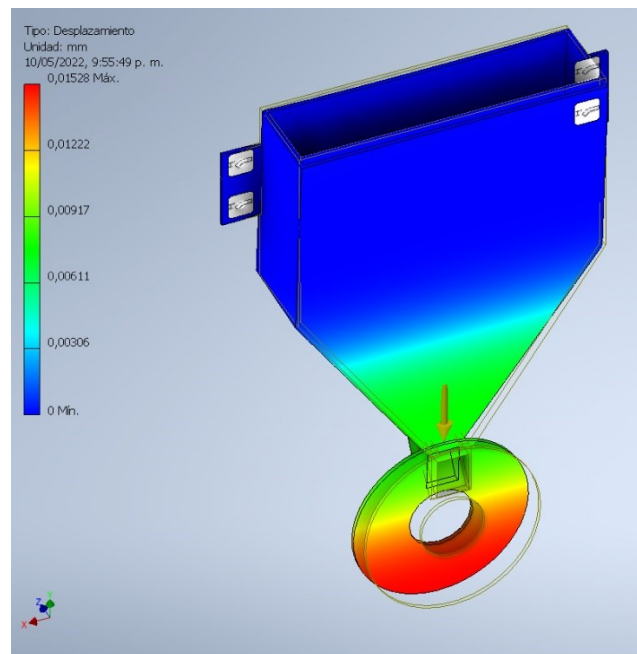
Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

Este valor de tensión o esfuerzo que soporta la tolva, trabajando en condiciones de tensión o esfuerzo máximo es de 10,62 MPa y se concentra como lo indica la figura 3-12, sobre el fondo de esta; por lo tanto, se concluye que el elemento no presentará fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se somete

3.5.2. Análisis de desplazamiento de la tolva.

En la figura 3-13, se puede apreciar el desplazamiento máximo que sufre la tolva indicada por el color rojo sobre la parte inferior del soporte del dosificador, cuando es sometido a cargas o esfuerzos máximos de 5 kg, en la figura se observa que tiene un desplazamiento máximo de 0,015 mm.

Figura 3-13. Ilustración sobre desplazamiento de la tolva al someterla a esfuerzos de tensión.



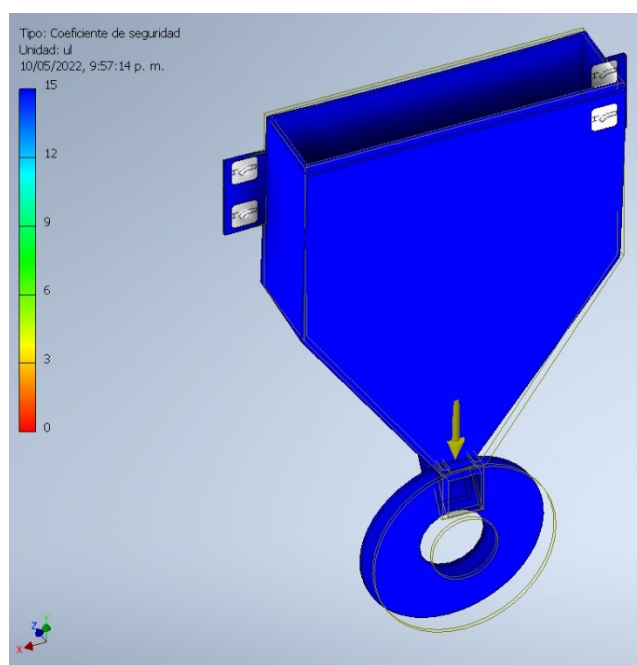
Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

La importancia de este parámetro se fundamenta en que permite identificar si este prototipo al trabajar al máximo de carga aplicada puede presentar algún tipo de desplazamiento de la estructura que modifique su propia configuración o rendimiento e inclusive la rotura de la pieza, a lo cual como se evidencia no representa un riesgo la estructura, por lo tanto, es confiable su desempeño.

3.5.3. Análisis de factor de seguridad de la tolva

El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 12, lo cual quiere decir que soporta 22 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que la tolva, cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas. La figura 3-14 pretende presentar la distribución de los menores factores de seguridad, pero se verifica que resultan ser bastante altos, por lo que se ratifica la seguridad de la pieza diseñada.

Figura 3-14. Ilustración sobre factor de seguridad de la tolva.



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

Como conclusión del capítulo 3, resulta importante indicar que al realizar los estudios esfuerzos máximos a los que se someterá el prototipo, por el método de Von Mises, los parámetros máximos están dentro de los rangos de aceptabilidad en cuanto a su estructura, lo que indica que el prototipo no presenta riesgo en su desempeño operativo.

En lo que respecta a los factores de diseño mecánico, el prototipo tiene un peso de 30 Kg, el cual es la fuerza por vencer por parte del operario; el rodamiento ideal a usar es el 6005-2RSL, esto debido a su alta resistencia en tareas repetitivas.

4. Capítulo 4: Construcción del prototipo de sembradora para producción de frijol.

Realizados los cálculos y los análisis de fuerzas máximas soportadas por el prototipo como la de tensión, desplazamiento y factor de seguridad; se procedió con el proceso de construcción, empleando para ello planos de detalle presentados en los anexos 1, 2 y 3 elaborados a partir del diseño propuesto; esta actividad comprende no solo la cotización de los materiales, si no la adquisición, el mecanizado y armado del mismo para lo cual se realizaron los siguientes pasos definidos en el ítem 4.1.

4.1.Mecanizado

El proceso de mecanizado comprende una serie de actividades que se realizan con diferentes materiales para el diseño de piezas o elementos que componen el prototipo; de acuerdo con lo anterior el proceso de mecanizado comprende:

4.1.1. Mecanizado rueda dosificadora y ahoyadora

Comprado el material como la lámina de acero inoxidable de 1 x 1, 25, se procedió a realizar el corte para la fabricación de las ruedas dosificadora y ahoyadora; como esta operación es simétrica, es decir a medida que ahoya, debe dosificar la semilla y tapar, la fabricación de estas piezas tiene las mismas medidas; bajo este criterio, se realizó el corte, rolado de la lámina para el armado de las ruedas como se indica en la figura 4-1.

Figura 4-1. Corte de tapas simétricas y rolado de lámina para cubierta de tapas.



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Rueda y sistema ahoyador y dosificador

Realizado el paso anterior, se realizó la instalación del sistema dosificador, para lo cual se empleó tubo de 1" x 6 m, los cuales se acoplaron al interior de la tapa para el armado de la rueda como se indica en la figura 4-2:

Figura 4-2. Elaboración sistema dosificador y ahoyador.



Fuente: Elaboración propia

4.2. Ensamble

Esta actividad comprende la unión de los diferentes elementos mecanizados como en el caso de las tapas, láminas roladas, adaptaciones y pulido de dichos elementos; de acuerdo con lo anterior el ensamblado de piezas para la construcción de las ruedas dosificadoras y ahoyadora se indica en la figura 4-3, en donde se aplicó soldadura de punto para unir las tapas circulares con la lámina rolada para configurar la rueda.

Figura 4-3. Construcción rueda y acoplado del eje e instalación rodamiento.



Fuente: Elaboración propia

Se acoplo el rodamiento 6005-2RSL a la estructura del chasis mediante tornillos, la cadena a un paso, las válvulas dosificadoras y la escobilla tapahuecos.

4.3.Acabado

Acoplado los elementos del prototipo se procede a realizar tareas de acabado como lijado de uniones, aplicación de pintura antioxidante, y la pintura final para la presentación del prototipo como se indica a continuación en la figura

Figura 4-4. Proceso de acabado prototipo de máquina dosificadora para producción de frijol.



Fuente: Autor

En la gráfica 4-4- se observa 4 imágenes que indican el proceso de acabado para las ruedas dosificadores (1), junto con el chasis de color verde (2), al cual se acoplaron los rodamientos y la cadena cuya función es la degenerar el movimiento a partir de una fuerza

de empuje bajo una relación 1:1 que garantice la simetría del ahoyado y la dosificación de semilla en el terreno.

4.4.Evaluación económica de la dosificadora de frijol

De acuerdo con la relación de materiales empleados en el proceso de construcción de la dosificadora como se indicó en la figura 4-4-, la relación se costos correspondientes al proceso se indica en la tabla 4-1.

Tabla 4-1. Detalle costos fabricación prototipo

Materiales	Medida	Cantidad	Vr unitario	Vr Total
Lamina acero Inoxidable	1,0 x 1,25	1	\$ 650.000	\$ 650.000
Tubo de rectangular 1"	x 6 m	2	\$ 220.000	\$ 440.000
Rodamientos	SKF 2RL-603	2	\$ 90.000	\$ 180.000
cadena un paso	NA	1	\$ 35.000	\$ 35.000
Válvulas dosificadoras	NA	4	\$ 21.000	\$ 84.000
escobilla tapahuecos	NA	1	\$ 7.000	\$ 7.000
Tornillería	NA	1	\$ 14.500	\$ 14.500
Pintura antioxidante Aerosol (6 Oz)	NA	1	\$ 6.400	\$ 6.400
pintura Exterior Prototipo Aerosol (12oz verde-amarillo)	NA	2	\$ 7.500	\$ 15.000
Rolado, mecanizado	NA	1	\$ 53.700	\$ 53.700
Soldadura autógena	NA	1	\$ 115.000	\$ 115.000
Mano de obra	NA	1	\$ 230.000	\$ 230.000
Costo fabricación prototipo dosificadora				\$ 1.830.600

Fuente: Autor

El costo total de fabricación del prototipo es de \$1.830 600, el cual resulta económico al compararlo con los valores comerciales de tecnologías actuales descritas en el estado del arte; por lo tanto, es asequible para el productor.

4.5. Evaluación sistema de dosificación de frijol

Para evaluar el rendimiento en tiempo y kg sembrados se realizó una prueba de campo en la que se tomaron los tiempos y la cantidad de Kg sembradas por el prototipo con el fin de poder establecer si cumple con los objetivos de mejorar la productividad por kg/ sembrado, el tiempo de siembra y los costos de mano de obra; los resultados obtenidos indicaron lo siguiente:

4.5.1. Tiempo de siembra y productividad

Para la evaluación del tiempo de siembra y productividad se emplearon las cantidades sembradas por un operario en la finca Lllamarada los cuales son de 2, 7 kg/día; se simuló una siembra sobre un terreno preparado y se tomó el tiempo que dura el prototipo en ahoyar y depositar la semilla y tajarla como se indica en la tabla a continuación:

Tabla 4-2 . Tiempos de siembra

Prueba de siembra			
Muestra	t (min)	Muestra	t (min)
E1	0,55	E26	0,4
E2	0,4	E27	0,4
E3	0,35	E28	0,4
E4	0,4	E29	0,5
E5	0,45	E30	0,3
E6	0,45	E31	0,4
E7	0,4	E32	0,4
E8	0,4	E33	0,4
E9	0,4	E34	0,4
E10	0,4	E35	0,4
E11	0,4	E36	0,4
E12	0,4	E37	0,4
E13	0,4	E38	0,4
E14	0,4	E39	0,4
E15	0,4	E40	0,4
E16	0,4	E41	0,4
E17	0,4	E42	0,4
E18	0,4	E43	0,4
E19	0,4	E44	0,4

E20	0,4	E45	0,4
E21	0,4	E46	0,4
E22	0,4	E47	0,4
E23	0,4	E48	0,4
E24	0,4	E49	0,4
E25	0,4	E50	0,4
promedio de tiempo de siembra			0,40

Fuente: Autor

De acuerdo con los resultados se puede indicar que el promedio de tiempo empleado para sembrar (ahoyar depositar y tapar) es de 0,40 minutos muy por debajo de los datos actuales del método manual (2,2 min), lo cual hace muy eficiente el proceso; con respecto a la productividad se tiene que con el operario la productividad puede alcanzar 2,7 kg / día, mientras que esa misma cantidad con el prototipo se realiza en 20,2 minutos resultado que surge de sumar los tiempos de siembra en el ensayo para esa misma cantidad indicando claramente que hay un aumento de la misma y por ende ahorros de mano de obra ya que este prototipo puede preferentemente suplir las necesidades de siembra de los 5 trabajadores en un día e inclusive alcanzar el estándar de siembra de 56 kg /ha y emplear el tiempo restante en otras actividades que demanda la finca.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Se diseñó un prototipo de máquina sembradora de frijol, la cual contribuye a disminuir los tiempos de siembra pasando de 2,2 min por ahoyado, siembra y tapado a 0,40 min, lo que indica un aumento de la productividad del 81,82 % frente a los tiempos de la finca y del 76,47 % con respecto al estándar de producción, datos que coinciden con los obtenidos por Byron (2021) cuyo aumento de productividad al implementar una sembradora mecánica fue mayor al 53% para siembra de frijol; esto se sustenta en que con el método manual estas actividades se deben realizar de forma independiente, mientras que con la propuesta se integran permitiendo de inicio simplificar tareas; Se mitigan los riesgos derivados del proceso manual y el personal disponible se asigna a otras actividades de labriego de la finca. Se determinó, mediante el análisis dinámico y estático, la metodología Von Mises y el Software Autodesk Inventor, que al aplicar una fuerza de 30 kg el prototipo de dosificadora no presenta problemas de cizallamiento, tensión o desplazamientos por encima del factor de seguridad, lo que indica un muy buen margen seguridad en cuanto al diseño y uso de materiales para la labor.

La simulación del chasis evidenció que el máximo esfuerzo es de 97,5 MPa y se encuentra en él apoya manos donde se realiza el empuje; por debajo del esfuerzo máximo permisible del material. El desplazamiento máximo del chasis es de 1,482 mm y el coeficiente de seguridad es de 2,12, por lo tanto, es apto en todos los casos, para su operación, sin representar riesgo de cizallamiento o rotura, según las condiciones de estudio.

Los requerimientos de diseño que se deben considerar al momento de diseñar una dosificadora comprenden el tiempo de siembra, que corresponda a una tecnología limpia, adaptación a cualquier tipo de terreno, costo de mantenimientos bajos, entre otros, los cuales al compararse con tecnologías actuales resultan más costosos, menos versátiles en su uso y equipos que consumen combustibles o en su defecto energía eléctrica, lo cual no se consigue en las áreas de intervención para siembra.

Se construye un prototipo de sembradora de frijol la cual emplea para su funcionamiento un sistema de piñones de igual relación los cuales mediante una cadena acciona un eje, el cual desplaza de forma simétrica dos ruedas a las cuales van acopladas 4 boquillas ahoyadora-dosificadora accionada por un sistema de paso que deposita 2 semillas por cada paso en el hueco.

El prototipo diseñado es mucho más económico (9 % del valor de máquina actual) al comprarse con las tecnologías disponibles, esta propuesta no requiere de sistemas de arrastre lo que la hace adaptable a cualquier terreno ya que sus ruedas no son macizas, lo que permite un fácil desplazamiento sobre superficies aradas e inclinadas.

5.2.Recomendaciones

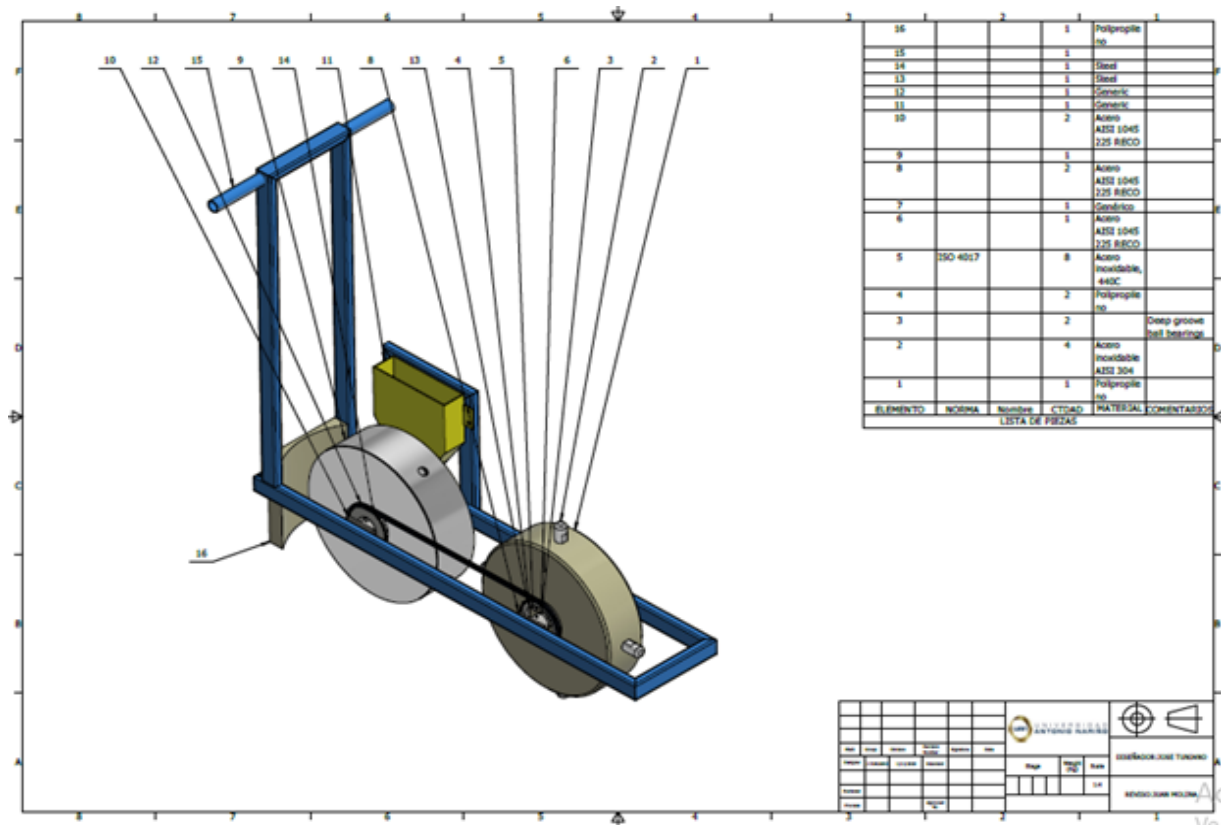
Se recomienda evaluar el desempeño del prototipo en función de otras variedades de frijol, cuyos granos son más grandes, para determinar la productividad de la propuesta.

Adaptar un mecanismo de enganche a una moto, con el fin de determinar su rendimiento y el comportamiento de la estructura cuando se combina con otros mecanismos de mayor potencia.

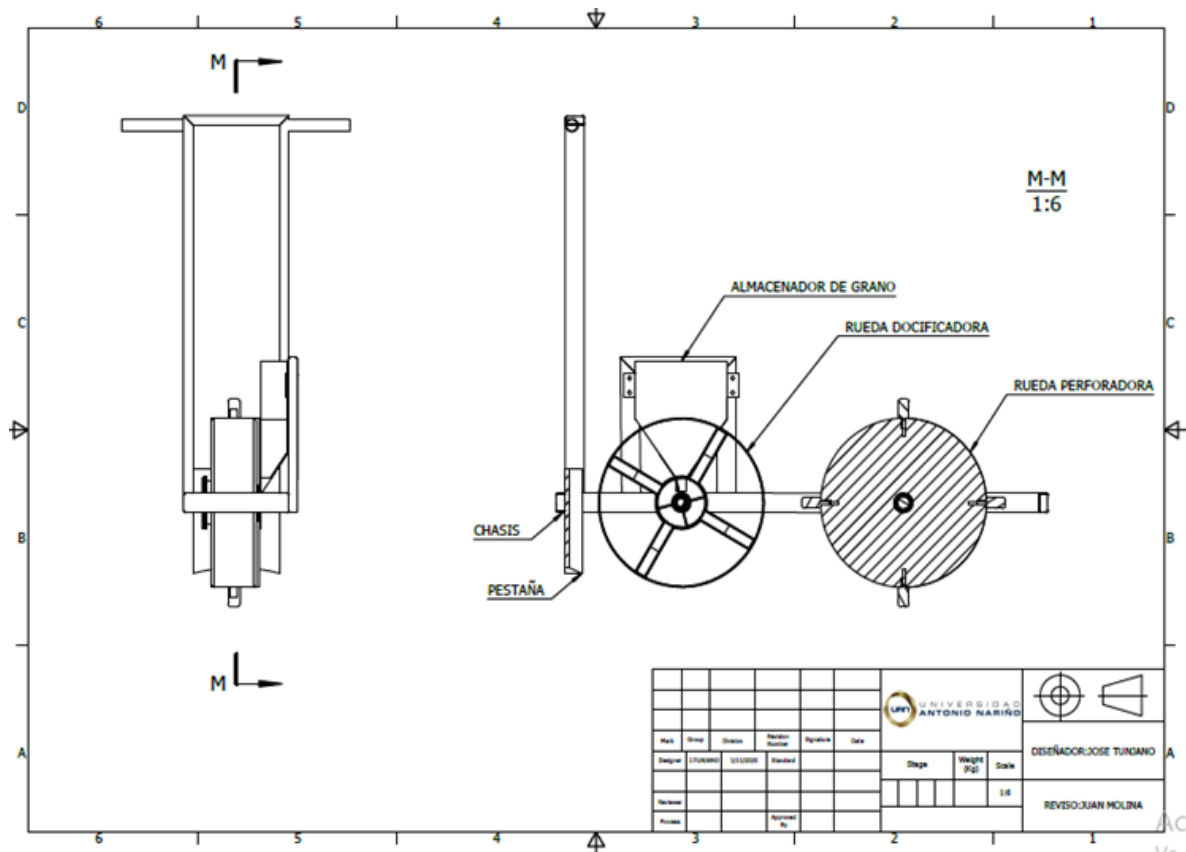
Evaluar el desempeño del prototipo y establecer un análisis de vida útil del mismo para determinar relación costo/ beneficio. Elaborar un manual de operación y mantenimiento.

Anexos

Anexo 1. Isométrico de prototipo de dosificadora de frijol



Anexo 3. Vista dispositivo dosificador



Referencias Bibliográficas

- AGROSAVIA. (1 de 12 de 2020). Recuperado el 5 de 4 de 2021, de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/30351>
- Arias, J. (2019). *Manual técnico buenas prácticas agrícolas (BBA) en la producción de frijol voluble*. Bogotá: AGROSAVIA.
- ARNAL. (18 de Junio de 2020). Recuperado el 12 de Octubre de 2021, de <https://www.larrosa-arnal.com/blog/tipos-de-sembradoras-mecanicas/>
- Byron, A. (2021). *Implementación de una máquina electromecánica para el sembrío de semillas*. Latacunga (Ecuador): Universidad Técnica de Cotopaxi.
- FEDAC. (2021). Tipos de sembradoras de frijol. *Boletín Agrario*, 14-25.
- Flores, J. A., & Solís, J. (2013). *Diseño y Construcción de una Sembradora de maíz y frijol*. Latacunga (Ecuador): UPL.
- García L, C., & Palau, M. (2013). *Mecanización de los cultivos hortícolas*. Madrid (España): Rosela.
- Godoy L, A., Herrera S, M., Montes R, C., & González C, O. (2019). *Perfeccionamiento del diseño y evaluación de la sembradora de granos convencional "GUAJIRO AM 2010-1-5T"*. San José de las Lajas (Cuba): Scielo.
- ICA. (2020). *Cadena de valor de la producción de frijol en Colombia*. Bogotá: Corpoica.
- Jara, C. (2021). *Guía de manejo agronómico de frijol arbustivo para pequeños agricultores*. Bogotá: CIAT.
- JRG. (6 de Enero de 2020). Obtenido de http://www.ruizgarciajj.com/index.php?seccion=maquinaria_de_ocasion&idempresa=113&producto=39865&nombre=abonadora---sembradora---esparcidor-sal-atv
- Kumar, P. (2020). *Design and fabrication of smart seed sowing robot*. Waranga (India): Science direct.
- Maquinariamontana. (12 de Enero de 2020). Recuperado el Junio de 2021, de <http://www.maquinariamontana.com/es/productos/siembra/sembradora-de-grano-fino>
- Minagricultura. (2020). *Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales (Frijol)*. Bogotá: Minagricultura.

- Molin, J. P., & Bashford, L. (2000). *Diseño y evaluación de una sembradora perforadora para sistema de labranza cero*. Sao Paulo: U. Sao Paulo.
- Myszca, D. (2012). *Maquinas y Mecanismos*. MEXICO D.F.
- Ospina B, H. E. (2017). *diseño de un prototipo de sembradora mecanica de semillas de maiz y frijol para la granja de la universidad francisco de paula santander ocaña*. ocaña: ufps.
- Sanchez, S. (2021). Crop losses determination of JUMIL 390 harvester in bean crop (Phaseolus vulgaris L). *Ingenieria Agricola*, 39-44.
- SECDRA. (2021). *Análisis de la cadena de valor de frijol*. Mexico D.F.: SE.
- Singh, T. (2020). *GMAW cladding on metals to impart anti-corrosiveness: Machine, processes and materials*. Jaipur (India): Science direct.
- SIR. (12 de Enero de 2020). *SIR*. Recuperado el 28 de Junio de 2021, de <http://sirhuila.gov.co/index.php/estadisticas/economicas/agropecuario/2039-agropecuario-2019>
- SKF. (1 de Marzo de 2020). Recuperado el 13 de Octubre de 2021, de <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6005-2Z>
- Tapia Z, M. E., Tapia Z, E., & Arla O, S. (2017). *design and construction of a low price corn peeling machine for soft dry variety*. pichincha (ecuador): el sevier.